

DISEÑO DE BRAZO POSICIONADOR PARA PROBETAS DE SOLDADURA

ROBINSON LONDOÑO RÍOS
ANDRÉS ESTEBAN MARÍN MANCO

Asesora
LIBIA MARÍA BAENA PÉREZ
Ingeniera Materiales

TRABAJO DE GRADO
PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2016

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	8
2. INTRODUCCIÓN	9
3. ANTECEDENTES	11
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
5. OBJETIVOS	14
A. OBJETIVO GENERAL	14
B. OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
6. MARCO TEÓRICO	15
6.1 PROCESOS DE SOLDADURA	15
6.1.1 Proceso SMAW.	15
6.1.2 Proceso GMAW.	18
6.1.3 Proceso FCAW.	21
6.1.4 Proceso GTAW.	26
6.1.5 Proceso SAW.	30
6.2 JUNTAS DE SOLDADURA	33
6.2.1 Partes De Una Junta Soldada.	34
6.2.2 Soldaduras Terminadas.	37
6.2.3 Tamaño De Soldadura.	39
6.3 POSICIONES DE SOLDADURA	40
6.4 SIMBOLOGÍA SOLDADURA	43
6.4.1 Símbolos básicos.	43
6.5. RESISTENCIA DE UNIONES SOLDADAS	45
7. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	47

7.1	BUSQUEDA BIBLIOGRÁFICA	47
7.2	MATERIALES	47
7.2.1	Acero ASTM A36.	48
7.2.2	Acero SAE 1018.	49
7.2.3	Tornillería.	50
7.3	DIMENSIONES	52
7.4	COSTOS	52
7.5	MODELADO Y PLANOS	53
7.6	SIMULACIÓN DE TENSIONES	53
7.7	RESULTADOS	53
7.8	CONCLUSIONES	53
7.9	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	54
8.	RESULTADOS	55
8.1	MODELADO 3D PARTES DEL BRAZO POSICIONADOR	55
8.1.1	Trípode.	55
8.1.2	Brazo de la Mesa de Trabajo.	56
8.1.3	Mesa de Trabajo.	57
8.1.4	Brazo Principal.	58
8.1.5	Anillo Sujeción Probetas de Platina.	59
8.1.6	Anillo Sujeción Probetas Platina y Tubería.	60
8.2	PLANOS	61
8.3	SIMULACIÓN DE TENSIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS	71
8.3.1	Simulación Tensiones del Brazo Principal.	72
8.3.2	Simulación de Tensiones del Brazo de la Mesa de Trabajo.	74
8.3.3	Simulación de Tensiones y Cortante en Unión Atornillada.	77

8.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	79
8.4.1	Brazo Principal.	80
8.4.2	Brazo de la Mesa de Trabajo.	81
8.4.3	Unión Atornillada.	81
9.	CONCLUSIONES	82
10.	REFERENCIAS	83

INDICE TABLAS

Tabla 1. Especificación Electroodos GMAW Según la AWS.	20
Tabla 2. Clasificación de color y elementos de aleación para diversas aleaciones electroodos de tungsteno.	28
Tabla 3. Propiedades Mecánicas del Metal de Aporte.	46
Tabla 5. Composición Química Acero ASTM A36.	48
Tabla 6. Propiedades Físico Mecánicas Acero ASTM A36.	48
Tabla 7. Composición Química Acero SAE 1018.	49
Tabla 8. Propiedades Físico Mecánicas Acero SAE 1018.	50
Tabla 4. Designación Tornillería.	51
Tabla 9. Lista y Costo de Materiales.	52
Tabla 10. Cronograma Actividades.	54
Tabla 11. Fuerzas que Actúan Sobre el Brazo Principal.	71
Tabla 12. Fuerzas que Actúan Sobre el Brazo de la Mesa de Trabajo.	72
Tabla 13. Resultados Análisis Tensiones de Brazo Principal.	73
Tabla 14. Resultados Análisis Tensiones Brazo de Mesa de Trabajo.	76
Tabla 15. Resultados Análisis Tensiones Unión Atornillada.	77
Tabla 16. Factores de Diseño.	80

INDICE FIGURAS

Figura 1. Elementos de un circuito de soldadura típico para soldadura por arco de metal protegido.	16
Figura 2. Descripción proceso, partes y funcionamiento del electrodo.	17
Figura 3. Diagrama del equipo para soldadura.	19
Figura 4. Proceso FCAW, método protegido con gas.	22
Figura 5. Proceso FCAW, método autoprotección.	23
Figura 6. Equipo típico para FCAW.	24
Figura 7. Disposición del equipo para proceso GTAW.	27
Figura 8. Corte seccional de antorcha o soplete para GTAW.	28
Figura 9. Esquema del proceso de soldadura por arco sumergido.	32
Figura 10. Juntas básicas, soldadura aplicable.	34
Figura 11. Raíces juntas.	36
Figura 12. Superficie del bisel, superficie de la raíz y borde de la raíz.	36
Figura 13. Términos soldadura de bisel.	38
Figura 14. Terminología para soldadura de filete terminada.	38
Figura 15. Penetración y tamaño de soldadura.	39
Figura 16. Tamaño soldadura de filete.	40
Figura 17. Posiciones para soldaduras de filete y bisel.	42
Figura 18. Posiciones de soldadura para tubería.	43
Figura 19. Símbolos Soldadura.	44
Figura 20. Situación Normalizada de los Elementos de un Símbolo de Soldeo.	44
Figura 21. Símbolos Suplementarios.	45
Figura 22. Ensamble CAD Brazo Posicionador.	55
Figura 23. Trípode	56
Figura 24. Brazo de la Mesa de Trabajo.	56
Figura 25. Mesa de Trabajo.	57
Figura 26. Buje de desplazamiento.	57
Figura 27. Brazo Principal.	58

Figura 28. Brazo Principal Graduado a 45°.	58
Figura 29. Anillo de Sujeción Probeta de Platina.	59
Figura 30. Separación de orejas y mariposa en tornillos.	59
Figura 31. Anillo Sujeción Probetas Platina y Tubería.	60
Figura 32. Prensas Sujeción de Probetas.	60
Figura 33. Ensamble y Lista de Partes Brazo Posicionador	61
Figura 34. Plano Trípode.	62
Figura 35. Planos Brazo de la Mesa.	63
Figura 36. Planos Mesa de Trabajo.	64
Figura 37. Planos Anillo Sujetador para Platina.	65
Figura 38. Planos Anillo Sujetador para Tubería.	66
Figura 39. Planos Anillo Principal.	67
Figura 40. Planos Brazo Principal.	68
Figura 41. Planos Tornillo Mariposa.	69
Figura 42. Planos Tornillos Prensas.	70
Figura 43. Restricciones de movimiento.	72
Figura 44. Ubicación fuerza de 500N.	73
Figura 45. Resultado Tensión de Von Mises.	74
Figura 46. Desplazamiento del Brazo Principal.	74
Figura 47. Restricciones en el Movimiento del Brazo.	75
Figura 48. Enmallado y Ubicación Fuerza 700N.	75
Figura 49. Resultado Tensión de Von Mises.	76
Figura 50. Desplazamiento Tras Fuerza Aplicada.	76
Figura 51. Unión Atornillada a Analizar.	77
Figura 52. Resultado Tensión de Von Mises Tornillos.	78
Figura 53. Desplazamiento Tras Fuerza Aplicada.	78

1. RESUMEN

El brazo posicionador para probetas de soldadura, es un dispositivo que pretende facilitar la ejecución, calificación, estudio de pruebas en posición y certificación de soldadores. Mediante el desplazamiento vertical de un brazo y una mesa de trabajo, y a su vez el giro de ambos componentes sobre una tubería de acero ASTM A36; se enfoca en satisfacer la necesidad de la prueba de soldadura a realizar, logrando la posición deseada. La resistencia, versatilidad y ergonomía serán factores fundamentales que calificarán la viabilidad en la implementación de este diseño; tomando criterios de diseño modular, se logrará la reducción de espacios mediante el uso de una mesa de trabajo y un brazo que se podrán graduar a la altura e inclinación deseada; se logrará disminuir la utilización de herramientas de sujeción que obstaculizan la ejecución de los trabajos de soldadura y representan tiempos muertos.

En el presente trabajo se realiza el diseño y análisis estructural de un dispositivo para presentación de probetas de soldadura. Se incluyen la selección de materiales adecuados para su fabricación, planos con las dimensiones, proceso y tipo de soldadura a emplear; además, de un costo de materiales para llevar a cabo su manufactura. Se realizan simulaciones estáticas de tensiones mediante elementos finitos usando el software Autodesk Inventor Profesional 2014 ®, con el fin de estudiar los esfuerzos a los que estará sometido el dispositivo y la deformación que podría sufrir después de aplicar las cargas previamente determinadas.

Las simulaciones realizadas arrojaran que el diseño planteado cumple satisfactoriamente su objetivo; sin sufrir deformaciones significantes que afecten su funcionamiento y trabajando con factores de diseño de alto nivel de confianza.

2. INTRODUCCIÓN

En los últimos años los procesos de manufactura han ido evolucionando, la productividad y calidad de los procesos de empresas han crecido notablemente en busca de la excelencia y ser competentes en el mercado nacional e internacional debido a la globalización. El notable crecimiento y aumento de proyectos de infraestructura e ingeniería ha elevado la demanda de profesionales capacitados y certificados; que tengan la capacidad de responder, ser eficientes y competentes en sus diferentes campos de aplicación. [1]

La industria local presenta un déficit de soldadores certificados, en donde ser lo establece su acreditación a nivel industrial. La necesidad de probar la capacidad y habilidad de los soldadores es de gran importancia, especialmente para la fabricación de estructuras como puentes y edificios, recipientes a presión, tuberías petroquímicas, y para sectores aeronáuticos, navales, espaciales y automotrices; donde se requiere garantizar la fusión y unión de las partes a soldar. [1] La certificación es una parte fundamental de la vida laboral del soldador; si ha pasado alrededor de un semestre de su última actividad laboral, debe ser sometido a una re certificación, al igual a soldadores que generen dudas o fallos en la aplicación. La certificación de los soldadores se realiza por entidades autorizadas y avaladas por la American Welding Society (AWS), en donde se califica la preparación, ejecución y posteriormente la presentación de la probeta soldada. La certificación se acredita según el proceso de soldadura, tipo de junta y posición de la junta o probeta [2].

El diseño del brazo posicionador busca plantear el desarrollo de un dispositivo para la presentación de pruebas, aprendizaje y certificaciones de soldadura; despojando las mesas de trabajo poco versátiles para dichas aplicaciones. A través de la observación de diferentes capacitaciones y pruebas de soldadura; la sujeción de la probeta es uno de los inconvenientes que surgen a la hora de presentar éstas

certificaciones o la realización de aprendizajes prácticos. Por tal motivo, este trabajo plantea un diseño innovador, versátil y ligero; contribuyendo a un óptimo desempeño del soldador.

Al finalizar el diseño se espera obtener el material y dimensiones adecuadas para la manufactura del brazo posicionador, un costo estimado de fabricación, planos y un ensamblaje asistido por computadora (CAD) donde se evidencie su funcionamiento, su estructuración y partes que lo componen.

3. ANTECEDENTES

Gran parte de las entidades y centros de formación en soldadura, emplean mesas de trabajo convencionales las cuales permiten realizar las diferentes pruebas de soldadura en posición mediante la adición de herramientas de sujeción o soldando extensiones como platinas y láminas a la probeta. De forma casera, pequeños talleres de soldadura, estudiantes y soldadores independientes fabrican su propio dispositivo posicionador para pruebas (Weld test stand positioner) y trabajos de soldadura; cumpliendo con la finalidad de su fabricación pero siendo manufacturados bajo conceptos empíricos de diseño, sin poseer planos de dimensiones y no garantizar estándares de calidad y resistencia. [2]

Lincoln Electric© distribuye un sistema de aprendizaje diseñado para instruir y practicar técnicas de soldeo a través de la simulación de ambientes o entornos de trabajo por medio de realidad virtual. Se trata de un sistema computarizado que se compone por un ordenador el cual es la interfaz del software, variables, ajustes del entorno y el proceso de soldadura como tal; una careta de visión 3D y sonidos ambientales que recrean el entorno de trabajo, una antorcha y vástago para simular procesos GMAW, FCAW y SMAW; probetas de soldadura para las pruebas; y un "Weld test stand positioner". [3]

El posicionador para pruebas de soldadura del VRTEX® 360, está fabricado con polímeros ligeros y resistentes, equipado con sensores de proximidad para una mejor experiencia en la simulación; además de pines y articulaciones para la configuración de la probeta de soldadura en la posición y altura deseada. Este diseño permite imitar una mesa de soldadura real, se puede ajustar a diferentes posiciones de trabajo para simular una serie de escenarios tales como una soldadura de platinas ranuradas o alcanzar soldaduras de tubo a baja altura. [3]

Debido a la alta tecnología empleada en este sistema de simulación de entrenamiento; su costo es muy alto, y limitadas instituciones y empresas pueden costear su aplicación para la instrucción académica. Por otro lado su ventaja se evidencia en ser un sistema amigable con el medio ambiente al reducir potencialmente el consumo de material base, electrodos consumibles, gases de protección y ahorro energético. [3]

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la creciente demanda de soldadores certificados, se requieren centros e institutos de certificación que cuenten con las herramientas y dispositivos de trabajo adecuados para la presentación de pruebas y formación en soldadura. La mayoría de centros cuentan con mesas de trabajo convencionales, las cuales poseen aplicaciones limitadas ya que no poseen brazos articulados y no cuentan con dispositivos de sujeción incorporados; lo cual ocasiona soluciones poco ortodoxas y estéticas, soldando extensiones como tubos o platinas, soldar las probetas a la mesa y la necesidad de utilizar prensas con el fin de lograr la inclinación, posición y sujeción adecuada de la probeta según los requerimientos de la prueba. Esto ocasiona que las pruebas se realicen en ambientes no recomendados y con herramientas no adecuadas para este propósito; utilizando mecanismos que pueden obstruir el trabajo del soldador, generando retrasos al soldar elementos dispendiosos como extensiones a la mesa de trabajo y usar dispositivos de sujeción, los cuales pueden ser fuentes potenciales de accidentes laborales.

La importancia del diseño del brazo posicionador radica en eliminar los inconvenientes que se presentan en una mesa de trabajo tradicional; logrando así posiciones óptimas requeridas por las pruebas, mediante la incorporación de una nueva mesa de trabajo, brazos articulados y ajustables, y anillos de sujeción que permiten realizar movimientos axiales y radiales. Mediante el diseño de este nuevo e innovador dispositivo se logrará solucionar los inconvenientes presentados al ubicar y fijar elementos de sujeción externos que representan obstrucciones físicas, visuales y riesgos para el soldador; a través de la utilización de anillos sujetadores que se ubicarán en el brazo articulado.

5. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Diseñar brazo posicionador para presentación y ejecución de pruebas de soldadura en posición.

B. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Crear planos de cada parte del brazo posicionador y un ensamble tridimensional en el software Autodesk Inventor Profesional 2014 ®.
- Determinar la resistencia mecánica de las piezas del brazo posicionador a través de análisis y simulación de tensiones en el software Autodesk Inventor Profesional 2014 ®.
- Realizar informe de la viabilidad del diseño del brazo posicionador integrando análisis de los resultados de la simulación tensiones, costos y utilidad.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 PROCESOS DE SOLDADURA

Se denomina así a todos los procesos de unión de metales que se realizan por fusión localizada de las partes a unir, mediante la aplicación conveniente de calor o presión. Puede ser con y sin aporte de material a las piezas unidas, donde el material de aporte es de igual o diferente composición química a las partes a unir. Es importante tener en cuenta que la soldadura cambia la estructura física de los materiales que se suelden, debido a que cambia alguna de las propiedades de los materiales que se están uniendo. [4]

El proceso de soldadura se refiere al método, técnica de aplicación y equipo para la realización de la soldadura. Son diversos los procesos de soldadura, los cuales su selección dependen del material a soldar, el espesor del metal base, los requerimientos, construcción y calidad que debe suplir el cordón de soldadura. La multiplicidad de la ejecución del cordón de soldadura, tanto en la forma como en el método y las aplicaciones, ha inducido al desarrollo de muchos procesos en esta técnica. La selección del proceso más favorable, adecuado y económico de soldadura presupone el conocimiento de la manera de ejecutarlo, sus particularidades y características. [5]

6.1.1 Proceso SMAW.

La soldadura por arco manual con electrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding, SMAW), es por mucho el más utilizado de los procesos de soldadura por arco. Es un proceso de soldadura por arco en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando.

El proceso SMAW, aprovecha el calor del arco para derretir el metal base y la punta de un electrodo consumible cubierto. El electrodo y el trabajo forman parte de un circuito eléctrico que se ilustra en la Figura 1. Este circuito comienza con la fuente de potencia eléctrica e incluye los cables de soldadura, un portaelectrodos, una conexión con la pieza de trabajo, la pieza de trabajo (y un electrodo de soldadura por arco. Uno de los dos cables de la fuente de potencia se conecta al trabajo; el otro se conecta al portaelectrodos. La soldadura se inicia cuando se enciende un arco eléctrico entre la punta del electrodo y el trabajo. El intenso calor del arco derrite la punta del electrodo y la superficie del trabajo cerca del arco. En la punta del electrodo se forman con rapidez pequeños glóbulos de metal fundido, los cuales se transfieren a través del chorro del arco hasta el charco de soldadura fundida. De esta forma se deposita metal de aporte conforme el electrodo se va consumiendo. El arco se mueve sobre el trabajo con una longitud de arco y velocidad de desplazamiento apropiadas, derritiendo y fusionando una porción del metal base y añadiendo continuamente metal de aporte. [6]

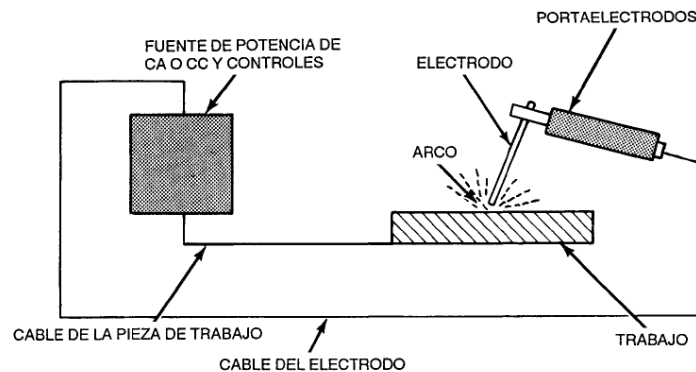


Figura 1. Elementos de un circuito de soldadura típico para soldadura por arco de metal protegido.

Existen electrodos de SMAW para soldar aceros al carbono y de baja aleación, aceros inoxidable, hierro colado, cobre y níquel y sus aleaciones, y para algunas aplicaciones de aluminio.

En la Figura 2, se observa cómo se conforma el electrodo de soldadura y su función en el arco de soldadura. Se compone por el núcleo o alma, el cual es un alambre

de sección circular uniforme que sirve como material de aportación. Su composición química varía, y su selección se hace de acuerdo al material de la pieza a soldar. Y el revestimiento es un cilindro concéntrico de espesor uniforme que envuelve el alma del electrodo. Está compuesto por diferentes sustancias químicas que caracterizan el electrodo. Cumple las siguientes funciones, las cuales evitan los inconvenientes del electrodo desnudo:

- Dirige el arco, conduciendo a una fusión equilibrada y uniforme.
- Protegen el metal fundido impidiendo la entrada del oxígeno y del nitrógeno del aire, que sería muy perjudicial para la soldadura. [7]

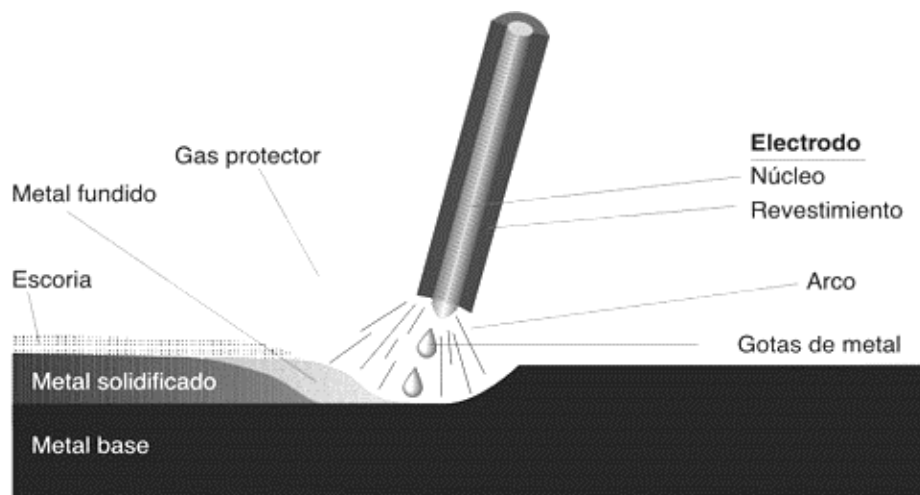


Figura 2. Descripción proceso, partes y funcionamiento del electrodo.

La Sociedad Americana de la Soldadura (American Welding Society, AWS) clasifica los electrodos de acero al carbón de la siguiente manera: AWS A.5.1 y les designa con una letra y cuatro dígitos para su respectiva clasificación así: E-XXXX.

- En donde el prefijo “E” significa: Electrodo Manual Revestido.
- “E-XX” se refiere a la resistencia de la tracción de la Soldadura en miles de libras por pulgada cuadrada del metal depositado.

- El tercer dígito o “X” se refiere a la posición a soldar. Dónde: uno es todas las posiciones, dos es posición plana y horizontal, tres indica posición plana y cuatro opera en posición vertical descendente.
- El cuarto dígito indica el tipo de revestimiento, tipo de corriente y polaridad. Dónde: El cero indica que el Revestimiento es de tipo Celulósico CCEP– CCEN, uno indica que es Celulósico CA/CCEP, el dos indica que es de Rutilo CCEN, el tres indica que es de Rutilo CA/CCEP–CCEN, el cuatro indica que es de Rutilo Polvo de Hierro CA/CCEN, el cinco indica que es de Bajo Hidrógeno CCEP, el seis indica que es Bajo Hidrógeno CA/CCEP, el siete indica que es Oxido Polvo de Hierro CA/CCEP, y el ocho indica que es Bajo Hidrógeno Polvo de Hierro CA/CCEP. [8]

6.1.2 Proceso GMAW.

La soldadura metálica por arco eléctrico con protección gaseosa (Gas Metal Arc Welding, GMAW), es un proceso que incorpora la alimentación mecanizada de un alambre electrodo continuo consumible que está protegido por un gas suministrado externamente. El proceso puede ser operado en los modos completamente automático, y semiautomático. Debido a que el equipo prevé la regulación automática de las características eléctricas del arco y la tasa de deposición, los únicos controles manuales requeridos por el soldador para la operación semiautomática son, el posicionamiento y la guía de la pistola, y la velocidad de avance. La longitud del arco y el nivel de la corriente son mantenidos automáticamente.

Una vez que el operador ha hecho los ajustes iniciales, el equipo puede regular automáticamente las características eléctricas del de velocidad y dirección del desplazamiento, así como también el posicionamiento de la pistola. Cuando se cuenta con equipo y ajustes apropiados, la longitud del arco y la comente (es decir, la velocidad de alimentación del alambre) se mantienen automáticamente.

El equipo necesario para GMAW se muestra en la Figura 3. Los componentes básicos del equipo son la unidad de pistola soldadora y cables, la unidad de alimentación del electrodo, la fuente de potencia y la fuente de gas protector. [9]

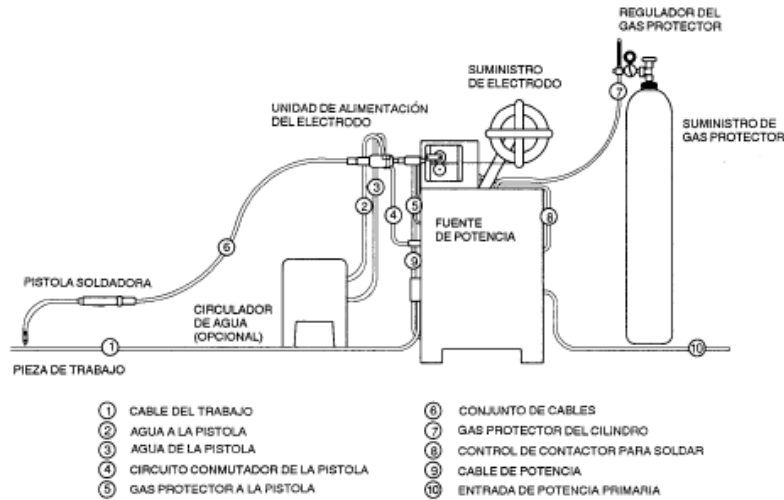


Figura 3. Diagrama del equipo para soldadura.

La pistola guía el electrodo consumible y conduce la corriente eléctrica y el gas protector al trabajo, de modo que proporciona la energía para establecer y mantener el arco y fundir el electrodo, además de la protección necesaria contra la atmósfera del entorno. Se emplean dos combinaciones de unidad de alimentación de electrodo y fuente de potencia para lograr la autorregulación de la longitud del arco que se desea. Generalmente, esta regulación se efectúa con una fuente de potencia de voltaje (potencial) constante (que por lo regular tiene una curva voltaje-ampere prácticamente plana) en conjunción con una unidad de alimentación de electrodo de velocidad constante.

La composición química del electrodo, del metal base y del gas protector determinan la composición del metal de soldadura. A su vez, esta composición determina en gran medida las propiedades químicas y mecánicas del ensamble soldado. Los electrodos (alambre o metal de aporte) para la soldadura GMAW están cubiertos por diversas especificaciones de la AWS para metal de aporte. Otras asociaciones que redactan normas también publican especificaciones de metal de aporte para

aplicaciones específicas. Por ejemplo, la SAE redacta especificaciones para materiales aeroespaciales. En la Tabla 1, se muestran las especificaciones de electrodos de la AWS, designadas como normas A5.XX, aplicables a GMAW. Definen requisitos de tamaño y tolerancias, empaque, composición química y en algunos casos propiedades mecánicas. [9]

Tabla 1. Especificación Electrodo GMAW Según la AWS.

Especificaciones Para Diversos Electrodo Para GMAW	
Tipo De Material Base	Especificación De La AWS
Acero al carbono	A5.18
Acero de baja aleación	A5.28
Aleaciones de aluminio	A5.10
Aleaciones de cobre	A5.7
Magnesio	A5.19
Aleaciones de níquel	A5.14
Acero inoxidable de la serie 300	A5.9
Acero inoxidable de la serie 400	A5.9
Titanio	A.16

La composición del electrodo (metal de aporte) es similar a la del metal base. La composición de metal de aporte puede alterarse un poco para compensar las pérdidas que ocurren en el arco o para desoxidar el charco de soldadura.

La mayoría de los alambres para acero al carbono están catalogados bajo una designación de la American Welding Society (AWS) del tipo: ERXXS–X, donde:

- “ER” designa que es electrodo/alambre de aporte.
- El tercer y cuarto dígito (XX), designa la resistencia a la tensión mínima en miles de Psi.
- La “S” designa que es alambre sólido.

- El último dígito (X), designa y describe la composición química del material de aporte.

La función primaria del gas protector es impedir que la atmósfera entre en contacto con el metal de soldadura fundido. Esto es necesario porque la mayor parte de los metales, al calentarse hasta su punto de fusión en aire, presentan una marcada tendencia a formar óxidos y, en menor grado, nitruros. Estos diversos productos de reacción pueden causar deficiencias de la soldadura, como escoria atrapada, porosidad y pérdida de ductilidad del metal de soldadura. Los productos de reacción mencionados se forman con facilidad en la atmósfera si no se toman precauciones para excluir el oxígeno y el nitrógeno. [9]

6.1.3 Proceso FCAW.

Soldadura por arco eléctrico con núcleo fundente (Flux Cored Arc Welding, FCAW), es un proceso de soldadura que aprovecha un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. Este proceso se emplea con protección de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin un escudo adicional de gas de procedencia externa, y sin aplicación de presión. [10]

El electrodo con núcleo de fundente es un electrodo tubular de metal de aporte compuesto que consiste en una funda metálica y un núcleo con diversos materiales pulverizados. Las notables características de operación del proceso y las propiedades de la soldadura resultante se pueden atribuir al empleo de este tipo de electrodo. [10]

El proceso FCAW tiene dos variaciones principales que difieren en su método de protección del arco y del charco de soldadura contra la contaminación por gases atmosféricos (oxígeno y nitrógeno). Una de ellas, la FCAW con autoprotección (Inner Shield), protege el metal fundido mediante la descomposición y vaporización

del núcleo de fundente en el calor del arco. El otro tipo, la FCAW con escudo de gas (Outer Shield), utiliza un flujo de gas protector además de la acción del núcleo de fundente. En ambos métodos, el material del núcleo del electrodo proporciona una cubierta de escoria sustancial que protege el metal de soldadura durante su solidificación.

En la Figura 4, el gas protector (por lo regular dióxido de carbono o una mezcla de argón y dióxido de carbono) protege el metal fundido del oxígeno y el nitrógeno del aire al formar una envoltura alrededor del arco y sobre el charco de soldadura. Casi nunca es necesario desnitrificar el metal de soldadura porque el nitrógeno del aire queda prácticamente excluido. Es posible, empero, que se genere cierta cantidad de oxígeno por la disociación de CO_2 para formar monóxido de carbono y oxígeno. Las composiciones de los electrodos incluyen desoxidantes que se combinan con cantidades pequeñas de oxígeno en el escudo de gas.

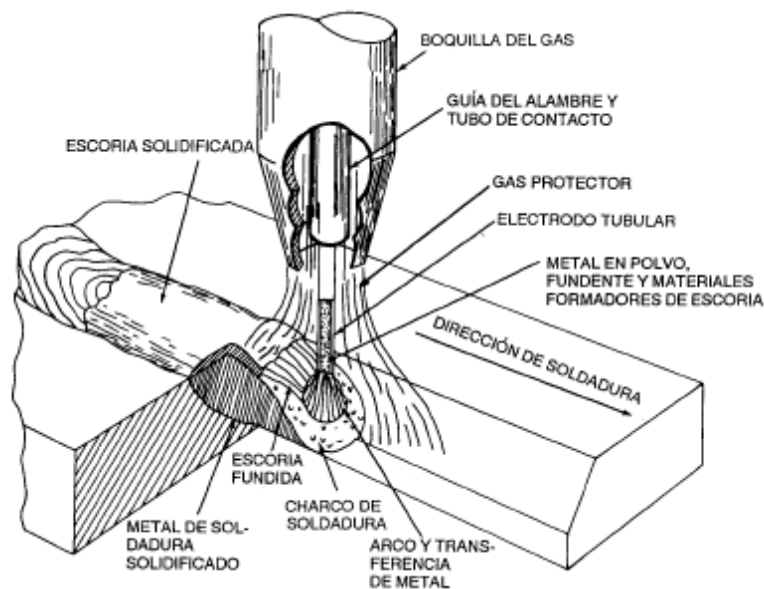


Figura 4. Proceso FCAW, método protegido con gas.

En el método con autoprotección que se muestra en la Figura 5, la protección se obtiene a partir de ingredientes vaporizados del fundente que desplazan el aire y por la escoria que cubre las gotas de metal derretido y el charco de soldadura

durante la operación. La producción de CO_2 y la introducción de agentes desoxidantes y desnitruantes que proceden de ingredientes del fundente justo en la superficie del charco de soldadura explican por qué los electrodos con autoprotección pueden tolerar corrientes de aire más fuertes que los electrodos con escudo de gas. Es por esto que la FCAW con autoprotección es el método preferido para trabajo en el campo. La extensión del electrodo es el tramo de electrodo no fundido que se extiende más allá del extremo del tubo de contacto durante la soldadura. [10]

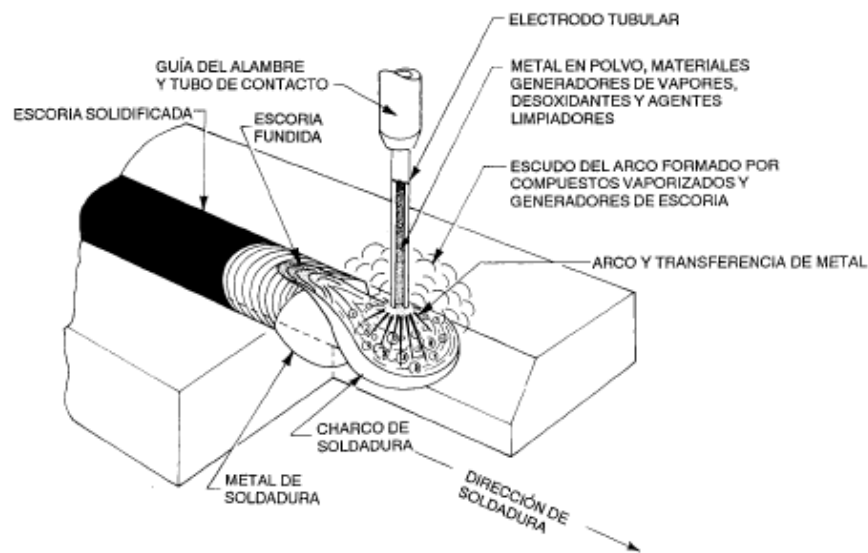


Figura 5. Proceso FCAW, método autoprotección.

Como se ilustra en la Figura 6, el equipo básico para la soldadura por arco con núcleo de fundente autoprotegida y con escudo de gas es similar. La principal diferencia radica en el suministro y regulación del gas para el arco en la variante con escudo de gas. La fuente de potencia recomendada es la de CC de voltaje constante, similar a las que se usan para soldadura por arco de metal y gas (GMAW). Esta fuente deberá ser capaz de trabajar en el nivel de corriente máximo requerido para la aplicación específica. La mayor parte de las aplicaciones semiautomáticas usa menos de 500A. El control de voltaje deberá poderse ajustar en incrementos de un volt o menos. También se usan fuentes de potencia de CC de corriente constante con la suficiente capacidad y controles y alimentadores de

alambre apropiados, pero estas aplicaciones son poco comunes. El propósito del control de alimentación del alambre es suministrar el electrodo continuo al arco de soldadura con una velocidad constante previamente establecida. La rapidez de alimentación del electrodo determina el amperaje de soldadura suministrado por una fuente de potencia de voltaje constante. [10]

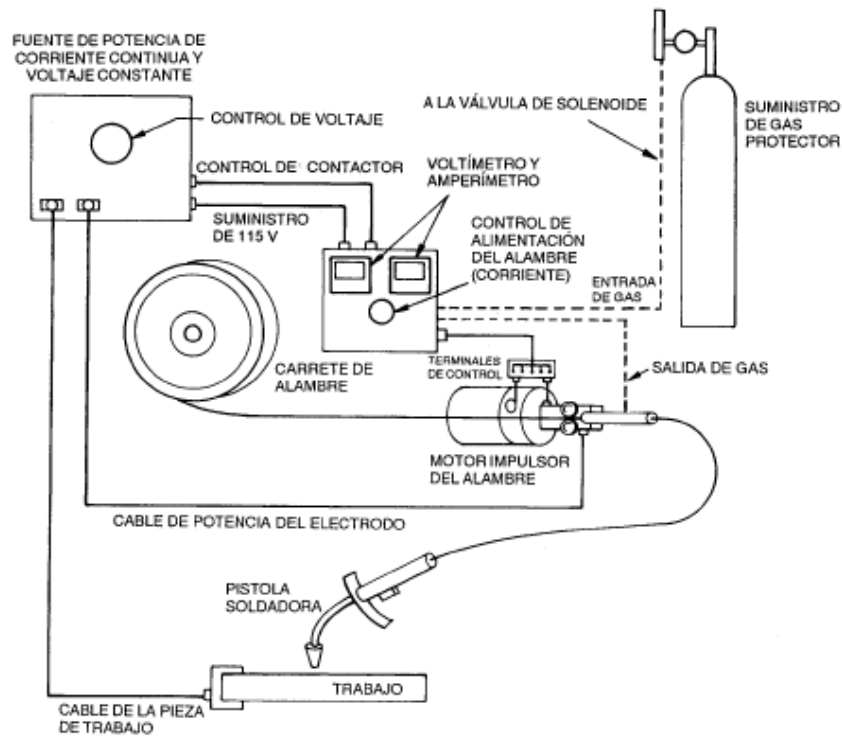


Figura 6. Equipo típico para FCAW.

La mayor parte de los electrodos de acero dulce para FCAW se clasifica de acuerdo con los requisitos de la última edición de AWS A5.20, especificación para electrodos de acero al carbono destinados a soldadura por arco con núcleo de fundente.

El sistema de identificación sigue el patrón general de clasificación de electrodos: E-XXT-X.

- “E” designa que es electrodo/alambre de aporte.
- El segundo dígito (X), designa la resistencia a la tensión mínima en diez miles de Psi.

- El tercer dígito (X), designa la posición a soldar del electrodo. Dónde: Cero indica plana u horizontal, y uno aplica para todas.
-
- La “T” designa que es alambre tubular o de núcleo fundente.
- El último dígito (X), indica el uso adecuado del electrodo, en cuanto a polaridad y características generales de operación. Puede valer de “uno” a “catorce” o las letras “G” o “GS”. La letra “G” indica que la polaridad y las características generales de operación no se especifican. La letra “S” a continuación de la “G” indica que el electrodo es sólo adecuado para una pasada.

El dióxido de carbono (CO_2) es el gas protector más utilizado para soldadura por arco con núcleo de fundente. Dos ventajas de este gas son su bajo costo y la penetración profunda que permite lograr. Aunque habitualmente produce una transferencia de metal globular, algunas formulaciones de fundente producen una transferencia tipo rocío en CO_2 . El dióxido de carbono es relativamente inactivo a temperatura ambiente. El empleo de mezclas de gases protectores con un alto porcentaje de gas inerte junto con electrodos diseñados para usarse con escudo de CO, puede causar una acumulación excesiva de manganeso, silicio y otros elementos desoxidantes en el metal de soldadura. Este alto contenido de elementos de aleación en la soldadura alterará las propiedades mecánicas del metal. Por esta razón, se recomienda consultar con los fabricantes de electrodos para averiguar qué propiedades mecánicas tiene el metal de soldadura depositado con mezclas de gas protector específicas. Si no hay información disponible, hay que realizar pruebas con el fin de determinar las propiedades mecánicas para la aplicación de que se trate. Las mezclas de gases con alto contenido de argón, como 95 % de argón, 5 % de O_2 , casi nunca se usan con electrodos con núcleo de fundente porque se pierde la cubierta de escoria. [10]

6.1.4 Proceso GTAW.

La soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno y protección gaseosa. (Gas Tungsten Arc Welding, GTAW), es un proceso de soldadura por arco que utiliza un arco entre un electrodo de tungsteno (no consumible) y el charco de soldadura. El proceso se emplea con un gas protector y sin aplicación de presión. La adición de metal de aporte es opcional. [11]

El proceso ha recibido también los nombres de soldadura con electrodo no consumible y soldadura con tungsteno y gas inerte (TIG), pero la terminología de la AWS para este proceso es soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno y protección gaseosa (GTAW), porque en algunas aplicaciones es posible usar mezclas de gases protectoras que no son inertes. Desde que se inventó el proceso, se han hecho numerosas mejoras a los procedimientos y al equipo. Se han creado fuentes de potencia de soldadura específicamente para el proceso. [11]

El proceso utiliza un electrodo de tungsteno o de aleación de tungsteno no consumible sostenido en una antorcha. Se alimenta gas protector por la antorcha para proteger el electrodo, el charco de soldadura y el metal de soldadura en proceso de solidificación de contaminación por parte de la atmósfera. El arco eléctrico se produce por el paso de corriente a través del gas protector ionizado, que conduce la electricidad. El arco se establece entre la punta del electrodo y el trabajo. El calor generado por el arco funde el metal base. Una vez establecido el arco y el charco de soldadura, la antorcha se mueve a lo largo de la unión y el arco funde progresivamente las superficies de empalme. Todas las configuraciones de GTAW tienen en común cuatro componentes básicos, ver Figura 7: [11]

- Antorcha o soplete.
- Electrodo.

- Fuente de potencia para soldadura.
- Gas protector.

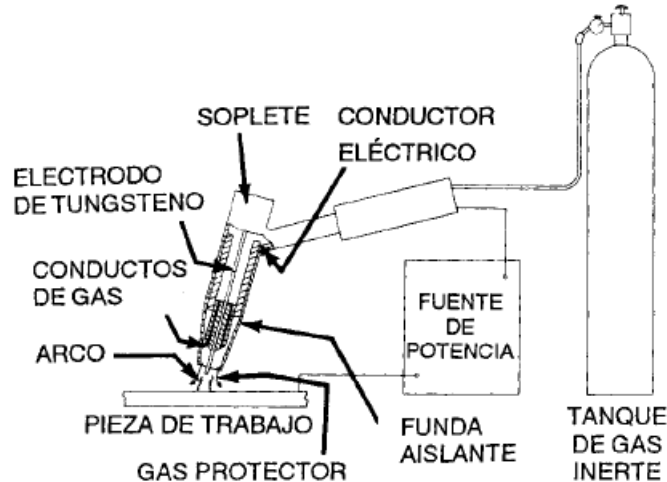


Figura 7. Disposición del equipo para proceso GTAW.

En GTAW la palabra tungsteno se refiere al elemento tungsteno puro y a las diferentes aleaciones de tungsteno empleadas como electrodos. Los electrodos de tungsteno son no consumibles si el proceso se emplea como es debido, ya que no se derriten ni se transfieren a la soldadura. En la Figura 8, se ilustra los componentes que conforman la antorcha.

Los electrodos de tungsteno se clasifican con base en su composición química, como se especifica en la Tabla 2. Los requisitos para los electrodos de tungsteno se dan en la edición más reciente de ANSI/AWS A5.12, Especificación para electrodos de tungsteno y de aleación de tungsteno para soldadura y corte por arco. [11]

El sistema de identificación por código de color de las diversas clases de electrodos de tungsteno se muestra en la Tabla 2. Los electrodos se producen con un acabado limpio o amolado.

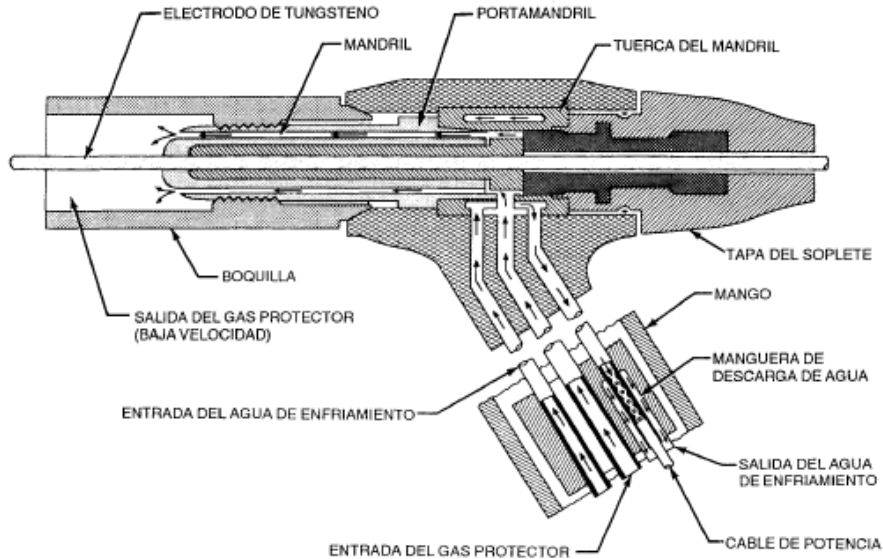


Figura 8. Corte seccional de antorcha o soplete para GTAW.

Los que tienen acabado limpio han sido sometidos a limpieza química para eliminar las impurezas superficiales después de la operación de moldeado. Los que tienen acabado amolado se amolaron con una técnica sin centro para eliminar las imperfecciones superficiales. [11]

Tabla 2. Clasificación de color y elementos de aleación para diversas aleaciones electrodos de tungsteno.

Clasificación AWS	Color	Elemento aleación	Porcentaje en peso nominal del óxido de aleación
EWP	Verde	-	-
EWCe-2	Anaranjado	Cerio	2
EWLa-1	Negro	Lantano	1
EWTh-1	Amarillo	Torio	1
EWrh-2	Rojo	Torio	2
EWZr-1	Marrón	Zirconio	0,25
EWG	Gris	-	-

Además de una fuente de potencia apropiada y una fuente de gas protector, el equipo de GTAW manual incluye el soplete para soldar, mangueras y conductores eléctricos, pedal (o interruptor en la antorcha) para regular los niveles de corriente durante el ciclo de soldadura, y controles del flujo de gas.

Casi todos los metales pueden soldarse con el proceso GTAW, incluidos varios grados de aceros al carbono, de aleación e inoxidables y otras aleaciones ferrosas; aleaciones resistentes al calor de diversos tipos; aleaciones de aluminio; aleaciones de magnesio; cobre y sus aleaciones, como cobre-níquel, bronce y latones, y aleaciones de níquel. Ciertos metales deben soldarse con el proceso GTAW porque es el que ofrece mayor protección en cuanto a contaminación por la atmósfera. Este proceso resulta especialmente útil para soldar metales reactivos y refractarios y algunas aleaciones no ferrosas. No se usa para soldar metales como cadmio, estaño o cinc, cuyos líquidos tienen muy baja presión de vapor.

Se dispone de metales de aporte para unir una amplia variedad de metales y aleaciones mediante soldadura por arco de tungsteno y gas. Si se usa metal de aporte, debe ser similar, aunque no necesariamente idéntico, al metal que se va a unir. Al unir metales disímiles, el metal de aporte será diferente de uno de los metales base, o de ambos. [11]

En general, la composición de metal de aporte se ajusta tratando de igualar las propiedades del metal base en su condición soldada (colada). Estos metales de aporte se producen con un mayor control sobre su química, pureza y calidad que los metales base. Es frecuente que se les añadan desoxidantes para garantizar la integridad de la soldadura. Algunas composiciones de metales de aporte se ajustan para mejorar la respuesta al tratamiento térmico posterior.

La elección del metal de aporte para cualquier aplicación es un término medio en cuanto a los aspectos de compatibilidad metalúrgica, idoneidad para el servicio propuesto y costo. También es preciso considerar las propiedades de resistencia a la tensión y la corrosión, y de conductividad térmica o eléctrica que se requieren en

un ensamble soldado en particular. El metal de aporte debe adecuarse tanto a la aleación que se va a soldar como al servicio al que se le piensa destinar. [11]

6.1.5 Proceso SAW.

Soldadura por arco sumergido (Submerged Arc Welding, SAW), produce la coalescencia de metales calentándolos con un arco entre un electrodo de metal desnudo y el trabajo. El arco y el metal derretido está “sumergidos” en un manto de fundente granular fusible sobre el trabajo. No se aplica presión, y el metal de aporte se obtiene del electrodo y en ocasiones de un suministro complementario como una varilla para soldar o gránulos metálicos. En la soldadura por arco sumergido, el arco está cubierto por fundente, el cual desempeña un papel preponderante porque la estabilidad del arco depende del fundente, las propiedades mecánicas y químicas del depósito de soldadura final se pueden controlar con el fundente y la calidad de la soldadura puede ser afectada por la forma como se maneje el fundente. La soldadura por arco sumergido es un proceso de soldadura de producción versátil capaz de soldar con corrientes de hasta 2000 amperes de CA o CC, empleando uno o varios alambres o tiras de metal de aporte. Es posible usar fuentes de potencia tanto de CA como de CC en la misma soldadura simultáneamente. [12]

En la soldadura por arco sumergido, el extremo de un electrodo continuo de alambre desnudo se inserta en un montículo de fundente que cubre el área o la unión que se va a soldar. Se enciende un arco empleando uno de seis métodos de iniciación del arco. A continuación, un mecanismo alimentador de alambre comienza a introducir el electrodo en la unión a una velocidad controlada, y el alimentador se desplaza manual o automáticamente a lo largo de la soldadura. En la soldadura mecanizada o automática, el trabajo puede desplazarse debajo de un alimentador de alambre estacionario. En todo momento, se alimenta fundente adicional adelante del electrodo y a su alrededor, y se distribuye continuamente sobre la unión. El calor producido por el arco eléctrico derrite progresivamente parte del fundente, el extremo del alambre y los bordes adyacentes del metal base, creando un charco de

metal fundido debajo de una capa de escoria líquida. El baño fundido cerca del arco presenta mucha turbulencia, y burbujas de gas ascienden rápidamente a la superficie del charco. El fundente flota sobre el metal derretido y protege por completo de la atmósfera la zona de soldadura. El fundente líquido puede conducir algo de corriente eléctrica entre el alambre y el metal base, pero el arco eléctrico es la fuente de calor predominante. El manto de fundente que flota sobre el charco de soldadura evita que los gases atmosféricos contaminen el metal de soldadura y disuelve las impurezas del metal base y del electrodo, que entonces flotan sobre el charco. Además, el fundente puede agregar ciertos elementos de aleación al metal de soldadura, o extraerlos de él. Al avanzar la zona de soldadura a lo largo de la unión, el metal de soldadura primero y luego el fundente líquido se enfrían y solidifican, formando una franja de soldadura con una capa protectora de escoria encima. Es importante eliminar por completo la escoria antes de efectuar otra pasada de soldadura. El proceso de arco sumergido se ilustra en la Figura 9.

Los electrodos para arco sumergido producen depósitos de soldadura que coinciden con los metales base de acero al carbono, acero de baja aleación, aceros de alto carbono, aceros de aleación especial, aceros inoxidables, aleaciones de níquel y aleaciones especiales para aplicaciones de recubrimiento. Estos electrodos se suministran como alambre sólido desnudo y como electrodos compuestos con núcleo metálico (similares a los electrodos para soldadura por arco con núcleo de fundente). [12]

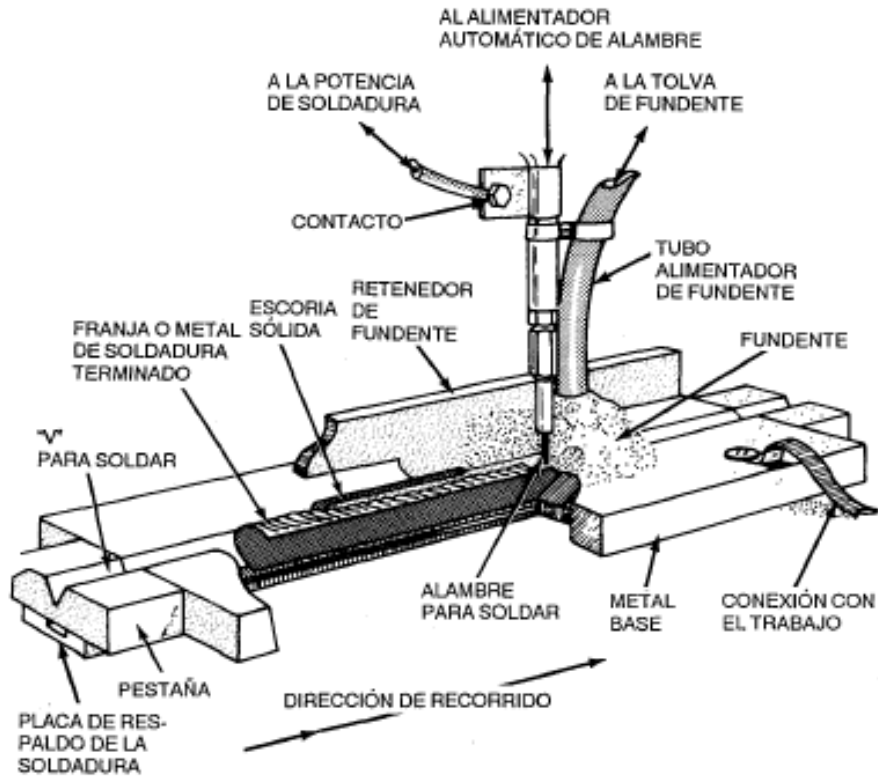


Figura 9. Esquema del proceso de soldadura por arco sumergido.

La selección de los consumibles de SAW dependerá de las propiedades químicas y mecánicas que deba tener el componente que se fabrica, de la posición de soldadura (1G, 2G, 2F), y de la preparación que deba recibir la superficie del acero por soldar. Sistema de clasificación para combinaciones fundente-electrodo Denominación: FXXX-EXXX, dónde:

- “F” Indica fundente.
- El segundo dígito “FX”, indica la resistencia mínima a la tensión en incrementos de 10000 Psi del metal de soldadura depositado de acuerdo con las condiciones de soldadura dadas y empleando el fundente que se clasifica y un electrodo con la clasificación específica que se indica.

- El tercer dígito “FXX”, designa las condiciones de tratamiento térmico en que se efectuaron las pruebas: “A” indica recién soldado, y “P”, tratado térmicamente después de la soldadura. El tiempo y la temperatura del tratamiento térmico postsoldadura son los que se especifican.
- El cuarto dígito “FXXX”, indica la temperatura mínima (en °F) a la que la resistencia al impacto del metal de soldadura arriba mencionado es de 27 J (20 pies-lb) o más.
- “E” indica un electrodo sólido; EC indica un electrodo compuesto.
- “EXXX”, indica la clasificación del electrodo empleado para producir la soldadura a la que se refiere lo anterior. [12]

6.2 JUNTAS DE SOLDADURA

Hay cinco juntas básicas usadas en soldadura de metales: a tope, en L, en T, solapada y en borde. Como se ilustra en la Figura 10, se aplican símbolos y tipos precisos de soldadura a estas juntas. Un número de diferentes tipos de soldadura puede ser aplicado a cada tipo de junta dependiendo del diseño de la junta, y estos son mostrados al lado de cada tipo de junta. El diseño de la junta identifica: la forma, las dimensiones y la configuración de la junta.

En la revisión de 1994 de ANSI/AWS A3.0, Standard Welding Terms And Definitions, se agregaron clasificaciones adicionales para las juntas spliced joints y las juntas con componentes curvos. [13]

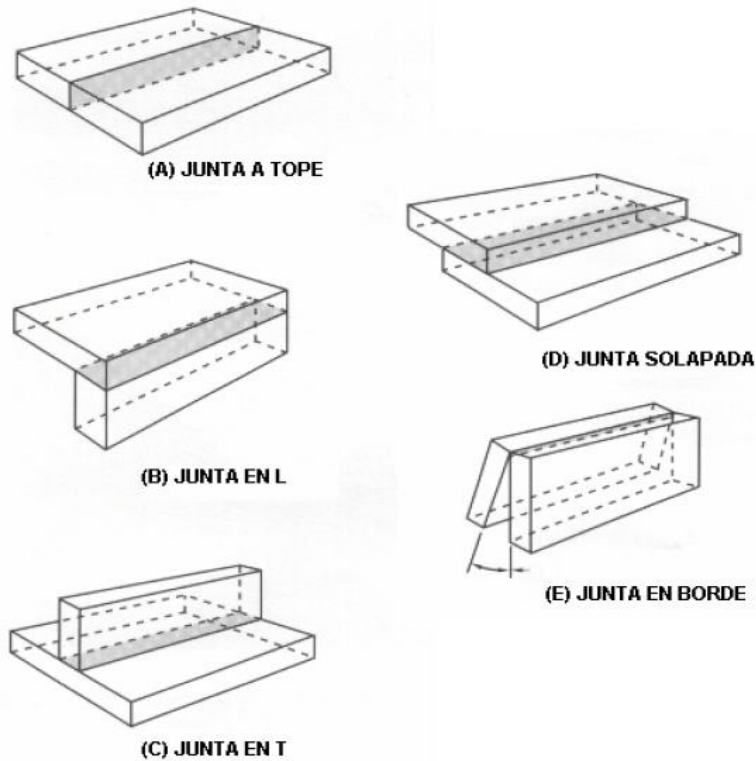


Figura 10. Juntas básicas, soldadura aplicable.

6.2.1 Partes De Una Junta Soldada.

Una vez que el tipo de junta es identificado, puede ser necesario describir exactamente el diseño de junta requerido. Para hacer esto, el personal de soldadura e inspección debe ser capaz de identificar aspectos individuales que hagan de la geometría de la junta una junta particular. La nomenclatura asociada con estos aspectos incluye:

- Raíz de la junta
- Superficie de bisel
- superficie de la raíz

- Borde de la raíz
- Abertura de raíz
- Chaflán
- Ángulo de chaflán
- Ángulos de bisel
- Radio del bisel.

Dependiendo del diseño de la junta, la geometría de la junta puede tomar (ligeramente) diferentes formas. Un ejemplo es la raíz de la junta. La raíz de la junta se define como la parte de una junta a ser soldada donde los componentes se aproximan lo más próximamente entre sí. En sección transversal, la raíz de la junta puede ser una línea, un punto o un área. La Figura 11 ilustra algunas de las variantes de raíz de la junta para diferentes diseños de juntas. Las raíces de juntas son mostradas como áreas sombreadas en los esquemas A hasta D, o como una línea oscura en los esquemas E y F.

La nomenclatura asociada con superficie de bisel, superficie de la raíz y borde de la raíz es identificada en la Figura 12. Superficie de bisel es la superficie de un componente incluida en el bisel. La superficie de la raíz (generalmente llamada land) es la porción de la superficie del bisel dentro de la raíz de la junta. Por último, borde de la raíz, es definida como una superficie de la raíz de ancho cero. [13]

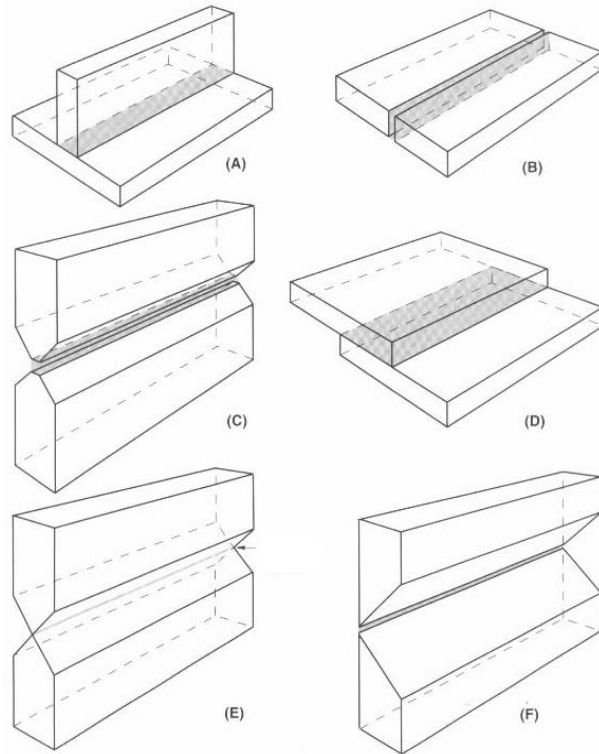


Figura 11. Raíces juntas.

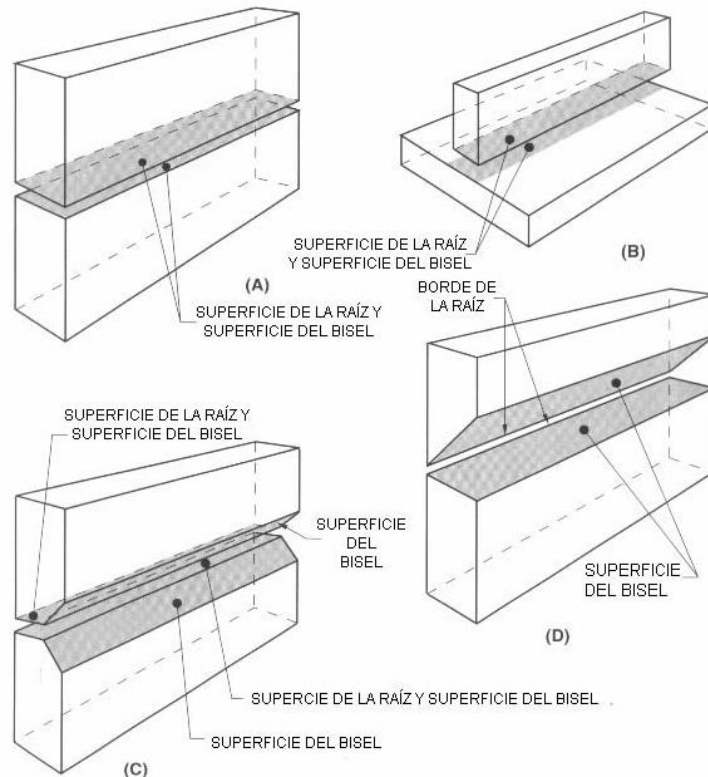


Figura 12. Superficie del bisel, superficie de la raíz y borde de la raíz.

6.2.2 Soldaduras Terminadas.

El personal de soldadura e inspección de soldadura debe estar al tanto de los términos asociados con ciertos aspectos o condiciones de las soldaduras terminadas. El conocimiento de estos términos ayuda en el proceso de comunicación, realza la habilidad personal para interpretar la información de los símbolos de soldadura y localización de áreas de una soldadura que pueden requerir una limpieza o detalle post soldadura adicional. Los términos referidos a soldadura con bisel, Figura 13, consisten de:

- Superficie de soldadura.
- Pie de soldadura.
- Raíz de soldadura.
- Superficie de raíz.
- Sobreespesor.
- Sobreespesor de raíz.

La terminología standard también existe para las partes de la soldadura de filete. Como con la soldadura con bisel, la superficie de la soldadura de filete es conocida como superficie de soldadura. [13]

La unión de la superficie de soldadura con el metal base es el pie de soldadura. La máxima penetración del metal de soldadura adentro de la junta es la raíz de soldadura. La distancia desde la raíz de la junta al talón de la soldadura de filete, es llamada cateto.

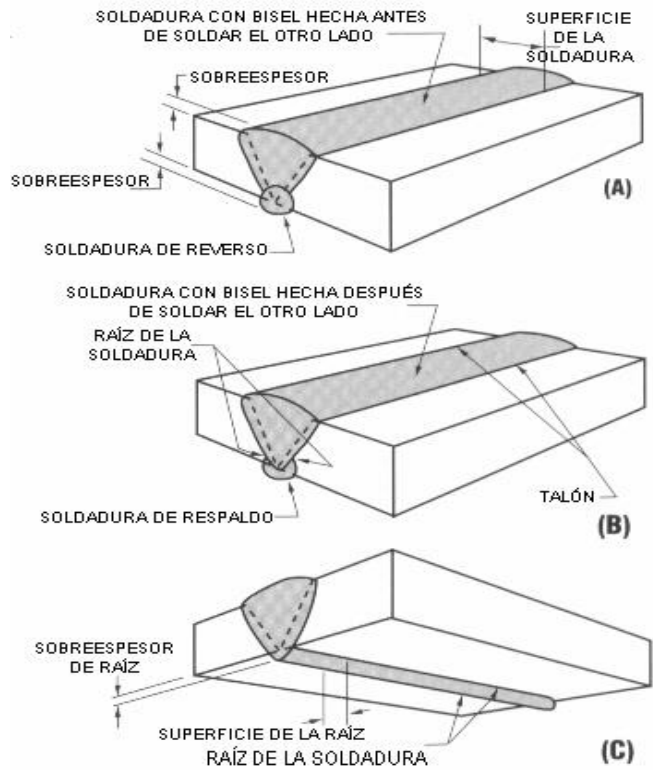


Figura 13. Términos soldadura de bisel.

La Figura 14 identifica varias partes de una soldadura de filete. Otros tres aspectos dimensionales de la soldadura de filete son concavidad, convexidad y garganta. Concavidad y convexidad son el valor de la curvatura de la superficie de soldadura en corte de la soldadura. El método para medir éstas es mostrado en la Figura 16. [13]

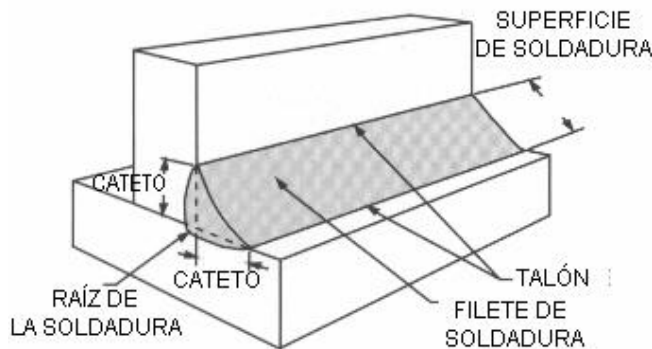


Figura 14. Terminología para soldadura de filete terminada.

6.2.3 Tamaño De Soldadura.

Para una configuración de soldadura con bisel doble donde la penetración de junta es menos que completa, el tamaño de soldadura es igual a la suma de la penetración de juntas de ambos lados. Ver Figura 15.

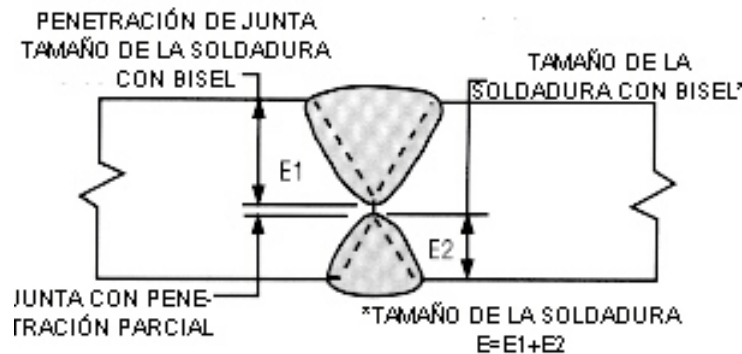


Figura 15. Penetración y tamaño de soldadura.

Para determinar el tamaño de una soldadura de filete, se debe primero saber la configuración final de la soldadura, ya sea cóncava o convexa. Convexa significa que la superficie de soldadura exhibe algún recargue haciéndola parecer ligeramente curvada hacia afuera. Esto es conocido como el grado de convexidad. Convexidad en una soldadura de filete es un sinónimo con sobreespesor de soldadura en una soldadura con bisel. Si una soldadura con bisel tiene un perfil cóncavo, esto significa que su superficie es “metida hacia adentro”.

Para una u otra configuración, el tamaño de la soldadura de filete para catetos iguales es descrito como la longitud del cateto del triángulo rectángulo isósceles más grande que pueda ser inscripto dentro del corte de la sección de la soldadura de filete. Este isósceles inscripto es mostrado con línea de trazos en las dos ilustraciones de la Figura 16. Por eso, para la soldadura de filete convexa, el cateto y el tamaño de soldadura son iguales. De todos modos, el tamaño de la soldadura de filete cóncava es ligeramente menor que la longitud de su cateto. [13]

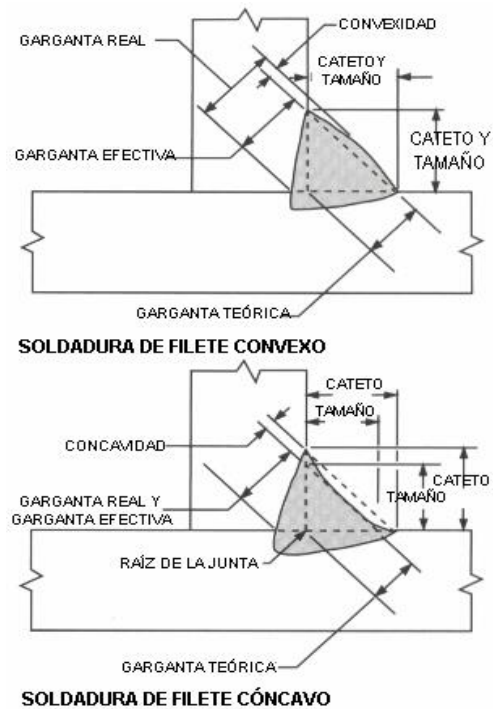


Figura 16. Tamaño soldadura de filete.

6.3 POSICIONES DE SOLDADURA

La soldadura no siempre se puede aplicar en la posición más deseable. Debe hacerse en la posición en la que se utilizará la pieza. A menudo, esto puede ser en el techo, en la esquina, o en el suelo, a diferentes alturas e inclinaciones. La descripción adecuada y definición es necesaria, ya que los procedimientos de soldadura deben indicar la posición de soldadura a realizar, y selección del proceso de soldadura es necesario, ya que algunos soldadores tienen todas las capacidades en posiciones mientras que otros pueden ser utilizados en sólo una o dos posiciones.

Las posiciones de soldadura, se refieren exclusivamente a la posición del eje de la soldadura en los diferentes planos a soldar. Básicamente son cuatro las posiciones de soldar y todas exigen un conocimiento y dominio perfecto del soldador para la ejecución de una unión soldadura. [14]

En la ejecución del cordón de soldadura, aparecen piezas que no pueden ser colocadas en posición plana. Según el plano de referencia fueron establecidas por la Sociedad Americana de Soldadura (AWS), las cuatro posiciones siguientes:

- Posición plana o de nivel: Es aquella en que la pieza recibe la soldadura colocada en posición plana a nivel. El material adicional viene del electrodo que está con la punta para abajo, depositando el material en ese sentido.
- Posición horizontal: Es aquella en que las aristas o cara de la pieza a soldar está colocada en posición horizontal sobre un plano vertical. El eje de la soldadura se extiende horizontalmente.
- Posición vertical: Es aquella en que la arista o eje de la zona a soldar recibe la soldadura en posición vertical, el electrodo se coloca aproximadamente horizontal y perpendicular al eje de la soldadura. Se puede ejecutar de forma ascendente (Up) o descendente (Down).
- Posición sobre cabeza: La pieza colocada a una altura superior a la de la cabeza del soldador, recibe la soldadura por su parte inferior. El electrodo se ubica con el extremo apuntando hacia arriba verticalmente. Esta posición es inversa a la posición plana o de nivel. [14]

Cualquier debate en torno a la soldadura comienza con una discusión sobre la posición de la cara de la soldadura. La designación de acuerdo con ANSI/AWS A3.0-85, ver Figura 17 y 19, usan un número de uno a seis según el caso, que se utiliza para definir la posición y una “F” para filete (Fillet) o “G” para ranura (Groove) se refiere al tipo de soldadura. [15] Los planos de construcción mediante la utilización de estructuras metálicas unidas por soldadura indicarían el símbolo de soldadura:

- Uno se refiere a una posición plana, ya sea 1F o 1G.

- Dos se refiere a una posición horizontal, ya sea 2F o 2G.
- Tres es una posición vertical, ya sea 3F Up-Down o 3G Up-Down
- Cuatro es una posición por encima de la cabeza, ya sea 4F o 4G.
- Cinco es una posición para indicar la soldadura de tubería que aplica todas las posiciones anteriores, ya sea 5F Up-Down o 5G Up-Down.
- Seis es una posición para indicar soldadura de tubería a 45°. Ya sea 6F o 6G. [16][14]

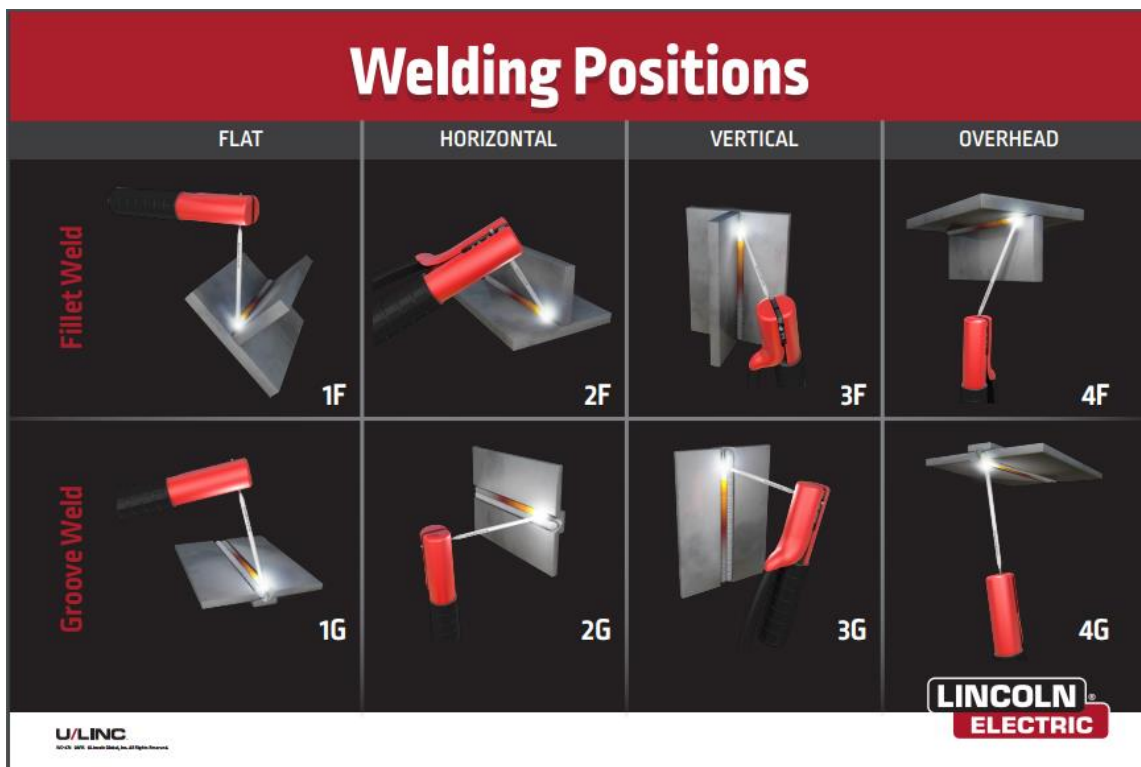


Figura 17. Posiciones para soldaduras de filete y bisel.

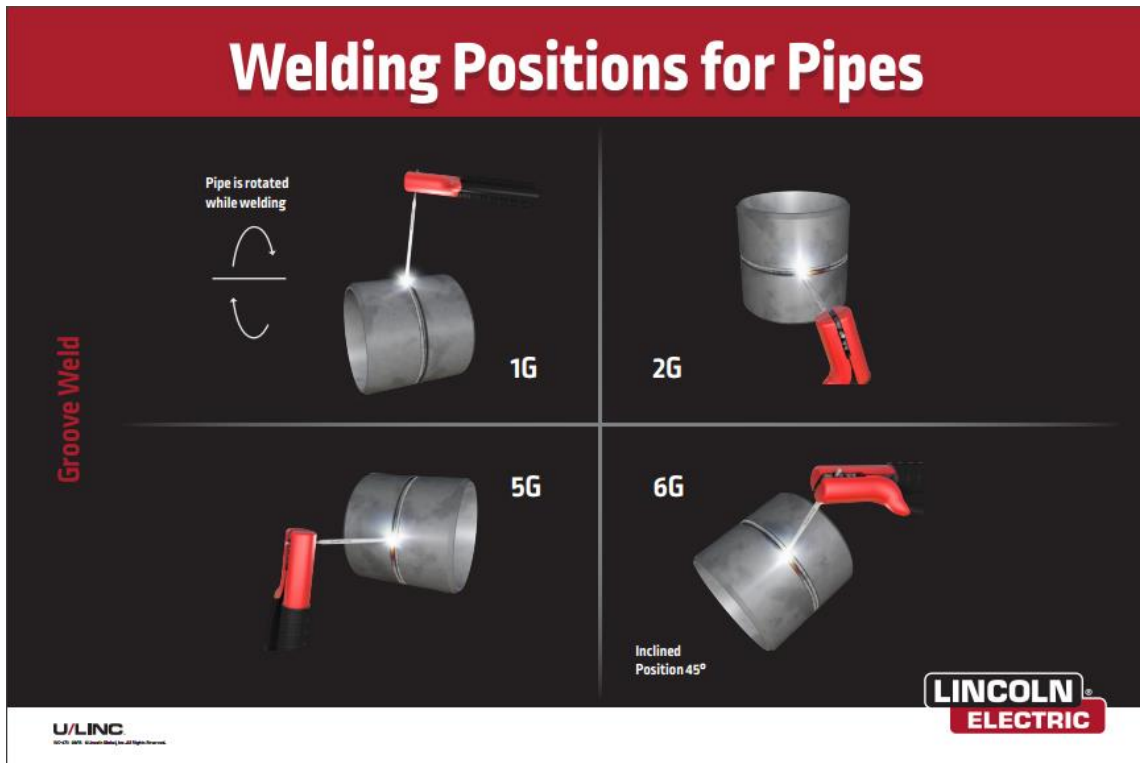


Figura 18. Posiciones de soldadura para tubería.

6.4 SIMBOLOGÍA SOLDADURA

6.4.1 Símbolos básicos.

- Distinción entre Símbolo de Soldadura y Símbolo de Soldeo. Esta norma hace distinción entre los términos símbolo de soldadura y símbolo de soldeo. El símbolo de soldadura indica el tipo de soldadura y, cuando se utilice, forma parte del símbolo de soldeo.
- Símbolos de Soldadura: Los símbolos se representarán "sobre" la línea de referencia. Ver Figura 19.
- Símbolos de Soldeo. El símbolo de soldeo está constituido por varios elementos. La línea de referencia y la flecha son los únicos elementos requeridos. Pueden incluirse elementos adicionales para facilitar información

de soldeo específica. Todos los elementos, cuando se utilicen, estarán en posiciones específicas del símbolo de soldeo como se indica en la Figura 20.
[17]

CHAFLAN							
PLANO	INCLINADO	V	BISEL	U	J	V ENSANCHADA	BISEL ENSANCHADO

ANGULO	TAPON U OJAL	ESPARRAGO	PUNTO O PROYECCION	COSTURA	REVERSO O RESPALDO	RECARGUE	BORDE	
							CANTO	ESQUINA

Figura 19. Símbolos Soldadura.

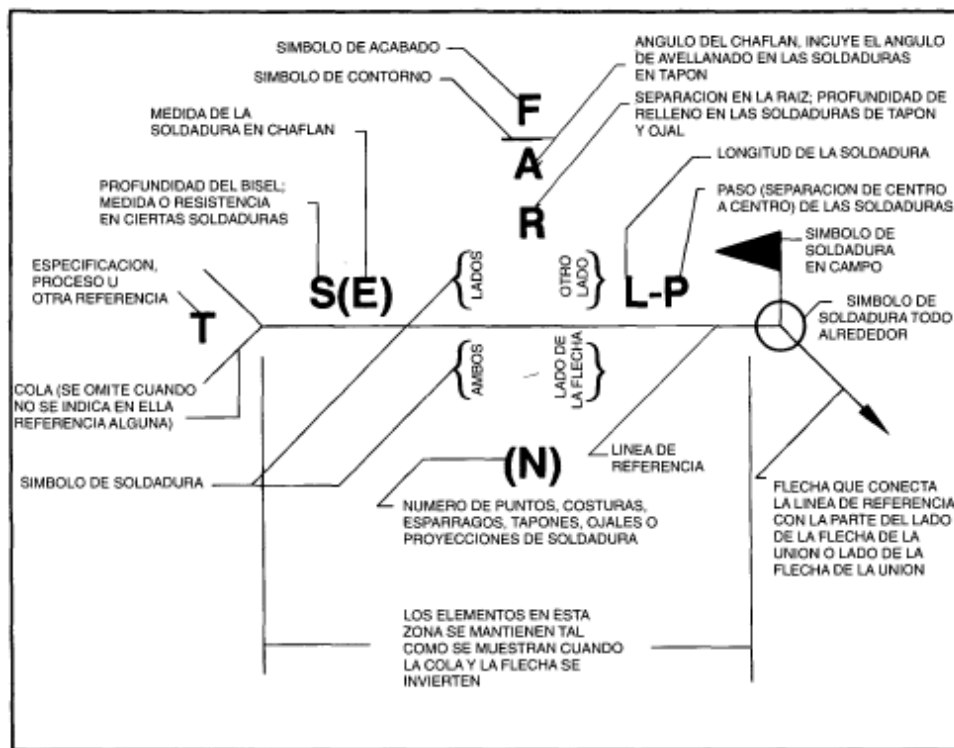


Figura 20. Situación Normalizada de los Elementos de un Símbolo de Soldeo.

Los requisitos obligatorios relacionados con cada elemento en un símbolo de soldeo se refieren a la situación del elemento y no deben interpretarse como una necesidad de incluir el elemento en cada símbolo de soldeo.

- Símbolos Suplementarios. Los símbolos suplementarios que se utilicen conjuntamente con los símbolos de soldeo se indicarán como se muestra en la Figura 21. [17]

SOLDAR TODO AL- REDEDOR	SOLDADURA EN CAMPO	REFUERZO DE RAIZ	INSERTO CONSUMIBLE (PLANO)	RESPALDO O SEPARADOR (RECTANGU- LAR)	CONTORNO		
					A PAÑO O PLANO	CONVEXO	CONCAVO

Figura 21. Símbolos Suplementarios.

6.5. RESISTENCIA DE UNIONES SOLDADAS

Por lo general, la correspondencia entre las propiedades del electrodo y las del metal de base no es tan importante como la rapidez y la habilidad del operador y la apariencia de la unión terminada. Las propiedades de los electrodos varían mucho, pero en la Tabla 3 se enlistan las propiedades mínimas de algunas clases de electrodos. [18]

Al diseñar componentes soldadas es preferible seleccionar un acero que proporcione una soldadura rápida y económica, aunque quizá requiera un sacrificio de otras cualidades, como la maquinabilidad. En condiciones apropiadas, todos los aceros se pueden soldar, pero se obtendrán mejores resultados si se eligen aceros con una especificación UNS entre G10140 y G10230. Dichos aceros tienen una resistencia a la tensión en la condición laminada en caliente, en el intervalo de 60 a 70 kPsi.

Tabla 3. Propiedades Mecánicas del Metal de Aporte.

Número De Electrodo AWS	Resistencia A La Tensión, Kpsi (Mpa)	Resistencia A La Fluencia, Kpsi (Mpa)	Elongación Porcentual
E60XX	62 (427)	50 (345)	17-25
E70XX	70 (482)	57 (393)	22
E80XX	80 (551)	67 (462)	19
E90XX	90 (620)	77 (531)	14-17
E100XX	100 (689)	87 (600)	13-16
E120XX	120 (827)	107 (737)	14

7. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

7.1 BUSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

Se realizó la búsqueda y revisión de documentos de Internet y visitas a bibliotecas para el diseño planteado; consultando publicaciones electrónicas, revistas, libros y bases de datos como Scielo y Science Direct.

7.2 MATERIALES

Se seleccionaron los materiales con las mejores características y aplicaciones acordes a la función del brazo posicionador. Dados los conceptos previos sobre procesos de soldadura, conocimientos en resistencia y diseño mecánico, y entendiendo la finalidad del diseño a realizar; se toma como punto de partida la selección del material a emplear, el cual debe satisfacer lo mencionado con anterioridad. Además, se debe tener en cuenta el costo del material, tipo de condiciones atmosféricas a las que estará expuesto, su facilidad para ser maquinado y su soldabilidad, e igualmente que las dimensiones y calibres planteados sean de uso comercial.

Se propuso usar el acero ASTM A36 (SAE 1020) para la estructura del brazo posicionador y acero SAE 1018 para la fabricación de los bujes. El acero A36 es producido bajo la especificación ASTM A36 (American Society for Testing and Materials). Es un acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización. Es disponible y producido en barras, platinas, láminas, perfiles y tubería cuadrada, rectangular y circular. [19]

El acero SAE 1018 es un acero de bajo contenido de carbono. Se utiliza en la fabricación de partes para maquinaria, partes automotriz, equipos de proceso, entre

otros; que no estén sujetas a grandes esfuerzos. Sus típicas aplicaciones son en piezas que no tengan altos requerimientos mecánicos como ejes, eslabones para cadena, pasadores, bujes, tornillería corriente y grapas. Mediante la cementación es óptimo para fabricar piñones, engranajes, tornillos sinfín, espárragos, tornillos. Es disponible y producido en barras circulares, cuadradas y hexagonales; láminas y barras perforadas. [20].

7.2.1 Acero ASTM A36.

Como la mayoría de los aceros, el A36 (SAE1020), tiene una densidad de 7850 kg/m³ (0.28 lb/in³). El acero A36 en barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 8in (203,2 mm) tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPA (36 ksi), y resistencia a la tracción mínima de 400 MPa (58 ksi). Las planchas con espesores mayores de 8in (203,2 mm) tienen un límite de fluencia mínimo de 220 MPA (32 ksi), y la misma resistencia a la tracción. En la Tabla 5 y 6, se muestra la composición química, las propiedades físicas y mecánicas. [23]

Tabla 4. Composición Química Acero ASTM A36.

Elementos Componente	% en Peso Elemento
Carbón, C	0,25 - 0,29
Cobre, Cu	0,20
Hierro, Fe	98
Manganeso, Mn	0,80 a 1,2
Fósforo, P	0,04
Silicio, Si	0,15 a 0,40
Azufre, S	0,05

Tabla 5. Propiedades Físico Mecánicas Acero ASTM A36.

Propiedad	Magnitud	
Densidad	7,85 g/cm ³	0,284 lb/in ³

Resistencia a la tracción	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi
Límite de Fluencia	250 MPa	36000 psi
Elongación a la rotura	20%	20%
Dureza Rockwell B	67 - 83	
Módulo de elasticidad	200 GPa	29000 ksi
Esfuerzo de compresión	152 MPa	22000 psi
Módulo de volumen	160 GPa	23200 ksi
Coeficiente de Poisson	0.26	0.26
Módulo cortante	79,3 GPa	11500 ksi
Conductividad Térmica	50W/mK	

7.2.2 Acero SAE 1018.

Entre los aceros de bajo carbono, el SAE 1018 es el más versátil por sus características; mejores propiedades mecánicas que otros aceros del mismo tipo por su alto contenido de manganeso, buena soldabilidad, buena maquinabilidad. Cuando se requiere una superficie muy dura pero un centro tenaz, este acero cementado cumple perfectamente. Estirado en frío mejora sus valores de resistencia mecánica y su maquinabilidad, haciéndose muy popular para un sinnúmero de aplicaciones. [20] En la Tabla 7 y 8, se muestra la composición química, las propiedades físicas y mecánicas. [24]

Tabla 6. Composición Química Acero SAE 1018.

Elemento componente	% en Peso Elemento
Carbón, C	0,14 - 0,20
Hierro, Fe	98.81 - 99,26
Manganeso, Mn	0,60 - 0,90
Fósforo, P	0,04
Azufre, S	0,05

Tabla 7. Propiedades Físico Mecánicas Acero SAE 1018.

Propiedad	Magnitud	
Densidad	7,87 g/cm ³	0,284 lb/in ³
Dureza Brinell	126	126
Dureza Knoop	145	145
Dureza Rockwell B	71	71
Dureza Vickers	131	131
Resistencia a la tracción	440 MPa	63800 psi
Límite de Fluencia	370 MPa	53700 psi
Elongación a la rotura	15%	15%
Reducción del área	40%	40%
Módulo de elasticidad	200 GPa	29000 ksi
Módulo de volumen	159 GPa	23100 ksi
Coefficiente de Poisson	0.29	0.29
Maquinabilidad	70%	70%
Módulo cortante	78,0 GPa	11300 ksi
Conductividad térmica	51,9 W / mK	360 BTU-in / hr-ft ² - ° F

Los aceros mencionados anteriormente presentan excelente soldabilidad, pueden ser soldados con éxito usando la mayoría de los procesos de soldadura. Se recomienda por la accesibilidad, rapidez, el bajo aporte de calor en comparación con otros procesos, la limpieza y calidad en el acabado de las soldaduras; emplear el proceso GMAW en la realización de las uniones permanentes, con alambre electrodo especificación: ER70S-6 de 0.035in (0.9mm). Y gas de protección CO₂ 100% o mezcla Ar 75% - CO₂ 25%.

7.2.3 Tornillería.

Los tornillos de cabeza hexagonal permiten aplicar un gran momento de apriete; mediante la utilización de arandelas se puede repartir homogéneamente dicha

fuerza y reducir los coeficientes de fricción entre los tornillos y la pieza a sujetar. [21] El tornillo Allen o cabeza cilíndrica con hexágono interior, se usan en uniones que se necesiten grandes aprietes y que resulten estrechos. En la Tabla 4, se especifica los tornillos, tuercas y arandelas a emplear. [22]

Tabla 8. Designación Tornillería.

Clase	Designación	Long.	Paso	Tipo Rosca	Descripción	Cant.
4.6	M10	30	1.5	Perfil ISO métrico	Tornillo Allen	2
6.8	M16	-	2	Perfil ISO métrico	Tuerca Hexagonal	6
4.6	3/8"	1½"	0.0625	UNC	Tornillo cabeza hexagonal	1
4.6	3/8"	1"	0.0625	UNC	Tornillo cabeza hexagonal	1
-	3/8"	-	-	-	Arandela ANSI B18.22.1	2
6.8	3/8"	-	0.0625	UNC	Tuerca Hexagonal	3
4.6	M16	50	2	Perfil ISO métrico	Tornillo cabeza hexagonal	5
4.6	M16	60	2	Perfil ISO métrico	Tornillo cabeza hexagonal	1

7.3 DIMENSIONES

Se determinaron las dimensiones del brazo posicionador, calibres y espesores apropiados de las piezas a diseñar y de los materiales seleccionados; que cumplan las exigencias de trabajo del brazo posicionador.

7.4 COSTOS

Se contactó con proveedores para realizar la estimación de los costos en los materiales necesarios para el diseño. En la Tabla 9 se detallan los costos obtenidos de los proveedores Aceros MAPA S.A. y Mundial de Tornillos S.A.

Tabla 9. Lista y Costo de Materiales.

MATERIALES			
TUBERÍA REDONDA ASTM A36			
Ø Exterior	Espesor	Longitud	Costo
89mm	3mm	6m	\$ 90.720
60mm	3mm	6m	\$ 60.600
TUBERÍA CUADRADA ASTM A36			
Dimensión	Espesor	Longitud	Costo
(50x50)mm	3mm	6m	\$ 61.200
LÁMINA ASTM A36			
Dimensión	Espesor		Costo
(1,2x2,4)m	¼ pulg		\$ 123.000
PLATINA ASTM A36			
Ancho	Espesor	Longitud	Costo
2 pulg	¼ pulg	6m	\$ 31.050
2 pulg	⅜ pulg	6m	\$ 45.500
2 ½ pulg	½ pulg	6m	\$ 77.600
BUJES ACERO AISI-SAE 1018			
Ø Exterior	Ø Interior	Longitud	Costo
108mm	88mm	1m	\$ 122.126
89mm	48mm	1m	\$ 148.800
BARRA ACERO AISI-SAE 1018			
Ø Exterior	Longitud		Costo

Ø 3/8 pulg	1m		\$ 1.912
TORNILLERÍA			
Descripción		Costo	
Tornillos M16, M10, 3/8 pulg y tuercas		\$ 10.000	
Sub Total		\$ 772.508	
IVA 16%		\$ 123.601	
TOTAL		\$ 896.109	

7.5 MODELADO Y PLANOS

Se crearon los modelados 3D de las piezas del brazo posicionador y sus respectivos planos en el software Autodesk Inventor Profesional 2014 ®, acotados bajo norma ISO 129-1985 en el sistema métrico decimal.

7.6 SIMULACIÓN DE TENSIONES

Se realizaron simulaciones de tensiones en el software Autodesk Inventor Profesional 2014 ®, para estudiar las cargas a las que estará expuesto el dispositivo, la resistencia mecánica y el factor de seguridad óptimo para el diseño planteado.

7.7 RESULTADOS

Se recopiló y elaboró un informe integrando los resultados y datos de cada ítem de la metodología experimental.

7.8 CONCLUSIONES

Se realizaron las conclusiones incorporando los análisis realizados y resultados obtenidos.

7.9 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la Tabla 10 se programan los tiempos y estructuran las actividades a realizar.

Tabla 10. Cronograma Actividades.

ACTIVIDAD		MES															
		AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE			
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1	Recopilación de información																
2	Selección de materiales y costos.																
3	Modelado y ensamble 3D.																
4	Realización de planos.																
6	Simulación de tensiones.																
7	Análisis de resultados de simulaciones.																
8	Informe final de resultados.																

8. RESULTADOS

8.1 MODELADO 3D PARTES DEL BRAZO POSICIONADOR

La ergonomía y dinamismo en el diseño permitirá realizar pruebas y trabajos a la altura y posición deseada; para ello el diseño de diferentes componentes facilitará deslizar e inclinar el brazo principal y la mesa de trabajo. En la Figura 22, se ilustra el ensamble CAD del brazo posicionador. Los modelados de las Figuras 22 a 32 fueron realizados en el software Autodesk Inventor Profesional 2014 ®. [25]



Figura 22. Ensamble CAD Brazo Posicionador.

8.1.1 Trípode.

El trípode (Ver Figura 23) [25], es la estructura del brazo posicionador y será el elemento que soportará las cargas de los brazos, la mesa de trabajo, anillos de sujeción, herramientas de trabajo, probetas de soldadura y cargas realizadas por el soldador. Se compone por tres pies soldados a una columna fabricados con acero ASTM A36.



Figura 23. Trípode

8.1.2 Brazo de la Mesa de Trabajo.

El brazo de la mesa de trabajo (Ver Figura 24) [25], se deslizará a lo alto del trípode y permitirá girar 360° sobre su eje, mediante un buje fabricado con acero SAE 1018, el cual podrá ser fijado a la altura deseada mediante una sujeción atornillada. Soldado al buje, se incorpora un brazo (tubería) de 60mm de diámetro por 260mm de longitud en acero ASTM A36; sobre el cual se dispondrá la mesa de trabajo.



Figura 24. Brazo de la Mesa de Trabajo.

8.1.3 Mesa de Trabajo.

En la mesa de trabajo (Ver Figura 25) [25], se dispondrán platinas, electrodos, portaelectrodo o antorcha según el proceso utilizado, herramientas de trabajo y demás elementos necesarios para llevar a cabo la actividad; además, se pueden realizar pruebas 2F y 1G en platina, entre otras tareas. La mesa de trabajo mediante un buje soldado en su parte inferior (Ver Figura 26) [25], podrá ser desplazada horizontalmente, girar 360° respecto al brazo de mesa de trabajo y ser fijado mediante un tornillo de sujeción. La mesa se compone por un buje de acero SAE 1018, tubería cuadrada de 2in x 2in con espesor de 1/8in (3mm), platina de 1/4in x 2in y platina de 1/2in * 2 1/2in.

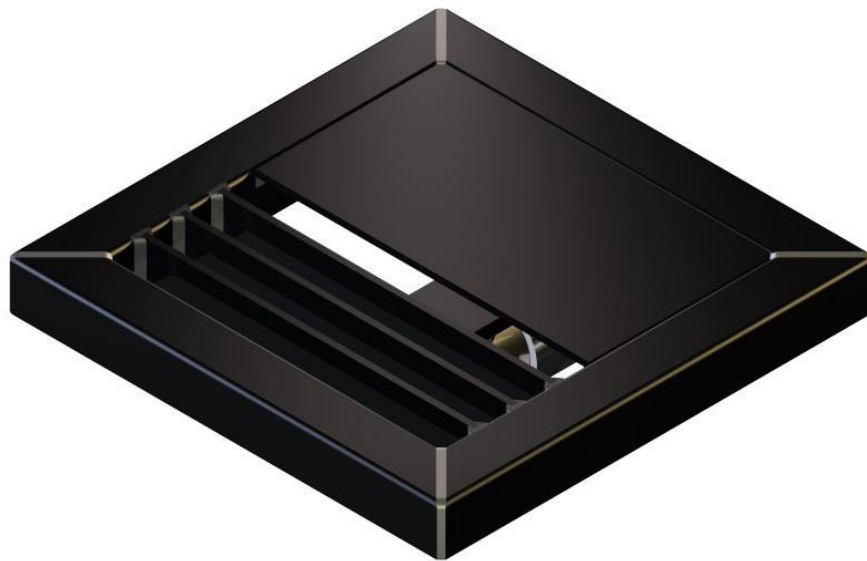


Figura 25. Mesa de Trabajo.



Figura 26. Buje de desplazamiento.

8.1.4 Brazo Principal.

El brazo posicionador (Ver Figura 27) [25], se deslizará a lo alto del trípode y permitirá girar 360° sobre su eje, mediante un buje fabricado con acero SAE 1018, el cual podrá ser fijado a la altura deseada mediante una sujeción atornillada. Soldado al buje, se incorpora una platina en acero ASTM A36 con dos perforaciones lineales, la cual se une a otra platina con perforaciones de 0° y 45° mediante tornillos de sujeción. La platina con perforaciones a 45° y 0° estará unida con soldadura al brazo posicionador y dará dicha graduación angular a el brazo para la realización de las diferentes pruebas en posición (Ver Figura 28) [25]. El brazo es fabricado con tubería de 60mm de diámetro por 500mm de longitud en acero ASTM A36; sobre el cual se dispondrá la mesa de trabajo.



Figura 27. Brazo Principal.



Figura 28. Brazo Principal Graduado a 45°.

8.1.5 Anillo Sujeción Probetas de Platina.

El anillo de sujeción (Ver Figura 29) [25], permite realizar pruebas 2G, 3G y 4G para platinas de hasta 1in de espesor. El anillo se puede deslizar a lo largo del brazo posicionador y girar 360° entorno a este, y ser fijado por un tornillo de sujeción incorporado en el buje. El anillo posee dos orejas paralelas perforadas con un espacio de 30mm entre ellas para ubicar la probeta a soldar y ser fijada o prensada con un tornillo M16 (Ver Figura 30) [25]. En la superficie de la cabeza hexagonal del tornillo se soldará una platina mariposa que ayudará a roscar el tornillo, así, suprimiendo el uso de llaves mixtas o boca fijas.



Figura 29. Anillo de Sujeción Probeta de Platina.



Figura 30. Separación de orejas y mariposa en tornillos.

8.1.6 Anillo Sujeción Probetas Platina y Tubería.

El anillo de sujeción (Ver Figura 31) [25], permite realizar pruebas 1F, 2F, 3F, 4F en platina y 2G, 5G Y 6G en tubería; hasta 3/8in de espesor en ambos casos. El anillo presenta los mismos grados de libertad respecto al anillo de sujeción para probetas de platinas. Este anillo posee dos prensas: Una a 45° y otra dispuesta horizontalmente, en busca de alcanzar la mayor cantidad de posiciones posibles, ayudados con la graduación angular del brazo posicionador. Ambas prensas usan un tornillo M10 x 30mm para sujetar las probetas (Ver Figura 32). [25]



Figura 31. Anillo Sujeción Probetas Platina y Tubería.

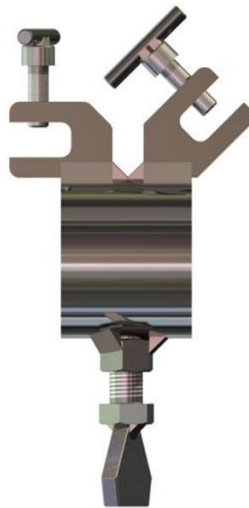


Figura 32. Prensas Sujeción de Probetas.

8.2 PLANOS

Las Figuras 33 a 42 contienen los planos del brazo posicionador y de sus piezas. Cada plano posee un listado de las partes que se compone la pieza, la cantidad, material, especificación y observaciones de fabricación; vistas superior, lateral, frontal, corte seccionado, detalles e isométricos que permiten una rápida interpretación de la pieza; además de cotas de dimensiones, de soldadura y acabado superficial. Planos realizados en el software Autodesk Inventor Profesional 2014 ® y acotados bajo norma ISO mm. Se adjunta link del archivo .Pdf de los planos en la Referencia 26.

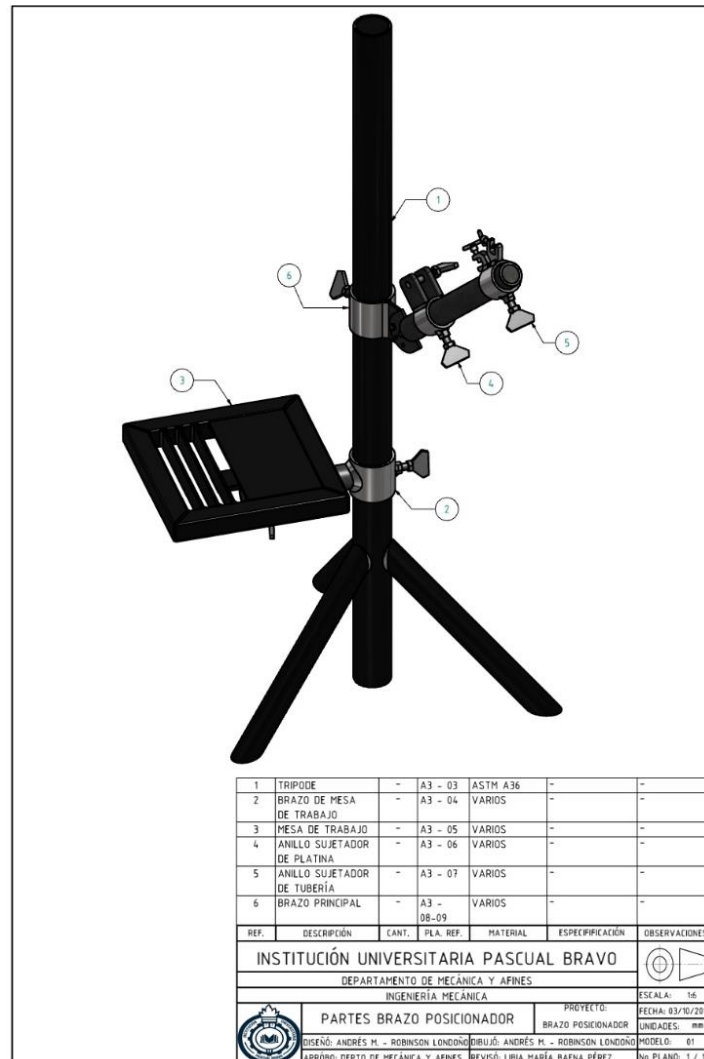


Figura 33. Ensamble y Lista de Partes Brazo Posicionador

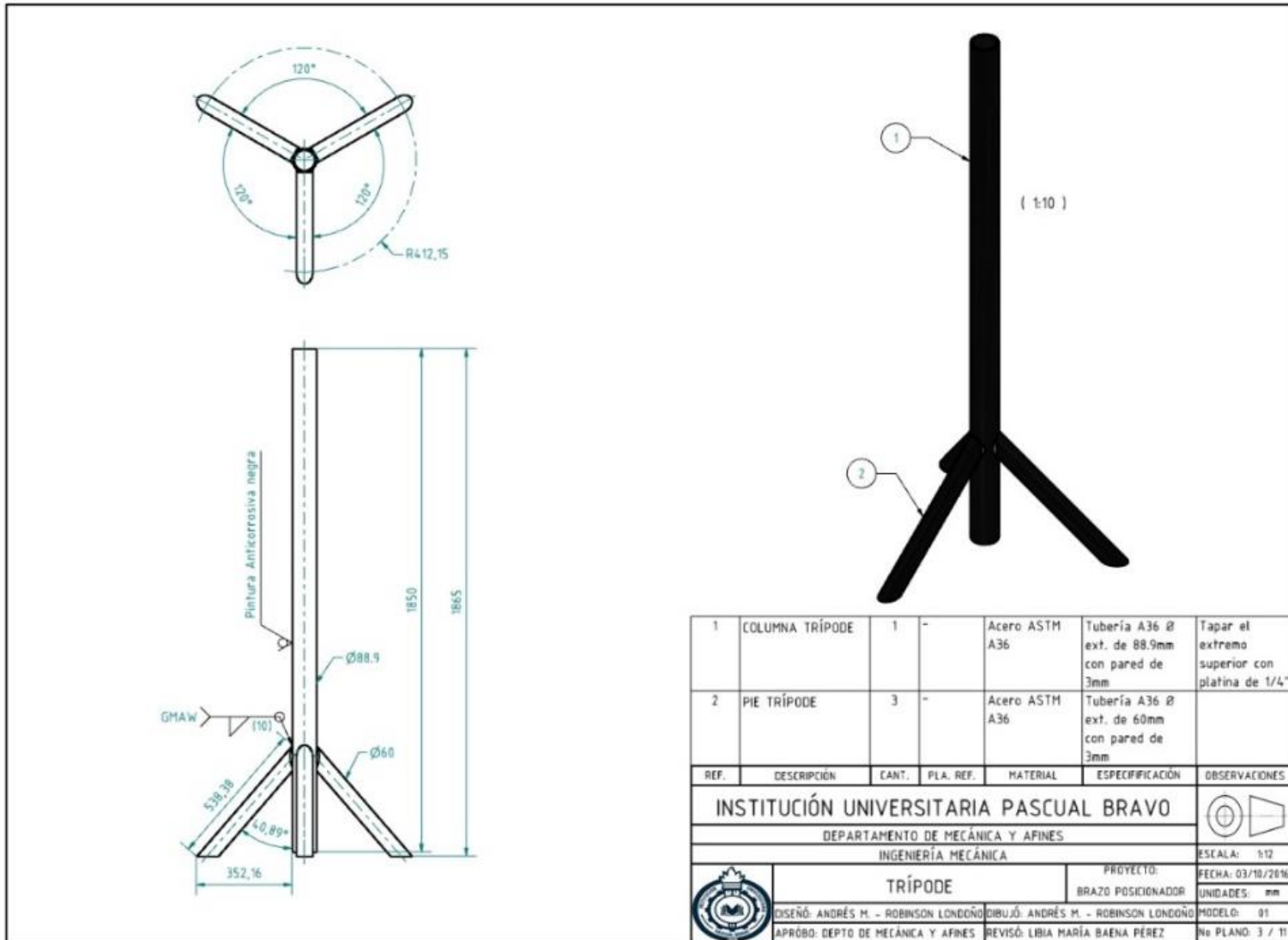


Figura 34. Plano Trípoede.

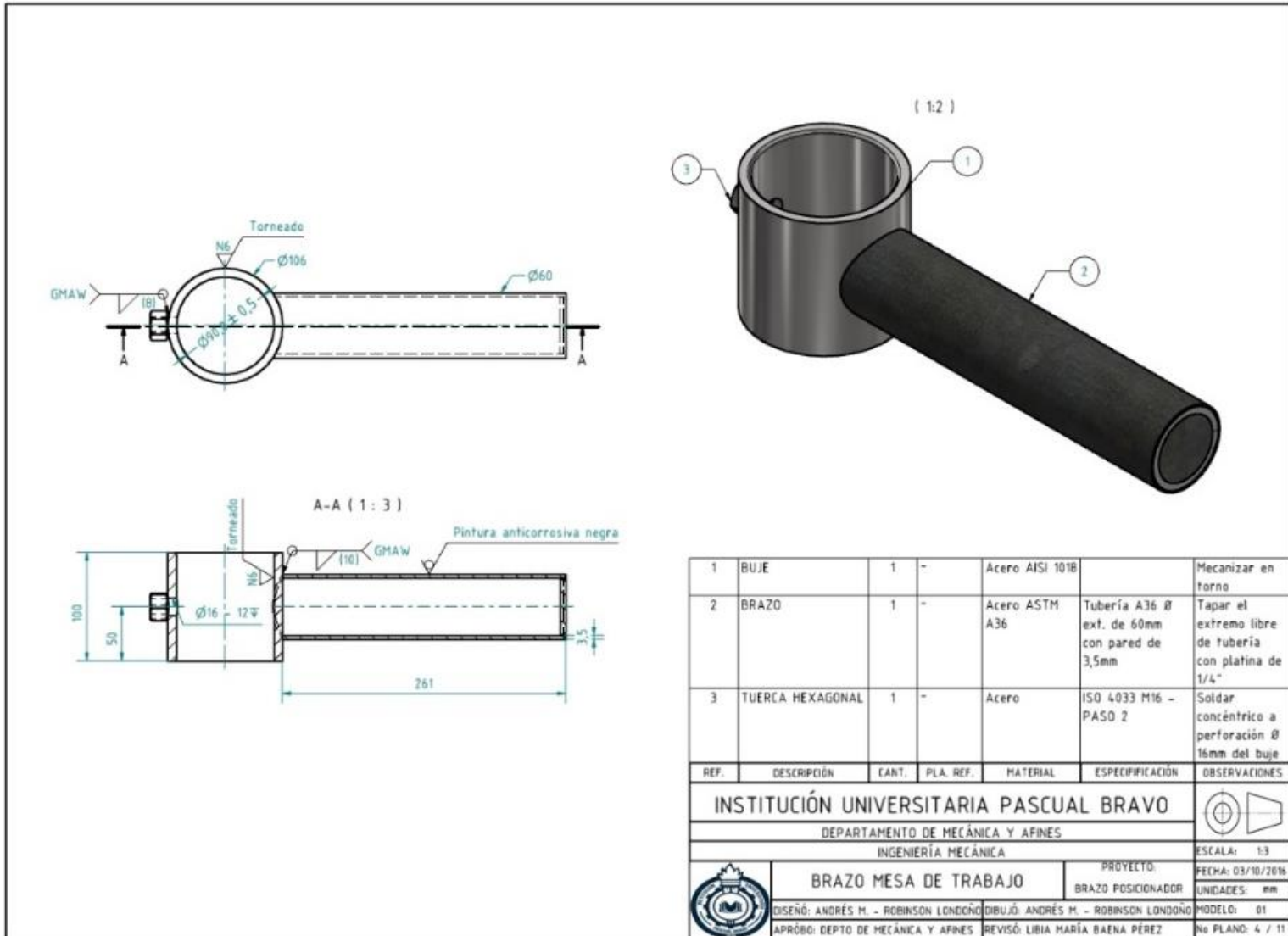


Figura 35. Planos Brazo de la Mesa.

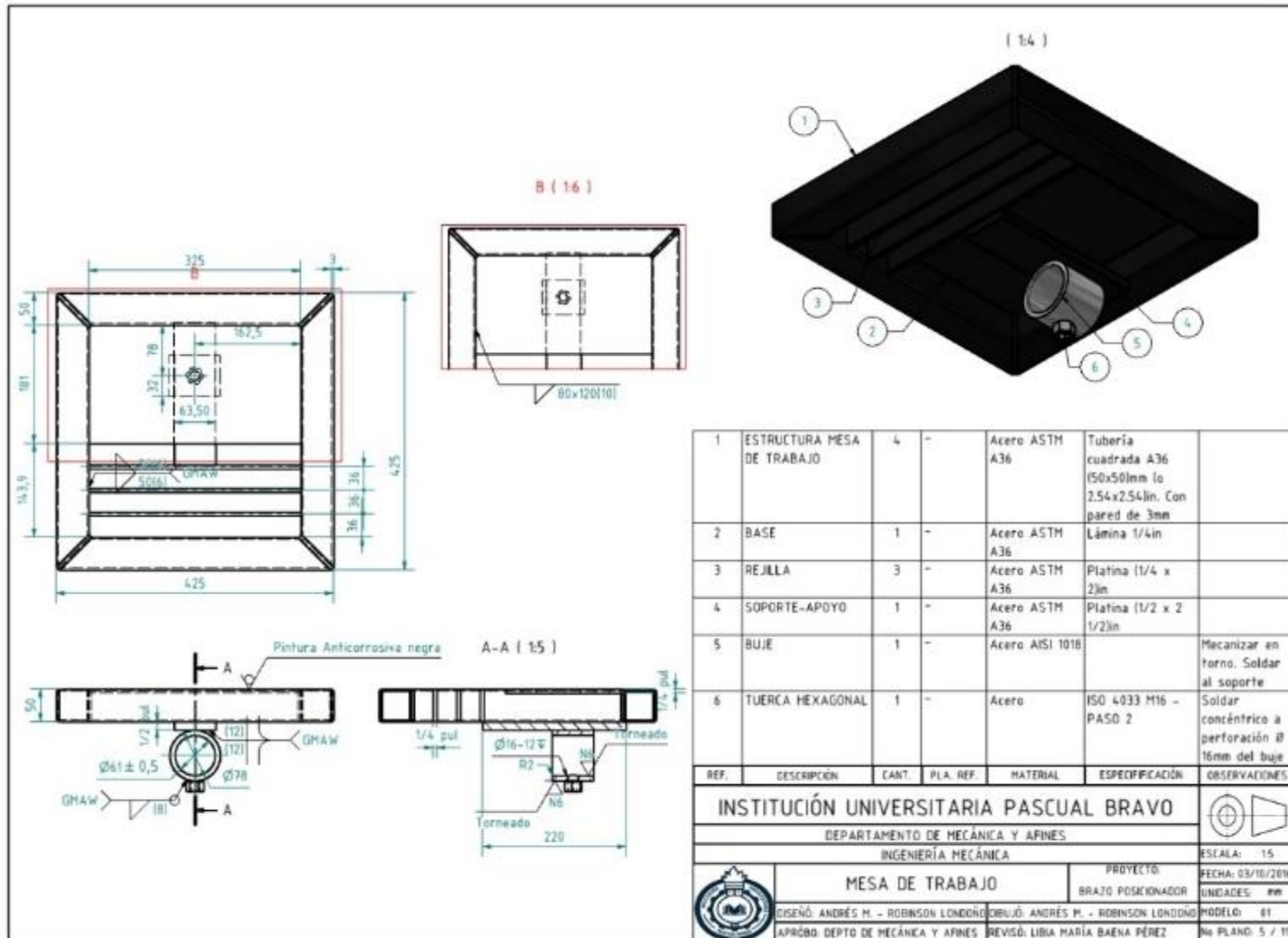


Figura 36. Planos Mesa de Trabajo.

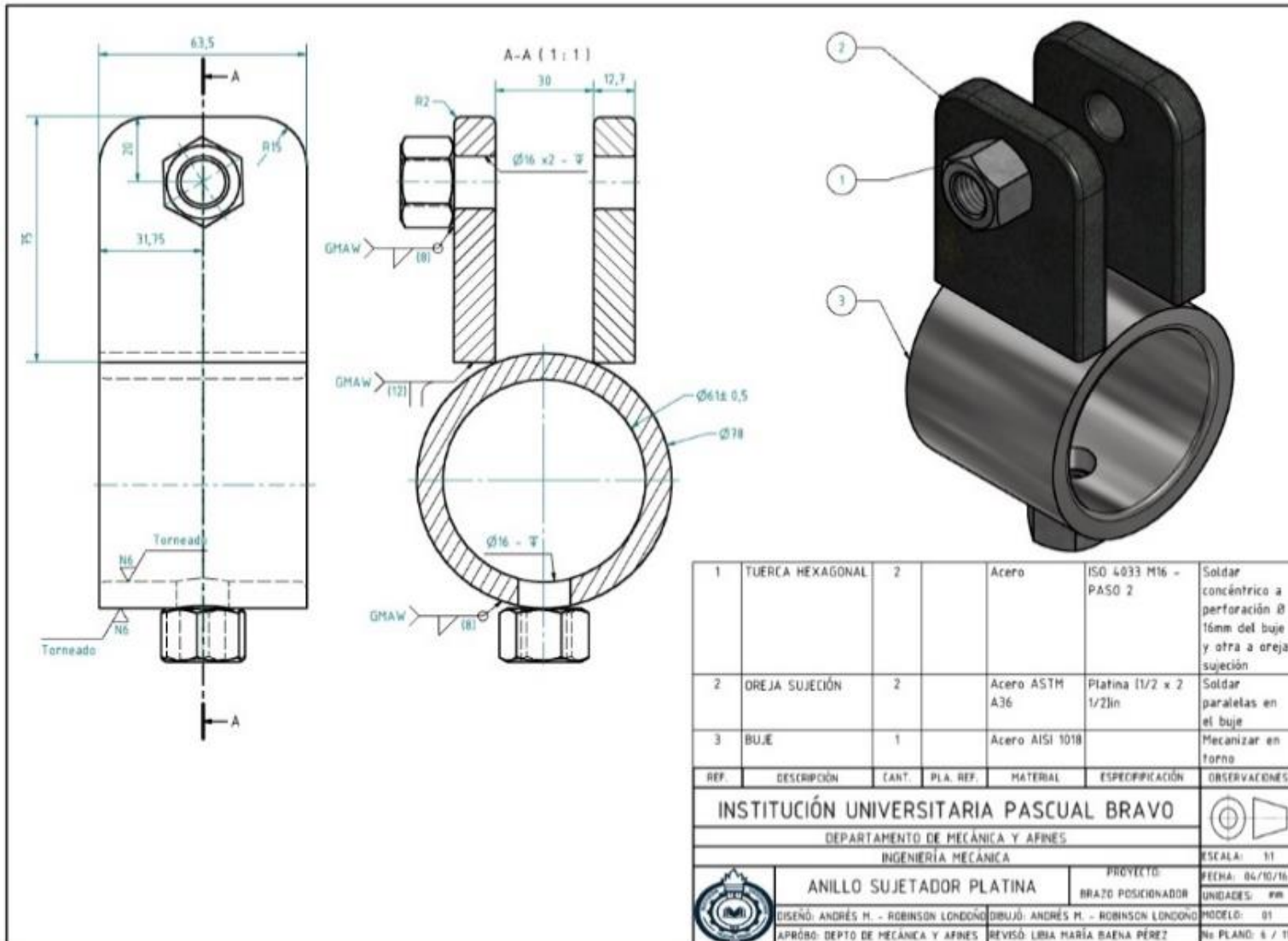


Figura 37. Planos Anillo Sujetador para Platina.

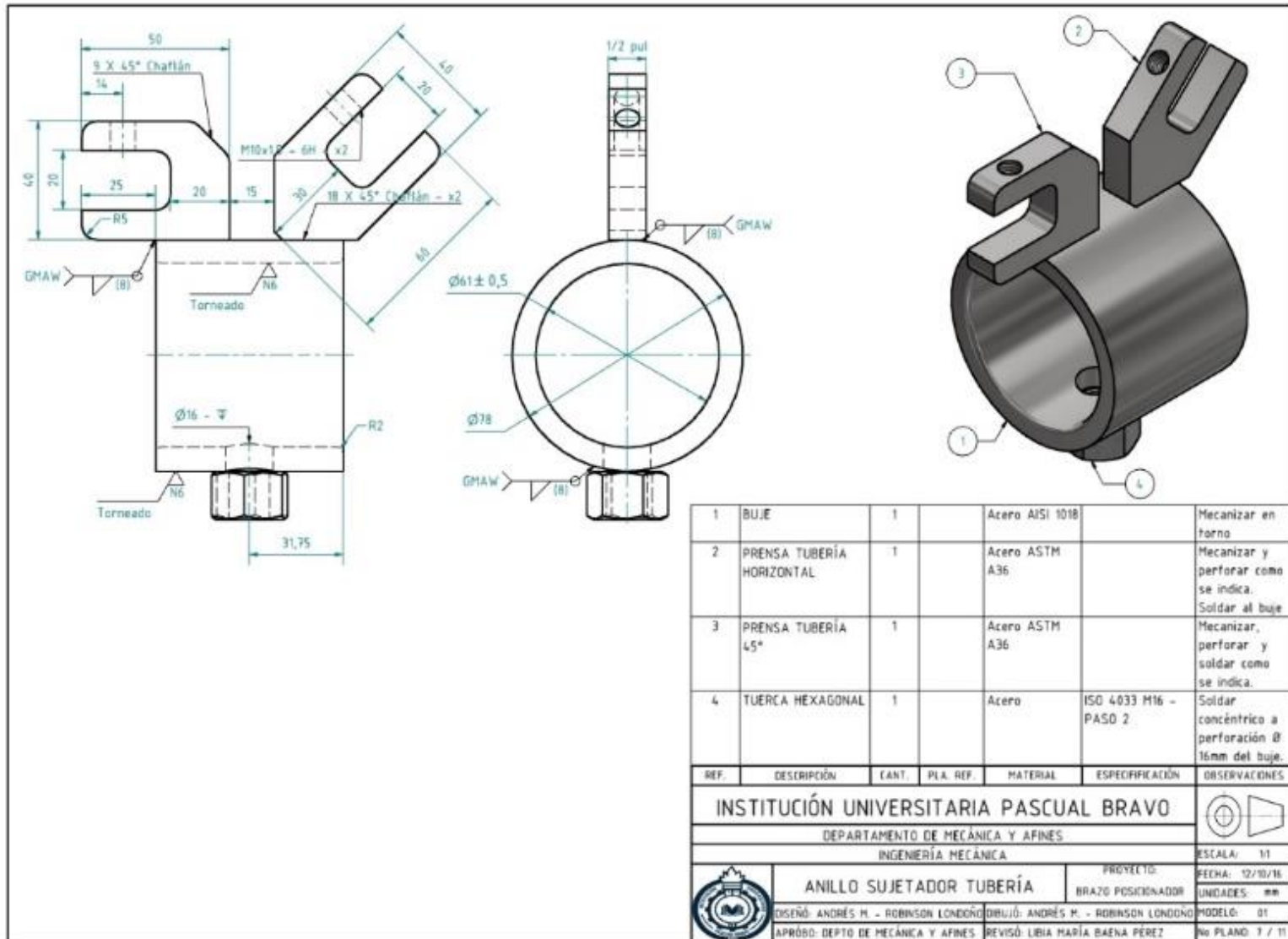


Figura 38. Planos Anillo Sujetador para Tubería.

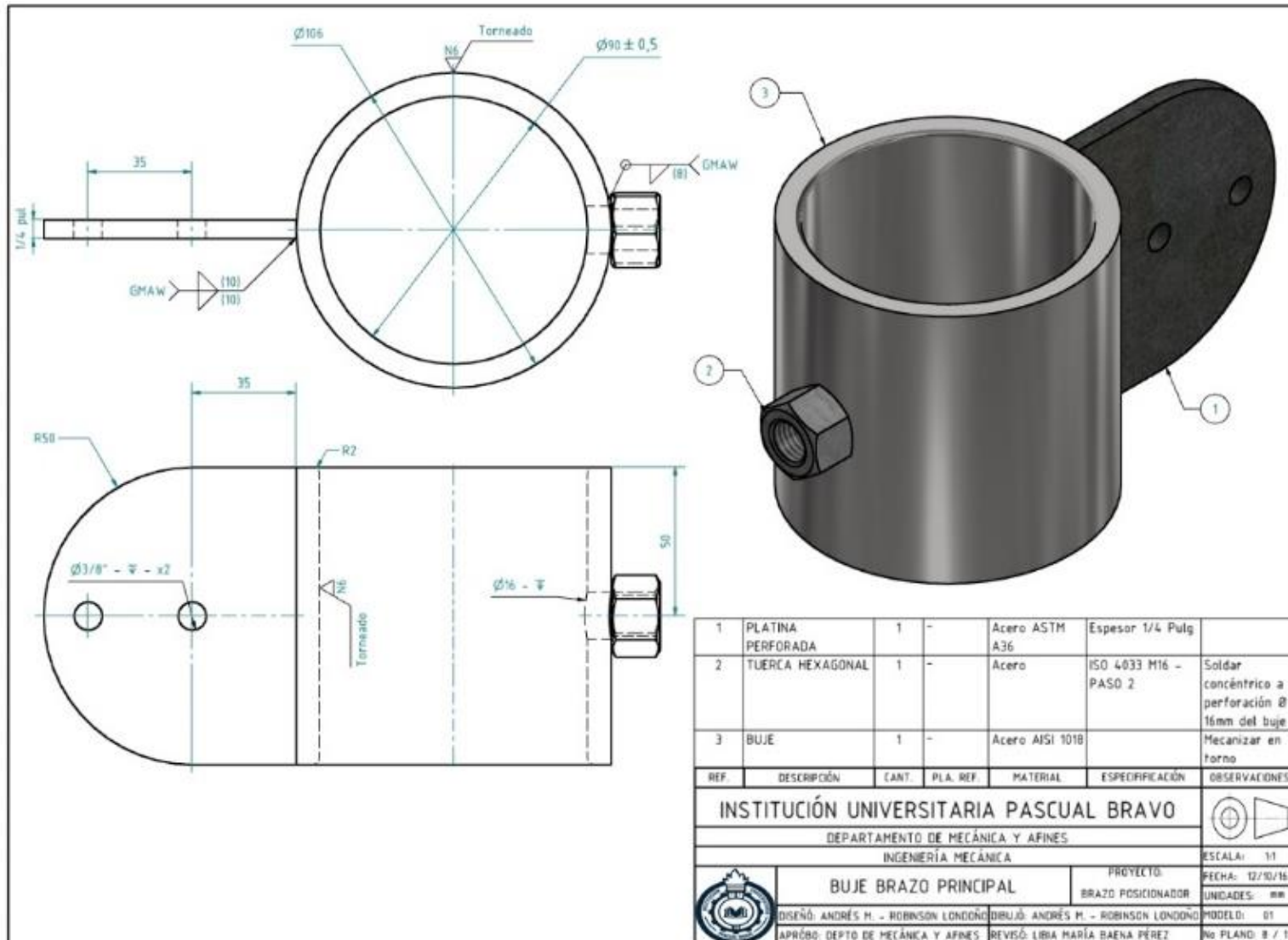


Figura 39. Planos Anillo Principal.

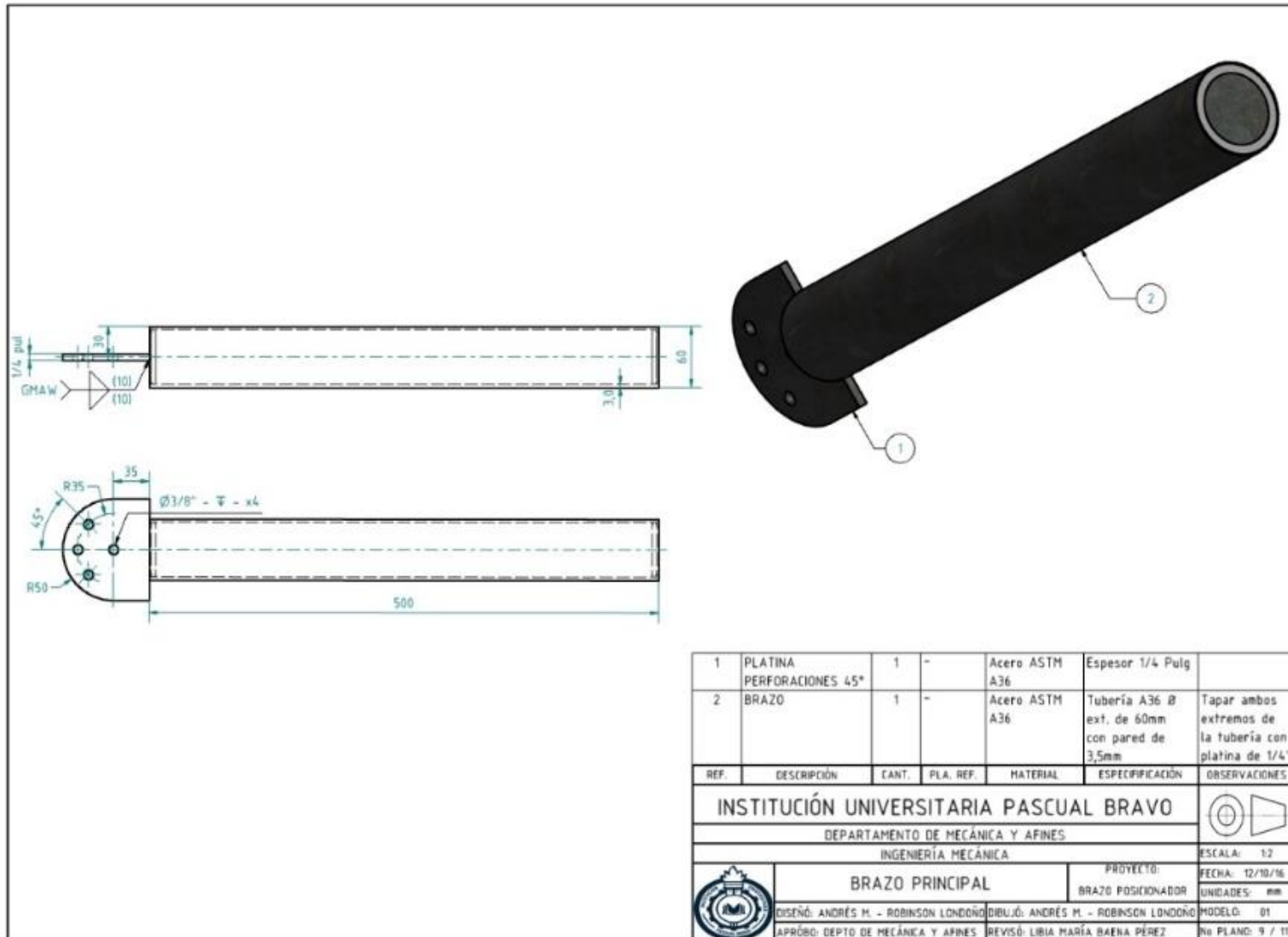


Figura 40. Planos Brazo Principal.

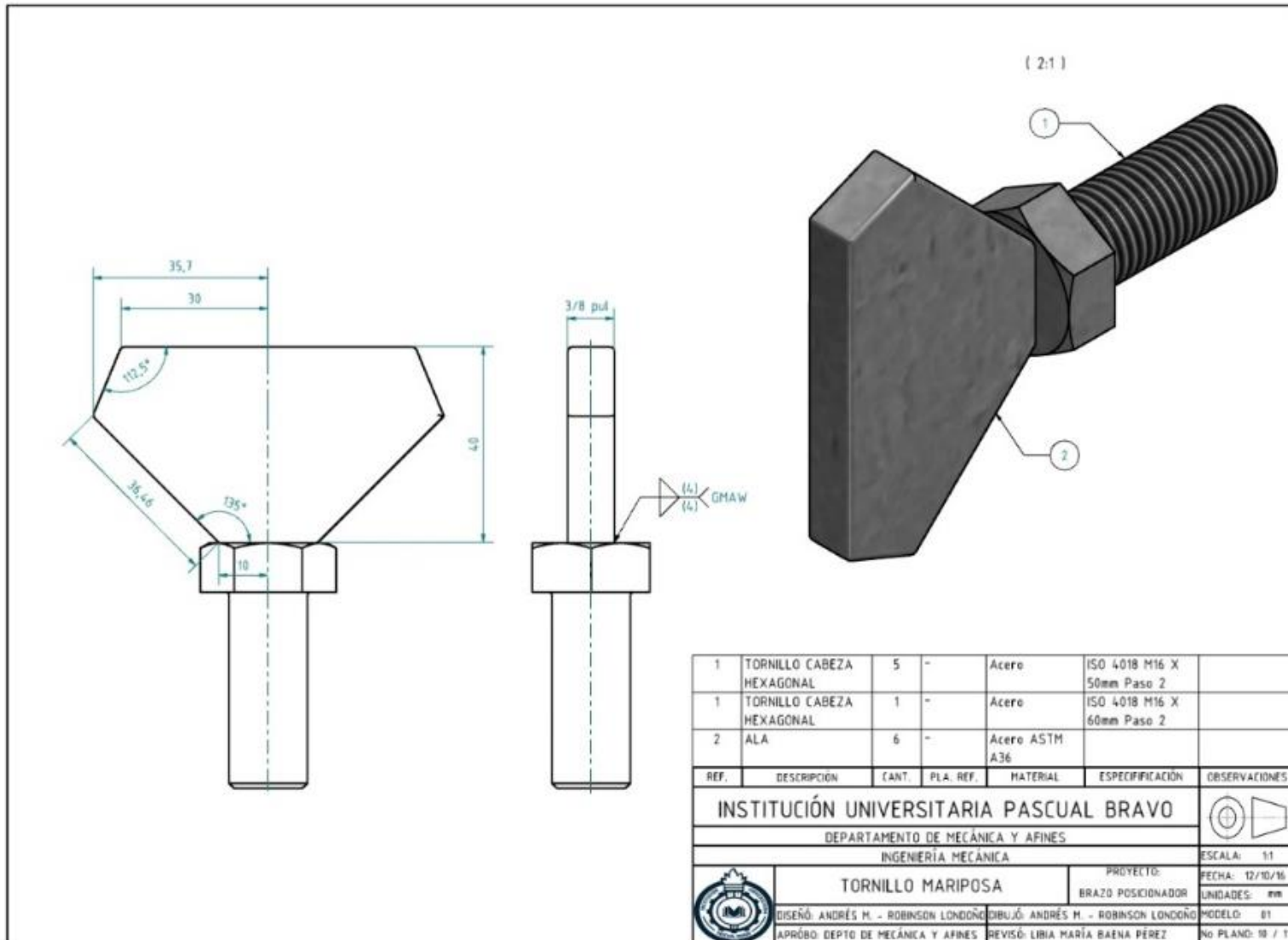


Figura 41. Planos Tornillo Mariposa.

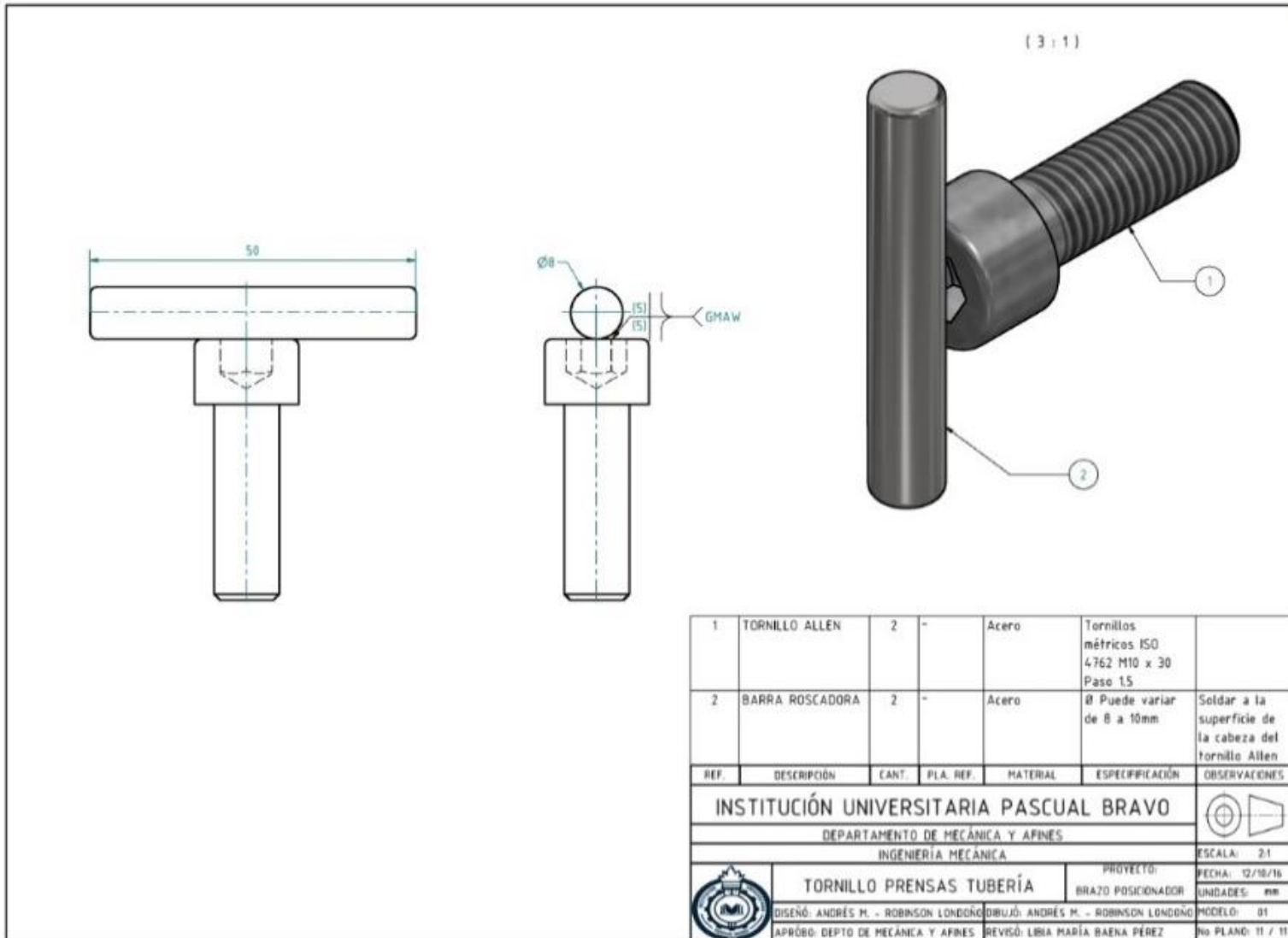


Figura 42. Planos Tornillos Prensas.

8.3 SIMULACIÓN DE TENSIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

Previamente se estudian las partes donde se generen esfuerzos máximos y puedan tender a fallar. Se infiere que las partes que estarán expuestas a esfuerzos considerables que pueden afectar el diseño, se pueden generar en los dos brazos y en la unión atornillada entre las platinas del brazo principal y el buje del mismo; como se ilustra en la Figura 22 soportarán la carga de otros elementos.

Para determinar las cargas a las cuales estará expuesta cada parte a analizar; se deben calcular la masa de cada elemento, la cantidad de ellos y suponer a que otro tipo de condiciones de carga estará expuesto, como podría ser el caso del hincamiento del soldador sobre la estructura; se toma cada dato obtenido y se multiplica por $9,81 \text{ m/s}^2$, que es el valor de la gravedad, calculando así las cargas estáticas. La masa de cada elemento se obtiene con el software Autodesk Inventor Profesional 2014 ® a través de las propiedades físicas de cada uno, en las Tablas 11 y 12 se detallan los valores de la masa y la carga estática que ejerce cada elemento sobre cada brazo. [27]

Tabla 11. Fuerzas que Actúan Sobre el Brazo Principal.

BRAZO PRINCIPAL		
NOMBRE ELEMENTO	MASA [Kg]	PESO-FUERZA [N]
Brazo Principal	5,5	53,6
Anillo Sujetador Platina	2,5	24,5
Anillo Sujetador Tubería	1,6	15,4
Probetas de Soldadura	24,1	236,4
Apoyo Soldador	15,0	147,2
TOTAL	48,6 Kg	477,2 N

Se obtuvo una fuerza total de 477,2 Newtons que actúan sobre el brazo principal. Se puede asimilar y redondear a una fuerza total de 500N o 0,5kN con el fin de asegurar un óptimo funcionamiento y además, que el diseño realizado no va a fallar.

Tabla 12. Fuerzas que Actúan Sobre el Brazo de la Mesa de Trabajo.

BRAZO DE MESA DE TRABAJO		
NOMBRE ELEMENTO	MASA [Kg]	PESO-FUERZA [N]
Brazo Mesa de Trabajo	3,7	36,0
Mesa de Trabajo	14,7	144,5
Herramientas	10,0	98,1
Apoyo Soldador	15,0	147,2
Probetas Soldadura	24,1	236,4
TOTAL	67,5 Kg	662,2 N

Se obtuvo una fuerza total de 662,2 Newtons que actúan sobre el brazo de la mesa de trabajo. Como se realizó anteriormente con las fuerzas sobre el brazo principal; se redondea y asimila una fuerza total de 700N o 0,7kN.

8.3.1 Simulación Tensiones del Brazo Principal.

Se restringe el movimiento del brazo y se selecciona en que partes quedará fijo el brazo, indicando las dos perforaciones en la platina como se observa en la Figura 43.

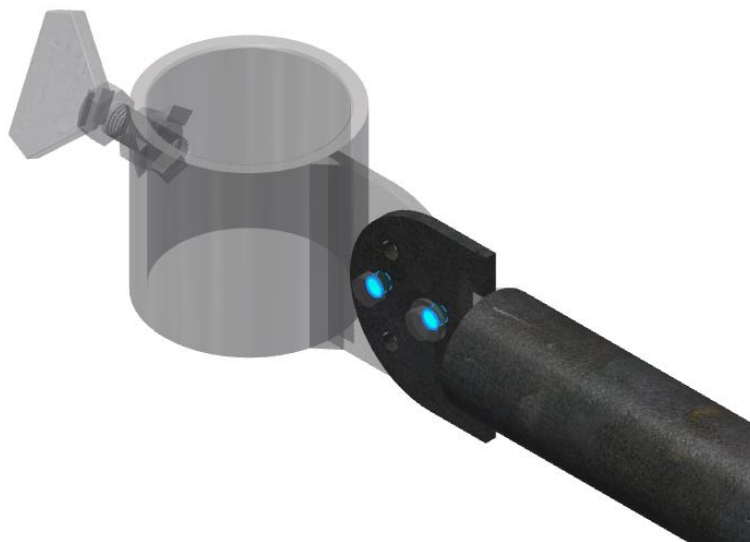


Figura 43. Restricciones de movimiento.

Se analiza que los esfuerzos y la deformación máxima se alcanzan cuando la fuerza de 500N se sitúa en el extremo libre del brazo principal, por ello se ubica como se observa en la Figura 44. Para el análisis se utilizó un enmallado con 89426 nodos, lo cual permitirá una mayor exactitud en los resultados. [27]



Figura 44. Ubicación fuerza de 500N.

Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 13. En la Figura 45 y 46 se observan en dónde se encuentra la concentración máxima de esfuerzos y la deformación o desplazamiento vertical del brazo; con un ajuste gráfico en la escala de desplazamiento de 0,5.

Tabla 13. Resultados Análisis Tensiones de Brazo Principal.

RESULTADO	MÍNIMO	MÁXIMO
Tensión de Von Mises	0 MPa	128,7 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,6431 mm
Coefficiente de seguridad	1,93 su	15 su

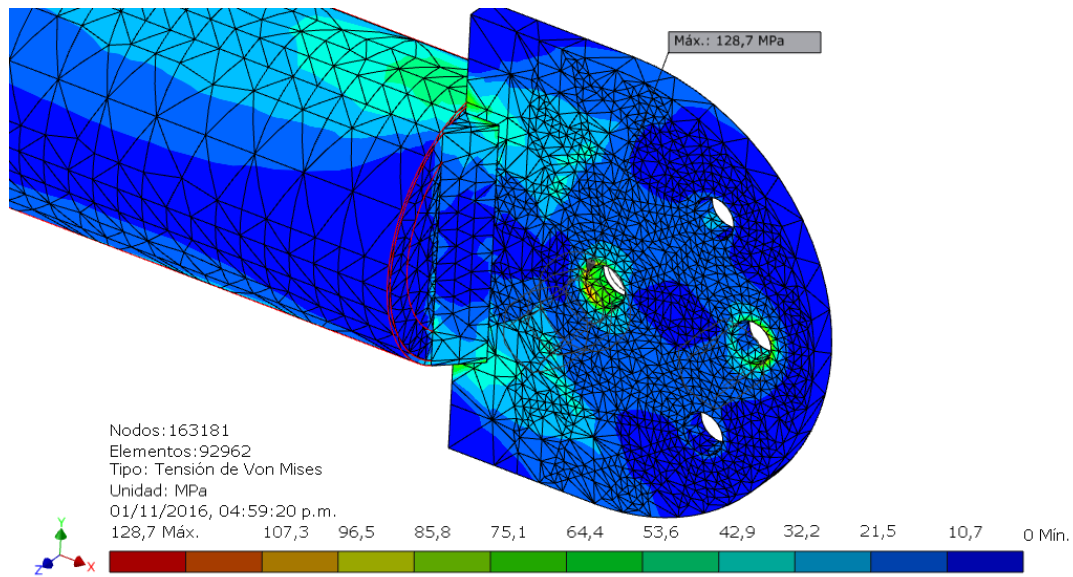


Figura 45. Resultado Tensión de Von Mises.

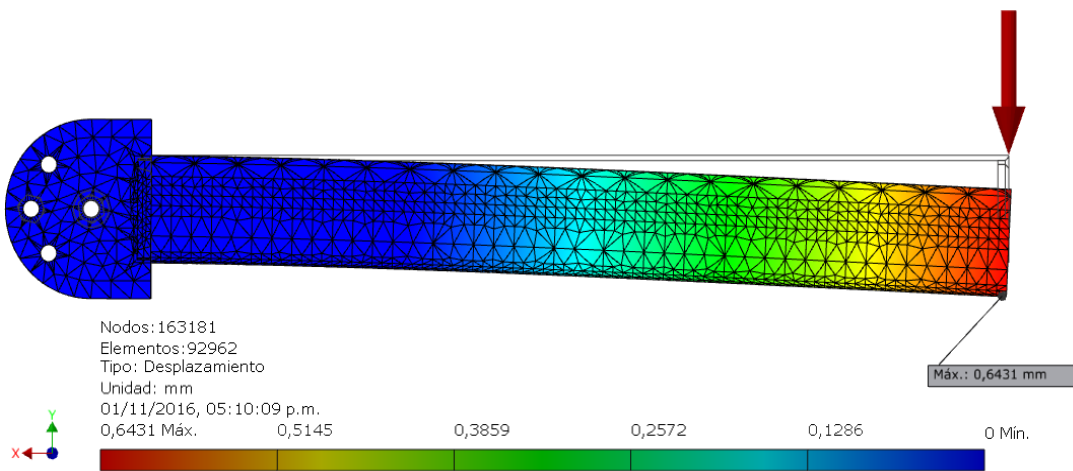


Figura 46. Desplazamiento del Brazo Principal.

8.3.2 Simulación de Tensiones del Brazo de la Mesa de Trabajo.

Se restringe los movimientos del brazo en el interior del buje como se ilustra en la Figura 47. Se selecciona esta cara debido a que el brazo quedará fijo al trípode desde esta zona. [27]

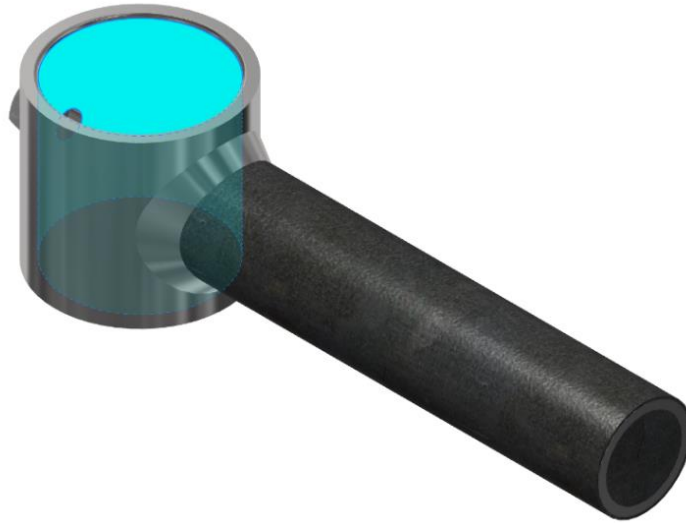


Figura 47. Restricciones en el Movimiento del Brazo.

Al igual como se determinó con el brazo principal; los esfuerzos y la deformación máxima se alcanzan cuando la fuerza de 700N se sitúa en el extremo libre del brazo principal, por ello se ubica como se observa en la Figura 48. Para el análisis se utilizó un enmallado con 330930 nodos. [27]



Figura 48. Enmallado y Ubicación Fuerza 700N.

Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 14. En la Figura 49 y 50 se observan en dónde se encuentra la concentración máxima de esfuerzos y el desplazamiento del brazo; con un ajuste gráfico en la escala de desplazamiento de 0,5. [27]

Tabla 14. Resultados Análisis Tensiones Brazo de Mesa de Trabajo.

RESULTADO	MÍNIMO	MÁXIMO
Tensión de Von Mises	0 MPa	35.61 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,08088mm
Coefficiente de seguridad	7,74 su	15 su

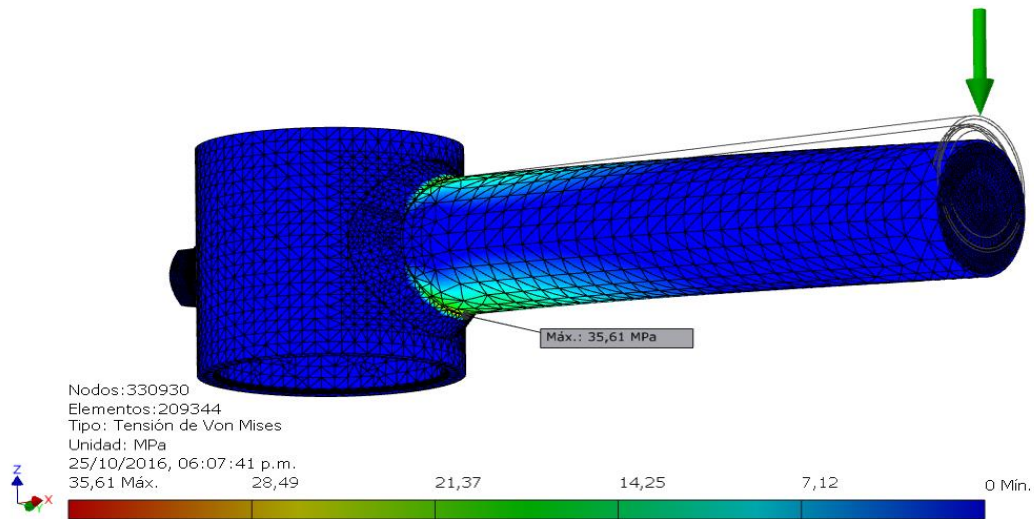


Figura 49. Resultado Tensión de Von Mises.

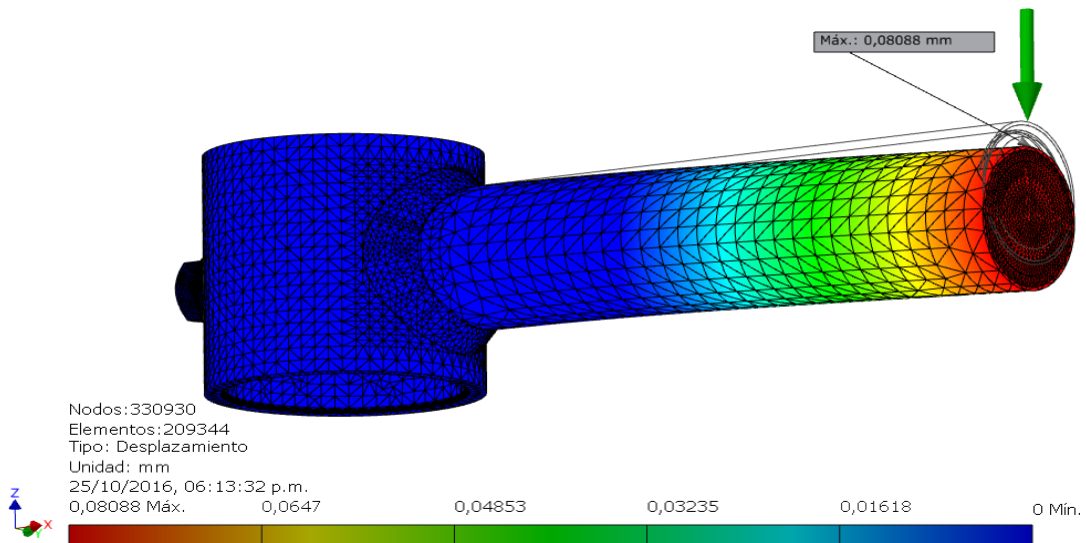


Figura 50. Desplazamiento Tras Fuerza Aplicada.

8.3.3 Simulación de Tensiones y Cortante en Unión Atornillada.

Para determinar los esfuerzos en la unión atornillada entre el brazo principal y el buje (Ver Figura 51), se trabaja con la fuerza de 500N; la misma con la que se realizó el análisis de tensiones del brazo principal. [27]

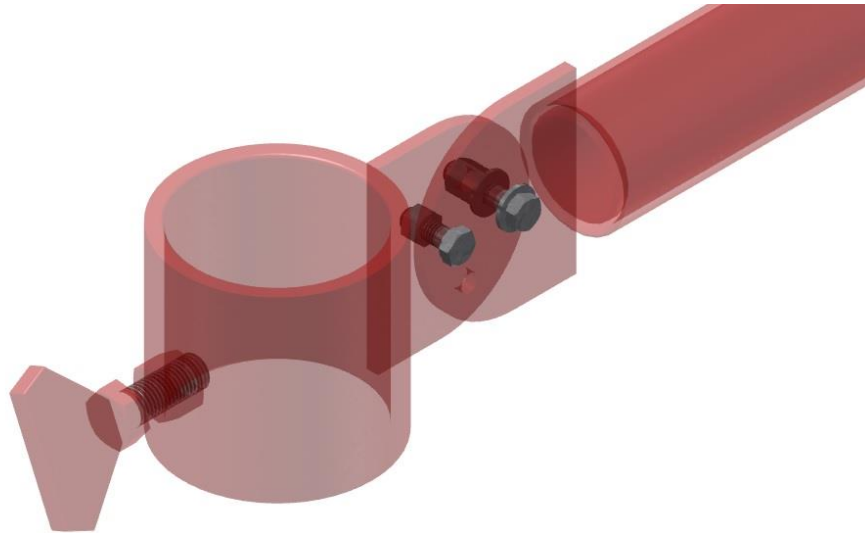


Figura 51. Unión Atornillada a Analizar.

Luego de restringir los movimientos y generar la malla con un total de 184508 nodos, se suministran los resultados obtenidos en la Tabla 15. En la Figura 52 y 53 se observan en dónde se encuentra la concentración máxima de esfuerzos y el desplazamiento de los pernos; con un ajuste gráfico en la escala de desplazamiento de 1. [27]

Tabla 15. Resultados Análisis Tensiones Unión Atornillada.

RESULTADO	MÍNIMO	MÁXIMO
Tensión de Von Mises	0,01 MPa	40,67 MPa
Desplazamiento	0,00127 mm	0,01347mm
Coefficiente de seguridad	5,09 su	15 su

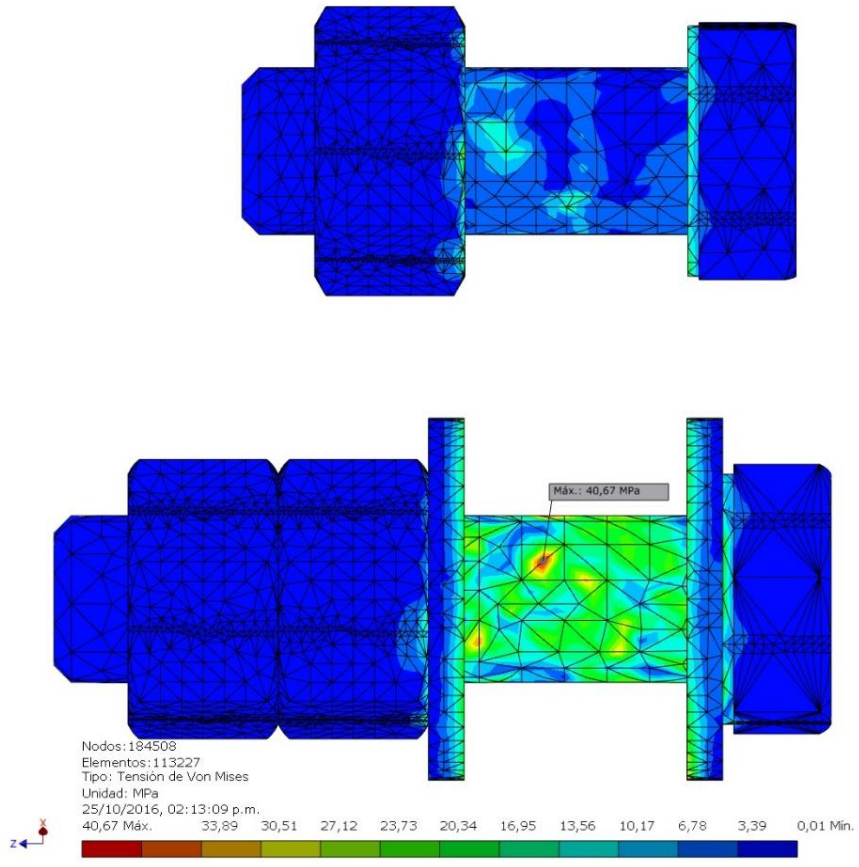


Figura 52. Resultado Tensión de Von Mises Tornillos.

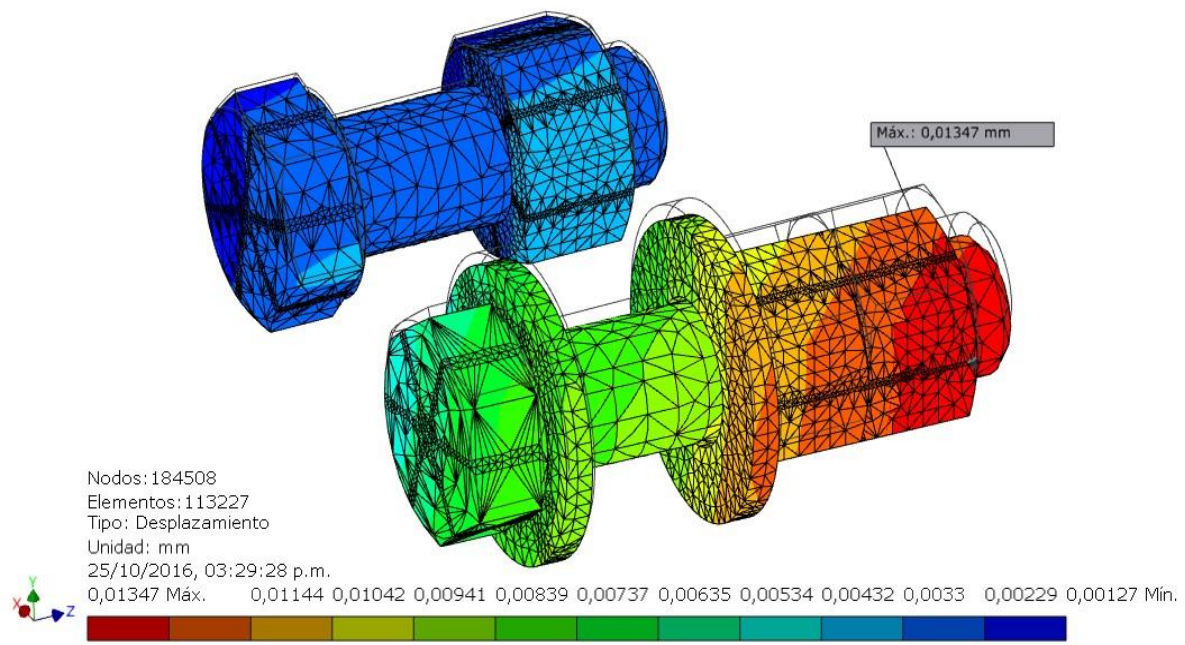


Figura 53. Desplazamiento Tras Fuerza Aplicada.

8.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El criterio de máxima tensión de von Mises se basa en la teoría de von Mises-Hencky, también conocida como teoría de la energía de cortadura o teoría de la energía de distorsión máxima. La teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises ' σ' ' es igual al límite de tensión del material (Ver Ecuación 1). En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión ' S_y '. [28]

$$\sigma' \geq S_y \quad 1$$

El factor de seguridad ' η ' (Ver Ecuación 2) en una ubicación, se determina como la relación entre el límite elástico sobre la tensión máxima de von Mises:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma'} \quad 2$$

Un material se encuentra en el rango elástico cuando se cumpla la siguiente condición:

$$\eta \geq 1 \quad 3$$

Un material ha superado el rango elástico y ha sufrido una deformación permanente cuando se da la siguiente condición:

$$\eta < 1 \quad 4$$

En la Tabla 16, se indican diferentes rangos de seguridad, la confianza y aplicación de diseño.

Tabla 16. Factores de Diseño.

η	Factor de Diseño
1,25 - 2	Carga estática, alto nivel de confianza en todos los datos de diseño
2 - 2,5	Carga dinámica, confianza media en todos los datos de diseño
2,5 - 4	Estática o dinámica con incertidumbre sobre cargas, propiedades de material, estado de estrés complejo, etc.
4 o más	Deseo de proporcionar seguridad adicional

La teoría de la energía de distorsión es la teoría más empleada para los materiales dúctiles y se recomienda para los problemas de diseño, a menos que se especifique otra cosa. [28]

8.4.1 Brazo Principal.

Luego de la simulación de tensiones se obtuvo un esfuerzo de von Mises máximo de $\sigma' = 128,7 \text{ MPa}$ y un desplazamiento del componente de $y = 0,6431 \text{ mm}$. El brazo se compone de múltiples aceros y soldadura, las resistencias o límites de fluencias van a variar; por lo cual se determina usar el límite de fluencia más bajo (250MPa), ya que con este se asegura que los demás componentes no fallarán. Usando la Ecuación 2 se obtiene:

$$\eta = \frac{250 \text{ MPa}}{128.7 \text{ Mpa}} = 1,943$$

El factor de seguridad coincide con el valor obtenido por la simulación realizada en el software Autodesk Inventor Profesional 2014 ®. El valor obtenido cumple la condición de la Ecuación 3, asegurando que el material se encuentra en el rango de elasticidad después de aplicar la carga; por otro lado, el desplazamiento obtenido es menor a 1mm, lo cual para las funciones del diseño es un valor despreciable. También se analiza que el componente puede soportar más carga de la establecida

en la simulación, ya que el factor de diseño obtenido se encuentra en el rango de alto nivel de confianza.

8.4.2 Brazo de la Mesa de Trabajo.

La realización del análisis de los resultados de la mesa de trabajo es suficiente estudiar el factor de seguridad y corroborar que se cumpla la condición en la Ecuación 3. Se obtuvo un factor de seguridad $\eta = 7,74$; dicho valor cumple las condiciones de diseño y se encuentra en un rango de seguridad extra. El desplazamiento obtenido es igual a $y = 0,081mm$; son ocho centésimas de milímetro el desplazamiento que sufre el componente estudiado, es un valor muy pequeño que no influye en el óptimo funcionamiento del diseño.

8.4.3 Unión Atornillada.

Se obtuvo un factor de seguridad $\eta = 5,9$; valor que cumple las condiciones de diseño y se encuentra en un rango de seguridad extra. El desplazamiento obtenido es igual a $y = 0,0135mm$; es una centésima de milímetro el desplazamiento que sufre el componente estudiado al aplicar una fuerza de 500N, es un valor muy pequeño que no influye en el óptimo funcionamiento del diseño.

Los resultados de las simulaciones de los elementos estudiados arrojan que se encuentran en niveles muy seguros de diseño, demostrado mediante los diferentes valores del factor de seguridad obtenidos. Los desplazamientos resultantes alcanzan valores inferiores a un milímetro, siendo valores despreciables para su funcionamiento. Los resultados obtenidos evidencian que visto desde la resistencia mecánica de materiales, el diseño planteado no fallará para las cargas aplicadas.

La fabricación frente a los costos, resistencia y utilidad es muy rentable. Los materiales cotizados son suministrados en dimensiones excesivas a las requeridas, por lo que se pueden fabricar hasta tres dispositivos con la cotización realizada.

9. CONCLUSIONES

Se diseñó un dispositivo para la presentación de probetas de soldadura, seleccionando los materiales y dimensiones adecuadas para el desarrollo del mismo; además, del análisis de los resultados de simulaciones de tensiones de las cargas a las cuales estará expuesto. Seguido de garantizar la viabilidad del diseño y las aplicaciones del brazo posicionador, se obtienen las siguientes conclusiones:

El brazo posicionador optimiza los procesos de soldadura mediante tiempos cortos de ajustes y fijación de las probetas; mejora la sujeción evitando cambios de herramientas y reprocesos.

Todas las posiciones y procesos de soldadura como GMAW, FCAW, SMAW y GTAW pueden ser aplicados en la realización de pruebas; gracias a la flexibilidad y resistencia en el diseño del brazo posicionador.

El costo-beneficio de fabricación del dispositivo es rentable. Además de su versatilidad, resistencia y ergonomía; las dimensiones comerciales de los materiales de fabricación permiten manufacturar hasta tres brazos posicionadores.

Los procesos de soldadura son base de la industria, formando parte del crecimiento de proyectos de ingeniería e infraestructura. Por ello, se requiere de soldadores capacitados y certificados que garanticen un trabajo profesional y de calidad.

Una vez finalizado el diseño, se conoció a detalle los tipos de soldadura, sus aplicaciones y diferentes propósitos dentro de la ingeniería mecánica.

10. REFERENCIAS

1. Marín V, C. (2010, 5 de marzo). *Soldadores: Cada vez se necesitan más y mejor capacitados. Metal Actual*. Recuperado el 14 de agosto de 2016 de <http://www.metalactual.com/revista/15/soldadores.pdf>.
2. Ordóñez J, Jose L. (2014, 10 de julio). *Certificación y calificación, el objetivo de todo soldador. Metal Actual*. Recuperado el 15 de agosto de 2016 de http://metalactual.com/revista/33/soldadura_certificacion.pdf.
3. Lincoln Electric©. (2014, 21 de junio). *VRTEX® 360 VIRTUAL REALITY ARC WELDING TRAINER. Lincoln Electric*. Recuperado el 9 de septiembre de 2016 de <http://www.lincolnelectric.com/assets/US/EN/literature/mc0998.pdf>.
4. Escuela Colombiana de Ingeniería. (2008). *SOLDADURA PROTOCOLO: Curso de procesos de manufactura*. Recuperado el 16 de agosto de 2016 de http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3637_soldadura.pdf.
5. SOLDEXA. *Manual de Soldadura y Catálogo de Productos*. Recuperado el 16 de agosto de 2016 de <http://www.edu.xunta.gal/centros/cifpcoroso/gl/system/files/manual-soldadura.pdf>.
6. American Welding Society. (1996). *Manual De Soldadura Tomo I, 8th edición*. Naucalpan de Juárez, México, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. Biblioteca SENA Complejo Norte, centro de la tecnología de la manufactura avanzada CTMA. p. 44-45.
7. American Welding Society. (1996). *Manual De Soldadura Tomo I, 8th edición*. Naucalpan de Juárez, México, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. Biblioteca

- SENA Complejo Norte, centro de la tecnología de la manufactura avanzada CTMA. p. 45-46.
8. Lagos B, L. *Generalidades del Proceso de Soldadura SMAW*. SENa Complejo Norte, centro de la tecnología de la manufactura avanzada CTMA. p. 9-10.
 9. American Welding Society. (1996). *Manual De Soldadura Tomo I, 8th edición*. Naucalpan de Juárez, México, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. Biblioteca SENa Complejo Norte, centro de la tecnología de la manufactura avanzada CTMA. p. 110-134.
 10. American Welding Society. (1996). *Manual De Soldadura Tomo I, 8th edición*. Naucalpan de Juárez, México, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. Biblioteca SENa Complejo Norte, centro de la tecnología de la manufactura avanzada CTMA. p. 158-171.
 11. American Welding Society. (1996). *Manual De Soldadura Tomo I, 8th edición*. Naucalpan de Juárez, México, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. Biblioteca SENa Complejo Norte, centro de la tecnología de la manufactura avanzada CTMA. p. 74-100.
 12. American Welding Society. (1996). *Manual De Soldadura Tomo I, 8th edición*. Naucalpan de Juárez, México, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. Biblioteca SENa Complejo Norte, centro de la tecnología de la manufactura avanzada CTMA. p. 192-209.
 13. American Welding Society. (1994). *Standard Welding Terms And Definitions*. Miami, FL, Estados Unidos. American Welding Society. Biblioteca SENa Complejo Norte, centro de la tecnología de la manufactura avanzada CTMA. p. 41-75.

14. American Welding Society. (1994). *Standard Welding Terms And Definitions*. Miami, FL, Estados Unidos. American Welding Society. Biblioteca SENA Complejo Norte, centro de la tecnología de la manufactura avanzada CTMA. p. 55-63.
15. *Posiciones para soldaduras de filete y bisel*. Lincoln Electric. Extraído de <http://www.lincolnelectric.com/assets/US/EN/literature/WC474.pdf> el 28 agosto de 2016.
16. *Posiciones de soldadura para tubería*. Extraído de <http://www.lincolnelectric.com/assets/US/EN/literature/WC473.pdf> el 28 agosto de 2016.
17. American Welding Society. (1993). *Símbolos normalizados para soldeo, soldeo fuerte y examen no destructivo*. Miami, FL, Estados Unidos. American Welding Society. Recuperado el 30 de agosto de <http://es.slideshare.net/Kx53/simbolos-normalizados-para-soldeofuertey-ensayosnodestructivos>.
18. Richard G Budynas y J. Keith Nisbett. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. (2008). McGraw-Hill Interamericana. México D.F. México. Capítulo 9 Soldadura, adhesión y diseño de uniones permanentes.
19. *Standard Specification for Carbon Structural Steel*. Recuperado el 16 de septiembre de 2016 de <https://es.scribd.com/doc/315375857/ASTM-A-36-Standard-Specification-for-carbon-structural-steel-pdf>.
20. *Aplicaciones del acero SAE 1018*. Recuperado el 16 de septiembre de 2016 de <https://es.scribd.com/doc/54656275/Aplicaciones-Del-Acero-1018>.
21. *Tipos de Arandelas y Aplicaciones*. Recuperado el 18 de septiembre de 2016 de http://www.chavesbao.com/pdf/catal_tec/FC-CH-014.pdf

22. Tornillería comercial centro de contenido de software Autodesk Inventor Profesional 2014 ®.
23. *Propiedades mecánicas, físicas y composición química acero ASTM A36.* Recuperado el 19 de septiembre de 2016 de <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=d1844977c5c8440cb9a3a967f8909c3a&ckck=1>.
24. *Propiedades mecánicas, físicas y composición química acero SAE 1018.* Recuperado el 19 de septiembre de 2016 de <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=3a9cc570fbb24d119f08db22a53e2421&ckck=1>.
25. Imágenes del brazo posicionador diseñadas y modeladas en el software Autodesk Inventor Profesional 2014 ®.
26. Planos del brazo posicionador desarrollados en el software Autodesk Inventor Profesional 2014 ®. Documento de los planos en versión pdf en: <https://drive.google.com/open?id=0B4iApyQX71pbWXFOWFVxZGR0THM>.
27. Resultados obtenidos del software Autodesk Inventor Profesional 2014 ®.
28. Richard G Budynas y J. Keith Nisbett. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* (2008). McGraw-Hill Interamericana. México D.F. México. Capítulo 5 Fallas Resultantes de Carga Estática.