



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN
SISTEMA DE SUJECIÓN
PARA PROCESOS DE SOLDADURA EN
TUBERÍA DE LÁMINA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

P R E S E N T A:

ING. OSCAR CERVANTES CABELLO

DIRECTOR: MI. ALFREDO GONZÁLEZ RUÍZ

CIUDAD DE MÉXICO

2022

*Los científicos estudian
El mundo como es.*

*Los ingenieros
crean el mundo
que nunca ha existido.*

Agradecimientos:

A mi familia por su gran apoyo
durante esta jornada de mi vida

A mis compañeros y amigos
que siempre estuvieron para
ayudarme en el siguiente paso

A mis padres que están
con Dios, y desde ahí
me siguen alentando
para ser cada día mejor.

A Dios por concederme vida
y tiempo para seguir ayudando
a mis semejantes mediante
la tarea educativa.

Índice

Contenido

Planteamiento del problema	5
Objetivos específicos:	6
Introducción	7
1.0 Conceptos básicos y terminología de sistemas de sujeción y unión	8
1.4 Clasificación de los métodos de sujeción.....	11
1.5 Uniones roscadas	12
1.6 Uniones remachadas	13
1.7 Uniones soldadas	15
1.8 Proceso GMAW – MIG para microalambre.....	17
1.9 Proceso de soldadura GTAW – TIG.....	21
1.9.1 Sistemas de sujeción en maquinaria.....	24
2.0 Análisis de los criterios de diseño	28
2.1 Propuesta de diseño	28
2.2. Modelo de French para diseño	30
2.3. Diseño conceptual general.....	32
2.4. Diseño basado en la teoría TRIZ.	34
2.5. Análisis PUGH.	36
3.0 Selección y cálculo de componentes	39
3.1 Cálculo de la fuerza de fricción en el sistema orbital.	39
3.2 Cálculo de la fricción sin rodamientos.....	40
2.4.3 Cálculo de la fricción usando rodamientos.....	40
3.3. Diseño de sistema de sujeción lineal	41
3.4 Cálculo de la fuerza de cierre	42
3.5 Cálculo para seleccionar la longitud de un músculo neumático.....	43
3.6 Cálculo para la fuerza aplicada por el músculo neumático	47
3.7 Fuerza en cada mordaza usando actuador lineal.	48
3.8 Definición del sistema de accionamiento de sujeción	49
4. Diseño de los componentes para sujeción	51

4.1 Sujeción para soldadura lineal.	52
4.2 Sujeción para la soldadura orbital.	53
5.0 Análisis para fiabilidad de componentes críticos.	60
5.1 Placa pisadora de cobre	61
5.2 Palanca de aplicación de carga.	67
5.3 Dedo de ajuste para brida.	69
6.0 Resultados.	78
6.1 - Desarrollo del sistema de sujeción para soldadura lineal.	78
6.2.- Diseño de un sistema de sujeción con dedos articulados a través de un mecanismo con sistema de rodillos que permitirá la rotación del tubo.	80
6.3.-Construcción de un prototipo funcional para armar ductos rectos de lámina en calibres 18 a 10, generando una disminución en los costos de fabricación.....	82
6.4 - Sistemas de actuación, sistemas de cierre, sistemas de aplicación de fuerza y avance rotacional en el proceso de soldadura orbital.	83
6.5 - Verificación de geometrías adecuadas en cuanto a resistencia y formas.....	84
6.6 - Verificar interferencias o agarrotamiento entre componentes.....	84
6.7 - Facilidad de manufactura de partes.....	84
6.8 - Facilidad de ensamblaje.	84
7.0 Conclusiones generales	90
Bibliografía.....	92
ANEXOS.	94

Planteamiento del problema

En la industria de la manufactura los métodos más utilizados en la unión y ensamble de partes metálicas son los procesos de soldadura. Estos tienden a presentar grandes ventajas como la alta resistencia mecánica y su fácil aplicación, pero también muchas desventajas como alto consumo eléctrico, mala calidad en las uniones (inherentes al proceso) y problemas de seguridad para los trabajadores.

Dentro del tema de seguridad, se puede hablar de algunos inherentes a los procesos de soldadura, tales como los gases nocivos (ver tabla 3 del apéndice) que se desprenden durante el proceso, las altas temperaturas, radiación ultravioleta e infrarroja generados en el proceso de arco, además de las posturas de trabajo que ocasionan fatiga en los operadores, sin contar algunos otros como quemaduras y descargas eléctricas que afectan directamente la salud de los trabajadores. La mayoría de las veces estos efectos son permanentes y pueden afectar su calidad de vida¹.

En un proceso de unión por soldadura donde no se cumplen estándares de calidad como resistencia mecánica, acabado superficial e índices de penetración, es fundamental revisar aspectos como la preparación y limpieza en la materia prima o los sistemas de sujeción, procurando que sean adecuados a los componentes y piezas que se soldán.

Los sistemas de sujeción no adecuados repercuten en deformaciones térmicas (figura 5 en apéndice) de las piezas a unir y en consecuencia se obtienen piezas defectuosas (sin alineación y/o torcidas)².

En concreto, lo anterior se observó y analizó para un proceso industrial de manufactura para ductos de lámina rolada, el cual se realiza de forma manual, aplicando un proceso de cierre del ducto por soldadura lineal y la posterior unión de una brida de acoplamiento mediante soldadura orbital. El análisis del proceso muestra problemas graves de salud a los trabajadores por la forma de operación en el proceso, así como constante rechazo del producto terminado, debido a defectos de aplicación de la soldadura. Además, se detectan otras variables que afectan al proceso en general, como son el tiempo excesivo de preparación, complicaciones por el uso de herramientas no adecuadas, así como dispositivos de sujeción y trabajo mal diseñados. A pesar de todos los esfuerzos, se siguen presentando reprocesos para corrección de defectos en los productos terminados.

¹ Datos de referencia ver. Gaceta española Protección Laboral. (*Magazine on Occupational Safety and Wellness*). <https://www.safetyandhealthmagazine.com>

² Anexo 5 muestra elementos soldados con fallas dimensionales y deformaciones.

Hipótesis:

- Los tubos de lámina soldados por procesos de arco eléctrico presentan un mayor porcentaje en la variación de calidad en las uniones, mayor tiempo de proceso y más riesgos de seguridad para los trabajadores, cuando se realiza de forma manual.
- Los costos de producción mediante sistemas manuales se han incrementado por los reprocesos de producto y accidentes laborales.
- Usar sistemas automatizados para soldadura permiten avances y temperatura controlados, mejorando la calidad de las uniones.
- La automatización de los procesos de soldadura disminuye casi al 100% los riesgos de accidentes y problemas de salud en los operadores.
- Los sistemas automáticos se deben diseñar a la medida de las necesidades de los procesos industriales.
- La implementación de procesos automáticos disminuye los costos asociados a falta de calidad, reprocesos y rechazos de productos terminados.

Objetivo:

Diseñar y fabricar un sistema de sujeción con posicionamiento para la aplicación de soldadura de arco eléctrico tipo MIG o TIG³ para ductos de lámina, asegurando la posición tanto lineal como radial. El sistema se implementará para una máquina industrial, mejorando el proceso de unión en aspectos como seguridad laboral, espacio de planta, tiempo de manufactura, volumen de producción y calidad de los productos y costos en general.

Objetivos específicos:

- Realizar el estudio de factibilidad para el diseño de un sistema de sujeción y centrado para aplicación de soldadura en tubería de lámina.
- Calcular parámetros de fuerzas y sujeción, para justificar la funcionalidad del sistema.
- Desarrollar un diseño apegado a dimensiones y necesidades de sujeción y centrado para soldadura lineal de tubería en posición plana, incluyendo planos de fabricación.
- Desarrollar un sistema de sujeción para soldadura radial, incluyendo planos de fabricación.
- Realizar la selección, diseño y fabricación de componentes para la implementación de los sistemas automáticos.
- Determinar la funcionalidad del diseño mediante la elaboración de prototipos virtuales y físicos.
- Implementar el sistema en un prototipo real para producción industrial.

³ MIG (Metal Inert Gas): La American Welding Society AWS define como un proceso de soldadura de arco eléctrico que usa gas protector (CO₂ o Argón) y un alambre metálico de aporte, como electrodo para establecer el arco.

Introducción.

Este trabajo de tesis incluye el diseño de un sistema de sujeción para aplicaciones de soldadura lineal y orbital en tubería de lámina, que se implementara en una máquina semiautomática para una empresa industrial.

La importancia del sistema para esta industria de la manufactura radica en la implementación y uso de nuevas tecnologías para reducción de costos y mejora en la calidad de productos terminados, así como del aseguramiento en la salud de trabajadores durante los procesos de soldadura. En la actualidad, este tipo de sistemas de sujeción dual no existe en ninguna máquina en el mercado mundial, por lo que es un tema muy importante de desarrollo.

Como es bien conocido, industrialmente existen diversos procesos para la manufactura de partes (fundición, maquinado, soldadura, termo formado, forjado, etc.), pero para este desarrollo en particular, el tema se centra en procesos de unión de partes usando soldadura, lo cual generalmente se realiza de forma manual y bajo mínimos estándares de calidad y seguridad.

En el capítulo 1, se describe la terminología básica tanto para los procesos de unión y sujeción de partes como de los procesos de soldadura inherentes a este desarrollo.

En el capítulo 2 y 3, se analizará la factibilidad del sistema mediante técnicas como QFD y TRIZ, además de los cálculos de fuerza de sujeción, selección de materiales, partes y mecanismos que integran el sistema. Se dará una breve descripción de las características y dimensiones de los componentes.

Para el capítulo 5 se realiza el análisis de cargas, esfuerzos y deformaciones en las geometrías de diseño para los componentes más críticos, buscando que cada pieza alcance confiabilidad y bajo costo para el mantenimiento de partes.

El diseño que se presenta está basado en las prácticas de diseño para manufactura por lo que muchos de los componentes cumplen con las características de bajo peso, alta resistencia y manufactura de bajo costo. También se ha considerado el uso de partes comerciales fáciles de conseguir en la localidad, por el tema funcionalidad y bajo costo en el mantenimiento del equipo.

Para el capítulo 6, se evalúan los resultados del diseño, comparando las condiciones iniciales de trabajo, manufactura y calidad de los productos con respecto a la implementación del sistema para sujeción y soldadura propuesto. Se justifica sobre los aspectos de diseño más convenientes para la manufactura e implementación de los prototipos físicos en el campo laboral, para una posterior toma de decisiones en la venta de los equipos a otras plantas industriales.

1.0 Conceptos básicos y terminología de sistemas de sujeción y unión.

1.1. Conceptos básicos de los sistemas de sujeción.

En la actualidad existen muchos productos manufacturados que requieren procesos de unión y sujeción. Los productos se diseñan y manufacturan bajo el esquema de interdependencia de componentes, sistema de diseño conocido como *arquitectura integral*. Un ejemplo claro es un automóvil y la mayoría de sus sistemas, en los cuales es común la unión y ensamble de partes para que se puedan dar las diferentes funciones en el vehículo.

Si se piensa en sistemas y procesos de unión para la manufactura se puede abarcar una gama muy grande de aplicaciones (figura 3 Apéndice), pero estas quedan delimitadas por situaciones tales como:

- Tamaño y forma de las partes
- Complejidad del ensamblaje
- Materiales de las partes
- Número de partes que interactúan
- Fuerzas que soportara el sistema de unión o sujeción

Para la unión por medios mecánicos, se pueden aplicar diferentes métodos para mantener juntas dos partes, y en la mayoría de los casos se requiere de componentes extra para realizar el ensamble, tales como tornillos o sujetadores. Estos sistemas de unión se aplican principalmente en equipos y máquinas de uso convencional, tales como teléfonos celulares, computadoras, automóviles, maquinaria de uso doméstico en general, muebles y aparatos industriales. La figura 2 muestra algunos de los procesos más usados en la industria para mantener unidas o ensambladas las partes.

Es muy importante considerar y definir el proceso de unión más adecuado para cada aplicación y situación de esfuerzos, debido a que no es lo mismo ensamblar un teléfono celular, un automóvil o un puente para ferrocarril, debido a la situación de cargas mecánicas diferentes para cada aplicación de producto. Los ingenieros de proceso determinan un análisis, basándose en los puntos anteriores, cual será el mejor proceso de unión o ensamble para cada situación.

1.2 Fijaciones transitorias

Por lo regular, en la manufactura de partes algunos sistemas de unión o fijación pueden ser transitorios ya que solo se aplican para sujetar partes en proceso. Esto es muy común en operaciones de maquinado de partes por desprendimiento de viruta o cuando se utilizan plantillas en el caso de partes unidas por procesos como la soldadura o adhesivos. Para estas aplicaciones se diseñan sistemas o implementos particulares que se apartan de los sistemas y aplicaciones comerciales, implicando retos de ingeniería para los responsables de diseño.

En la figura 1 se muestra un sistema de brida para sujeción transitoria en procesos de soldadura para tubería. En este se usan guías móviles para ajustar los largos y el cierre de la tubería rolada mediante un sistema de leva accionado neumáticamente, el cual realiza el ajuste sobre el diámetro particular, manteniendo mediante presión la posición. El sistema requiere cambios en el sistema de bridas dependiendo del diámetro de tubería que se desea producir

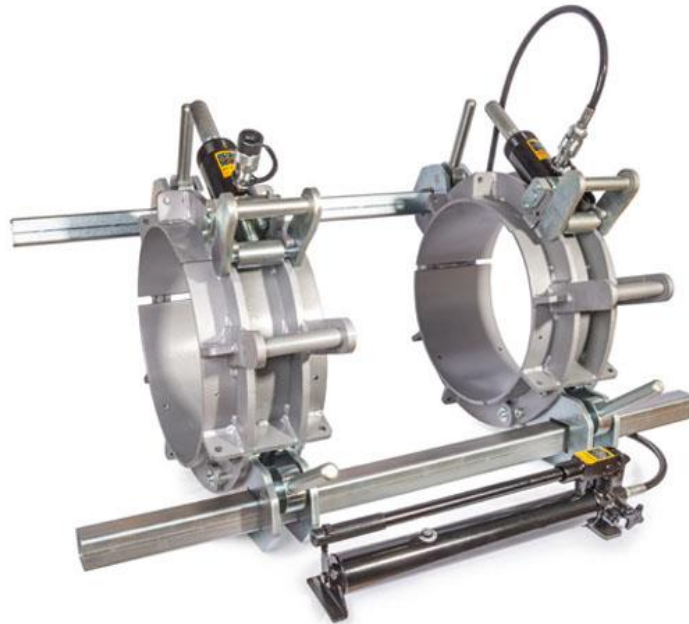


Figura 1. Sistema de fijación transitoria para la soldadura por proceso MIG en tubería (cortesía de Jetline Engineering, Illinois Tool Works Company, U.S.A.)

1.3 Procesos de unión.

La figura 2 muestra algunos ejemplos de sistemas y procesos que se pueden usar para el ensamble y unión de partes. Algunos de estos procesos constituyen tecnologías de avanzada que hoy se emplean para lograr uniones más rápidas, con mejor resistencia y acabado, mejorando la agilidad de la manufactura de partes ensambladas. En la industria metal mecánica se aplican varios procesos para fabricación de partes de lámina y acero, algunos de los cuales se mencionan a continuación:

- Procesos por fusión: Como el nombre lo indica en estos procesos los materiales que se unen alcanzan temperaturas de fusión en zonas particulares que permite realizar ligas metálicas permanentes y de alta resistencia entre los componentes. En este rubro entra la mayoría de los procesos de soldadura.

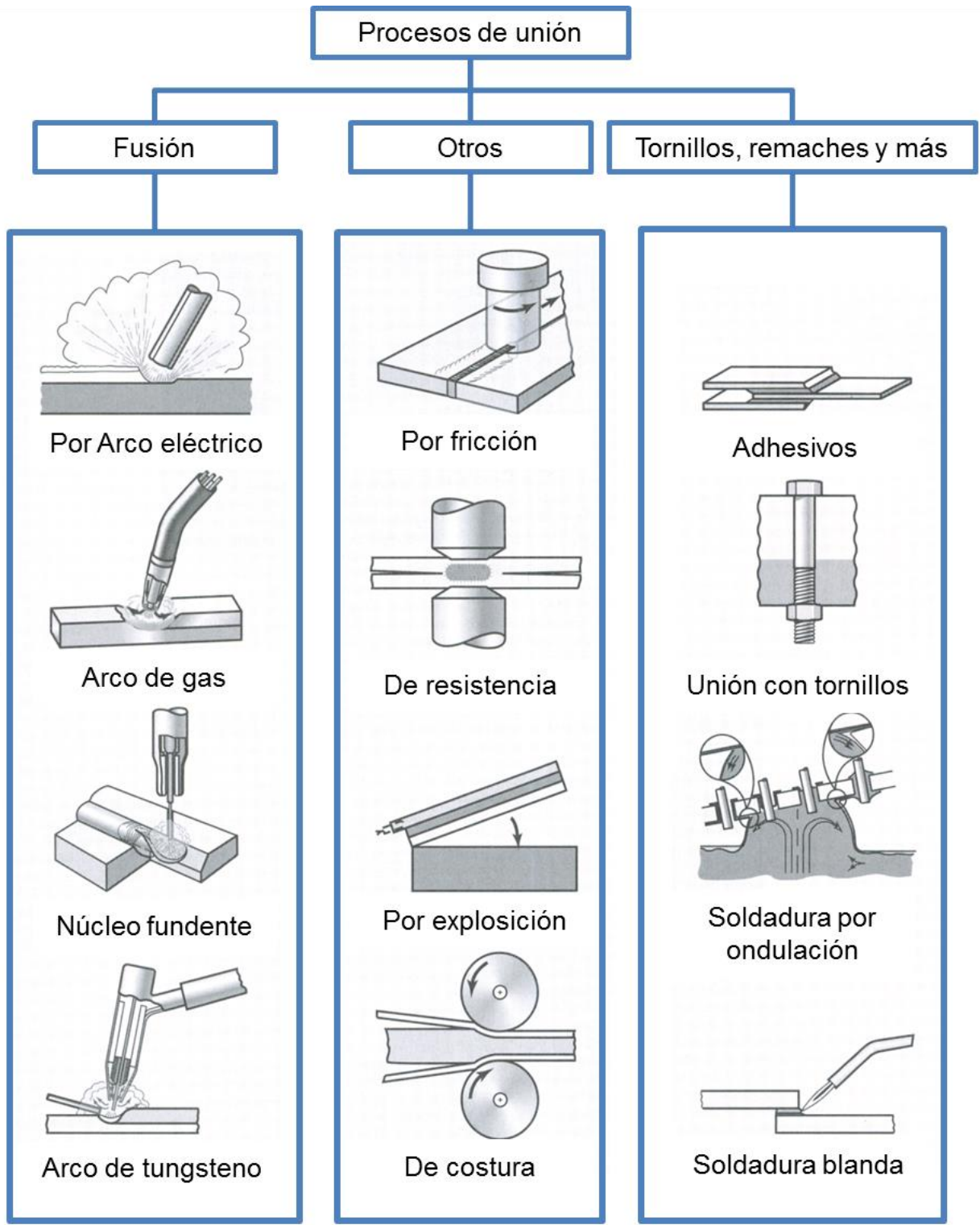


Figura 2. Procesos de unión y ensamble de partes

- Procesos con tornillos y remaches: Están diseñados para uniones transitorias en el ensamble de partes y componentes, los cuales, por sus características, es necesario poder remover o separar para asegurar la intercambiabilidad de partes, en los casos de desgaste. Esto permite realizar tareas de mantenimiento y cambio de partes y ensamble rápido.
- Otros métodos de unión: En este rubro se encuentran tanto procesos convencionales como las soldaduras por resistencia a puntos y de costura, que son uniones metálicas permanentes de baja resistencia muy empleados en la industria automotriz y algunos otros no tan convencionales, como las soldaduras por fricción, en los que se aprovecha el calor generado por el giro a alta velocidad de uno de sus componentes para fundir el metal sobre otro que permanece estático. En la soldadura por explosión se proyecta a alta velocidad el material de una parte sobre la otra por medio de una detonación, incrustado un elemento sobre el otro con tal fuerza que es casi imposible deshacer la unión.

1.4 Clasificación de los métodos de sujeción

Como se mencionó, existen infinidad de procesos industriales para sujeción y ensamble, y los métodos usados dependen de la complejidad de las partes. Por ejemplo, si se necesita ensamblar las partes de un chasis para ferrocarril, lo ideal es usar procesos de soldadura fuerte o remaches en caliente. En este punto los ingenieros y cada tipo de industria definen cuál es el método más adecuado, dependiendo del tipo de producto que se esté fabricando.

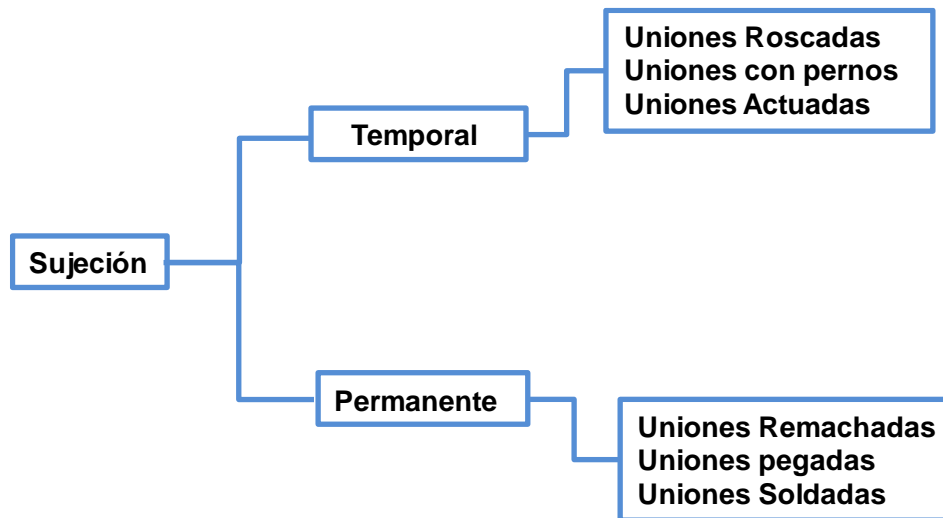


Figura 3. Clasificación de los métodos de sujeción y ensamblaje

1.5 Uniones roscadas

Como muestra la figura 3, actualmente en la industria se pueden realizar ensambles temporales o permanentes. Los primeros permiten la intercambiabilidad de partes y también proveen métodos de acoplamiento rápidos. Las uniones roscadas usan tornillos y tuercas con diferentes presentaciones y aplicaciones, relacionadas con el tipo y forma de rosca o sus cabezas de apriete. Las características particulares de cada tipo de tornillo determinan la aplicación para poder emplearlos en diferentes situaciones de apriete dependiendo de la forma, geometría, apariencia y resistencia en los elementos que se desean unir.

En las tablas 4 y 5 se muestran algunos ejemplos de tipos de tornillos y tuercas estandarizadas para ilustrar sus diferentes formas y adecuar su uso según sus características. Existen infinidad de formas que se pueden adecuar casi para cualquier aplicación de ajuste de apriete.

Los tornillos pueden usarse con o sin tuerca y esto depende del tipo de ensamble que se esté buscando.

PLANA TIPO PHILIPS	PLANA RANURADA	HEXAGONAL
		
CILINDRICA RANURADA	CILINDRICA TIPO ALLEN	OVALADA
		
DE GOTA	CUADRADA	DE ARMADURA
		

Figura 4. Tipos de cabezas estándar para tornillo.

HEXAGONAL	CUADRADA	DE MARIPOSA
		
CIEGA	CON ARANDELA A PRESIÓN	AUTOBLOCANTE
		
CABEZA MOLETEADA	ALMENDRADA DE CASTILLO	RANURADA
		

Figura 5. Tuercas de uso estándar más empleadas para sujeción con tornillos.

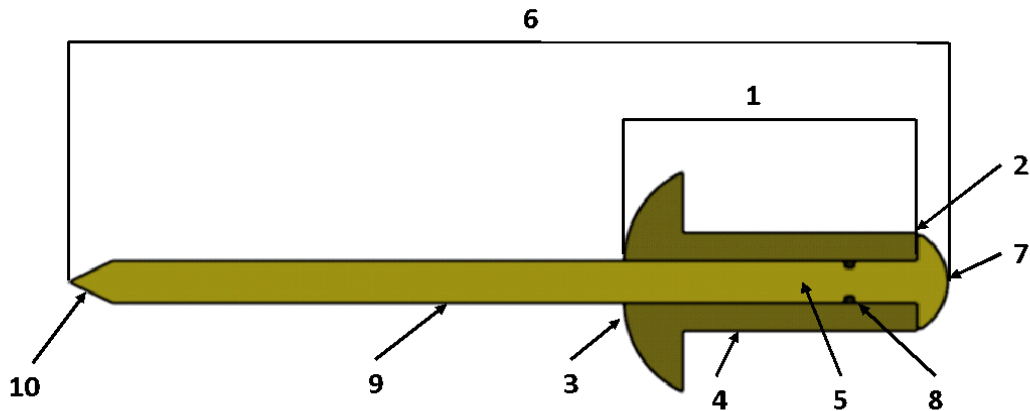
1.6 Uniones remachadas

Otro tipo de sistema de unión, el cual puede ser permanente o transitorio, es el de uniones con remaches. Los materiales empleados en las uniones con este tipo de elementos determinan la resistencia y flexibilidad del ensamble. El proceso implica la deformación de uno de los extremos del remache para fijar la posición de este y mantener la unión de los elementos. La deformación puede ser por métodos en frío y/o caliente; este aspecto determina el herramental que se usa en el proceso. Comúnmente para estas aplicaciones se requiere de herramienta y maquinaria especializada. En el siglo XX la manufactura de partes de estructuras remachadas fue un método muy usado para edificios muy altos, algunos como el Empire State⁴. Para la construcción se usaron remaches de acero que se calentaban en el lugar de trabajo, se introducían y deformaban por golpe.

⁴ Es uno de los edificios más altos y pesados, situado en la intersección de la Quinta Avenida y West 34th Street, en la ciudad de Nueva York,

Hoy día, se usan ampliamente en la unión de partes para todo tipo de industrias. Los más comunes continúan siendo los remaches de acero aplicados en caliente para situaciones de resistencia alta y en los cuales la unión queda comprometida a ser permanente. Algunos remaches de aluminio para aplicaciones de alta resistencia como en la industria aeroespacial se aplican por métodos en frío, pero para aplicaciones de ensambles en baja resistencia se tiene el remache Pop de aluminio para lograr uniones transitorias, ya que se puede deshacer la unión de los elementos fácilmente removiendo el elemento de unión.

La figura 6, muestra las partes que componen el remache Pop, ampliamente usado hoy en día por su versatilidad y disponibilidad comercial. Compuesto de una espiga larga diseñada para cizallarse bajo el efecto de tracción durante la aplicación y deformación de la cabeza del remache. La figura 7 muestra las formas más comunes de remaches para aplicaciones en la industria automotriz. Como se observa, la forma y tamaños varían con la aplicación, ya que este tipo de elementos normalmente se ajustan en frío o caliente, usando herramientas y maquinaria especializada.



- 1 – Cuerpo del remache
- 2 – Final del cuerpo del remache
- 3 – Cabeza del remache
- 4 – Parte cilíndrica del remache
- 5 – Hueco interior del cuerpo del remache
- 6 – Vástago
- 7 – Cabeza del vástago
- 8 – Punto de rotura del vástago
- 9 – Cuerpo del vástago
- 10 – Punta del vástago

Figura 6. Remache tipo pop para ensamble de partes
(Cortesía de Ingeniería en Sistemas de Fijación ISF)

Lainas largo 	Lainas corto 	Lainas cónico 	Disco rígido 	Disco rígido FC 	Disco rígido CC 
Disco rígido C 	Disco rígido cónico 	Disco rígido CL 	Valiant 	Dodge C 	Dodge CH 
25 A 	Camión Ford 	Camión Dodge 	Dina normal 	Datsun 	Datsun 180 
Renault 	Opel 	Chevrolet 	Diafragma Chevrolet 	Disco VW 	Clutch VW 

Figura 7. Variantes de remaches de acero para lámina en aplicaciones automotrices (Cortesía de Ingeniería en Sistemas de Fijación ISF)

1.7 Uniones soldadas

La soldadura fuerte es uno de los métodos de unión más usados cuando se requiere resistencia mecánica o soportar grandes esfuerzos por cargas elevadas en los sistemas, además un cordón de soldadura aplicado adecuadamente provee sellado hermético, cuando se trata de contener fluidos.

La soldadura se puede definir como un proceso de unión de partes, que implica la fusión del metal base y el de aporte (uniones metálicas). El calor de fusión es obtenido mediante un arco eléctrico entre la pieza de trabajo y un electrodo que puede ser de aporte o no. Cuando se usa un electrodo de aporte, este se recubre por un material fundente que se gasifica al quemarse, generando una atmosfera protectora, eliminando el oxígeno de la zona donde se aplica la unión de los metales.

La figura 8 muestra la configuración básica del proceso SMAW (Shield metal arc welding), en donde se observa el circuito de conexión de la máquina para soldar y la pieza de trabajo a través del cable de masa (tierra) y el cable porta electrodo. El arco eléctrico salta entre el electrodo y la masa de material que se va a soldar, generando el calor de fusión para realizar la unión.

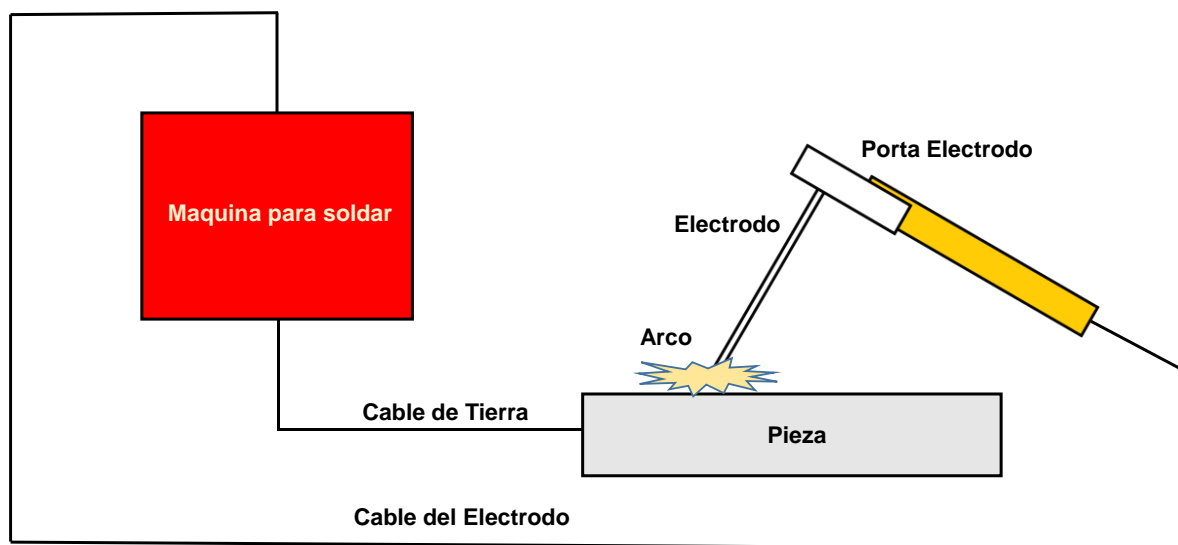


Figura 8. Esquema general del proceso de soldadura por arco eléctrico SMAW de soldadura metálica.

Hoy la AWS (American Welding Society)⁵, organismo que regula todos los métodos, procesos y certificaciones en soldadura alrededor del mundo, clasifica una gran variedad de procesos de soldadura y es de suma importancia para las empresas seleccionar el proceso de unión y/o ensambles adecuados para los componentes que fabrican. Hay algunos métodos más complicados y costosos que otros y es necesario realizar una valoración de ventajas y desventajas inherentes a cada proceso.

⁵ La American Welding Society se fundó en 1919 como una organización sin fines de lucro para avanzar en la ciencia, la tecnología y la aplicación de la soldadura y los procesos de unión y corte aliados, incluida la soldadura fuerte, la soldadura y la pulverización térmica.

La figura 4 en el anexo de este documento, muestra los diferentes procesos de soldadura empleados hoy en día en varias industrias. Entre la gama de procesos según la AWS, se distinguen los de arco eléctrico (AW)⁶, por su rango de penetración y resistencia mecánica, siendo SMAW, GMAW, PAW, GTAW, SAW los de mayor uso.

Las soldaduras por gas (OFW)⁷ están entrando en una etapa de decline por los costos y la complejidad de su aplicación, sin embargo, hoy en día en nuestro país representan el 20% de los procesos aun en uso, siendo los procesos OAW y PGW los más utilizados.

Finalmente, los procesos de soldadura por resistencia (RW) son clave en muchas industrias que trabajan con láminas y chapas metálicas, como la automotriz, fabricación de muebles metálicos, estufas y refrigeradores; los máximos representantes de este método de unión son procesos como FW, RSEW, RSW,

Por representatividad del tema que se ataca en esta tesis y debido a que se han seleccionado para el proceso de unión de tubería en lámina, se describirá de manera más amplia los procesos de soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding), también conocido en el medio industrial como MIG (Metal Inert Gas) o como soldadura de micro alambre y el proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), también conocido como TIG (Tungsten Inert Gas).

1.8 Proceso GMAW – MIG para Microalambre.

El proceso GMAW se usa en la unión de metales ferrosos y no ferrosos en muchas áreas industriales donde se persigue calidad en los acabados y resistencia en los cordones de unión. Se usa principalmente para aceros de bajo y medio carbono, así como para aluminio. Los tipos de gases para la atmosfera protectora varían dependiendo del material que se suelda, siendo los más comunes el CO₂ y el Argón (ver aplicaciones en la tabla 1).

La facilidad de aplicación radica en su sistema de alimentación automático de alambre que permite un avance controlado del aporte y una calidad de atmosfera controlada siempre constante, logrando la unión de metales desde muy bajos calibres, hasta placas con espesores considerables. Su sistema de control eléctrico permite regular diferentes rangos de corrientes lo cual asegura la correcta fusión del aporte y una penetración adecuada sobre los materiales base.

⁶ Nomenclatura según la Sociedad Americana de Soldadura (AWS): AW-Soldadura con Arco, SMAW – Soldadura con Gas y Arco Protegido, GMAW – Soldadura con Gas y Arco de Metal, PAW – Soldadura con Arco de Plasma, GTAW – Soldadura con Gas y Arco de Tungsteno, SAW – Soldadura con Arco Sumergido.

⁷ OFW – Soldadura Oxígeno y Gas Combustible, OAW – Soldadura Oxiacetilénica, PGW – Soldadura con Gas a Presión.
SW – Soldadura por Resistencia, FW – Soldadura a Tope, RSEW – Soldadura de Costura, RSW – Soldadura por Puntos.

La figura 9 muestra un esquema del equipo con su fuente de poder, cilindro de gas, cable de tierra, alimentador de alambre, pistola con maneral y características de aplicación, así como el proceso de fusión para el GMAW respectivamente.

La característica de este proceso es que genera arco más estable y no requiere movimientos de encendido del arco, ya que el gatillo de accionamiento controla de manera simultánea el flujo de gas, avance del alambre de aporte y corriente de fusión, facilitando las tareas de unión a los operadores.

Otra ventaja del GMAW, es que, debido a su continuidad en la aplicación y la facilidad de accionamiento, es un sistema que se puede automatizar, pudiendo adaptarse a robots cartesianos y tipo scara⁸ así como manipuladores industriales (figura 11).

Familia de Mezclas StarGold™ de Praxair

Argón / Oxígeno	StarGold™
Argón / Bióxido de carbono	StarGold™
Argón / Bióxido de carbono	Mig Mix Gold Blend
Argón / Bióxido de carbono / Oxígeno	Mezcla Stargon
Helio / Argón	HeliStar™
Helio / Argón / Bióxido de carbono	HeliStar™
Hidrógeno / Argón	HydroStar™

Tabla 1. Aplicaciones para gases protectores proceso GMAW, cortesía de Praxair.

⁸ Los **robots SCARA** son una opción popular para aplicaciones de montajes pequeños. **SCARA** es un acrónimo de Selective Compliance Articulated **Robot** Arm, lo **que significa** que es distensible en el eje X-Y y rígido en el eje Z.

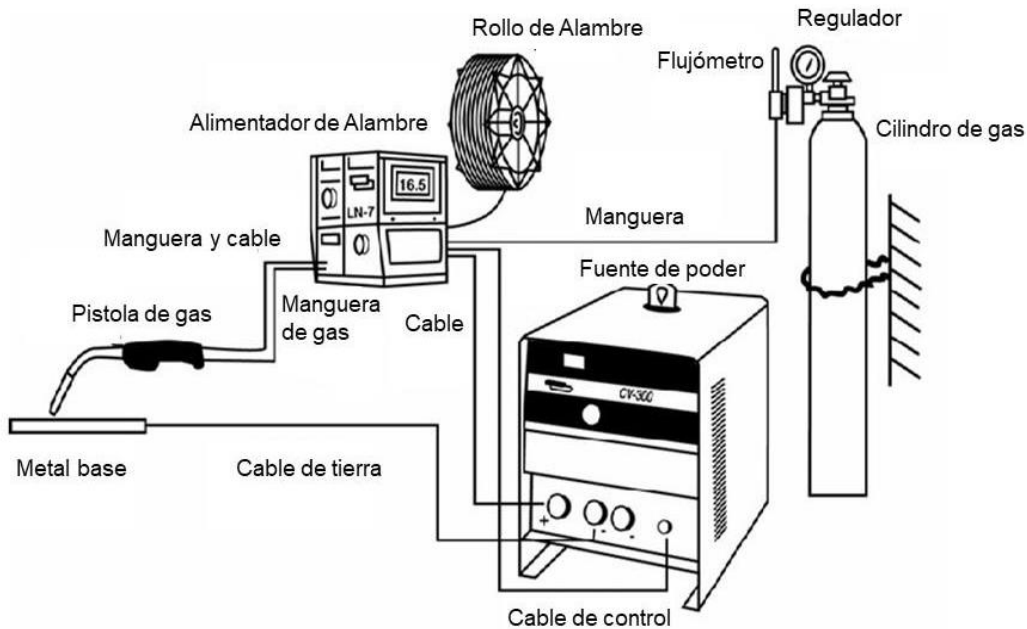


Figura 9. Disposición y partes que integran un sistema de soldadura GMAW

En la figura 10 se presenta cómo se lleva a cabo la unión de los metales mediante el proceso MIG. El alambre se aporta mediante un alimentador eléctrico y se funde mediante el arco eléctrico, generando un cordón de metal sobre el metal de trabajo. Durante el proceso se tiene una capa gaseosa de CO_2 que protege del oxígeno la zona de unión.

El maneral se constituye de una funda de baquelita en la que están contenidos una guía metálica para el alambre de aporte, un tubo para alimentación del gas protector y una guía de cable que alimenta la corriente directamente de la fuente de poder. En la parte baja se tiene la boquilla de gas con su difusor y una punta de contacto de cobre que permite la correcta ubicación del alambre sobre los puntos de aplicación.

Durante el proceso se alcanzan entre 900 y 1100°C , dependiendo del voltaje regulado en la fuente de poder, ya que se debe de considerar el espesor de los materiales para lograr una correcta penetración y fusión sobre el metal de trabajo. Cabe mencionar que en este proceso de soldadura en el que se usa un gas protector, se elimina en un 99% las impurezas ocasionadas por los fundentes y esto permite tener cordones de soldadura mas limpios, homogéneos y por consiguiente se mejora la resistencia de las uniones.

Particularmente para el proceso Mig, se deben tener todas las consideraciones de seguridad personal (guantes de carnaza, careta de 12 sombras, peto de carnaza, polainas de carnaza, mangas de carnaza), pero particularmente el proceso se debe de realizar en áreas con buena ventilación, sistemas de extracción de humos y secos ya que el gas protector CO_2 se vuelve tóxico en alta concentración o en lugares cerrados.

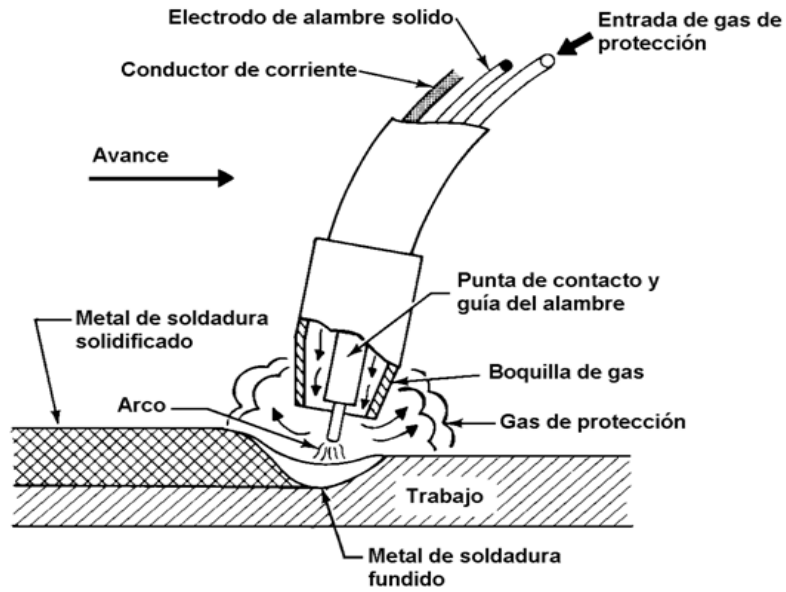


Figura 10. Características del proceso de fusión y componentes para una boquilla y maneral del proceso GMAW-MIG.

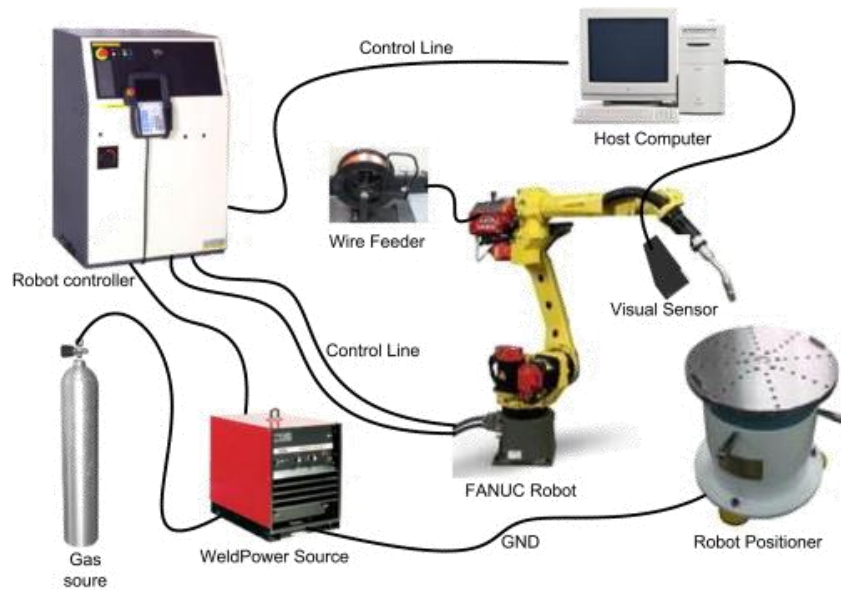


Figura 11. Esquema de conexión para un sistema GMAW con antorcha robotizada en un sistema integrado de manufactura (cortesía de Motoman. Inc.)

1.9 Proceso de soldadura GTAW – TIG

Este proceso de soldadura por arco eléctrico tiene la ventaja de que se puede realizar con o sin metal de aporte (fusión directa) simplemente controlando la temperatura de fusión y el avance sobre el metal base. El proceso se aplica particularmente en los procesos de unión para láminas delgadas.

Los materiales que se pueden soldar por GTAW incluyen láminas delgadas en calibres desde 26 hasta 7 (tabla 2), comúnmente materiales como acero de bajo y medio carbono y aluminio. El proceso, al igual que GMAW, también utiliza un gas inerte como método de protección (eliminación de oxígeno) durante el proceso de soldadura. Este gas se puede usar puro o mezclado según el material que se va a soldar, siendo el Helio, Argón o mezcla de ambos en varias proporciones los más empleados. Las temperaturas de trabajo durante el proceso rondan por los 1600 °C. Este método de soldadura tiene la ventaja de no generar salpicadura debido a que se aprovecha la fusión directa de los metales a unir cuando se aplica el pudelado y al usar metal de aporte; este se aplica de forma manual eliminando el efecto de golpeo que produce la salpicadura de metal.

Tabla de Calibres para Lámina			
Calibre	Pulgadas	Milímetros	Libras por Pie Cuadrado
7	.187	4.7	7.871
8	.165	4.2	6.93
10	.135	3.4	5.670
11	.120	3.0	5.040
12	.105	2.7	4.427
13	.090	2.3	3.780
14	.075	1.9	3.154
16	.060	1.5	2.520
18	.048	1.2	2.016
20	.036	0.9	1.512
22	.030	0.8	1.260
24	.024	0.6	1.008
26	.020	0.5	0.756
28	.015	0.4	0.634

Tabla 2. Calibres de láminas metálicas
(cortesía de MEGA-MEX)

Una particularidad del GTAW es que el electrodo no se consume (como metal de aporte) ya que solo sirve para generar el arco. El electrodo que se usa, se fabrica de tungsteno, que es un metal que soporta altas temperatura debido a su punto de fusión, el cual puede llegar a los 3500°. Por esta razón se usan boquillas de cerámica para concentrar el gas protector sobre la zona de aplicación.

Para lograr una mayor eficiencia en la concentración del arco, se utilizan fuentes de poder con corriente de alta frecuencia que elevan de 60 Hz. a 10,000 Hz. la frecuencia de la corriente eléctrica. Este efecto es el que permite soldar materiales tan difíciles de unir como el aluminio y sus aleaciones. En la figura 12 se muestra el esquema de conexión para el proceso.

El control de la atmósfera en la zona de soldadura, con la finalidad de eliminar el oxígeno presente en el aire, es un tema de suma importancia en el proceso GTAW, ya que el volumen correcto de gas inerte evitará que se presenten defectos en la soldadura y proporcionará un correcto control de temperatura (figura 12), lo cual evitará distorsiones térmicas sobre las partes a soldar.

Adicionalmente, el sistema cuenta con un sistema de enfriamiento directo a la boquilla, con un ciclo recirculante de fluido. Usualmente se usa aire o agua para enfriar la boquilla donde se aloja el electrodo para formar el arco.

En operaciones manuales de soldadura, la calidad de las uniones depende en gran medida de la experiencia del operador, debido a lo complejo de la generación del arco eléctrico y la aplicación manual del metal de aporte. Aunque este método de unión se usa poco en procesos automatizados, la correcta calibración de la distancia de aplicación, el avance y la corriente usada, pueden genera soldadura de excelente calidad en procesos de este tipo.

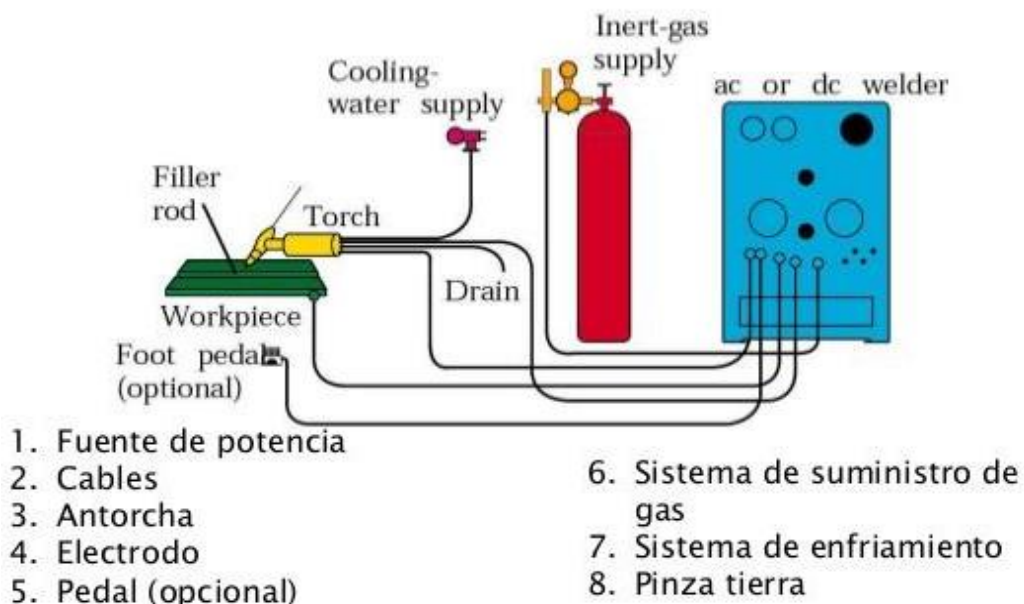


Figura 11. Diagrama de conexión para un sistema de soldadura GTAW.

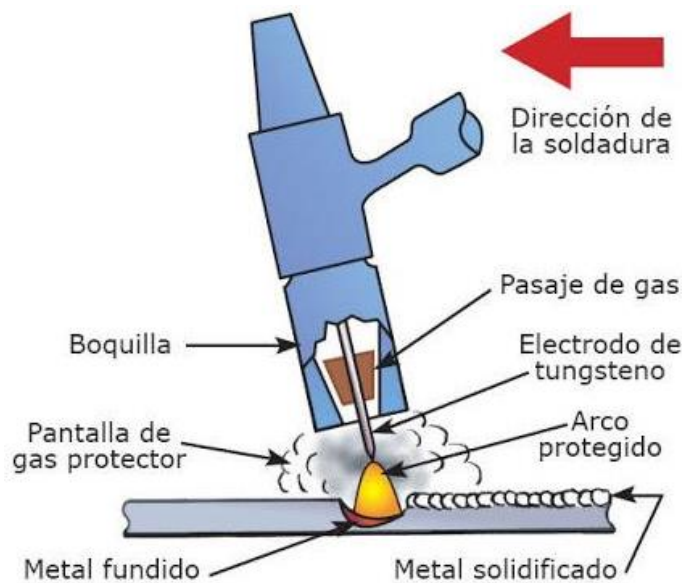


Figura 12. Importancia del gas de protección en la zona de unión.

A manera de resumen y con la idea de discrepar cuál es el método de unión más adecuado para aplicar en el proceso de soldadura lineal y orbital para la máquina que se diseña, se presenta la Tabla 3 con ventajas y desventajas.

PROCESO	Ventajas	Desventajas
GMAW	Facilidad de aplicación a través de la antorcha	Genera mucha salpicadura por el golpeteo del alambre de aporte
	Cordones limpios de escoria por el uso de protección gaseosa de CO ₂ o Argón	El CO ₂ en altas concentraciones puede provocar mareo en los operadores
	Se pueden generar uniones tanto en materiales delgados como de espesor grueso hasta 1"	Debido a la concentración de calor por la penetración, se puede dar distorsión térmica.
	Es apto para soldar aceros de bajo y medio carbono	
	Se puede soldar aluminio	Para soldadura de aluminio es necesario un maneral especial que no viene con la máquina.
	Los consumibles son baratos y fáciles de conseguir	
	No se requiere capacitación para su operación.	
	Es un proceso apto para automatizar usando robots manipuladores o cartesianos	

GTAW	Es ideal para soldar láminas de aluminio	Es un proceso de baja penetración superficial
	Se puede usar, con buenos resultados para soldar aceros de bajo y medio carbono	Solo en láminas delgadas
	El electrodo de tungsteno para formar el arco no es consumible	Los electrodos son caros
	Se pueden generar cordones de gran calidad.	Los operadores deben de estar capacitados y con experiencia para lograr buenos cordones
	Se pueden usar Helio o Argón puros o mezclados	Los gases de protección son caros.
	No hay distorsión térmica en las láminas que se unen	
	No hay salpicadura y los cordones son limpios	
		Se requiere una fuente de alimentación con corriente de alimentación de alta frecuencia
		Requiere refrigeración adicional en la parte del electrodo y boquilla
	Es apto para automatizar con robots cartesianos únicamente.	

Tabla 3. Comparativa entre los procesos GMAW y GTAW

El análisis de ventajas y desventajas nos muestra que ambos procesos de soldadura pueden ser aptos para la aplicación de soldadura en el proceso lineal y rotacional del diseño que se concibe, pero la selección depende del costo de los sistemas de sujeción, automatización y control sobre las antorchas que aplicarán la soldadura.

1.9.1 Sistemas de sujeción en maquinaria.

Algunos tipos de sujeción se diseñan para mantener flexibilidad en las dimensiones, aunque en algunos casos son plantillas para producción en serie de partes industriales. Un ejemplo se tiene cuando se maquinan tapas para reguladores de gas, en donde las posiciones de los tornillos de ensamble deben de estar bien definidos en las dos tapas del regulador, para poder hacer el armado adecuadamente y en el menor tiempo. En la industria metalmecánica se requieren sistemas de sujeción para operaciones de maquinado y ensamble. Para lograr la correcta definición del sistema que se usará se recomienda considerar los siguientes aspectos:

- Tamaño de la pieza o piezas
- Tipo de material y geometría
- Tipo y forma de las herramientas
- Tipo de maquinaria que se usa (torno, fresadora, soldadura, etc.)
- Tipo de proceso que se aplica (maquinado, soldadura, ensamble, acabado, etc.)
- Manufactura automatizada o manual.

La figura 3 del apéndice muestra un diagrama de árbol con los diferentes sistemas de sujeción para aplicaciones en la industria de manufactura metal mecánica.

En algunas ocasiones el esquema constructivo de las máquinas es muy parecido, por lo que es común encontrar sistemas de sujeción que se pueden adaptar para su uso en varias máquinas. De aquí se observa que un sistema que se puede usar para fresado, también se puede aplicar para taladrado e incluso para un maquinado CNC.

Cabe aclarar que los sistemas de sujeción más complicados son los que se usan para sistemas de soldadura, debido a situaciones como chispas de metal, calor y deformación en los materiales.

Para los casos de inspección de materiales, requieren precisión y repetitividad, por lo que muchos de los sistemas para sujeción suelen ser neumáticos y bajo criterios de diseño que algunas veces requieren de geometrías que se adapten a las partes que se miden o ensayan.

En la Tabla 4, se muestran algunos tipos de dispositivos de sujeción, en donde se inicia con los más simples de accionamiento mecánico, a través de husillos, sistemas de leva y mediante palancas o manivelas de cierre. A continuación, se tienen los de la categoría de accionamiento neumático. Este segmento de dispositivos facilita la sujeción de partes o piezas a procesar, sobre todo en sistemas automatizados, ya que la apertura o cierre de los mecanismos se realiza por medio de aire a presión.

En la categoría de dispositivos especializados se tiene un gran número de aplicaciones y cada dispositivo se diseña para un trabajo o aplicación específico de sujeción, sobre todo en partes con geometrías complejas. Algunos de este segmento también incluyen accionamiento neumático o hidráulico. Una de las industrias que más usa estos sistemas es la automotriz, ya que facilitan el ensamble de componentes en un menor tiempo y sin sacrificar precisión.

Dispositivos de sujeción accionamiento mecánico	Dispositivos de sujeción accionamiento Neumático	Dispositivos de sujeción especializados
Chuck 	Chuck 	Para soldadura posición fija. 
Prensas 	Prensa 	Mesa de tres ejes para rotación de componentes 
Clamps 	Clamps 	Clamps angulares para tubería. 

Tabla 4. Componentes para sujeción de partes para procesos de maquinado, ensamble o inspección.

Para el proceso de sujeción en tuberías, en la actualidad se han adaptado un gran número de sistemas y mecanismos, pero en su mayoría son para procesos de soldadura en tubos de pared gruesa, casi siempre arriba de espesores de $\frac{1}{4}$ de pulgada, lo cual facilita los procesos de sujeción ya que la presión de agarre no llega a generar deformaciones sobre las partes a soldar. Algunos de estos sistemas se pueden ver en la figura 13, en la cual se aprecia que no son sistemas muy complicados, pero casi siempre son muy voluminosos, de apriete y/o ajuste manual ya que son pocos los que trabajan bajo esquemas semiautomáticos o completamente automáticos.



Figura 13. Sistemas de sujeción para procesos de soldadura en tuberías
(Cortesía de Weld Tech Tools for Pipes)

Como se mencionó, el espesor de la pared del tubo es un aspecto para considerar en el diseño de la sujeción, sobre todo cuando se habla de tubos rolados de lámina. Al respecto algunas compañías que han incursionado en el tema de soldadura para tubos de pared delgada han desarrollado algunos sistemas que más bien son complicados y algunas veces entorpecen los procesos, tal como el mostrado en la figura 14, en la que se observa que se utilizan cables de tensión por alrededor del tubo para lograr el cierre y sujeción.

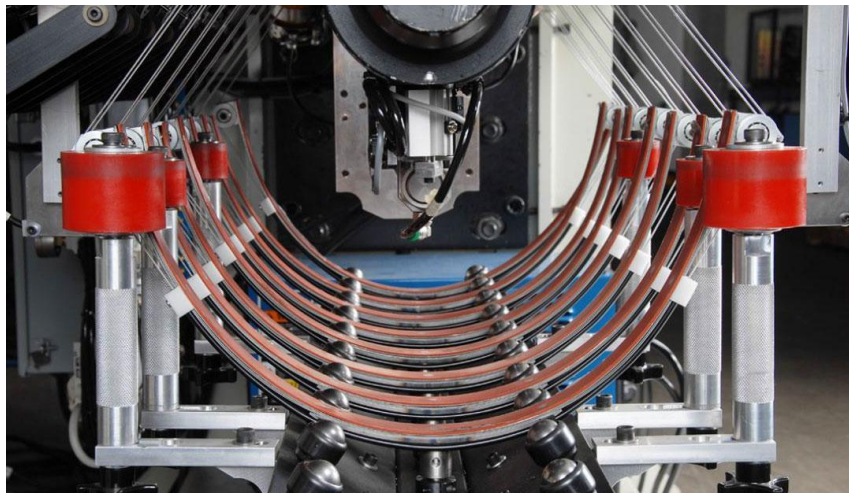


Figura 14. Sistema de cierre y sujeción para tubería rolada.

2.0 Análisis de los criterios de diseño

En la actualidad, se pueden encontrar en México diferentes talleres fabricantes de ductos metálicos, que cubren la demanda creciente del mercado para diferentes aplicaciones. Sin embargo, el tema de las aplicaciones en aires acondicionados o extracción de contaminantes representa un reto aparte, ya que generalmente se usan calibres de lámina delgados desde calibres del 28 al 16. Esto condiciona que las herramientas para el proceso en esta industria no sean tan robustas como las que elaboran ductos con espesores de lámina más grandes como calibres 16 al 10.

Los ductos para aire acondicionado fabricados en lamina delgada, requieren de maquinaria más especializada ya que, desafortunadamente, las empresas que manufacturan estos productos prefieren usar otros procesos diferentes a la soldadura, tales como el engargolado o realizar los procesos de unión por soldadura de forma manual y casi siempre de manera artesanal, confiando en la pericia de los operadores, lo cual repercute en defectos de acabado y calidad.

Para aires acondicionados, generalmente se usan ductos engargolados, eliminando así el proceso de soldadura.

Aunque en el mercado ya hay algunos sistemas de soldadura automatizada para procesos de soldadura lineal u orbital, no existe una máquina que presente las capacidades de realizar ambos procesos en una sola operación y sobre todo para las capacidades y espesores de lámina antes mencionados. La mayoría de estos equipos utilizan sistemas de sujeción demasiado complejos, algunos tales como brazos robóticos, bridas mecánicas, o dedos sub-actuados.

El presente capítulo se centra en el diseño de un sistema de sujeción para la soldadura lineal y orbital en un proceso para manufactura de tubería de lámina cilíndrica rolada y cerrada por soldadura de proceso MIG. Este tipo de tuberías se emplean como ductos para transporte, filtrado y recolección de humos y polvos industriales.

2.1 Propuesta de diseño

Basados en las necesidades de la empresa y propuestas conceptuales, se realizará el análisis de componentes, para seleccionar el tipo de sistema de fijación y movimiento más adecuado. Con esto se procede a la definición del sistema basado en las características constructivas necesarias y la selección óptima de materiales para la manufactura y ensamble de las partes.

El diseño inicia con la consideración de la unión de ceja a tope, aplicando soldadura por proceso MIG o TIG en tubos rolados de lámina desde calibre 14 a calibre 10, con la idea de obtener tubería cerrada en diámetros desde 7 a 26 pulgadas y con longitudes de hasta 46 pulgadas, como se muestra en la figura 15, agregando al tubo una brida circular soldada en los extremos, para lograr de manera modular el ensamble de secciones de tubería, según las necesidades requeridas.



Tubo de lámina rolado



Bridas de ensamble

Figura 15. Lámina rolada y brida de unión para ductos de polvos

Se toma como consideración importante que, bajo el método actual de manufactura en esta planta de fabricación, se requieren dos personas para poder alinear, fijar y aplicar la soldadura de cierre en los ductos. La alineación y fijación se realiza en forma manual utilizando herramientas comunes como prensas, reglas y escuadras. Este aspecto genera falta de calidad, pues aún con la experiencia de los trabajadores hay variaciones en las posiciones, lo cual afecta las dimensiones del producto, y representa tiempo de operación para alineado, fijación y soldadura de la lámina rolada. Es muy importante considerar el aspecto de riesgos, seguridad, exposición a calor y radiación para los operadores.

Posterior al proceso de cierre longitudinal, se hace necesaria la unión de la tubería con la brida circular de acoplamiento. Este proceso también se realiza de forma manual, lo cual conlleva riegos de alineación y centrado.

- En la mayoría de las empresas de pailería que fabrican en México los ductos para aplicaciones industriales, se siguen los siguientes pasos:
- Corte de lámina: Se ajusta al tamaño y diámetro que tendrá el ducto.
- Rolado de lámina: Se da la forma de ducto.
- Punteado: Se dan puntos de soldadura a lo largo del cierre del ducto para evitar que se mueva en la siguiente etapa.
- Soldado: se hace el cordón recto a través de todo el ducto.

- Unión de 2 o más tramos y bridas. Se colocan los tramos a unir o las bridas de los extremos mediante un punto de soldadura.
- Se realiza el cordón por el perímetro de los ductos o bridas para unir.

A partir de las etapas 3 y 4 se tiene un proceso crítico que se puede mejorar a través del diseño de un sistema automático que pueda realizar estas acciones de unión y que también permita disminuir el número de personas en el proceso.

2.2. Modelo de French para diseño

Una vez estudiadas las características del proceso de soldadura para tubería de lámina, así como los parámetros importantes de calidad y seguridad requeridos se realiza una propuesta de diseño considerando los sistemas actuales de actuación y aplicación de fuerza para sujeción y movimiento, con la posibilidad de crear un sistema semiautomático que agilice el proceso de manufactura. La propuesta inicial se desarrolla con un modelo virtual para verificación de diseño tanto mecánico como cinemático de las partes, así como los mecanismos que forman la máquina. Se finaliza con el desarrollo de un prototipo funcional basado en los modelos virtuales.

Para tal fin, el proceso de diseño se basa en las fases de diseño del modelo descriptivo de French (figura 16). Este modelo permite comprender y ordenar la información, así como el plan de acción para su ejecución. La metodología aplicada por este modelo permite tener entradas basadas en las necesidades del cliente y subsecuentemente realizar el análisis de la problemática para definir alternativas de solución y atacar los diseños de conceptos. Para la etapa de planteamiento se definen los sistemas y materiales más adecuados para cada una de las partes, así como dimensiones y sistemas de ensamblado y acoplamiento. El diseño conceptual ilustra, mediante bocetos, la estructuración del diseño y da pie a la fase de dibujo de las partes en modelos sólidos de su ensamble para crear los sistemas, con la finalidad de lograr en modelos virtuales basados en las especificaciones. La evaluación de los requisitos mediante los modelos virtuales determinará la funcionalidad del sistema y retroalimentación de fallos o interferencias en el diseño. Una vez validada la viabilidad de los sistemas se trabaja el diseño a detalle y la elaboración de planos de trabajo para la elaboración de prototipos funcionales.



Figura 16. Muestra en diagrama de French con las etapas de diseño recomendadas para el desarrollo de nuevos productos y se basa en las necesidades y el estudio de un problema.

Las dos primeras etapas del modelo se basan en el estudio de las necesidades reales de la empresa, tales como seguridad, volumen de producción, factibilidad de materiales para la fabricación del sistema, adaptabilidad del proceso a sistemas de manufactura y comercialización del sistema a industrias similares en el país.

Apoyados en metodologías de diseño como QFD⁹ y TRIZ¹⁰ se priorizan las necesidades y parámetros importantes para lograr las mejores decisiones en el diseño; se comienza por definir las necesidades reales del proyecto, mostradas en la tabla 5.

Básicas	<ul style="list-style-type: none"> ● Sistema semiautomático ● Alto desempeño y funcionalidad (calidad) ● Aplicación de soldadura lineal para proceso GMAW. ● Aplicación de soldadura radial con proceso GMAW.
Funcionales	<ul style="list-style-type: none"> ● Aseguramiento de calidad del producto. ● Volumen de producción ● Aseguramiento de seguridad al operador.
Apasionantes	<ul style="list-style-type: none"> ● Costo bajo de producción ● Partes comerciales e intercambiabilidad ● Facilidad de operación ● Facilidad de Mantenimiento

Tabla 5. Propuesta de clasificación de necesidades según Yoji Akao¹¹

Una premisa importante del análisis del problema que se encontró como una fortaleza es el hecho de que no hay máquinas comerciales que combinen la aplicación de soldadura lineal y rotacional en el mismo proceso sin mover la parte que se fabrica. Por lo que el sistema que se plantea; se trata de un sistema nuevo e innovador para el mercado de la soldadura y no hay marcas comerciales que den puntos de comparación específicos.

⁹ (QFD) – Quality Function Deployment - Despliegue de la función de calidad. Despliega el diseño del servicio o producto sobre la base de las necesidades y requerimientos de los clientes.

¹⁰ TRIZ (Teoría de la resolución inventiva de problemas). Es un método desarrollado por Genrich Saulovich Altshuller, para solucionar problemas de tipo técnicos y tecnológicos. Se basa en la identificación de principios universales que sirven para ayudar al pensamiento innovador. Y su aplicación se centra en la resolución de contradicciones de parámetros.

¹¹ Yoji Akao era un especialista en planificación japonés, reconocido como desarrollador de Quality Function Deployment (QFD).

Una vez identificadas las necesidades y continuando con la metodología QFD, se analizan los parámetros técnicos más importantes para realizar el diseño. El método asegura que todos los que se consideren deberán de estar relacionados con unidades físicas. La información se resume en la tabla 6.

#	Parámetro	Unidades
1	Costo	Pesos
2	Volumen	cm ³
3	Peso	Kg
4	Velocidad de soldadura lineal	mm/min.
5	Velocidad de soldadura rotacional	mm/min.
6	Diámetros de tubería a procesar	mm
7	Longitud de tubería a procesar	mm
8	Temperatura de trabajo	°C
9	Disipación de calor	°C
10	Potencia	W
11	Tiempo de cierre	Segundos
12	Fuerza aplicada al cierre	N
13	Costo de mantenimiento	Pesos
14	Tiempo para mantenimiento	Meses

Tabla 6: Lista de parámetros técnicos

Estos parámetros se correlacionan en una matriz según la metodología QFD, para definir la importancia relativa en el diseño. Los de mayor peso tienen prioridad y se deben atacar más puntualmente las soluciones de diseño de los sistemas en las que se involucran.

Del análisis de los parámetros, basado en la propuesta de diseño, se priorizan parámetros 4, 5 y 11, 12, mostrados en la tabla 6, ya que se busca disminución de tiempo en el proceso, bajo consumo de potencia en los sistemas de accionamiento automático y fuerza de cierre adecuada al proceso, que no afecte en problemas de calidad por deformación térmica o de sujeción.

2.3. Diseño conceptual general

El concepto de diseño se muestra en la figura 17 a, b y c, en la que se observan algunas de las partes que integran el sistema, el cual se concibe como una base rectangular con un soporte horizontal, que sirve de base para fijar la tubería rolada sobre la cual se aplica el proceso de soldadura de cierre lineal. Dicha acción se logra a través de un conjunto de mordazas accionadas por uno o varios actuadores neumáticos. El concepto está basado en los dispositivos usados para el proceso manual.

Para asegurar la alineación de los extremos de las láminas que se sueldan a tope, se añade un centrador, que se coloca a lo largo del mandril de forma manual. Una vez alineado un lado se cierra el conjunto de clamps (mordazas) para lograr la fijación y con el extremo posterior se realiza la misma acción antes de retirar el centrador.

Al momento de estar fijos ambos extremos, entra en acción el sistema de soldadura lineal, el cual mueve la antorcha a través de un sistema mecánico de movimiento lineal, proporcionando la posición de la antorcha de soldadura a lo largo de la superficie a soldar. El proceso usado para la unión está adaptado para proceso GMAW, el cual aplica un metal de aporte sobre la lámina metálica, con avance controlado de un extremo a otro a lo largo de la tubería.

Al término de este proceso lineal, se liberan los clamps de fijación y el operador ajusta el soporte de brida y rodamientos a la longitud de la tubería que se trabaja, así como el plato de arrastre de la brida y entra en acción el sistema rotacional, que permite realizar la unión de la brida sobre el tubo previamente cerrado. Al término de este proceso se tiene el producto completamente terminado en un tiempo mínimo, con calidad y un margen muy alto de seguridad para el operador del equipo.

A petición de la empresa, por el momento se descartan algunas consideraciones como sistemas de enfriamiento para los dispositivos de soporte. Los materiales que soporten temperatura y chispas son fundamentales en el diseño y se centran en la disposición de la maquina y la configuración de los sistemas de fijación, así como movimiento lineal y rotacional.

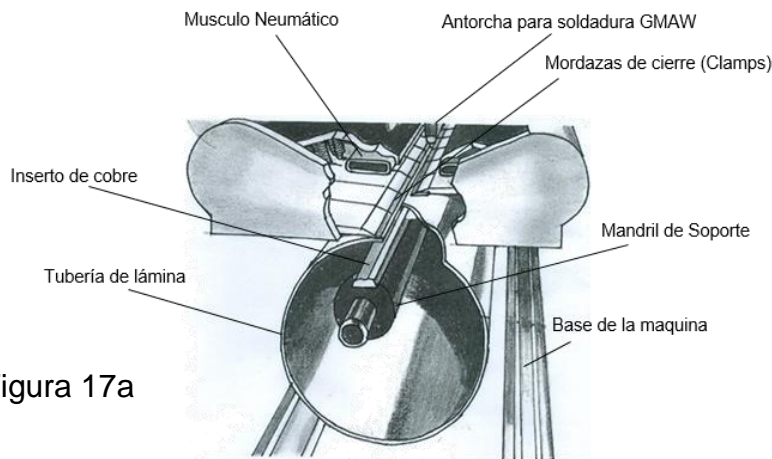


Figura 17a

Figura 17 a, b y c. Muestran el diseño conceptual de la estructura y la disposición de algunos elementos que integran el sistema.

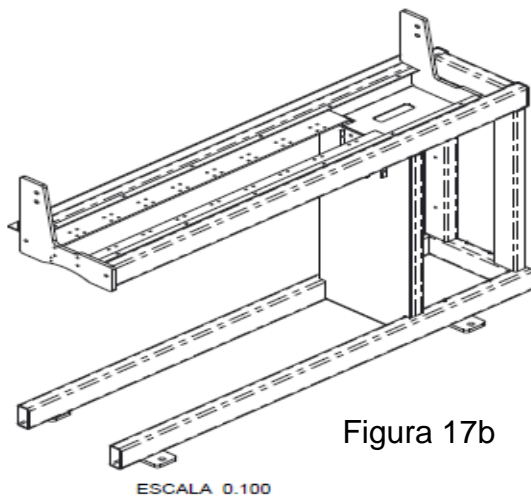


Figura 17b

ESCALA 0.100

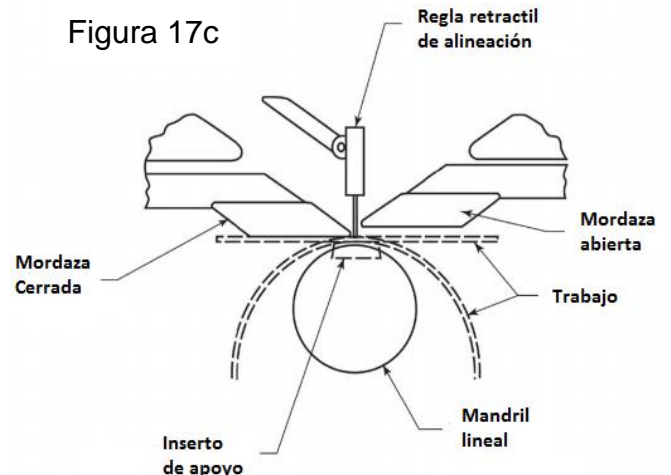


Figura 17c

2.4. Diseño basado en la teoría TRIZ.

Para el desarrollo del sistema rotacional, se priorizan los parámetros 3,5 y 10,12, por los requerimientos de peso que debe mover el sistema para cada uno de los diámetros y largos de los productos que se manufacturan, así como la potencia y fuerzas requeridas para desarrollar el movimiento de rotación. Bajo el criterio del diseño de un sistema que sea apto y de bajo volumen para poder adaptarse, analizaremos la problemática aplicando los conceptos de la teoría de resolución inventiva de problemas (TRIZ).

El método se basa en determinar los parámetros que empeoran y los que mejoran el problema. Estos se correlacionan en una matriz de 39 por 39 celdas, conocida como “matriz de contradicciones” la cual, en la intersección del renglón y columna correspondientes a los parámetros analizados, arroja como resultado una serie de principios inventivos que se pueden aplicar como solución al o los problemas que requieren solución. Es decisión del equipo de diseño, el cómo implementar las ideas propuestas para solucionar.

A manera de ejemplificar el método se usarán los parámetros 3 y 12, peso de objeto en reposo vs. fuerza aplicada para moverlo.

Interactuando con los parámetros en la matriz, se arrojan los principios inventivos 1, 13, 18 y 28 (imagen 17). Los principios inventivos recomendados por la matriz se pueden aceptar o descartar según la complejidad de adaptación o porque no tienen lógica de aplicación para el sistema que se ataca.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		PARAMETRO			QUE			EMPEORA		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1: Peso de un objeto en movimiento		.	.	15 8 29 34	.	29 17 38 34	.	29 2 40 28	.	2 8 15 38
2: peso de un objeto en reposo		.	.	.	10 1 29 35	.	35 30 13 2	.	5 35 14 2	.
3: Longitud de un objeto en movimiento		8 15 29 34	.	.	.	15 17 4	.	7 17 4 35	.	13 14 8
4: longitud de un objeto estatico		.	35 28 40 29	.	.	.	17 7 10 40	.	35 8 2 14	.
5: Area de un objeto movil		2 17 29 4	.	14 15 18 4	.	.	.	7 14 17 4	.	29 30 4 34
6: area de un objeto estatico		.	30 2 14 18	.	26 7 9 39	.	.	.	.	.
7: volumen de un objeto movil		2 26 29 40	.	17 4 35	.	17 4 17	.	.	.	29 4 38 34
8: Volumen de un objeto estatico		.	35 10 19 14	19 14 2 14	35 8	.	.	.	.	.
9: Velocidad		2 28 13 38	.	13 14 8	.	29 30 34	.	7 29 34	.	.
10: Fuerza		8 1 8	18 13 1 28	17 19 9 36	28 10	19 10 15	118 36 37	15 9 12 37	2 36 18 37	13 28 15 12
11: Tension presión		10 36 37 40	13 29 10 18	35 10 36	35 1 14 16	10 15 36 28	10 15 36 37	6 35 10	6 35 35 24	6 35 36

Imagen 17

Matriz de contradicciones y la intersección con los principios inventivos sugeridos.

Principios inventivos recomendados por Genrich Saulovich Altshuller¹², para solucionar el problema y su descripción (tabla 7).

1.- Segmentación	<ul style="list-style-type: none"> a. Dividir el objeto en partes independientes. b. Hacer un objeto por secciones c. Incrementar el grado de segmentación
13.- Inversión	<ul style="list-style-type: none"> a. El lugar de una acción dictada por la especificación del problema, producir la acción contraria b. Hacer las partes móviles fijas y viceversa c. Dar la vuelta al objeto
18.- Vibración mecánica	<ul style="list-style-type: none"> a. Hacer oscilar objeto b. Incrementar la oscilación, si existe c. Usar frecuencias de resonancia d. Utilizar piezo-vibradores, en lugar vibradores mecánicos e. Usar vibración ultrasónica combinada con campos electromagnéticos
28.- Cambio del sistema mecánico	<ul style="list-style-type: none"> a. Sustituir un sistema mecánico por uno óptico, acústico, etc. b. Utilizar campos electromagnéticos c. Suscribir campos estáticos por móviles, constante por variables, etc. d. Usar un campo combinado con partículas magnéticas

Tabla 7. Descripción de soluciones inventivas

Por las características del sistema que se diseña, los principios inventivos a considerar son segmentación e inversión. Estas propuestas se aplican al diseñar un par de sistemas móviles de apoyo como parte independiente al mandril. El primero consta de un inserto móvil con un sistema de rodamientos que se acopla directamente el mandril de apoyo de la máquina; el segundo es un sistema móvil tipo brida (ver figura 9), también con rodamientos, que se ajusta a la longitud de tubo. Ambos soportes permiten que se pueda realizar la soldadura lineal y rotacional sin realizar ajustes o paros del equipo durante el proceso de unión para cierre de tubería y unión de brida.

Otra ventaja de usar estos mecanismos para la eliminación de la fricción debida al peso de los componentes que se sueldan es la de usar un motor de accionamiento para la soldadura lineal muy pequeño y reducir el volumen del sistema de accionamiento y su costo. A manera de justificar la reducción de fuerzas de fricción al utilizar este sistema, se presentarán los cálculos relacionados.

El resultado de la propuesta de diseño se ilustra en las imágenes de la figura 18.

¹² Genrikh **Saulovich Altshuller**, ingeniero, científico, inventor, periodista y escritor, fue el creador de la teoría de resolución de problemas de inventiva (TRIZ), la cual tiene gran aplicación en el desarrollo de sistemas y maquinas.

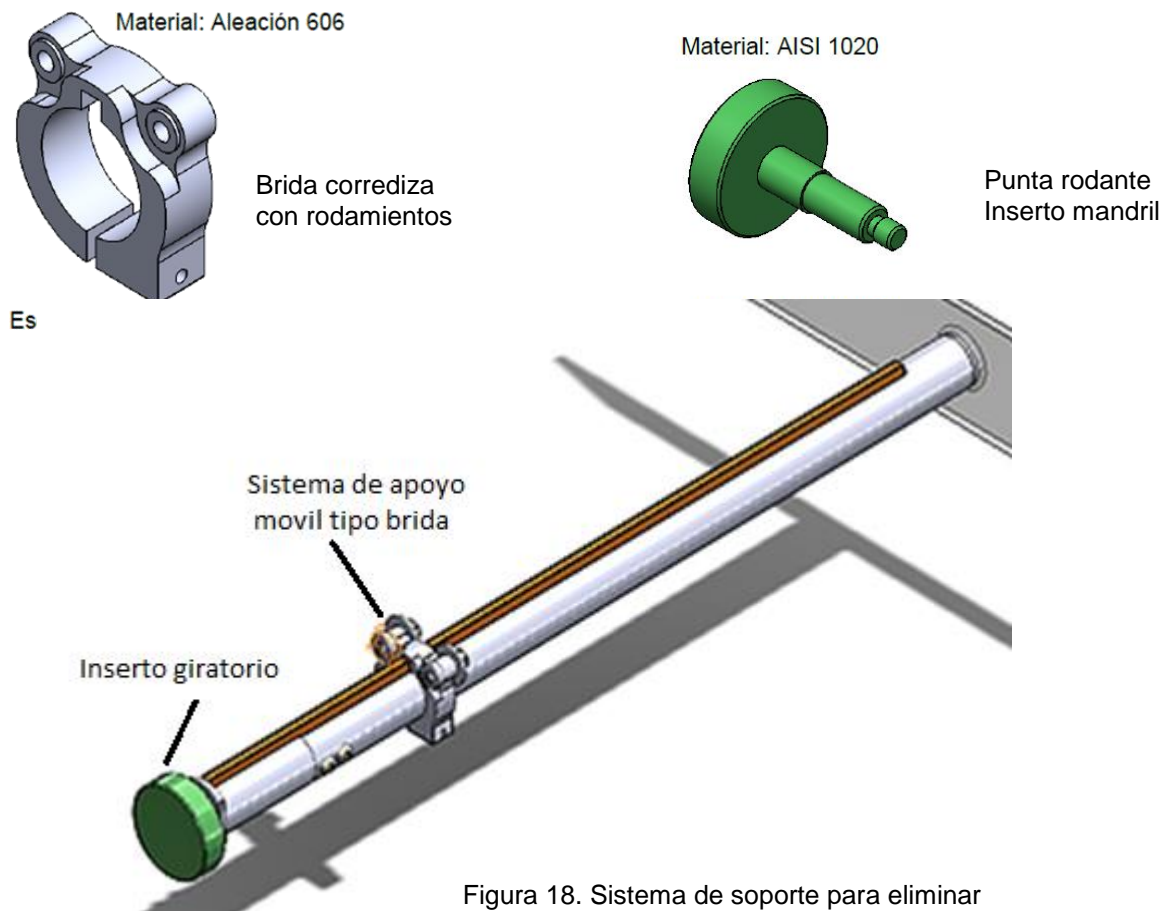


Figura 18. Sistema de soporte para eliminar fricción durante la soldadura orbital.

La solución de este problema se resolvió de manera satisfactoria al aplicar los criterios de diseño para TRIZ y como resultado se obtuvo un sistema que se puede adaptar a las necesidades de giro durante el proceso de unión. Como conclusión, se demuestra la importancia de usar las herramientas que facilite los procesos de diseño y sobre todo que permita trabajar de manera creativa.

2.5. Análisis PUGH¹³.

El análisis PUGH para la propuesta de diseño de la máquina integral para manufactura de ductos de lámina de acero rolada con aplicación de soldadura lineal y orbital con mecanismo de sujeción inteligente, se presenta a continuación.

¹³ La Matriz de **Pugh** es una herramienta cuantitativa que permite comparar opciones entre sí mediante un arreglo multidimensional (una matriz de decisiones). Su aplicación más habitual es durante la fase de diseño de un producto, ya sea completamente nuevo o una actualización de uno existente.

Para determinar los criterios a seleccionar que definen el impacto del beneficio para el proceso de manufactura de tubos de lámina de acero rolados, se elabora un diagrama CAUSA-EFECTO (Diagrama de pescado o diagrama de Ishikawa¹⁴).

En este se consideran las 5M (Material, Método, Mano de obra, Maquinaria y Medio ambiente) para el análisis. El resultado de la lluvia de ideas se muestra en la figura 19 como un diagrama.

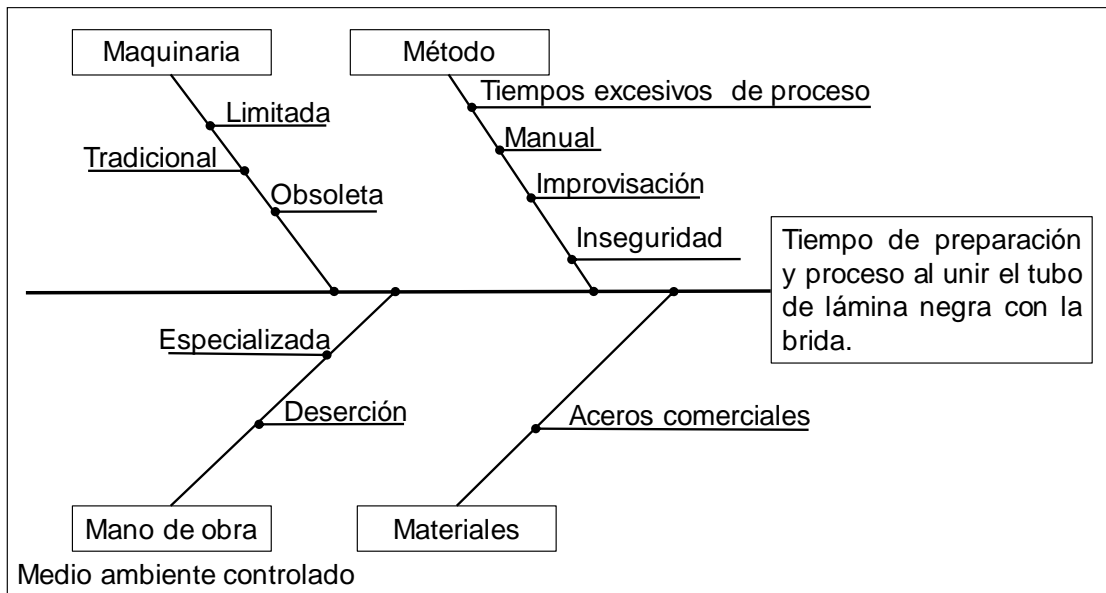


Figura 19. Causa-Efecto en el tiempo de preparación y proceso de unión de tubo de lámina negra con la brida.

Se puede identificar que las variables que están impactando el tiempo de proceso son los de maquinaria y método, por tanto, los criterios a considerar para el método PUGH son los mostrados en la tabla 8, a continuación:

	Concepto	Concepto				Total
		Tiempo	Maquinaria	Método	Productividad	
C	Seguridad industrial	0	+1	+1	0	2
r	Mejora de la calidad de unión	0	+1	+1	0	2
i	Tarea de preparación del producto	+1	+1	+1	+1	4
e	Proceso de unión del producto	+1	0	+1	+1	3
r	Actualización de maquinaria	0	+1	+1	0	2
i						
o						
s						

Tabla 8. Valoración del método PUGH de concepto vs criterio.

¹⁴ Kauro Ishikawa (1915-1989) Implemento la filosofía administrativa detrás de la calidad y definió las siete herramientas básicas, las cuales son: Hoja de control, Histograma, Diagrama de Pareto, Diagrama de causa y Efecto, Estratificación, Diagrama de dispersión y hoja de control.

De este análisis se concluye que la valoración más alta es para la preparación de los materiales durante el proceso, seguida por el proceso de unión de las partes involucradas, por lo que es importante centrar el proceso de diseño para lograr reducir o solucionar totalmente estos criterios, mediante la reducción de tiempos y mejorando los métodos mediante la implementación de maquinaria automatizada.

A nivel de porcentajes con relación a un rendimiento que logre obtener en la manufactura de unión con soldadura lineal y orbital se muestra en la figura 20.

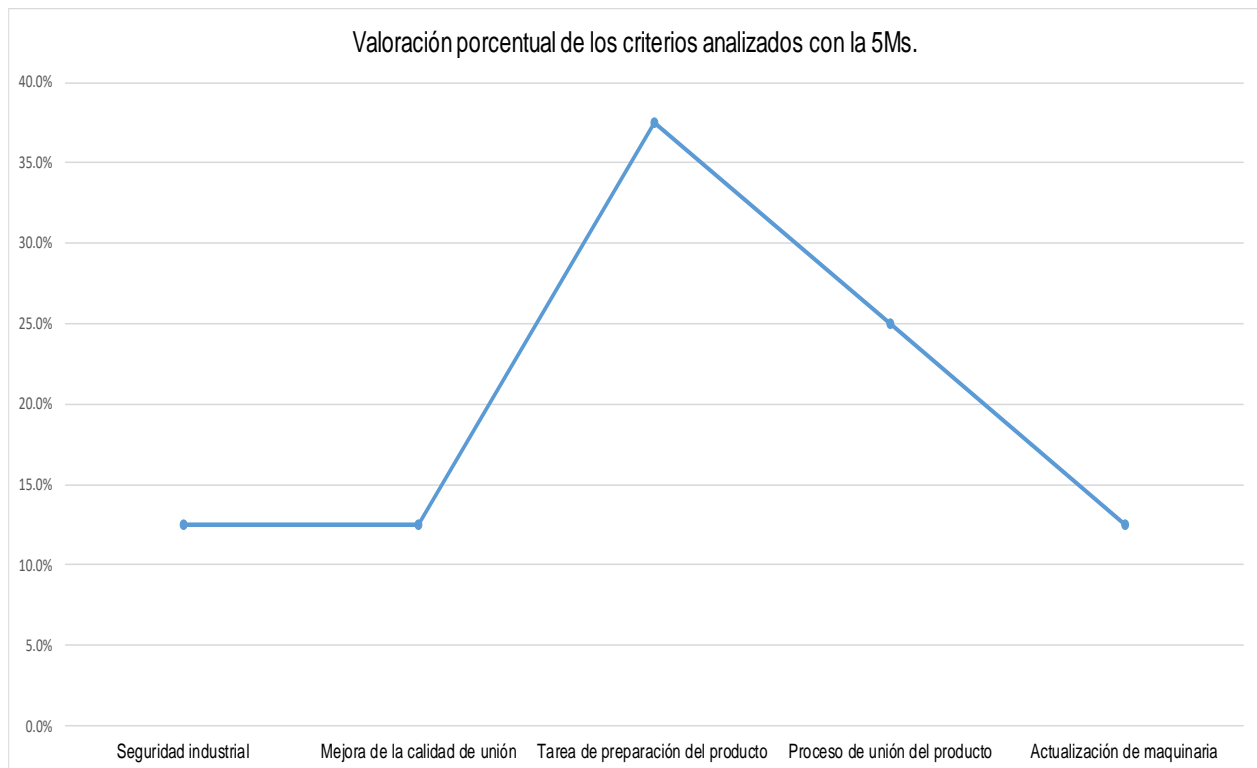


Figura 20. Valoración porcentual de los criterios de calidad

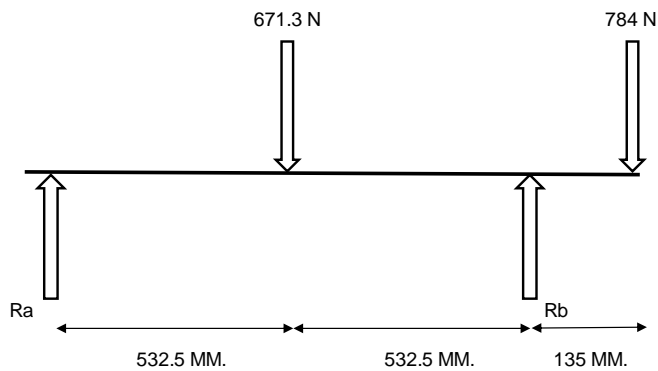
De la tabla 8 y figura 20 se observa que el criterio que impacta es la tarea de preparación del producto, por lo que el proyecto está correctamente enfocado al diseño de un sistema de sujeción que permita la mejora del proceso en los aspectos de unión de componentes, eliminando deformaciones térmicas del material, tanto para soldadura lineal como orbital, mejorar la calidad y por consecuencia mejorar los tiempos de producción y seguridad a los usuarios de la máquina.

3.0 Selección y cálculo de componentes

3.1 Cálculo de la fuerza de fricción en el sistema orbital.

Desarrollo:

Consideraciones: Carga aplicada según muestra la figura:



Peso del ducto (N)	Carga aplicada por la polea de arrastre (N)	Ra= reacción o carga sobre rodamiento FAG S600 (N)	Rb= reacción o carga sobre rodamiento FAG 6004-2RSR (N)
671.3	784	X	X

Para determinar las cargas en Ra y Rb

$$\sum F_y = R_a - 671.3 + R_b - 784 = 0 \text{ -----(1)}$$

$$\begin{aligned} \sum M_b &= -R_a(1065) + 671.3(667.5) = 0 \\ &= -R_a(1065) + (448,092.75) = 0 \end{aligned}$$

$$R_a = \frac{448,092.75}{1065} = 420 \text{ N}$$

Entonces de (1)

$$\sum F_y = 420 - 671.3 + R_b - 784$$

Por lo que: $R_b = -1053.3 \text{ N}$

3.2 Cálculo de la fricción sin rodamientos.

Desarrollo.

Se tienen las siguientes consideraciones

Ra (N)	Rb (N)	μ Acero-Cobre (s/u)
420	1053.3	0.36

También $F_r = \mu (N)$ -----(4)

Donde N; toma los valores de Ra y Rb.

Por lo tanto: $F_{ra} = (0.36)(420) = 151.2 N$ $F_{rb} = (0.36)(1053.3) = 379.18 N$

2.4.3 Cálculo de la fricción usando rodamientos

Desarrollo

Consideraciones

Dadas las cargas dinámicas en cada punto se recomienda el uso de los siguientes rodamientos comerciales.

Punto de carga	Designación	\varnothing int. (mm)	\varnothing ext. (mm)	Ancho (mm)	Fabricante
A	S6000	10	26	8	FAG
B	6004-2RSR	20	42	12	FAG

De la tabla 1 en apéndice $\mu = 0.0028$ para rodamiento de rodillos esféricos.

De (4) ----- $F_r = \mu (N)$

$F_{ra} = (0.0028)(420) = 1.176 N$ $F_{rb} = (0.0028)(1053.3) = 2.94 N$

Estos valores justifican el diseño con rodamientos del sistema orbital según se muestra en los resultados siguientes.

Punto de carga	Sin rodamientos Fr (N)	Con rodamientos Fr (N)
A	151.2	1.176
B	379.18	2.94

Se observa que el uso de un sistema de baja fricción puede potencializar el uso de un sistema de accionamiento para el movimiento orbital que no requiera de alta potencia para imprimir el movimiento de rotación. Esto permite manejar elementos mecánicos y de soporte pequeños y generar un sistema de accionamiento motriz más esbelto.

Algunos otros factores de diseño están condicionados por factores no tan técnicos, tales como la calidad y la seguridad en los procesos o en el uso del producto. Esto requiere de otro tipo de análisis para la toma de decisiones. En este sentido se consideraron conceptos como las 7 herramientas estadísticas de Ishikawa. El procedimiento se desarrolla a continuación, integrando aspectos como calidad, tiempos y materiales. Se realiza una valoración no tan profunda ya que solo interesa para la justificación de la seguridad, calidad y producción buscados en el diseño.

3.3. Diseño de sistema de sujeción lineal

El análisis nos da la pauta para considerar el diseño del sistema de fijación para el proceso de soldadura, por lo que se abordan las características constructivas y de diseño que deben estar presentes en el mecanismo. Como se observa en la propuesta de diseño conceptual ver (figura 17a y b), el mecanismo considerado consta de una serie de mordazas planas (clamps) independientes, a lo largo del mandril de soporte. La idea de que sean independientes tiene tres connotaciones de diseño:

- 1ª.- Se puede aplicar la fuerza de manera más uniforme sobre cada elemento
- 2ª.- Se mejora la intercambiabilidad de partes
- 3ª.- Se mejora la facilidad de mantenimiento en componentes.

Al respecto del sistema para aplicación de fuerza, se realiza el siguiente análisis para determinar el actuador más adecuado en el sistema de accionamiento de mordazas, bajo la consideración de aspectos de trabajo tales como: temperatura, rapidez de accionamiento y aplicación de fuerza.

Por cuestiones económicas y facilidad de aplicación de fuerza, se utilizará un sistema neumático y no hidráulico. Para este efecto, existe una gran gama de actuadores de diferentes características, como se muestran en la tabla 9.

De esta tabla se seleccionan dos de las opciones más viables, que son el actuador lineal y el músculo neumático, basado en las características requeridas para el sistema, mencionadas anteriormente. En primera instancia se considera la aplicación de fuerza, factor de suma importancia para el óptimo desempeño del sistema de sujeción y evitar

desplazamientos del tubo durante el proceso, tal como se muestra en los dibujos del diseño conceptual del dispositivo (figura 17^a).

Para justificar lo mencionado anteriormente, se realizan los siguientes cálculos:

3.4 Cálculo de la fuerza de cierre

Para determinar la fuerza necesaria para asegurar la perfecta fijación del tubo rolado sobre la superficie de apoyo de cobre en el mandril, se inicia por las siguientes consideraciones y parámetros, que son de importancia.

- Relación de presión constante sobre cada mordaza
- Relación de presión constante sobre todo el sistema de mordazas
- Fuerza de cierre constante para toda longitud de tubo
- Longitud mínima en tubería 12"
- Longitud máxima en tubería 60"
- Ajuste de alineación en componentes para aplicación de presión
- Ajuste de fuerza y presión aplicada
- Componentes comerciales o de fácil manufactura
- Intercambiabilidad de partes
- Facilidad de mantenimiento.

Bajo estas consideraciones, la propuesta de diseño original por parte de los ingenieros de la compañía para la que se diseña el sistema es la del uso de un músculo neumático, por lo que se realizará el análisis para justificar si es correcta la selección o se puede usar algún sistema o componente que cumpla con los criterios (figura 21).

Los cálculos que se presenta no intentan refutar la selección, sino más bien justificar si esta es correcta, o llegar a una solución óptima para el accionamiento del sistema de cierre – apertura y aplicación de carga¹⁵.

¹⁵ Los sistemas neumáticos tienden a ser más simples que los sistemas hidráulicos, y por lo tanto menos costosos referente a su compra e instalación. Sin embargo, los rangos de aplicación de fuerza tienden a ser más bajos que los de los sistemas hidráulicos, son sistemas mas limpios ya que el fluido es al aire y no aceite.

3.5 Cálculo para seleccionar la longitud de un músculo neumático

Comercialmente existe el músculo neumático, configurable en diámetro, longitud y fuerza de elevación a tracción, permitiendo también una carga axial de compresión, siendo esta última la óptima a utilizar.

Se requiere un músculo neumático que aplique una carga axial de compresión sobre un conjunto de mordazas acomodados de manera lineal. Este sistema de accionamiento permitirá al conjunto de mordazas actuar con fuerza constante a lo largo de todo el sistema. La tabla a continuación muestra diferentes dispositivos neumáticos para aplicación de carga entre los que se encuentra el músculo.

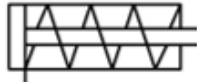

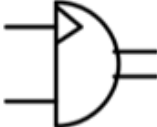
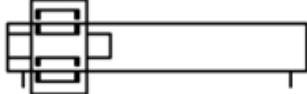



Elemento neumático.	Símbolo.
Actuador simple efecto.	
Actuador doble efecto.	
Actuador giratorio.	
Actuador lineal.	
Actuadores multi-posición.	
Ventosas.	
Musculo neumático.	

Tabla 9. Tipos de actuadores para sujeción y accionamiento neumático

Para poder realizar el cálculo de aplicación de carga axial, es necesario considerar lo siguiente:

- La elongación que sufre el músculo por efecto de compresión al inflarse.
- La presión del aire del sistema.
- El % de acortamiento

Lo que se obtendrá será:

- El diámetro final.
- El índice de cambio de volumen.

Desarrollo:

El cálculo se apoya de las especificaciones técnicas del producto y de un proceso de experimentación práctica en el laboratorio, utilizando el siguiente músculo neumático¹⁶:

Modelo	Ø inicial exterior (mm)	Longitud inicial (mm)
DMSP-10-250	13	250

Las consideraciones son:

Presión de trabajo (bar)	% de acortamiento
6	25

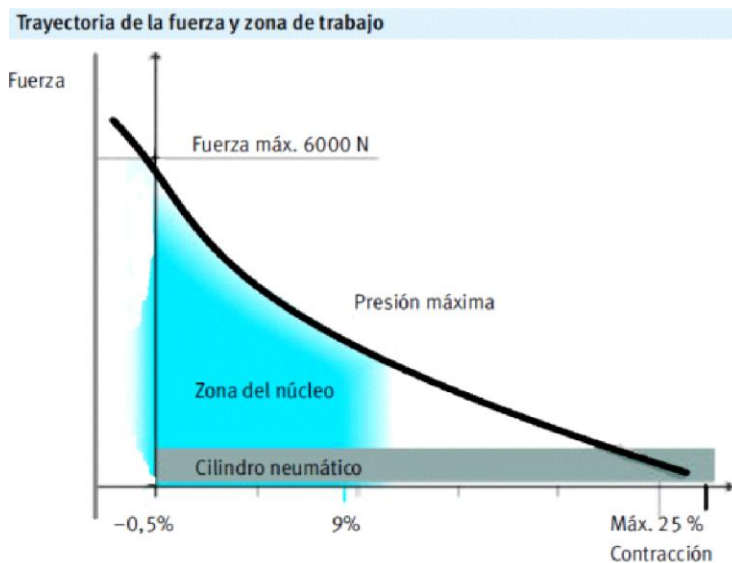


Figura 21. Porcentaje de contracción de un músculo neumático a diferentes presiones de trabajo (cortesía de FESTO Neumatic).

¹⁶ La tabla 4 del apéndice muestra los diferentes modelos y características técnicas de los músculos neumáticos. Imagen cortesía de FESTO Pneumatic.

En el gráfico de la figura 21, se observa que podemos tener hasta un 25 % de contracción, lo cual es demasiado deseable para la aplicación de carga axial ya que al acortarse el cambio de diámetro permite que la fuerza se aplique de manera homogénea sobre toda la longitud.

Las consideraciones finales del ensayo práctico arrojaron los siguientes resultados, los cuales se emplearon para el cálculo de cambio de volumen (figura 22).

Ø final (mm)	Longitud final (mm)
21	203

Lo anterior ayuda a determinar el índice de cambio de volumen, que considera:

$$V = A \times L \quad \text{donde } A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad \text{entonces } V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \times L$$

Con esto sustituyendo en la ecuación anterior, se tiene:

$$V_0 = \frac{\pi \cdot 13^2}{4} \times 250 = 33178.92 \text{ mm}^3$$

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 21^2}{4} \times 203 = 70302.41 \text{ mm}^3$$

Por lo que el factor de volumen F_v ; será: $F_v = \frac{V_1}{V_0} = \frac{70311.41}{33178.92} = 2.1$

En donde el valor calculado de 2.1 corresponde al índice de volúmenes en relación con una presión de inflado de 6 bar.

Con lo anterior, se tiene que el diámetro y longitud comercial del músculo neumático a emplear es:

Ø inicial exterior (mm)	Longitud inicial (mm)
24	1700

Por tanto:

$$L_i = 1700 \quad L_f = (L_i - 25\%) = 1275 \text{ mm.}$$

$$\text{De (1)} \quad V_i = \frac{\pi(24)^2}{4} \times 1700 = 709061.88 \text{ mm}^3$$

$$\text{De aquí} \quad V_1 = (709061.88)(2.1) = 1615029.95 \text{ mm}^3$$
$$1615029.95 = 0.7853 (D_f^2) \times 1275$$

$$1615029.95 = 1001.25 D_f^2$$

$$D_f = \sqrt{\frac{1615029.95}{1001.25}} = 40.16 \text{ mm}$$

Por lo que el cambio de longitud y diámetro iniciales queda tal como se muestra a continuación. Con esto se procede a la determinación de la fuerza que puede aplicar el cambio de volumen en el músculo.

\varnothing final exterior (mm)	Longitud final (mm)
40.16	1275



Figura 22. Constitución y funcionamiento de un músculo neumático. La extensión del músculo se reduce y se aumenta el diámetro, al llenarse de aire, realizando un accionamiento lineal. (Imagen cortesía de FESTO Pneumatic).

3.6 Cálculo para la fuerza aplicada por el músculo neumático

Considerando que la presión interna en el músculo es la que se ejerce sobre la mordaza cuando se infla el músculo a una presión de 6 bar, tal como se muestra en la figura 23, y conocemos que la presión se define como:

$$P = F/A$$

Donde:

A = Área de contacto

F = Fuerza aplicada, debida a la presión interna en la manga del músculo.

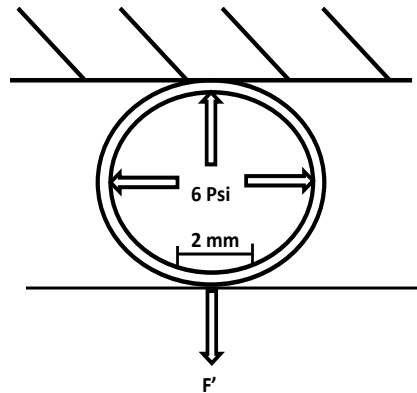


Figura 23. Diagrama de aplicación de fuerzas sobre un músculo neumático

Dicha área se calcula considerando la longitud de empuje que deforma al músculo por la longitud de este a lo largo de los 10 clamps, que para el caso es de 1250 mm. También se debe considerar que la longitud deformada por mediciones experimentales con el músculo DMSP 10-250 es de 2 mm. Entonces al realizar el cálculo tendremos:

Longitud de. Empuje (mm)	Largo del musculo (mm)
2	1250

$$A = B \times L = 2 \times 1250 = 2500 \text{ mm}^2 = 0.0025 \text{ m}^2$$

La presión de 6 bar es equivalente a 600 KN/m²

Entonces de (2) $P = \frac{F}{A} \equiv F = PA = \left(600 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}\right) (0.0025 \text{ m}^2) = 1.5 \text{ kN}$

El resultado de este cálculo es en valor de presión que aplica el músculo sobre la mordaza a lo largo del conjunto. Se considera como un valor constante sobre toda la longitud.

kN	kgf
1.5	153.05

3.7 Fuerza en cada mordaza usando actuador lineal.

Desarrollo.

El cálculo se apoya en las especificaciones técnicas del producto.

Modelo	Ø del embolo (mm)	Carrera (mm)
156878	32	25

Las consideraciones son:

Presión de trabajo (bar)
6

Basados en la ecuación ----- $P = F/A$

Calculamos el Área $A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{(\pi) (32^2)}{4} = 804.24 \text{ mm}^2 = 0.000804 \text{ m}^2$

De aquí: $F = (P)(A) = \left(600 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}\right) (0.000804 \text{ m}^2)$

$$F = 0.482 \text{ KN} = 482 \text{ N} = 49.133 \text{ kgf}.$$

De los cálculos realizados se concluye que, por la parte de una aplicación homogénea de fuerza sobre el sistema de mordazas, es mejor usar el músculo neumático por sobre el actuador lineal (figura 24).

Tipo de actuador	Carga que aplica kgf
Musculo DMSP-10-250	153.05
Lineal 156878	49.13



Figura 24. Actuador lineal compacto ADVUL-32-25-P-A de carrera corta
Imagen cortesía de FESTO Pneumatic.

Como se muestra en los resultados, el actuador lineal genera una fuerza de aproximadamente un tercio de la desarrollada por el músculo, pero si se considera que la palanca de accionamiento hacia la mordaza es de casi 5 pulgadas, esto representaría un valor de aproximadamente 40% más que lo que se puede proporcionar con el músculo.

3.8 Definición del sistema de accionamiento de sujeción

Por último y para definir el sistema de accionamiento para las mordazas de sujeción en la máquina para soldadura lineal, y basados en los cálculos del sistema, se pueden resumir los resultados en la tabla 10, considerando los parámetros y criterios propuestos, los cuales son evaluados con valores de 1 a 5, donde 5 se considera el mejor.

La ponderación sobre los sistemas analizados permite ver que ambos sistemas se pueden adaptar sin problema, aunque el sistema de actuadores lineales tiene algunos parámetros importantes que hay que considerar y están a favor, como son el soporte de temperatura, intercambiabilidad de partes, disponibilidad comercial, aplicación de fuerza, entre otros que lo ponen en desventaja.

Propuesta Parámetros	Sistema de accionamiento con musculo neumático	Sistema de accionamiento con actuador lineal
Costo de Instalación	2	5
Adaptabilidad al sistema	2	5
Manufacturabilidad del sistema	3	2
Costo de mantenimiento	5	5
Mecanismos auxiliares	2	4
Forma de aplicación de fuerza	1	5
Intercambiabilidad de partes	2	5
Fuerza teórica a 6 bares.	5	4
Soporte de temperatura	2	4
Disponibilidad comercial	2	5
Total, de la ponderación	26	44

Tabla 10. Tabla comparativa para dos sistemas neumáticos.

Por otra parte, la aplicación de fuerza con el sistema de músculo es superior, pero hay que considerar si este factor no repercute en la deformación de las partes al aplicar el proceso de soldadura. Se debe considerar que el músculo está diseñado para aplicar la fuerza de manera lineal a la carga, usándose como un actuador de tracción (figura 25) y que pocas veces se usa para carga axial ya que esto puede repercutir en un exceso de desgaste de la superficie exterior de la funda, reduciendo su vida de trabajo y por consiguiente aumentando costos por mantenimiento del sistema.

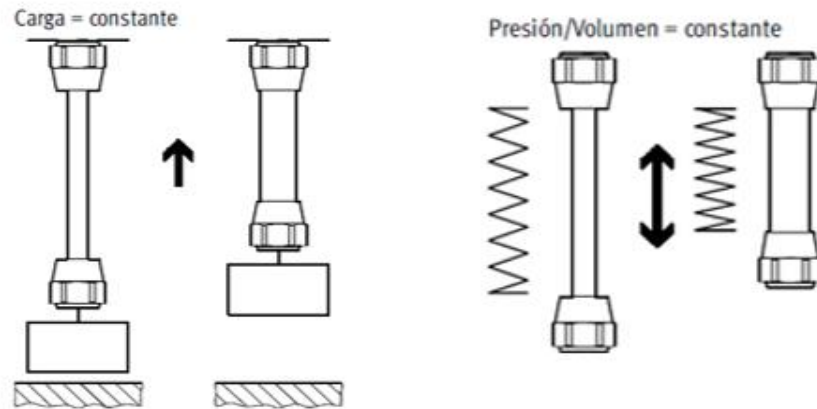


Figura 25. El músculo se usa como un actuador de tracción y tiene un comportamiento parecido al de un muelle, actuando consecuentemente con la aplicación de la fuerza al introducir presión de aire en su interior.

En contra parte, los actuadores lineales son muy adaptables a cualquier sistema, pero resultan más caros por unidad y requieren partes y soportes manufacturados a la medida para el ensamble sobre los sistemas. La parte positiva de estos es que son muy comerciales en cualquier rango de fuerza, soportan bien la temperatura y son muy adaptables a los sistemas y de fácil intercambiabilidad.

En la tabla 11 se presenta la factibilidad de los sistemas bajo un análisis de parámetros importantes para el usuario final, lo cual da una idea más clara de la correcta selección para el actuador que se usará en el sistema. Se pondera el valor de factibilidad más alto con el símbolo XXX, y el más bajo, X. El espacio en blanco indica que es factor no relevante.

Parámetro	Musculo Neumático	Actuador Lineal
Costo inicial	xx	xxx
Disponibilidad comercial	x	xxx
Rango de fuerza aplicada	xxx	xx
Costo de mantenimiento	xxx	x
Intercambiabilidad de partes	xxx	xx
Rangos de temperatura de trabajo	x	xxx
Adaptabilidad al sistema	xxx	xxx
Durabilidad	x	xxx

Tabla 11. Calificación de parámetros de dos sistemas neumáticos

Como conclusión de diseño para el sistema de sujeción, después de analizar cálculos y parámetros de cada sistema propuesto, se considera que el sistema de actuadores lineales es el óptimo para el accionamiento del sistema de mordazas de sujeción, aunque la inversión inicial sea más alta que con el músculo neumático.

4. Diseño de los componentes para sujeción

Este capítulo se centra en el diseño de un sistema de sujeción para la soldadura lineal y orbital para un proceso de manufactura para tubería de lámina cilíndrica rolada y cerrada por soldadura con proceso MIG, tal como los productos que se muestran en la figura 25.



Figura 25. Cilindros rolados en lámina de acero

Una vez realizado el análisis de fuerzas para seleccionar el sistema de actuación más adecuado, se procede a la definición del sistema basado en las características constructivas necesarias y la selección óptima de materiales para la manufactura y ensamble de las partes.

El diseño arranca con la consideración de la unión de ceja mediante soldadura en tubos rolados de lámina, desde calibre 14 a calibre 10, con la idea de obtener tubería cerrada en diámetros desde 7 a 26 pulgadas (177.8 a 660.4 mm), agregando a la tubería una brida circular soldada en los extremos, para operación de ensamble de secciones.

Bajo el método actual de manufactura y ensamble, en la empresa industrial se requieren dos personas para poder alinear, fijar y aplicar la soldadura de cierre en los ductos. Esto representa tiempo de operación para el alineado, fijación y aplicación de soldadura en las partes, además de riesgos para los operadores.

4.1 Sujeción para soldadura lineal.

Para facilitar el proceso se sugiere un sistema de sujeción inteligente accionado neumáticamente, tal como se muestra en la figura 26, de diseño conceptual.

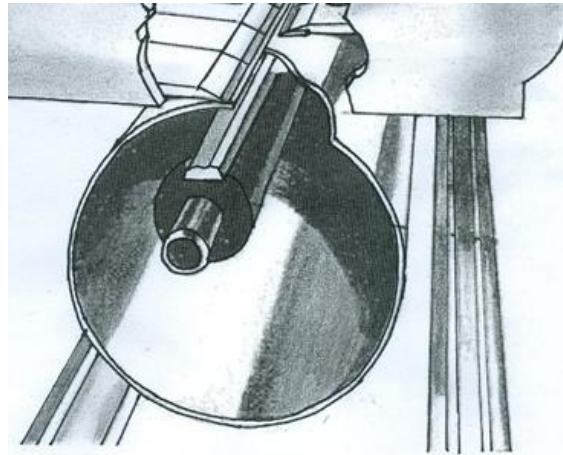
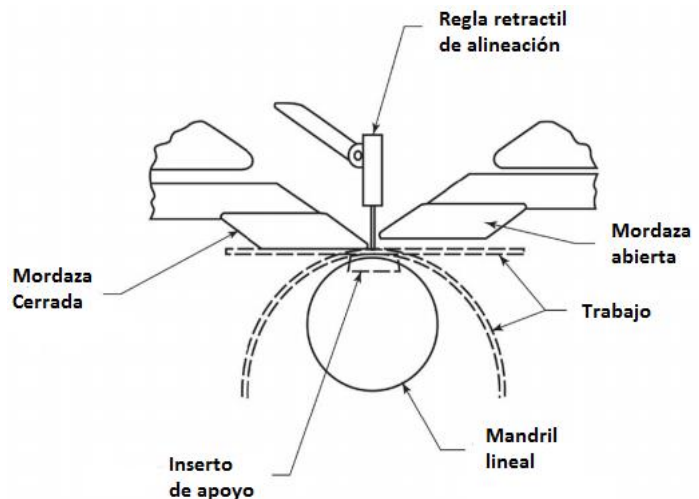


Figura 26. Muestra el diseño conceptual para el sistema de sujeción lineal mediante mordazas planas accionadas por actuadores neumáticos lineales y retroceso por resorte.

El sistema de sujeción propuesto consta de una serie de mordazas independientes a lo largo de la longitud del ducto. Cada mordaza se acciona de manera independiente por medio de una serie de actuadores neumáticos; esto permite que se pueda ajustar el número de actuadores activos, en función de la longitud de tubo que se suelda. Las bases de soporte tienen un mecanismo de retorno, actuado mediante un resorte de extensión. El tubo roscado se soporta sobre un mandril cilíndrico lineal, el cual contiene un inserto de apoyo, fabricado en cobre y con superficie plana, que corre a lo largo del mandril. Este inserto tiene dos funciones: la primera es de soporte, y la segunda es de transmisión a tierra, para cerrar el circuito eléctrico de la soldadura, con la antorcha que aplica el metal de aporte durante el proceso de unión (figura 27).

Figura 27. Sistema de sujeción con la disposición de los elementos sobre el mandril de apoyo.



El sistema incluye una regla retráctil de centrado, para alinear los extremos de la tubería rolada y asegurar el cierre geométrico con exactitud durante el proceso de soldadura. El mecanismo permite que una vez que se tiene la alineación, se active el actuador de la mordaza de fijación, el cual asegura el extremo alineado de la tubería rolada sobre toda su longitud. Este proceso se repite para el extremo opuesto rolado, permitiendo la fijación completa para aplicar el cordón de soldadura a lo largo del cuerpo del tubo y cerrarlo. El proceso de soldadura se realiza a través de una antorcha montada sobre una corredera lineal automática que realiza el depósito de metal.

Un tema importante al respecto de la corredera de desplazamiento, es que la automatización permite regular de manera adecuada la velocidad de avance y depósito de material, controlando de esta manera la temperatura sobre la lámina que se suelda, para que no ocurran defectos por deformación térmica.

4.2 Sujeción para la soldadura orbital.

Una vez que se realiza la soldadura lineal sobre la tubería rolada, se debe soldar la brida para ensamble, por lo que el operador en forma manual debe ajustar la tubería sobre los soportes giratorios del mandril (figura 18), colocar la brida sobre la tubería y cerrar la puerta basculante que soporta el mecanismo de arrastre, el cual tiene la función de soportar la brida e imprimir el movimiento de rotación. La propuesta se muestra en la figura 28, donde se aprecian las bisagras de soporte, el mecanismo de cierre, los brazos de centrado, el volante de ajuste de presión para arrastre y el sistema de accionamiento del movimiento rotativo de la brida y tubo.

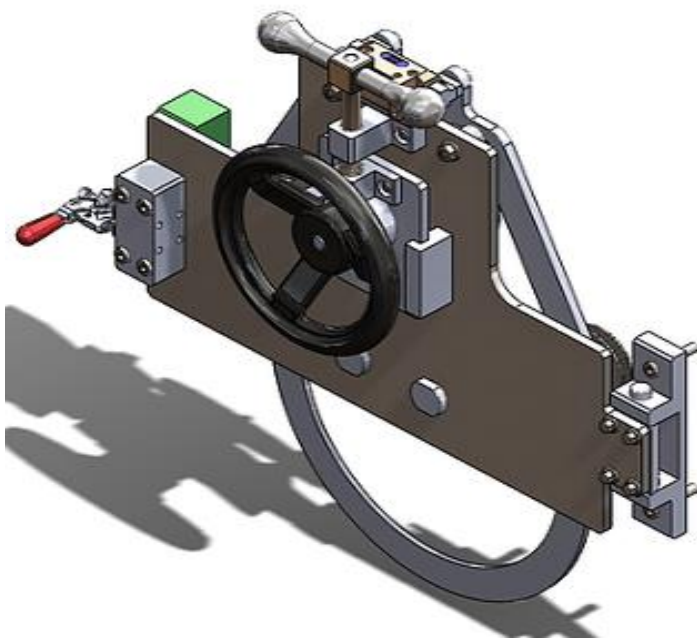


Figura 28. Sistema de fijación y accionamiento para el movimiento de rotación, en la soldadura de brida.

El concepto permite que se pueda usar un motor de pasos o servo-actuado para sincronizar la velocidad de avance rotativa, con la velocidad del depósito de metal de aporte y asegurar cordones sin defectos, evitando la deformación del metal base.

Tanto el sistema de sujeción lineal como el orbital, permiten que el proceso de soldadura de cierre del tubo de lámina y la unión de la brida de ensamble se realicen de manera muy simple y de forma automática.

El sistema propuesto solo requiere una persona que habilite la materia prima rolada y coloque en posición la brida de cierre, mejorando en un 90 % los tiempos de operación y manejo de partes. También reduce de manera importante los riegos de quemaduras, exposición a calor y radiación ultravioleta, así como exposición a gases tóxicos durante el proceso de unión.

Las figuras 29 a 36, muestran detalles en el prototipo virtual del diseño sugerido completamente ensamblado, en donde se observa la estructura de soporte del sistema, el mandril de soporte para la tubería rolada, las barras de accionamiento para cierre y apertura de las mordazas; y la configuración de mordazas de sujeción, para la soldadura lineal sobre el tubo rolado.

También se observan los elementos de sujeción y accionamiento para la soldadura orbital, como la puerta de cierre y soporte, la manivela de accionamiento de rotación, la manivela de ajuste de fuerza de arrastre y los dedos de centrado.

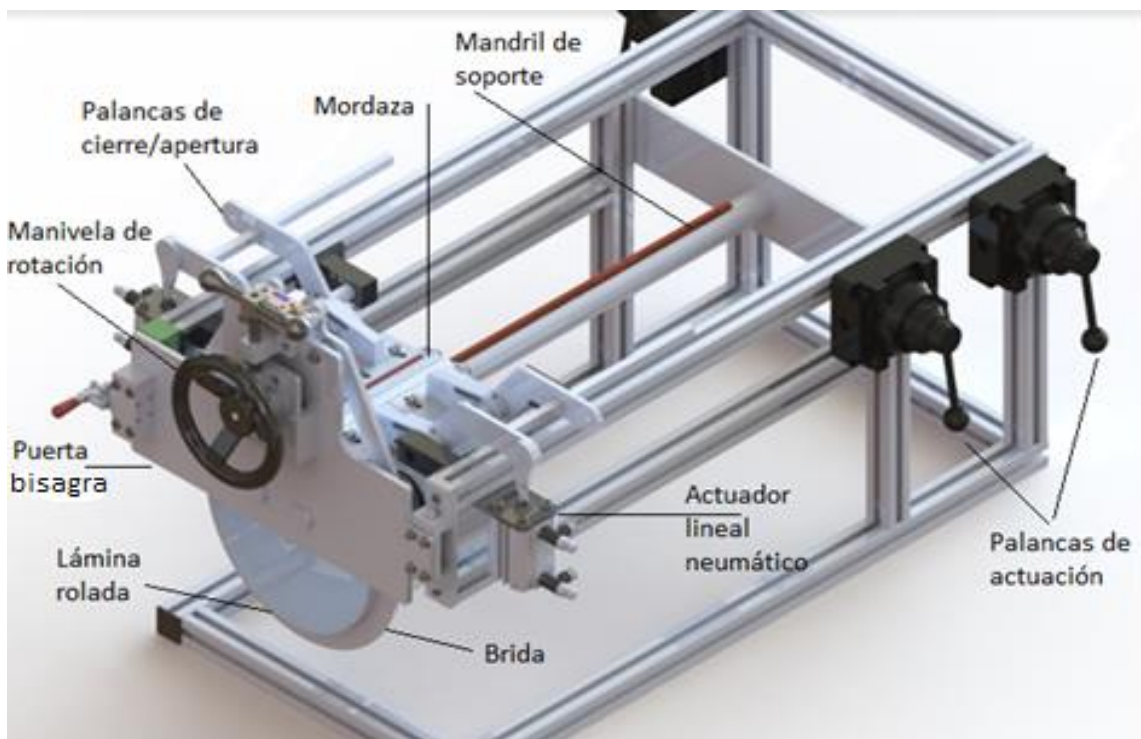


Figura 29. Vista isométrica del sistema completo.

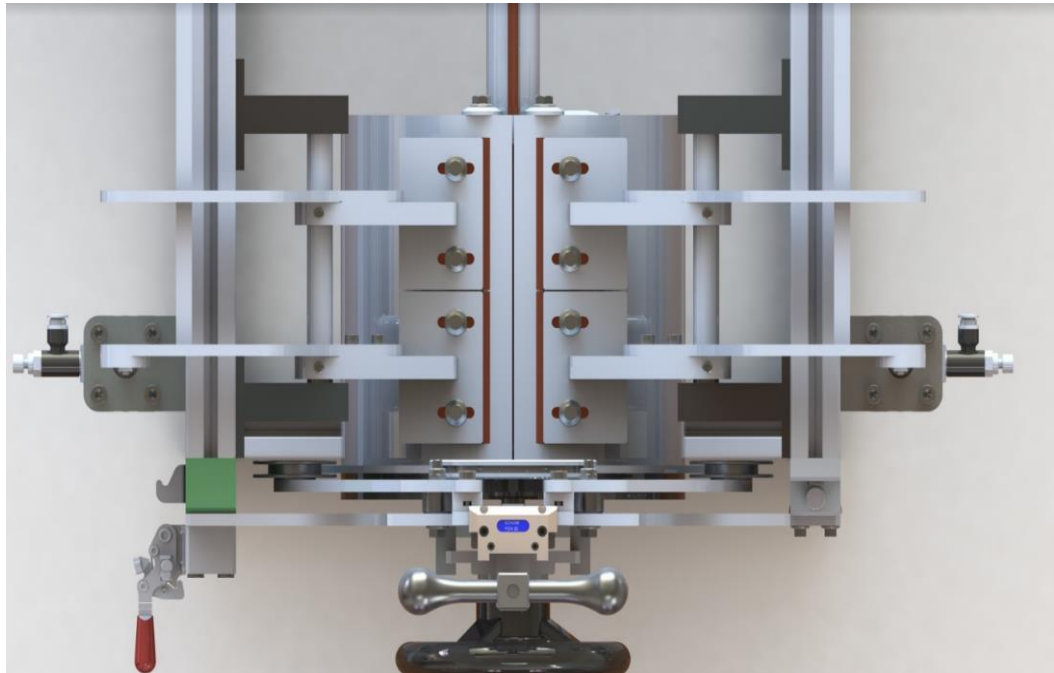


Figura 30. Vista superior del sistema, donde se ven las mordazas.

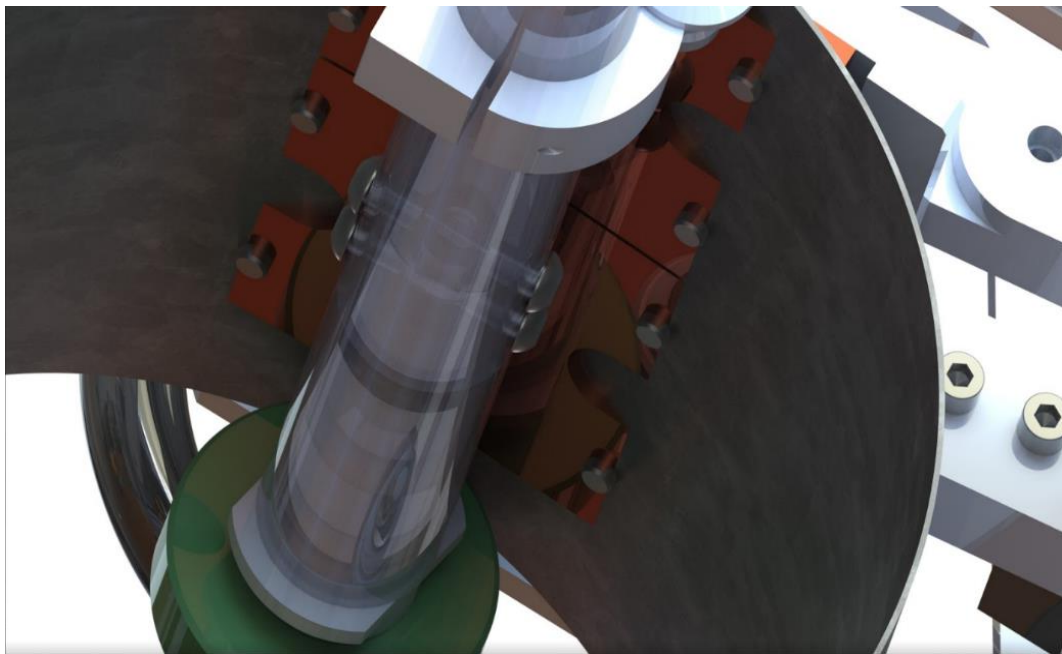


Figura 31. Vista interior del mecanismo de sujeción, donde se muestra el mandril, las mordazas y lámina rolada en preparación para la unión por soldadura.

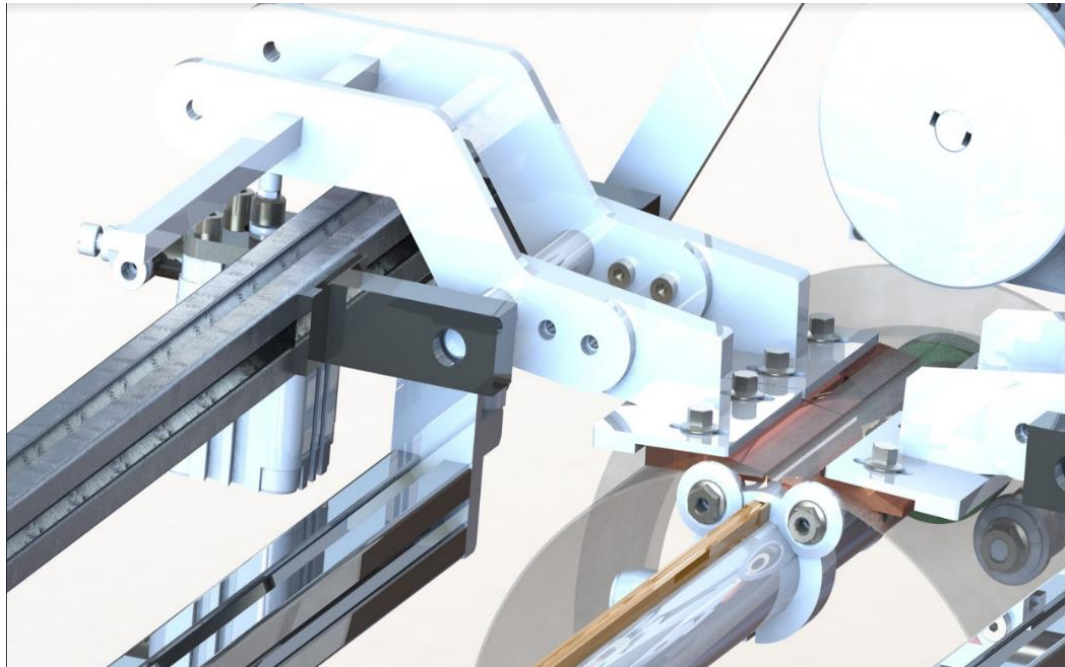


Figura 32. Render de brazos de apertura y cierre y posicionamiento de la tubería.

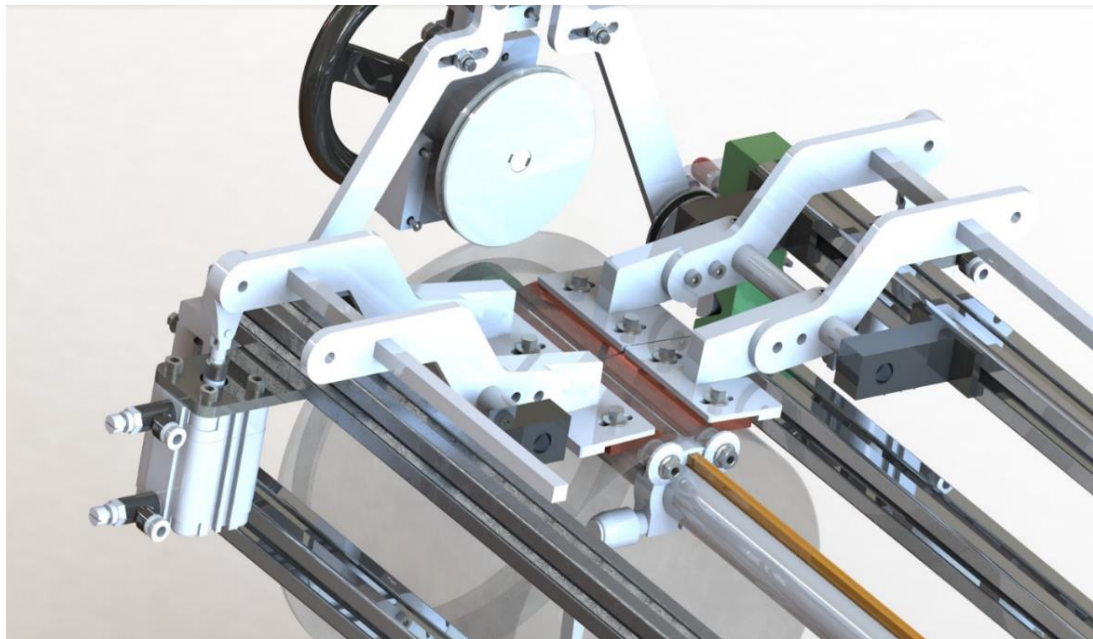


Figura 33. Detalle de los dedos de sujeción y centrado, así como del disco de arrastre para la brida, en la soldadura orbital.

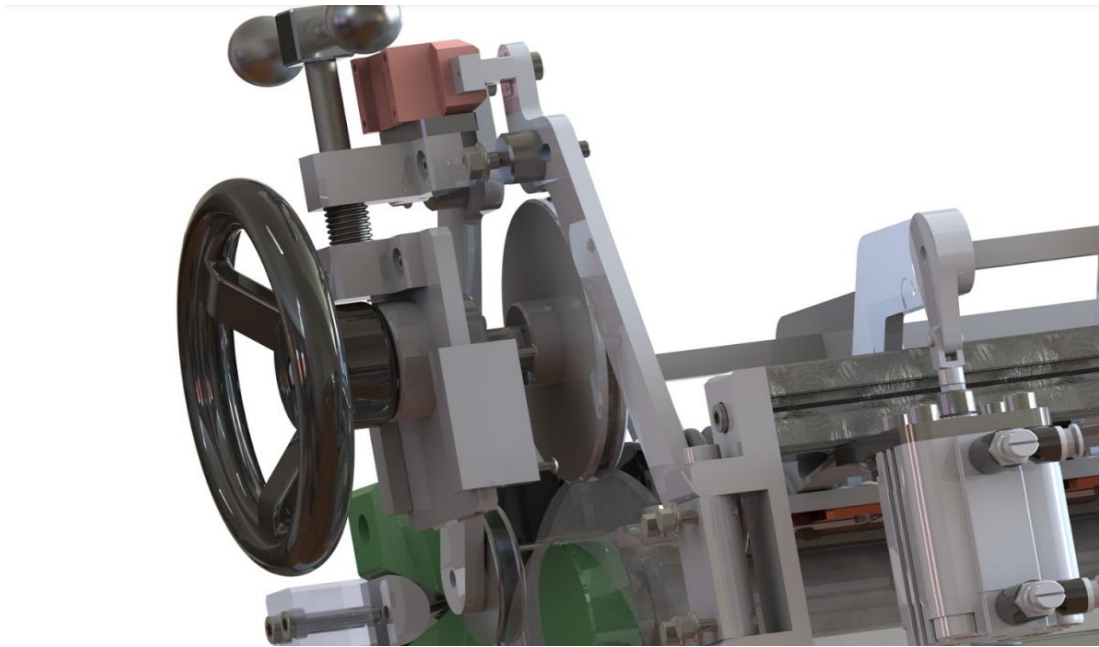


Figura 34. Detalle del sistema de arrastre y ajuste de presión para la soldadura orbital.

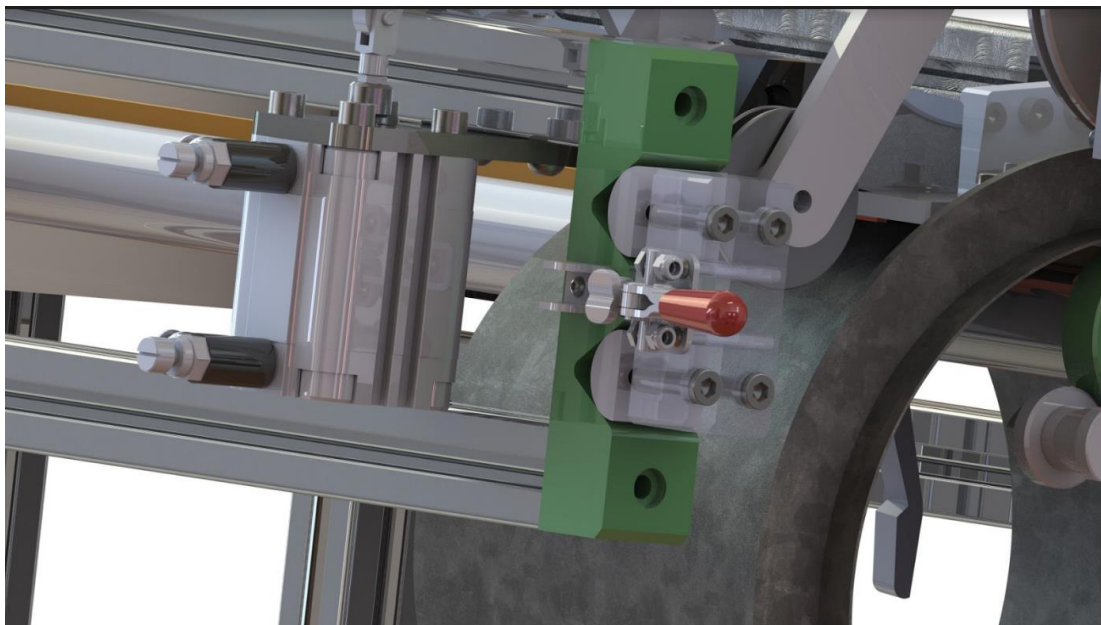


Figura 35. Sistema de cierre por palanca para la puerta bisagra del sistema orbital

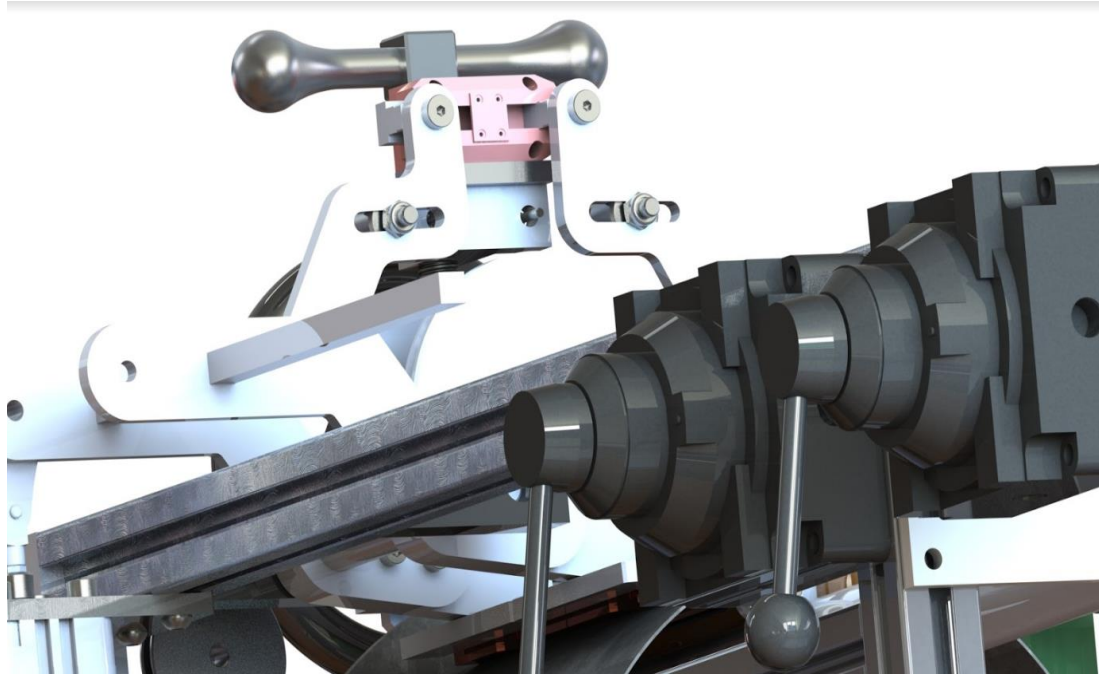


Figura 36. Render de palancas de accionamiento para actuadores neumáticos.

A partir de este diseño virtual y una vez cotejadas todas las restricciones de geometría, posición y configuración del ensamble en los componentes, se desarrolló el prototipo físico a una escala menor, que incluía todas opciones ya analizadas y que permitió cotejar el funcionamiento del sistema de manera real, con lo que se generó la retroalimentación de dimensiones y geometrías para hacer más eficientes los mecanismos.

Finalmente, y en presencia de los ingenieros encargados del proyecto por parte de la empresa que solicitó el diseño, se realizaron las pruebas de funcionamiento, usando el prototipo físico, el cual demostró la capacidad del diseño, en cuanto a sistema de sujeción para la tubería rolada y para el disco de brida, así como el accionamiento de rotación para la soldadura orbital. Resueltas las propuestas, el diseño fue aceptado por la empresa para desarrollar prototipos industriales que se pondrían a prueba y posteriormente a la venta. Las figuras 37, 38 y 39 muestran el prototipo físico terminado y listo para las pruebas mencionadas.

Como comentario adicional, el diseño presentado fue la base para que los ingenieros de la compañía Industrial pudieran desarrollar los planos de construcción del sistema, los cuales se han anexado en el apéndice al final de este trabajo de tesis (figuras 6 a 8).

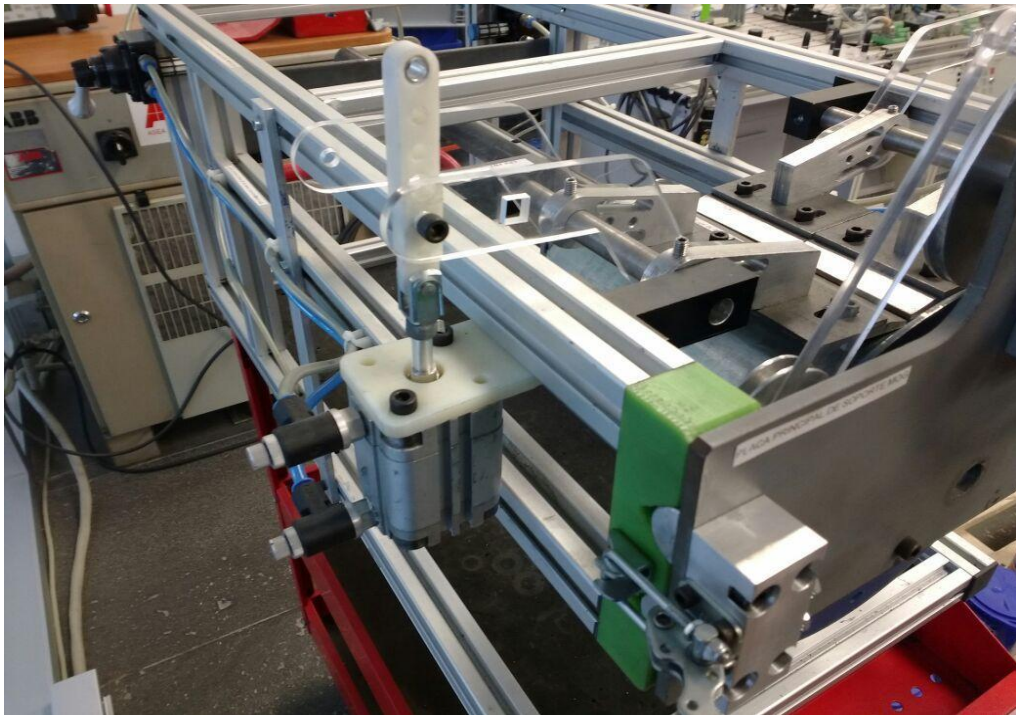


Figura 37. Se muestra el prototipo físico ensamblado del sistema para soldadura lineal y orbital

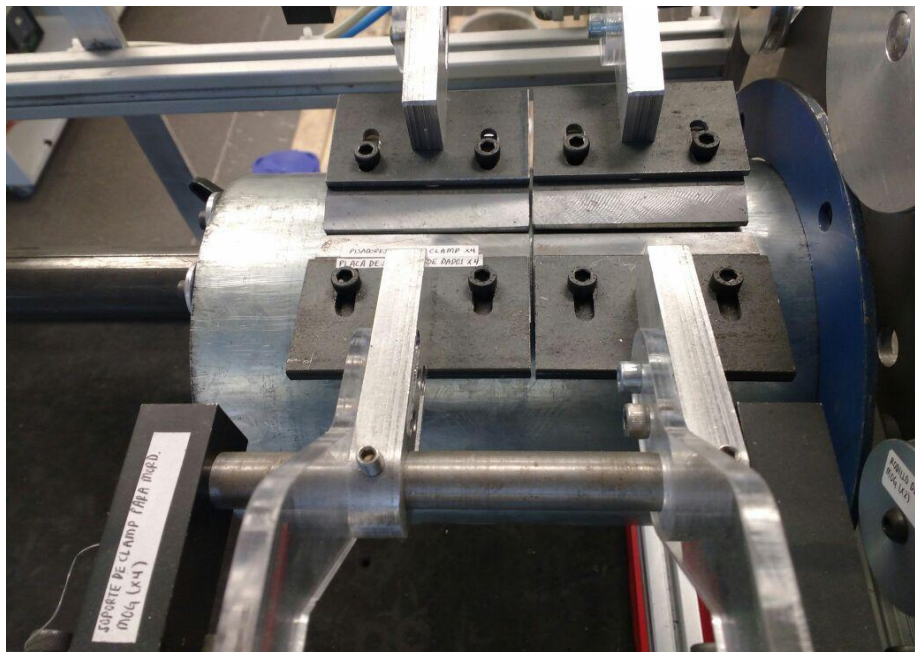


Figura 38. Se muestra el sistema de sujeción con las mordazas para la soldadura lineal

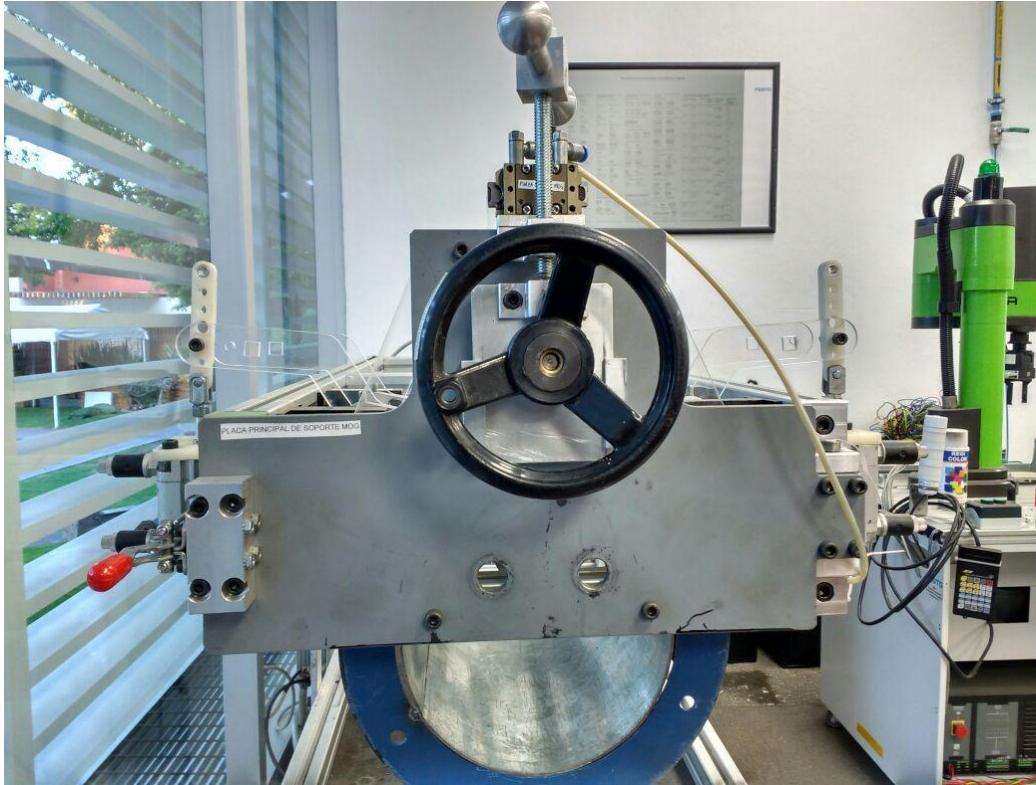


Figura 39. Se muestra el sistema de sujeción y arrastre para la soldadura orbital después de la elaboración de modelo físico.

5.0 Análisis de fiabilidad para componentes críticos.

Para el diseño de componentes, el criterio está basado en la resistencia y durabilidad que se espera de los mismos durante el tiempo de vida de la máquina, y con la finalidad de afinar un diseño robusto que cumpla con las expectativas de los clientes en cuanto a funcionalidad y bajo mantenimiento. Se debe tomar en consideración que muchas de las piezas que integran el sistema estarán sometidas a altas temperaturas debido a los procesos de unión por soldadura, la cual puede alcanzar rangos de 2200°C o incluso más, por lo que es muy importante la correcta selección de materiales que soporten temperatura, sean conductores eléctricos y no se deformen bajo carga.

Por otro lado, la presión de cierre que alcanzan las mordazas no representa un riesgo alto de deformación, sin embargo, nos debemos fijar en el diseño de las geometrías y secciones durante el diseño, para asegurar que a lo largo del tiempo no se requiera la sustitución constante de componentes.

También se hace necesario pensar en la intercambiabilidad de partes, la cual se debe realizar de manera rápida y con herramientas comunes. Por tal motivo, el ensamble de partes también entra como premisa importante en el diseño de componentes. Esto logra tiempos de paro cortos en la línea de producción por algún desperfecto en el sistema.

No se debe olvidar el criterio del diseño para manufactura, en el que se buscan bajos costo de producción al incluir componentes y materiales estándar que estén disponibles y se puedan conseguir fácilmente en la zona de la planta de manufactura.

Cualquier materia prima o componente que se traiga de otras regiones, incluso de importación, sumará un costo importante en la producción y se verá reflejado en el precio final del producto.

Bajo estas premisas, a continuación se explica, a manera de ejemplo, el diseño de algunas de las partes más importantes del sistema de sujeción lineal y rotacional. Se han seleccionado estas partes por ser de las más críticas en el diseño o deben soportar cargas o temperatura elevada.

5.1 Mordaza pisadora

Este componente es crítico (ver figuras 40 y 41), ya que tiene la función de sujeción para el tubo de lámina que se une por soldadura, por este motivo soporta cargas de compresión y gradientes de temperatura por la soldadura durante su proceso de trabajo y por este motivo se fabrica de cobre.

Al realizar un proceso de simulación para detectar el comportamiento del elemento bajo condiciones de desgaste o deformación por carga o temperatura, se encontró que el diseño geométrico fue el adecuado en cuanto a forma y espesores, considerando el tipo de material¹⁷ seleccionado. La importancia de este análisis radica en que el cobre suele ser un material muy dúctil y de poca tenacidad, por lo que es importante verificar el comportamiento, para asegurar la fiabilidad de cada uno de estos componentes y reducir los paros de máquina por mantenimiento o sustitución de estos.

En este análisis no se considera la placa de apoyo para la mordaza, por lo que los resultados que se esperan corresponden únicamente a la geometría de cada mordaza.

¹⁷ El cobre al berilio (CuBe), también conocido como berilio cobre, bronce de berilio y cobre de muelles, es una aleación de cobre con 0,5-3% de berilio, y en ocasiones con otros elementos. Combina una alta resistencia con cualidades no magnéticas, y no generara chispas. Tiene excelentes propiedades metalúrgicas para su conformado y mecanizado. Tiene buena conductividad térmica (62 Btu/ft-deg. FH), de tres a cinco veces más que el acero para herramientas.

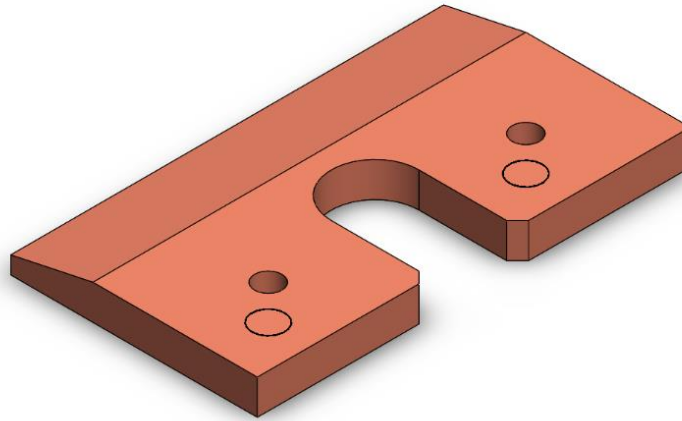


Figura 40. Geometría de la mordaza pisadora

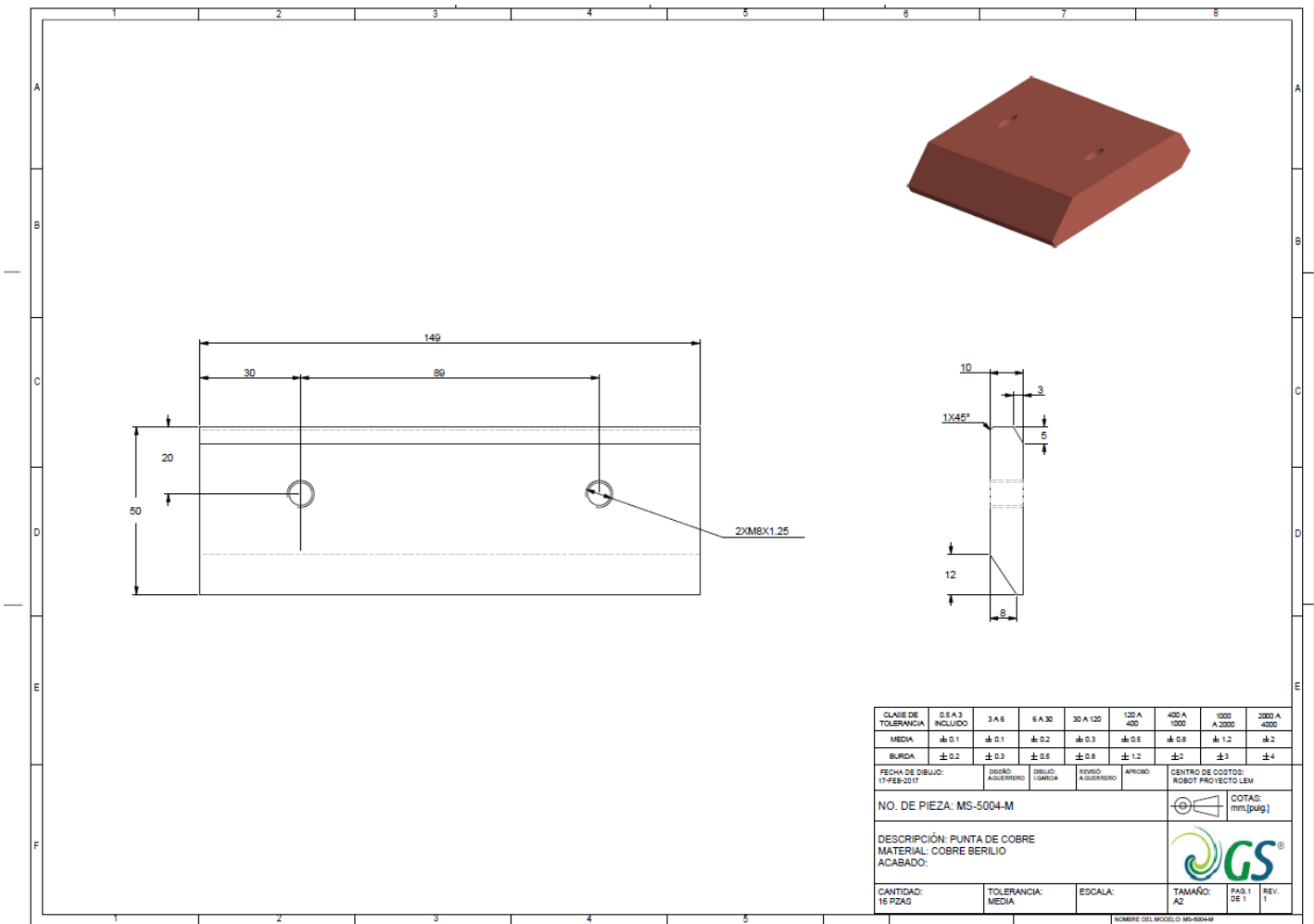


Figura 41. Plano de fabricación mordaza pisadora (cortesía de GreenSpare)

Para la simulación estática de este componente se tienen que definir, en primer lugar, las cargas, considerando los puntos de contacto al aplicar la fuerza. Para tal efecto se toma la consideración de dejar un sistema de fuerzas fijo y uno móvil con la finalidad de conocer el comportamiento de los esfuerzos sobre la sección. Posteriormente se realiza el mallado cerrado, para tener una mayor precisión al puntualizar las cargas sobre todas las secciones del componente (figura 42). Se aplica la simulación con la finalidad de identificar cuál es el comportamiento bajo carga de compresión/tensión del componente cuando se aplica la carga de cierre sobre la lámina al momento de realizar la sujeción.

Lo anterior permite gestionar una solución analizando el comportamiento de la placa mediante la herramienta de simulación del software de Solid Works. Los resultados obtenidos representan el estudio de esfuerzos para resistencia de Von Mises¹⁸, así como de desplazamiento por deformación en milímetros y para la deformación unitaria estática¹⁹ (ver figuras 42, 43, 44 y 45). El análisis realizado para la simulación de carga muestra qué sucede con el componente y si los criterios de diseño han resultado ser los correctos o se compromete el elemento. En el caso de que el elemento resultara comprometido implicaría en un análisis y rediseño de la geometría o cambio de secciones, ya que como se mencionó anteriormente no es posible pensar en cambiar el material.

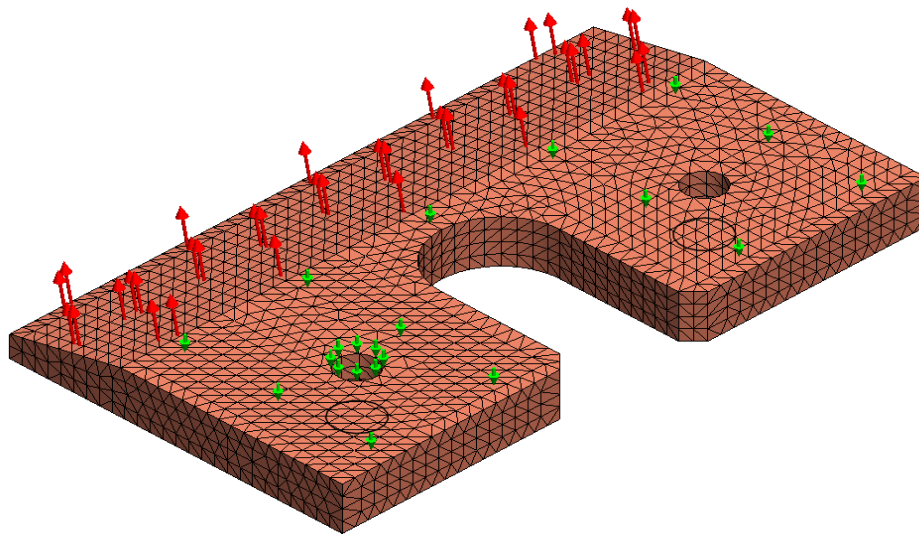
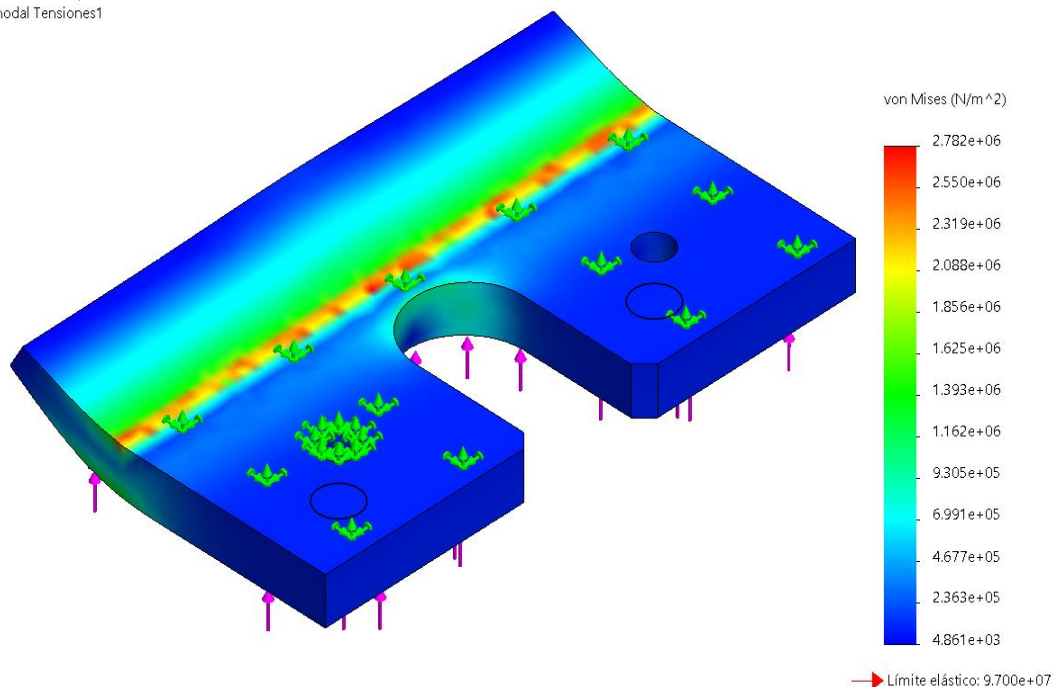


Figura 42. Se muestra el sentido de aplicación de fuerzas y el mallado para la simulación

¹⁸ La **tensión de Von Mises** es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles.

¹⁹ La **deformación unitaria** se define como el cambio de dimensión por unidad de longitud. El esfuerzo suele expresarse en pascales (pa) o en psi (libras por pulgadas cuadradas, por sus siglas en inglés). La deformación unitaria no tiene dimensiones y con frecuencia se expresa en pulg/pulg o en cm/cm.

Nombre del modelo: PISADORES DE COBRE CLAMP MOG
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 13,830.3



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Figura 43. Se muestra la solución de los esfuerzos para Von Mises

De los cálculos realizados en la sección dos para el sistema de aplicación de carga a través de un actuador neumático, se tiene que la carga máxima de cierre sobre el sistema es de aproximadamente 300 N para cada una de las mordazas acopladas, por lo que para la simulación que se muestra en la figura 44, se aplicó con este valor. De la misma figura se puede ver que el resultado indica que para que el elemento pueda llegar al punto de pequeñas deformaciones se requieren al menos 2 KN, y para sufrir deformación permanente, cercano a 3 KN, por lo que para el valor de carga que se aplicará durante el proceso de operación sobre cada placa, no afecta la funcionalidad a largo tiempo.

Una manera de comprobar estos valores es verificando el valor de límite elástico que nos arroja el proceso de simulación el cual, como se puede ver, está cercano a los 9 KN, lo cual valida el modelo.

Con respecto al desplazamiento estático por deformación (figura 44), para 400 N prácticamente no existe un corrimiento significativo dados los valores arrojados en este estudio y solo se vislumbran muy pequeñas deformaciones con la carga más alta de 2.8 KN, donde se tiene un desplazamiento de 0.05 mm. Con este resultado, es evidente que

la placa no sufrirá deformación debido a que la carga máxima calculada durante la operación de la máquina, que como ya se mencionó, es de 300 N como máximo. Para la deformación unitaria (figura 45), se tienen valores muy bajos por los 0.004 mm, y que permiten validar que el elemento en cuestión no sufrirá cambios geométricos a lo largo de toda su masa.

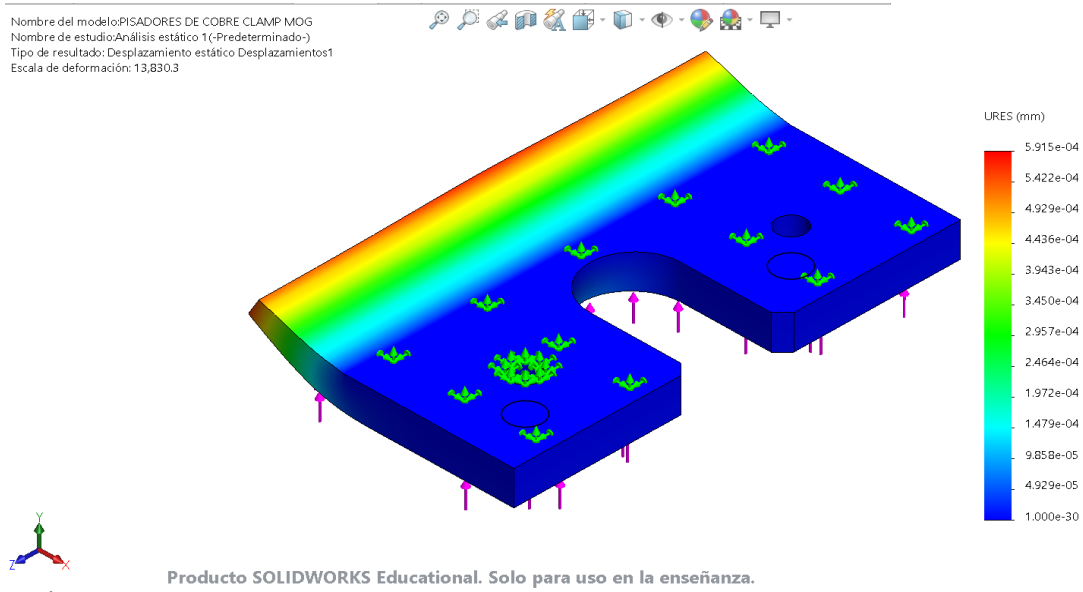


Figura 44. Deformación estática sobre la mordaza

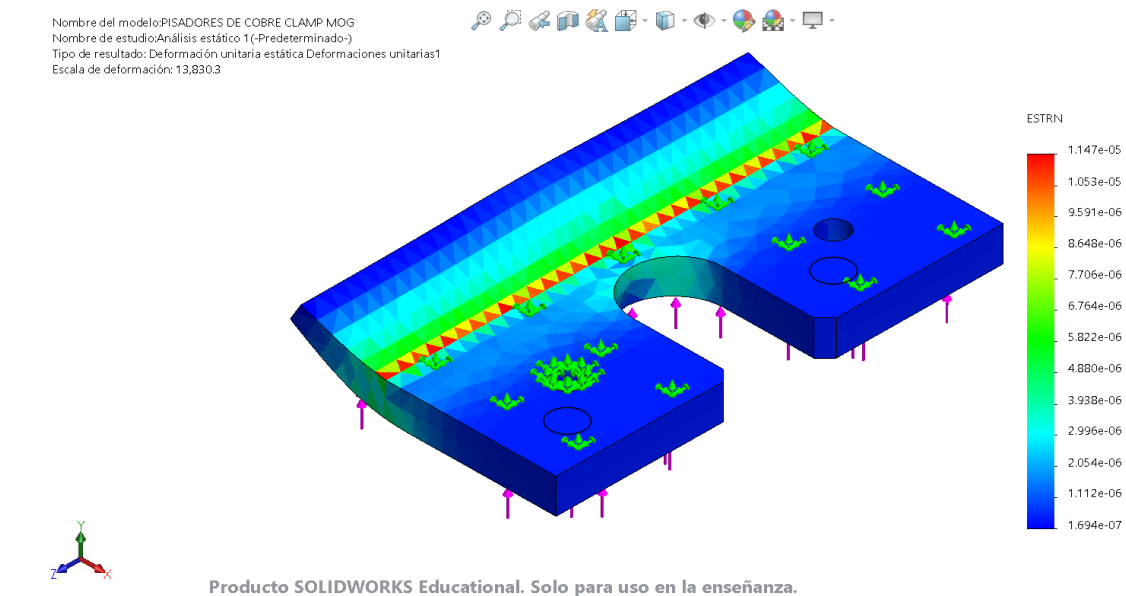


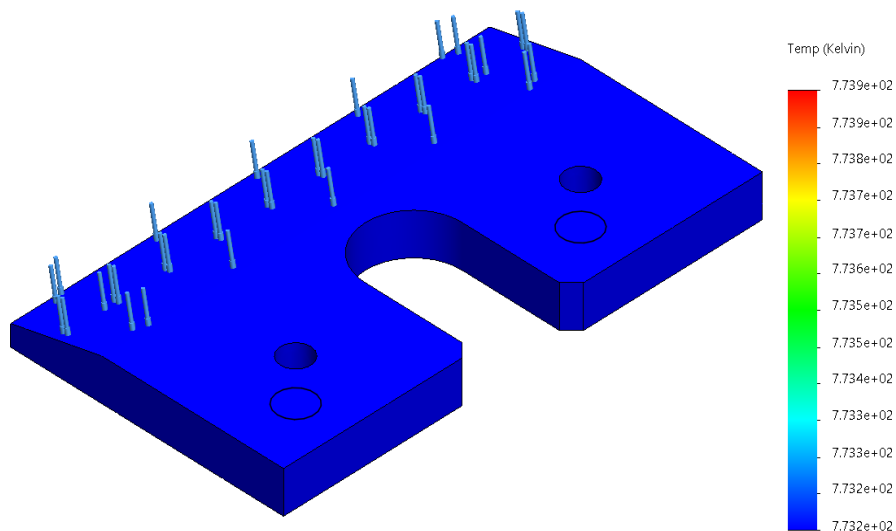
Figura 45. Deformación unitaria estática que sufre la mordaza de pisado

Como se comentó, esta parte de la máquina también debe soportar cargas de temperatura de manera adicional a los esfuerzos aplicados mecánicamente, esto como resultado de la aplicación del proceso de soldadura sobre los elementos que sujeta.

Particularmente, la aleación cobre-berilio es un material apto para soportar grandes gradientes de calentamiento y enfriamiento, esto es debido a que mecánicamente la liga metálica de la aleación es muy buena, generando gran tenacidad y alcanzando dureza de hasta 250 Rockwell B. También presenta muy buena conductividad y disipación térmica y así como muy baja resistencia eléctrica de 2.5×10^{-6} ohm-cm. Ver más características de este material en la tabla 5 en apéndice.

Para verificar el comportamiento térmico se realizó una simulación, obteniendo los siguientes resultados en el comportamiento del material. Con temperaturas de 773 °K (500°C) no existen valores de deformación sobre la geometría de diseño más delgada en la mordaza. Esta parte es la más próxima al proceso de soldadura y dónde se aplica el arco de fusión para la unión de lámina. Los resultados se presentan en la figura 46. Como se puede ver, no hay un impacto térmico importante sobre la pieza y de manera muy particular en la geometría tipo cuña, la cual se esperaba podría fallar por ser la sección más delgada expuesta al calor. Cabe indicar que el mandril de soporte es un elemento refrigerado con agua, lo cual no permite la elevación de temperatura por arriba de 343°K (70° C) en el proceso durante la aplicación de la soldadura.

Nombre del modelo: PISADORES DE COBRE CLAMP MOG
Nombre de estudio: Térmico 1 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Térmico Térmico1
Paso de tiempo: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Figura 46. Estudio térmico para la placa de pisado

5.2 Palanca de aplicación de carga.

Este elemento mecánico es el que activa el movimiento a través de un perno rotativo y genera la aplicación de carga sobre el soporte-base de la placa de pisado (ver imagen 4). En este sentido la aplicación de carga que genera, desarrolla sobre la sección de su geometría un momento de torsión por la acción de la fuerza de carga y la de empuje.

La parte fue concebida utilizando un acero dúctil de bajo contenido de carbono de una placa de acero 1018, con espesor de 0.250", con la idea de trabajar con piezas de bajo peso y fácil fabricación por el tema de diseño para manufactura y es precisamente por esto que se sometió a un estudio de esfuerzos para saber cuál sería su comportamiento durante la operación del mecanismo. Nuevamente el estudio se centra en ver la relación de Von Mises para los esfuerzos que soporta con una carga de 300N y cómo se distribuyen sobre la geometría las tensiones de las fuerzas (figura 48).

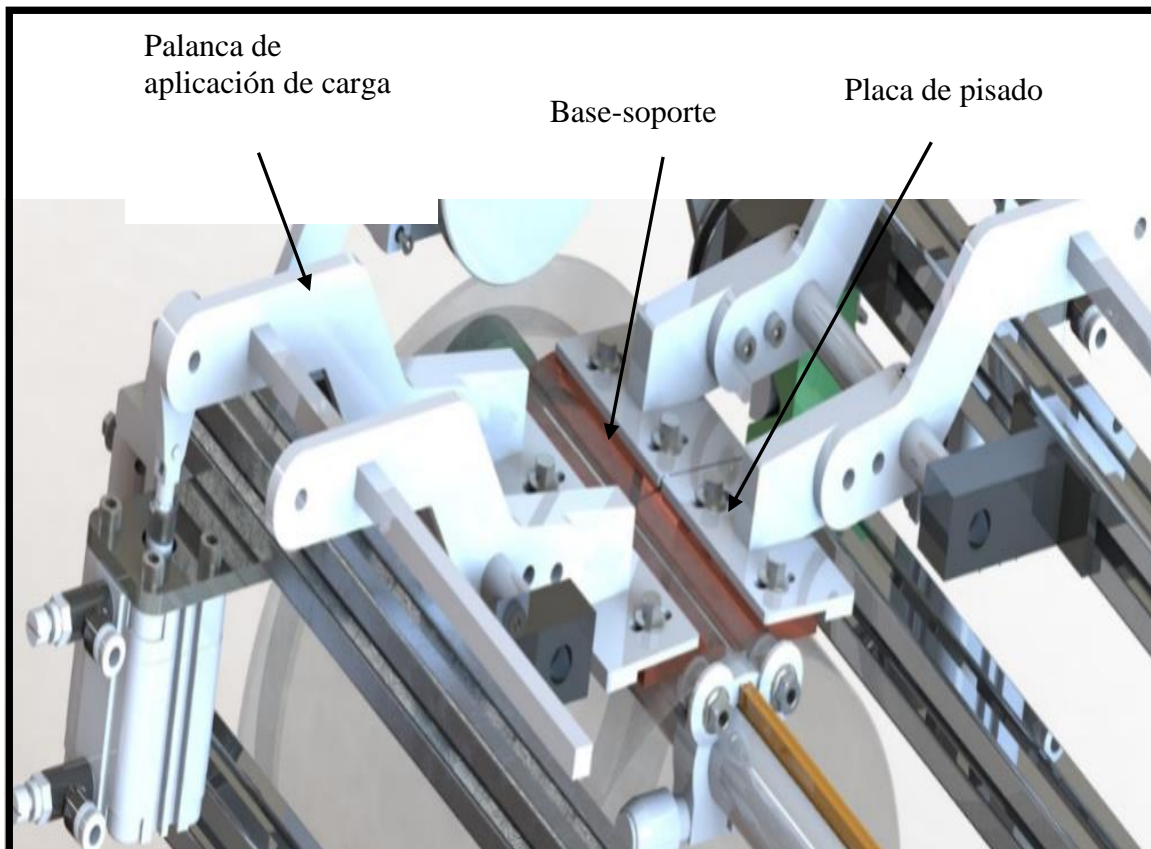


Figura 47. Esquema de ensamblaje para el mecanismo de sujeción

Al mismo tiempo se estudia la relación del desplazamiento estático con respecto a la deformación producida (figura 48). Estos resultados nos indicarán si la geometría y espesores son correctos para el material seleccionado y, en caso de exceder los parámetros, realizar un estudio de toma de decisión para determinar cuál de los parámetros antes mencionados es más conveniente cambiar en el diseño.

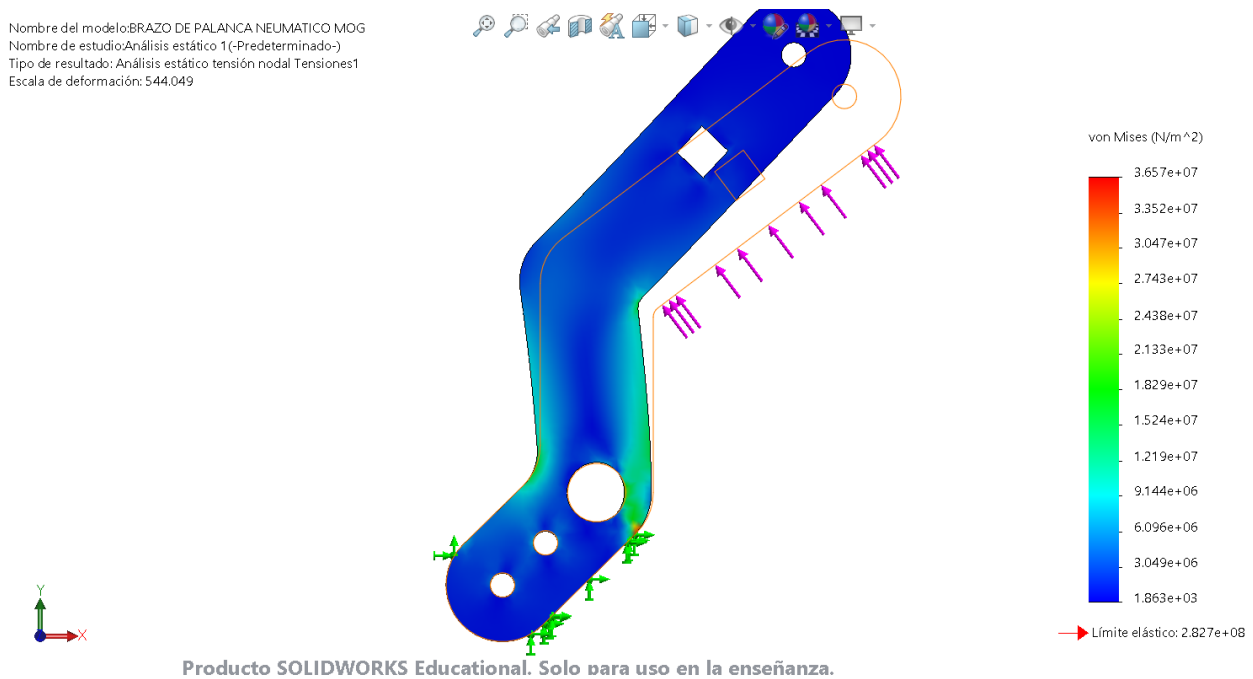


Figura 48. Análisis de tensión nodal en la que se muestra la distribución de carga.

De la figura anterior se observa que, debido a la aplicación de la carga, hay concentración de esfuerzos en los radios del entalle, pero estos quedan dentro de los límites establecidos para la geometría. Los resultados indican que por debajo de cargas de 600N no existe ninguna influencia importante de los esfuerzos sobre la sección o geometría de diseño. Por otro lado, al analizar el sistema encontramos que hay cargas repetidas debidas al cierre y apertura de mordazas por lo cual, esta concentración de esfuerzos a lo largo del tiempo de trabajo podría ocasionar fatiga mecánica debida a esfuerzos repetidos, provocando una grieta y la subsecuente falla por ruptura. La solución más simple es la de incrementar el valor de los radios de entalle y aumentar la sección en la zona del agujero para el perno de pivote.

Como se puede ver en la figura 49, el estudio de deformación arroja valores muy similares a los de los esfuerzos, todos por debajo de deformaciones críticas por efecto de la carga, pero en este caso el análisis se realiza con respecto a la relación del espesor del material propuesto y la longitud de la palanca. Como en el caso anterior de esfuerzos, lo recomendable es aplicar el criterio de mejora en el incremento de los radios de entalle e incrementar el espesor de la sección para el material.

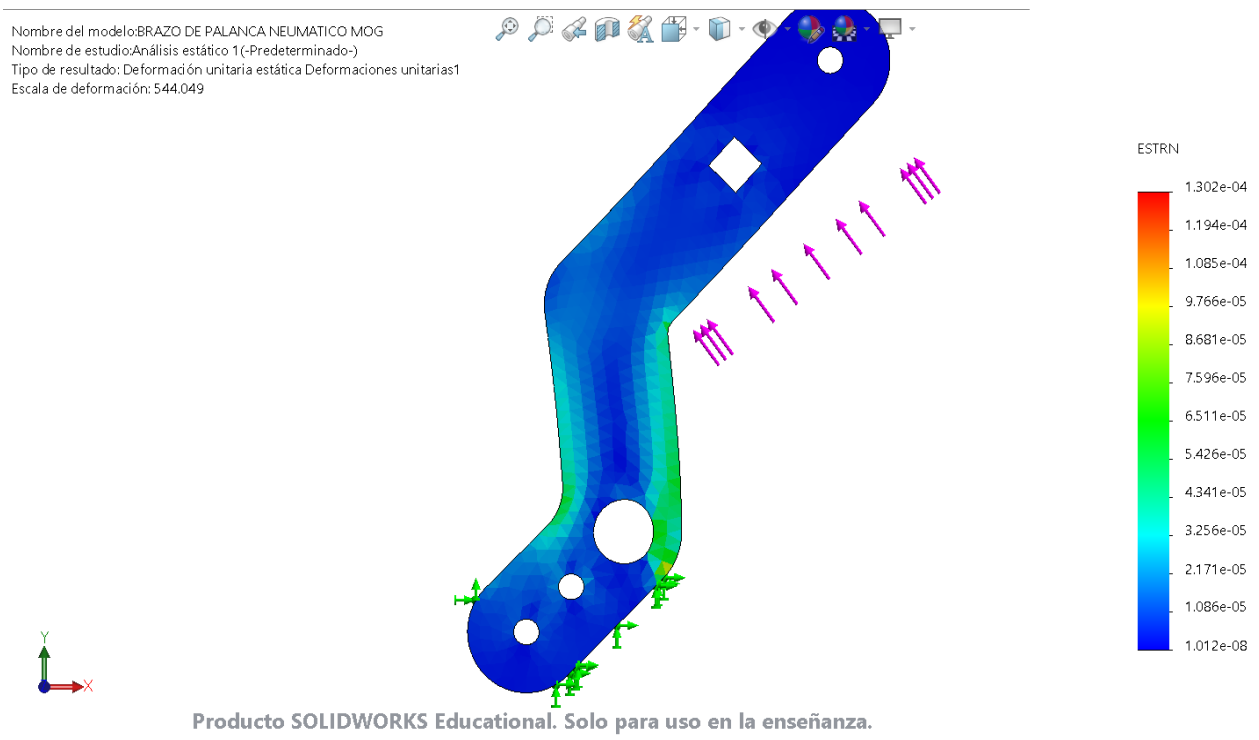


Figura 49. Estudio de deformación unitaria sobre la palanca de aplicación de fuerza.

5.3 Dedo de ajuste para brida.

El siguiente elemento mecánico que se analiza es parte del sistema para la soldadura orbital de la brida de unión en la tubería. Este componente tiene la función de realizar el ajuste de presión para posicionar el aro para la brida (imagen 5) durante el proceso de soldadura.

Mantiene la alineación de la brida durante el giro del motor de avance y absorbe las irregularidades de centralidad entre el tubo y el diámetro de aro, lo cual genera fluctuaciones de carga sobre el mismo durante la operación de soldadura. Por su geometría (figura 33) tan alargada y el ojal de corrimiento fue necesario realizar una simulación de comportamiento bajo esfuerzos y posibles deformaciones.

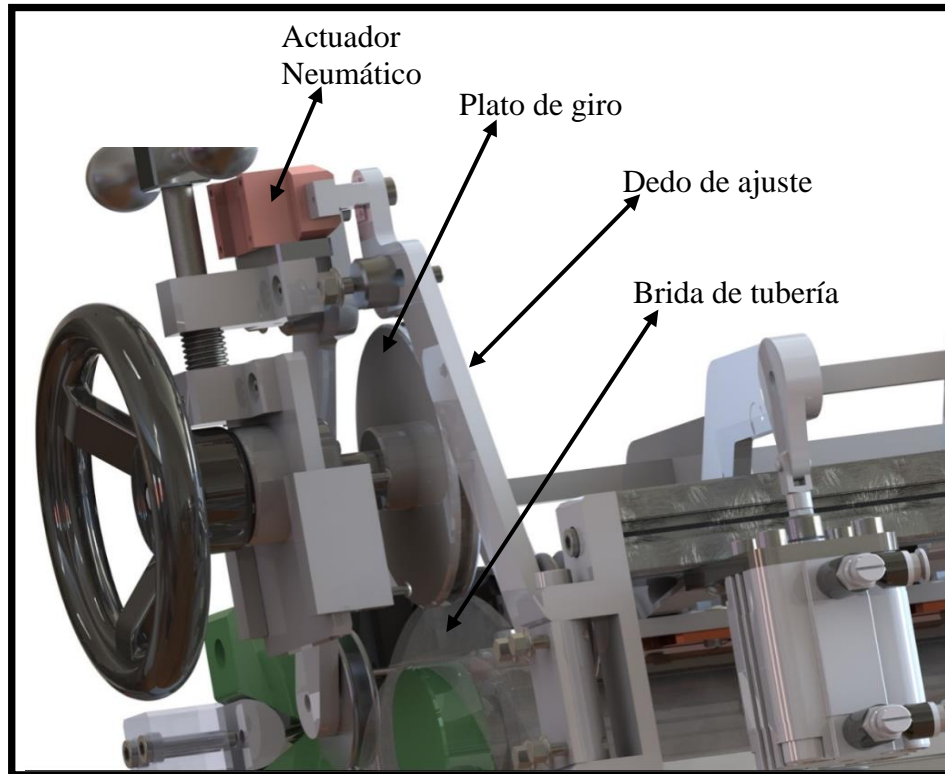
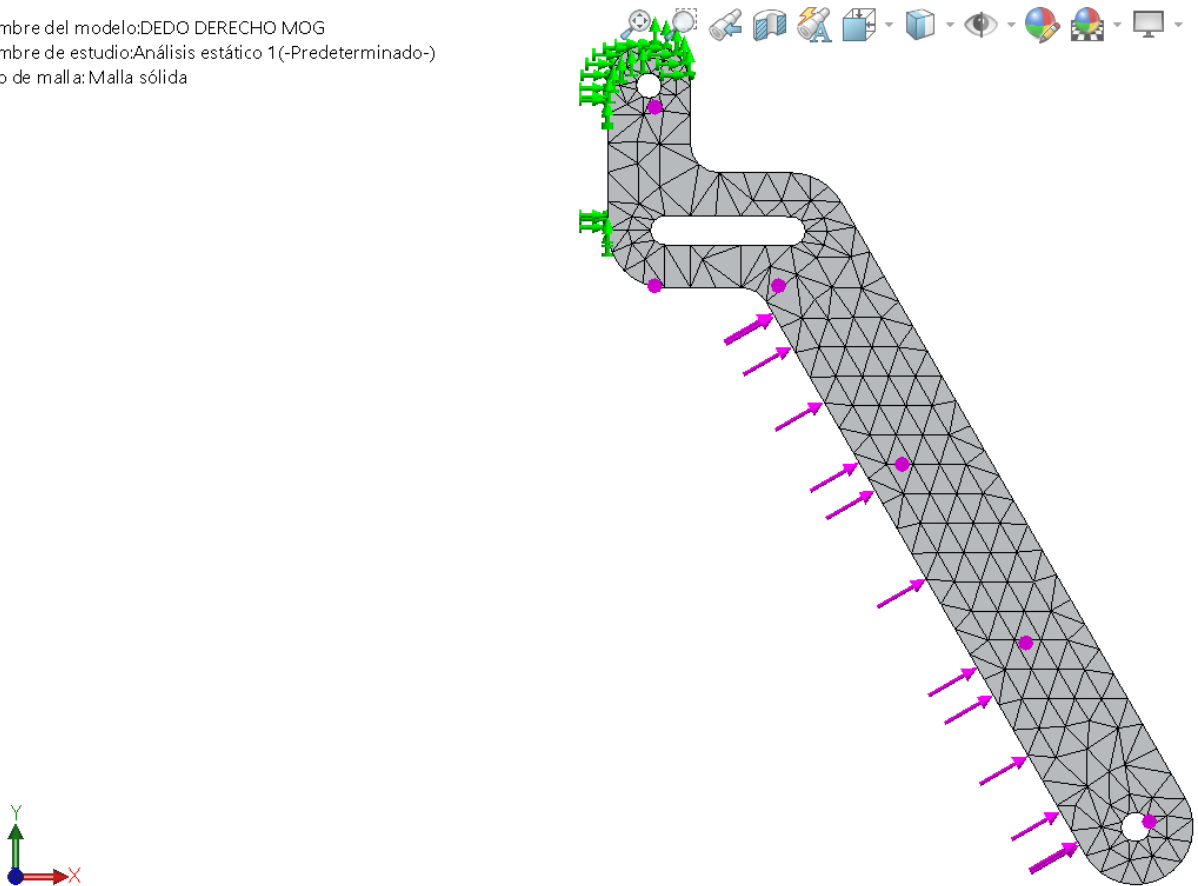


Figura 50. Ensamble del sistema avance orbital

Como se puede ver en la figura 50, el dedo de ajuste tiene un pivote en forma de ojal que soporta cargas de tensión tanto en la parte superior como inferior en sentido opuesto al aplicar presión sobre el disco circular de la brida, por lo que en la simulación estática para esfuerzos se analiza el comportamiento de esta sección para determinar si la geometría de diseño es adecuada para el espesor y sección transversal. Para esto se ha considerado un acero 1018 en forma de placa, con 10 mm de espesor. Se propone que este elemento sea fabricado mediante un proceso de corte con agua. La carga máxima considerada que aplica el actuador es de 300 N y este valor es el que se emplea para correr la simulación. Como estimación adicional se considera que la parte más larga de este elemento puede llegar casi hasta los 300 mm, y genera un momento de 90 N-m, (figura 51).

Después de realizar la simulación los resultados muestran moderada concentración de esfuerzos en la sección de interés, sin embargo, al tomar decisiones sobre este diseño se emplea el criterio de modificar las secciones por ambos extremos del ojal para dar un mayor soporte y evitar daños o fallas futuras en el componente.

Nombre del modelo: DEDO DERECHO MOG
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Figura 51. Mallado para la simulación de cargas y la acción de las fuerzas sobre el dedo de ajuste.

Después de realizar la simulación, los resultados muestran moderada concentración de esfuerzos en la sección de interés, sin embargo, al tomar decisiones sobre este diseño se toma el criterio de modificar las secciones por ambos extremos del ojal para dar un mayor soporte y evitar daños o fallas futuras en el componente.

El análisis también permite ver que, aunque en la sección descrita no se genera un cambio significativo de deformación (figura 51) cualquier pequeño cambio sobre esta sección ocasionaría un desplazamiento significativo en el ángulo de aplicación de fuerza (ver figura 52), lo cual limita la aplicación de carga sobre el disco de la brida, ocasionando defectos en el centrado y la posición de arrastre en el mecanismo de avance para la soldadura.

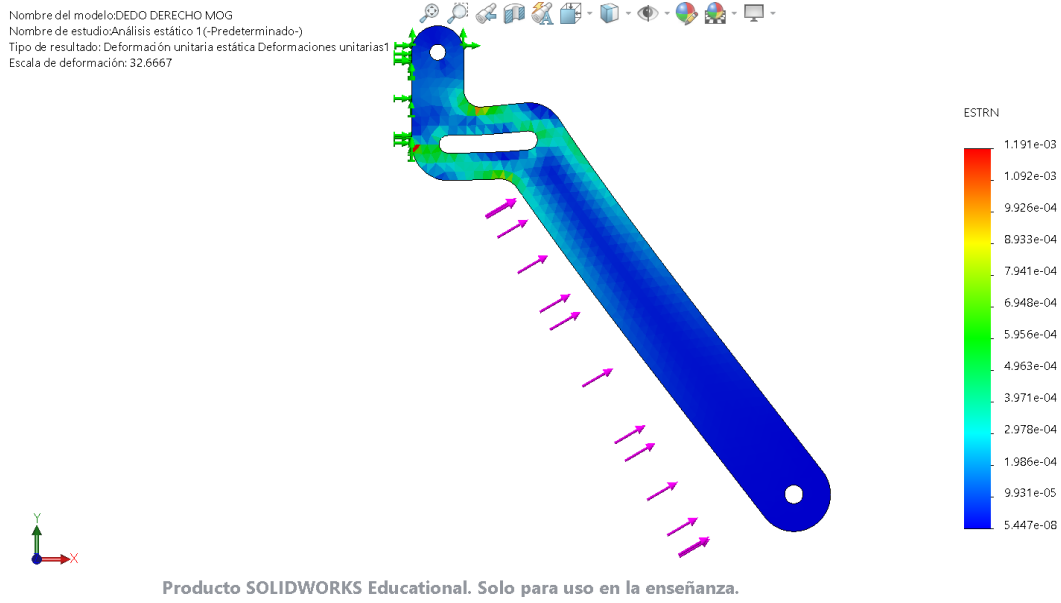


Figura 52. Se muestra el efecto de la deformación sobre el dedo de ajuste para el sistema orbital.

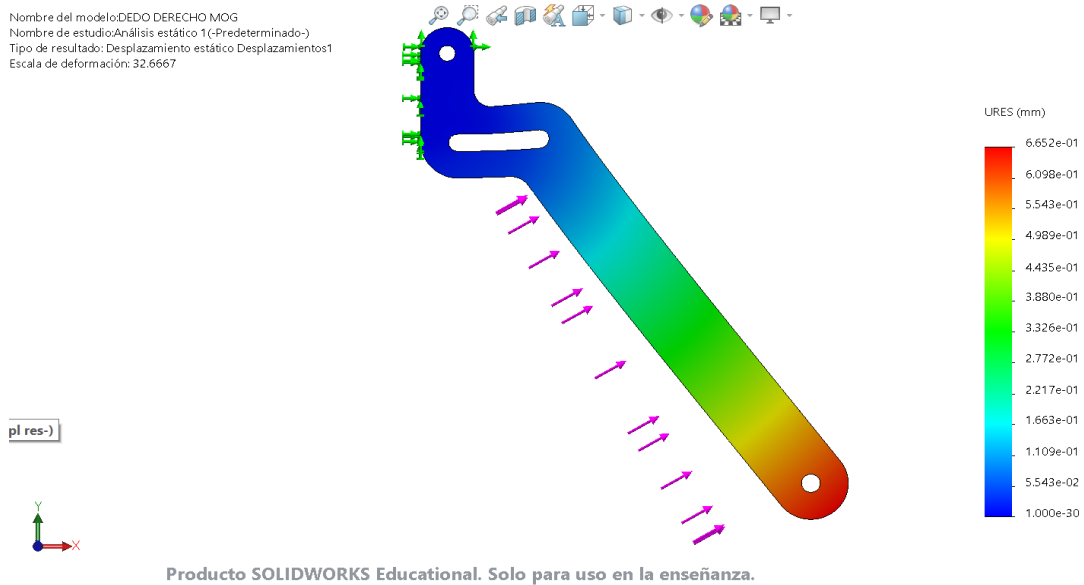


Figura 53. Desplazamiento en el ángulo de aplicación de carga, por defecto de la sección en la parte media del diseño para el ojal de corrimiento

Adicionalmente, en las siguientes tablas 8 y 9, se presenta a manera de ejemplo algunas otras partes mecánicas que se diseñaron como complemento de los mecanismos que integran la máquina; estos, por obvias razones de función y resistencia, no se analizaron mediante prueba estática.

PIEZA	NOMBRE DEL ACCESORIO
	CONECTOR CLAMP MOG
	TUERCA DE CLAMP MOG
	PERNO ROSCADO MOG
	ACTUADOR MOG
	BARRA DE EMPUJE PARA CLAMP MOG
	BISAGRA DE PALANCA DE SUJECIÓN MOG
	BISAGRA MOG
	BRAZO DE PALANCA NEUMÁTICO MOG
	BRIDA DE SUJECIÓN DE TUBO BASE MOG

Tabla 8. Partes mecánicas usadas para diferentes sistemas en la máquina de soldadura lineal y orbital diseñadas en SolidWorks.

Tabla 9. Continuación de partes mecánicas usadas para diferentes sistemas en la máquina de soldadura lineal y orbital diseñadas en SolidWorks.

PIEZA	NOMBRE DEL ACCESORIO
	BUJE DE DESLIZAMIENTO DEDO MOG
	BUJE DE RODAMIENTOS PLACA MOG
	BUJE DE SEPARACION DE RODAMIENTOS MOG
	COLLARIN MOG
	CONTRA DE CENTRADO PLACA MOG
	CONTRA MACHO PLACA MOG
	COPLA DE BRAZO CLAMP MOG
	CUADRADO GUÍA DE MORDAZAS MOG

El resultado final del proceso de diseño fue avalado y aprobado por el departamento de ingeniería de la empresa y se pidió desarrollar y manufacturar algunos elementos de la máquina para desarrollar un prototipo funcional a escala real. Los elementos fabricados fueron la placa soporte para la mordaza, la mordaza de cobre y el mandril cilíndrico para soporte del tubo rolado, además de la barra inserto de cobre mostrada en el diseño de la figura 55. Las figuras 55, 57 y 59 presentan planos de fabricación y las figuras 56, 58 y 60, los productos manufacturados terminados.

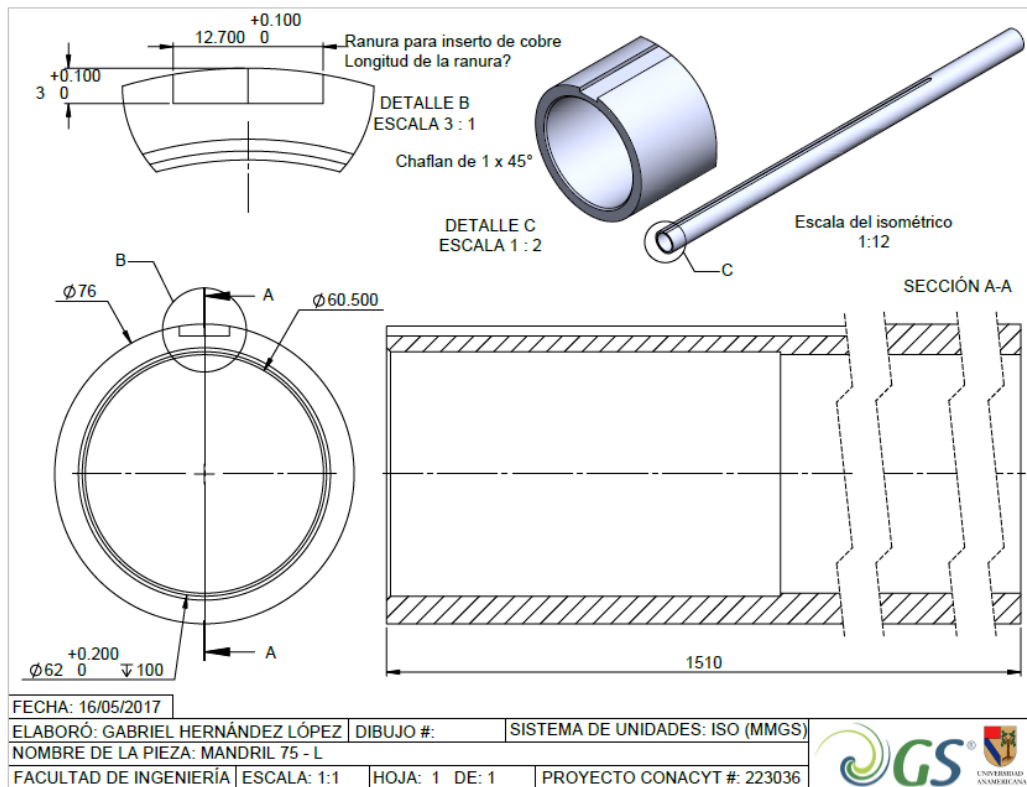
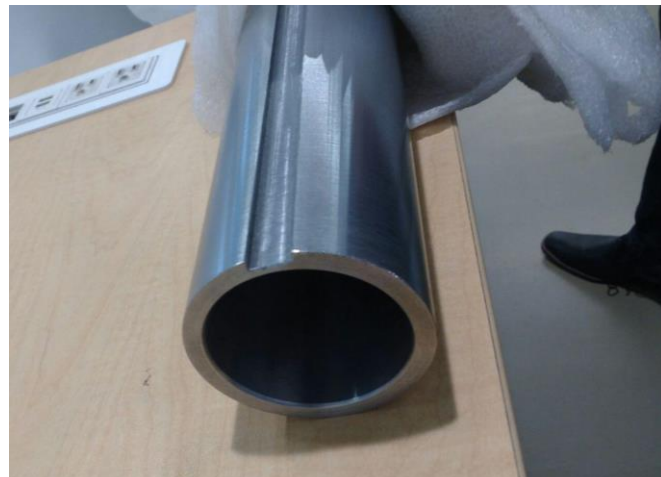


Figura 55. Plano de fabricación del mandril para soporte de tubo

Figura 56. Se muestra el mandril fabricado en acero 1045, con longitud de 1510 mm.



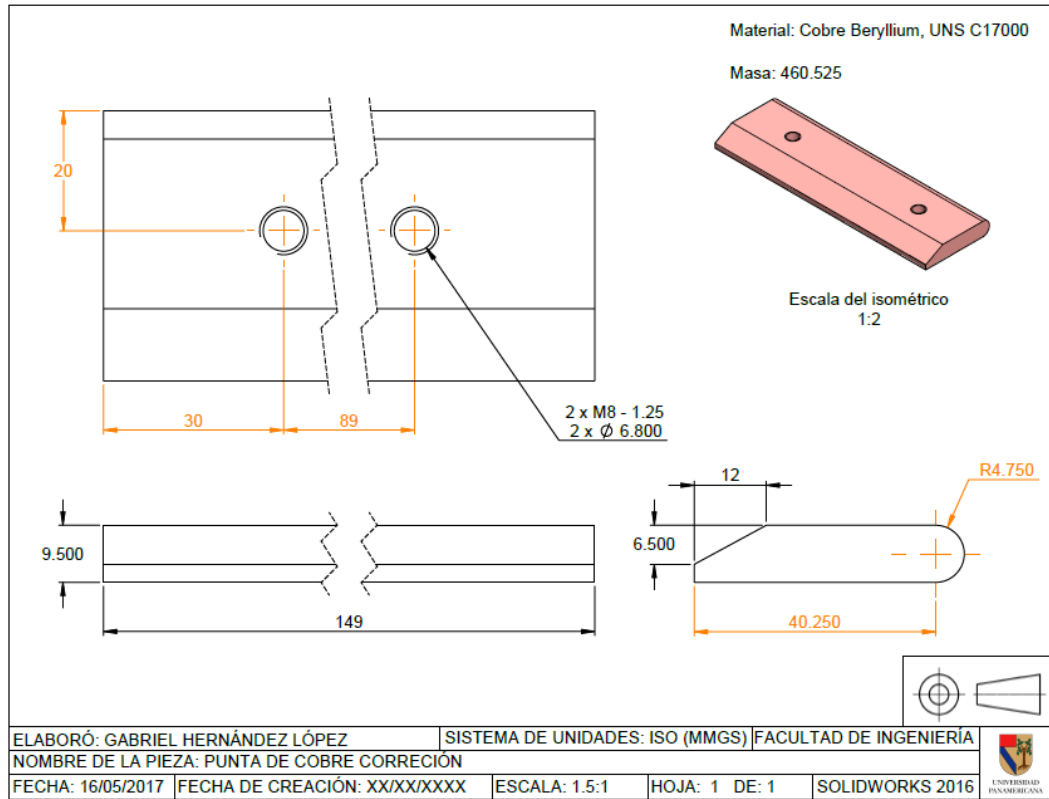


Figura 57. Plano de fabricación de la punta de cobre para una de las mordazas.

Figura 58. Punta fabricada en cobre Berilio con longitud de 149 mm.



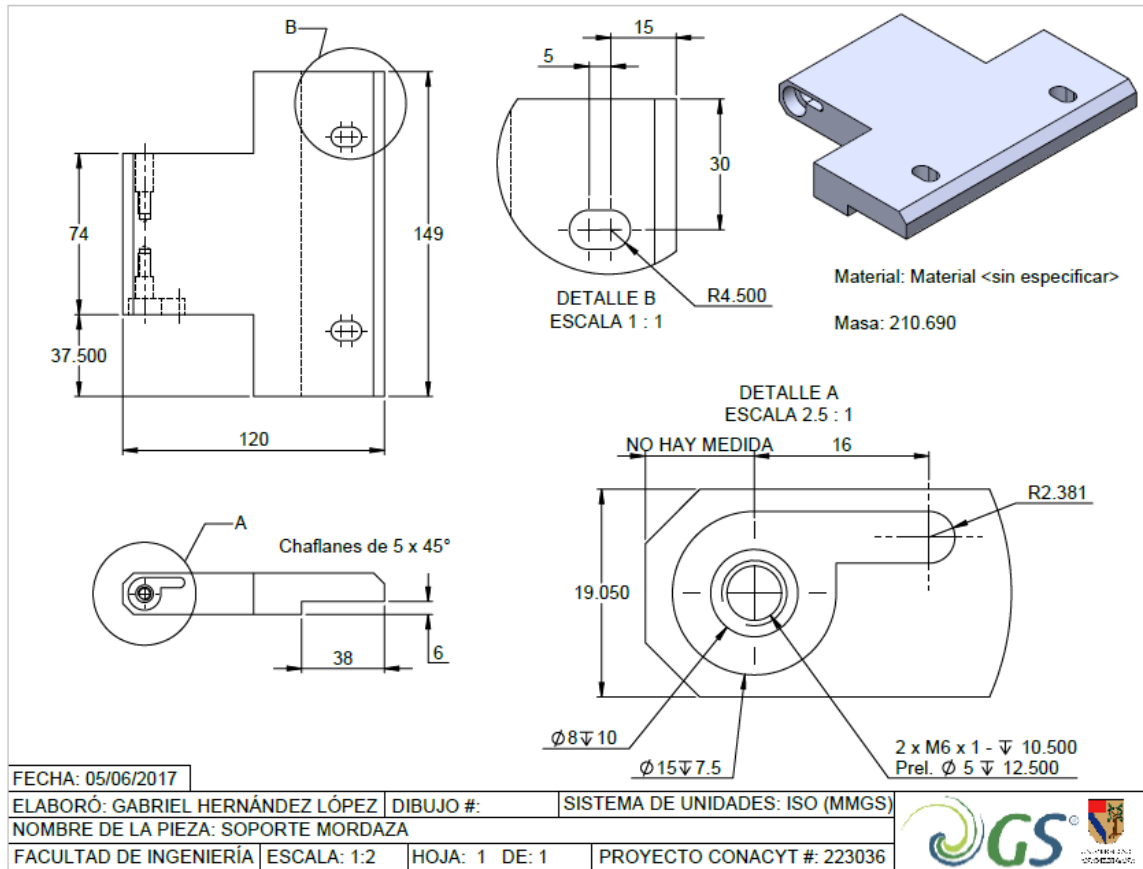
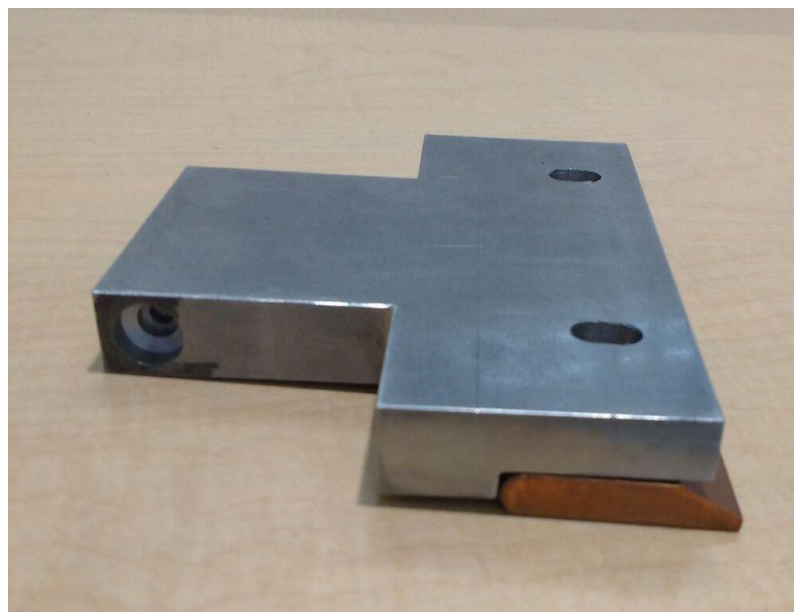


Figura 59. Plano de fabricación para el soporte de mordaza.

Figura 60. Soporte de mordaza
Manufacturado en acero 1040
acoplado a la punta de cobre.



6.0 Resultados.

El análisis de resultados sobre la propuesta de diseño para el sistema de sujeción permite la verificación y cumplimiento de los objetivos propuestos al inicio de este documento.

Los resultados de cómo los sistemas diseñados resuelven las necesidades expresadas por la empresa industrial, sobre la implementación de un sistema semiautomático para una máquina de soldadura de ductos con vistas a mejorar el proceso y características operativas del mismo, se enuncian a continuación:

1. Desarrollo de un sistema de sujeción para aplicación de soldadura lineal sobre ductos rolados de lámina de bajo calibre.
2. Diseño de un sistema de sujeción con dedos articulados a través de un mecanismo con sistema de rodillos que permitirá la rotación del tubo
3. Construcción de un prototipo funcional para armar ductos rectos de lámina en calibres 18 a 10, generando una disminución en los costos de fabricación.
4. Beneficio en la seguridad personal para los trabajadores
5. Mejora de las características de calidad de los productos soldados
6. Disminuir el tiempo de producción de los tramos de ductos rectos de acero
7. Generación de al menos una nueva patente y marca.

Al margen de estas necesidades, los resultados se desglosan para una mejor identificación de las soluciones aportadas por el diseño.

6.1 - Desarrollo del sistema de sujeción para soldadura lineal.

La solución presentada después del análisis de sistemas y mecanismos que se adapten al proceso cumple con las características buscadas por la empresa. Es un sistema de construcción simple y con la capacidad de aportar las características de sujeción óptimas a lo largo de la tubería, aplicando los rangos de fuerza de prensado y soporte de temperatura. Ver imagen 9.

En la tabla 12 se presenta el resumen de las características técnicas y de operación del sistema.

No Parte	Descripción	Característica técnica
1	Actuador lineal ADVUL-32-25-PA	Diámetro embolo 32 mm Carrera 25 mm Fuerza (6 bar) – 483 N Construcción: Aluminio/acero
2	Barra de columpio	Acero 1020 Espesor 6 mm
3	Soporte de base	Acero 1020 Espesor 10 mm
4	Placa base	Acero 1020 Espesor 10 mm
5	Mordaza	Cobre Berilio 81400 Espesor 10 mm

Tabla 12. Partes del sistema para soldadura lineal

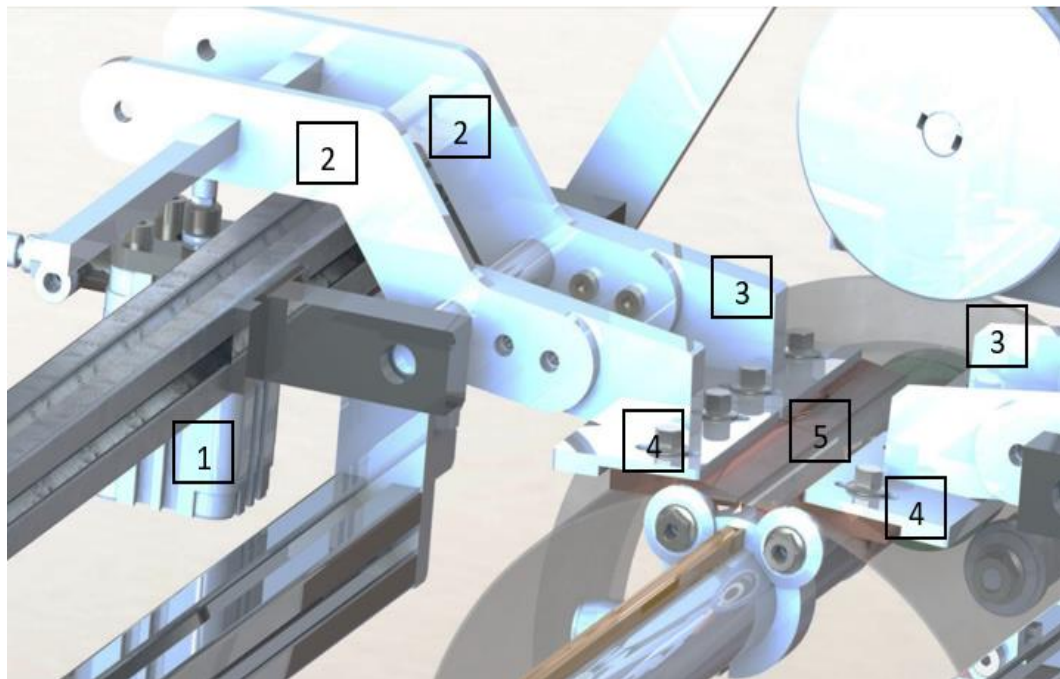


Figura 61. Partes que integran el sistema de sujeción por mordaza para soldadura lineal de la tubería.

Esta solución se resume bajo el siguiente principio de operación:

- 1) El actuador 1 que está conectado a la barra de columpio 2, realiza la acción de empuje por acción neumática y a través del émbolo.
- 2) La barra 2, por su geometría y el punto de apoyo, realiza un movimiento basculante empujando al soporte de la base y a la base misma 3 y 4, los cuales están unidos de manera solidaria mediante tornillos.
- 3) Por último, la fuerza aplicada por el embolo del actuador y multiplicada por el brazo de palanca, aplica presión sobre la superficie de la mordaza para realizar la sujeción de un extremo de la lámina que será soldada. Cabe aclarar que este mecanismo es doble para sujetar ambos extremos de la lámina rolada.

Los resultados del diseño son los esperados para este sistema, ya que, en vista de los ensayos realizados en nuestro prototipo físico, cumple con las características de fuerza y área de sujeción.

Un punto a favor de este sistema es la función de regulación de fuerza de cierre a través de la obturación de paso de aire directamente con la válvula del actuador, lo cual permite ajustar la fuerza de cierre adecuada para evitar daño al tubo de lámina.

6.2.- Diseño de un sistema de sujeción con dedos articulados a través de un mecanismo con sistema de rodillos que permitirá la rotación del tubo.

Este aspecto del diseño se resuelve de manera concreta al aplicar un sistema de barras actuadas (dedos), que cierran sobre el diámetro de la brida aportando sujeción y movimiento de rotación durante la aplicación de soldadura, lo cual permite la unión de brida con el tubo de lámina previamente cerrado por el proceso de soldadura lineal.

El concepto de este diseño se basa en la sujeción tipo pinza que se realiza con los dedos de una mano humana.

El diseño se reduce a un par de dedos o barras con una terminación tipo rodillo que se cierran sobre el anillo de la brida, aplicando presión de sujeción mediante un actuador lineal de doble efecto.

La tabla 13 resume las características técnicas de las partes más importantes en el ensamble.

No Parte	Descripción	Característica técnica
1	Actuador lineal de pinza paralela HGPT	Tamaño 20 x 25 x 40 mm Carrera 25 mm Fuerza (6 bar) – 780 N Construcción: Aluminio/acero
2	Dedo de cierre	Acero 1020 Espesor 6 mm
3	Disco de arrastre	Acero 1020 Espesor 10 mm Diámetro 4.5 pulgadas
4	Manivela/Motor de arrastre	Acero 1020 Espesor 12.5 mm
5	Brida	Acero 1010 Espesor 6 mm
6	Manivela de presión	Acero 1020 1 / 2 -13 UNC

Tabla 13. Partes que integran el sistema para soldadura orbital.

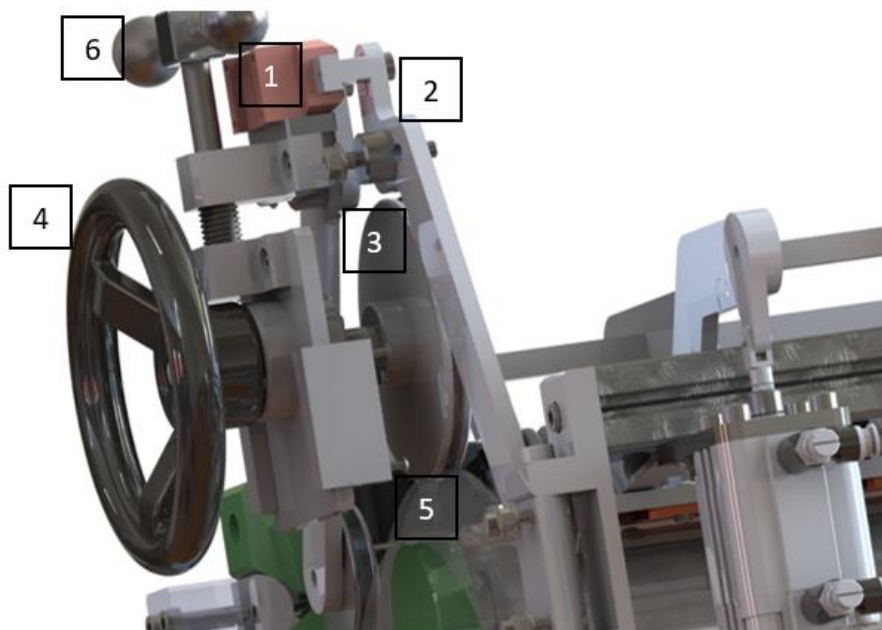


Figura 62. Sistema de sujeción tipo pinza para centrado y posicionamiento del anillo brida.

Resumen de operación:

- 1) Al término del proceso de soldadura lineal el operador coloca la brida.
- 2) Se aproxima el mecanismo, mediante el sistema de bisagra y se fija sobre la base vertical.
- 3) Accionamiento neumático del actuador lineal de pinza, para realizar el movimiento de cierre de los dedos de cierre 2 sobre la brida 5.
- 4) Movimiento de la manivela de presión roscada 6 para un ajuste de contacto a tope del disco de arrastre 3 sobre la brida 5.
- 5) Accionamiento manual o motorizado del avance de rotación sobre la brida. Esto permite aplicar de manera uniforme la soldadura sobre el perímetro interior de la brida y realizar la unión con el tubo de lámina.

Nota. En el esquema mostrado se realiza el accionamiento con manivela, para efecto de prueba en el prototipo. Una variante de automatización es que en el mismo lugar se instale un motor de secuencia a pasos que permitirá el avance de manera más uniforme, controlada y sincronizada con la aplicación de la soldadura.

6.3.-Construcción de un prototipo funcional para armar ductos rectos de lámina en calibres 18 a 10, generando una disminución en los costos de fabricación.

La fabricación de un prototipo funcional que permita revisar la funcionalidad de los sistemas y asegurar los objetivos de diseño forma parte del proceso de diseño, tal como se especifica en el diagrama de French de la figura 16.

No se puede llegar a un resultado satisfactorio de diseño si no se realizan pruebas físicas. En este sentido y para este efecto, se construyó el sistema a una escala de 1:7, con las características similares a la máquina real, (figura 63).

Los componentes y partes usados, también se trabajaron a una escala adecuada para poder obtener los resultados y comparar con las condiciones a las que trabajará el sistema real. El sistema se creó para poder trabajar con tubería en diámetro de 7 pulgadas, que es el mínimo requerido según el plan de producción. Para la unión por soldadura de la tubería se utilizó el método de soldadura MIG, por razones de disponibilidad en el taller, y no la soldadura TIG, especificada para el proceso.

Los materiales usados en el prototipo solo cumplen con las geometrías de diseño, pero no en su totalidad con los materiales especificados, esto también debido a disponibilidad y presupuesto limitado.

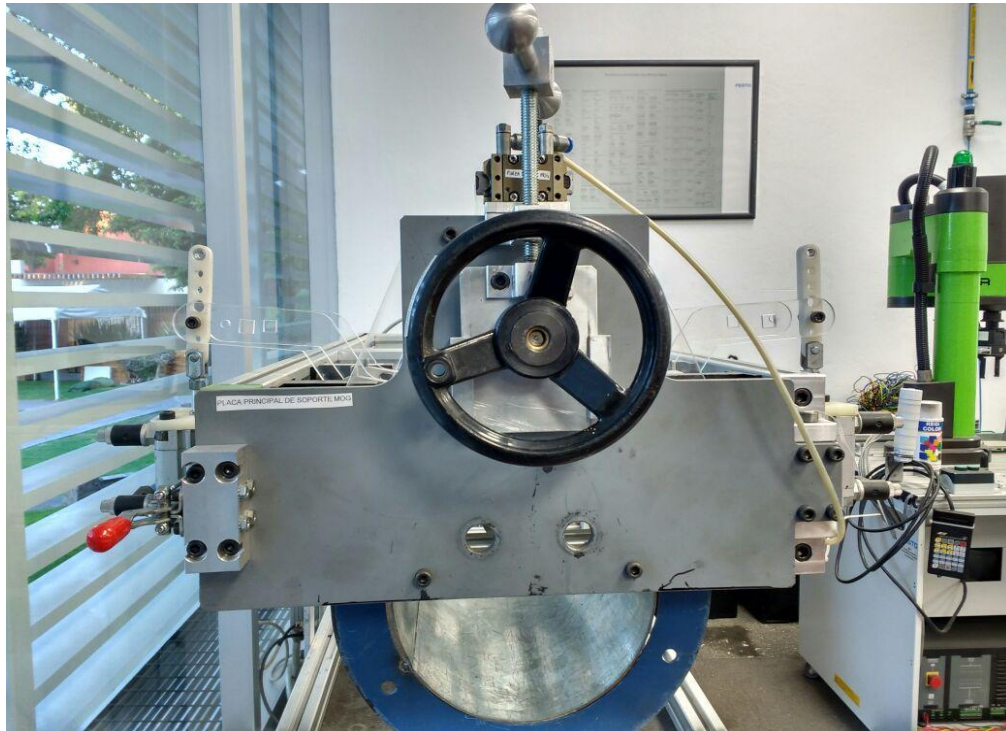


Figura 63. Prototipo funcional de sistema para sujeción en soldadura de tubería rolada en lámina.

Con la ayuda de este prototipo se logró la verificación de funcionalidad de los siguientes puntos 6.4 a 6.8:

6.4 - Sistemas de actuación, sistemas de cierre, sistemas de aplicación de fuerza y avance rotacional en el proceso de soldadura orbital.

Se comprobó la dinámica correcta de los componentes y se logró el objetivo de funcionalidad de cada sistema, alcanzando el 100% en desempeño, sin notar retrasos ni interferencias. La aplicación de fuerza fue la adecuada para mantener la sujeción de la tubería durante el proceso de soldadura lineal y se comprobó que la sujeción para la soldadura lineal se aplica de manera correcta por el mecanismo, manteniendo la posición de la brida en todo momento y el avance de rotación se genera libremente y sin interferencias.

6.5 - Verificación de geometrías adecuadas en cuanto a resistencia y formas.

El diseño geométrico de partes y componentes mecánicos, que ya se había comprobado mediante análisis de esfuerzos, mostró un desempeño superior, aun después de fabricarse con materiales de baja resistencia como el acrílico, en lugar de acero, lo cual reforzó la confianza sobre el diseño de formas y selección de materiales.

6.6 - Verificar interferencias o agarrotamiento entre componentes.

El ensamble de las partes interrelacionadas para cada sistema, mostró que no existen problemas de interferencias entre componentes y no se observan agarrotamientos durante la ejecución dinámica.

6.7 - Facilidad de manufactura de partes.

La sencillez del diseño en componentes y selección de materiales se desprende de la aplicación de criterios del diseño para manufactura. El total de partes manufacturadas para la elaboración del prototipo demostró que hay una baja dificultad para la fabricación de los componentes mediante métodos convencionales de manufactura, tales como torno, fresado, taladrado o maquinado automatizado en CNC. No se requieren herramientas de corte especializadas y los tiempos de manufactura son razonables aun en las partes más complejas. Todo esto es resultado de considerar el trabajar las geometrías sobre materiales con medidas estándar, a partir de las cuales solo se requieren algunos maquinados de ajuste de geometría, mejorando los procesos y reduciendo tiempos de operación.

6.8 - Facilidad de ensamblaje.

La sencillez de los componentes mecánicos y el uso de materiales estándar como rodamientos, tornillos de sujeción, soportes, etc., diseñados a medida, permiten el ensamblado de partes en poco tiempo, usando herramientas convencionales. No es necesario el uso de equipos especiales como prensas o soportes especializados. También se demostró que la intercambiabilidad de partes se realiza en periodos de tiempo muy cortos (menos de 10 minutos), sin necesidad de desmontar sistemas completos para sustituir componentes.

En suma, los resultados fueron satisfactorios y superaron las expectativas de diseño en el prototipo, comprobando que tanto componentes como sistemas trabajan de manera adecuada para cada una de las funciones que se requirieron, así como para la parte de mantenimiento, lo cual fue aprobado por la compañía industrial que solicitó el diseño.

Con base en este prototipo a escala, se realizaron los planos de fabricación para la construcción de la máquina para aplicación industrial, tal como se muestra en algunos de los planos de las figuras 64 a 68, cortesía de la empresa industrial a continuación. La adaptación de materiales y diseño de componentes para la base de la máquina, paneles, soportes para sistemas de control, soporte de tubería, etc., formaron parte del proceso de diseño y se adaptaron al nuevo prototipo industrial.

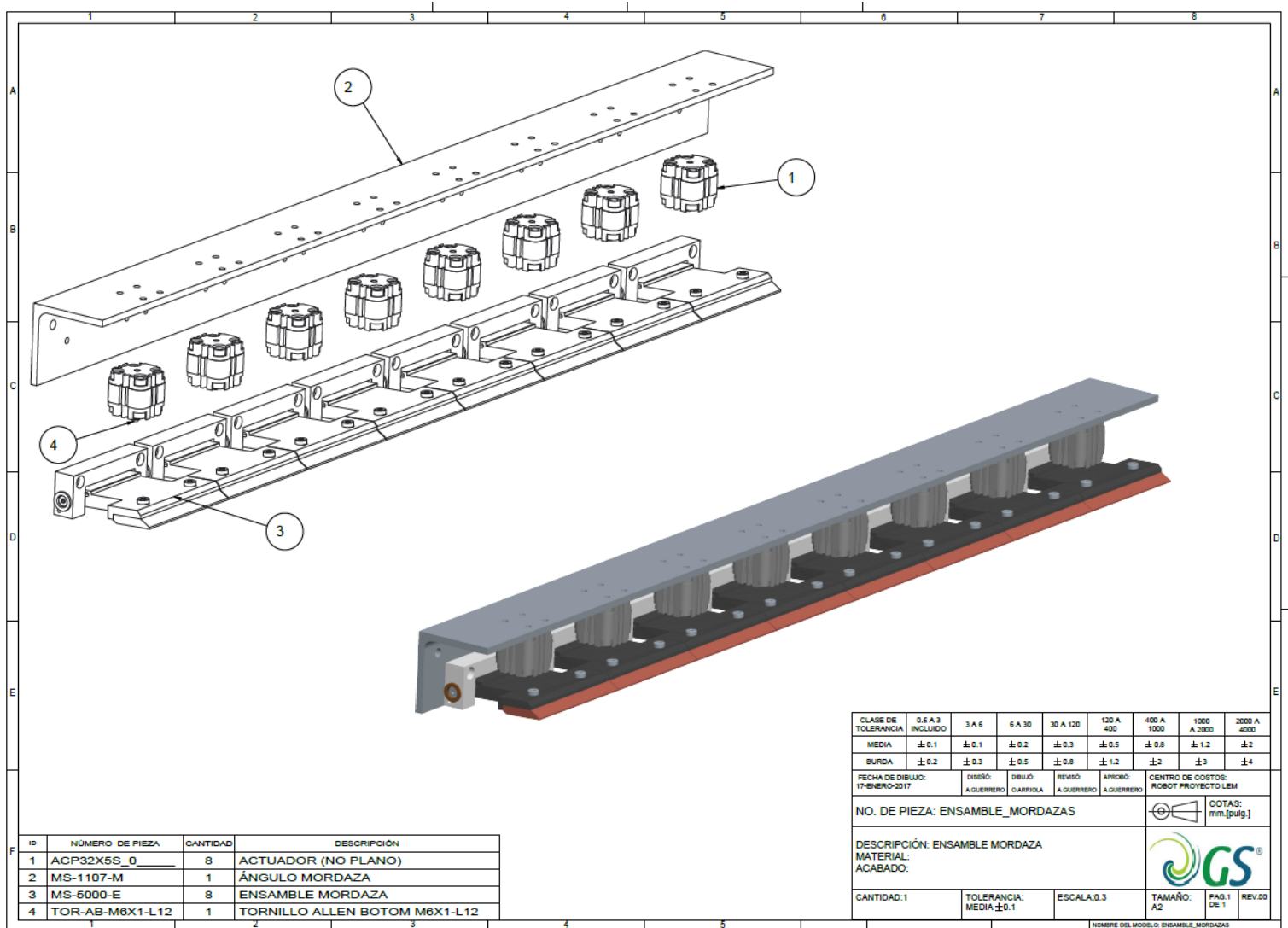


Figura 64. Plano de ensamble para el sistema de actuación, para sujeción lineal (Cortesía de Green Spare)

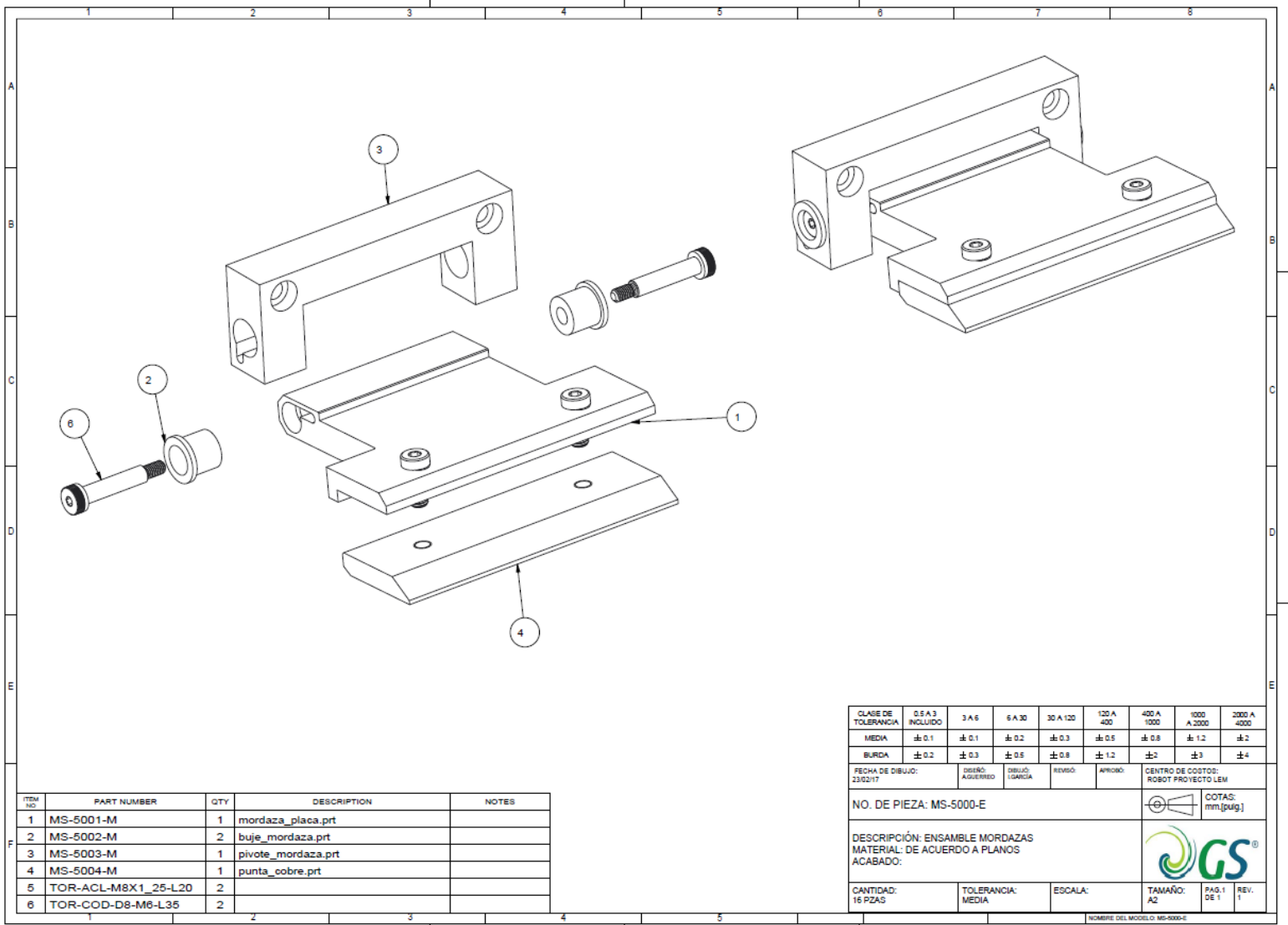


Figura 65. Plano de ensamble para el sistema de mordaza, mostrando todos los componentes (Cortesía de Green Spare)

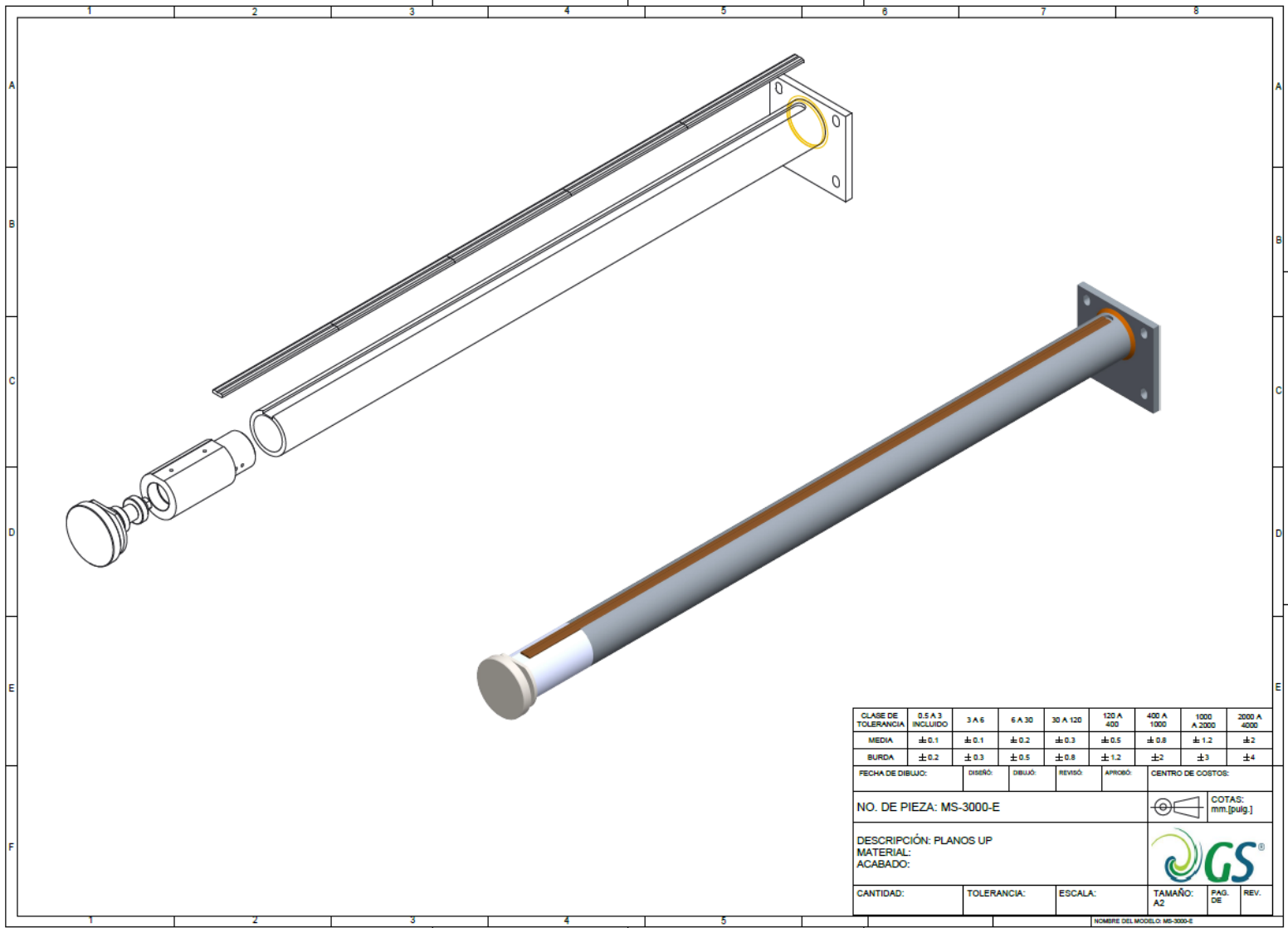


Figura 66. Plano de ensamble para el mandril de soporte de soldadura lineal, mostrando sus componentes (Cortesía de Green Spare).

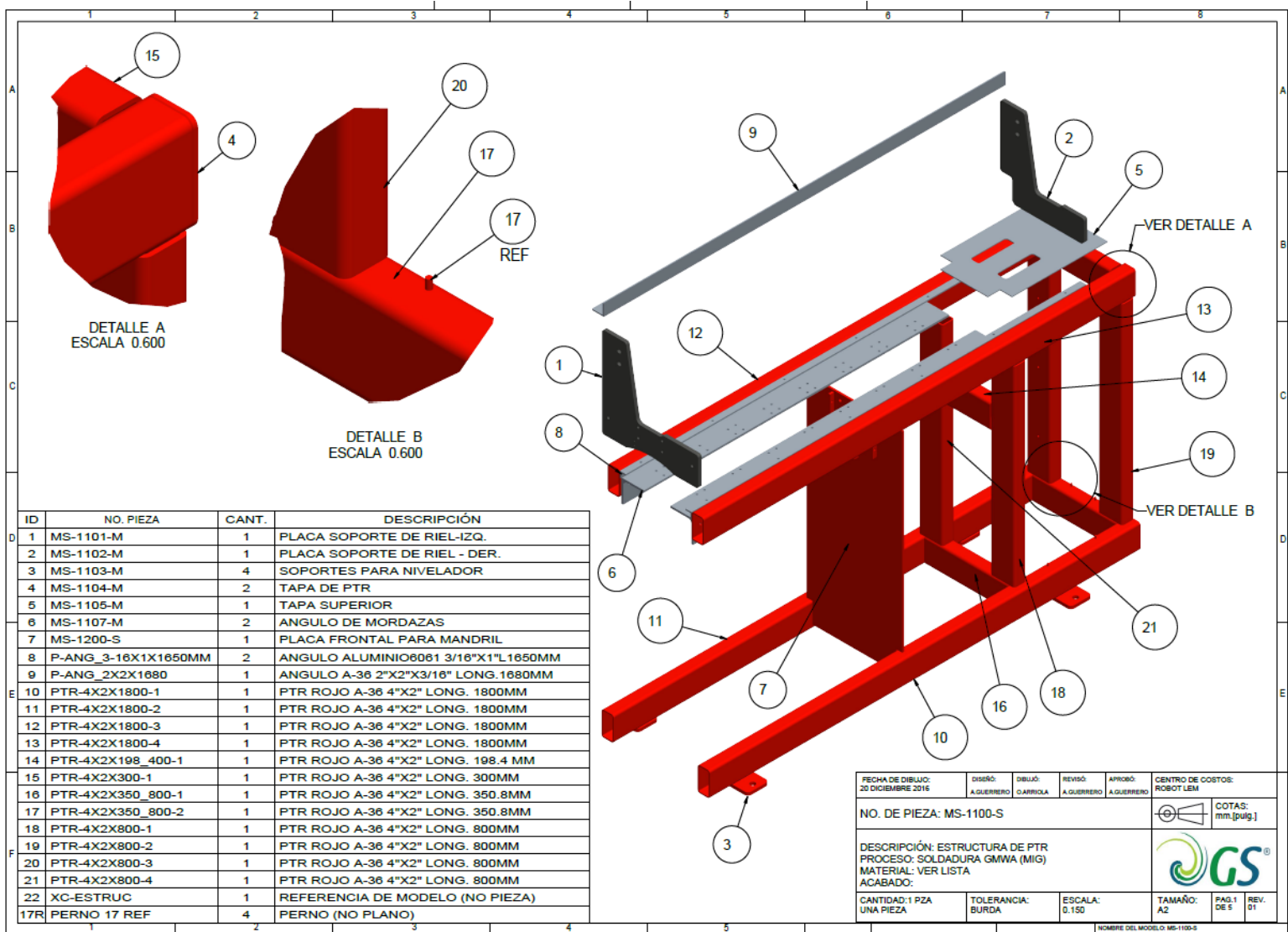


Figura 67. Base soporte para el sistema de soldadura para ductos de lámina (Cortesía Green Spare)

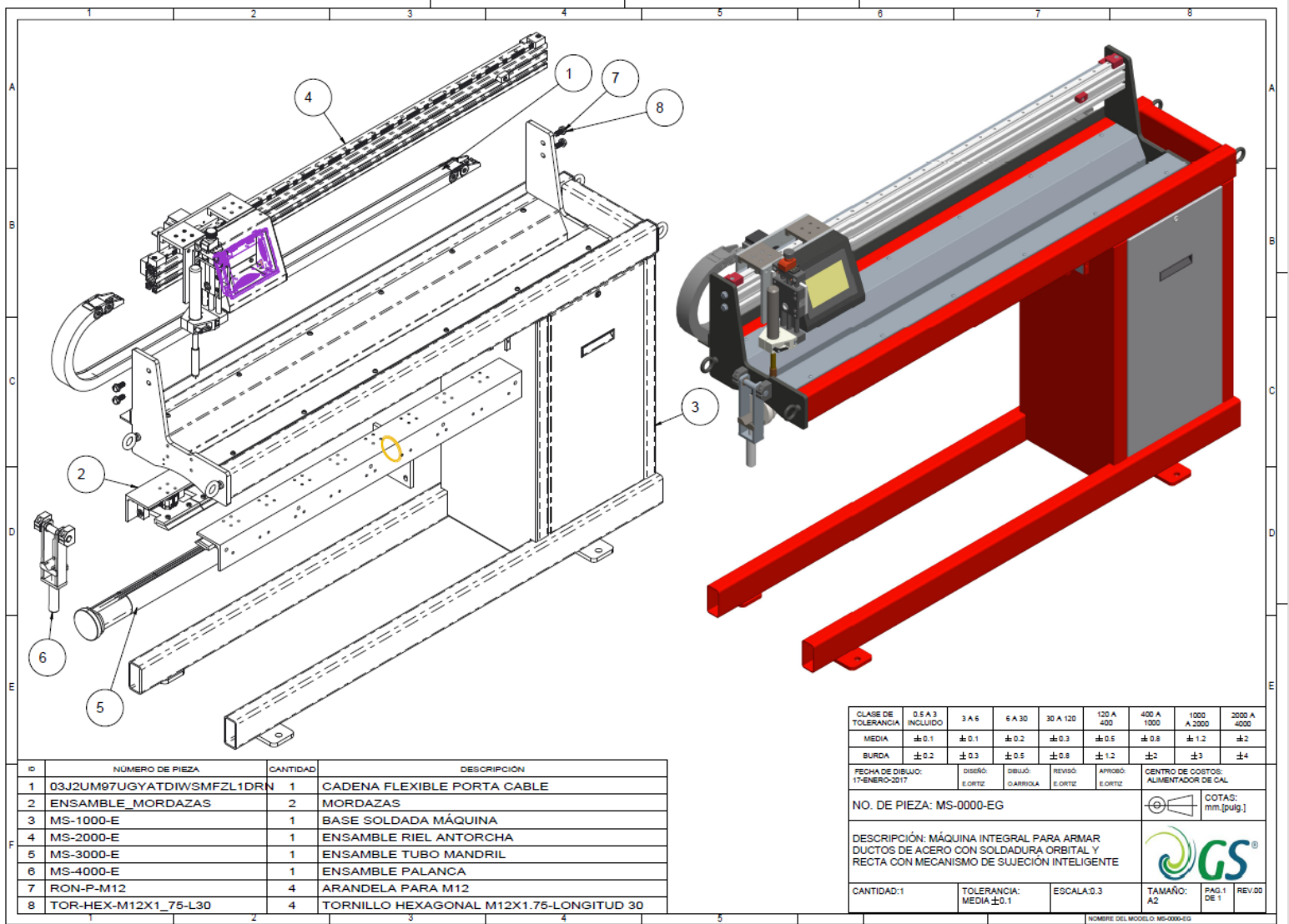


Figura 68. Plano de vista final de ensamble para la máquina de soldadura lineal y orbital para ductos de lámina (cortesía Green Spare)

7.0 Conclusiones generales

A través de una colaboración entre una empresa manufacturera del sector industrial y la parte académica de la Universidad Panamericana, se logra la mejora en un proceso de manufactura específico dentro del marco de proyectos conjuntos que establece la normativa del CONACYT, en su Programa de Estímulos a la Innovación.

Se identifica una oportunidad de mejora en un proceso industrial dentro del área metalmeccánica en varios aspectos, desde operativo, costos, tiempos y calidad, hasta la posibilidad de implementar como un primer paso la automatización del proceso que asegura también la mejora en seguridad industrial.

Se propone una solución basada en la aplicación de varias metodologías de diseño mecánico, tales como QFD y TRIZ, así como la implementación de un prototipo funcional para validar las propuestas. El prototipo fue desarrollado a través de tecnologías de manufactura con máquinas por desprendimiento de viruta; además se mejora la funcionalidad del diseño propuesto implementando un control electro - neumático.

Como resumen de puntos específicos que se atendieron y modificaron, se indica lo siguiente:

- El resultado del diseño muestra un sistema totalmente funcional para soldadura lineal en tubería de lámina. Se considera totalmente innovador en cuanto a los sistemas de sujeción.
- Se logra mayor eficiencia de agarre con el uso de componentes sencillos.
- Adiciona un sistema de sujeción único que permite el agarre de una brida y la subsecuente soldadura de esta a través de un sistema rotacional.
- Se espera un mayor ritmo de producción en ductos, mejorando la calidad de las uniones y control de deformaciones.
- Se asegura que haya un solo operador para la operación de la unidad.
- La sencillez de operación evitará riesgos de accidentes e inhalación de gases nocivos para los operadores.
- Por estar diseñado como una máquina semiautomática, el nuevo sistema permite la alimentación de la lámina rolada y/o la brida, y al final del proceso obtener un producto totalmente terminado.

- La selección adecuada de materiales y el diseño de partes evitará esfuerzos mecánicos y térmicos severos en los componentes, manteniendo un ciclo de vida largo en la máquina diseñada.
- Se asegura el modularidad de partes y sistemas.
- Se asegura un bajo mantenimiento y costo de operación.
- Se aplica el uso de componentes de control electrónicos que facilitan la operación y aseguran la repetitividad del proceso y la calidad final del producto.

Bibliografía

Paul Campbell
Basic Fixture Desing
Editorial: Industrial Press Inc. 2012

Catalogue Advance Machine & Engineering co.
MFLEX Modular Workholding 2010

Robert L. Mott
Diseño de Elementos de Máquinas
Mc Grall Hill 5ª edición, 2017

Erik K. Henriksen
JIG and FIXTURE DESIGN MANUAL
Editorial: Industrial Press Inc. 2005

Bertoline Wiebe
Dibujo en Ingeniería y Comunicación Gráfica
Mc Graw Hill, 2003.

S.Kalpakjian
Manufactura Ingeniería y Tecnología
Prentice Hall 2010

James A. Pender
SOLDADURA
Editorial: Mc Graw Hill, 5a Edición 2012

Gabriel Hernández López
Fundamentos y Planeación de la Manufactura Automatizada
PEARSON 2ª Edición, 2012

Manuales y Catálogos

Festo

Manual de Productos

Festo, 2017

Festo

Manual de Pneumatic

Festo, 2017

SKF

Catálogo general rodamientos

SKF, 2014

Referencias WEB

<http://www.proteccion-laboral.com/soldadura-y-humos-metalicos/>

<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=2d9d0a00dfb743a2bdefb2cf2f0f8d44>

https://es.wikipedia.org/wiki/Cobre_al_berilio

http://www.magmaweld.com/welding_automation.html

<http://www.likest.com/longitudinal-seam-welding-machines/index.htm>

<http://www.westermans.com/automaticwelding.aspx>

<http://www.silver-fern.com.tw/welding-cml.htm>

<http://www.arcraftplasma.com/welding/weldingdata/linearwelding.htm>

<https://www.3dcadportal.com/esfuerzo-y-deformacion.html>

ANEXOS.

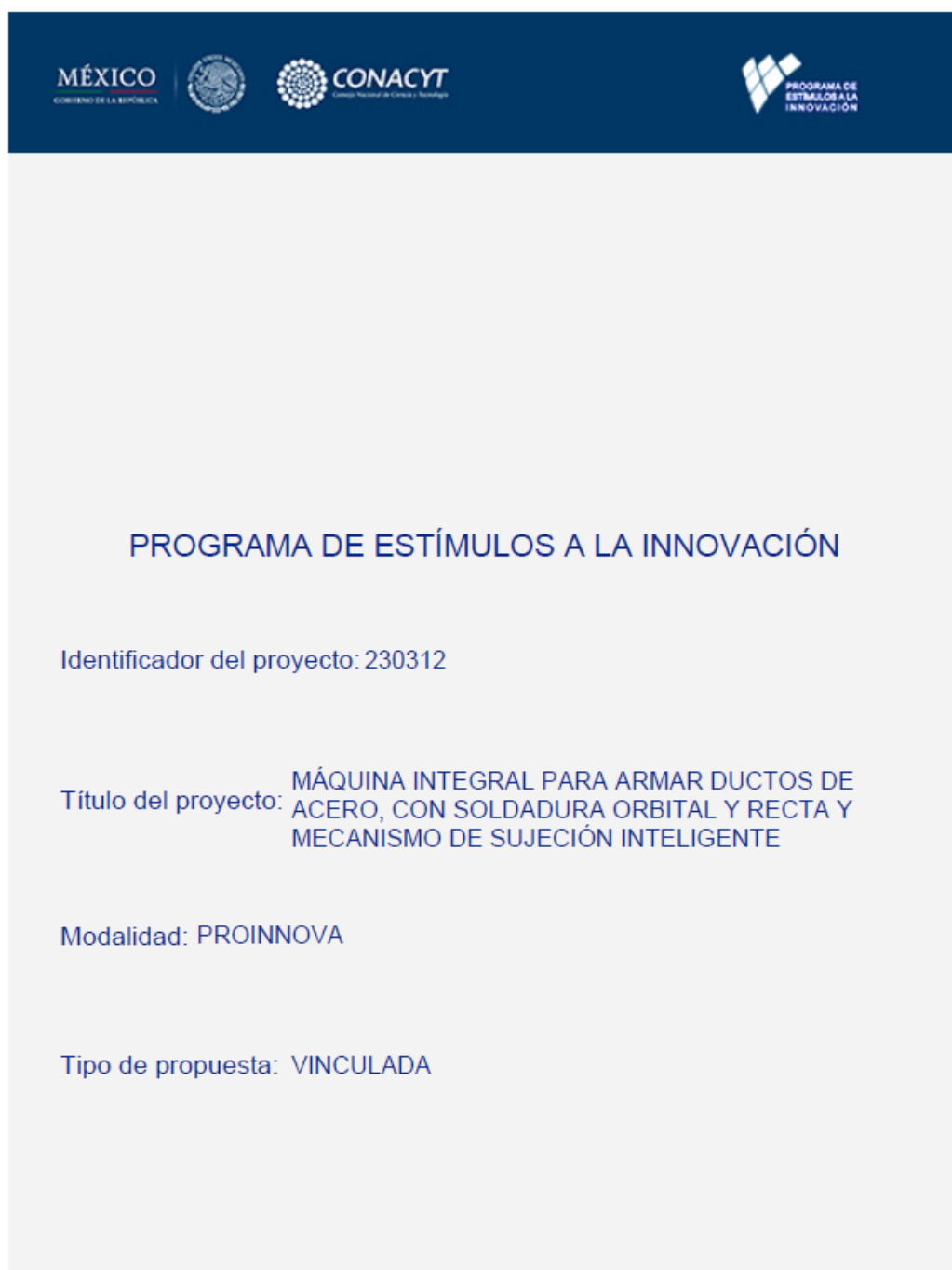


Figura 1. Carátula del proyecto presentado a CONACYT. Como parte del programa de estímulos de innovación, vincula a universidades para el desarrollo de nuevas tecnologías (cortesía de Green Spare)

Contextualización

Título: MÁQUINA INTEGRAL PARA ARMAR DUCTOS DE ACERO, CON SOLDADURA ORBITAL Y RECTA Y MECANISMO DE SUJECIÓN INTELIGENTE
Modalidad: PROINNOVA Tipo de propuesta: VINCULADA
Entidad: QUERÉTARO Municipio: EL MARQUÉS
Localidad: LA GRIEGA

Propuesta apoyada en otra convocatoria

¿Ha participado este proyecto en otra convocatoria del PEI? No

Área industrial del proyecto

Área: MAQUINARIA INDUSTRIAL División: MÁQUINAS PARA MANUFACTURA

Área de Conocimiento

Área: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Campo: CIENCIAS TECNOLÓGICAS
Disciplina: TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICAS Subdisciplina: MAQUINARIA INDUSTRIAL ESPECIALIZADA
Especialidad: MAQUINARIA PARA LA TRANSFORMACION DEL METAL

Palabras Clave

Palabra clave: MAQUINARIA
Palabra clave: DUCTOS
Palabra clave: ACERO

Descripción

Tipo de Innovación

1. ¿Qué tipo de innovación plantea el proyecto?

Producto

2. ¿Cuál es el grado de la innovación planteada?

Mejora de algo existente en la empresa

3. ¿Qué tipo de mercado atenderá?

Nuevo para el mercado internacional

Breve descripción de la propuesta

En la actualidad existen diversos tipos de máquinas para soldar en línea recta o de manera orbital, pero no existe una máquina que integre las dos tecnologías. Muchas máquinas existentes limitan mucho a los calibres de lámina utilizados en los ductos de aire acondicionado, en calibres de 18 hacia arriba. Para las aplicaciones industriales como colección de contaminantes, es necesario contar con calibres más robustos, que van del calibre 16 al 10, y

Figura 2. Muestra parte de la documentación presentada y abalada por el CONACYT, para la realización del proyecto (Cortesía de Green Spare)

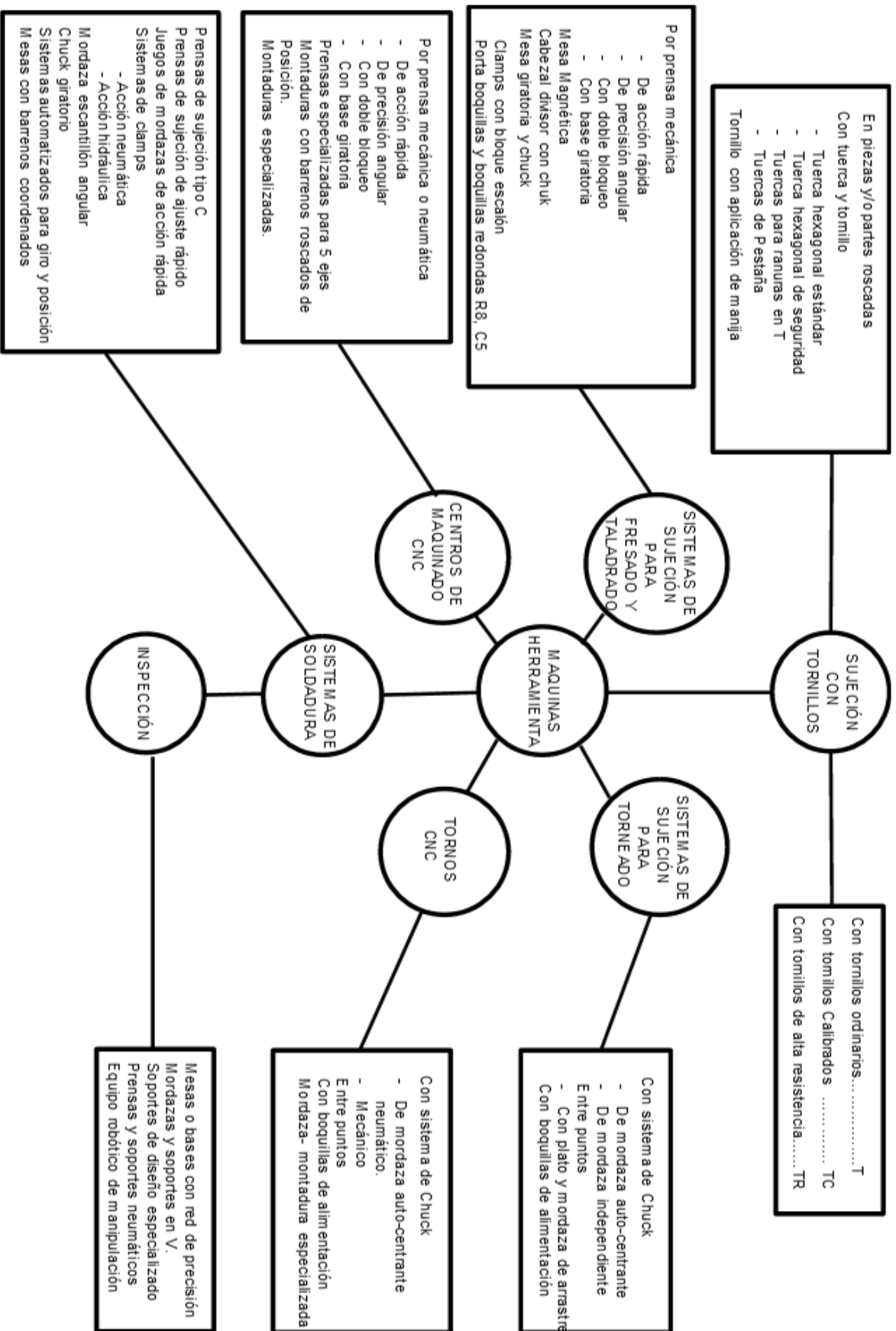


Figura 3. diferentes procesos de soldadura más representativos y sus abreviaturas, cortesía de la AWS.

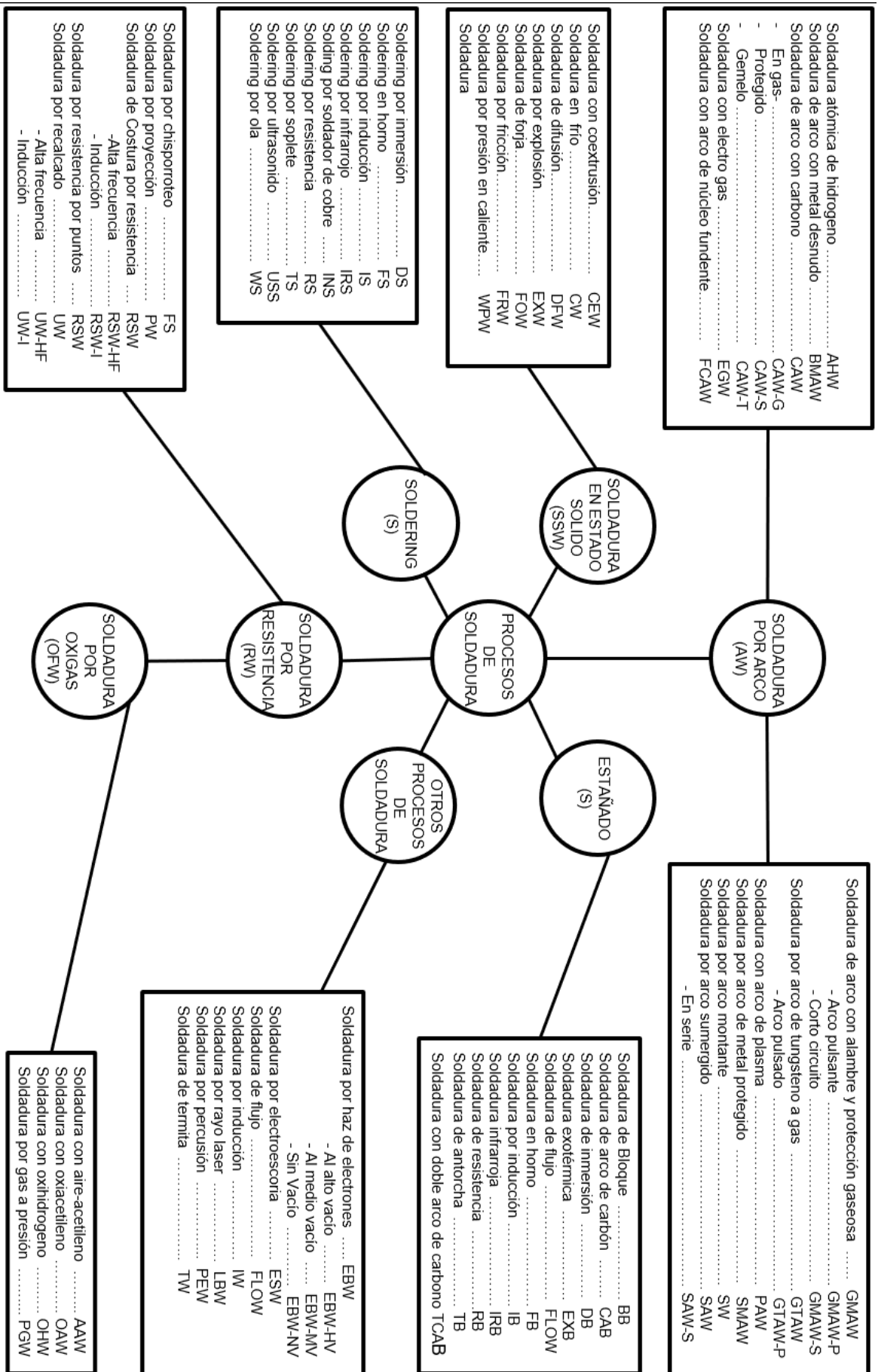


Figura 4. Diagrama de árbol donde se muestran diferentes tipos de sistemas de sujeción para máquinas herramienta y sistemas de inspección.

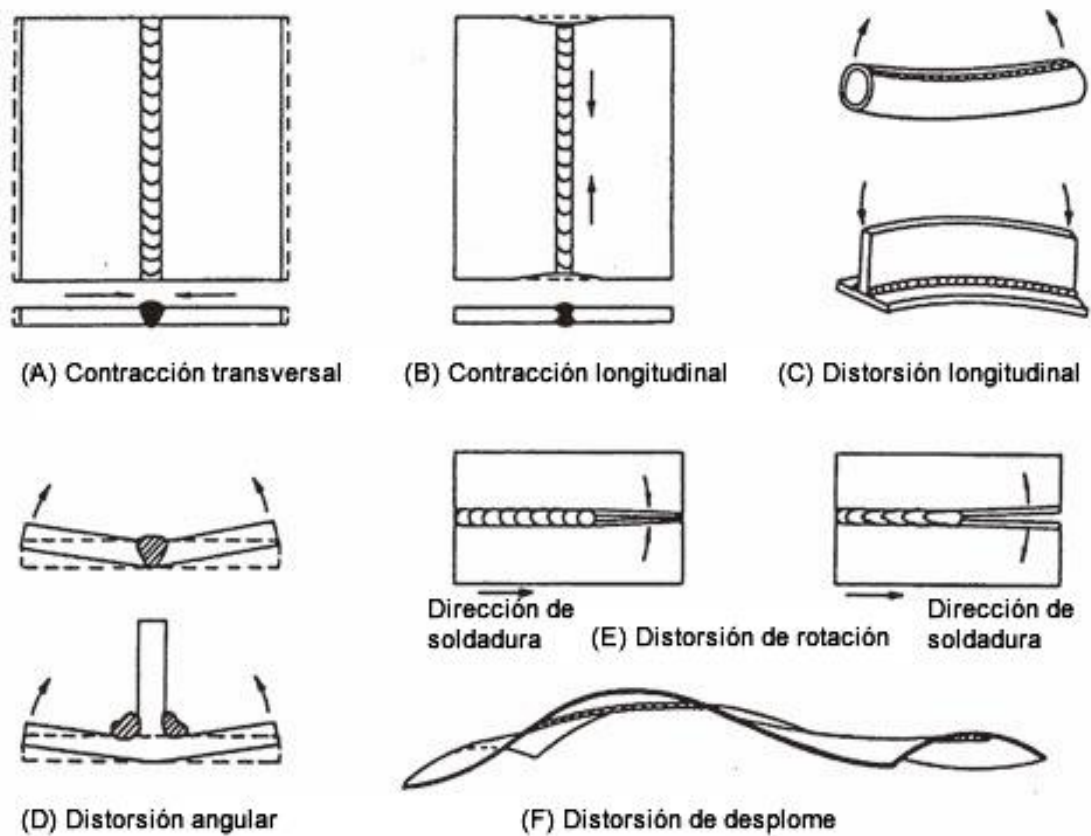


Figura 5. Diferentes efectos de deformación en piezas soldadas debidas al efecto de temperatura y los sistemas de sujeción inadecuados.

Tabla1. Coeficientes de Fricción dinámica para rodamientos	
Tipos de Rodamientos	Valores aprox. de μ
Rodamientos. de Bolas de Ranura Profunda	0.0013
Rodamientos. de Bolas de Contacto Angular	0.0015
Rodamientos. de Bolas Auto-alineante	0.0010
Rodamientos. de Bolas de Empuje	0.0011
Rodamientos de Rodillos Cilíndricos	0.0010
Rodamientos de Rodillos Cónicos	0.0022
Rodamientos de Rodillos Esféricos	0.0028
Rodamientos de Agujas con Jaula	0.0015
Rodamientos de Agujas de Complemento Total	0.0025
Rodamientos de Rodillos Esféricos de empuje	0.0028



Tabla 2. Coeficientes de Fricción para varios materiales		
Materiales	Coef. de Fricción Estática μ_s	Coef. de Fricción Cinética μ_k
Acero - Acero	0.74	0.57
Aluminio - Acero	0.61	0.47
Cobre - Acero	0.53	0.36
Latón - Acero	0.51	0.44
Cinc - Hierro colado	0.85	0.21
Caucho - Concreto	1.0	0.8
Madera - Madera	0.25-0.25	0.2
Vidrio - Vidrio	0.94	0.4
Cobre - Vidrio	0.68	0.53
Hielo - Hielo	0.1	0.03
Teflón - Teflón	0.04	0.04
Teflón - Acero	0.04	0.04

	Intoxicación aguda	Intoxicación crítica	Valores límite (2010)
Cadmio	-Absorción respiratoria: fiebre de los metales, neumonitis química, edema de pulmón. -Absorción digestiva: dolor abdominal, náuseas, vómito, diarrea.	-Rinitis: Perforación del tabique nasal, anosmia, bronquitis, enfisema. -Pigmentación amarilla de dientes. -Nefropatía cádmica: tubulopatía proximal.	VLA-ED: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ VLB: 5 $\mu\text{g}/\text{l}$, sangre 5 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina, orina
Cromo	-Gastrointestinal: dolor abdominal, vómitos, diarrea, hemorragia intestinal. -Insuficiencia renal aguda por necrosis tubular. -Insuficiencia hepática. -Coagulopatía.	-Cutánea: úlceras 5-10 mm, indoloras, dorso de manos y dedos ("nidios de paloma"). Dermatitis de contacto. -Respiratoria: Rinitis, úlcera, perforación del tabique nasal. -Cancerígeno de pulmón y senos nasales y paranasales.	VLA-ED: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ VLB: diferencia entre principio y fin de jornada: 10 $\mu\text{g}/\text{l}$. Final de la semana laboral: 25 $\mu\text{g}/\text{l}$.
Berilio	-Irritación de VAS: Neumonitis química. -Fiebre de los metales.	-Fibrosis muscular. -Cutánea: Granulomas. -Cancerígeno de pulmón.	VLA-ED: 0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Níquel	-Fiebre de los metales.	Respiratoria: Rinitis-perforación del tabique nasal. Sinusitis, anosmia. Cáncer bronco-pulmonar o etmoidal. -Cutánea: Dermatitis de contacto. -Cancerígeno de pulmón y senos nasales y paranasales.	VLA-ED: 1 mg/m^3
Aluminio	-Encefalopatía (pacientes de diálisis).	-Enfermedad de Shaver (fibrosis pulmonar).	VLA-ED -Humos: 5 mg/m^3 -Polvo: 10 mg/m^3

Tabla 3. Procesos de soldadura y naturaleza de los humos metálicos.

Músculos neumáticos DMSP/MAS

Guía para efectuar los pedidos

Función	Ejecución	Tipo	Diámetro interior [mm]	Longitud nominal [mm]	Fuerza de elevación [N]
Simple efecto, tracción	Músculo neumático con extremos prensados				
		DMSP	5	30 ... 1000	0 ... 140
			10	40 ... 9000	0 ... 630
			20	60 ... 9000	0 ... 1500
			40	120 ... 9000	0 ... 6000
	Músculo neumático con extremos atornillados				
		MAS	10	40 ... 9000	0 ... 630
			20	60 ... 9000	0 ... 1500
40			120 ... 9000	0 ... 6000	

Tipo	Diámetro interior [mm]	Estiramiento inicial máx.	Contracción máxima admisible	Presión de trabajo [bar]	→ Página/Internet
Músculo neumático con extremos prensados					
DMSP	5	1% de la longitud nominal	20% de la longitud nominal	0 ... 6	11
	10	3% de la longitud nominal	25% de la longitud nominal	0 ... 8	
	20	4% de la longitud nominal	25% de la longitud nominal	0 ... 6	
	40	5% de la longitud nominal	25% de la longitud nominal	0 ... 6	
Músculo neumático con extremos atornillados					
MAS	10	3% de la longitud nominal	25% de la longitud nominal	0 ... 8	20
	20	4% de la longitud nominal	25% de la longitud nominal	0 ... 6	
	40	5% de la longitud nominal	25% de la longitud nominal	0 ... 6	

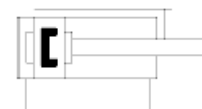
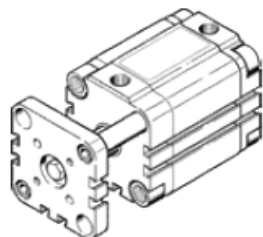
Tabla 4. Características técnicas para los músculos neumáticos DMSP y MAS (Cortesía de FESTO)

cilindro compacto ADVUL-32-25-P-A

Número de artículo: 156878

FESTO

para detección sin contacto, vástago asegurado contra giro por barra guía y placa de yugo.



Hoja de datos

Característica	Valor
Carrera	25 mm
Diámetro del émbolo	32 mm
Amortiguación	P: amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados
Posición de montaje	indistinto
Extremo del vástago	rosca interior
Construcción	Émbolo Vástago
Detección de la posición	para sensores de proximidad
Variantes	vástago simple
Antigiro/Guía	Barra de guía con yunque
Presión de funcionamiento	1 ... 10 bar
Modo de funcionamiento	de doble efecto
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2 - riesgo de corrosión moderado
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Energía del impacto en las posiciones finales	0,4 J
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	415 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	483 N
Tipo de fijación	a elegir: con taladro pasante con accesorios
Conexión neumática	G1/8
Información sobre el material del tornillo con collar	Acero cincado
Información sobre el material de la tapa	Aleación forjable de aluminio
Información sobre el material de las juntas dinámicas	NBR TPE-U(PU)
Información sobre el material del vástago	Acero inoxidable de aleación fina
Información sobre el material de la camisa del cilindro	Aleación forjable de aluminio

Figura 4. Tabla de características técnicas para el actuador lineal de accionamiento de mordaza principal en el proceso de soldadura lineal (cortesía de FESTO)

UNS C81400, Copper Casting Alloy


Categories: [Metal](#); [Nonferrous Metal](#); [Copper Alloy](#); [Copper Casting Alloy](#)

Material Notes: Casting methods recommended for this alloy: Centrifugal, Continuous, Investment, Permanent Mold, Plaster, and Sand.

Applications: Higher hardness electrical and thermal conductors.

Key Words: BeCu; Be-modified chrome copper, chromium copper, beryllium copper, 70C, CA 814, RWMA Class II

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	8.81 g/cc	0.318 lb/in ³	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell B	62	62	as cast
	69	69	TF00 temper
Tensile Strength, Ultimate	205 MPa	29700 psi	As cast
	365 MPa	52900 psi	TF00 temper
Tensile Strength, Yield 	63.0 MPa	12000 psi	as cast
	@Strain 0.200 %	@Strain 0.200 %	
	250 MPa	36300 psi	TF00 temper
	@Strain 0.200 %	@Strain 0.200 %	
Elongation at Break	11 %	11 %	In 50 mm, TF00 temper
	35 %	35 %	In 50 mm, as cast
Modulus of Elasticity	110 GPa	16000 ksi	
Poissons Ratio	0.341	0.341	
Machinability	30 %	30 %	UNS C36000 (free-cutting brass) = 100%, as cast
	40 %	40 %	UNS C36000 (free-cutting brass) = 100%, TF00 temper
Shear Modulus	41.0 GPa	5950 ksi	
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.00000250 ohm-cm	0.00000250 ohm-cm	heat treated
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear	19.0 µm/m-°C	10.6 µm/in-°F	
	@Temperature 20.0 - 300 °C	@Temperature 68.0 - 572 °F	
Specific Heat Capacity	0.389 J/g-°C	0.0930 BTU/lb-°F	
Thermal Conductivity	259 W/m-K	1800 BTU-in/hr-ft ² -°F	
	@Temperature 20.0 °C	@Temperature 68.0 °F	
Melting Point	1065 - 1095 °C	1949 - 2003 °F	
Solidus	1065 °C	1949 °F	
Liquidus	1095 °C	2003 °F	
Shrinkage	1.96 %	1.96 %	Patternmaker's Shrinkage
Processing Properties	Metric	English	Comments
Solution Temperature	1000 - 1010 °C	1830 - 1850 °F	
Aging Temperature	480 °C	896 °F	
Casting Temperature	1175 - 1230 °C	2147 - 2250 °F	Heavy castings
	1200 - 1260 °C	2190 - 2300 °F	Light castings
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Beryllium, Be	0.020 - 0.10 %	0.020 - 0.10 %	
Chromium, Cr	0.60 %	0.60 %	
Cobalt, Co	0.60 - 1.0 %	0.60 - 1.0 %	
Copper, Cu	>= 98.5 %	>= 98.5 %	

[References](#) for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

Tabla 5. Propiedades de la aleación Cobre-Berilio
(cortesía de Matweb.com)

Pinzas paralelas




	 Pinza paralela DHPS	 Pinza paralela HGPT	 Pinza paralela HGPL-B
Tamaño	6, 10, 16, 20, 25, 35	16, 20, 25, 35, 40, 50, 63, 80	14, 25, 40, 63
Carrera por mordaza	2 ... 12.5 mm	1.5 ... 25 mm	20 ... 150 mm
Fuerza de sujeción total con 6 bar en cierre	25 ... 910 N	106 ... 6300 N	158 ... 2742 N
Aseguramiento de la fuerza de sujeción	Al abrir, al cerrar	Al abrir, al cerrar	
Precisión de repetición de las pinzas	<0.02 mm	≤0.05 mm	<0.03 mm
Detección de posiciones	Para sensor Hall, para sensor de proximidad	Para sensores de proximidad	Para sensores de proximidad
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • Guía de ranura en T resistente y precisa para las mordazas • Gran fuerza de sujeción con tamaño compacto • Máxima precisión de repetición • Múltiples posibilidades de adaptación a los actuadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Robusta y potente • Con guía por ranura en T • Apta como pinza externa o interna • Protección de las pinzas contra la entrada de polvo mediante aire de barrido • Variante de alto esfuerzo disponible 	<ul style="list-style-type: none"> • Espacio optimizado, grandes fuerzas y momentos • Sujeción central segura y precisa • Carrera larga: longitud de guía larga de las mordazas • Apta como pinza externa o interna • Carrera de apertura ajustable para la optimización del tiempo
→ Página/online	dhps	hgpt	hgpl

Tabla 1-2 Características técnicas de actuadores lineales de pinza
(Cortesía de FESTO)

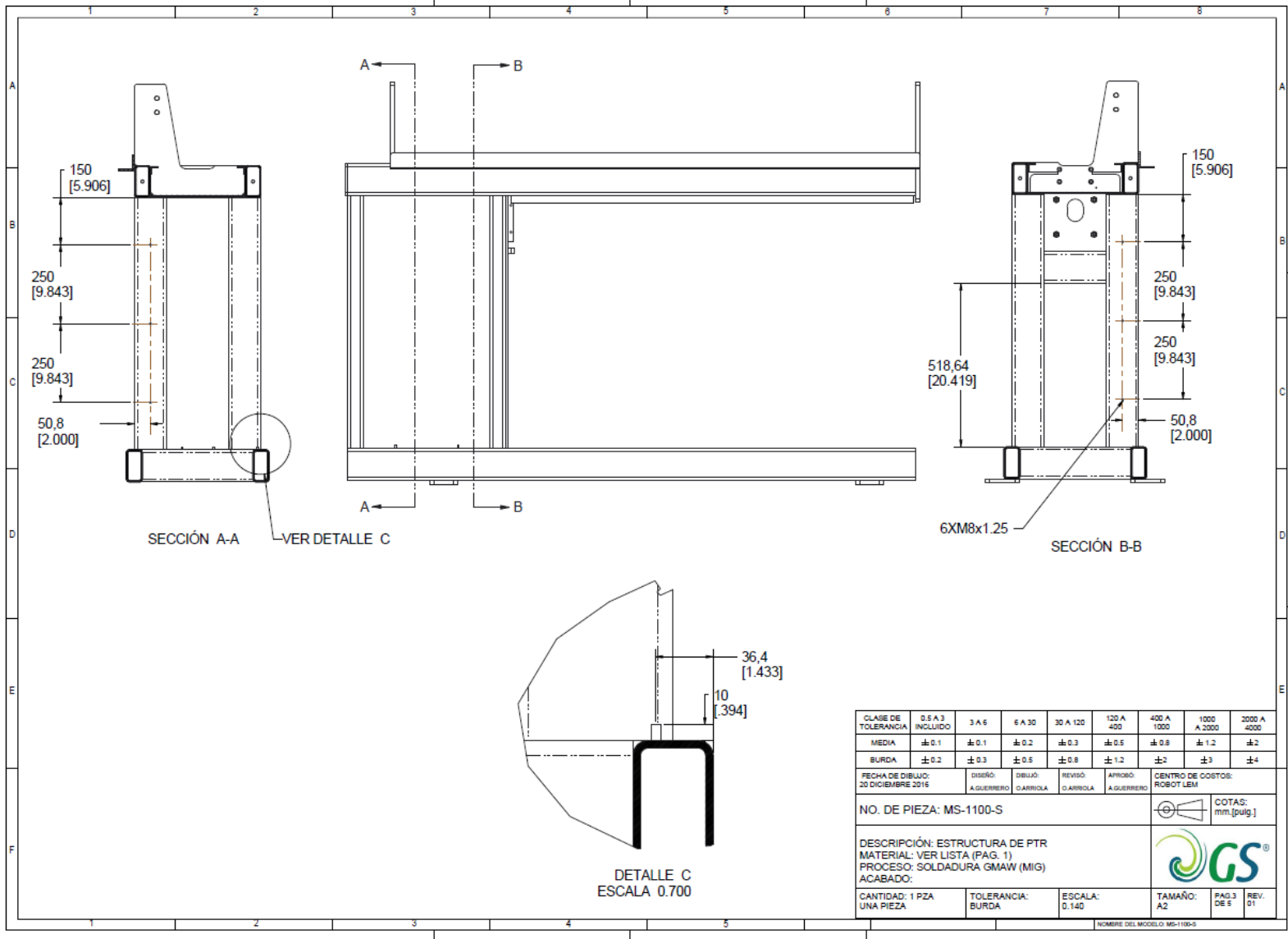


Figura 6. Plano con medidas finales para la base de la máquina industrial (cortesía de Green Spare)

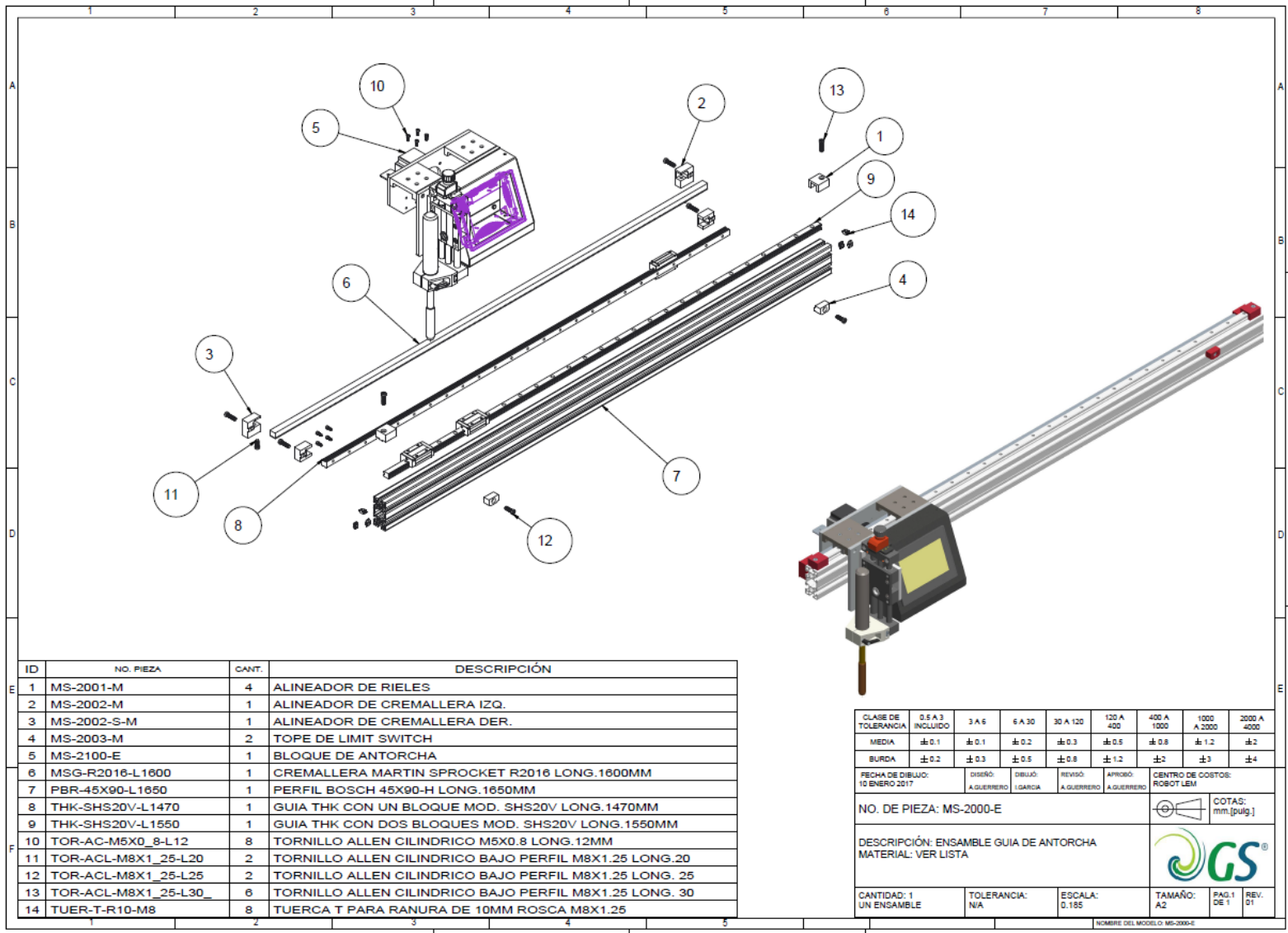


Figura 7. Plano de sistema de corredera y panel de control para soldadura lineal, prototipo industrial (cortesía de Green Spare)

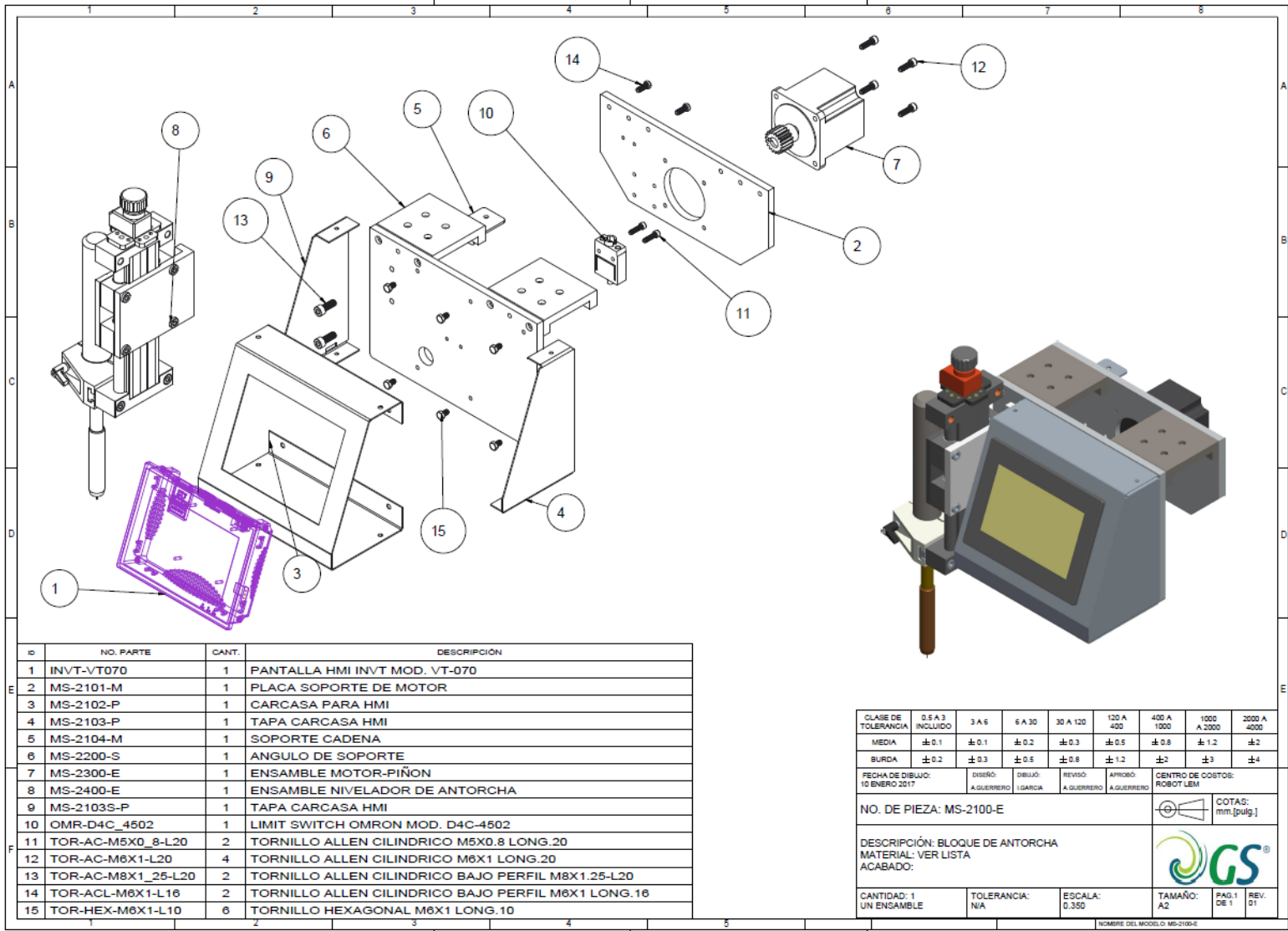


Figura 8. Plano de componentes para soporte de antorcha y pantalla de control de soldadura (cortesía de Green Spare)