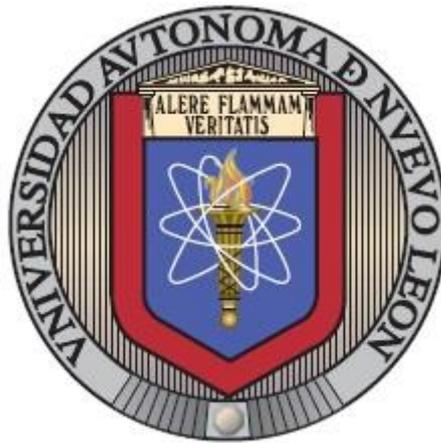


**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**  
**SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**“DISEÑO PARAMÉTRICO, ESTANDARIZACIÓN Y ANÁLISIS  
ESTRUCTURAL DE UNA MESA DE POSICIONAMIENTO ROTACIONAL DE  
SOLDADURA PARA USO AUTOMOTRIZ”**

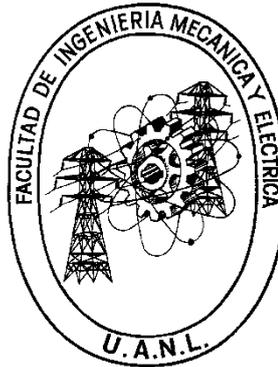
**Por:**  
**CÉSAR GEOVANNY MUÑOZ MAINATO**

**EN OPCIÓN AL GRADO DE:**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN**

**JULIO 2024**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**  
**SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**“DISEÑO PARAMÉTRICO, ESTANDARIZACIÓN Y ANÁLISIS  
ESTRUCTURAL DE UNA MESA DE POSICIONAMIENTO ROTACIONAL DE  
SOLDADURA PARA USO AUTOMOTRIZ”**

**Por:**  
**CÉSAR GEOVANNY MUÑOZ MAINATO**

**EN OPCIÓN AL GRADO DE:**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN**

**JULIO 2024**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**  
**Posgrado**

Los miembros del Comité de Evaluación de Tesis recomendamos que la Tesis “Diseño Paramétrico, Estandarización y Análisis Estructural de una Mesa de Posicionamiento Rotacional de Soldadura para uso Automotriz”, realizada por el estudiante Cesar Geovanny Muñoz Mainato, con número de matrícula 2172431, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Automotriz.

**El Comité de Evaluación de Tesis**

Dr. Oscar Jesús Zapata Hernández  
Director

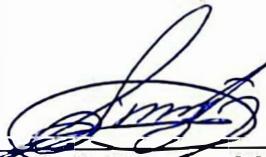
Dra. Adriana Salas Zamarripa  
Co-director

Dra. Flor Esthela Palomar Pérez  
Revisor

Dra. Sugeheidy Yaneth Carranza Bernal  
Revisor

M.C. César Antonio Pérez Buenrostro  
Revisor

Vo.Bo.

  
  
Dr. Simón Martínez Martínez  
Subdirector de Estudios de Posgrado

Institución 190001

Programa 554502

Acta Núm. 4386

Ciudad Universitaria, a Julio 2024.

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
AGRADECIMIENTOS .....	viii
DEDICATORIA .....	ix
RESUMEN.....	x
INTRODUCCIÓN .....	11
Antecedentes .....	11
Planteamiento del problema.....	11
Justificación .....	12
Objetivos del proyecto .....	13
Hipótesis del proyecto.....	13
CAPITULO I.....	14
1. MARCO TEÓRICO.....	14
1.1 Estandarización .....	14
1.1.1 Origen de la estandarización.....	15
1.1.2 Estandarización de un producto .....	15
1.1.3 Tipos de estándares.....	16
1.1.4 Importancia de la estandarización.....	16
1.1.5 Niveles de la estandarización.....	17
1.2 Ergonomía.....	18
1.2.1 Tipos de ergonomía.....	18
1.2.2 Influencia de la ergonomía en la productividad.....	18
1.2.3 Métodos de evaluación ergonómica.....	19
1.2.4 La ergonomía en los procesos de soldadura.....	19
1.3 Posicionadores de soldadura rotacional.....	21
1.3.1 Mesas de soldadura.....	21
1.3.2 Posicionadores de soldadura.....	22
1.3.3 Ventajas de los posicionadores.....	23
1.3.4 Tipos de posicionadores de soldadura de dos cabezales.....	24
1.3.4.1 Posicionador de soldadura vertical.....	24
1.3.4.2 Posicionador de soldadura rotativo.....	25
1.3.4.3 Posicionador de soldadura de dos ejes (combinado).....	26
1.4 Centro de gravedad .....	26
1.4.1 Balance mediante la redistribución de masas.....	28

1.5	Guías de diseño .....	28
1.6	Soldadura y zonas afectadas por el calor .....	29
1.7	Instrucciones de seguridad .....	30
1.7.1	<i>Prevención de descargas eléctricas</i> .....	31
CAPITULO II .....		32
2	METODOLOGÍA Y RECOPIACIÓN DE DATOS .....	32
2.1	Introducción .....	32
2.2	Desarrollo de la estandarización .....	32
2.2.1	<i>Búsqueda y recopilación de información</i> .....	34
2.2.2	<i>Técnicas y colección de datos</i> .....	34
2.2.2.1	<i>Características de los aditamentos y productos</i> .....	34
2.2.2.2	<i>Centro de gravedad de los productos</i> .....	36
2.2.2.3	<i>Masa de los accesorios</i> .....	38
CAPITULO III.....		39
3	DISEÑO Y SIMULACIÓN .....	39
3.1	Diseño de la mesa de soldadura .....	39
3.1.1	<i>Software de diseño</i> .....	39
3.1.2	<i>Clasificación y dimensionamiento de los aditamentos</i> .....	40
3.1.3	<i>Selección de productos en cada aditamento</i> .....	42
3.1.4	<i>Selección de material</i> .....	45
3.1.4.1	<i>Selección de un perfil de acero estructural</i> .....	46
3.1.4.2	<i>Selección de las dimensiones del perfil PTR</i> .....	49
3.1.4.3	<i>Asignación de material</i> .....	50
3.1.5	<i>Construcción del prototipo del aditamento</i> .....	51
3.2	Simulación .....	55
3.2.1	<i>Método de elemento finito</i> .....	55
3.2.2	<i>Características de carga</i> .....	56
3.2.3	<i>Mallado de modelo</i> .....	57
3.2.4	<i>Análisis estructural</i> .....	59
3.2.5	<i>Visualización de la simulación del modelo</i> .....	62
3.3	Rediseño.....	62
3.3.1	<i>Factor de seguridad</i> .....	62
3.3.2	<i>Variantes de la carga</i> .....	63
3.3.3	<i>Variantes de la geometría</i> .....	64
3.3.4	<i>Variantes de las dimensiones y espesor del PTR</i> .....	64
3.3.5	<i>Variante en los soportes del aditamento</i> .....	65

3.4	Posicionador de la mesa de soldadura.....	66
CAPITULO IV .....		67
4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	67
4.1	Soportes de la mesa de soldadura.....	67
4.2	Mesa de soldadura estandarizada .....	68
4.2.1	<i>Mesa de soldadura principal (Core)</i> .....	69
4.2.2	<i>Mesas de soldadura derivadas del principal</i> .....	71
4.3	Resultados de la simulación .....	72
4.4	Análisis de la simulación .....	80
CAPITULO V .....		84
5	CONCLUSIONES .....	84
5.1	Conclusiones .....	84
5.2	Trabajo futuro .....	85
5.3	Aportación tecnológica .....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		86
ANEXOS .....		90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Métodos de evaluación ergonómica.....	19
Tabla 2.1 Dimensiones máximas de los productos .....	35
Tabla 2.2 Dimensiones mínimas de los productos.....	35
Tabla 3.1 Rango para las dimensiones de los nuevos aditamentos .....	40
Tabla 3.2 Clasificación de los nuevos aditamentos.....	41
Tabla 3.3 Aditamentos .....	41
Tabla 3.4 Diseños lineales de las mesas de soldadura .....	42
Tabla 3.5 Criterios para clasificar los productos según el largo y ancho.....	42
Tabla 3.6 Número de productos según la clasificación largo-ancho.....	43
Tabla 3.7 Porcentaje de área de largo y ancho del centro de gravedad.....	44
Tabla 3.8 Criterios para clasificar los productos según el centro de gravedad .....	44
Tabla 3.9 Número de productos con el centro de gravedad .....	44
Tabla 3.10 Clasificación de aceros según ASTM .....	46
Tabla 3.11 Propiedades mecánicas de acero estructural ASTM A36 .....	46
Tabla 3.12 Dimensiones y selección del PTR.....	50
Tabla 3.13 Características de las cargas para los primeros modelos de referencia.....	57
Tabla 3.14 Variantes de las características de las cargas .....	63
Tabla 4.1 Resultados de los modelos de referencia. ....	68
Tabla 4.2. Resultados de los ensayos para la obtención del aditamento principal.....	69
Tabla 4.3 Esfuerzo y desplazamiento con ángulos de volteo.....	78
Tabla 4.4 Esfuerzo y desplazamiento con ángulos de volteo.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Estandarización.....	14
Figura 1.2 Niveles de estandarización .....	17
Figura 1.3 Banco de trabajo de soldadura.....	20
Figura 1.4 Mesa de soldadura de posición fija.....	21
Figura 1.5 Mesa de soldadura en un posicionador .....	22
Figura 1.6 Posicionador de soldadura .....	23
Figura 1.7 Posicionador de soldadura de un eje vertical.....	25
Figura 1.8 Posicionador de soldadura de un eje rotacional.....	25
Figura 1.9 Posicionador de soldadura de dos ejes (combinado) .....	26
Figura 1.10 Centro de gravedad mediante Software CAD.....	27
Figura 1.11 Transferencia de calor.....	29
Figura 1.12 Zona afectada por el calor.....	30
Figura 2.1 Procedimiento experimental .....	33
Figura 2.2 Características del posicionador .....	34
Figura 2.3 Dimensiones del producto .....	35
Figura 2.4 Modelo totalmente terminado.....	36
Figura 2.5 Remoción de componentes innecesarios .....	36
Figura 2.6 Selección de un punto de origen para el centro de gravedad.....	37
Figura 2.7 Orientación para las coordenadas del centro de gravedad .....	37
Figura 2.8 Visualización del centro de gravedad del producto. ....	37
Figura 2.9 Masa de los accesorios.....	38
Figura 3.1 Modelo 3D en Creo Parametric .....	40
Figura 3.2 Área del centro de gravedad. ....	43
Figura 3.3 Perfiles laminados en caliente .....	47
Figura 3.4 Perfiles laminados en frío .....	48
Figura 3.5 Dimensiones del PTR .....	50
Figura 3.6 Librería de materiales de Creo Parametric .....	51
Figura 3.7 Marco principal del aditamento .....	51
Figura 3.8 Unión de los PTR a 90°, a la izquierda sin corte y a la derecha con corte a 45° .....	52
Figura 3.9 Soportes del aditamento.....	52
Figura 3.10 Extensiones de los aditamentos (modelo 3C) .....	53
Figura 3.11 Ajuste del centro de gravedad.....	53
Figura 3.12 Distancia entre el CG y el centro de giro.....	54

Figura 3.13 Pernos de soporte en el ajuste de la altura .....	54
Figura 3.14 Modelos de referencia iniciales en Creo Parametric.....	54
Figura 3.15 Elementos, nodos y malla .....	56
Figura 3.16 Número de elementos del modelo .....	58
Figura 3.17 Interpolación tipo P.....	58
Figura 3.18 Malla sólida del modelo con refinamiento tipo P .....	59
Figura 3.19 Inicio al análisis estructural .....	59
Figura 3.20 Aplicación de la fuerza al modelo de referencia.....	60
Figura 3.21 Aplicación de la gravedad en el modelo de referencia .....	60
Figura 3.22 Condiciones de frontera .....	61
Figura 3.23 Inicio del análisis estructural .....	61
Figura 3.24 Análisis con un ángulo de giro .....	61
Figura 3.25 Visualización de las simulaciones en Creo Simulate.....	62
Figura 3.26 Variantes de geometría .....	64
Figura 3.27 Cambio de dimensiones en el PTR.....	64
Figura 3.28 Variación en los soportes de los modelos .....	65
Figura 3.29 Separación en el soporte de los modelos .....	65
Figura 3.30 Posicionador de la mesa de soldadura .....	66
Figura 3.31 Mecanismo de bloqueo en ángulos predeterminados .....	66
Figura 4.1 Modelo final de los soportes.....	67
Figura 4.2 Análisis de los soportes de los aditamentos.....	67
Figura 4.3 Resultado de un modelo de referencia.....	68
Figura 4.4 Ensayos para la obtención del aditamento principal 1A.....	70
Figura 4.5 Desplazamientos de la placa modelo 1A .....	70
Figura 4.6 Mesa de soldadura principal 1A .....	71
Figura 4.7 Desplazamiento de la placa en zonas amplias .....	71
Figura 4.8 Aditamentos derivados del modelo principal 1A .....	72
Figura 4.9 Esfuerzo y desplazamiento aditamento 1A.....	73
Figura 4.10 Esfuerzo en diferentes zonas del aditamento.....	73
Figura 4.11 Esfuerzo y desplazamiento aditamento 1A con volteo de 45°.....	74
Figura 4.12 Esfuerzo y desplazamiento aditamento 1B.....	74
Figura 4.13 Esfuerzo y desplazamiento aditamento 1C.....	75
Figura 4.14 Esfuerzo y desplazamiento aditamento 2 <sup>a</sup> .....	75
Figura 4.15 Esfuerzo y desplazamiento aditamento 2B.....	76
Figura 4.16 Esfuerzo y desplazamiento aditamento 2C.....	76
Figura 4.17 Esfuerzo y desplazamiento aditamento 3A.....	77

Figura 4.18 Esfuerzo y desplazamiento aditamento 3B .....	77
Figura 4.19 Esfuerzo y desplazamiento aditamento 3C .....	78
Figura 4.20 Esfuerzo Von Mises en los aditamentos .....	79
Figura 4.21 Desplazamiento en los aditamentos .....	79
Figura 4.22 Esfuerzos máximos determinados por Creo Simulate .....	80
Figura 4.23 Esfuerzos en diferentes zonas de la estructura.....	80
Figura 4.24 Esfuerzo real de los modelos .....	81
Figura 4.25 Comparación del esfuerzo de máximo y en esfuerzo real .....	82
Figura 4.26 Comparación del desplazamiento máximo y en desplazamiento real .....	82
Figura 4.25 Posicionador de soldadura con el aditamento 1A a la izquierda y 3C a la derecha.	83

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece de manera afectuosa al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), por los apoyos económicos brindados para el desarrollo del presente trabajo.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo brindado durante mis estudios de postgrado, a sí mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Un agradecimiento especial a la empresa de Caterpillar por brindarme la oportunidad de juntos desarrollar el proyecto de investigación, también por el apoyo recibido durante este proceso.

Al Dr. Oscar Jesús Zapata Hernández por su apoyo, paciencia y guía para el desarrollo del proyecto de investigación.

Al M.C. César Antonio Pérez Buenrostro por su paciencia, comentarios, sugerencias y por toda la atención prestada, ya que estos fueron parte fundamental en el proyecto de investigación.

A la Dra. Adriana Salas Zamarripa por sus valiosos comentarios y entusiasmo que me motivaron a culminar mi trabajo de tesis.

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirme vivir este momento.

A mi familia que me apoyo durante mis estudios de postgrado, en especial a mi mamá María por su incondicional afecto

A mi hija Stephany por ser mi motivación para lograr mis objetivos.

A mis asesores académicos e industriales por su tiempo y apoyo durante el desarrollo de mi tesis.

## RESUMEN

En las últimas décadas se han realizado diversas investigaciones en la industria automotriz para reducir costos, aumentar la seguridad y elevar la productividad para satisfacer la demanda del mercado. En la industria, los sistemas para manipular piezas influyen en gran medida en el rendimiento de la producción, para ello es necesario la estandarización de los herramientas en los procesos de ensamblaje.

En el presente trabajo, se buscó una metodología para estandarizar una mesa de soldadura de posicionamiento rotacional que cumpla con los estándares de seguridad y calidad mediante un diseño paramétrico que cumpla la funcionalidad de trabajar con productos como puertas, pisos y techos de diferentes familias de maquinarias.

Para estandarizar fue necesario la recopilación de datos de los aditamentos que ya fueron construidos y de los productos que se trabajan en ellos, características tales como largo, ancho, y centro de gravedad, según los datos obtenidos se clasificaron en nuevos modelos, tratando de dimensionar en categorías de largo y ancho (1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C, 3A, 3B, 3C), para así evitar trabajar productos pequeños en estructuras muy grandes. La característica de los nuevos modelos es que se mantendrá como base al modelo (1A) en todos los aditamentos.

Los nuevos aditamentos se modelaron en el software Creo Parametric y fueron sometidos a simulaciones estructurales por el método de elemento finito (FEM), considerando diferentes escenarios de carga y situaciones de volteo, que se asemeje a situaciones reales. Este proceso es fundamental para encontrar una geometría que produzca un esfuerzo y desplazamiento máximo requeridos.

Para validar los modelos mediante la simulación se consideraron dos requisitos importantes, trabajar con una gravedad 2G en el análisis estructural y el esfuerzo producido en el aditamento con la aplicación de la carga debe ser menor al límite elástico del material de 220MPa.

Los resultados obtenidos de cada uno de los modelos fueron menores al límite elástico, por ejemplo, el aditamento base 1A tuvo un esfuerzo de Von Mises de 58.25MPa y un desplazamiento de 0.377mm. Siendo valores que permitieron la aprobación para continuar con el proceso de estandarización. Cada aditamento contiene una base de sujeción estándar que soporta cargas superiores a la máxima requerida de 1300Kg. Esta base permite la variación de altura, con el fin de coincidir el centro de gravedad del conjunto (aditamento y producto) con el centro de giro.

# **INTRODUCCIÓN**

## **Antecedentes**

En la ingeniería, una innovación muy significativa fue la aportación de Benjamín Holt con el primer tractor de cadenas, siendo exitoso en el mercado, debido al movimiento similar al arrastre de una oruga se denominó Caterpillar. El objetivo fue crear máquinas útiles y de gran fuerza para facilitar los trabajos de la agricultura (Caterpillar, 2023).

En el último siglo la empresa ha estado en mejora continua realizando investigaciones, para satisfacer la demanda de los clientes mediante innovación en sus productos y servicios. La planificación de manera adecuada de los herramientas puede reducir los costos de producción. Es necesario que los equipos y herramientas para la fabricación de los productos sean diseñados de acorde a la exigencia de los operadores para un mejor desempeño en el proceso de producción (Caterpillar, 2023).

Entre los herramientas fundamentales para la línea de producción se encuentran las mesas de soldadura para el ensamblaje de piezas de diferentes partes de las maquinarias. Estos herramientas han evolucionado desde mesas de posición fija hasta mesas de posición rotacional, buscando la seguridad, calidad, ergonomía y mejorar el tiempo de producción.

Actualmente, existen múltiples mesas de soldadura de posicionamiento rotacional en el mercado y la selección de estos herramientas para trabajar un determinado producto es un gran reto, al haber una gran variedad de modelos.

## **Planteamiento del problema**

Como se ha mencionado anteriormente existen una amplia gama de herramientas de posicionamiento de soldadura a nivel global, en los cuales en la industria automotriz los ensambles de soldadura de puertas, pisos y techos de diferentes familias de maquinarias suelen realizarse en mesas fabricadas exclusivamente para dicho producto. Esto ocasiona que existan diversos diseños de mesas de soldadura, consumiendo tiempo y recursos en el diseño y la fabricación de cada una de ellas. Esta variabilidad ha motivado a buscar una manera de estandarizar el producto con el propósito de mejorar la producción (Fazinga, 2019).

El presente proyecto busca generar una estandarización en las mesas de soldadura que permita trabajar dichos componentes en las diferentes condiciones a las que están sometidos en el proceso de soldadura. Se pretende crear un diseño paramétrico que cumpla la funcionalidad de trabajar con productos que se ajusten con diversos criterios de selección.

Se aplicará una metodología de estandarización, así como diseño y simulaciones de elemento finito considerando diferentes escenarios de carga, para evaluar la factibilidad de fabricación de la mesa rotatoria. Con el diseño paramétrico estandarizado se pretende como punto central, la reducción de variables en el diseño, establecer un modelo base definido (Core) de un posicionador rotativo, que cumpla con los estándares de seguridad y calidad. Y como consecuencia reducir el tiempo de diseño y fabricación cuando se soliciten este tipo de herramientas en la industria.

## **Justificación**

Existen diversos herramientas utilizados por la industria para un mismo propósito, difieren en la calidad, tipo de material, tamaño y costo en el mercado. Para obtener un producto que sea similar de manera global, se puede aplicar una estandarización que se basa en normas que establecen un conjunto de características, especificaciones y requisitos comunes que deben poseer los componentes y ser respetadas a nivel mundial.

Los productos estandarizados se pueden construir de manera más fácil en grandes cantidades, ofrece la oportunidad de intercambiar los productos entre los fabricantes y los usuarios, además, promueve la competencia y la innovación en el mercado.

Los posicionadores de soldadura de columna son herramientas cuyo fin es el de elevar y posicionar cargas, habitualmente para facilitar el proceso de soldadura. Los herramientas constan de dos soportes capaces de elevar conjuntamente una carga variable dependiendo de la versión. Cada posicionador cuenta con diversas bases ajustables para adaptarse a las mesas de soldadura, estas mesas se deben cambiar por completo dependiendo del tipo de pieza que se desee trabajar.

Al girar la superficie del posicionador, las mesas de soldadura giratorias permiten a los soldadores acceder fácilmente al área a soldar, trabajando de una manera más cómoda y manteniendo una posición estable mientras realizan el proceso de soldadura.

Una mesa de soldadura es una necesidad básica para el soldador, esencialmente es una plataforma que sirve como banco de trabajo. Pero, también resulta una herramienta primordial para evitar riesgos de incendio, por lo que es un requisito que esté hecha con un material no inflamable, en este caso de acero.

Las industrias utilizan cada vez más los posicionadores de soldadura rotativos debido al aumento en la tasa de producción, buscan mejorar la calidad del producto, obtener un mayor retorno de la inversión comercial y muchos otros factores.

## **Objetivos del proyecto**

### **Objetivo general**

- Proponer una metodología de diseño para la obtención de un herramental de posicionamiento de soldadura rotacional de manera estandarizada, validando el diseño con un análisis estructural mediante la simulación de elementos finitos.

### **Objetivos específicos**

- Documentar la literatura relevante sobre estrategias de estandarización de componentes mecánicos.
- Recopilar datos de los diferentes tipos de herramientas de posicionamiento existentes en la industria automotriz.
- Desarrollar un diseño paramétrico considerando características previamente definidas y seleccionar el tipo de material que se utilizará en la mesa de soldadura.
- Realizar pruebas virtuales mediante elemento finito para evaluar la combinación de casos de carga.
- Validar y poner en marcha el diseño paramétrico obtenido durante el estudio.

## **Hipótesis del proyecto**

Es factible generar un diseño paramétrico con una metodología de estandarización a través de un análisis estructural mediante simulaciones de elemento finito considerando diferentes escenarios de carga, que determinen la selección del material y establezca un modelo principal definido como la base de la mesa, que cumpla con los estándares de seguridad y calidad requeridos por la industria.

Variable independiente: Las variables independientes que se utilizan en el proyecto son las dimensiones del producto (largo, ancho, alto).

Variable dependiente: La principal variable que depende de los diversos factores es la mesa de soldadura (Core), también se considera el tipo de material y los soportes.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo se presenta la documentación necesaria para comprender la estandarización de un producto y el desarrollo de posicionadores de soldadura que facilitan al operario un mejor desempeño en su área de trabajo.

#### 1.1 Estandarización

La demanda de los mercados para cubrir las necesidades de los clientes promueve la competencia y la innovación entre las empresas para obtener un mayor número de clientes. Es necesario que las empresas se mantengan en constante mejora, de lo contrario el 25% de estas podrían desaparecer, esto debido a la falta de modernización en los procesos de producción que no se adaptan a las mejoras continuas de la globalización. Una estrategia para lograr ser competitiva es la estandarización, ya que reduce tiempo de producción y aumenta la productividad (Espindola & Hernández, 2020).

Según la ISO, define un estándar como “acuerdos documentados que contienen especificaciones técnicas u otros criterios precisos para ser usados consistentemente como reglas, guías o definiciones de características para asegurar que los materiales, productos, procesos y servicios cumplan con su propósito”. Entonces, un estándar es un conjunto de normas y reglamentos escritos que serán difundidos para entidades o personas que hagan usos de ésta (Sánchez, 2019). En la figura 1.1 se muestra el objetivo de la estandarización, en donde integra procesos ambiguos para obtener un flujo constante del proceso.



**Figura 1.1** Estandarización

Fuente: (Piñero, 2019)

### *1.1.1 Origen de la estandarización*

La estandarización existe desde que la historia ha sido registrada, utilizadas por los antiguos babilonios y egipcios, para determinar los días, luego las horas y minutos. En 1120, en Inglaterra se estableció la medida de longitud denominado “codo” (Vazquez & Labarca, 2012).

Años más tarde durante la revolución industrial a principios del siglo XIX, es evidente a nivel global los avances de la tecnología. Uno de los grandes avances en la movilidad es la máquina de vapor y el ferrocarril, con ello el primer desafío fue la construcción de los rieles de manera estandarizada para el desplazamiento de los trenes, entre diferentes países, tenían que ponerse de acuerdo en el diseño, dimensiones, material, entre otras características que cumplieran con los requerimientos para un desplazamiento seguro y de calidad. Para este entonces también se integra el telégrafo un medio de comunicación para propagar noticias e información relevante de manera rápida y eficiente entre las empresas e industrias de diferentes países (Muñoz, 2006).

A finales del siglo XIX (1884), en Estados Unidos de América se fundó el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, por sus siglas en inglés), una organización dedicada a promover la innovación y la eficiencia tecnológica para el beneficio de la humanidad (IEEE, s.f.).

En Europa en 1906, se fundó la Comisión Internacional de Electrotecnia (IEC), la cual se encarga de los estándares para la ingeniería eléctrica y electrónica. También la creación de Instituto Nacional Americano de Estándares (ANSI), un organismo muy importante en la estandarización a nivel mundial, fundado en 1918. Para 1947 al culminar la segunda guerra mundial se fundó la Organización Internacional para la estandarización (ISO), siendo el organismo cuyo objetivo es la regulación y establecimiento de estándares, que engloba diversas áreas de conocimiento (Muñoz, 2006).

Actualmente existen diversas normas nacionales e internacionales de estandarización a la que se rigen las empresas para los procesos de producción, tipos de productos y gestión administrativa.

### *1.1.2 Estandarización de un producto*

La estandarización de un producto busca establecer un conjunto de características, requisitos y especificaciones concretas para un determinado producto, el objetivo principal es garantizar un producto de calidad, facilitar la producción, integración en el mercado y el uso de manera universal.

La estandarización del producto puede incluir productos tecnológicos, productos de consumo y productos industriales. Los productos estandarizados buscan reducir variables, minimizar errores, reducir costos y facilitar la fabricación para una mayor distribución a los usuarios. El proceso debe ser sometido a pruebas y evaluaciones exigentes que garanticen la calidad y seguridad del producto (Cimec, 2019).

### *1.1.3 Tipos de estándares*

Existen tres tipos de estándares: de facto, de jure y los de propietarios:

- De facto: Estos estándares son aquellos que tienen una gran inclusión y aceptación en el mercado, pero aún no son estándares oficiales. Son publicados por comités o un área específica de la empresa que quiere introducir un nuevo producto al mercado, si una organización adopta este estándar, se convierte en un estándar de jure (Muñoz, 2006).
- De jure: También conocido como oficial, es definido por organizaciones o grupos oficiales tales como ITU, ANSI, ISO, entre otras, estos estándares son difundidos por grupos con áreas del conocimiento distintas que contribuyen con ideas para el desarrollo de un estándar específico (Muñoz, 2006).
- De propietarios: Son estándares de propiedad de una corporación o empresa y su uso no logra una alta penetración en el mercado, se puede decir que solo se rige de manera interna, si se logra tener éxito con este estándar, puede convertirse en un estándar de facto e inclusive en un estándar de Jure si es aprobado por una organización oficial de estandarización (Muñoz, 2006).

### *1.1.4 Importancia de la estandarización*

Generalmente la estandarización se basa en que los consumidores a nivel mundial comparten las mismas necesidades, de manera que se pueden aplicar apelaciones universales para convencer a todos. Es importante debido a que las empresas internacionales mantienen una imagen consistente a nivel global, se minimiza la confusión e incertidumbre de los compradores alrededor del mundo, también permite el desarrollo de campañas únicas en diversos mercados y lo más importante permite el ahorro en los costos de producción (Sanyes, 2016).

La estandarización de un producto es muy importante en diferentes áreas y sectores, los beneficios más comunes son:

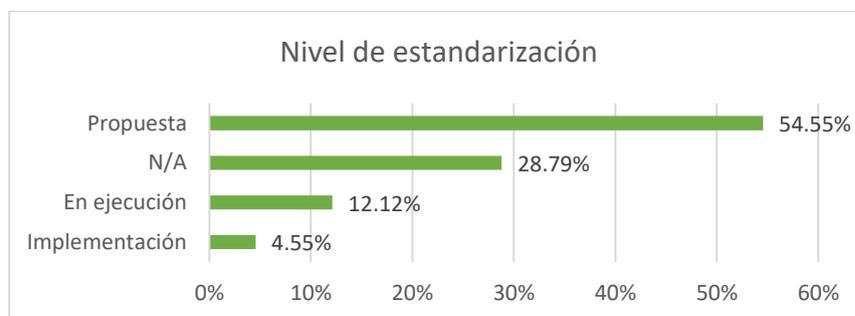
- Mejorar la calidad y seguridad de los productos. La estandarización ayuda a que se cumplan ciertas características y requisitos de calidad y seguridad. Estas características reducen accidentes y mejoran la confianza del cliente.

- Facilitar la producción y el intercambio: La estandarización de productos permite que las industrias produzcan los componentes de manera más eficiente y estable, también hace posible el intercambio entre fabricantes y usuarios.
- Promover la competencia y la innovación: La técnica de estandarizar permite comparar los productos entre empresas y así fomentar la innovación y la competencia en el mercado.
- Mejorar la interoperabilidad de los productos: Estandarizar puede garantizar que muchos de los productos fabricados sean compatibles y se puedan trabajar de manera efectiva.
- Ayuda a proteger la salud y el medio ambiente: El desarrollo de esta técnica minimiza el impacto de los productos en el medio ambiente y la salud de las personas en general. Deben cumplir requisitos y ciertos límites para el uso de materiales o sustancias tóxicas. (Cimec, 2019).

#### 1.1.5 Niveles de la estandarización

Según (Espindola & Hernández, 2020) el nivel es el alcance que tiene la estandarización de las diferentes contribuciones en el último siglo. A pesar de que estandarizar aumenta la productividad y ayuda a la reducción de la variación de los procesos y productos, se evidencia que las aportaciones académicas referentes a estandarización se han reducido.

Para determinar el alcance que tienen las investigaciones de estandarización se clasifican en cuatro niveles, implementado se refiere a una propuesta estudiada que ya obtuvo resultados y fue aprobada, en ejecución cuando una investigación sigue en la etapa de estudio sin obtener resultados, propuesta es cuando se presenta una idea inicial para estandarizar un producto o un proceso para ser estudiada mediante una investigación y N/A son investigaciones que no son posibles iniciar una implementación de estandarización. En la figura 1.2 se representa el nivel que han alcanzado las distintas contribuciones de estandarización.



**Figura 1.2** Niveles de estandarización

## 1.2 Ergonomía

Según la Asociación Internacional de Ergonomía, la ergonomía es una ciencia de carácter multidisciplinar, estudia la interacción entre el operador, la actividad que realiza y los elementos alrededor de su puesto de trabajo, con la finalidad de disminuir la fatiga y estrés. Se busca adecuar los productos, el puesto de trabajo y entornos a las características y necesidades de los operadores; buscando la seguridad, aumentar la eficacia, confort y el rendimiento del sistema en general (ADEA, 2020).

El diseño ergonómico de los puestos de trabajo es un aspecto muy importante que contribuye a la disminución de los riesgos laborales y el esfuerzo físico, garantiza la seguridad y la salud del operario, también, aumenta el confort para la ejecución de una determinada tarea y el aumento de la productividad (Rodríguez & Pérez, 2011).

### 1.2.1 Tipos de ergonomía

Los ergonomistas contribuyen a diseñar tareas, productos, herramientas, el entorno y sistemas para hacer compatibles con los requerimientos y necesidades de las personas. Se toma en cuenta el factor físico, cognitivo, social y organizacional (Salinas, 2022).

- Ergonomía física: es la más importante, los empleadores priorizan la seguridad física del trabajador, ya que es la interacción directa de la persona con el entorno, máquinas y herramientas que se manipulan diariamente. La ergonomía física analiza la anatomía, antropometría y la biomecánica en relación con la actividad física, incluye la postura en el trabajo, manejo de manuales, disposición y ambiente de trabajo (Salinas, 2022).
- Ergonomía cognitiva: se basa en la capacidad del trabajador de procesar información e interactuar con el producto y su entorno, se puede decir que este tipo de ergonomía se centra en los procesos mentales, la función cognitiva y la interacción a nivel psicológico (Salinas, 2022).
- Ergonomía Organizacional: está relacionada entre el objeto y la organización, examina la manera de optimizar los puestos de trabajo, fomentar el trabajo en equipo, mejorar la comunicación y aumentar la productividad (Salinas, 2022).

### 1.2.2 Influencia de la ergonomía en la productividad

Un proyecto o un trabajo determinado es exitoso debido a los operadores, es indispensable la capacitación continua y buenas condiciones para sus actividades. El objetivo de la ergonomía siempre busca entregar al trabajador los medios necesarios para el cumplimiento de sus obligaciones de manera idónea (Sánchez, 2019).

Conocer las necesidades de los operadores, las principales actividades y movimientos que realiza durante su jornada laboral, es el primer paso para garantizar una buena ergonomía. No se puede ofrecer el mismo equipo de trabajo a todos por igual, ya que, aunque realicen la misma actividad, los operadores no tienen las mismas proporciones físicas. Esto hace que los herramientas sean adaptables a los operadores (Sánchez, 2019).

La ergonomía cumple un doble objetivo en la industria; el primero es garantizar la salud física de los operarios, un confort en la manipulación de los herramientas y evitar la mala postura al momento de realizar la actividad que pueden generar lesiones. El segundo objetivo es cuidar la salud psicológica, la satisfacción de los operarios, garantiza un aumento en la productividad de la industria (Sánchez, 2019).

### 1.2.3 Métodos de evaluación ergonómica

Los métodos ergonómicos permiten identificar y valorar los riesgos de los operadores en las áreas de trabajo. Se obtiene una base de datos las cuales permite buscar soluciones y proponer opciones para modificarlo; con ello se puede reducir el riesgo y adoptar niveles tolerables para un ambiente de trabajo satisfactorio. Es importante considerar las demandas y necesidades de las personas y los efectos en su bienestar, en la Tabla 1.1 se presentan los métodos de evaluación ergonómica.

**Tabla 1.1** Métodos de evaluación ergonómica.

<b>Métodos ergonómicos</b>	
RULA (Rapid Upper Limb Assessment)	Evalúa posturas inadecuadas que adoptan los operarios e investiga las lesiones de los miembros superiores del cuerpo.
REBA (Rapid Entire Body Assessment)	Significa valoración rápida del cuerpo completo, evalúa el nivel de riesgo al que está expuesto el trabajador, provocado por posturas inadecuadas.
OWAS (Ovako Working Analysis System)	Evalúa el nivel de riesgo de exposición de piernas, espalda y brazos: realiza una indagación de manera ergonómica de la carga postural.
EPR (Evaluación Postural Rápida)	Evalúa de manera general la carga postural de la persona en el transcurso de su jornada laboral, mediante un examen preliminar.

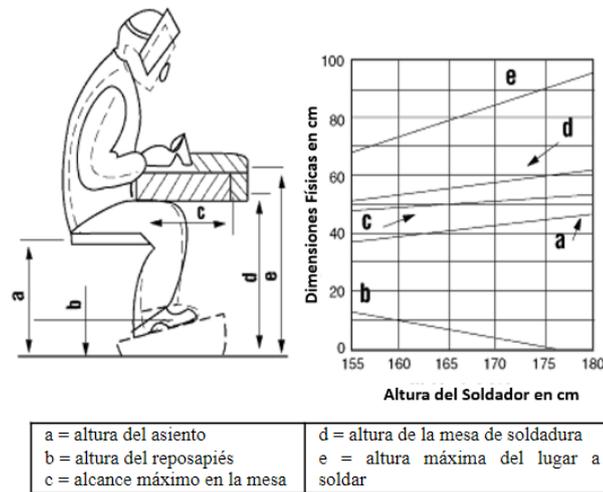
**Fuente:** (Albarracin Flores & Carpio Mendoza, 2020)

### 1.2.4 La ergonomía en los procesos de soldadura

En la industria de manufactura el factor de la ergonomía contribuye a un aumento en la producción, mediante el confort físico y mental del trabajador,

El área de trabajo del soldador es generalmente un ambiente hostil, expuesto a radiación óptica, altos niveles de ruido y humo de soldadura. El proceso de soldadura es una actividad indispensable en la industria manufacturera, implica una alta demanda de fuerza muscular y precisión manual, principalmente se realizan trabajos de soldadura en las chapas y tuberías metálicas, luego de pasar por varios procesos en la línea de producción como corte, doblado, punzonado, ensamblaje y suelda para obtener el producto terminado (Rueda Hinojosa, 2021).

Durante el proceso de soldadura existen factores de riesgo, donde la lumbalgia es un trastorno muy común, las regiones del cuerpo más afectadas son la columna lumbar, columna cervical y miembros superiores, para evitar estos daños el diseño óptimo del puesto de trabajo evita esfuerzos innecesarios en la línea de producción (Rueda Hinojosa, 2021). En la figura 1.3 se da a conocer el diseño de banco de trabajo estándar de en una mesa de soldadura según el Centro Canadiense de Salud y Seguridad Ocupacional.



**Figura 1.3** Banco de trabajo de soldadura

**Fuente:** (CCOHS, 2017)

Las molestias por posturas inadecuadas en el proceso de suelda, pueden volverse crónicas, si no son tratadas a tiempo, por lo tanto, los herramientas deben adaptarse al trabajador, brindando seguridad y confort al realizar las actividades (Rueda Hinojosa, 2021).

En el proyecto se trabaja en una mesa de soldadura rotacional que sea adaptable a los requerimiento y necesidades del operador. Se considera la altura y la rotación de los herramientas, los cuales deben posicionarse en un lugar cómodo y de fácil acceso para el trabajador, para ello se ha considerado la siguiente normativa divulgada por el instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo. Ley de Riesgos Laborales (1995). Ley 31/1995, de 8 de noviembre. Boletín Oficial del Estado, 269, 1-011. Punto de comprobación 57: Ajustar la altura de trabajo a cada trabajador, situándola al nivel de los codos o ligeramente más abajo

### 1.3 Posicionadores de soldadura rotacional.

#### 1.3.1 Mesas de soldadura

El proceso de soldadura ha evolucionado junto con la industria, convirtiéndose en un método fiable, eficiente y económico para la unión de piezas metálicas, actualmente se considera un método principal para el aumento de la productividad de la industria y para ello es necesario una superficie capaz de soportar grandes cargas y que mantenga firme la pieza, mientras se realiza el proceso (Castilla Madrigal, 2018).

Una característica fundamental para la fabricación de productos con precisión es tener una buena superficie para apoyar las piezas en los procesos de soldadura. Es necesario una mesa bien diseñada que posicione y sujete las piezas donde deben estar mientras se realiza el proceso de soldadura. Como una de las características debe ser fabricado con un material no inflamable, para evitar riesgos de incendios. En la figura 1.4 se puede observar una mesa de soldadura fija, en donde se coloca el producto y el soldador debe realizar el proceso rodeando la mesa.

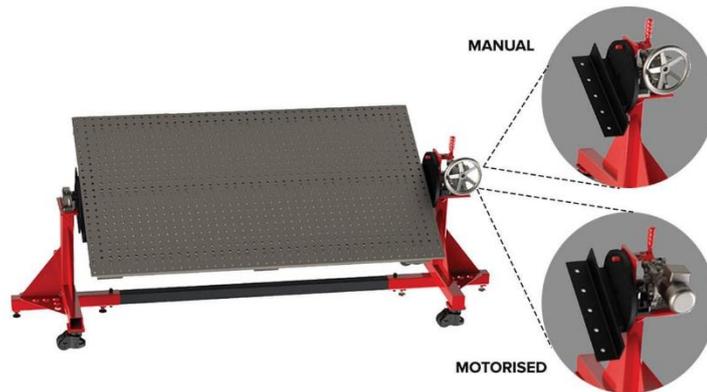


**Figura 1.4** Mesa de soldadura de posición fija

**Fuente:** (Baileigh, 2023)

Las mesas de soldadura pueden ahorrar mucho tiempo a los operadores durante el proceso, al mismo tiempo mejoran la calidad de la soldadura final y se crea un entorno de trabajo más seguro.

Una mesa de soldadura también se puede girar, de manera que no sea necesario voltear manualmente una pieza para alcanzar lugares que se desean soldar. El objetivo de estas mesas rotativas es adaptarse a las necesidades del operador, con esto se obtiene una mayor precisión, seguridad y productividad. En la figura 1.5 se puede observar una mesa de soldadura adaptado a un posicionador lo que permite voltear sobre un eje.



**Figura 1.5** Mesa de soldadura en un posicionador

Fuente: (Ciclotron, 2021)

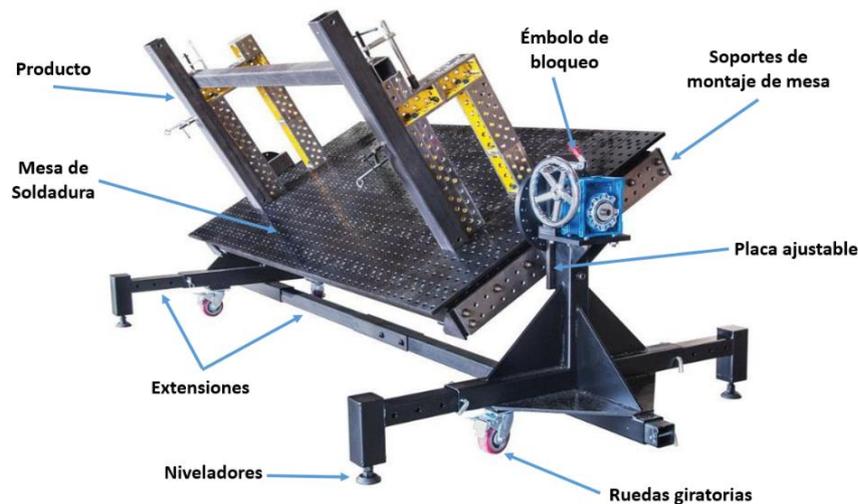
Las mesas de soldadura que se montan en los posicionadores se han introducido en el mercado de la industria automotriz para facilitar a los operadores voltear piezas que requieren grandes esfuerzos, entonces por ello es necesario un sistema de volteo que posicione los productos de acuerdo con la necesidad del operador de soldadura. La mesa y sus ángulos están diseñados mediante niveles precisos. La planitud de las mesas debe cumplir la normativa de tolerancias ISO 2768 T2 (Castilla Madrigal, 2018).

### 1.3.2 Posicionadores de soldadura

Los posicionadores de soldadura son herramientas mecánicas diseñados con el objetivo de manipular y girar la pieza de trabajo a un ángulo determinado, permitiendo a los operadores realizar una soldadura correcta en tuberías o chapas de metal sin ninguna dificultad.

En la industria, añadir un posicionador de soldadura a un proceso de fabricación aumenta la eficiencia y mejora la calidad de la soldadura. También es importante tener la capacidad de controlar la velocidad de giro y el ángulo de inclinación de los posicionadores de soldadura, esto ayuda al operador a trabajar desde una posición cómoda y aumentar su rendimiento. Existen posicionadores de diferente tamaño y resistencia siendo una herramienta capaz de soportar los productos que requieren soldadura (Woodward, 2023).

El posicionador de soldadura completamente ensamblado se muestra en la figura 1.6, el cual contiene varios componentes para realizar el proceso de ensamble de los productos.



**Figura 1.6** Posicionador de soldadura

Fuente: (BuilPro, 2023)

Los engranajes helicoidales combinados con el posicionamiento del centro de gravedad, ayuda a minimizar el esfuerzo que se requiere para rotar y también, evitan la rotación libre de la mesa debido a la gravedad. La mesa de soldadura se puede girar con incrementos de ángulos variables, esto proporciona un bloqueo manual al ángulo requerido. Los posicionadores rotativos permiten girar a la mesa a una posición ergonómica para la seguridad y comodidad del operador y reducir la fatiga (BuilPro, 2023).

### 1.3.3 Ventajas de los posicionadores

Existen diversos beneficios y ventajas al usar un posicionador de soldadura al tener movimiento y flexibilidad, algunas de estas se mencionan a continuación:

- Reduce el tiempo de preparación del producto, permite al operador girar la mesa hasta una posición adecuada de soldadura, esto permite pasar rápidamente de un producto a otro, con un tiempo de inactividad mínima del soldador, la reducción de tiempos aumenta la eficiencia en al menos un 30% en la producción con respecto a las mesas fijas de soldadura.
- Se obtiene una soldadura de calidad en la unión de piezas, debido a una mejor manipulación de la suelda al momento de girar el posicionador, se garantiza que todas las soldaduras tengan el mismo aspecto en todos los ciclos de producción.
- Brinda una manipulación suave del posicionador, mantiene un centro de gravedad de la mesa lo más cercano con el eje de giro, para reducir la fuerza que se aplica al girar.
- Aumenta la seguridad del operador, posee un mecanismo de seguridad para bloquear el giro del posicionador.

- Otorga al operador un trabajo ergonómico, realizando un trabajo sin dificultades, así se reduce la fatiga de los operadores, garantizando la salud física y psicológica (Jucat, 2023).

#### *1.3.4 Tipos de posicionadores de soldadura de dos cabezales*

Para facilitar los procesos de soldadura existen diferentes tipos de posicionadores que colocan la pieza de una manera adecuada para mejorar la calidad de las soldaduras, ayuda a mantener el factor de tiempo de arco abierto. Existen dos tipos de posicionadores de dos cabezales, de un eje (movimiento vertical o rotativo) y de dos ejes (combinación de movimiento vertical y rotativo).

También son conocidos en el mercado, como posicionadores de dos columnas que permiten el levantamiento y la rotación de los objetos que se trabajen en ellos. Están diseñados específicamente para procesos de ensamble, manipulación de materiales y soldadura.

##### *1.3.4.1 Posicionador de soldadura vertical*

Se trata de un tipo de posicionador de un eje que tiene un movimiento vertical, el tipo de elevación de manera sincrónica en los dos cabezales principalmente es de cadena mediante 2 motores. Se utiliza principalmente para solucionar problemas de alta posición (ESAB, 2024).

El proceso de soldadura de los posicionadores verticales se puede realizar de dos maneras:

Vertical ascendente: el proceso de soldadura de los componentes se realiza durante el movimiento vertical de abajo hacia arriba.

Vertical descendente: en este caso el proceso de soldadura para la unión de piezas se realiza durante el movimiento vertical de arriba hacia abajo.

La ventaja de los posicionadores de columna es gran capacidad de carga, en algunos casos sus cabezales no se encuentran fijos y se disponen de manera independiente uno del otro, esto ayuda a variar la longitud, en la figura 1.7 se puede observar un posicionador de dos cabezales con un movimiento vertical.

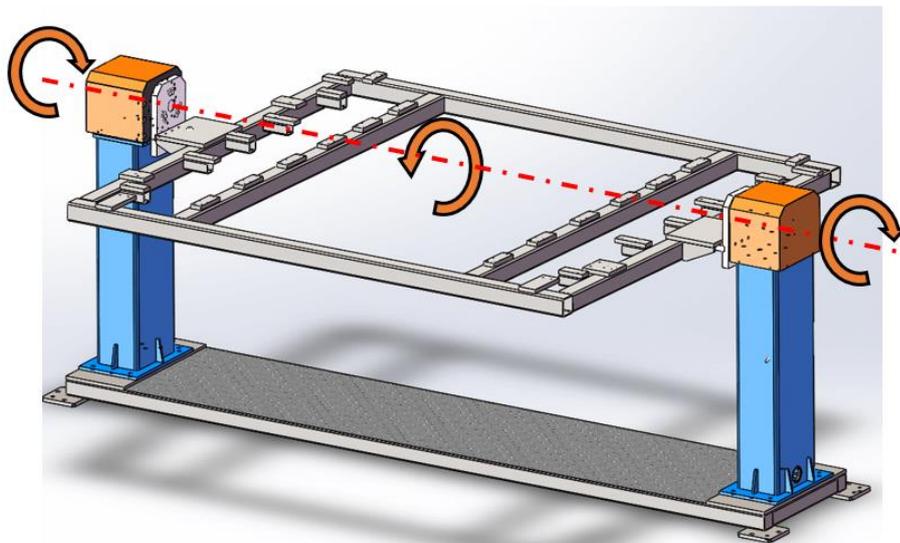


**Figura 1.7** Posicionador de soldadura de un eje vertical

Fuente: (Rogen, 2023)

#### 1.3.4.2 Posicionador de soldadura rotativo

El posicionador de soldadura con un eje de rotación contiene una mesa de soldadura, una palanca de giro si es manual, un servomotor si es eléctrico, una cubierta protectora y un bloqueo de seguridad. Este dispositivo permite girar la mesa de soldadura en sus 360° en los dos sentidos, es ideal para trabajos complejos en donde se requieren una posición y velocidad ideales en un proceso (EVZ, 2023). En la figura 1.8 se observa un posicionador de soldadura con dos cabezales compuesto por un eje rotacional.



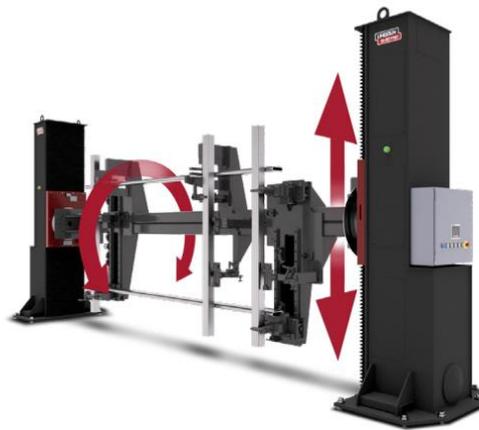
**Figura 1.8** Posicionador de soldadura de un eje rotacional

Fuente: (Lincoln Electric Company, 2022)

El mecanismo es construido con un material resistente, para soportar grandes cargas, puede ser manual o adaptarse a diferentes marcas de motores eléctricos que funcionen con corriente alterna (AC), se pueden adaptar diferentes tipos de mesas de soldadura con un ancho o longitud variable, los acabados de pintura pueden ser específicos o determinados por el cliente (Motion Index Drives, 2023).

#### 1.3.4.3 Posicionador de soldadura de dos ejes (combinado)

Este tipo de posicionador es una combinación de posicionador con movimiento vertical y el posicionador con movimiento rotacional. Estos posicionadores de dos cabezales con elevación e inclinación aumentan la productividad hasta en un 40%, además ofrecen seguridad, ergonomía y eficiencia en el proceso de soldadura, en la figura 1.9 se evidencia un posicionador de dos cabezales con un eje vertical y un eje rotacional (ALM, 2024).



**Figura 1.9** Posicionador de soldadura de dos ejes (combinado)

**Fuente:** (Lincoln Electric Company, 2022)

Los posicionadores de dos cabezales con dos ejes otorgan acceso a casi toda la pieza, mediante la manipulación de giro en 360° en ambas direcciones. Su centro de gravedad se mantiene lo más cerca posible al centro de giro permitiendo aplicar un menor torque al momento de girar (Dariusz, 2019).

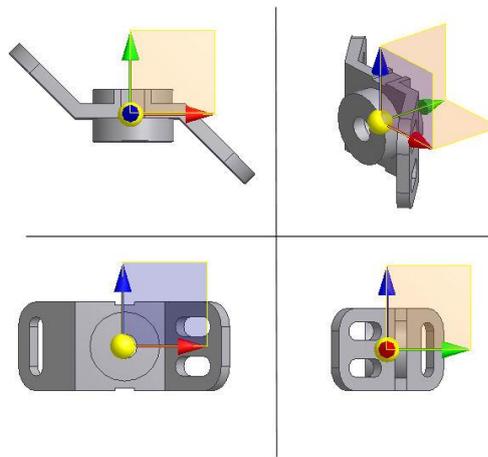
## 1.4 Centro de gravedad

El centro de gravedad es una posición que está definida con respecto a un objeto o un sistema de objetos de estudio, es el punto en donde se considera concentrado todo el peso del objeto en análisis, en presencia del campo gravitatorio del planeta, el centro de masa coincide con el centro de gravedad (Talavera, Pezet, & Lazoz, 2023).

Para localizar el centro de gravedad existen dos métodos:

- Método dimensional, utilizado para cuerpo simétricos.
- Método de equilibrio mecánico, se utiliza para cuerpos asimétricos o irregulares (Talavera, Pezet, & Lazoz, 2023).

En el software como SolidWorks, Catia, NX, CREO, entre otros, es más fácil obtener el centro de gravedad de una pieza previamente diseñada, los productos deben estar finalizados y sus componentes deben tener asignados sus respectivos materiales, en la figura 1.10 se observa el centro de gravedad de una pieza vista de distintos planos.



**Figura 1.10** Centro de gravedad mediante Software CAD

**Fuente:** (Autodesk, 2023)

En un análisis con centro de gravedad se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- El centro de gravedad tiene un cambio cuando se cambia la escena del cuerpo, entonces, se debe calcular nuevamente el centro de gravedad cada que esto suceda.
- El centro de gravedad debe ser visible para ejecutar un análisis en el software.
- Es posible guardar el centro de gravedad (CDG) como función, de la pieza diseñada.
- Si en la escena se encuentra un solo cuerpo, no es necesario seleccionar para obtener el centro de gravedad, mientras que, si hay varios cuerpos en escena se debe seleccionar uno para mostrar el centro de gravedad.
- Cada vez que un cuerpo se cambia de posición, se arrastra a otra posición o se añade componentes, es necesario volver a ejecutar el análisis del centro de gravedad (Creo Parametric, 2023).

#### 1.4.1 Balance mediante la redistribución de masas

Según (Orvañanos, et al., 2022) el método de balanceo de mecanismos es utilizado para prolongar la vida útil de una máquina, con el fin de minimizar reacciones derivadas del movimiento, con esta técnica se reducen las vibraciones, el desgaste en sus ejes y la fatiga de los componentes. Para obtener los parámetros del balanceo se utilizan ecuación matemáticas complejas, en la mayoría siendo coordenadas cartesianas. Las reacciones provocadas por el movimiento pueden ser fuerzas externas y fuerzas de inercia.

Hace algún tiempo el balanceo se realizaba de manera empírica, los cálculos aritméticos no eran muy utilizados. Con la evolución de la tecnología se volvió una necesidad establecer principios teóricos para balancear un mecanismo (Orvañanos, et al., 2022).

- Balanceo estático: se considera un mecanismo balanceado, cuando permanece estacionario, es decir, cuando la fuerza total del sistema esta aplicada en su base fija. Es fácil detectar el balance ya que se encuentra en condiciones estáticas.
- Balanceo dinámico: Se considera en mecanismos en movimiento, es muy importante para reducir ruidos, desgaste y fatiga de los elementos (Orvañanos, et al., 2022).

Las soluciones de balanceo ayudan en la vida útil del mecanismo, pero su desventaja es un aumento considerable en su masa total y volviéndose complejo. La consecuencia de estas desventajas es la reducción en su rendimiento (Orvañanos, et al., 2022).

### 1.5 Guías de diseño

Una mesa de soldadura solida es indispensable para el proceso de unión de piezas, una buena mesa debe tener características importantes para permanecer estable, debe soportar el abuso a largo plazo, debe estar fabricado de un metal que no se deforme con el peso, el calor y soportar cortes accidentales.

La Normativa ASME-BTH-1-2017 proporciona criterios mínimos de diseño estructural y mecánico, la estructura se debe diseñar para cargas nominales.

Para diseñar una estructura se deben tener las siguientes consideraciones generales:

- a) Determinar el tamaño de la mesa de soldadura en largo y ancho según las necesidades en la industria.
- b) Conocer la fuerza que va a soportar el aditamento y los valores de tensión que afecta a cada elemento estructural.

- c) El aditamento debe ser construido de acero al carbono de alta resistencia con una baja aleación o aleaciones de carbono tratados térmicamente que cumplan los requisitos previstos. Se puede diseñar la estructura considerando otros materiales siempre que estén dentro de los márgenes de seguridad y de vida útil a los requeridos en esta norma.
- d) La soldadura para la unión de los componentes debe cumplir con los requisitos de la normativa AWS D14.4 / D14.1M

### 1.6 Soldadura y zonas afectadas por el calor

La soldadura garantiza la confiabilidad de mantener unidas las piezas y conjuntos metálicos de un producto terminado, debe cumplir con la calidad requerida por los clientes. Un paso fundamental es comprobar la compatibilidad del material base con el metal de soldadura, tomando en cuenta las investigaciones e innovaciones de nuevos materiales de aportación. (Niebles & Arnedo, 2009)

La Zona Afectada por el Calor (ZAC), se refiere a la zona de los materiales soldados que no ha llegado a la fusión, pero estuvieron expuestos a altas temperaturas, provocando cambios en las propiedades de los materiales.

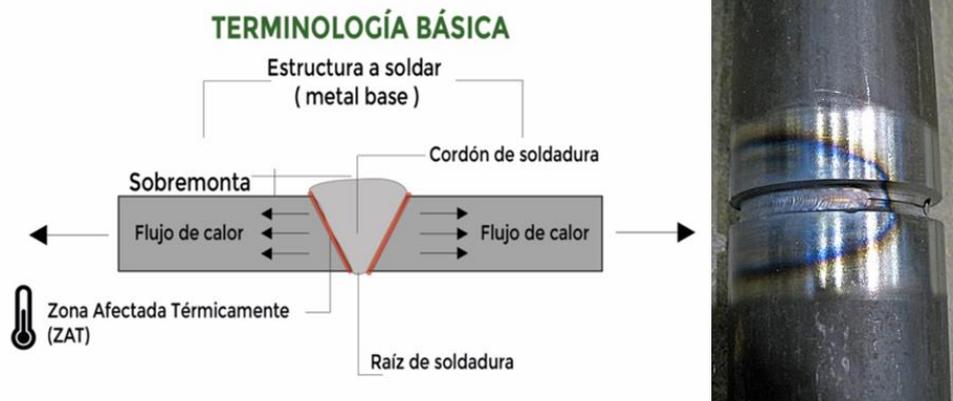
El calor aplicado para la fusión de las piezas también se transfiere a piezas adyacentes y pueden llegar a sufrir cambios debido a las altas temperaturas, por ejemplo, los aceros metalúrgicos tienen una temperatura crítica inferior de 723°C y una temperatura de fusión de 1480°C, entonces los aceros que son expuestos a temperatura superiores a 723°C experimentarán cambios en la microestructura y en sus propiedades mecánicas. Teoría referente a la soldadura se puede ver de una manera detallada en el libro Manual de Soldadura 9ª edición de V. W Hartmann.

La estructura en el cual se trabaja el proceso de soldadura (aditamento) sufre un constante ciclo de calentamiento y enfriamiento, la consecuencia de cambio de la temperatura y el peso que soporta el aditamento provoca un desplazamiento, obteniendo cambios de sus dimensiones originales. El calor que se transmite sin contacto de material desde el punto de soldadura se conoce como radiación de calor, un ejemplo de esto se muestra en la figura 1.11.



**Figura 1.11** Transferencia de calor

En la figura 1.12 se evidencia las zonas afectadas por el calor en el proceso de soldadura sobre la superficie de una pieza.



**Figura 1.12** Zona afectada por el calor

**Fuente:** (RMB,2024)

### 1.7 Instrucciones de seguridad

El equipo de seguridad se utiliza durante todo el proceso de soldadura, ya que están expuestos a arcos brillantes y calientes, chispas, humos de suelda, energía radiada ultravioleta e infrarroja, componentes calientes, gases nocivos, entre otros factores. La responsabilidad de utilizar el equipo necesario en su jornada de trabajo y de conocer el funcionamiento de las máquinas a cargo, recae sobre el operador (Gullco, 2018).

Para que el proceso de soldadura se realice sin complicaciones se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones antes de trabajar en el posicionador:

- Para mantener los componentes seguros y evitar lesiones en los operarios, se debe verificar que el conjunto de soldadura este asegurado antes de girar el posicionador.
- Los operarios deben mantener una distancia considerable antes de girar el posicionador.
- Se debe asegurar que el émbolo de bloque este desenganchado antes de girar el posicionador para evitar daños.
- Cuando se coloque la mesa de soldadura en la posición deseada, se debe asegurar de enganchar el émbolo, con el fin de mantener fijo el conjunto.
- Para evitar que la mesa se vuelque se debe asegurar que el conjunto este balanceado.
- Verificar que los tornillos estén con el torque requerido, antes de girar el conjunto (BuilPro, 2023).

### *1.7.1 Prevención de descargas eléctricas*

- No utilizar el posicionador con motor eléctrico en lugares húmedos o mojados, evitar que el equipo este bajo la lluvia.
- No tocar el electrodo o partes eléctricas sin protección o con la ropa húmeda.
- Mantener los cables a una distancia que no afecte el calor de la soldadura, del aceite o componentes afilados que puedan causar daño al sistema.
- Inspeccione todos los cables del sistema de manera periódica y arreglar o reemplazar de ser necesario.
- El cable de alimentación debe estar conectado solo cuando se realice el proceso de soldadura, caso contrario verificar que permanezca desconectado.
- Para dar mantenimiento de servicio al sistema se debe desconectar la fuente de alimentación, para evitar descargas eléctricas (Gullco, 2018).

Nota: No se debe empezar a utilizar el posicionador de soldadura, sin antes haber leído las instrucciones de seguridad.

## CAPITULO II

### 2 METODOLOGÍA Y RECOPIACIÓN DE DATOS

#### 2.1 Introducción

Según (Balestrini, 2006) define que la metodología “es el conjunto de procedimientos lógicos, tecno operacionales implícitos en todo proceso de investigación, con el objeto de ponerlos de manifiesto y sistematizarlos; a propósito de permitir descubrir y analizarlos supuestos del estudio y de reconstruir los datos, a partir de los conceptos teóricos convencionalmente operacionalizados”

La metodología hace énfasis a la pregunta ¿Cómo se desarrolla la investigación?, se trata de seguir un procedimiento lógico y ordenado, el propósito fundamental es demostrar la verdad de los enunciados planteados, en otras palabras, es la vía para llegar a la meta planteada en la investigación.

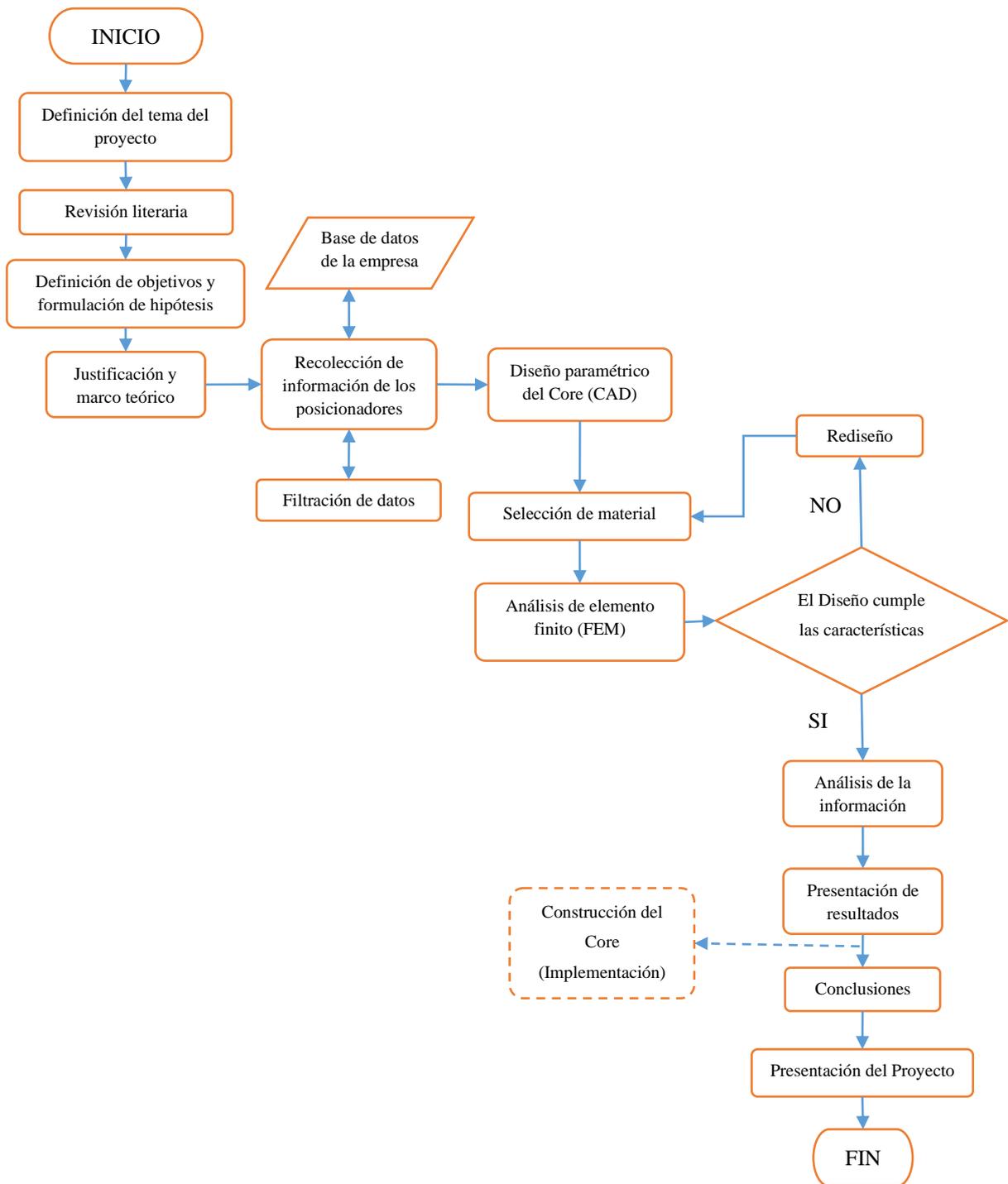
#### 2.2 Desarrollo de la estandarización

En este apartado se da a conocer el procedimiento que se lleva a cabo para conseguir los objetivos planteados en el proyecto, mediante un diagrama de flujo que se muestra en la figura 2.1, en la cual se indica la actividad que se debe realizar de manera sistemática, buscando obtener un producto terminado que cumplan con los estándares requeridos por los operarios.

(Alarcón Llano, 2016) enumeró ciertos pasos para la estandarización de un proceso, estos son descritos a continuación con un enfoque al producto:

- Diagnosticar el producto actual a estandarizar, mediante la colección de información y datos que se tengan al alcance.
- Identificar un método para estandarizar y diseñar el producto que se ajuste a los requerimientos.
- Planear un prototipo mediante un diseño CAD.
- Ejecutar simulaciones y monitorear los puntos débiles de la estructura para una posible mejora.
- Rediseñar y mejorar el producto si es necesario.
- Difundir la información mediante fichas técnicas del producto y capacitar a las personas que harán uso de éstas.
- Mantener el producto y monitorear a través del tiempo para una posible mejora (Alarcón Llano, 2016).

En la figura 2.1 se da a conocer el procedimiento experimental que se llevó a cabo en el presente proyecto.



**Figura 2.1** Procedimiento experimental

### 2.2.1 Búsqueda y recopilación de información

La parte principal del proyecto es plantear el problema que se quiere solucionar, para ello se debe responder a las preguntas, ¿Por qué se realiza el proyecto? ¿Para qué se realiza el proyecto? ¿Cómo se realiza el proyecto?, con esto se tiene claro el objetivo que se desea alcanzar.

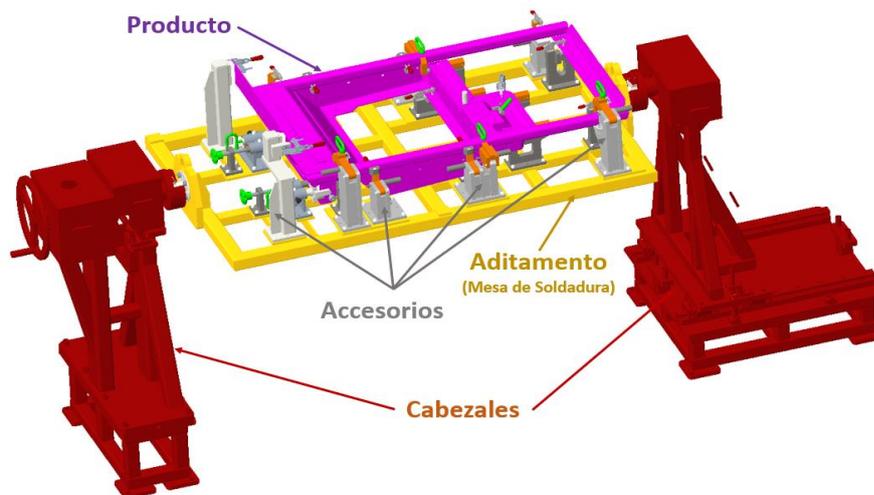
La recopilación de información relacionado con la estandarización y los posicionadores se realiza de bases de datos fiables (ScienceDirect, Web of Science, Scopus, Cielo, researchgate), también de las páginas oficiales de diversos fabricantes de posicionadores en donde hacen énfasis a las ventajas de utilizar los posicionadores de soldadura.

### 2.2.2 Técnicas y colección de datos

Se entenderá por técnicas para la recolección de datos, al procedimiento a llevar a cabo para alcanzar los objetivos, con el fin de obtener información para realizar el diseño paramétrico estandarizado de la mesa de soldadura rotacional.

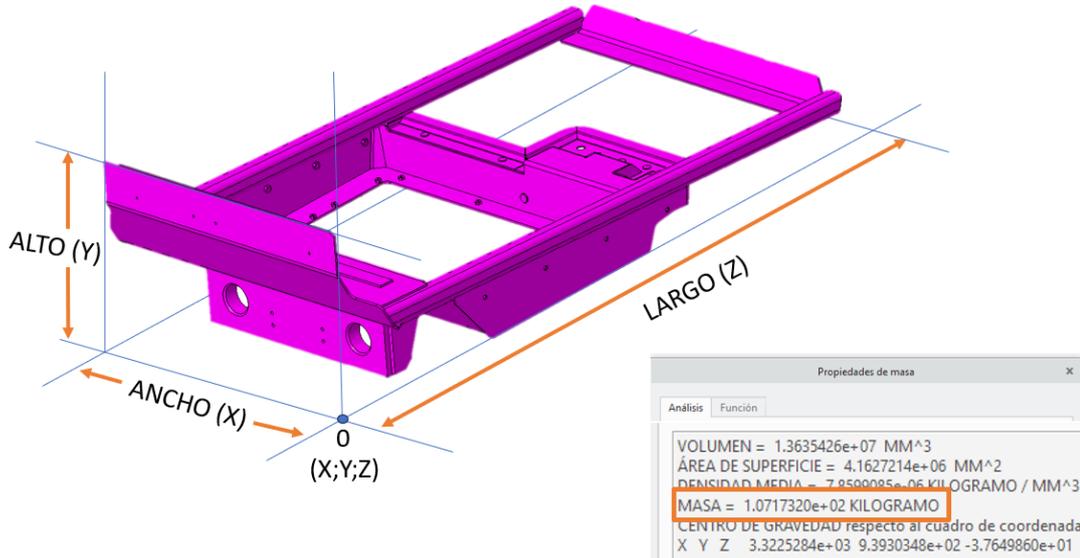
#### 2.2.2.1 Características de los aditamentos y productos

Se recopiló la información necesaria de los aditamentos existentes en la empresa y los productos que se fabrican en estos, obteniendo características tales como largo, ancho, alto, masa y centro de gravedad; de la misma manera se obtuvieron características de los accesorios y los productos, para así, verificar que el nuevo aditamento estandarizado cumpla con las exigencias del producto para el proceso de soldadura. En la figura 2.2 se observa un producto ensamblado en un posicionador para el proceso de soldadura.



**Figura 2.2** Características del posicionador

Los datos se recopilaron tomando en cuenta el número de aditamentos existentes, en los cuales se seleccionaron los productos de mayores dimensiones que se trabajan en ellos, obteniendo así un total de 53 muestras para el estudio. En la figura 2.3 se evidencia un producto con las referencias de largo, ancho, alto y masa. En el Anexo A, se puede observar los datos obtenidos de cada uno de los productos seleccionados.



**Figura 2.3** Dimensiones del producto

Fuente: Elaboración propia

De los productos seleccionados, se clasificaron según el máximo y mínimo del largo y ancho que sirvió posteriormente para definir las dimensiones del aditamento estandarizado, en la Tabla 2.1 y Tabla 2.2 se pueden observar las dimensiones máximas y mínimas de los productos.

**Tabla 2.1** Dimensiones máximas de los productos

	PRODUCTO				
	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Masa (kg)	Diámetro de giro (mm)
TAF 8_053	2448.1			594.26	
TAP 4_051		1937.23			2610
TAF 1_007			468.6		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2.2** Dimensiones mínimas de los productos

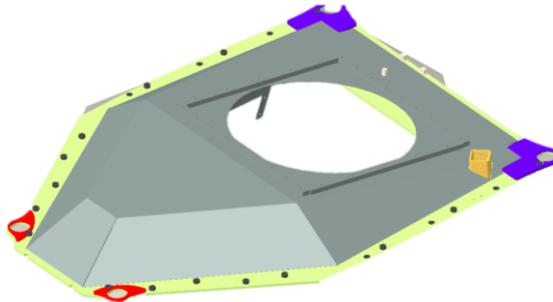
	PRODUCTO				
	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Masa (kg)	Diámetro de giro (mm)
TAP 8_002	834.6			8.83	
TAP 9_024		537.7			833.42
TAP 4_004			14		

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.2.2 Centro de gravedad de los productos

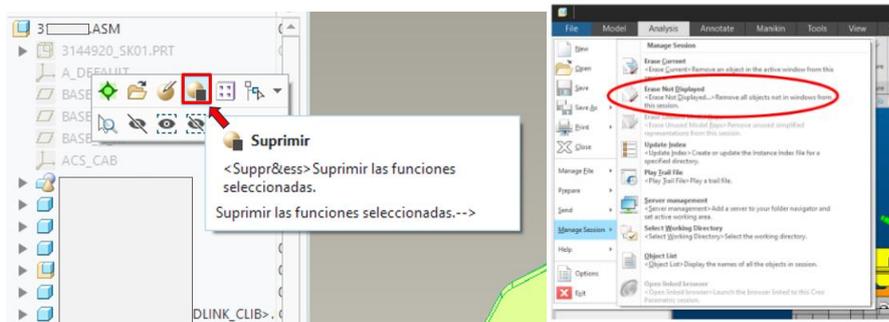
Para obtener las coordenadas del centro de gravedad de los productos en el software Creo Parametric se siguió los pasos que se detallan a continuación:

- **Paso 1:** Se comprobó que el producto este totalmente terminado, cada componente debe estar asignado sus respectivos materiales, en la figura 2.4 se puede observar un ejemplo de un producto totalmente terminado.



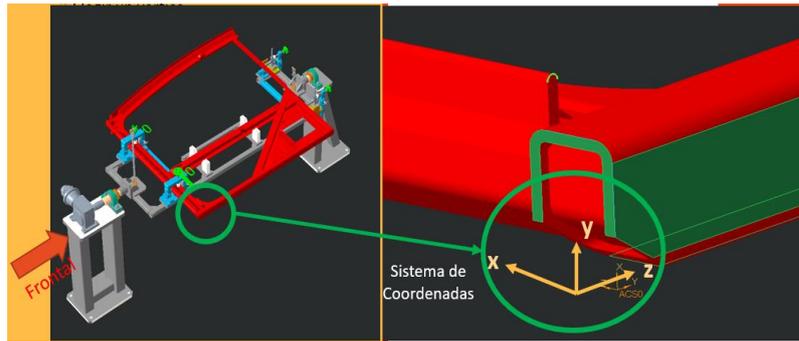
**Figura 2.4** Modelo totalmente terminado

- **Paso 2:** Se identificó los componentes a suprimir que no sean parte del producto, con el fin de obtener el centro de gravedad únicamente del producto deseado, luego se seleccionó la opción “erase not displayed” para remover por completo los detalles que se suprimieron, caso contrario los resultados serían erróneos, en la figura 2.5 se puede observar un ejemplo para suprimir los componentes no deseados.



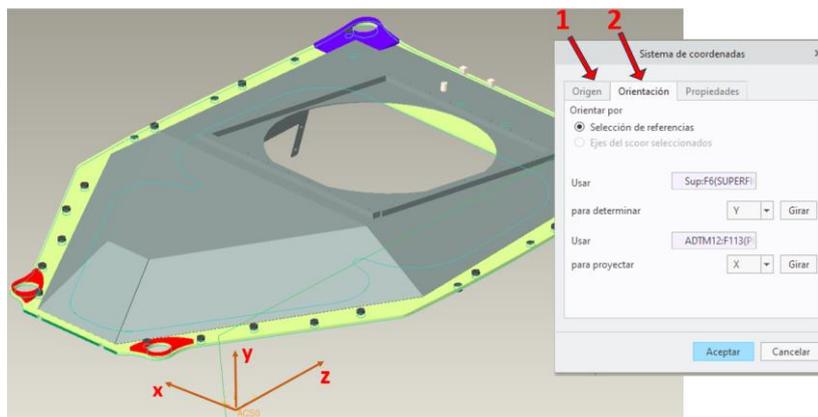
**Figura 2.5** Remoción de componentes innecesarios

- **Paso 4:** Se realizó un eje de coordenadas desde la esquina frontal derecha y se seleccionó los planos de referencia, en la figura 2.6 se observa el nuevo sistema de coordenadas, el cual fue el punto de referencia del centro de gravedad



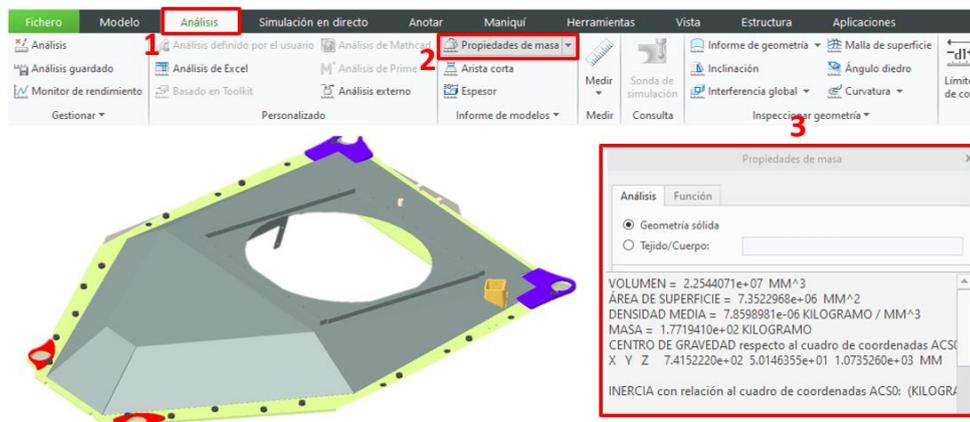
**Figura 2.6** Selección de un punto de origen para el centro de gravedad

- Luego de seleccionar los planos de referencias se modificó la orientación de acuerdo con el criterio del diseñador, en la figura 2.7 se observa la orientación de los ejes.



**Figura 2.7** Orientación para las coordenadas del centro de gravedad

- **Paso 5:** Se calculó el centro de gravedad del producto en el apartado análisis y luego en la opción propiedades de masa se visualiza el centro de gravedad del producto, como se muestra en la figura 2.8.



**Figura 2.8** Visualización del centro de gravedad del producto.

En el Anexo B, se da a conocer las coordenadas del centro de gravedad de los 53 productos seleccionados, estos datos sirvieron para posicionar el producto en el nuevo aditamento con los criterios de largo, ancho y centro de gravedad.

### 2.2.2.3 Masa de los accesorios

Los accesorios son todos los soportes y abrazaderas que sirven para la sujeción de los productos en el proceso de soldadura. La masa de estos accesorios influye de manera directa en la carga que debe soportar el aditamento estandarizado.

Para obtener la masa primero se identificó todos los accesorios que están presentes soportando el producto. Se suprimieron todos los componentes no relacionados con los accesorios, como el aditamento, producto, motor y cabezales, en algunos casos se suprimieron abrazaderas que no han sido terminados, y su masa no está en relación con los demás componentes. En la figura 2.9 se observa un ejemplo de la masa de los accesorios para un producto.



**Figura 2.9** Masa de los accesorios

De esta manera se obtiene la masa de todos los accesorios presentes para el soporte del producto, esto sirvió para determinar la fuerza que estará presente en nuevo aditamento estandarizado, en el Anexo B, se puede observar los datos obtenidos de los accesorios de cada uno de los productos.

## CAPITULO III

### 3 DISEÑO Y SIMULACIÓN

El siguiente capítulo da a conocer el procedimiento para diseñar el aditamento, consideraciones que se toman en cuenta para las dimensiones de largo y ancho del nuevo modelo, también la selección de un perfil estructural con una determinada dimensión y espesor. Para determinar la carga que soporta cada uno de los nuevos aditamentos se realiza un análisis estructural con el método de elementos finitos, en la cual se da a conocer el esfuerzo de Von Mises, el desplazamiento y el factor de seguridad, así se determina si el aditamento cumple con los requerimientos de carga y seguridad.

#### 3.1 Diseño de la mesa de soldadura

El diseño asistido por computadora de diferentes herramientas utilizados en el proceso de soldadura es un área de ingeniería en donde se trata de crear componentes con el fin de acortar el tiempo en el ensamblaje durante un proceso de soldadura.

El proceso de diseño es considerado una metodología en donde los diseñadores buscan soluciones creativas a problemas en función de los requisitos y especificaciones que se soliciten durante el proceso de soldadura. Para el estudio se tomó en cuenta 53 muestras de las cuales se determinaron las dimensiones de los productos.

##### 3.1.1 *Software de diseño*

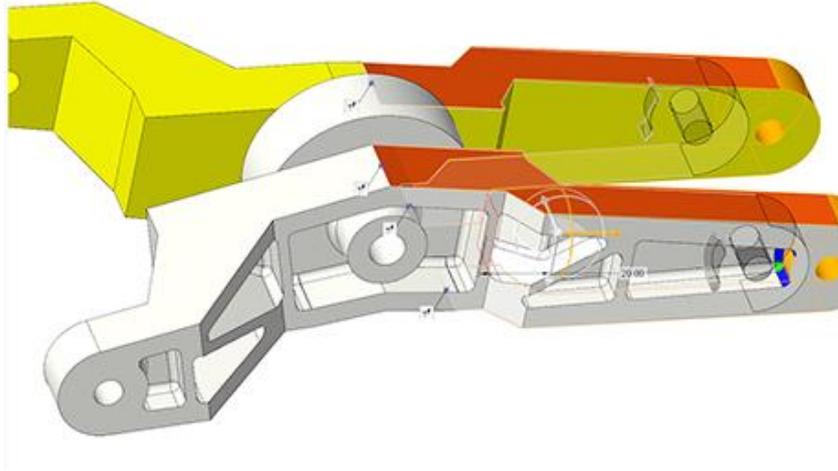
Para el diseño y simulación se utilizó el software Creo Parametric, siendo un software de modelado 3D que permite aprovechar la tecnología digital para fabricar o mejorar componentes en menos tiempo, su manejo es muy intuitivo, desde las primeras fases del modelado hasta su fabricación, además, ofrece prestaciones avanzadas de diseño generativo, fabricación aditiva, realidad aumentada, simulación en tiempo real y otras funciones (PTC, 2024).

Las ventajas de trabajar con Creo Parametric para el modelado de los productos son las siguientes:

- Es una herramienta digital que ayuda al ingeniero a diseñar, analizar y validar los productos antes de su fabricación.
- Permite realizar simulaciones, para determinar el comportamiento del producto, esto ayuda a rediseñar el modelo, optimizar el peso y con ello la reducción del costo del producto final.

- Reemplazan planos realizados en 2D por un modelado 3D.
- Ayuda a la selección de un material adecuado dentro la librería o crear un material con las características requeridas (PTC, 2024).

En la figura 3.1 se muestra un ejemplo de una pieza modelado en 3D en el software creo Parametric.



**Figura 3.1** Modelo 3D en Creo Parametric

### 3.1.2 Clasificación y dimensionamiento de los aditamentos

Para conseguir una mesa de soldadura estandarizada se siguió un proceso sistemático con los datos obtenidos en el capítulo 2, a partir de ello se dimensionó y se clasificó los nuevos aditamentos.

- En la Tabla 3.1 se da a conocer las dimensiones para estandarizar el aditamento se tomaron en cuenta el valor máximo y mínimo del largo y ancho de los productos mostrados en la Tabla 2.1 y Tabla 2.2, a partir de ello se seleccionó un rango para categorizar los nuevos aditamentos.

**Tabla 3.1** Rango para las dimensiones de los nuevos aditamentos

	Largo – Herramentales (mm)		Ancho – Herramentales (mm)	
Rango	700		600	
Dimensión_1	1400	1	1100	A
Dimensión_2	2100	2	1700	B
Dimensión_3	2800	3	2300	C

**Fuente:** Elaboración propia

- Las muestras seleccionadas se clasificaron en distintas categorías pequeño, mediano y grande, dependiendo del largo y ancho de cada producto, esto facilitó la creación de un aditamento principal y de ella diversos aditamentos que se acoplen a esta clasificación.

En la Tabla 3.2 se da a conocer la selección del aditamento, por ejemplo, para obtener el modelo 1A se seleccionó con su respectivo número y letra con una (X) en pequeño en largo y pequeño en ancho.

**Tabla 3.2** Clasificación de los nuevos aditamentos

Aditamento	Longitud - Herramental			Ancho - Herramental		
	Pequeño (1)	Mediano (2)	Grande (3)	Pequeño (A)	Mediano (B)	Grande (C)
1A	X			X		
1B	X				X	
1C	X					X
2A		X		X		
2B		X			X	
2C		X				X
3A			X	X		
3B			X		X	
3C	X			X		

**Fuente:** Elaboración propia

Para el estudio se tomará en cuenta la siguiente distribución de los nuevos aditamentos como se muestra en la Tabla 3.3, como se mencionó anteriormente esta clasificación se realizó en base al largo y ancho de los productos.

**Tabla 3.3** Aditamentos

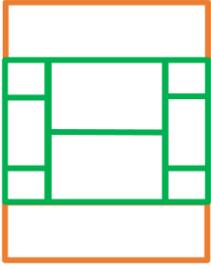
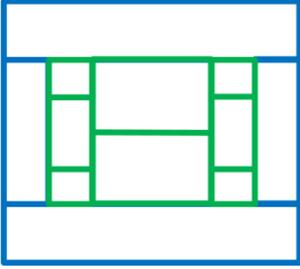
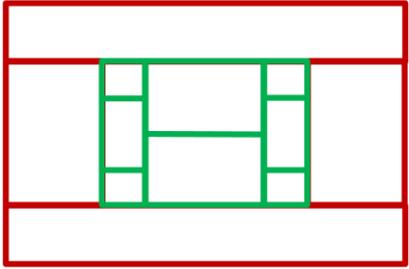
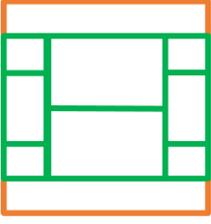
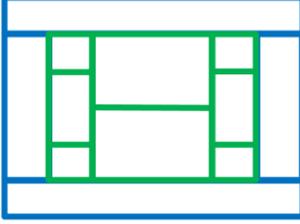
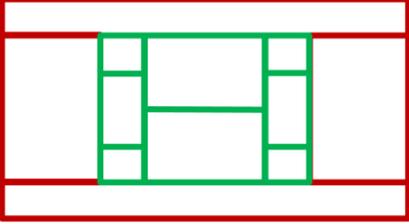
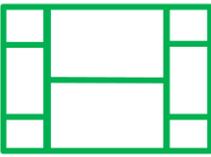
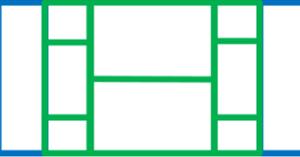
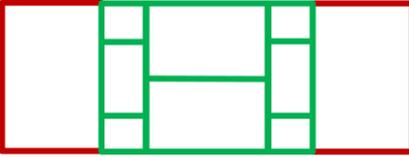
	Largo			
	Ancho	1C	2C	3C
		1B	2B	3B
		1A	2A	3A

**Fuente:** Elaboración propia

Se tomó en cuenta que el aditamento principal es el 1A, este será el modelo base para cada una de las variantes de los aditamentos. Los diseños lineales presentados sirvieron como modelos de referencia para el diseño 3D de cada uno de los aditamentos.

Para una visualización de esta clasificación se presentó la propuesta de los aditamentos de una manera gráfica en la Tabla 3.4, el cual está clasificado en largo como 1, 2, 3 y en ancho como A, B, C.

**Tabla 3.4** Diseños lineales de las mesas de soldadura

C			
B			
A			
	1	2	3

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3 Selección de productos en cada aditamento

Cada producto debe encontrarse de manera estable en el aditamento, entonces es necesario determinar el número de productos que se trabajaran en cada uno de ellos, esta selección se determina mediante el largo, ancho y centro de gravedad de cada producto.

En la Tabla 3.5 se muestra dos criterios para clasificar los productos tomando en cuenta el largo y ancho, con estos dos valores se determina el aditamento en el cual se trabajará el producto.

**Tabla 3.5** Criterios para clasificar los productos según el largo y ancho

Criterio 1: Largo (mm)			Criterio 2: Ancho		
Si	$\leq 1400$	= 1	Si	$\leq 1100$	= A
Si	$1400 \leq 2100$	= 2	Si	$1100 \leq 1700$	= B
Si	$2100 \leq 2800$	= 3	Si	$1700 \leq 2300$	= C

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta los 2 criterios se obtuvieron una concentración de productos en los aditamentos 2A y 2B como se muestra en la Tabla 3.6, estas dos variables de clasificación no fueron suficientes para establecer que un producto se encuentre estable en el aditamento.

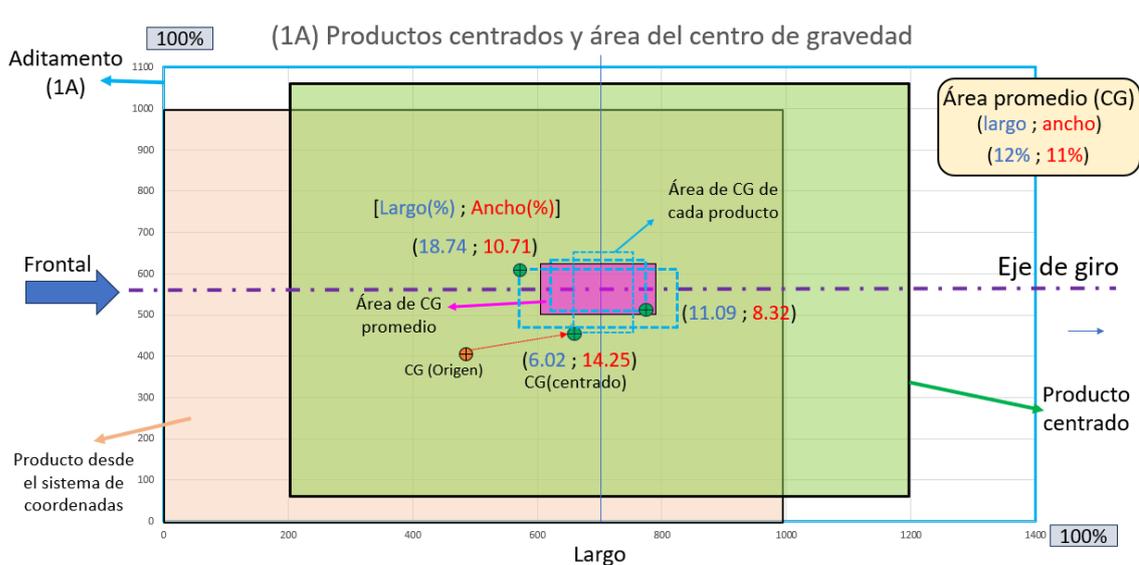
**Tabla 3.6** Número de productos según la clasificación largo-ancho

1C = 0	2C = 5	3C = 1
1B = 1	2B = 18	3B = 1
1A = 3	2A = 24	3A = 0

Fuente: Elaboración propia

Para establecer que un producto se encuentre de manera estable fue necesario considerar que el centro de gravedad del producto se encuentre en el centro del aditamento y así, mantener coincidente al eje de giro, lo que provoca un menor esfuerzo al momento de girar el posicionador.

Para mantener una relación entre el centro de gravedad del producto con respecto al centro del aditamento se determinó un área promedio mediante los centros de gravedad de los productos clasificados por el largo y ancho. En la figura 3.2 se puede observar un ejemplo del área que se forma de cada producto y el área promedio de todos los productos que contiene el aditamento 1A.



**Figura 3.2** Área del centro de gravedad.

De acuerdo con este análisis se buscó obtener un área común proporcional al largo y ancho de cada aditamento, entonces se sabe que los aditamentos 1A, 1B y 1C tienen en común el largo, por lo tanto, fue necesario obtener un promedio del largo de las áreas obtenidas de los productos.

En la Tabla 3.7 se puede observar el porcentaje obtenido mediante los porcentajes de cada uno de los productos localizados en cada aditamento. Aunque el número de muestras se

consideró 53, en este caso se añaden 2 productos de referencia para obtener un área de centro de gravedad para los aditamentos 1C y 3A que no contenían productos.

**Tabla 3.7** Porcentaje de área de largo y ancho del centro de gravedad

	Largo (%)	Numero de productos	Ancho (%)	Numero de productos
1A	11.95	3	11.09	3
1B	1.61	1	0.07	1
1C	0	1	0	1
2A	8.58	24	6.16	24
2B	7.17	18	6.18	18
2C	5.58	5	4.33	5
3A	0	1	0	1
3B	2.54	1	0.06	1
3C	0.93	1	0.12	1
Promedio	= [(largo o ancho) * Numero de productos] / 55 productos]			
	7.34 %		5.75%	

**Fuente:** Elaboración propia

El porcentaje de largo y ancho es proporcional para todos los nuevos aditamentos. Por ejemplo, para el modelo 1A será el 7.34% de 1400mm en largo y 5.75% de 1100mm en ancho, obteniendo así con estas dimensiones un área en el centro del modelo.

Entonces el tercer criterio para que un producto se encuentre de manera estable en el aditamento es que el centro de gravedad se encuentre dentro de esta área promedio determinado para cada uno de los nuevos aditamentos. En la Tabla 3.8 se observa el método para la clasificación de los productos considerando este criterio del centro de gravedad.

**Tabla 3.8** Criterios para clasificar los productos según el centro de gravedad

<b>Criterio 3: CG del producto dentro de un área determinada</b>				
Si	% área CG (largo y ancho)	≤	% área promedio CG	Se Mantiene con el criterio 1 y 2
Si	% largo CG	>	% promedio largo CG	1 → 2 → 3
Si	% ancho CG	>	% promedio ancho CG	A → B → C

**Fuente:** Elaboración propia

Considerando el criterio 3, cada producto se posicionó en un modelo en el cual permanece estable, en la Tabla 3.9 se observan los productos que cumplieron los 3 criterios de clasificación. En el caso de no cumplir el criterio de centro de gravedad, el diseñador debe evaluar el producto para trabajar añadiendo contrapesos y así cumplir con los tres criterios.

**Tabla 3.9** Número de productos con el centro de gravedad

1C = 0	2C = 6	3C = 6
1B = 2	2B = 13	3B = 5
1A = 1	2A = 12	3A = 6

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.1.4 Selección de material

Con el fin de soportar grandes cargas y estar sometido movimiento rotacional durante el proceso de soldadura, se debe seleccionar un material que cumpla todos los requerimientos necesarios de seguridad y calidad.

Las chispas y el calor generado en el proceso de soldadura del producto, tendrá efecto en el material del aditamento, para ello es necesario conocer las propiedades mecánicas de los materiales, entre ellos se encuentran los aceros estructurales por su capacidad de soportar grandes esfuerzos, siendo el más utilizado y fiable en la fabricación de estructuras metálicas.

El acero estructural tiene propiedades como:

- Alta ductilidad: Los diferentes tipos de aceros estructurales son capaces de deformarse considerablemente sin fracturarse, así pueden soportar grandes cargas.
- Dureza: Es una propiedad que tiene el acero para ser resistente al rayado y al corte superficial.
- Límite de fluencia: Posee un alto límite de fluencia, en caso de los aceros estructurales el límite está alrededor de los 250 MPa.
- Resistencia: Poseen una alta resistencia, son capaces estar sometidos a cargas sin experimentar deformaciones plásticas, es una propiedad que brinda seguridad y estabilidad.
- Uniformidad: El acero estructural a diferencia de otros materiales las propiedades no cambian con el tiempo, su resistencia y su durabilidad permanecen constantes.
- Tolerancia al calor: Puedes llegar a soportar temperaturas elevadas sin variar sus propiedades mecánicas (Aguirre & Figueroa, 2008).

Existe una gran variedad de aceros estructurales entre ellos el acero al carbono que están compuestos principalmente por hierro y carbono, además, contienen cantidades pequeñas de otros elementos como el fósforo, silicio, azufre y manganeso, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas.

La descripción de los diferentes grados de los aceros para perfiles, pernos y soldaduras está dada por la Normativa ASTM. El acero al carbono más reconocido es el designado como ASTM A36 por su límite de fluencia de 36Ksi (250MPa), es un tipo de acero muy común en aplicaciones estructurales e industriales por su alta resistencia y bajo costo. En la Tabla 3.10 se pueden apreciar algunos tipos de aceros al carbono (Aguirre & Figueroa, 2008).

**Tabla 3.10** Clasificación de aceros según ASTM

Clasificación de los aceros, según ASTM	Límite elástico		Resistencia a la tracción	
	Ksi	MPa	Ksi	MPa
ASTM A36	36	250	58 - 80	400 - 550
ASTM A53 / Grado B	35	240	> 60	> 415
ASTM A106 / Grado B	35	240	> 60	> 415
ASTM A131 / Grado A, B, CS, D	34	240	58 – 71	400 - 490
ASTM A500 / Grado A	33	228	> 45	> 310

Fuente: (Aceros crea, 2021)

Para seleccionar el tipo de material se toma en cuenta criterios como las propiedades mecánicas, el costo del material, la disponibilidad y su capacidad de ser procesado. En este caso para la construcción del aditamento estandarizado se seleccionó el acero A36. Este es uno de los grados más populares en el mercado, tiene un bajo costo en comparación a los demás aceros. Su contenido de carbono es bajo (generalmente alrededor del 0.25%) y es fácil de soldar y trabajar. Se utiliza ampliamente en la construcción de edificios, puentes y otras estructuras al ser versátil, económico, facilidad de manejo y buenas propiedades mecánicas. En la Tabla 3.11 se presentan las propiedades mecánicas del acero A36.

**Tabla 3.11** Propiedades mecánicas de acero estructural ASTM A36

Máxima resistencia a la tensión, MPa (Ksi)	400-550 (58-80)	Placas y barras
Límite elástico, MPa (Ksi)	250 (36)	Espesor $\leq$ 200mm (8in)
	220 (32)	Placas con espesor > 200mm (8in)
Módulo de Young, GPa (Ksi)	200 (29x10 <sup>3</sup> )	
Coefficiente de Poisson	0.26	

Fuente: (MatWeb, 2024)

#### 3.1.4.1 Selección de un perfil de acero estructural

Los perfiles de acero estructurales tienen una gran variedad de formas y tamaños de acuerdo con el uso, estos perfiles se identifican por su sección trasversal:

#### **Perfiles de acero laminados en caliente:**

Se obtiene mediante el calentamiento del acero que permita la deformación del material mediante un proceso de laminado hasta conseguir el perfil y medida deseada. Estos perfiles son usados comúnmente en la construcción estructural de edificaciones.

- Ángulo: se emplean para soportes en la construcción de torres metálicas, puentes, implementos agrícolas y carpintería.
- Perfiles tipo I: en el mercado se les conoce como perfiles HEB, IPE, IPN o también conocidos como vigas tipo I o vigas H. este tipo de perfiles se utiliza en estructuras de edificios, puentes, torres estructuras que soportan equipos pesados como grúas, prensas, maquinaria industrial y estructuras de alta mar. Son estructuras que están sometidos constantemente a compresión o flexión y con torsión muy insignificante.
- Planchas: se utilizan para armaduras, fabricación de tanques, fachadas, barcos, además para estructuras que requieran una superficie plana para realizar trabajos de diversas formas. En la figura 3.3 se observa algunos de los perfiles laminados en caliente.



**Figura 3.3** Perfiles laminados en caliente

**Fuente:** (CLD, 2024)

#### **Perfiles de acero conformados en frío:**

Este tipo de perfiles se obtiene mediante el doblado de planchas de acero hasta obtener el perfil deseado, se caracterizan por tener un aumento en su resistencia, aunque disminuye sutilmente su ductilidad.

- Ángulos doblados: tiene una sección transversal tipo L, debido a una mayor resistencia se utiliza en carrocerías, refuerzos, torres y marcos de puertas.
- Perfil tipo C: también conocido como canales o canales en U, utilizados en la construcción de estructuras metálicas livianas, soporte de cubiertas, y casetas.
- Perfiles en Z: tienen una sección transversal en forma de Z, proporcionan una buena resistencia a la compresión y flexión, son utilizados comúnmente en estructuras de techos, brindando una buena capacidad de solape.
- Perfil tubular rectangular (PTR): se utiliza en columnas, vigas, postes, y en la industria para construir estructuras de soporte, debido a su sección cerrada y diseño hueco proporcionan una excelente resistencia a la flexión y torsión en ambos ejes.

En la figura 3.4 se observa perfiles estructurales laminados en frío



**Figura 3.4** Perfiles laminados en frío

Fuente: (CLD, 2024)

**Consideraciones para la selección adecuada del perfil para los nuevos aditamentos:**

Momento de inercia

El momento de inercia de un perfil estructural es una medida de cómo se distribuye la masa del perfil alrededor del eje de rotación. Para el diseño de estructuras es un importante parámetro que afecta de manera directa a la rigidez y resistencia del perfil sometido a cargas de flexión. Los perfiles con un momento de inercia altos son los que más resisten a la deformación y flexión.

- Los perfiles I y H son los que poseen un mayor momento de inercia en el eje vertical debido a su distancia entre alas (ver figura 3.3). En la ecuación ( 1 ) se da a conocer la ecuación el momento de inercia de estos perfiles

$$I_x = \frac{b * h^3}{12} - \frac{(b - 2e)(h - 2e)^3}{12} \tag{ 1 }$$

Donde:  $b$  es el ancho,  $h$  es la altura y  $e$  es el espesor del perfil

- Los perfiles PTR tienen un momento de inercia bueno en ambos ejes, esto se debe a la distribución uniforme del material alrededor de la sección cerrada del perfil rectangular. En la ecuación ( 2 ) se da a conocer para un perfil rectangular.

$$I_x = \frac{B * H^3}{12} - \frac{(B - 2e)(H - 2e)^3}{12} \tag{ 2 }$$

Donde:  $B$  y  $H$ , son dimensiones exteriores y  $e$  es el espesor del PTR

Los PTR de dimensiones iguales o perfil tubular cuadrado, tiene un momento de inercia igual en los dos ejes, en la ecuación ( 3 ) se da a conocer como calcular el momento de inercia

$$I_x = \frac{B^4}{12} - \frac{(B - 2t)^4}{12} \tag{ 3 }$$

- Los perfiles Z y C no ofrecen un momento de inercia alto como los anteriores perfiles, pero pueden ser utilizados para aplicaciones específicas, en la ecuación ( 4 ) se evidencia la fórmula para calcular el momento de inercia del perfil C.

$$I_x = \frac{b * h^3}{3} - \frac{(b - e)(h - 2e)^3}{3} \quad (4)$$

Rigidez torsional

- Los PTR tienen una rigidez torsional mucho mayor a los demás perfiles al ser una sección cerrada y debido a su distribución uniforme del material alrededor de su eje de torsión.
- Los perfiles I y H tiene una rigidez torsional baja en comparación a los perfiles cerrados, debido a que su geometría no soporta las fuerzas de torsión.
- Los perfiles Z y C al ser una sección abierta, su rigidez torsional se ve reducido, pero son eficientes para diversas aplicaciones.

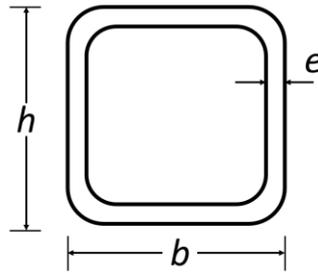
A continuación, se da a conocer una comparación de los momentos de inercia de los perfiles I, rectangular y C con dimensiones semejantes de ancho de 300 mm, altura de 200mm y espesor de 10mm. Obteniendo un momento de inercia de  $I_x \approx 600 \times 10^6 \text{mm}^4$ ,  $I_x \approx 500 \times 10^6 \text{mm}^4$  y  $I_x \approx 300 \times 10^6 \text{mm}^4$  respectivamente.

Entonces, teniendo en cuenta las características de disponibilidad, costo, momento de inercia y la rigidez torsional, se tomó en cuenta para el estudio el perfil cerrado PTR, ya que estará sometido a flexión en sus dos ejes al momento de girar el posicionador de soldadura. Y pese a tener menor momentos de inercia que los perfiles I y H, el PTR ofrece una mayor seguridad en la rigidez torsional.

#### 3.1.4.2 Selección de las dimensiones del perfil PTR

De los perfiles existentes, los PTR posee una alta resistencia, facilidad de soldar, es una opción asequible y versátil, son los más utilizados en la industria automotriz para soportar cargas considerables, estos perfiles son ideales para estructuras ligeras y proyectos de bajo costo. Además, tiene un momento de inercia uniforme debido a su sección transversal y tiene una alta rigidez torsional en comparación a los demás perfiles.

Para seleccionar las dimensiones del PTR, se hizo con referencia a los aditamentos existentes, siendo los más utilizados los tubos cuadrados y rectangulares con espesores específicos. En la figura 3.5 se observa cómo se debe tomar en cuenta el largo, ancho y espesor de los perfiles tubulares.



**Figura 3.5** Dimensiones del PTR

Siendo:  $h$  la altura;  $b$  el ancho y  $e$  el espesor

En la Tabla 3.12 se presentan algunas de las dimensiones de los PTR disponibles con sus espesores, existe una gran variedad y combinación entre el ancho y la altura.

**Tabla 3.12** Dimensiones y selección del PTR

<b>b</b>	<b>h</b>	<b>e (espesor disponible)</b>
38.1	38.1	
50.8	50.8	3.2
63.5	63.5	3.6
76.2	76.2	4.8
88.9	88.9	6.35
101.6	101.6	

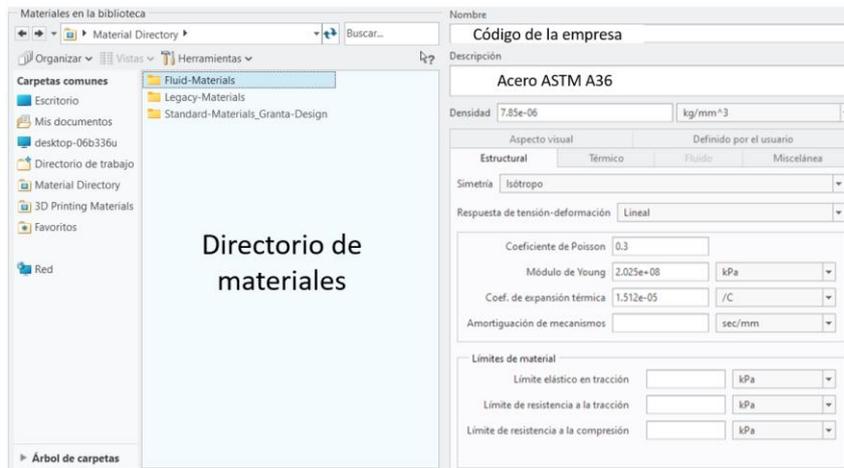
**Fuente:** Elaboración propia

Entre los tubos disponibles se calcula la media de los valores, en este caso el más cercano a la media son 63.5 y 76.2, de las dimensiones disponibles se selecciona el PTR de 63.5 mm por motivos de costo y con el mayor espesor disponible para soportar altas cargas, en el caso de no ser válido, se seleccionará el tubo con dimensiones mayores hasta encontrar la dimensión adecuada que se ajuste a los requerimientos de las variables del producto.

Más información acerca de las dimensiones disponibles de los perfiles tubulares rectangulares está disponible en los catálogos de los proveedores de acero, ver (Anexo C).

### 3.1.4.3 Asignación de material

En el caso de este proyecto se asigna el material ASTM A36 a los PTR y placas que se van a utilizar en la construcción del aditamento, este material se encuentra disponible en la biblioteca de la empresa con un código específico. En la figura 3.6 se muestra el directorio de materiales de Creo Parametric.



**Figura 3.6** Librería de materiales de Creo Parametric

El material A36 con Modulo de Young de 200 GPa, es un acero utilizado en los nuevos diseños con distintas variantes para barras, placas y aplicaciones generales de acero estructural que requieren un límite elástico mínimo de 250 MPa combinado con buena soldabilidad.

### 3.1.5 Construcción del prototipo del aditamento

- Diseño de un marco principal, el cual debe abarcar a los productos antes clasificados en la sección 3.1.2, las dimensiones dependen del largo y ancho de los productos, en la figura 3.7 se da a conocer el marco principal del aditamento (1A).



**Figura 3.7** Marco principal del aditamento

- La unión de los PTR se puede realizar de diversas maneras, como soldadura, uniones atornilladas, conectores metálicos especiales, adhesivos y pegamentos específicos y técnicas de engatillado. La selección del tipo de unión depende de la carga estructural, la facilidad de montaje y las consideraciones de costos de manufactura.

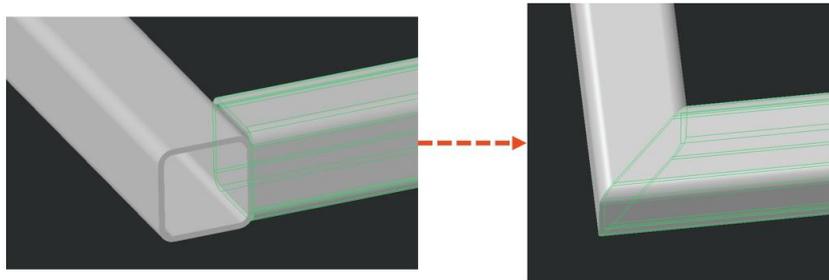
Típicamente, la unión con soldadura es la más común y robusta en la unión de los PTR, en este caso existen dos maneras de uniones de esquina a 90°.

Unión a 90° sin corte: este tipo de unión se coloca directamente un tubo contra el otro en la esquina de manera perpendicular, las ventajas son la simplicidad y rapidez al no requerir

cortes precisos en ángulo, disminuye el tiempo de manufactura y reduce el costo al no existir desperdicio de material. Pero la desventaja, es una menor resistencia estructural al tener una superficie de contacto menor en comparación con un corte de 45°, la distribución de tensiones se concentra en un área pequeña y no es adecuado para soportar cargas pesadas.

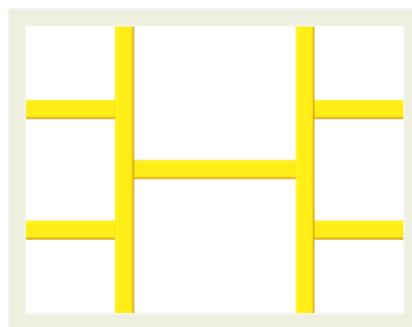
Unión a 90° con un corte de 45°: en este caso los tubos se cortan en 45° antes de ser soldados, las ventajas es una mayor resistencia estructural al tener una superficie mayor de contacto lo que permite una unión de soldadura más fuerte y duradera, las tensiones se distribuyen de manera uniforme a lo largo de su sección transversal, este tipo de unión es adecuado en estructuras que se requieren alta resistencia y deban soportar altas cargas. Su desventaja es una mayor complejidad al requerir cortes precisos en ángulo y para la aplicación de soldadura requiere mayor consumo de material de aporte.

En el proyecto para la unión de las esquinas de los PTR se seleccionó una unión con corte a 45°, debido a que deberá soportar grandes cargas, ofrece mayor resistencia y un acabado estético. En la figura 3.8 se puede observar la unión de las esquinas de los PTR en un ángulo de 90° sin corte y con corte a 45°



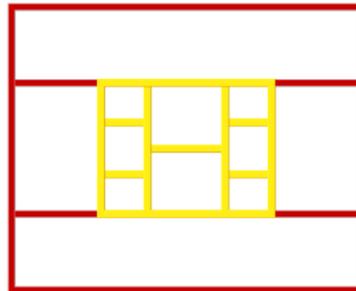
**Figura 3.8** Unión de los PTR a 90°, a la izquierda sin corte y a la derecha con corte a 45°

- Adjuntar soportes para ayudar que la estructura sea rígida y exista superficie de contacto en el centro del aditamento. En este caso en la figura 3.9 se puede observar los PTR que se añaden para el modelo 1A, este modelo será la base para los modelos de mayores dimensiones.



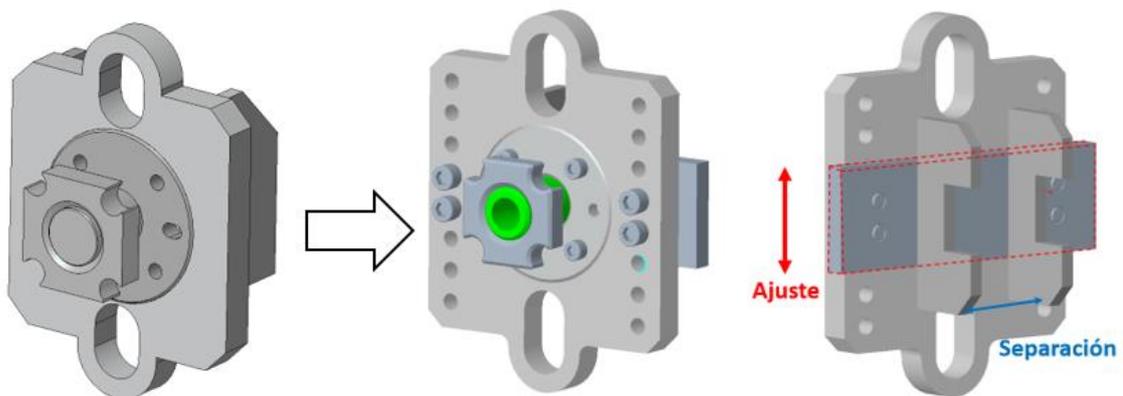
**Figura 3.9** Soportes del aditamento

- En el caso de ser un aditamento estandarizado con dimensiones mayores al modelo base (1A), se adjuntaron extensiones con tubos de las mismas características para obtener los demás modelos detallados en la Tabla 3.4. en la figura 3.10 se puede observar el modelo base con sus extensiones para obtener el modelo 3C.



**Figura 3.10** Extensiones de los aditamentos (modelo 3C)

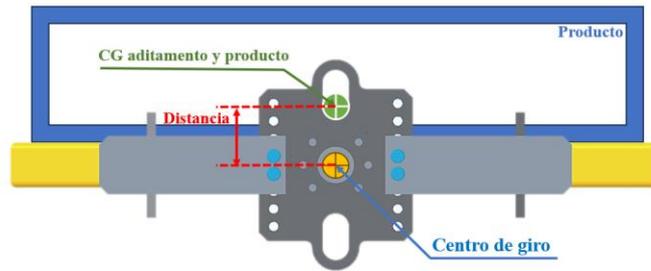
- Para en diseño de los soportes se tomaron en cuenta los acoples más utilizados en los aditamentos ya existentes, en este proceso se realizó una modificación a un modelo de referencia para obtener un modelo con ajuste en la altura como se muestra en la figura 3.11 con el fin de coincidir el centro de gravedad del producto y aditamento con el centro de giro.



**Figura 3.11** Ajuste del centro de gravedad

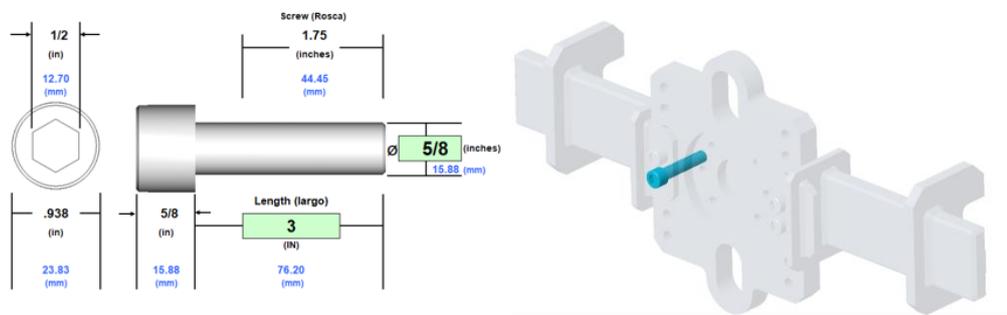
En la figura 3.12 se da a conocer la distancia que existe entre el centro de giro y el centro de gravedad del producto cuando se trabaja solamente con un producto a un lado del aditamento, entonces, la variación en la altura es con el fin de coincidir el centro de gravedad del producto con el eje de giro.

La distancia que se genera provoca una mayor fuerza al momento de girar el aditamento sobre el eje de giro, bajo el criterio del torque.



**Figura 3.12** Distancia entre el CG y el centro de giro

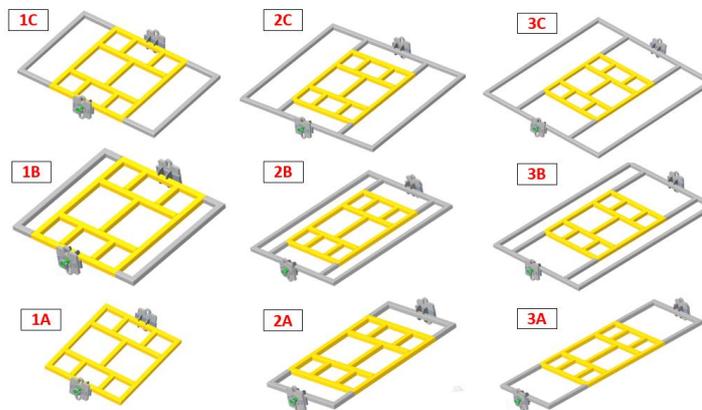
- En este proceso también se seleccionó los pernos adecuados para la sujeción de los componentes de acuerdo con el diámetro y longitud del agujero. En la figura 3.13 se da a conocer un ejemplo de un perno que se utilizó en el ensamble.



**Figura 3.13** Pernos de soporte en el ajuste de la altura.

En la figura 3.14 se da a conocer los diseños de referencia obtenidos mediante el software Creo Parametric de acuerdo con la clasificación mencionada en la tabla 3.3, cada uno de los modelos contiene el modelo principal 1A, el cual es la base para la construcción de los modelos consiguientes.

Los aditamentos son diseñados y ensamblados con un criterio simétrico, para mantener el centro de gravedad en el centro de cada aditamento y exista un balance en los modelos.



**Figura 3.14** Modelos de referencia iniciales en Creo Parametric

Mediante estos modelos de referencia iniciales obtenidos en PTC se procedió a realizar sus respectivas simulaciones, las cuales se explican en el apartado a continuación.

## **3.2 Simulación**

El análisis de simulación mediante el método de elemento finito se realizó con el software Creo Simulate, un software empleado como herramienta computacional que permite simular el comportamiento estructural, térmico y de vibraciones del modelo para mejorar el rendimiento mecánico de un diseño reduciendo costos y el tiempo en la elaboración de proyectos.

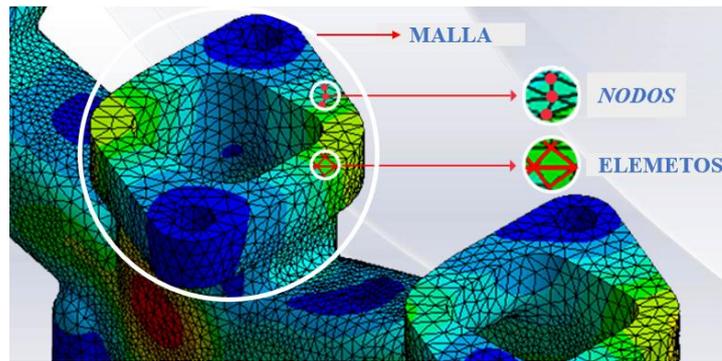
### *3.2.1 Método de elemento finito*

El análisis de elemento finito (FEM) o (MEF), fue propuesto a principios de 1940, resolviendo problemas torsionales hasta 1960, desde entonces Clough introduce en Estados Unidos el término “método de elemento finito” y se comenzó a dar uso en las industrias para una solución relativamente preciso (ZhiQuiang, 2023).

El principio básico de los elementos finitos es discretizar una estructura continua en diversas unidades denominados elementos que a su vez estén conectados entre sí en un número finito de nodos, a su vez el conjunto de nodos adyacentes en este sistema se denomina malla que se calcula en un preproceso mediante generadores de malla (Ochoa, Vivas, & Santafé, 2009).

Con la relación entrelazada entre los nodos se define un conjunto de variables incógnitas dado por los grados de libertad generados en cada nodo, en el caso de elementos estructurales la salida de estas variables son los desplazamientos nodales. El método de los elementos finitos mediante este conjunto de variables genera ecuaciones diferenciales algebraicas lineales, el número de ecuaciones es proporcional al número de grados de libertad de cada nodo.

Se denomina matriz de rigidez a la matriz generada por el sistema de ecuaciones, con esta metodología se busca una solución aproximada de dichas variables en el nodo, posteriormente estimándose a todos los nodos relacionados e incluso en todo el conjunto. En la figura 3.15 se da a conocer los elementos, nodos y mallas generados en un modelo.



**Figura 3.15** Elementos, nodos y malla

La discretización estructural es el primer paso fundamental en el análisis de elemento finito, divide la estructura en pequeñas partes, si el número de celdas son muy grandes, el tiempo para calcular los resultados y el hardware debe cumplir ciertas características, por el contrario, si el número es muy pequeño no se asemejará a la realidad. Por lo tanto, Para simular situaciones reales y obtener resultados lo más exactos posibles es necesario seleccionar el número adecuado de la celda, tamaño, disposición, etc. (ZhiQuiang, 2023).

Luego de la discretización se especifican características de fuerza, condiciones de frontera, generación de la matriz de rigidez y así, obtener los resultados que se requiera para evaluar el modelo.

#### Beneficios del método de elementos finitos

- El método de elementos finitos disminuye la necesidad de manufacturar varios prototipos, permite un análisis de manera virtual disminuyendo los ensayos físicos, así reduce el tiempo y costo de producción.
- Este método aborda problemas complejos, permite el análisis de cuerpos irregulares de manera sencilla.
- Permite representar el modelo en diferentes escenarios y evaluar el producto mediante criterios de esfuerzo, desplazamiento, deformación y fatiga.
- Este método se puede realizar en una gran variedad de software, siendo un método flexible y eficaz.

#### 3.2.2 Características de carga

La mesa de soldadura está sometido a cargas que genera su propio peso, la masa del producto, masa de los accesorios y la masa de la placa que cubrirá al aditamento.

Para un análisis inicial se consideró una carga extrema al aditamento, siendo 2 placas que cubren los dos lados del modelo con un espesor de 6mm, se consideró 2 veces la masa de

los accesorios, en un escenario donde se trabaje un producto a cada lado del aditamento. En la Tabla 3.13 se muestra las características de carga para los diferentes modelos.

**Tabla 3.13** Características de las cargas para los primeros modelos de referencia

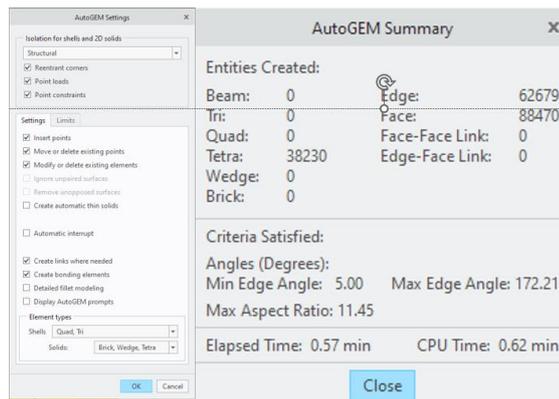
Cargas	Unidades								
	9.8 m/s <sup>2</sup>								
	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Masa de 2 Productos	109.96	109.96	109.96	220.24	405.66	580.32	216.32	624.62	1188.52
Masa de Accesorios	333.14	333.14	250.26	452.02	717.22	480.94	250.26	250.26	284.34
Masa de 2 placas 6 mm	145.06	224.2	303.32	217.6	336.3	454.98	290.12	448.4	606.64
Masa Total (Kg)	588.16	667.3	663.54	889.86	1459.18	1516.24	941.56	1724.76	2079.5
Masa para el estudio (Kg)	600	700	700	900	1500	1600	1000	1800	2100

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.3 Mallado de modelo

El mallado es un paso fundamental para el análisis de un diseño, al ser un análisis por el método de elementos finitos, proporciona un análisis numérico fiable para evaluar los modelos. Creo Simulate lo subdivide en formas pequeñas (elementos) todos conectados consecutivamente en los puntos comunes (nodos), estos programas de simulación consideran al modelo como una red de elementos interconectados (PTC, 2024).

Existen diferentes tipos de mallas, el mallado utilizado en el estudio de la mesa de soldadura son elementos sólidos de forma tetraédricas en 3D, en la figura 3.16 se muestra el número de elementos sólidos obtenidos de un modelo. Para obtener un análisis más preciso es recomendable que el tamaño de los elementos seas lo más pequeños posibles ya que mediante la combinación de información obtenida de los elementos se predice el comportamiento de modelo (PTC, 2024).

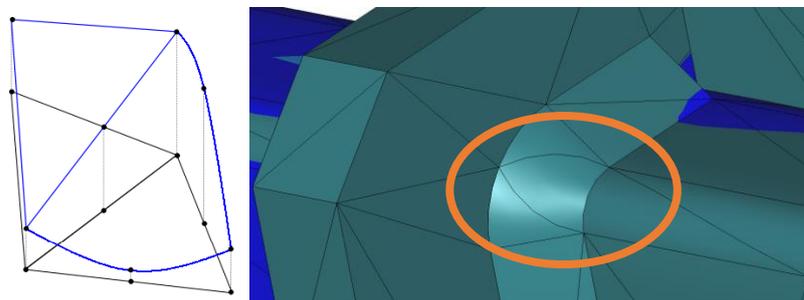


**Figura 3.16** Número de elementos del modelo

La generación automática de la malla está dada por los métodos adaptativos que refinan el mallado para una solución más precisa. Sin embargo, aumentar la discretización es aumentar los grados de libertad y con ello las funciones de interpolación en cada uno de ellos.

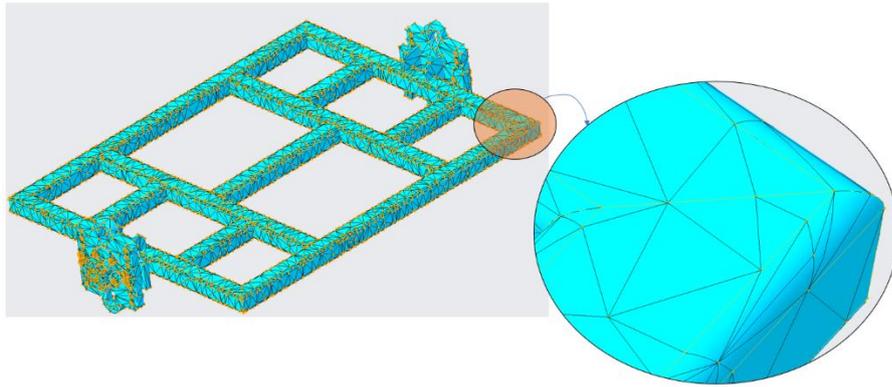
El refinamiento de los modelos donde se incrementan los elementos en la malla se les conoce como refinamiento de tipo h, por otro lado, el aumento del grado del polinomio utilizado en cada uno de los elementos se les denomina refinamiento de tipo p.

En método de refinamiento tipo p el número de elementos de la malla no sufre variación, al emplear interpolación del polinomio, muchos elementos adyacentes comparten una arista y tienen interpolación polinómica de grados diferentes, por lo tanto, en la arista en común se produce una discontinuidad en la función de interpolación. Para evitar errores en los cálculos algebraicos se imponen condiciones en los nodos interiores de las aristas que se encuentran en conflicto, de tal manera que se ajusten al polinomio de menor grado. En la figura 3.17 se puede observar el refinamiento para un elemento nodal que emplea una interpolación lineal y otra con interpolación cuadrática, en este caso se debe interpolar de manera lineal la arista en común (Díaz, 2020).



**Figura 3.17** Interpolación tipo P

Para realizar el estudio en Creo Simulate se generó un automallado al momento de realizar la simulación, donde PTC trabaja con una refinación de modelo tipo p, también existe la opción de modificar la malla a criterio del diseñador, en la figura 3.18 se muestra el mallado del modelo.



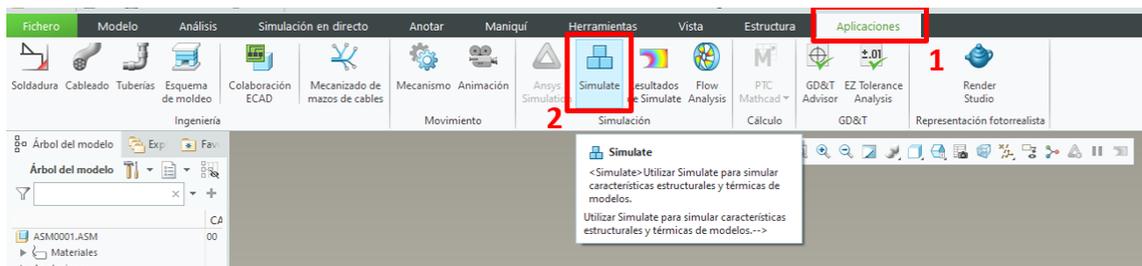
**Figura 3.18** Malla sólida del modelo con refinamiento tipo P

### 3.2.4 *Análisis estructural*

Probablemente el análisis estructural es el más utilizado en el método de elementos finitos. Este tipo de análisis no se limita a estructuras de ingeniería civil como edificaciones, viaductos, sino su aplicación es muy diversa como estructuras navales, aeronáuticas, chasis, bastidores, carcasas de aeronaves, automóviles, componentes de mecánicos de motores como pistones, bielas y herramientas. Con este análisis se puede visualizar la tensión que se produce en el modelo, la deformación, y las características de desplazamiento, estas características ayudan a evaluar la calidad del diseño y encontrar las mejoras que cumplan los estándares de requeridos.

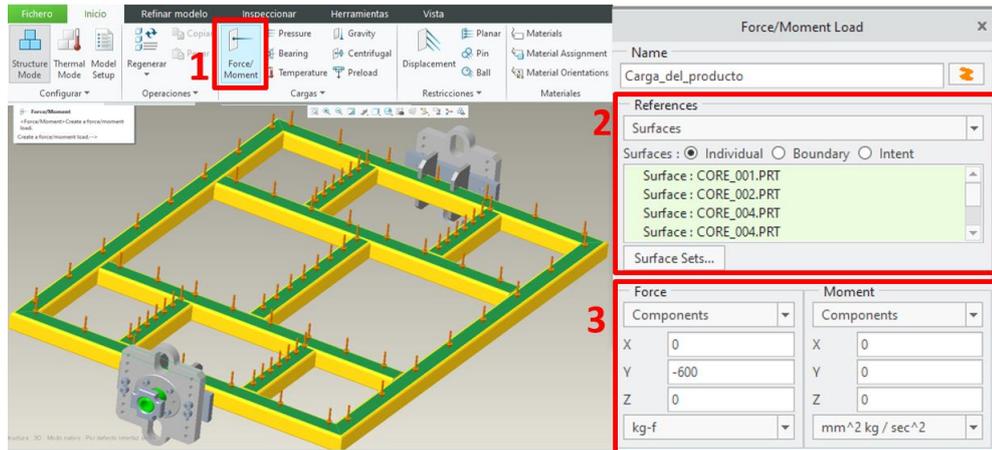
La mesa de soldadura estandarizada se sometió a un análisis estructural estático, con el fin de validar o rediseñar el producto. Para ello se agregó las condiciones que experimentará el modelo en situaciones reales, tales como, tipo de material, la presencia de carga, condiciones de frontera, conexiones de los componentes, entre otros.

El procedimiento de simulación se dio inicio en el apartado de aplicaciones del software PTC, luego en la barra de herramientas se seleccionó en el comando Simulate, en la figura 3.19 se da a conocer donde se encuentra la opción para iniciar la simulación de los modelos de las mesas de soldadura.



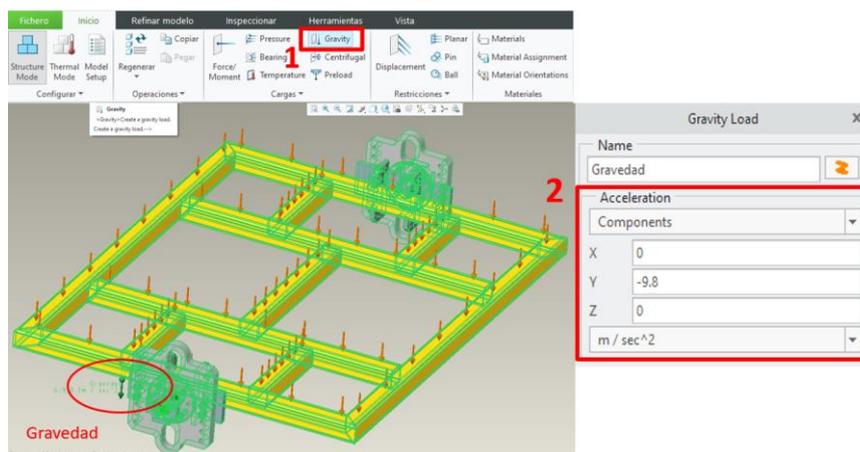
**Figura 3.19** Inicio al análisis estructural

El modelo fue sometido a cargas, entonces, se aplicó la fuerza que va a soportar el modelo, en este caso la fuerza actúa en toda la superficie de la estructura, esto se debe a que el producto estará centrado en el aditamento y su centro de gravedad coincidirá con el centro de giro esto provocará que el peso se distribuya de manera uniforme en la superficie como se muestra en la figura 3.20. Cada uno de los aditamentos tiene una fuerza determinada.



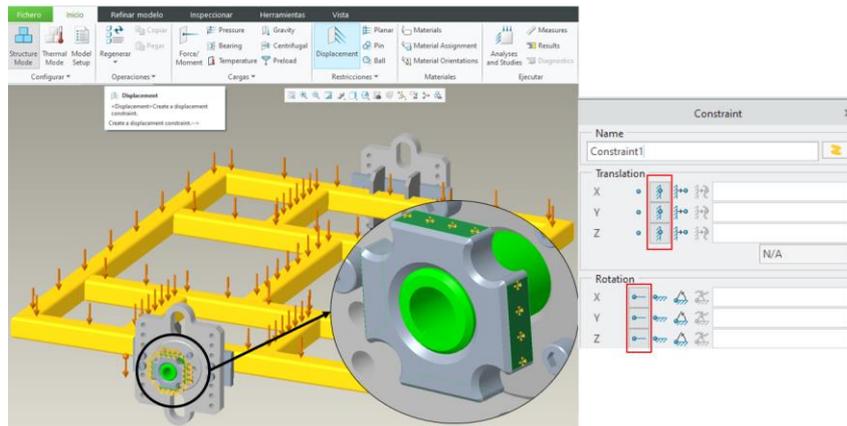
**Figura 3.20** Aplicación de la fuerza al modelo de referencia

Para un análisis correcto es necesario aplicar la carga de la gravedad que simula como afecta la gravedad al modelo en situaciones reales, para el estudio se consideró la gravedad de  $9.8 \text{ m/s}^2$ , se debe dar a conocer los componentes de la aceleración gravitacional en una dirección de coordenadas, ya sea X, Y o Z, esta gravedad debe ser en la misma dirección de fuerza aplicada en el aditamento como se muestra en la figura 3.21.



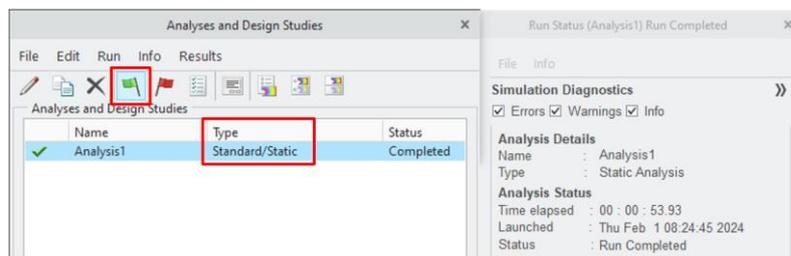
**Figura 3.21** Aplicación de la gravedad en el modelo de referencia

Es importante conocer las restricciones de movimiento que tendrá el modelo, en el caso de estudio se restringe el movimiento en los tres ejes en los extremos del aditamento. En la figura 3.22 se da a conocer las zonas en donde se aplicó las respectivas restricciones.



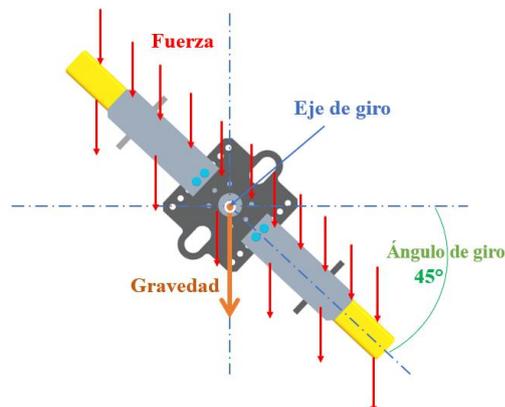
**Figura 3.22** Condiciones de frontera

Cuando ya se aplicó las fuerzas y las restricciones necesarias al modelo de referencia, se creó un nuevo análisis. Con el nuevo análisis se corrió el diagnostico interactivo, el diagnostico implica encontrar una aproximación de la solución de este espacio discreto. En la figura 3.23 se da a conocer el análisis estructural realizado.



**Figura 3.23** Inicio del análisis estructural

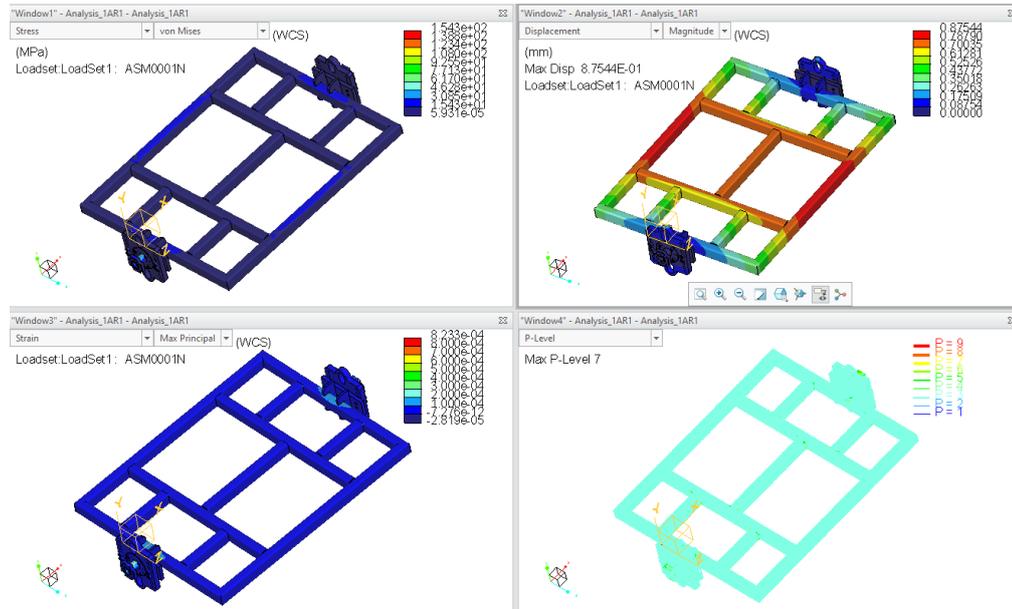
Luego del análisis de manera horizontal  $0^\circ$  para todos los modelos, también se realizó un análisis a ángulos determinados  $45^\circ$  y  $90^\circ$  simulando situaciones reales en la cual el operador gira el aditamento hasta una posición determinada, es necesario este proceso para validar que estos modelos soporten la carga en distintas posiciones de giro. En la figura 3.24 se da a conocer un ejemplo de la aplicación de las cargas a un ángulo de  $45^\circ$ .



**Figura 3.24** Análisis con un ángulo de giro

### 3.2.5 Visualización de la simulación del modelo

Los resultados del análisis estático dan a conocer las principales características como el esfuerzo de Von Mises, desplazamiento, tensión y en nivel de polinomio P, en la figura 3.25 se da conocer un ejemplo de cómo se visualizan los resultados en el software Creo Simulate, en este caso se muestra es esfuerzo, el desplazamiento, la tensión y el factor P.



**Figura 3.25** Visualización de las simulaciones en Creo Simulate

Cada uno de los modelos de referencia fueron sometidos a un análisis estructural para determinar si cumple con los requerimientos necesarios. Los resultados de la simulación se dan a conocer en el Capítulo IV, en donde se detalla el esfuerzo y el desplazamiento a la que están sometidos cada modelo.

## 3.3 Rediseño

El rediseño se realizó tomando en cuenta los resultados obtenidos en la simulación de los modelos previos. Para ello se seguirá un proceso de experimentación en el cual se busca la validación del aditamento con un factor de seguridad de 2 como requiere la industria. El cambio se da en la geometría del diseño, dimensiones y espesor del PTR.

### 3.3.1 Factor de seguridad

El factor de seguridad (FS) es un criterio importante en la ingeniería y diseño, es utilizado para garantizar la seguridad y confiabilidad de las estructuras, componentes y sistemas. Se define como la relación entre el esfuerzo máximo que un componente puede soportar y el esfuerzo real a las condiciones que está sometido.

El principal objetivo de este factor es proporcionar un margen de seguridad para contemplar variaciones e incertidumbres en el material, carga, condiciones de operación y errores de fabricación.

Algunos de los valores comunes de FS son los siguientes:

- Estructuras civiles y componentes mecánicos 1.5 a 3.0
- Industria aeronáutica y espacial: 1.2 a 1.5, esto se debe a la necesidad de optimizar el peso de los componentes.
- Equipo Médico: 2.0 a 4.0 (debido a la importancia crítica de la seguridad)
- Puentes y Edificaciones: 2.0 a 3.0

En este caso para el rediseño de la estructura de la mesa de soldadura se consideró un factor de seguridad de 2.0. Para cumplir con este factor se trabajó el análisis estructural de los modelos con el doble de la gravedad (2G) para así validar los modelos, Es decir, siempre que el esfuerzo real obtenido en el aditamento sea menor al límite elástico del material, el modelo se valida con un factor de seguridad de 2.0.

### 3.3.2 Variantes de la carga

Un factor importante en el rediseño fue la variación en las cargas, se tomó en cuenta la reducción del espesor de la placa de 6mm a 3mm, además, en el caso del aditamento 3C al ser una carga muy pesada se consideró trabajar solamente con un producto, teniendo así una carga máxima en este aditamento de 900 Kg. En la Tabla 3.14 se da a conocer los nuevos valores de carga que soportaron los modelos.

**Tabla 3.14** Variantes de las características de las cargas

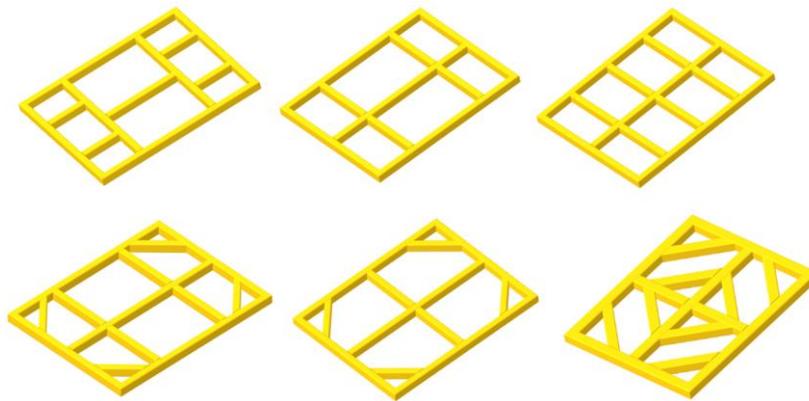
Cargas	Unidades								
	19.6 m/s <sup>2</sup>								
Gravedad	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Masas de 2 Productos	109.96	109.96	109.96	220.24	405.66	580.32	216.32	624.62	594.26
Masa Accesorios	333.14	333.14	250.26	452.02	717.22	480.94	250.26	250.26	142.17
Masa de 2 placas 3 mm	72.44	11.76	151.28	108.48	167.74	227.02	144.7	223.72	151.37
Masa Total	515.54	554.86	511.4991	780.74	1290.62	1288.28	611.27911	1098.599	887.8
Masa para el estudio (Kg)	600	700	600	800	1300	1300	650	1100	900

**Fuente:** Elaboración propia

De la misma manera, cada una de las variantes de la geometría, dimensiones y espesor del PTR, fueron sometidos a un análisis estructural con el fin de visualizar los puntos de concentración de esfuerzo, y conocer el desplazamiento que sufre la estructura, para así, buscar la manera de reducir estos dos factores.

### 3.3.3 Variantes de la geometría

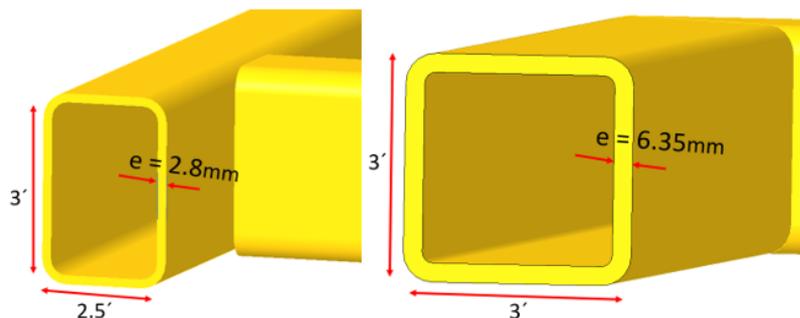
El resultado de esfuerzo y desplazamiento del primer modelo de referencia fueron superiores al esfuerzo máximo, entonces se buscó nuevas geometrías con el fin de encontrar la adecuada con valores de esfuerzo inferiores al requerido para validar los aditamentos con un factor de seguridad de 2.0. A continuación, en la figura 3.26 se da a conocer los cambios más relevantes que se dieron en el modelo principal al variar la geometría. Obteniendo una disminución muy significativa en el esfuerzo y desplazamiento.



**Figura 3.26** Variantes de geometría

### 3.3.4 Variantes de las dimensiones y espesor del PTR

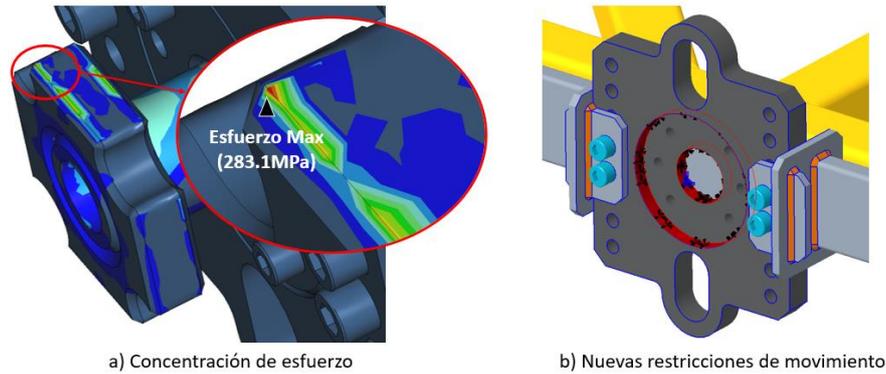
Otras de las cualidades de los PTR es que existe una gran variedad de dimensiones y espesores con la cual se puede hacer variaciones hasta encontrar las dimensiones que ayuden a disminuir el esfuerzo y desplazamiento. En la figura 3.27 se da a conocer el cambio de dimensiones que se dio en el PTR.



**Figura 3.27** Cambio de dimensiones en el PTR

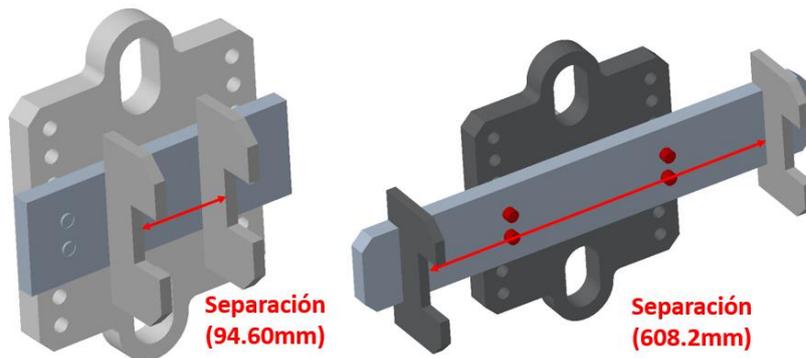
### 3.3.5 Variante en los soportes del aditamento

La variación de los soportes es un factor muy importante, para el análisis estructural primero se omite el eje, ya que se daba una concentración de esfuerzos en la zona del eje, como se muestra en la figura 3.28 (a), este dificultaba encontrar el esfuerzo real que se producía en la estructura de la mesa de soldadura. Debido a este cambio sus restricciones de movimiento cambiaron a la placa en la cual se produce la variación como se muestra en la figura 3.28 (b)



**Figura 3.28** Variación en los soportes de los modelos

La separación es para la sujeción del aditamento también es fundamental ya que, si la separación es pequeña, la concentración de esfuerzo es cerca del centro de giro con un valor superior al esfuerzo requerido, mientras exista una separación amplia en la sujeción del aditamento, el esfuerzo y desplazamiento se ven reducidas considerablemente. En la figura 3.29 se da a conocer la variación de la separación para la sujeción de los modelos.

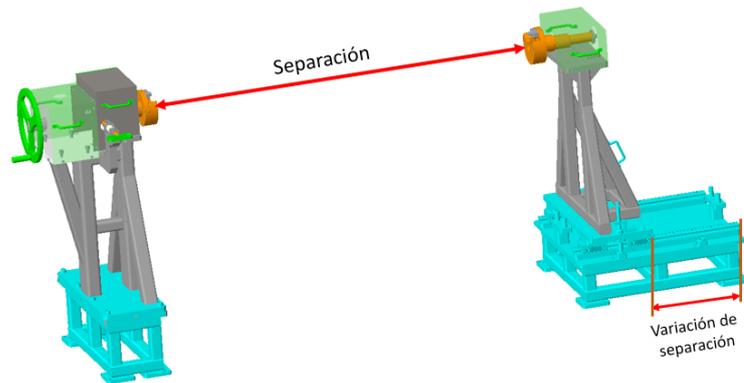


**Figura 3.29** Separación en el soporte de los modelos

El rediseño se establece en cada uno de los modelos, considerando el aditamento 1A como una base de los demás diseños, en el capítulo siguiente se presenta el diseño obtenido para cada uno de los modelos.

### 3.4 Posicionador de la mesa de soldadura

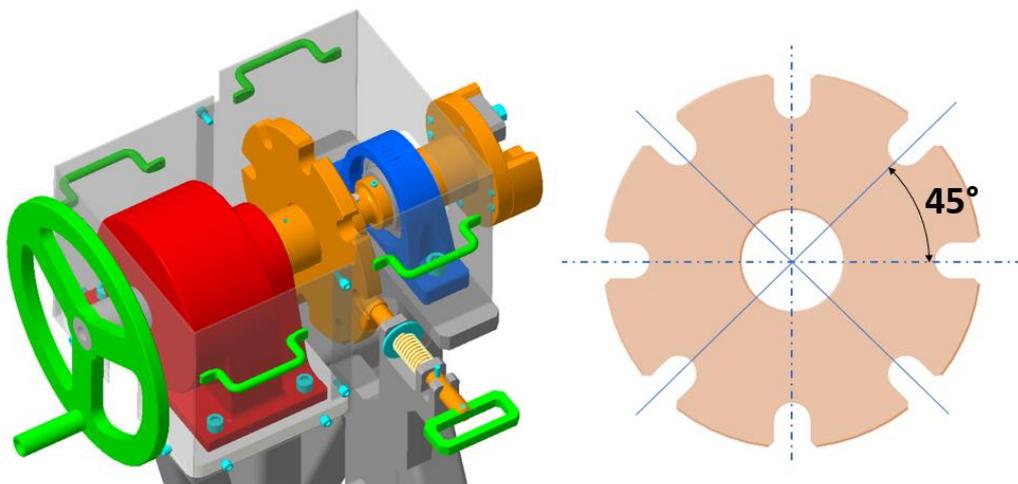
La mesa de soldadura es diseñada de tal manera que se acople a un posicionador de soldadura, siendo este capaz de soportar el peso de los modelos y la carga que se va a trabajar en ella, entonces, se seleccionó un aditamento previamente fabricado el cual sirvió de base para todos los nuevos modelos de mesas de soldadura. En la figura 3.30 se observa el posicionador de dos cabezales con 1 eje de giro que permite voltear los aditamentos en sus 360°.



**Figura 3.30** Posicionador de la mesa de soldadura

El posicionador de dos cabezales seleccionado es capaz de variar su distancia de separación, lo cual permite acoplar los distintos modelos de aditamentos diseñados.

También cuenta con elementos de seguridad para el bloqueo el giro, el cual permite a la estructura de la mesa permanecer en una determinada posición, hasta completar el proceso de soldadura que se realice. En la figura 3.31 se observa el mecanismo de bloqueo.



**Figura 3.31** Mecanismo de bloqueo en ángulos predeterminados

## CAPITULO IV

### 4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presenta los resultados obtenidos del análisis estructural con el método de elemento finito de los nuevos aditamentos. Se realizó una comparación del esfuerzo y desplazamiento de los modelos con un ángulo de inclinación.

#### 4.1 Soportes de la mesa de soldadura

El modelo de los soportes de los aditamentos será el mismo para todos los modelos. Se realizó mejoras y se agregó soldadura en las partes principales de unión, en la figura 4.1 se puede apreciar el modelo final.

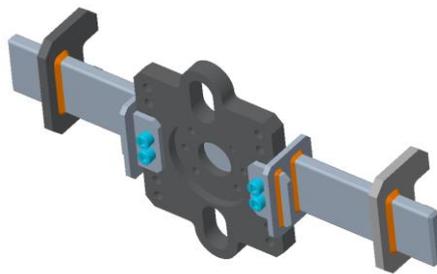


Figura 4.1 Modelo final de los soportes

Los soportes son una parte fundamental para mantener a la estructura del aditamento de una manera estable, luego de la experimentación sometidos a diversas modificaciones, se obtuvo un modelo estándar para todos los aditamentos. Este modelo fue sometido a simulación por elemento finito en la cual se buscó validar el modelo soportando una carga máxima de 1300Kg y el peso del aditamento. Los resultados obtenidos se pueden observar en la figura 4.2.

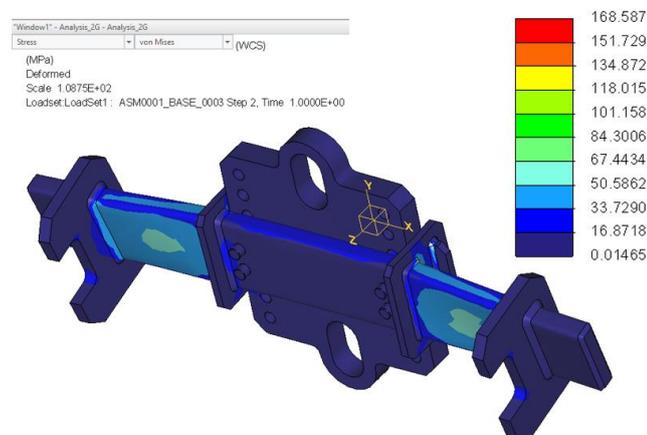


Figura 4.2 Análisis de los soportes de los aditamentos

Con la carga máxima de 1300Kg, se tiene un resultado de 168.58 MPa, el cual se validó de acuerdo con el criterio descrito en el apartado 3.3.1 donde los resultados el análisis estructural con una doble gravedad (2G) debe ser inferior al límite elásticos de 220 MPa, teniendo así, un factor de seguridad de 2.0.

#### 4.2 Mesa de soldadura estandarizada

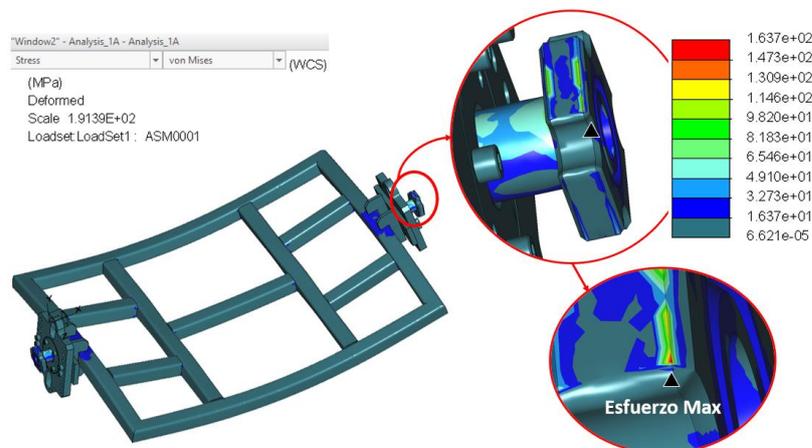
En la Tabla 4.1 se muestra los resultados de esfuerzo y desplazamiento obtenidos de los primeros modelos de referencia del 1A al 3C, las cuales fueron sometidos a un análisis estructural con las cargas máximas posibles y una gravedad de 9,8 m/s<sup>2</sup>, las cargas dadas están determinadas en el capítulo anterior en la Tabla 3.13.

**Tabla 4.1** Resultados de los modelos de referencia.

Aditamentos	Carga	Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	F. S
1A	600	163.7	0.89345	1.34
1B	700	167.9	1.554	1.31
1C	1200	480.4	4.516	0.46
2A	900	458.9	4.043	0.48
2B	1500	886.2	5.753	0.25
2C	1600	936.2	9.227	0.23
3A	1000	1120	10.14	0.20
3B	1800	1553	14.26	0.14
3C	2100	1784	18.1	0.12

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis estructural de los primeros modelos de referencia mostraron esfuerzos superiores a 163.7MPa, siendo solo dos modelos los cuales cumplen con el valor requerido para la validación del diseño. En la figura 4.3 se puede visualizar un ejemplo de uno de los modelos (1A). Todos estos valores obtenidos fueron un punto de partida para la variación de la geometría, características del PTR y la carga del aditamento.



**Figura 4.3** Resultado de un modelo de referencia

#### 4.2.1 Mesa de soldadura principal (Core)

Para obtener el aditamento principal se realizaron múltiples variaciones en la geometría, dimensiones y espesor del PTR, el modelo seleccionado como 1A será la base para los demás modelos, para mantener distribuido la carga el diseño debe ser de manera simétrica.

Se dio inicio con el modelo de referencia con un PTR de 2.5 x 2.5 pulgadas obteniendo un esfuerzo de Von Mises de 163.7MPa, hasta concluir con un modelo con un PTR de 3 x 3 pulgadas y un esfuerzo de 58.47MPa.

Algunas de las variantes importantes en la geometría del aditamento principal se dieron a conocer en la figura 3.26, en cada variante del modelo se trató de encontrar una geometría que produzca un menor desplazamiento y una baja concentración de esfuerzos. En la Tabla 4.2 se da a conocer los resultados de las variaciones para obtener el aditamento principal 1A, cada uno de los modelos fueron sometidos a un análisis estructural con una doble gravedad (2G).

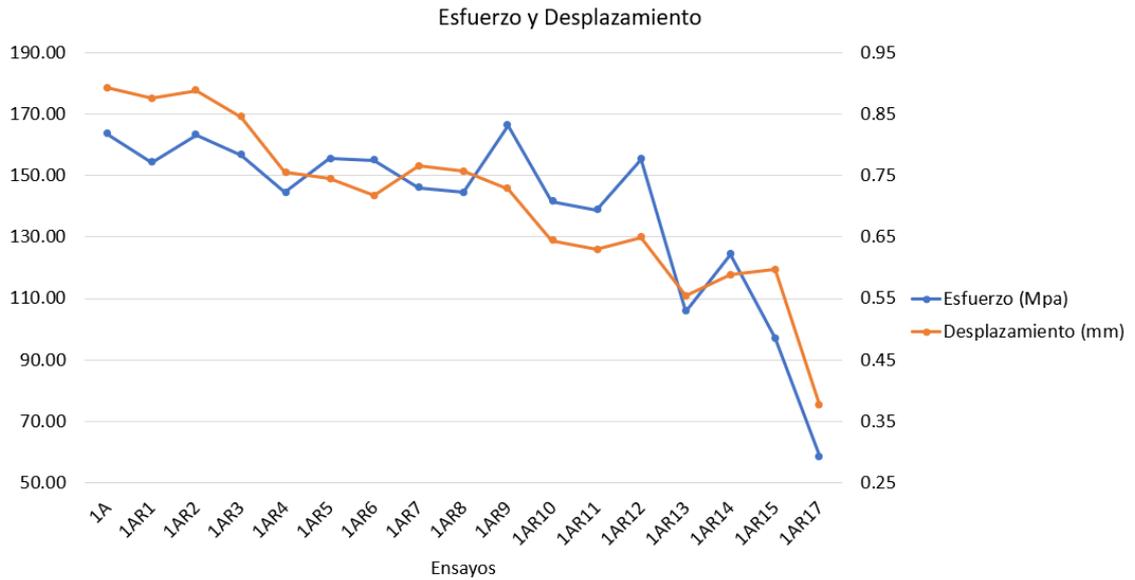
**Tabla 4.2.** Resultados de los ensayos para la obtención del aditamento principal

Ensayos	1A	1AR1	1AR3	1AR7	1AR9	1AR11	1AR12	1AR13	1AR15	1AR17
PTR (b x h)	2.5 x 2.5	2x3	2x3	2x3	2x3	2x3	2x3	2x3	2x3	3x3
Espesor (mm)	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	4.8 y 3.6	4.8 y 3.6	4.8 y 3.6	3.6 y 4.8	6.35
Separación (mm)	94.60	94.60	234.6	94.60	234.6	134.60	134.60	434.60	434.60	608.2
Esfuerzo (MPa)	163.70	154.3	156.7	146.0	166.3	138.70	155.26	105.75	97.05	58.47
Deformación (mm)	0.89	0.88	0.85	0.77	0.73	0.63	0.65	0.55	0.60	376.0
Masa (kg)	118.18	102.2	102.2	98.43	98.43	110.50	116.52	128.81	127.96	198.72
F. S	1.34	1.43	1.40	1.51	1.32	1.59	1.42	2.08	2.27	3.76

**Fuente:** Elaboración propia

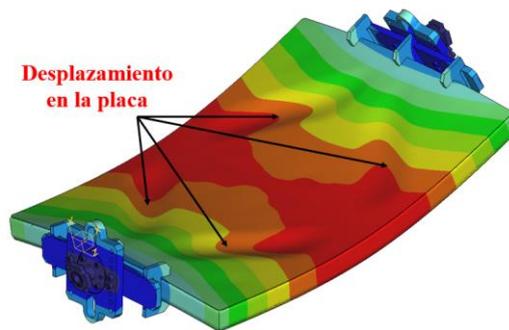
Los valores de esfuerzo y desplazamiento de cada uno de los ensayos se muestran de manera gráfica en la figura 4.4 para así, visualizar el comportamiento del esfuerzo en cada variación de la geometría, hasta encontrar un modelo en el cual las zonas de uniones no presenten una elevada concentración de esfuerzos.

A continuación, se puede evidenciar la disminución del esfuerzo y el desplazamiento hasta obtener un aditamento con una geometría que cumpla con los requerimientos de confiabilidad y calidad.



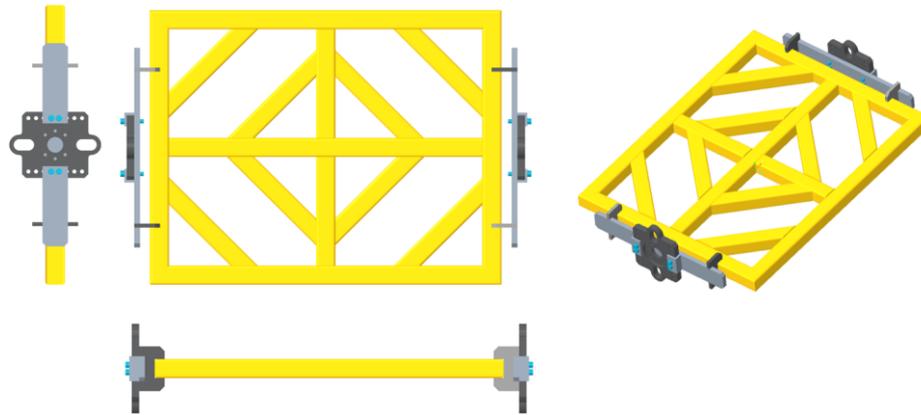
**Figura 4.4** Ensayos para la obtención del aditamento principal 1A

La separación entre los PTR es importante ya que, también se busca una estructura donde no exista espacios demasiados amplios, para evitar desplazamientos (hundimientos) en ciertas zonas de la placa como se puede observar en la figura 4.5, esto puede llegar a suceder en zonas en las que se asiente los accesorios que sostienen los productos.



**Figura 4.5** Desplazamientos de la placa modelo 1A

Entonces, luego de los ensayos realizados, el modelo 1AR17 es un diseño en el cual se obtuvo un desplazamiento y esfuerzo bajo, siendo este seleccionado como el modelo del aditamento principal 1A, en la figura 4.6 se puede observar este modelo en varias vistas en donde se evidencia la geometría utilizada.

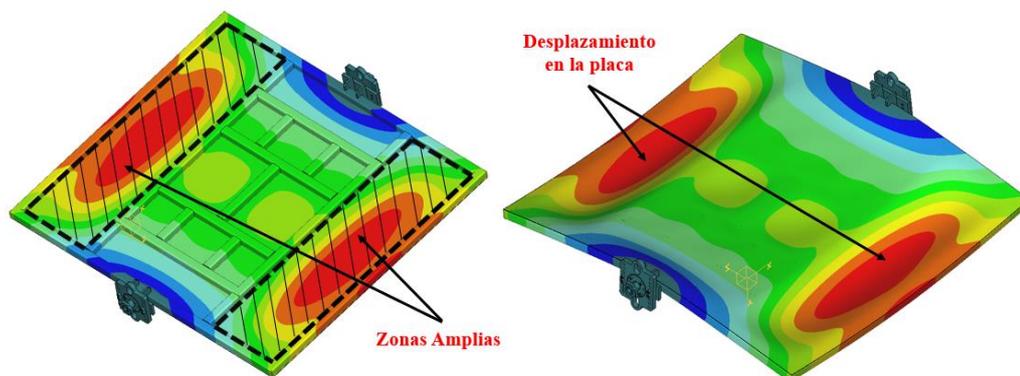


**Figura 4.6** Mesa de soldadura principal 1A

Para obtener los aditamentos estandarizados este modelo 1A deberá ser la base de la construcción de los modelos más grandes tanto en largo como en ancho.

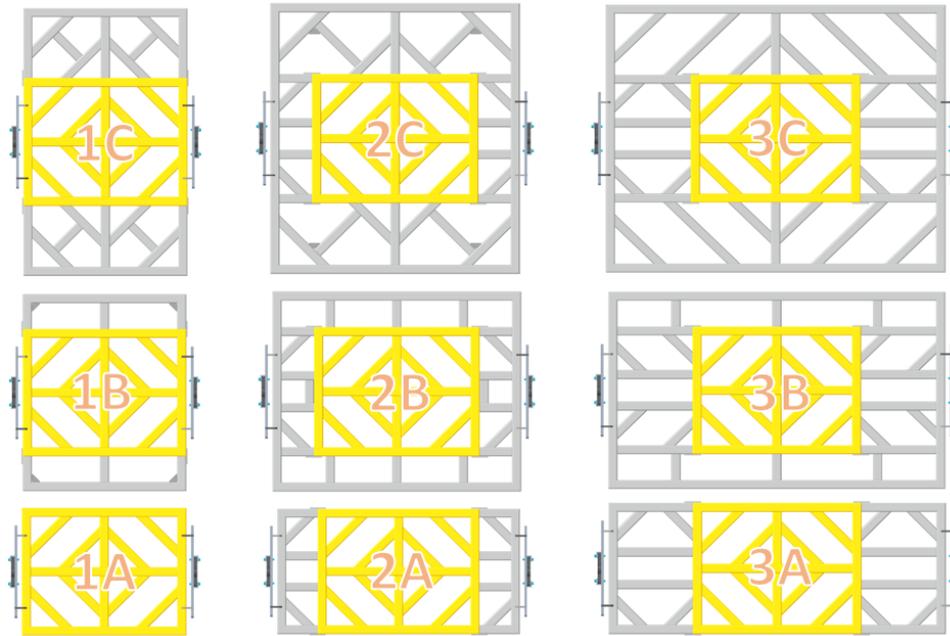
#### 4.2.2 Mesas de soldadura derivadas del principal

Los aditamentos están clasificados de acuerdo con el largo y ancho, de igual manera se consideran los aspectos importantes como la separación entre los PTR para el asentamiento de los accesorios como se muestra en la figura 4.6, esto con el fin de evitar grandes desplazamientos en la placa que cubra la estructura de la mesa de soldadura.



**Figura 4.7** Desplazamiento de la placa en zonas amplias

Entonces, la geometría de todos los aditamentos se muestra en la figura 4.8, cada uno de los aditamentos están diseñados con PTR de 6.35 mm de espesor con uniones entre ellos de 45° y 90°. Todos los modelos conservan la geometría del modelo 1A, siendo este la estructura central de las cuales se derivan los demás modelos.



**Figura 4.8** Aditamentos derivados del modelo principal 1A

### 4.3 Resultados de la simulación

Para la simulación por el método de elementos finitos se inició con la caracterización de los modelos, se definió el material y las propiedades mecánicas que deben poseer, se colocó restricciones de movimiento, aplicó la carga y la gravedad correspondientes, luego se realizó el automallado en el mismo software, se corrió el análisis y se obtuvieron los resultados. El procedimiento para realizar la simulación de los modelos se evidencia de manera detallada en el apartado 3.2.

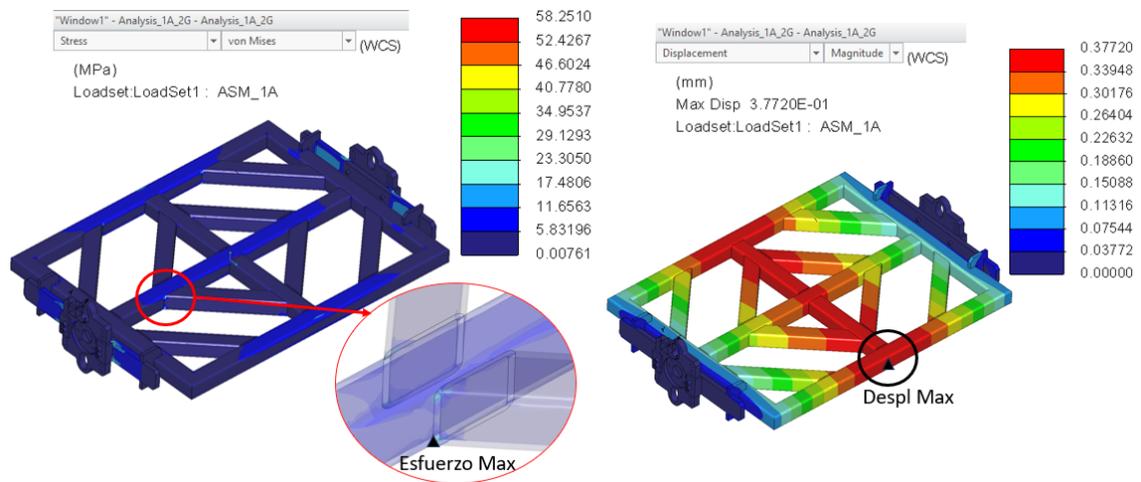
Para realizar la simulación se trabajó los modelos considerando la unión de los PTR unidos de manera fija, ya que en este estudio no se tomará en cuenta el estudio de la aplicación de soldadura.

- Aditamento 1A

En la figura 4.9 se observa la distribución de esfuerzos efectivos según el criterio de Von Mises en unidades de MPa que permite identificar áreas con riesgo de ceder y el desplazamiento en unidades de mm, estos datos se obtienen al aplicar una carga de 600Kgf en el proceso de simulación.

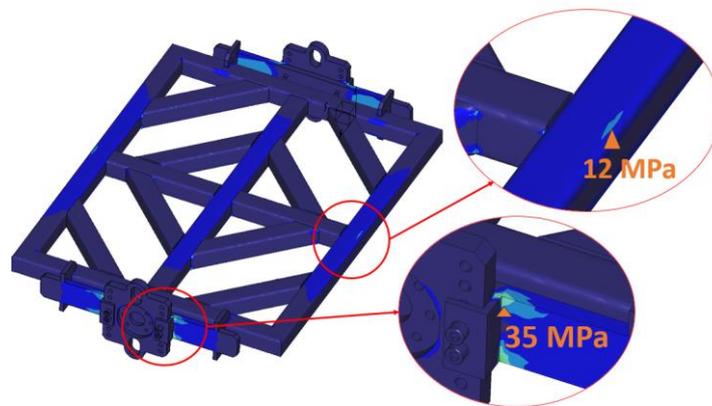
Considerando el límite elástico del material de 220MPa, la estructura está sometido a un esfuerzo máximo de Von Mises de 58.25MPa, producto de la fuerza aplicada a la estructura siendo los puntos más críticos las zonas de unión de los PTR. Teniendo en cuenta que el valor

de esfuerzo no supera el límite elástico se considera que el aditamento bajo estas condiciones de carga no falla.



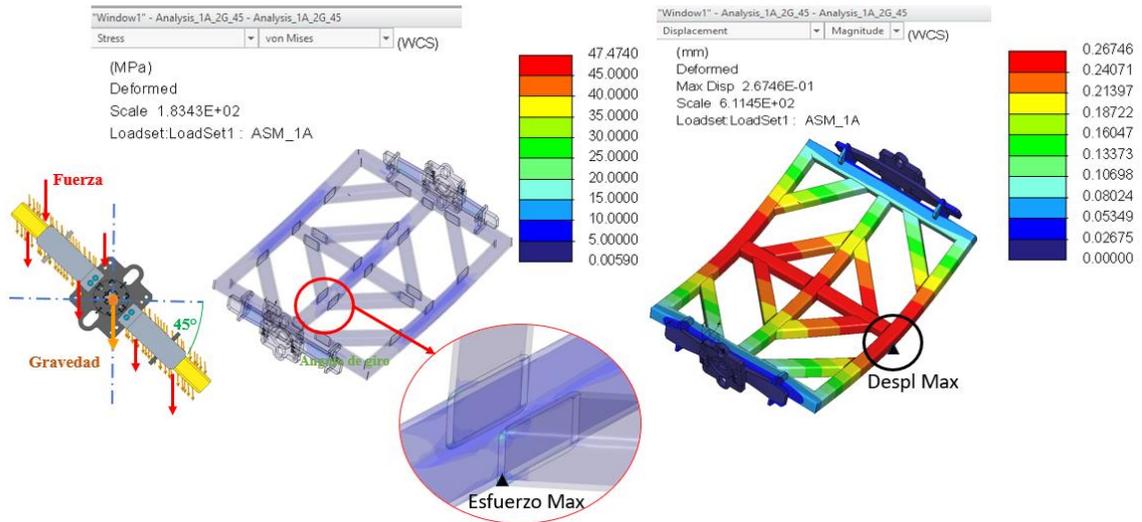
**Figura 4.9** Esfuerzo y desplazamiento aditamento 1A

Sin embargo, los esfuerzos generados en las zonas de unión de los PTR tienden a aumentar debido a una falta de refinación del mallado, por lo que se puede tomar en cuenta los esfuerzos en zonas más evidenciadas, como se muestra en la figura 4.10.



**Figura 4.10** Esfuerzo en diferentes zonas del aditamento

Los resultados del análisis estructural en un escenario de volteo a una inclinación de  $45^\circ$  se obtuvo un esfuerzo de 47.47MPa y a una inclinación de  $90^\circ$ , se obtuvo un esfuerzo de 31.42MPa, estos valores no superan el límite elástico del material por lo cual, el modelo es aceptable. En la figura 4.11 se observa el esfuerzo y el desplazamiento cuando el aditamento está sometido a la carga con una inclinación de  $45^\circ$ . Los datos de esfuerzo y desplazamiento con una inclinación de  $45^\circ$  y  $90^\circ$  se detallan en la Tabla 4.3.



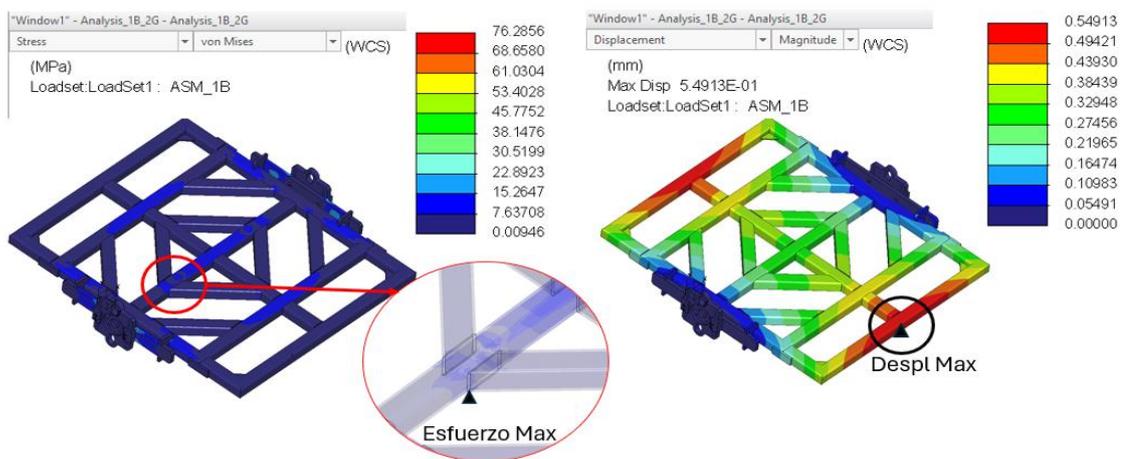
**Figura 4.11** Esfuerzo y desplazamiento aditamento 1A con volteo de 45°

Para los demás aditamentos se evidencian la variación de la carga y la geometría, pero manteniendo el aditamento 1A como una referencia del cual se añaden extensiones para el acople de los productos más grandes.

- Aditamento 1B

Este aditamento fue diseñado bajo el criterio de mantener el modelo principal 1A y a partir de ello se añade extensiones hasta obtener el modelo con las dimensiones bajo la clasificación de largo y ancho de los productos. Cada uno de los aditamentos estuvieron sujetos a ensayos en la cual se logró encontrar el modelo más adecuado que soporte la carga requerida.

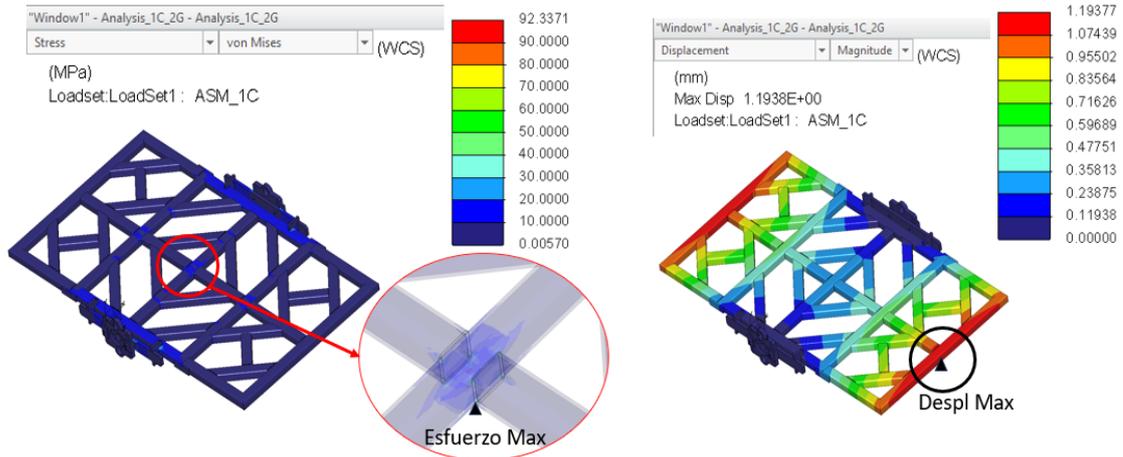
En la figura 4.12 se evidencian el esfuerzo resultante de Von Mises de 76.28MPa, siendo un valor inferior al límite elástico del material y un desplazamiento de 0.54mm



**Figura 4.12** Esfuerzo y desplazamiento aditamento 1B

- Aditamento 1C

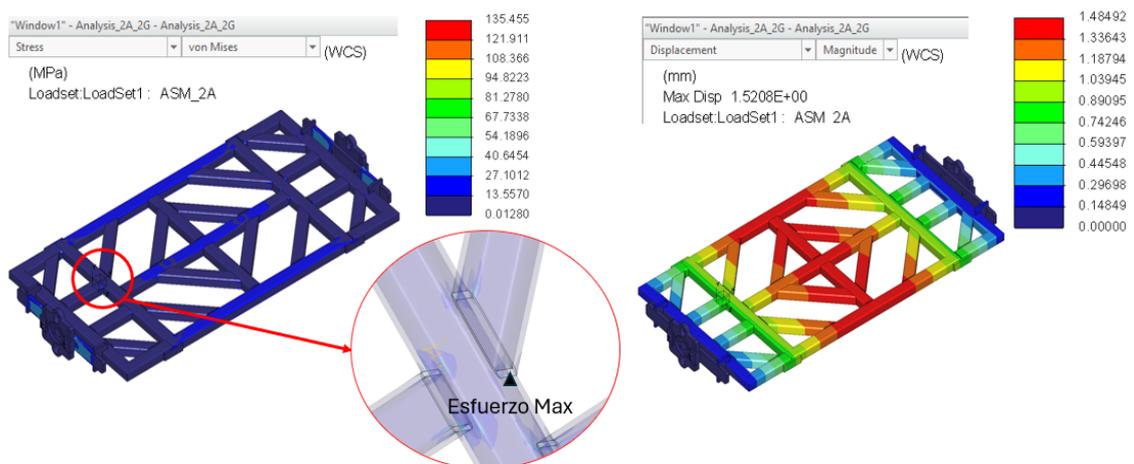
Para el aditamento 1C se consideró una carga de 600Kgf, teniendo en cuenta las mismas condiciones de frontera de manera fija en los soportes de sujeción de los aditamentos, se obtuvo un esfuerzo máximo en 92.34MPa y un desplazamiento de 1.19mm como se muestran en la figura 4.13.



**Figura 4.13** Esfuerzo y desplazamiento aditamento 1C

- Aditamento 2A

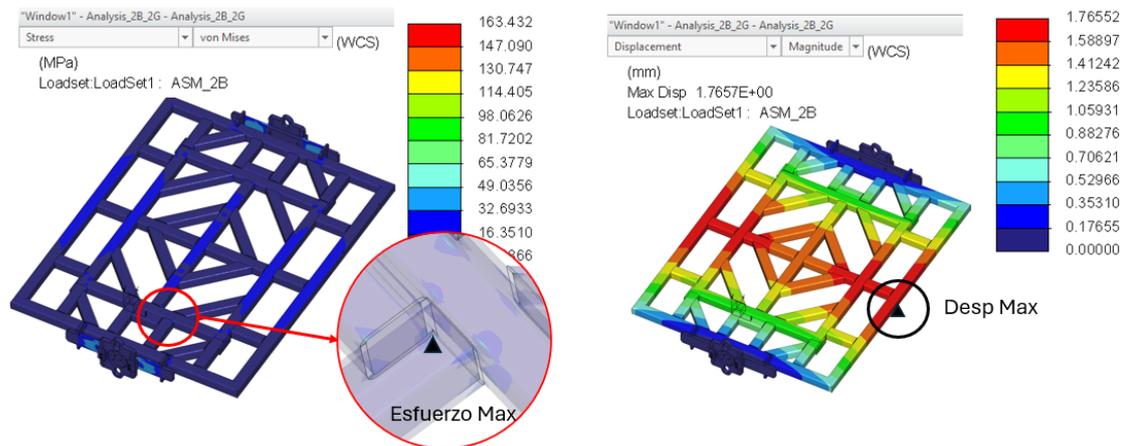
En el caso del aditamento 2A, se trata de un modelo en el cual se añaden extensiones en el largo al aditamento principal, este modelo debe soportar una carga de 800Kgf, En la figura 4.14 se visualizan los resultados que se obtuvieron, siendo un esfuerzo de 135.45MPa y un desplazamiento de 1.48mm.



**Figura 4.14** Esfuerzo y desplazamiento aditamento 2<sup>a</sup>

- Aditamento 2B

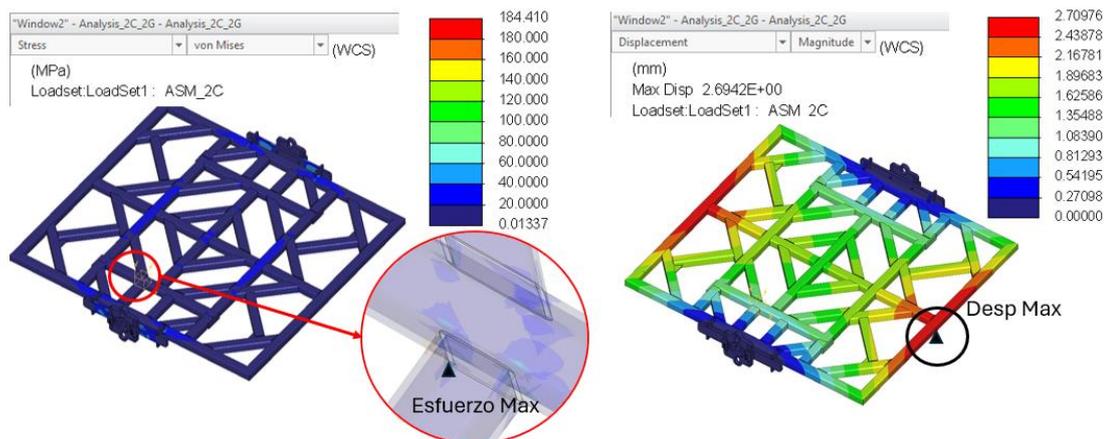
Este modelo es capaz de soportar una carga de 1300Kgf, y mantener un esfuerzo por debajo del límite elástico del material. Bajo el criterio de Von Mises se obtuvo un esfuerzo de 163.43MPa y un desplazamiento de 1.76mm, en la figura 4.15 se evidencian estos resultados.



**Figura 4.15** Esfuerzo y desplazamiento aditamento 2B

- Aditamento 2C

En la figura 4.16 se observa el aditamento mediano en largo y grande en ancho, el cual está sometido a una carga de 1300Kgf, obteniendo valores de 184.41MPa en esfuerzo de Von Mises y 2.70mm en desplazamiento. De igual manera es un valor de esfuerzo que está por debajo del límite elástico de 220MPa.

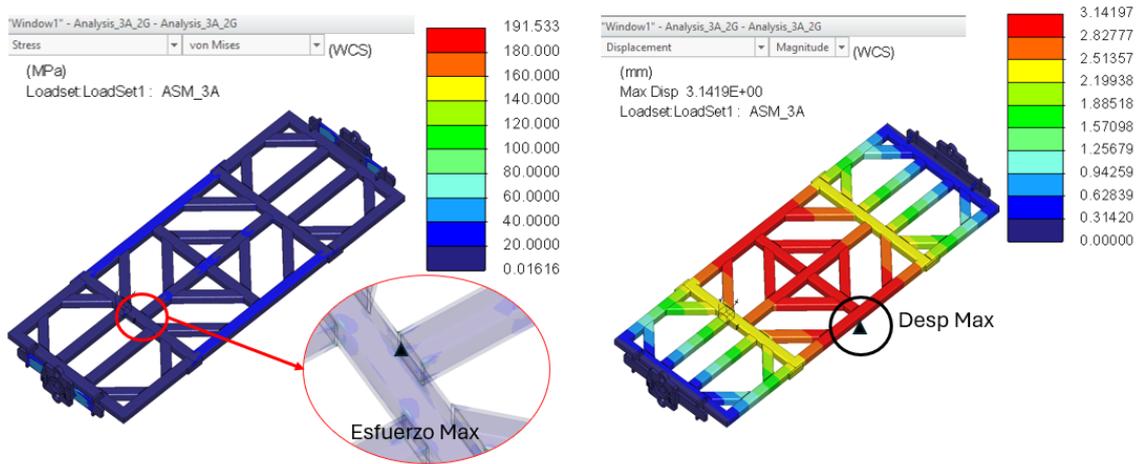


**Figura 4.16** Esfuerzo y desplazamiento aditamento 2C

- Aditamento 3A

Para este modelo, el largo aumenta hasta los 2800mm y soporta una carga de 650Kgf, con estas características los resultados obtenidos fueron de 191.53MPa para el esfuerzo de Von

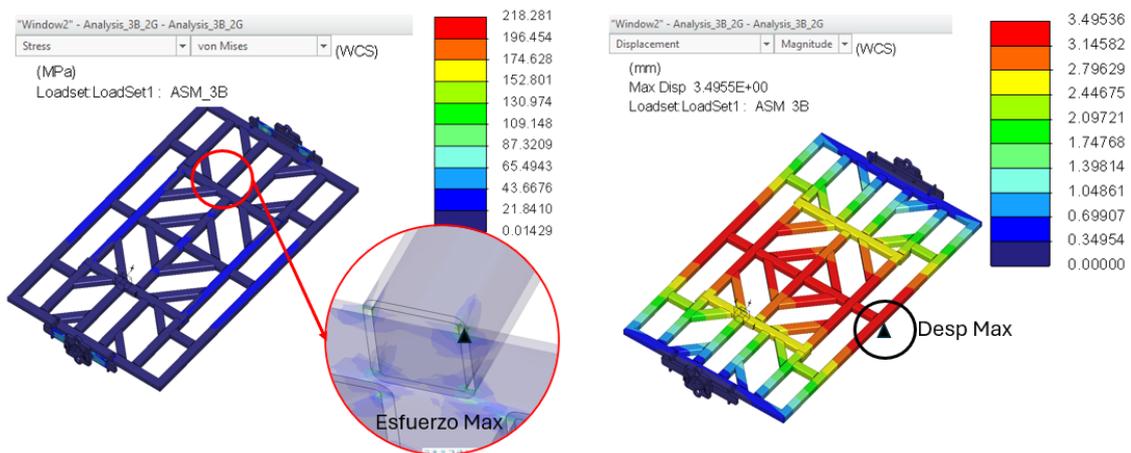
Mises y un desplazamiento de 3.14mm, estando por debajo del límite elástico se validó el modelo. En la figura 4.17 se evidencian los resultados del análisis estructural del modelo 3A



**Figura 4.17** Esfuerzo y desplazamiento aditamento 3A

- Aditamento 3B

Mientras más se agranda el aditamento tanto en largo y ancho, el esfuerzo en las uniones de los PTR también aumenta, en este caso se obtuvo un valor muy cercano al límite elástico, sin embargo, aún cumple con la característica de validación del producto. En la figura 4.18 se evidencian los resultados del modelo 3B.

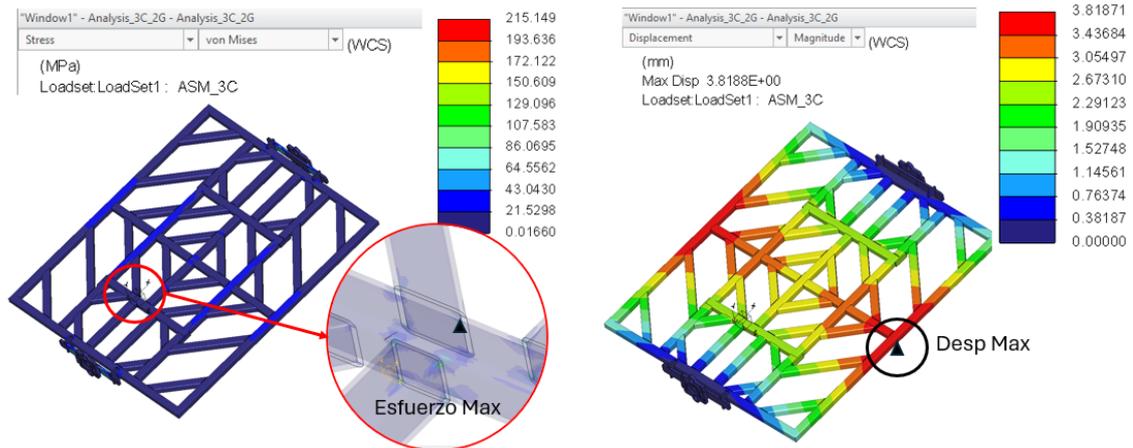


**Figura 4.18** Esfuerzo y desplazamiento aditamento 3B

- Aditamento 3C

En este caso, se trata del aditamento más grande tanto en largo y ancho, que contiene productos de hasta 2.8 m en largo y 2.3 m en ancho, este modelo fue diseñado para soportar una carga máxima de 900Kgf. Para estas características de carga se obtuvo un esfuerzo de Von

Mises de 215MPa, con un desplazamiento de 3.81 mm, se tomó en cuenta el aditamento principal 1A incluido en cada uno de los modelos. En la figura 4.19 se muestran los resultados del modelo 3C.



**Figura 4.19** Esfuerzo y desplazamiento aditamento 3C

Todos los aditamentos desde el 1A hasta el 3C fueron sometidos a análisis estructural a diferentes ángulos de volteo, para así validar que cumpla su funcionalidad sin fallar en un posicionador de soldadura al momento de girar el producto.

En la Tabla 4.3 se dan a conocer los resultados obtenidos de esfuerzo y desplazamiento de cada uno de los aditamentos con un ángulo de volteo de 0°, 45° y 90°.

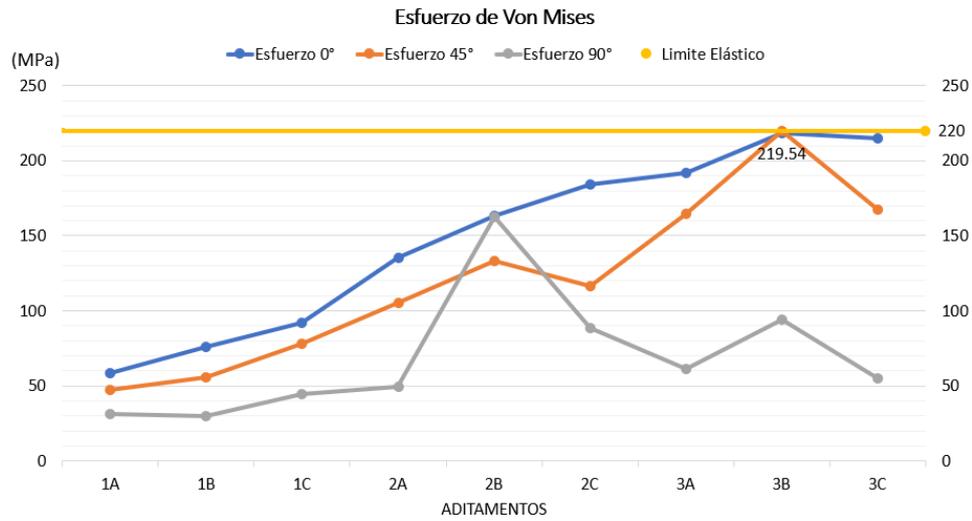
**Tabla 4.3** Esfuerzo y desplazamiento con ángulos de volteo

Core	Carga	Masa	Gravedad (2G)					
			Von Mises (MPa)			Desplazamiento (mm)		
			0°	45°	90°	0°	45°	90°
1A	600	198.72	58.25	47.47	31.42	0.377	0.267	0.033
1B	700	257.64	76.28	56.01	30.03	0.549	0.39	0.036
1C	600	341.39	92.34	78.02	44.26	1.19	0.847	0.028
2A	800	274.96	135.45	105.59	49.23	1.485	1.048	0.06
2B	1300	366.08	163.43	133.37	162.71	1.765	1.25	0.075
2C	1300	414.19	184.41	116.68	88.62	2.71	1.92	0.064
3A	650	326.86	191.53	164.52	61.18	3.142	2.215	0.111
3B	1100	429.79	218.28	219.54	94.44	3.5	2.471	0.159
3C	900	533.70	215.15	167.52	54.87	3.818	2.7	0.099

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.20 se observa una representación gráfica del esfuerzo generado en los aditamentos sometidos a distintos ángulos de volteo, el resultado de cada uno de los modelos se

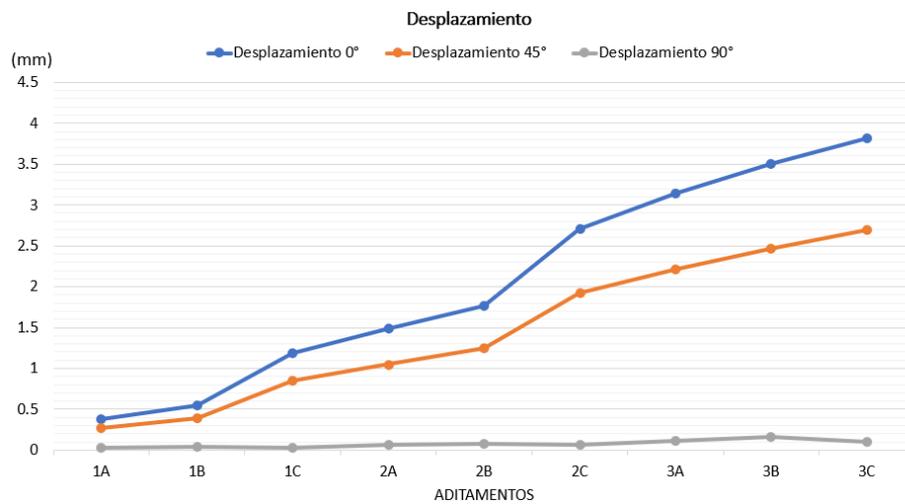
encuentra por debajo del límite elástico del material de 220 MPa. Se validaron todos los modelos con el criterio de realizar el análisis estructural con una doble gravedad (2G) para obtener un factor de seguridad de 2.0.



**Figura 4.20** Esfuerzo Von Mises en los aditamentos

En la figura 4.21 se observa el desplazamiento producido por las cargas aplicadas en cada uno de los aditamentos. Se evidencia que mientras el tamaño de los aditamentos aumenta el desplazamiento es mayor, esto se debe a que se sigue conservando los mismos soportes de los extremos y se mantiene el mismo PTR de 3 x 3 in, en todos los modelos.

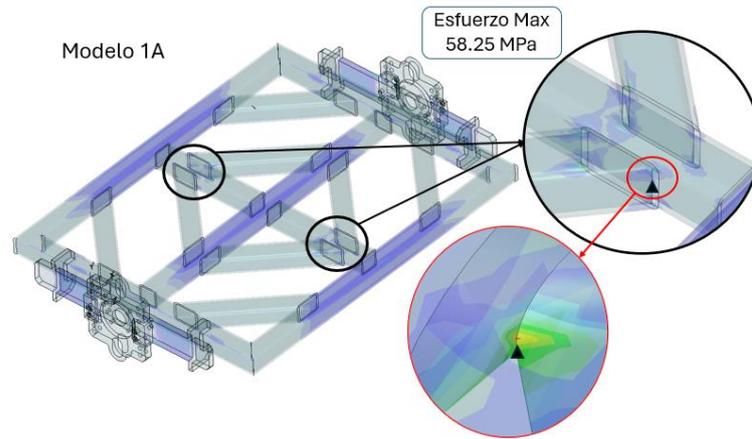
Los mayores desplazamientos se produjeron cuando los aditamentos se encontraban en posición horizontal llegando a un máximo de 3.81mm, mientras se produzca un volteo, los modelos sufren un desplazamiento menor, llegando a un desplazamiento menor a 0.2mm cuando el posicionador se encuentra de manera vertical (90° de volteo).



**Figura 4.21** Desplazamiento en los aditamentos

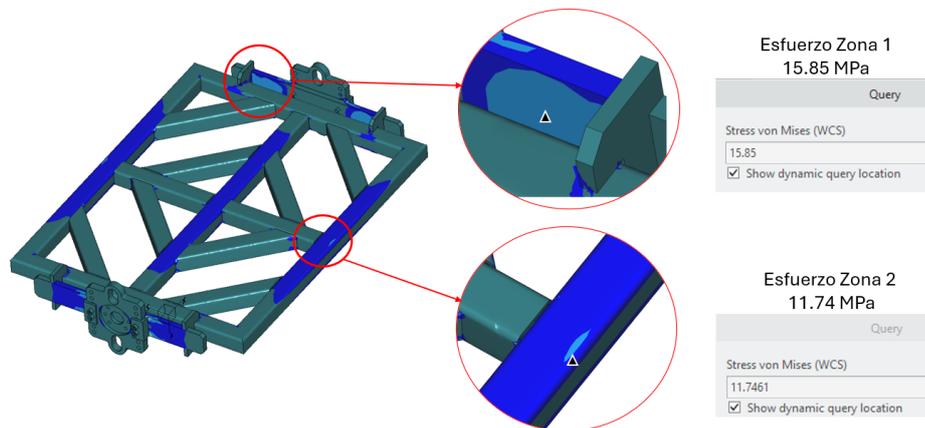
#### 4.4 Análisis de la simulación

Los esfuerzos obtenidos anteriormente son esfuerzos que el software muestra directamente, sin considerar la unión por soldadura que proporciona rigidez a la estructura, estos esfuerzos se localizan en zonas muy pequeñas como se muestra en la figura 4.22.



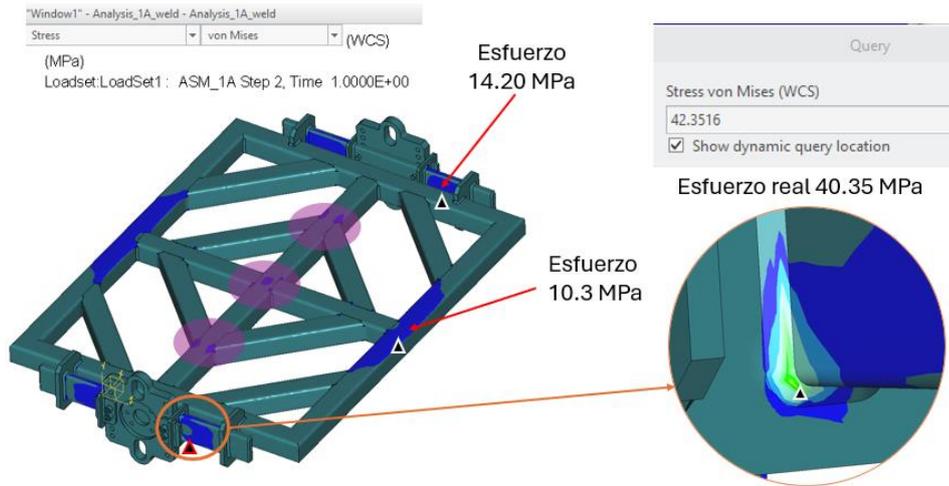
**Figura 4.22** Esfuerzos máximos determinados por Creo Simulate

Debido a la localización de los esfuerzos en zonas muy pequeñas se realizó un análisis en donde se determinó los esfuerzos reales que soporta la estructura de la mesa junto con los soportes de sujeción; sin considerar los esfuerzos generados en las uniones se obtienen esfuerzos menores al esfuerzo máximo mostrado por Creo Simulate. En la figura 4.23 se muestran diferentes zonas que se pueden considerar esfuerzos reales que sufre la estructura.



**Figura 4.23** Esfuerzos en diferentes zonas de la estructura

Para garantizar que los esfuerzos disminuyen, se realizó un análisis con soldadura (el tipo de soldadura está incompleta), esto con el fin de simular un escenario donde la estructura se encuentre rígida con uniones soldadas. En la figura 4.24 se evidencia el modelo 1A con una disminución de esfuerzos considerable, siendo este el esfuerzo real del modelo rígido 1A.



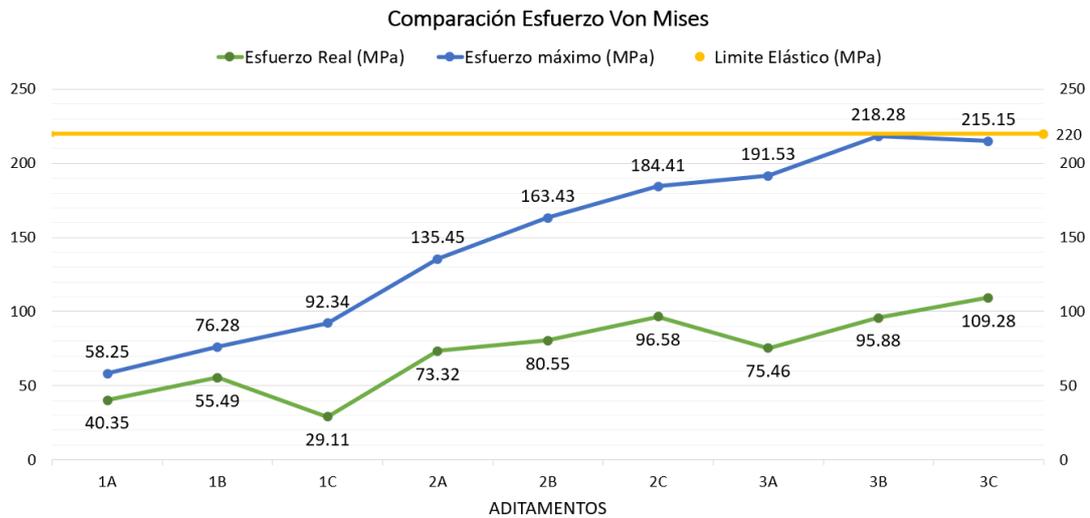
**Figura 4.24** Esfuerzo real de los modelos

Tomando en cuenta estos aspectos en el análisis, los resultados de los esfuerzos reales en los modelos son los que se detallan en la Tabla 4.4.

**Tabla 4.4** Esfuerzo y desplazamiento con ángulos de volteo

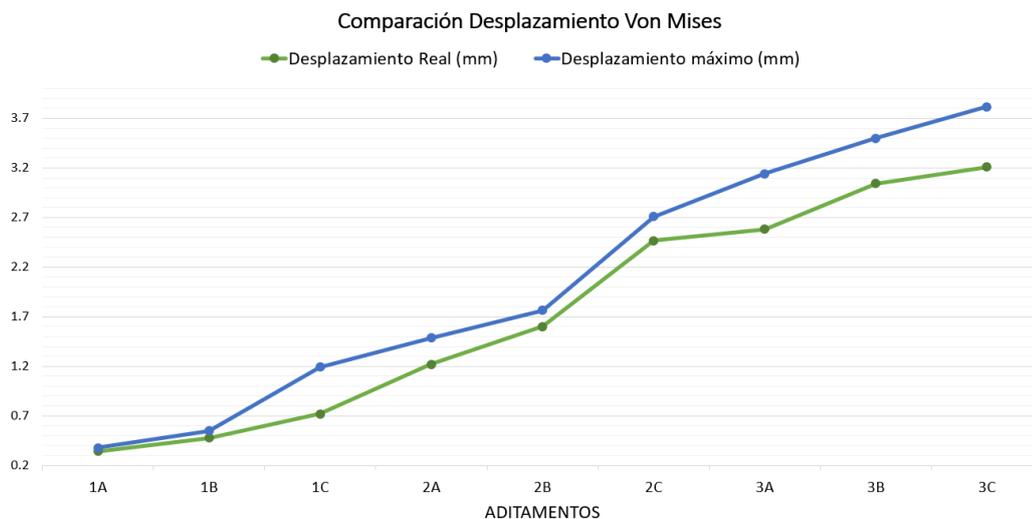
Aditamentos	Von Mises (MPa)			Desplazamiento (mm)		
	Sin volteo 0°			Sin volteo 0°		
	Esfuerzo max de PTC	Esfuerzo real	Reducción de esfuerzo	Despl. max de PTC	Despl. real	Reducción de despl.
1A	58.25	40.35	31%	0.377	0.3405	10%
1B	76.28	55.49	27%	0.549	0.4761	13%
1C	92.34	29.11	68%	1.19	0.7181	40%
2A	135.45	73.32	46%	1.485	1.2207	18%
2B	163.43	80.55	51%	1.765	1.6019	9%
2C	184.41	96.58	48%	2.71	2.4655	9%
3A	191.53	75.46	61%	3.142	2.5804	18%
3B	218.28	95.88	56%	3.5	3.0411	13%
3C	215.15	109.28	49%	3.818	3.2104	16%

De acuerdo con un análisis realizado en cada uno de los aditamentos se evidencia una disminución del esfuerzo y del desplazamiento en cada uno de los modelos. Esto garantiza que los modelos de manera rígida se encuentren con un factor de seguridad de 2.0. En la figura 4.25 se observa la disminución del esfuerzo.



**Figura 4.25** Comparación del esfuerzo de máximo y en esfuerzo real

De igual manera se evidencia una disminución en el desplazamiento de los modelos cuando se encuentra de una manera rígida. En la figura 4.26 se muestra la comparación del desplazamiento máximo y real de cada modelo.

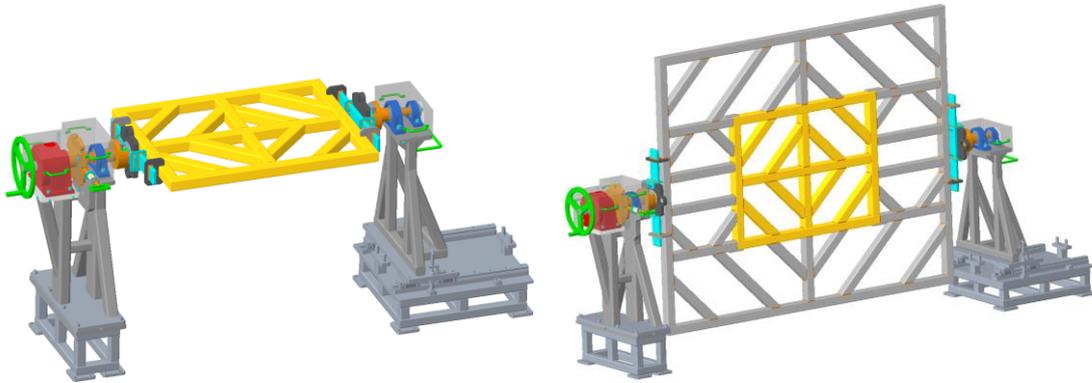


**Figura 4.26** Comparación del desplazamiento máximo y en desplazamiento real

Los esfuerzos obtenidos luego del análisis son menores a 110MPa, lo que garantiza que los modelos cumplen con los criterios de validación.

Luego de la simulación y análisis, los modelos se validan cumpliendo así, el requisito de obtener un factor de seguridad mayor a 2.0 al no sobrepasar el límite elástico, En un estudio posterior se analizará y aplicará una correcta soldadura para la unión de los componentes con los requerimientos necesarios de la normativa de Caterpillar Inc, que rige para la unión de componentes y herramientas de servicio.

El posicionador ensamblado con el modelo 1A y 3C se muestran en la figura 4.25, dando a entender que la base funciona correctamente para el volteo completo de los aditamentos diseñados.



**Figura 4.27** Posicionador de soldadura con el aditamento 1A a la izquierda y 3C a la derecha

## CAPITULO V

### 5 CONCLUSIONES

#### 5.1 Conclusiones

Se ha presentado una metodología para estandarizar la estructura de una mesa de soldadura utilizado en los posicionadores, las dimensiones son determinadas por el largo, ancho y centro de gravedad de los productos, llegando a considerar productos de un máximo de 2800 mm de largo y de 2300 mm de ancho, con estas medidas se engloba los productos como son puertas, techos y pisos de las diferentes familias de maquinarias.

Es necesario estandarizar dimensiones para la estructura de la mesa de soldadura, evitando así trabajar productos pequeños en mesas de gran tamaño y viceversa, para ello se realizaron 3 clasificaciones en largo (1, 2, 3) y ancho (A, B, C) respectivamente obteniendo así nueve aditamentos 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C, 3A, 3B 3C, capaces de soportar productos de dimensiones iguales o menores al tamaño del aditamento. Mediante esta clasificación se pretende facilitar al operador de soldadura tener acceso a todas partes del producto en un determinado aditamento, ayudando así, a un trabajo seguro y ergonómico.

Mediante CREO Parametric se desarrolló los modelos de los aditamentos, utilizando una metodología de experimentación para encontrar una geometría en la que se genere bajos esfuerzos y desplazamientos muy pequeños, evitando que los materiales lleguen a una deformación plástica, con ello se asegura que el aditamento recupere su forma original después de ser sometido a diversas cargas de flexión en el proceso de soldadura.

El presente proyecto fue factible al generar un diseño paramétrico con una metodología de estandarización, la cual se validó con análisis estructural mediante el método de elemento finito considerando diferentes escenarios de carga, que determinaron la selección del material y logrando así, establecer un modelo principal definido como la base de la mesa, que cumple con los estándares de seguridad y calidad requeridos por la industria.

Con los modelos estandarizados se reduce el tiempo en el diseño de aditamentos específicos para cada producto y así también se reduce los recursos y tiempo en el proceso de manufactura. No solo se limita el uso a las puertas, pisos y techos, el uso de los aditamentos se extiende a productos con dimensiones iguales o menores, que se encuentren dentro del rango de carga considerado en cada uno de los modelos.

## **5.2 Trabajo futuro**

Los modelos obtenidos son prototipos están sujetos a modificaciones de diseño, debido a posibles problemas en el proceso de manufactura, se puede considerar el cambio de las dimensiones del PTR y el espesor de este.

El proceso de soldadura es una etapa en la cual se valida los modelos con una mayor precisión y cumplan con los estándares de seguridad y calidad de los productos. Por lo cual se recomienda realizar un estudio de los diferentes cordones de soldadura que se pueden aplicar para la unión de los diferentes componentes de los aditamentos.

También, para garantizar la estabilidad y durabilidad, podría ser necesario realizar un estudio de vibraciones, con el fin de evitar que las frecuencias naturales de resonancia de la mesa no coincidan con frecuencias de operación de las demás maquinarias. Además, se puede realizar un análisis de estabilidad, para determinar la capacidad de la estructura para mantenerse estable bajo perturbaciones.

Los aditamentos siendo estructuras que estarán sometidos a cargas repetitivas debido al proceso de soldadura de los productos, se recomienda realizar un análisis de fatiga en donde se evalúa como los materiales se debilitan con el tiempo al estar en un ciclo de carga y descarga.

Con el fin de mejorar la ergonomía del operador, y así mejorar el trabajo en el proceso de soldadura para el ensamble de los componentes, se recomienda un estudio en la variación de la altura de los cabezales y en el entorno de los posicionadores de soldadura.

## **5.3 Aportación tecnológica**

La presente investigación tiene una aportación de carácter tecnológico, se realiza un entregable de los modelos propuestos para continuar con la estandarización. Los modelos de los aditamentos en ejecución se encuentran en elementos CAD en la empresa Caterpillar, además se realiza un entregable de la guía de diseño.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aceros crea. (2021). *La norma ASTM*. Obtenido de <https://vigaipr.com/blog/norma-astm/>
- ADEA. (2020). *Asociación de Ergonomía Argentina*. Obtenido de ergonomía: <https://adeargentina.org.ar/ergonomia/>
- Aguirre, C. & Figueroa, A. (2008). Análisis técnico-económico entre proyectos de construcción de estructura metálica y hormigón armado para edificios. *Escuela Politécnica Nacional*.
- Alarcón Llano, D. (2016). *Repositorio Institucional BUAP*. Recuperado el enero de 2024, de Estandarización de productos y reducción de desperdicios en microempresa artesanal ÓOM: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/fe050b80-4dbd-407e-a708-5d7409f4c73d>
- Albarracín Flores, M. & Carpio Mendoza, Y. (2020). Recuperado el octubre de 2023, de “Evaluación y propuesta de mejora ergonómica para reducir los riesgos disergonómicos en el proceso de soldadura en estructuras metálicas de la empresa metalmecánica RAM – Servicios Generales S.A.C. Arequipa - 2019: [https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3800/Maria%20Albarracin\\_Yoselin%20Carpio\\_Tesis\\_Titulo%20Profesional\\_2020.pdf?seq](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3800/Maria%20Albarracin_Yoselin%20Carpio_Tesis_Titulo%20Profesional_2020.pdf?seq)
- Autodesk. (2023). *Autodesk Inventor 2022*. Recuperado el noviembre de 2023, de Centro de gravedad: <https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2022/ESP/?guid=GUID-5A8F73C1-B19C-4DCA-85F3-B7AEF252632D>
- Baileigh. (2023). *Baileighy Industrials*. Recuperado el noviembre de 2023, de Welding Jig Table: <https://baileigh.com/metalworking/welding-equipment/welding-jig-tables/heavy-duty-welding-jig-tables-28mm/welding-jig-table-wjt-7839-hd>
- BuilPro. (2023). *BuildPro Welding Tables*. Obtenido de <https://stronghandtools.com/products/rotary-positioners>
- Castilla Madrigal, E. (Julio de 2018). *Repositorio Documental*. Recuperado el octubre de 2023, de Diseño de una mesa de soldadura: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/31224/TFG-I-900.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Caterpillar. (2023). Recuperado el octubre de 2023, de Caterpillar: <https://www.caterpillar.com/es.html>
- Caterpillar. (2023). Recuperado el octubre de 2023, de Visión, misio, estrategia y principios: <https://www.caterpillar.com/es/company/sustainability/vision-mission-strategy.html>
- CCOHS. (2017). *Canadian Centre for Occupational Health and Safety*. Obtenido de Welding - Ergonomics: [https://www.ccohs.ca/oshanswers/safety\\_haz/welding/ergonomics.html](https://www.ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/welding/ergonomics.html)
- Ciclotron. (2021). *Welding tables*. Recuperado el noviembre de 2023, de Rotary Modular Welding Table: <https://weldingtable.in/rotary-welding-table/>
- Cimec. (2019). *Consultoría Estratégica de Investigación de Mercados*. Obtenido de <https://www.cimec.es/estandarizacion-producto-que-es/>

- CLD. (2024). *Perfil estructural*. Obtenido de <https://www.cdl.es/hierro-acero/largos/perfil-estructural/>
- Creo Parametric. (2023). Recuperado el noviembre de 2023, de Uso de Centro de gravedad en un análisis: [https://support.ptc.com/help/creo/creo\\_pma/r10.0/spanish/index.html#page/model\\_analysis/manikin/AboutUsingtheCenterofGravityinanAnalysis.html](https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/r10.0/spanish/index.html#page/model_analysis/manikin/AboutUsingtheCenterofGravityinanAnalysis.html)
- Dariusz, G. (2019). Study of design and research of new welding manipulators on the example of an L-type positioner. *Welding Technology Review*. doi:10.26628/wtr.v9i17.1058
- Díaz, A. (2020). *Métodos de mallado y algoritmos adaptativos en dos y tres dimensiones para la resolución de problemas electromagnéticos cerrados mediante el método de los elementos finitos*. Obtenido de Tesis Doctoral: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/772/adm.pdf;jsessionid=159A0A1D42341333FE34F5A7B397FC8E?sequence=1>
- Espíndola, M. & Hernández, J. (septiembre de 2020). Revisión de la literatura sobre la estandarización de procesos productivos a nivel científico. *Academia Journals*, 12, 6. Recuperado el octubre de 2023, de <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/426/1/Revision%20de%20la%20literatura%20sobre%20la%20estandarizacion.pdf>
- EVZ. (2023). *EVZ*. Obtenido de Single Axis: [https://www.evrobot.com/head-and-tail-stock-single-axis-welding-positioner\\_p49.html](https://www.evrobot.com/head-and-tail-stock-single-axis-welding-positioner_p49.html)
- Fazinga, W. (diciembre de 2019). Implementación del trabajo estandarizado en la industria de la construcción. *Revista ingeniería de construcción*, 34. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000300288>
- Gullco. (2018). *Welding Positioner*. Recuperado el noviembre de 2023, de Technical Manual: [https://www.rapidwelding.com/files/GULLCO\\_GP-200\\_GPP-200\\_TECHNICAL\\_MANUAL.pdf](https://www.rapidwelding.com/files/GULLCO_GP-200_GPP-200_TECHNICAL_MANUAL.pdf)
- IEEE. (s.f.). *The professional home for the engineering and technology community worldwide*. Recuperado el octubre de 2023, de [https://www.ieee.org/about/ieee-history.html?utm\\_source=wdw&utm\\_medium=lp-about&utm\\_campaign=history](https://www.ieee.org/about/ieee-history.html?utm_source=wdw&utm_medium=lp-about&utm_campaign=history)
- Jucat. (2023). *Jucat*. Obtenido de Ventajas de los posicionadores de soldadura: <https://jucat.fi/es/ventajas-de-los-posicionadores-de-soldadura/>
- Kwan, K. et al. (2023). Revisión bibliográfica de los tipos de Ergonomía estudiadas en las publicaciones científicas localizadas en la Web of Science, 2019-2022. *Ciencia Latina*, 7(2). doi: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i2.5556](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5556)
- MatWeb. (2024). *Material Property Data*. Obtenido de <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=afc003f4fb40465fa3df05129f0e88e6&ckck=1>
- Motion Index Drives. (2023). Obtenido de Single axis weld positioning systems: <https://motionindexdrives.com/product/single-axis-weld-positioner/>
- Motion Index Drives. (2023). Obtenido de Sky Hook 2-Axis Weld Positioner: <https://blog.motionindexdrives.com/sky-hook-2-axis-weld-positioner>

- Muñoz, D. (2006). Estandarización de los procesos de producción de los productos elaborados para los puntos de venta de Yogen Früz. Colombia. Recuperado el septiembre de 2023, de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1158&context=ing\\_alimentos](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1158&context=ing_alimentos)
- Niebles, E. & Arnedo, W. (2009). Procedimientos de soldadura y calificación de soldadores: una propuesta de enseñanza y guía de aplicación para la industria. *Información tecnológica*, 20, 19-30. doi: 10.1612/inf.tecnol.4064it.08
- Ochoa, D. et al. (2009). Uso de métodos del elemento finito (MEF) para la determinación de esfuerzos y deformaciones en modelo de pozo. *El Reventón Energético*, 7, 27-35. Obtenido de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/360>
- Orvañanos, M. et al. (2022). Optimización del balanceo de un mecanismo plano mediante redistribución de masas. *Revista chilena de Ingeniería*, 30(1), 134-144. Recuperado el noviembre de 2023, de <https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v30n1/0718-3305-ingeniare-30-01-134.pdf>
- Piñero, G. (2019). *la estandarización en las franquicias*. Recuperado el octubre de 2023, de <https://gerardopineroache.wordpress.com/2019/05/29/la-estandarizacion-en-las-franquicias/>
- PTC. (2024). *Creo Parametric*. Obtenido de Acerca de nosotros: <https://www.ptc.com/es/about>
- PTC. (2024). *Creo Parametric*. Obtenido de Principios fundamentales: [https://support.ptc.com/help/creo/creo\\_pma/r9.0/spanish/index.html#page/fundamentals/fundamentals/To\\_Mesh\\_a\\_Part\\_Surface.html](https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/r9.0/spanish/index.html#page/fundamentals/fundamentals/To_Mesh_a_Part_Surface.html)
- Rodríguez, Y. & Pérez, E. (2011). Ergonomics and Simulation applied to the Industry. *ingeniería Industrial*, 32(1). Recuperado el octubre de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/3604/360433575002.pdf>
- Rueda Hinojosa, A. (2021). *Presencia de molestias Musculo -Esqueléticas en zona lumbar y miembros superiores asociadas a posturas forzadas en el puesto de soldadura en un taller metalmecánico y su propuesta de control*. Recuperado el octubre de 2023, de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4160/1/Rueda%20Hinojosa%20Ana%20Bel%C3%A9n.pdf>
- Salinas, M. (2022). *Universidad Continental*. Recuperado el octubre de 2023, de Análisis ergonómico para proponer mejoras al puesto de soldador de una empresa metal mecánica de Arequipa, 2022: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12504/1/IV\\_FIN\\_108\\_TE\\_Salinas\\_Najar\\_2022.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12504/1/IV_FIN_108_TE_Salinas_Najar_2022.pdf)[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12504/1/IV\\_FIN\\_108\\_TE\\_Salinas\\_Najar\\_2022.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12504/1/IV_FIN_108_TE_Salinas_Najar_2022.pdf)
- Sánchez, A. (2019). Recuperado el octubre de 2023, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17524/1/UPS-GT002704.pdf>
- Sanyes, E. (2016). Estudio de las estrategias de estandarización y. Recuperado el octubre de 2023, de <https://www.comercioexterior.ub.edu/tesina/tesinasaprobadas/1516/TesinaSanyesElisabet.pdf>
- Talavera, M. et al. (2023). Localización del centro de gravedad de objetos de simetría cilíndrica. *CENAM*, 5. Obtenido de 88

<https://www.cenam.mx/memorias/descarga/Memorias%20Simposio/documentos/tacar004.pdf>

Vázquez, C. & Labarca, N. (2012). Calidad y estandarización como estrategias competitivas en el sector agroalimentario. *Revista Venezolana de Gerencia*, 17, 695-708. Recuperado el septiembre de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/290/29024892002.pdf>

Woodward. (2023). *Weld Positioners*. Recuperado el octubre de 2023, de <https://www.woodwardfab.com/product-category/product/welding/weld-positioners/#:~:text=Welding%20positioner%20are%20mechanical%20devices,efficiency%20and%20improve%20weld%20quality>.

ZhiQuiang, Z. (2023). Application of finite element analysis in structural analysis and computer simulation. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/372473996\\_Application\\_of\\_finite\\_element\\_analysis\\_in\\_structural\\_analysis\\_and\\_computer\\_simulation](https://www.researchgate.net/publication/372473996_Application_of_finite_element_analysis_in_structural_analysis_and_computer_simulation)

## ANEXOS

### ANEXO A: DETALLES DE LOS PRODUCTOS (MUESTRAS)

Número total de Aditamentos						
Muestras	Aditamento	Productos	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Masa (Kg)
1	TAF 1_001	31_001	997.5	973.14	37.5	54.98
2	TAP 8_002	47_002	834.6	1061.6	31.89	8.83
3	TAP 8_003	27_003	1336.8	929.2	57.2	32.1
4	TAP 4_004	61_004	1260.8	1259.1	14	50.59
5	TAF 1_005	39_005*	1609.5	959.1	34.5	31.28
6	TAF 1_006	54_006	1561.26	875.4	413.3	108.62
7	TAF 1_007	54_007	1630.57	766.2	468.6	58.54
8	TAF 1_008	54_008*	1639.4	926	94.9	48.6
9	TAP 0_009	37_009	1694.09	1025.1	77.98	57.76
10	TAP 0_010	36_010	1691.5	1032.58	78.26	60.6
11	TAP 1_011	33_011	1561.86	920	62.17	21.7
12	TAP 1_012	50_012	1640	961.5	80	56.75
13	TAP 1_013	33_013*	1627	904	3	36.35
14	TAP 1_014	33_014	1732	1002	200	79.16
15	TAP 1_015	54_015	1561.26	875.4	413.3	108.62
16	TAP 1_016	28_016*	1524	860.74	62	16.97
17	TAP 1_017	54_017	1630.57	766.2	468.6	56.12
18	TAP 1_018	58_018*	1639.4	926	94.9	48.6
19	TAP 2_019	35_019	1653.26	956.78	136.17	51.81
20	TAP 4_020	51_020	1696.16	986.23	141.2	83.9
21	TAP 4_021	44_021	1696.16	986.23	141.2	110.12
22	TAP 4_022	36_022*	1530	738.15	72	21.72
23	TAP 5_023	31_023	1497.57	953.47	19.05	35.12
24	TAP 9_024	52_024	1570.9	537.7	104.13	31.04
25	TAP 9_025	24_025	1478.29	720.59	58.75	23.58
26	TAP 9_026	39_026	1545.25	791.9	74	26.52
27	TAP 9_027	48_027	1480.73	659.13	66.5	25.98
28	TAP 9_028	88_028*	1583.34	679.53	63.52	26.87
29	TAF 1_029	33_029*	1724	1688.23	94	89.54
30	TAF 1_030	31_030	1519.02	1201.34	38.08	35.35
31	TAF 1_031	31_031	1910.38	1458.83	178	177.19
32	TAF 1_032	44_032	1594	1522	175	188.33
33	TAF 1_033	54_033	1608.75	1483.15	128.57	78.83
34	TAF 8_034	30_034*	1518.76	1120	34.88	34.47
35	TAP 0_035	37_035	1693.49	1229.47	120.46	113.22
36	TAP 0_036	41_036	1992.01	1449.72	194.04	190.86

37	TAP 1_037	30_037*	1674.74	1664.58	173.8	102.09
38	TAP 1_038	54_038	1608.75	1483.15	128.57	78.83
39	TAP 4_039	36_039	1805.58	1357.88	101.6	202.83
40	TAP 5_040	38_040	1568	1167	34	59.71
41	TAP 8_041	29_041	1697.3	1478	127	360.1
42	TAP 9_042	47_042	1404.75	1626	291	66.43
43	TAP 9_043	47_043	1404.75	1626	291	66.43
44	TAP 9_044	56_044*	1537.88	1172.55	108.88	46.51
45	TAP 9_045	61_045*	1509.72	1179.3	115.11	36.45
46	TAP 9_046	15_046	1703.34	1137.96	133.96	88.97
47	TAF 1_047	33_047*	1708.5	1710	79.4	86.73
48	TAF 1_048	29_048	1816	1724.4	161.1	276.13
49	TAP 1_049	33_049	1708.5	1710	79.4	86.76
50	TAP 1_050	33_050	1719	1708.5	94	89.51
51	TAP 4_051	41_051	1859	1937.23	121.6	290.16
52	TAF 8_052	58_052*	2436	1526	137.35	312.31
53	TAF 8_053	57_053*	2448.1	1730.14	171.05	594.26

Nota: El número de producto que contengan el símbolo (\*) contiene varios productos, para el estudio se consideró el producto con mayores dimensiones y peso.

**ANEXO B: CENTRO DE GRAVEDAD DE LOS PRODUCTOS Y MASA DE LOS ACCESORIOS**

<b>Muestras</b>	<b>Productos</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Masa Accesorios (Kg)</b>
1	31_001	408.18	20.47	456.56	166.57
2	47_002	485.06	11.49	494.94	152.17
3	27_003	523.52	15.91	537.21	101.46
3	61_004	628.94	2.81	641.67	50.27
5	39_005*	407.3	8.06	829.85	69.04
6	54_006	406.85	138.9	430.12	66.1
7	54_007	371.67	76.9	818.9	66.76
8	54_008*	446.63	35.68	782.41	54.29
9	37_009	431.95	41.94	863.65	SCAD
10	36_010	449.76	31.57	834.67	SCAD
11	33_011	459.37	9.71	518.69	34.3
12	50_012	457.64	87.89	828.31	144.2
13	33_013*	449.5	5.09	909.91	28.51
14	33_014	484.14	51.34	826.42	18.2
15	54_015	406.85	138.9	430.12	217.56
16	28_016*	448.68	13.43	773.17	118.21
17	54_017	383.32	75.77	843.41	212.25
18	58_018*	446.63	35.68	782.41	226.01
19	35_019	532.3	7.97	822.66	SCAD
20	51_020	495.41	105.5	910.6	173.41
21	44_021	506.8	58.47	900.76	131.07
22	36_022*	375.9	13.88	559.6	98.58
23	31_023	662.35	9.11	675.78	42.21
24	52_024	269.23	5.46	951.47	66.72
25	24_025	266.02	26.55	672.97	77.37
26	39_026	376.6	11.12	688.81	145.7
27	48_027	317.41	30.73	692.27	88.53
28	88_028*	376.93	18.74	669.55	116.31
29	33_029*	899.71	30.1	865.55	83.54
30	31_030	531.66	11.12	962.26	28.11
31	31_031	741.73	50.15	1073.52	88.8
32	44_032	759.32	80.14	768.34	7.35
33	54_033	731.9	15.83	816.56	110.97
34	30_034*	489.34	11.93	929.37	135.74

35	37_035	651.22	80.63	829.01	Sin Material
36	41_036	758.79	47.95	1080.42	207.74
37	30_037*	710.22	65.64	940.32	106.65
38	54_038	731.9	15.83	816.56	311.72
39	36_039	678.86	121.82	809.41	325.83
40	38_040	580.66	2.54	790.48	20.56
41	29_041	739	63.35	848.64	275.53
42	47_042	656.7	29.13	656.02	192.32
43	47_043	977.03	143.07	657.04	192.32
44	56_044*	673.39	9.38	529.22	76.75
45	61_045*	472.03	1.12	623.27	76.75
46	15_046	556.66	34.47	812.71	358.61
47	33_047*	761.13	36.94	740.65	SM
48	29_048	848.08	114.05	940.47	28.84
49	33_049	947.27	36.94	983.27	Sin Material
50	33_050	899.78	30.1	852.46	Sin Material
51	41_051	971.61	51.65	940.55	240.47
52	58_052*	763.55	97.44	1253.49	99.56
53	57_053*	863.66	103.36	1237	142.57

## ANEXO C: PROVEEDORES DE ACERO

Entre los proveedores de acero se encuentran Fortacero, AHMSA, aceros trevino y aceros Levinson. A continuación, un ejemplo de los productos disponibles del proveedor Aceros Trivino

### PTR

DIMENSIONES		ESPESOR			PESOS	
CALIBRE	MILIMETRO	COLOR	PULGADAS	MM	KG/M	KG/PZA (6.1 M)
1 x 1	25 x 25	Verde	0.105	2.7	1.90	10.80
		Rojo	0.135	3.4	2.13	13.00
1 1/2 x 1 1/2	38 x 38	Blanco	0.105	2.7	2.95	17.99
		Verde	0.125	3.0	3.27	20.00
		Rojo	0.154	3.8	3.89	23.80
		3/16	0.188	4.8	4.80	29.28
		1/4	0.250	6.4	6.54	39.90
2 x 2	51 x 51	Blanco	0.105	2.7	3.89	23.80
		Verde	0.125	3.0	4.54	27.70
		Rojo	0.154	3.8	5.50	33.60
		3/16	0.188	4.8	6.43	39.30
		1/4	0.250	6.4	8.05	49.20
2 1/2 x 2 1/2	64 x 64	Blanco	0.120	3.0	5.60	34.20
		Verde	1.410	3.4	6.47	39.50
		Rojo	0.180	4.6	8.00	48.80
		1/4	0.250	6.4	10.58	64.60
3 x 3	76 x 76	Blanco	0.120	3.0	6.81	41.60
		Verde	0.156	3.8	8.66	52.90
		Rojo	0.180	4.6	9.81	59.90
		Azul	0.250	6.3	13.11	80.00
		3/8	0.375	9.5	18.11	110.47
3 1/2 x 3 1/2	89 x 89	Blanco	0.120	3.0	8.03	49.00
		Verde	0.156	3.8	10.24	62.50
		Rojo	0.180	4.6	11.62	70.90
		Azul	0.250	6.3	15.64	95.50
		3/8	0.375	9.5	21.91	133.65
3 x 2	76 x 76	Blanco	0.120	3.0	5.59	34.10
		Verde	0.141	3.8	6.47	39.50
		Rojo	0.180	4.8	8.00	48.80
		Azul	0.250	6.4	11.10	67.80
4 x 2	102 x 51	Blanco	0.120	3.0	6.81	41.60
		Verde	0.156	3.8	8.66	52.90
		Rojo	0.180	4.6	9.81	59.90
		Azul	0.250	6.3	13.11	80.00
		3/8	0.375	9.5	18.11	110.48
4 x 3	102 x 76	Blanco	0.120	3.0	8.03	49.00
		Verde	0.156	3.8	10.24	62.50
		Rojo	0.180	4.6	11.62	70.90
		Azul	0.250	6.3	15.64	95.50
		3/8	0.375	9.5	21.91	133.65
4 x 4	102 x 102	Blanco	0.120	3.0	9.24	56.40
		Verde	0.156	3.8	11.82	72.20
		Rojo	0.180	4.6	13.44	82.00
		Azul	0.250	6.3	18.18	110.90
		1/2	0.500	12.7	32.19	196.36