



POSGRADO INTERINSTITUCIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**DISEÑO DE DISPOSITIVO DE SUJECIÓN Y GIRO PARA
CORTE LASER Y SOLDADURA CMT DE DOS
INTERCAMBIADORES DE CALOR Y OBTENCIÓN DE
PARÁMETROS.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO
ACADÉMICO DE

**MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
EN LA ESPECIALIDAD DE
DESARROLLO DE SISTEMAS MECÁNICOS**

PRESENTA

ING. ARTURO VELÁZQUEZ CHINDÓ

QUERÉTARO, QRO., DICIEMBRE 2017



Director de Posgrado
PICYT – CIDESI
Querétaro

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial de la alumno **Arturo Velázquez Chindó**, una vez leída y revisada la Tesis titulada **“Diseño de dispositivo de sujeción y giro para corte laser y soldadura CMT de dos intercambiadores de calor y obtención de parámetros”**, aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por la alumno para aspirar al grado de **Maestría en Ciencia y Tecnología** en la opción terminal de **Diseño y Desarrollo de Sistemas Mecánicos** durante el Examen de Grado correspondiente.

Y para que así conste firmo la presente a los 7 días del mes de Diciembre del año dos mil diecisiete.

Dr. Luis del Llano Vizcaya

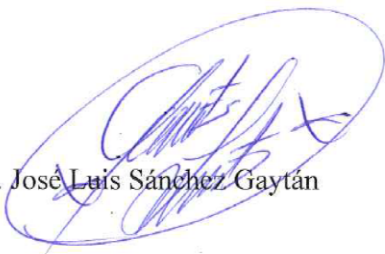
Director de Tesis



Director de Posgrado
PICYT – CIDESI
Querétaro

Los abajo firmantes, miembros del Jurado del Examen de Grado de la alumno **Arturo Velázquez Chindó**, una vez leída y revisada la Tesis titulada **“Diseño de dispositivo de sujeción y giro para corte laser y soldadura CMT de dos intercambiadores de calor y obtención de parámetros”**, aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por el alumno para aspirar al grado de **Maestría en Ciencia y Tecnología** en la opción terminal de **Diseño y Desarrollo de Sistemas Mecánicos** durante el Examen de Grado correspondiente.

Y para que así conste firmamos la presente a los 7 días del mes de Diciembre del año dos mil diecisiete.



Dr. José Luis Sánchez Gaytán

Presidente

Dr. José Antonio Estrada Torres

Secretario



Dr. Luis del Llano Vizcaya

Vocal

DEDICATORIA

A Dios

A la memoria de mi madre Antonia Chindo Uribe
y mi Padre José Luz Velázquez de León

A mis hermanos Juanita, Lourdes, Karina y Jaime

A mi novia Angelina Paz Ortiz

Por su amor, apoyo, paciencia, confianza y motivación.

AGRADECIMIENTOS

Para los compañeros que participaron y que juntos logramos un gran trabajo en equipo desde el concepto hasta la puesta a punto en planta de toda la celda de manufactura y que con su gran apoyo fue posible terminar la presente tesis: José Ruiz, Niels García, Cesar Martínez, José Luis Lázaro, Mauricio Tello y Daniel Anaya, así como el personal de ensamble, manufactura y control.

Para mis compañeros de Maestría con los que compartí experiencias, ayudas, palabras de aliento y motivación en toda esta etapa del Posgrado: Alejandra Calvo, Samantha Narváez, Cristel González, Perla Alcántara, Diana Lucero, Diana Torres, Berenice Rodríguez, Karla Avalos, Juana Bautista, Samuel Martínez, Osvaldo Rubio, Jesús Ayala, Antonio Canseco y Alberto Rodríguez.

Para Lic. Alicia Márquez, M.E Bertha Velasco, M.C. Salvador Pérez, M.C. Salvador Lecona, Dr. Salvador F Acuña, así como a mi Tutor y revisores Dr. Luis del Llano, Dr. José Luis Sánchez y Dr. Antonio Estrada, por todo el seguimiento, apoyo y asesoría para la culminación de esta tesis.

Mención especial para M.D.H. Martha Lucia Salazar Mendoza, Dr Vicente Bringas Rico y Dr. Felipe Alejandro Rubio Castillo, por su gran y valioso apoyo antes y después de darme la oportunidad de continuar mis estudios de Maestría en CIDESI.

A todas estas personas muchas gracias.

RESUMEN.

El presente trabajo muestra el desarrollo de un dispositivo de sujeción y giro de 2 modelos de intercambiadores de calor del tipo coraza y tubos, para el corte laser y soldadura CMT (Cold Metal Transfer) de sus colectores y difusores. Desde el diseño conceptual hasta la obtención de parámetros adecuados para los procesos de corte y soldadura.

Este dispositivo está integrado en una celda de corte laser y soldadura CMT con el objetivo de ser parte del proceso de recuperación de intercambiadores de calor de los camiones diésel, que son usados y desechados debido a corrosión y desgaste de sus tubos internos, para de esta manera contribuir al reciclaje de los intercambiadores.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
LISTA DE IMÁGENES.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE GRÁFICAS.....	viii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.1 Intercambiador de calor.....	2
1.1.2 Láser.....	3
1.1.3 Proceso brazing.....	4
1.1.4 Soldadura CMT.....	5
1.2 ANTECEDENTES.....	6
1.2.1 Situación actual del proceso de recuperación de intercambiadores de calor.....	8
1.2.2 Celda de manufactura como parte del proceso de recuperación de intercambiadores de calor.....	9
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	10
1.4 OBJETIVOS.....	12
1.4.1 Objetivo general.....	12
1.4.2 Objetivos específicos.....	12
1.5 HIPÓTESIS.....	13
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	14
1.7 ESTADO DEL ARTE.....	15
1.8 METODOLOGÍA.....	20
CAPÍTULO 2. DISEÑO DE DISPOSITIVO DE SUJECIÓN Y GIRO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	21
2.1 DISEÑO CONCEPTUAL.....	21
2.1.1 Evaluación de alternativas.....	22
2.1.2 Alternativa seleccionada.....	25
2.2 DISEÑO DE DETALLE.....	26
2.2.1 Unidad motriz.....	26
2.2.2 Sistema de transmisión por poleas de tiempo, sujeción de colector y difusor.....	27
2.2.3 Sistema de transmisión por engranes, sujeción de cuerpo de intercambiador.....	28

2.2.4	Sistema de transmisión completo.....	30
2.2.5	Herramientales de sujeción.....	30
2.2.6	Dispositivo seguidor de perfil.....	33
2.2.7	Dispositivo completo.....	35
CAPÍTULO 3. FABRICACIÓN, ENSAMBLE Y BUSQUEDA DE PARÁMETROS.....		36
3.1	FABRICACIÓN DE DISPOSITIVO.....	36
3.2	ENSAMBLE DE DISPOSITIVO.....	37
3.3	BÚSQUEDA DE PARÁMETROS ADECUADOS PARA CORTE LASER.....	39
3.3.1	Obtención de potencia optima de corte laser.....	41
3.3.2	Obtención de distancia de la separación óptima.....	43
3.3.3	Obtención de la velocidad lineal óptima.....	44
3.4	BÚSQUEDA DE PARÁMETROS ADECUADOS PARA SOLDADURA.....	46
3.4.1	Obtención de parámetros óptimos de soldadura.....	46
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....		49
4.1	RESULTADOS.....	50
4.1.1	Corte laser para el modelo A.....	50
4.1.2	Corte laser para el modelo B.....	56
4.1.3	Soldadura CMT para el modelo A.....	57
4.1.4	Soldadura CMT para el modelo B.....	59
4.2	CONCLUSIONES.....	60
REFERENCIAS.....		63

LISTA DE IMÁGENES.

Imagen 1. Corte con láser de tapa de intercambiador.	1
Imagen 2. Intercambiador de calor de tubo y coraza, cabezal fijo	2
Imagen 3. Partes principales del láser.....	3
Imagen 4. Aplicación de soldadura brazing.	4
Imagen 5. Secuencia del proceso de soldadura CMT, calor-frio-calor-frio.....	5
Imagen 6. Economía lineal y economía circular.....	6
Imagen 7. Modelos A y B de intercambiadores.....	7
Imagen 8. Partes de inspección intercambiador.	7
Imagen 9. Limpieza exterior manual.	8
Imagen 10. Zonas de corte y soldadura en intercambiador.	11
Imagen 11. Sincronización de giro servo y cambio radial cabezal.....	11
Imagen 12. Aplicación soldadura CMT.....	12
Imagen 13. Velocidad tangencial constante en radio variable.....	13
Imagen 14. Economía circular.....	14
Imagen 15. Dispositivo de sujeción y giro, AIMEN.	15
Imagen 16. Dispositivo de sujeción y giro, INMEBA.....	15
Imagen 17. Dispositivo de sujeción y giro, EKROBOTER.....	16
Imagen 18. Dispositivo de sujeción y giro, FORSTER vertical.	17
Imagen 19. Dispositivo de sujeción y giro, FORSTER horizontal.	17
Imagen 20. Dispositivo de sujeción y giro, ABB 1.....	17
Imagen 21. Dispositivo de sujeción y giro, ABB 2.....	18
Imagen 22. Dispositivo de sujeción y giro, SAUBER.....	18
Imagen 23. Dispositivo de sujeción y giro, posicionado horizontal.	19
Imagen 24. Dispositivo de sujeción y giro, posicionado vertical.	19
Imagen 25. Metodología de desarrollo del dispositivo	20
Imagen 26. Conceptual 1, dispositivo en U.....	22
Imagen 27. Conceptual 2, dispositivo en H.....	22
Imagen 28. Concepto de transmisión para dispositivo de giro y sujeción.....	23
Imagen 29. Concepto de giro simultaneo de colector, coraza y difusor de intercambiador de calor.....	23
Imagen 30. Concepto seleccionado para dispositivo de sujeción y giro.	25
Imagen 31. Servomotor allen bradley MPL-A310P-MJ74AA.	26
Imagen 32. Reductor Alpha LP090-M02-50-111.....	26
Imagen 33. Ensamble de unidad motriz: servomotor y reductor.	27
Imagen 34. Sistema de transmisión poleas, sujeción de difusor de gases.....	27
Imagen 35. Sistema de transmisión, sujeción de colector de gases.	28
Imagen 36. Sentido de giro en zona sujeción de difusor, coraza y colector.....	28
Imagen 37. Apertura de engranes bipartidos para extracción de coraza.....	29
Imagen 38. Sistema de transmisión completo.....	30
Imagen 39. Sujeción colector modelo A.	31

Imagen 40. Sujeción coraza modelo A.	31
Imagen 41. Sujeción difusor modelo A.	31
Imagen 42. Sujeción colector modelo B.	32
Imagen 43. Sujeción coraza modelo B.	32
Imagen 44. Sujeción difusor modelo B.	33
Imagen 45. Seguidor de perfil, corte láser.	34
Imagen 46. Seguidor de perfil, aplicación de soldadura.	34
Imagen 47. Dispositivo de sujeción y giro de intercambiador con modelo A.	35
Imagen 48. Dispositivo de sujeción y giro de intercambiador con modelo B.	35
Imagen 49. Plano MFG 1.	36
Imagen 50. Plano MFG 2.	36
Imagen 51. Plano MFG 3.	36
Imagen 52. Plano MFG 4.	36
Imagen 53. Plano MFG 5.	37
Imagen 54. Plano MFG 6.	37
Imagen 55. Ensamble de dispositivo de sujeción y giro 1.	37
Imagen 56. Ensamble de dispositivo de sujeción y giro 2.	38
Imagen 57. Ensamble de dispositivo de sujeción y giro 3.	38
Imagen 58. Perfil sección transversal modelo A.	39
Imagen 59. Perfil sección transversal modelo B.	39
Imagen 60. Velocidad tangencial.	40
Imagen 61. Fuente de potencia láser true disk 1000 W.	41
Imagen 62. Corte de 700 a 770 Watts.	42
Imagen 63. Corte de 825 a 900 Watts.	42
Imagen 64. Distancia de separación de 0.5 y 1.5 mm.	43
Imagen 65. Perfil distancia de separación 0.5 mm y 1.5mm.	44
Imagen 66. Velocidades de 9 y 12 mm/s.	45
Imagen 67. Velocidad de 18 mm/s.	45
Imagen 68. Velocidad 21 mm/s.	45
Imagen 69. Selección de procedimiento de soldadura.	46
Imagen 70. Procedimiento de soldadura (WPS).	47
Imagen 71. Calificación del proceso de soldadura (PQR)	48
Imagen 72. Modelo CAD 3D de perfil de intercambiador modelo A y seguidor.	49
Imagen 73. Obtención de radios de intercambiador modelo A.	50
Imagen 74. Corte láser 1, modelo A.	55
Imagen 75. Corte láser 2, modelo A.	55
Imagen 76. Perfil intercambiador modelo B.	56
Imagen 77. Corte laser 1, modelo B.	56
Imagen 78. Corte láser 2, modelo B.	57
Imagen 79. Soldadura CMT, modelo A.	58
Imagen 80. Soldadura CMT, modelo B.	59
Imagen 81. Parámetros de soldadura.	60
Imagen 82. Celda de corte láser y soldadura CMT.	62

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Árbol del producto celda de corte y soldadura.....	10
Tabla 2. Tabla de evaluación de conceptos de dispositivos U y H.	24
Tabla 3. Resultados potencia variable.	42
Tabla 4. Resultados distancia separación óptima.....	43
Tabla 5. Resultados velocidad óptima.	44
Tabla 6. Velocidad angular variable para corte laser.	53
Tabla 7. Velocidad angular variable para servomotor, proceso corte laser.....	54
Tabla 8. Velocidad angular variable para soldadura.	57
Tabla 9. Velocidad angular variable para servomotor, proceso soldadura.....	58
Tabla 10. Parámetros óptimos de corte.....	60

LISTA DE GRÁFICAS.

Gráfica 1. Radio de intercambiador modelo A.....	51
Gráfica 2. Magnitud radios.....	52

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

1.1 INTRODUCCIÓN.

La automatización y mejoramiento de procesos involucra siempre el diseño de algún dispositivo, mecanismo o máquina; como es el caso de las celdas robotizadas que se usan para diversos productos y procesos, por ejemplo, en la industria automotriz el uso de estas celdas con robots es algo común para los procesos de unión por soldadura de las partes de carrocería.

El presente trabajo no es la excepción, donde se requiere una celda para la recuperación de dos modelos de intercambiadores de calor de coraza y tubos, presentes en algunos motores diésel. Estos intercambiadores de calor se reparan debido principalmente al desgaste y corrosión que sufren sus tubos internos, para esto se realizaran los siguientes procesos:

- Corte láser de colector y difusor de gases de combustión del intercambiador.
- Aplicación de calor localizado para proceso brazing (soldadura por fusión de pasta de cobre), para reparación de los tubos internos del intercambiador debido a corrosión y desgaste.
- Soldadura CMT (Transferencia de Metal en Frío) de los colectores y difusores de intercambiadores de calor.

Estos procesos tendrán sus respectivos cabezales: de corte láser, de calentamiento para soldadura brazing y de soldadura CMT, con sistema de cambio rápido de cabezales.

Por lo tanto, para esta celda prototipo, se tendrá que diseñar su dispositivo especial de sujeción y giro para los dos modelos de intercambiadores, con las especificaciones necesarias para lograr obtener los parámetros adecuados de corte láser y de soldadura CMT de los difusores y colectores.



Imagen 1. Corte con láser de tapa de intercambiador.

Para un mejor entendimiento, se explican algunos conceptos:

1.1.1 Intercambiador de calor.

Un intercambiador facilita la transferencia de calor entre dos o más fluidos que se encuentran a diferentes temperaturas.

Se clasifican de diversas formas, principalmente:

- De acuerdo al proceso de transferencia: de contacto directo e indirecto.
- De acuerdo al mecanismo de transferencia de calor: de convección y radiación.
- De acuerdo a la disposición de fluidos: de paso único y de pasos múltiples.
- De acuerdo al tipo de construcción: de doble tubo, de tubo y coraza (o carcasa), enfriados por aire y radiadores, de placas y en espiral.

Los intercambiadores de calor de tubo y coraza a su vez se clasifican: de cabezal fijo, de cabezal flotante y de tubos en forma de U. [1]

Los dos modelos de intercambiadores de calor que se recuperaran en la celda, son de tubo y coraza, además de ser de cabezal fijo. Estos intercambiadores son usados en los camiones de motor a diésel, para enfriar los gases del motor y no perder potencia en el camión.

En la Imagen 2, se muestra el flujo de los gases y del refrigerante, así como sus partes principales:

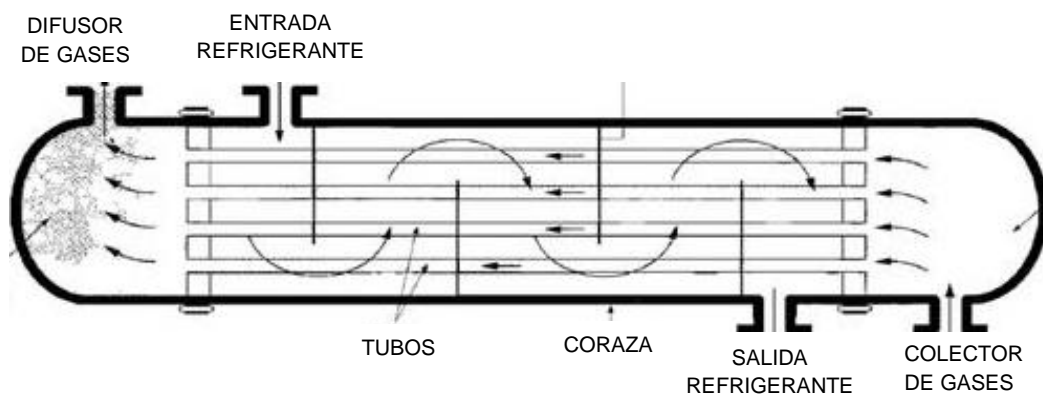


Imagen 2. Intercambiador de calor de tubo y coraza, cabezal fijo

1.1.2 Láser.

El significado de LASER es Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, es decir Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación. Es un dispositivo electrónico que amplifica un haz de luz de extraordinaria intensidad.

Se basa en la excitación de una onda estacionaria entre dos espejos, uno opaco y otro traslúcido, en un medio homogéneo. Como resultado de este proceso se origina una onda luminosa de múltiples idas y venidas entre los espejos, que sale por el traslúcido. En la Imagen 3, se muestra un esquema de las partes principales del láser.

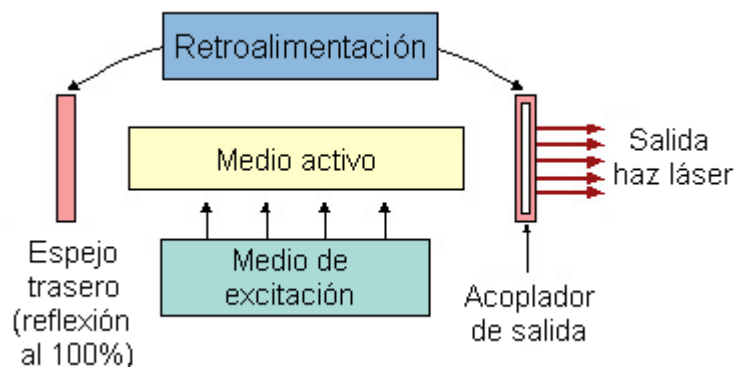


Imagen 3. Partes principales del láser.

En la actualidad, las aplicaciones del láser son múltiples:

- Dado que un haz de rayos láser origina una línea recta de luz, es posible utilizarla como para medir distancias —calculando el tiempo que tarda la luz en ir y volver al objetivo a medir—.
- El rayo láser proporciona gran definición, lo que permite utilizarlo en las impresoras de los ordenadores. La grabación de imágenes en tres dimensiones se basa, asimismo, en el empleo de dos rayos láser, uno de los cuales da directamente en la película, mientras el segundo rebota en el objeto que se desea fotografiar.
- Como es sabido, el volumen de información que transmite una onda electromagnética depende de su frecuencia; en este sentido, la luz de un rayo láser resulta idónea para la transmisión de señales.

- En el ámbito de la medicina, los bisturís cauterizantes recurren también a la tecnología del láser, lo que permite realizar cortes muy finos de gran precisión y evita cualquier riesgo de contagio; asimismo, el láser cauteriza de manera inmediata, alejando el peligro de hemorragias.
- Una de las aplicaciones más cotidianas del láser es la lectura de discos compactos. Pueden mencionarse también la fabricación de circuitos integrados, la lectura de códigos de barras o el trabajo con materiales industriales.
- Así como también el corte de diversidad de materiales. [2]

1.1.3 Proceso brazing.

La soldadura fuerte (conocida a veces con la palabra inglesa "brazing") define el proceso de unir dos metales mediante un proceso de calentamiento a la temperatura adecuada, utilizando en la unión un metal de relleno con una temperatura de fusión inferior a la de los metales que se deben unir, que no intervienen en el proceso de soldadura.

En el proceso de la soldadura fuerte (o "brazing") la temperatura de fusión del metal de relleno está por encima de los 450°C, habitualmente entre 600°C y 800°C. [3]

Se puede aplicar la pasta y pasarla por un horno, o bien calentar con un soplete e ir aportando la pasta, un ejemplo se ilustra en la Imagen 4.

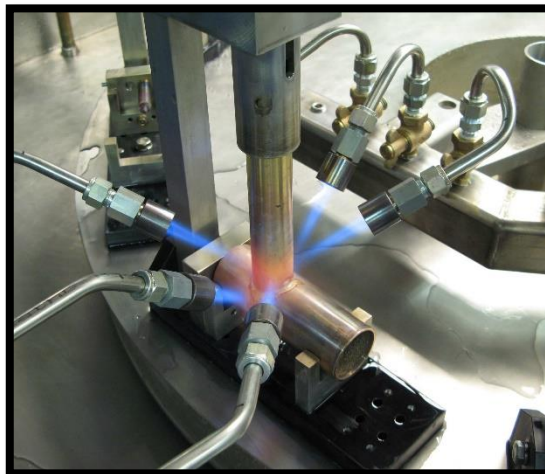


Imagen 4. Aplicación de soldadura brazing.

Para la celda del presente trabajo se colocará pasta de soldadura de cobre base níquel en los tubos dañados del intercambiador y con un cabezal laser de calentamiento se fundirá esta pasta para realizar la reparación de estos.

1.1.4 Soldadura CMT.

El proceso CMT, Cold Metal Transfer, es decir soldadura por Transferencia de Metal Frio, se basa en la transferencia del metal aporte en la soldadura por arco y cuenta con una deliberada y sistemática discontinuidad del arco. El resultado puede ser descrito como una alternada secuencia calor-frío-calor-frío que reduce en gran medida la presión de arco. En la Imagen 5 se aprecia esto.

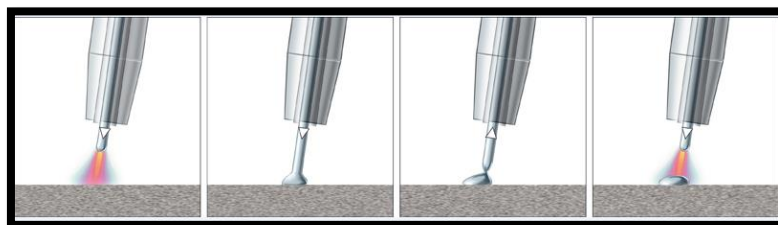


Imagen 5. Secuencia del proceso de soldadura CMT, calor-frío-calor-frío.

Algunas características importantes a mencionar son las siguientes:

- El proceso de soldadura por transferencia de metal frío, logra una mayor calidad, ya que tiene una mayor uniformidad y reproducibilidad en el proceso, con lo que se logra un número menor de rechazos.
- La reducción de aporte térmico y la ausencia de salpicaduras conlleva al aumento de la productividad y la disminución de los costos de post-soldadura como el mecanizado.
- En el pasado, las uniones de aluminio-acero sólo habían sido posibles mediante soldadura por láser y con importantes limitaciones. La tecnología del CMT ha logrado la unión de estos materiales con una buena apariencia y alta calidad. [4]

Para los intercambiadores de calor del presente trabajo se usará esta tecnología para soldar los colectores y difusores a la coraza.

1.2 ANTECEDENTES.

En 1984 se instala en México la empresa dedicada a producir motores a diésel y sus componentes, y para el 2010 se crea el área operativa para la re-manufactura de los componentes de estos motores. Uno de estos son los intercambiadores de calor de tubo y coraza de cabezal fijo.

La importancia de crear esta área en la empresa, va ligada a la idea de adoptar el concepto de economía circular y abandonar el de economía lineal.

Es decir, abandonar el concepto actual de vida de un producto el cual cumple un ciclo de producir, usar y después desechar; e intercambiar por el de producir, usar y finalmente reparar, reutilizar o reciclar. En la Imagen 6, se ilustra esto.

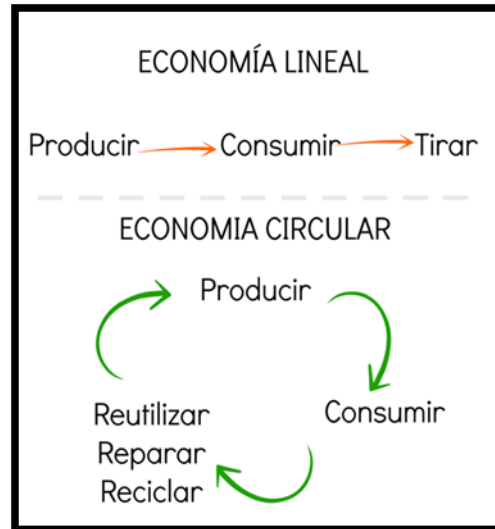


Imagen 6. Economía lineal y economía circular.

Para poder adoptar esta economía circular, hay que revisar la ruta que siguen los intercambiadores.

- En primera instancia el usuario final o el mecánico lleva a un centro de captación los intercambiadores de calor ya usados y no útiles en los camiones, confinándolos para su posible recuperación y vuelta al mercado.
- En el contenedor de confinamiento se alojan intercambiadores de dos modelos diferentes, llamados “modelo A y B”. Estos se muestran en la Imagen 7.

MODELO

INTERCAMBIADOR

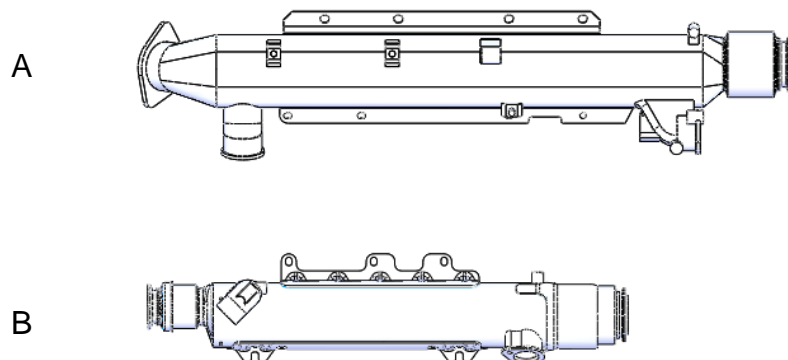


Imagen 7. Modelos A y B de intercambiadores.

Las dimensiones aproximadas de los modelos son:

- MODELO A. Longitud de 948 mm y una sección transversal de 138 mm².
- MODELO B. Longitud de 705 mm y una sección transversal de 133 mm².

Las geometrías, puntos de control (datum's) y tapas, son diferentes y están en diferentes posiciones para los dos modelos.

- De los contenedores de confinamiento, la empresa los selecciona para su inspección cuidando que no tengan daños graves, como fracturas, fisuras, daños en colector, difusor, conectores, fuelles, abrazaderas y cuerpo en general, algunas de estas partes se aprecian en la Imagen 8.



Imagen 8. Partes de inspección intercambiador.

- Una vez inspeccionados los intercambiadores, inicia el proceso para la reparación de la corrosión producida en los tubos del intercambiador de calor y que producen fugas.

1.2.1 Situación actual del proceso de recuperación de intercambiadores de calor.

Actualmente este proceso de recuperación solo se lleva a cabo en una planta del corporativo en Europa en forma manual y se realiza de la siguiente manera:

- Lavado manual externo por aspersion, ver Imagen 9.
- Lavado interno en tina por inmersión.
- Inspección visual de fugas por inmersión.
- Corte de colector y difusor con segueta mecánica.
- Una vez identificados los tubos dañados se procede a aplicarles pasta de soldadura base níquel y su posterior fusión por medio de un calentamiento, para sellarlos y así evitar las fugas.
- Operación de soldadura manual con CMT para el colector y difusor.
- Inspección de fugas y liberación de producto.

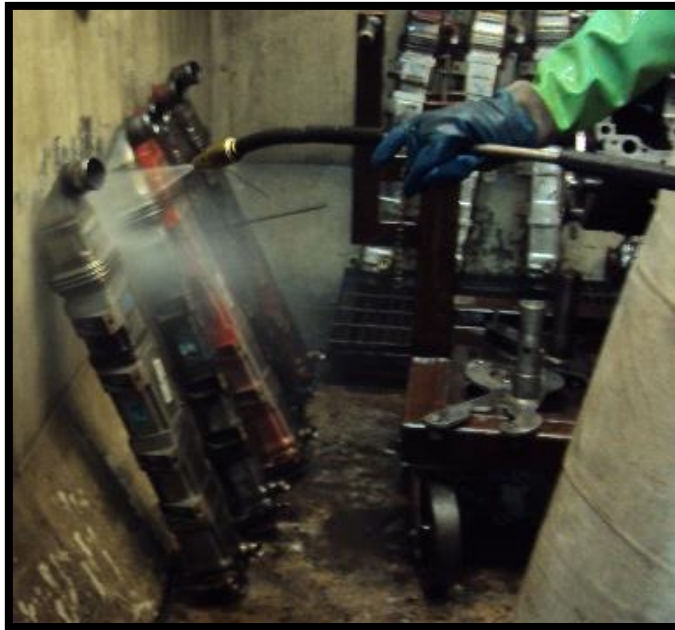


Imagen 9. Limpieza exterior manual.

Para el corte y la soldadura, los dispositivos de sujeción son solo herramientas donde se colocan los intercambiadores y la velocidad de avance de aplicación de soldadura normalmente no es parámetro constante, por lo que la calidad de estos varía y no es parámetro controlable. Además, se generan zonas de concentración de calor provocando un mal corte o mal soldado que puede llegar a dañar el intercambiador.

1.2.2 Celda de manufactura como parte del proceso de recuperación de intercambiadores de calor.

Por lo tanto, como parte de este proceso de recuperación de intercambiadores, se requiere una celda de manufactura para lo siguiente:

- Montaje y desmontaje de dos modelos de intercambiadores de calor
- Corte de colector y difusor, por medio de un cabezal láser.
- Fusión de la pasta de soldadura colocada en los tubos dañados, por medio de un cabezal de calentamiento laser.
- Unión por soldadura CMT del colector y difusor, por medio de un cabezal de soldadura.
- Colocación de dos modelos de intercambiadores de calor en herramientas de corte y soldadura, que formarán parte del dispositivo de sujeción y giro.
- Colocación de dos modelos de intercambiadores en herramientas para la fusión de pasta de soldadura.
- Permitir al operador realizar el montaje de los intercambiadores por la parte exterior de la celda, mientras en la parte interior se esté realizando el proceso automático de corte laser, fusión de pasta de soldadura o aplicación de soldadura CMT.
- Para el anterior punto habrá dos dispositivos de sujeción y giro iguales, montados sobre un plato indexador de dos posiciones, con sus respectivos herramientas.

En la siguiente Tabla 1 se aprecia el árbol del producto de esta celda, donde en la primera columna o rama se ubican el dispositivo del presente trabajo.

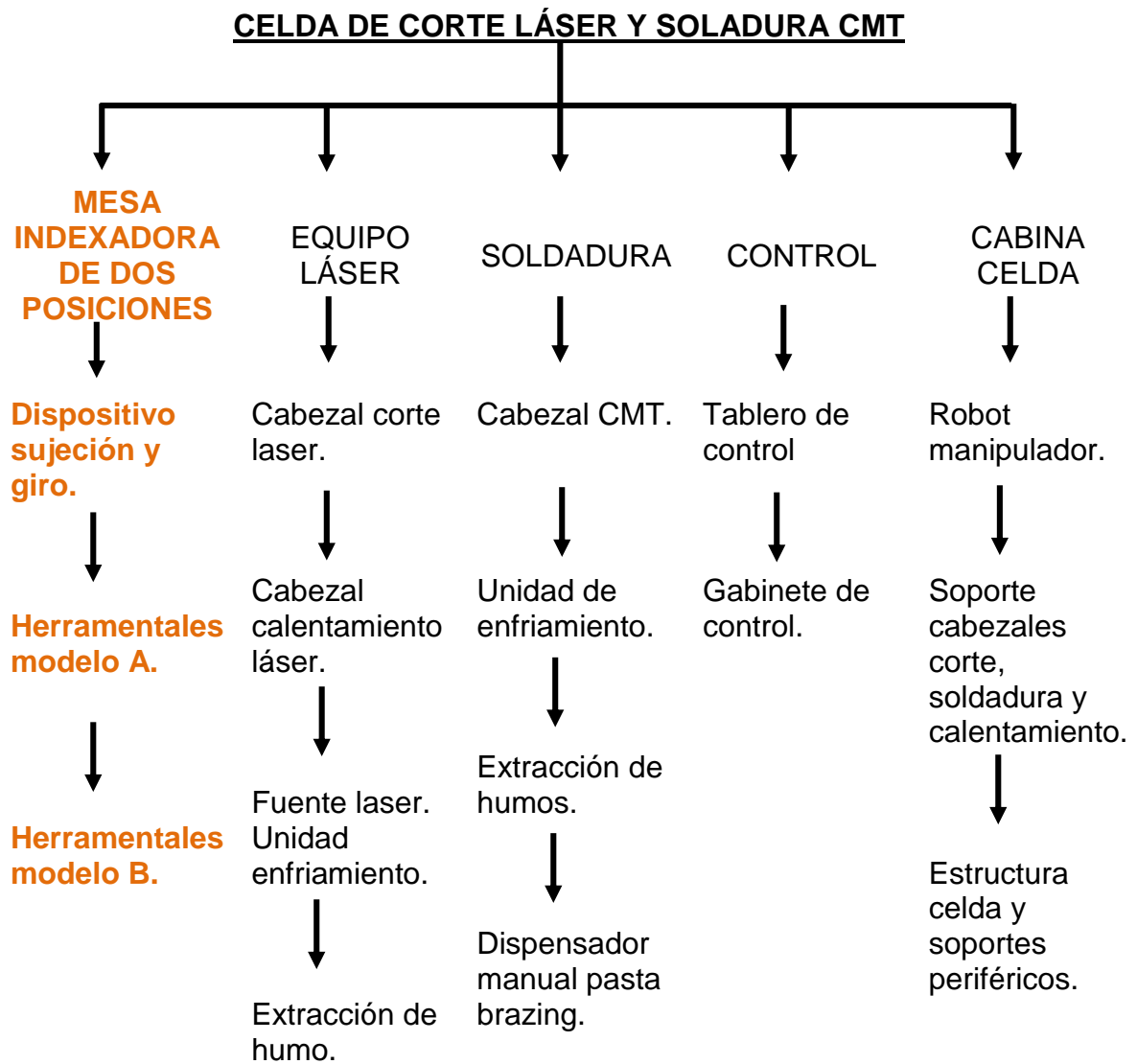


Tabla 1. Árbol del producto celda de corte y soldadura.

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Dentro de la celda de manufactura se requiere un dispositivo para la sujeción y giro de los intercambiadores de calor, que resuelva principalmente los siguientes requerimientos proporcionados por el cliente:

- Herramientales reemplazables para los dos modelos A y B de intercambiadores.
- Tres zonas de sujeción de los intercambiadores: cuerpo central o coraza, colector y difusor de gases, en la Imagen 10 se aprecian estas zonas;
- Giro simultáneo de estas tres zonas del intercambiador, por medio de un sistema de transmisión.
- Sincronización de la velocidad de giro del servomotor, con posición de cabezales de corte láser y soldadura (cambio radial y angular). Ver Imagen 11.
- Con el dispositivo y sus herramientas lograr el corte del colector y difusor por medio de láser, además de la posterior aplicación de soldadura para la unión de los colectores y difusores con el cuerpo del intercambiador.

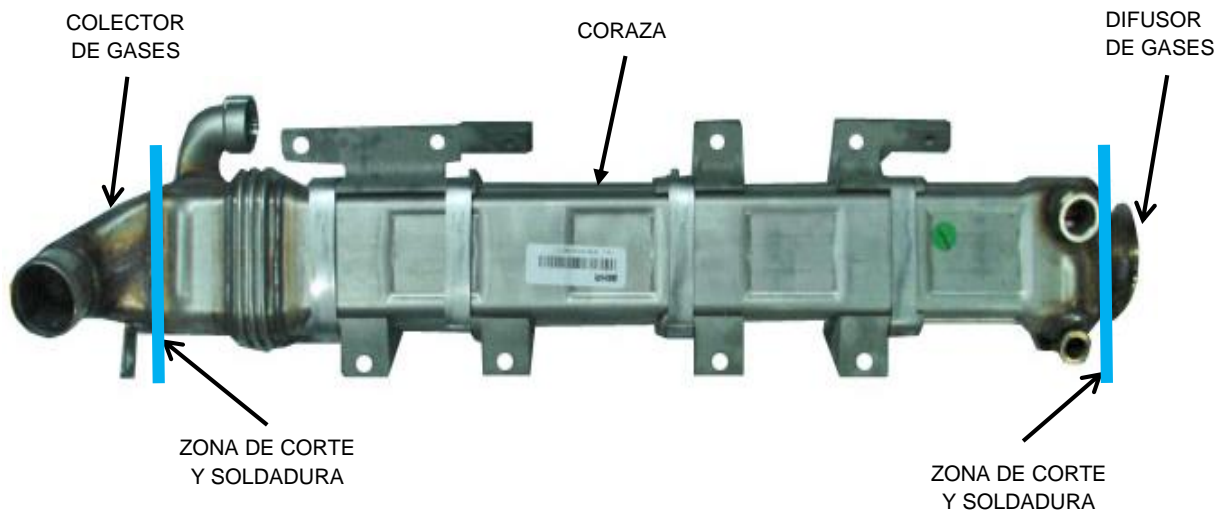


Imagen 10. Zonas de corte y soldadura en intercambiador.

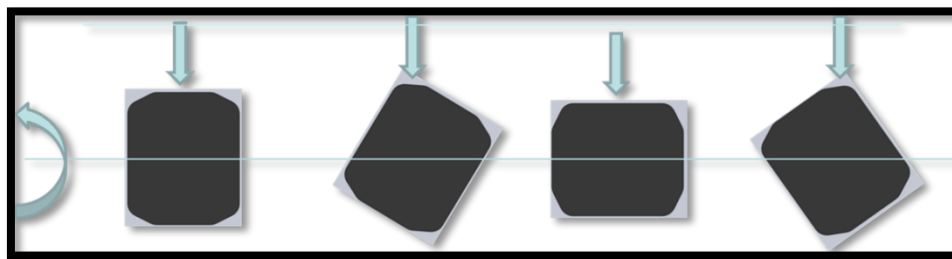


Imagen 11. Sincronización de giro servo y cambio radial cabezal.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo general.

- Recuperación de dos modelos de intercambiadores en un mismo dispositivo.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Diseño de un dispositivo para sujeción de dos modelos de intercambiadores de calor, en una celda de corte láser y soldadura CMT. Con la capacidad de mantener constante la velocidad tangencial sobre el perímetro de una sección transversal de radio irregular.
- Encontrar los parámetros de velocidad adecuados del servomotor para un corte y soldadura de buena calidad y apariencia, de dos modelos de intercambiadores.

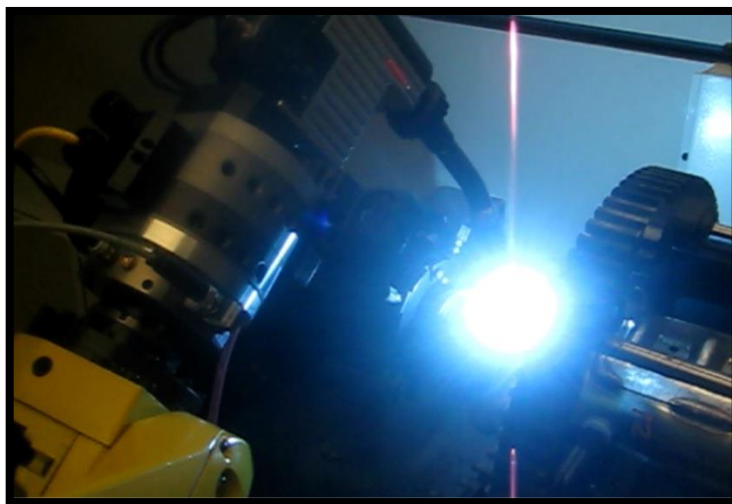


Imagen 12. Aplicación soldadura CMT.

1.5 HIPÓTESIS.

- Se podrá realizar corte o aplicación de soldadura con características y propiedades de resistencia homogéneas sobre su trayectoria perimetral a una sección irregular conservando una velocidad tangencial constante. Ver Imagen 13.
- En relación a la interrogante anterior se podrá adicionar el montar sobre el mismo dispositivo dos modelos diferentes de intercambiadores.

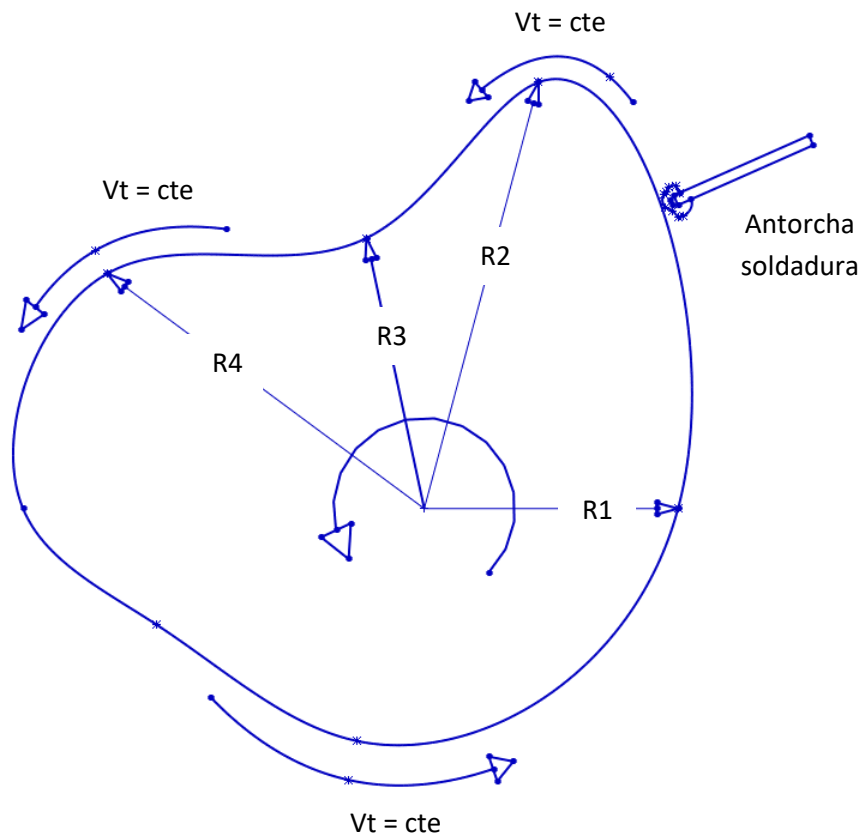


Imagen 13. Velocidad tangencial constante en radio variable.

1.6 JUSTIFICACIÓN.

- La fabricación de este dispositivo de sujeción es parte importante para que el corte y la soldadura se realicen con buena calidad ya que al estar automatizados estos procesos, permitirá experimentar con diferentes velocidades y parámetros de corte y soldadura
- Con la recuperación de los intercambiadores de calor se estima un ahorro del 50%, es decir un componente recuperado cuesta un 50% más barato de su costo cuando esta nuevo.
- Los componentes recuperados tendrán la misma calidad y garantía que uno nuevo.
- Se podrá realizar investigación experimental en la celda.
- Se utiliza menos energía en un 50% en el proceso de recuperación que en el de fabricación de un componente nuevo.
- Contribuir con el medio ambiente al reciclar los intercambiadores y volverlos al mercado.
- Tendencia a cambiar de economía lineal (producir, consumir y tirar) a economía circular (producir, consumir, reutilizar-reparar-reciclar). Ver Imagen 14 .
- Al no existir dispositivos de sujeción a la medida para los cuatro modelos de intercambiadores, este se diseñará e integrará para la celda robotizada de corte láser y soldadura.

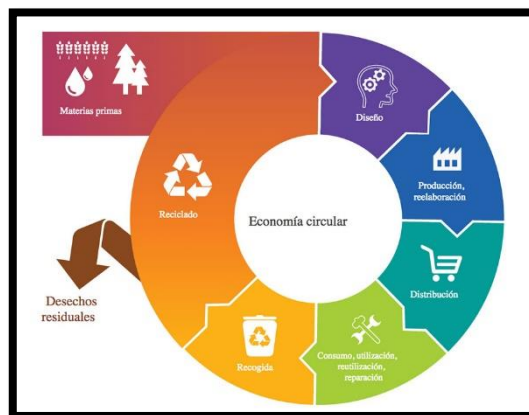


Imagen 14. Economía circular.

1.7 ESTADO DEL ARTE.

Algunas empresas ya existentes se dedican a la fabricación de celdas robotizadas laser y de soldadura que cuentan con diversidad de dispositivos de sujeción:

1. CENTRO TECNOLÓGICO AIMEN.

c/ Relva 27 A 36410 –O Porriño
(Pontevedra), España

www.aimen.es



Imagen 15. Dispositivo de sujeción y giro,
AIMEN.

VENTAJAS:

- Rigidez y barrenos para posicionar diversos herramientas.

DESVENTAJAS:

- La plataforma de sujeción es sólida en toda su dimensión y el giro es sobre al centro del espesor de la plataforma.
- Díficil acceso de los cabezales para toda la geometría del intercambiador.
- No se pueden tener 2 zonas de trabajo, al interior y exterior de la celda, su base es fija.

2. INMEBA.

Homero 2100 B, Yofre norte,
Cordoba Argentina

www.inmebasrl.com



Imagen 16. Dispositivo de sujeción y giro,
INMEBA.

VENTAJAS.

- Se puede montar sobre un plato indexador de 2 posiciones.

- Giro sobre el eje longitudinal del intercambiador.

DESVENTAJAS

- Giro Manual.
- Difícil acceso para cabezales.

3. EK ROBOTER S.A.

Triunvirato 2068 (B1753GQH) San Justo - Bs. As. – Argentina

www.ekroboter.com

VENTAJAS:

- Posibilidad de montaje de herramientas.



Imagen 17. Dispositivo de sujeción y giro, EKROBOTER.

DESVENTAJAS:

- El giro de la mesa es sobre al centro del espesor de la misma.
- Difícil acceso de los cabezales para toda la geometría del intercambiador.
- No se pueden tener 2 zonas de trabajo, al interior y exterior de la celda, su base es fija.

4. FORSTER WELDING SYSTEMS.

Gewerbering 21-23 D-09337
Hohenstein-Ernstthal, Alemania.
www.forster-welding-systems.com

VENTAJAS:

- Posibilidad de montaje de herramientas.
- Robustas y para piezas de grandes dimensiones.

DESVENTAJAS:

- El giro de la mesa de trabajo
- Difícil acceso de los cabezales para toda la geometría del intercambiador.
- No se pueden tener 2 zonas de trabajo, al interior y exterior de la celda, ambos modelos cuentan con bases fijas.



Imagen 18. Dispositivo de sujeción y giro, FORSTER vertical.



Imagen 19. Dispositivo de sujeción y giro, FORSTER horizontal.

5. ASEA BROWN BOVERI (ABB).

Estocolmo Suiza
www.abb.com

VENTAJAS:

- Giro sobre eje longitudinal de los intercambiadores.
- Posibilidad de montaje de herramientas.



Imagen 20. Dispositivo de sujeción y giro, ABB 1.

- Robustas y para piezas de grandes dimensiones.

DESVENTAJAS:

- Dificil acceso de los cabezales para toda la geometría del intercambiador.
- No se pueden tener 2 zonas de trabajo, al interior y exterior de la celda, ambos modelos cuentan con bases fijas.



Imagen 21. Dispositivo de sujeción y giro, ABB 2.

6. ALEJANDRO SAUBER

AUTOMATIZACIONES S.A.

Moreno 4450 (1752) Lomas del Mirador.

Buenos Aires Argentina.

www.alejandrosauber.com.ar

VENTAJAS:

- Giro sobre eje longitudinal de los intercambiadores.
- Posibilidad de montaje de herramientas.



Imagen 22. Dispositivo de sujeción y giro, SAUBER.

DESVENTAJAS:

- Dificil acceso de los cabezales para toda la geometría del intercambiador.
- No se pueden tener 2 zonas de trabajo, al interior y exterior de la celda, su base es fija.

7. WUXI YANGTONG
MECHANICAL EQUIPMENT Co.
LTD.

Yangshan, Distrito Huishan, Ciudad de Wuxi, Provincia de Jiangsu, China

www.weldingequipment.com.es

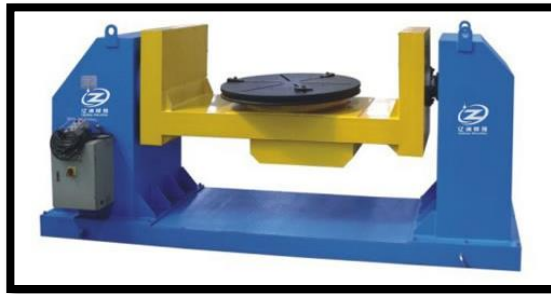


Imagen 23. Dispositivo de sujeción y giro, posicionado horizontal.

VENTAJAS:

- Giro sobre eje longitudinal de los intercambiadores en el modelo de la Imagen 24.
- Posibilidad de montaje de herramientas.



Imagen 24. Dispositivo de sujeción y giro, posicionado vertical.

DESVENTAJAS:

- Difícil acceso de los cabezales para toda la geometría del intercambiador.
- No se pueden tener 2 zonas de trabajo, al interior y exterior de la celda, su base es fija.
- El giro es excéntrico respecto al eje longitudinal del intercambiador en modelo de la Imagen 23.

Respecto a todos los modelos revisados en el estado del arte no hay un dispositivo que se ajuste a los requerimientos planteados por el cliente, por lo que es necesario un diseño especial y a la medida de los intercambiadores.

1.8 METODOLOGÍA.

- Diseño conceptual (alternativas de diseño 1 y 2, ventajas y desventajas).
- Selección de alternativa de diseño en acuerdo al mejor cumplimiento de requerimientos y criterios especificados.
- Diseño de detalle (Cálculos básicos y selección de componentes comerciales de la mejor alternativa).
- Fabricación y ensamble de dispositivo de sujeción y giro.
- Búsqueda de parámetros de corte laser y soldadura CMT.
- Resultados.
- Conclusiones.

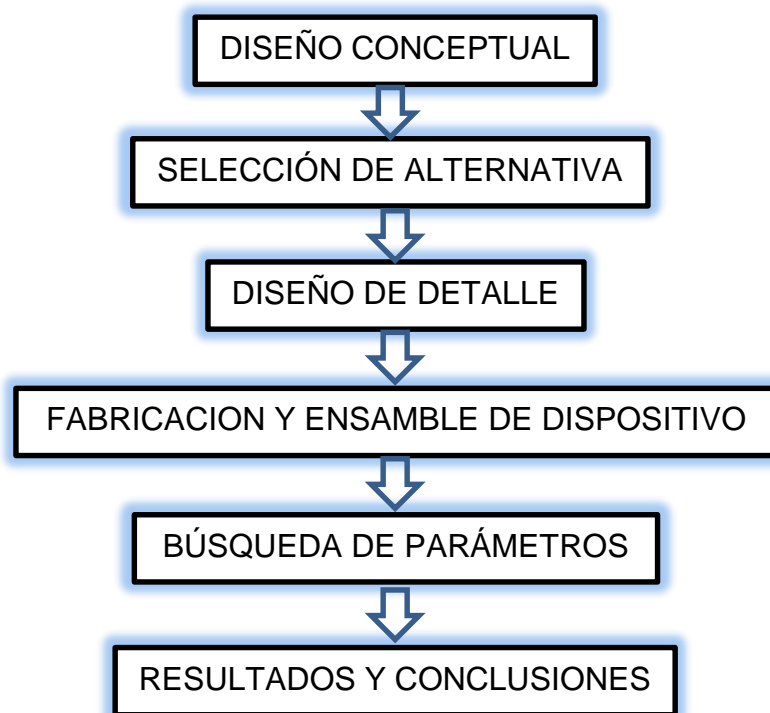


Imagen 25. Metodología de desarrollo del dispositivo

CAPÍTULO 2. DISEÑO DE DISPOSITIVO DE SUJECIÓN Y GIRO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.

2.1 DISEÑO CONCEPTUAL.

Para el diseño conceptual se parte de las siguientes características que se deben cumplir y son requerimientos del cliente:

- Montaduras reemplazables para los modelos A y B de intercambiadores.
- Tres zonas de sujeción de los intercambiadores: cuerpo central, colector y difusor; y el giro coordinado de estas 3 zonas.
- Se debe integrar un sistema de transmisión para el giro simultáneo de las tres partes del intercambiador.
- Sincronización de la velocidad de giro del servomotor, con posición de cabezales de corte laser y soldadura (cambio radial y angular).
- Los intercambiadores se necesitan colocar en forma horizontal para el proceso de corte, para girar sobre su eje longitudinal 360 grados.
- El dispositivo no debe de obstruir los cabezales de corte y soldadura durante el giro de los intercambiadores, por lo que se debe tener libres los extremos en la zona de corte y soldadura de los colectores y difusores de gases.
- El dispositivo debe permitir la carga, descarga y preparación de partes de intercambiador a soldar, en forma manual.
- Se requiere que mientras un intercambiador se esté cortando o soldando al interior de la celda, al mismo tiempo exista una estación de carga y preparación de intercambiador para entrar a proceso, el tiempo de giro en a 108° será de 10 segundos.
- La capacidad de carga deberá ser de 300 kg.

Revisando el estado del arte no se aprecia un dispositivo de sujeción que se adapte a los cuatro modelos de los intercambiadores de calor y que cumpla con las características anteriores.

Sin embargo, se seleccionan dos modelos como punto de partida para un diseño conceptual, ya que se aproximan a lo que estamos buscando, estos son los referentes a la Imagen 20. Dispositivo de sujeción y giro, ABB 1 y la Imagen 23. Dispositivo de sujeción y giro, posicionado horizontal

2.1.1 Evaluación de alternativas.

A partir de la Imagen 20 y de la Imagen 23 se desarrollan dos conceptos considerando todas las características y requerimientos antes mencionados en el apartado 1.1 Diseño conceptual, a estos dos conceptos se identifican como:

1. Dispositivo en U, que toma la forma de la Imagen 23. Dispositivo de sujeción y giro, posicionado horizontal.
2. Dispositivo en H, que toma la forma de la Imagen 20. Dispositivo de sujeción y giro, ABB 1.



Imagen 23

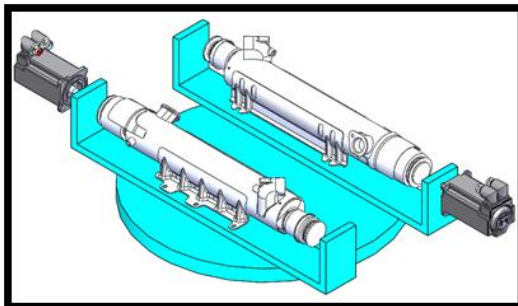


Imagen 26. Conceptual 1, dispositivo en U.



Imagen 20

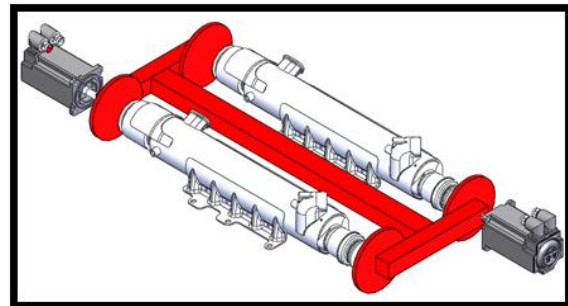


Imagen 27. Conceptual 2, dispositivo en H.

El concepto de transmisión se desarrolló con poleas y banda de tiempo, sistemas de engranajes, ejes y un servomotor como unidad motriz, ver Imagen 28, y se considera que puede ser adaptado a ambos conceptos.

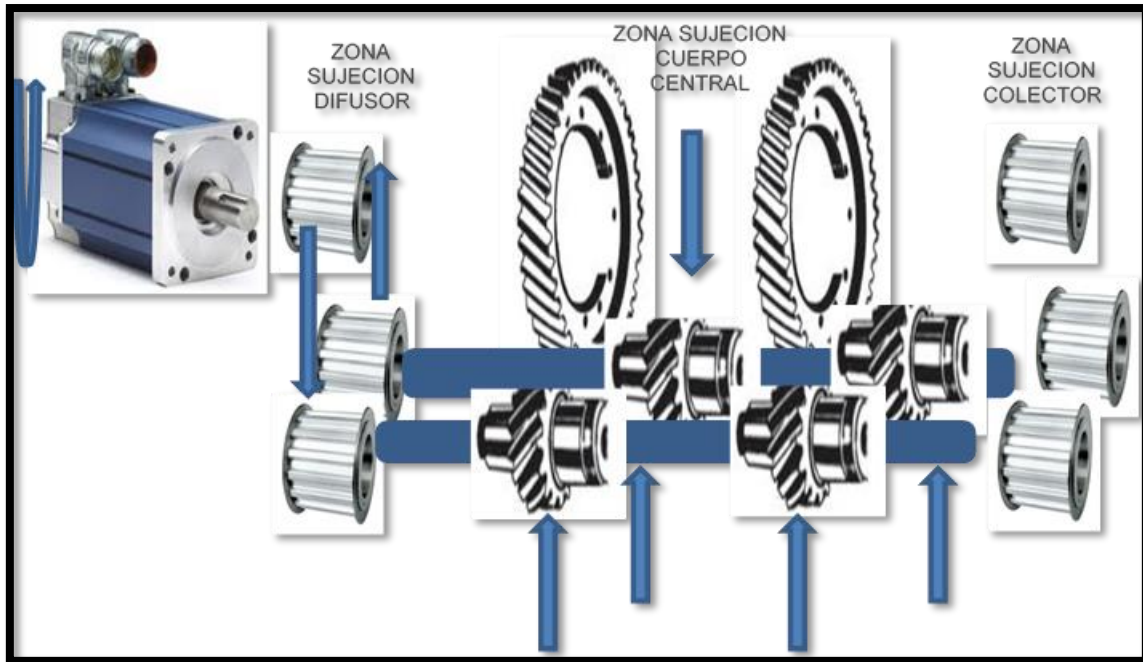


Imagen 28. Concepto de transmisión para dispositivo de giro y sujeción.

De esta forma se puede tener acceso de los cabezales los 360° de giro de los intercambiadores sobre su eje longitudinal. Además, se podrán adaptar los herramientas para la sujeción del difusor, colector y coraza del intercambiador.

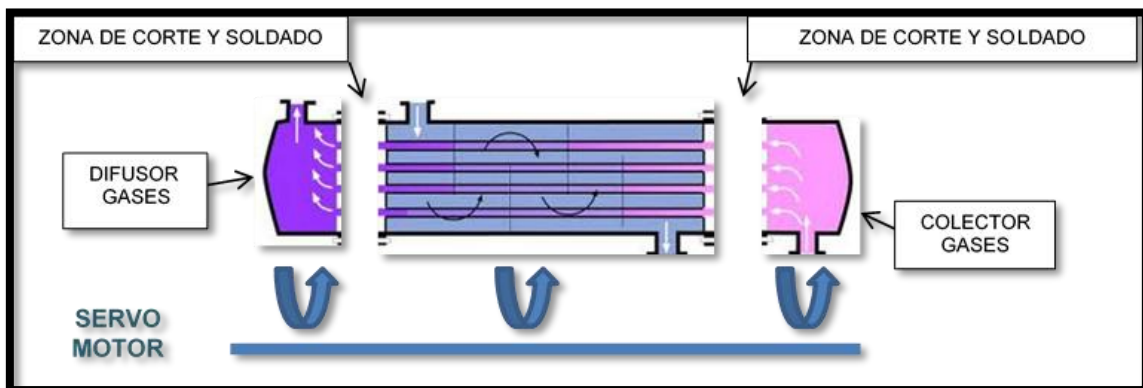


Imagen 29. Concepto de giro simultaneo de colector, coraza y difusor de intercambiador de calor.

En la siguiente Tabla 2 se realiza la evaluación de las alternativas con las características importantes para el cliente.

El puntaje se asigna de acuerdo a los siguientes criterios:

- 1 = Muy deficiente
- 2 = Deficiente
- 3 = Aceptable
- 4 = Bueno
- 5 = Muy bueno



Concepto	Dos estaciones, carga-descarga y proceso	Capacidad de una unidad motriz, por estación.	Capacidad de carga de 300 Kg.	Capacidad de montaduras reemplazables	Acceso 360° de cabezales	Posibilidad de sujeción 3 partes intercambiador	Posibilidad de incluir sistema de transmisión con giro simultaneo de 3 partes de intercambiador	Posición de intercambiadores horizontalmente.	Costo estimado	TOTAL
1.- U	5	5	5	4	4	4	5	5	3	40
2.- H	1	5	4	4	4	4	4	5	5	36

Tabla 2. Tabla de evaluación de conceptos de dispositivos U y H.

Revisando el puntaje total nos damos cuenta que están muy parejos, al realizar un análisis más a fondo, los dos conceptos tienen forma de U, solo que el número 1, dispositivo en U lo podemos considerar posicionado en forma horizontal y el número 2, dispositivo en H está a 90° respecto a el plano horizontal.

Pero el concepto número dos en forma de H tiene la desventaja que su base es fija por lo que no se podría utilizar simultáneamente y de forma continua adentro y afuera de la cabina de la celda.

Otra desventaja para el concepto dos en forma de H, es que el sistema de transmisión propuesto está más pensado en forma vertical que en forma horizontal, debido a que esta forma ayuda más a la estabilidad de los engranes centrales que sujetan a la coraza del intercambiador, por lo que sería más adecuado al concepto uno, en forma de U.

2.1.2 Alternativa seleccionada

Con la evaluación realizada a los conceptos de dispositivo, se determina seleccionar el concepto nombrado número 1, en forma de U.

Este concepto incluye dos dispositivos iguales que estarán montados sobre un plato indexador de 2 posiciones, para permitir la carga y descarga de los intercambiadores en el exterior de la celda mientras en el interior se esté trabajando otro intercambiador.

Para el presente trabajo solo se desarrollará el dispositivo de sujeción y giro para dos modelos de intercambiadores.

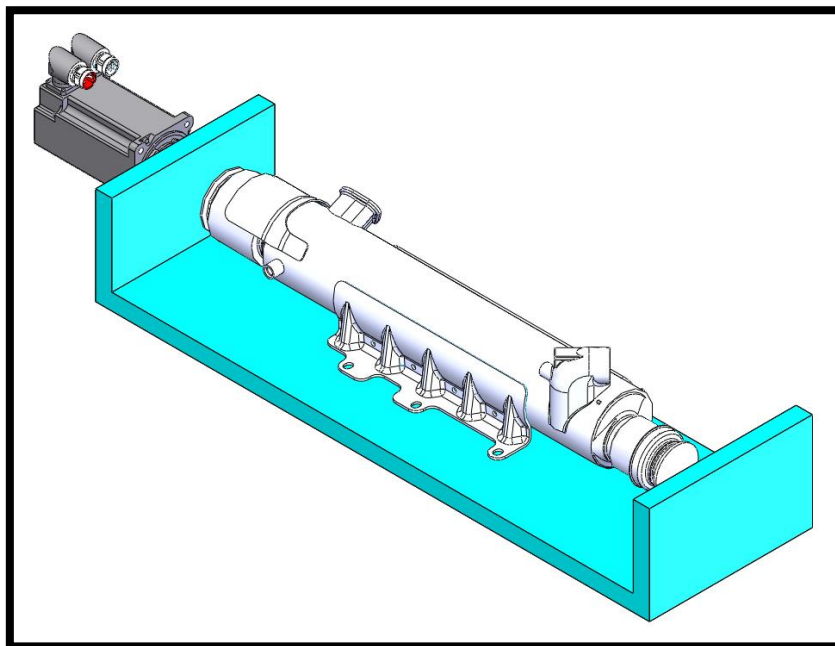


Imagen 30. Concepto seleccionado para dispositivo de sujeción y giro.

2.2 DISEÑO DE DETALLE.

2.2.1 Unidad motriz.

Considerando las inercias y torques de la sujeción de colector, sujeción de difusor, sujeción de cuerpo de intercambiador, sistema de transmisión de movimiento, se selecciona la siguiente unidad motriz:

- Motor Allen Bradley MPL-A310P-MJ74AA: 5000 rpm, Torque=1.58 N*m, Torque pico=3.61 N*m, Potencia=0.73Kw=0.9789HP. Ver Imagen 31.

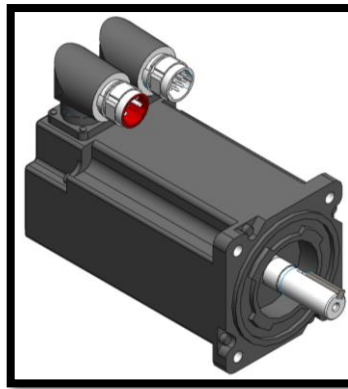


Imagen 31. Servomotor allen bradley MPL-A310P-MJ74AA.

- Reductor Alpha LP090-M02-50-111, 40-100 N*m, hasta 6000 RPM, rel 3:100. Ver Imagen 32.

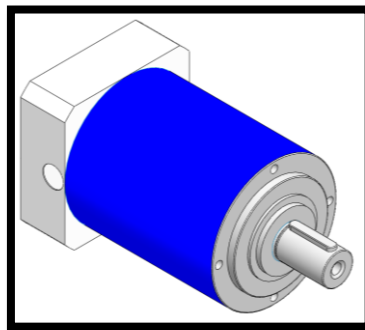


Imagen 32. Reductor Alpha LP090-M02-50-111.

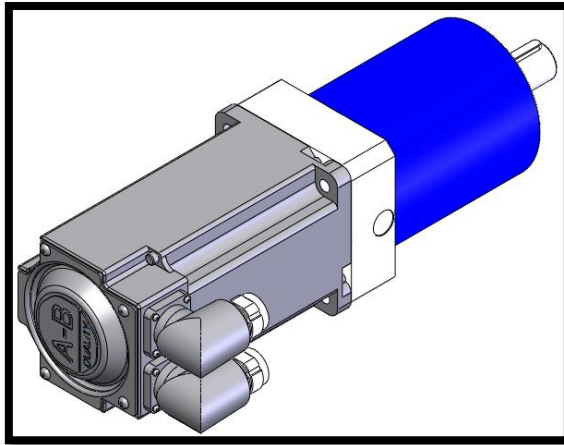


Imagen 33. Ensemble de unidad motriz: servomotor y reductor.

2.2.2 Sistema de transmisión por poleas de tiempo, sujeción de colector y difusor.

Para una buena tracción y precisión de la unidad motriz, con todo el sistema de engranaje, se usan bandas y poleas dentadas.

Considerando los HP, RPM motriz y conducida, diámetros de ejes y distancias entre centros, para el servo se selecciona una polea 20H100, y para el dispositivo (conducida) 40H100SK. Se utiliza la relación 2:1, por lo que, a dos giros completos del eje del servomotor, el intercambiador de calor dará un giro completo.

En la Imagen 34 y la Imagen 35, se aprecian los sistemas de transmisión para la sujeción del difusor y el colector del intercambiador.

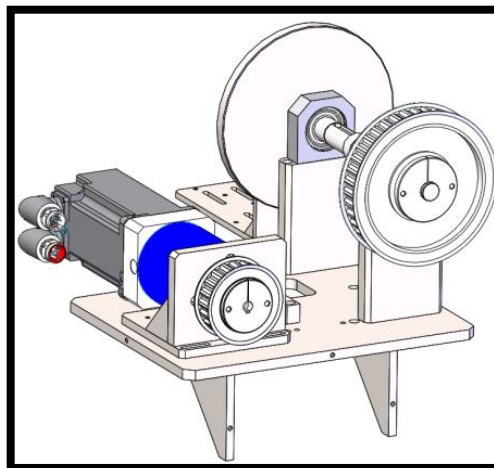


Imagen 34. Sistema de transmisión poleas, sujeción de difusor de gases.

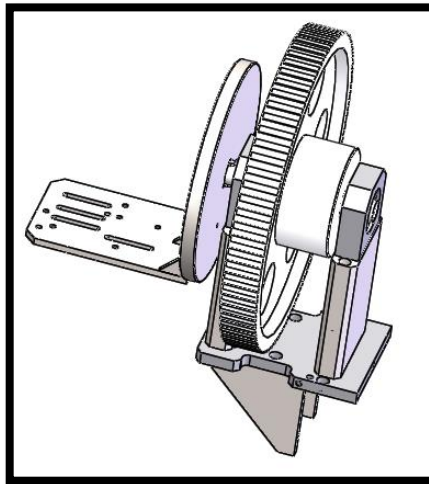


Imagen 35. Sistema de transmisión, sujeción de colector de gases.

2.2.3 Sistema de transmisión por engranes, sujeción de cuerpo de intercambiador.

Para asegurar el giro en el mismo sentido de la parte de la coraza con el difusor y el colector del intercambiador, se realizó el siguiente esquema. Ver Imagen 36.

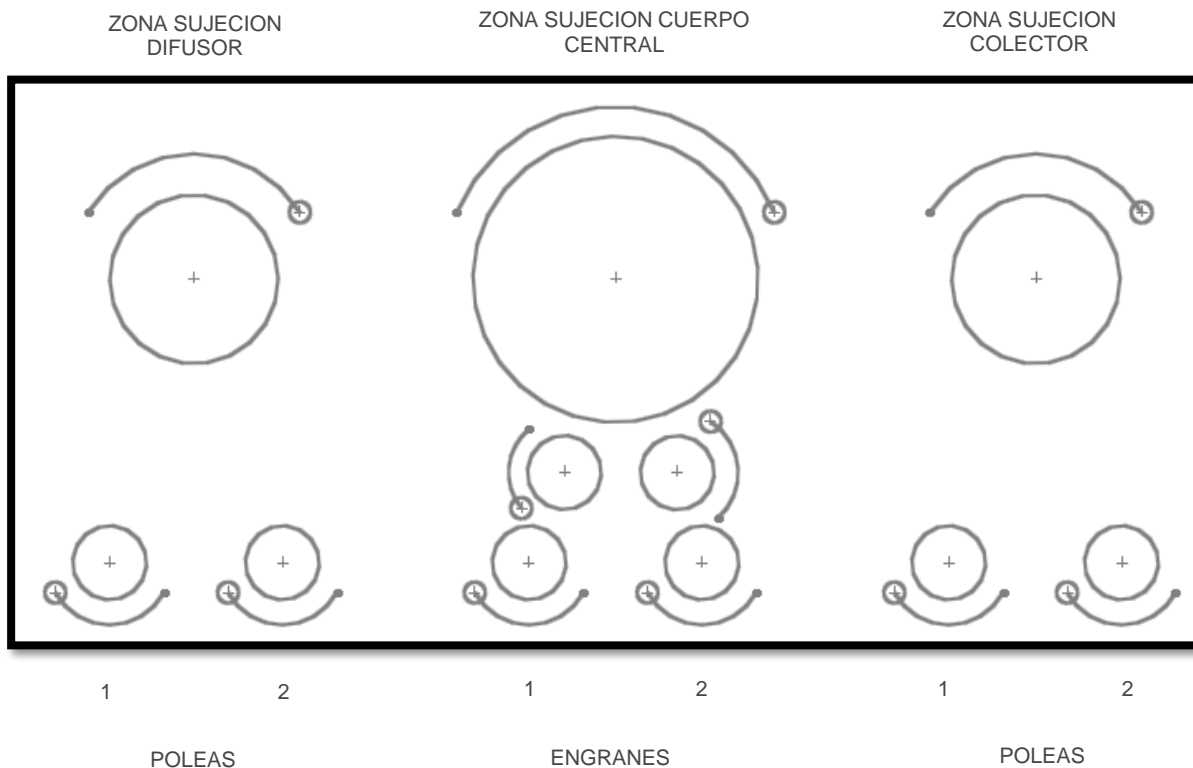


Imagen 36. Sentido de giro en zona sujeción de difusor, coraza y colector.

La zona de sujeción del cuerpo del intercambiador se definió con engranes bipartidos y apertura de estos. Debido a las dimensiones de los intercambiadores y sus herramientas se seleccionó un engrane S580. Ver Imagen 37.

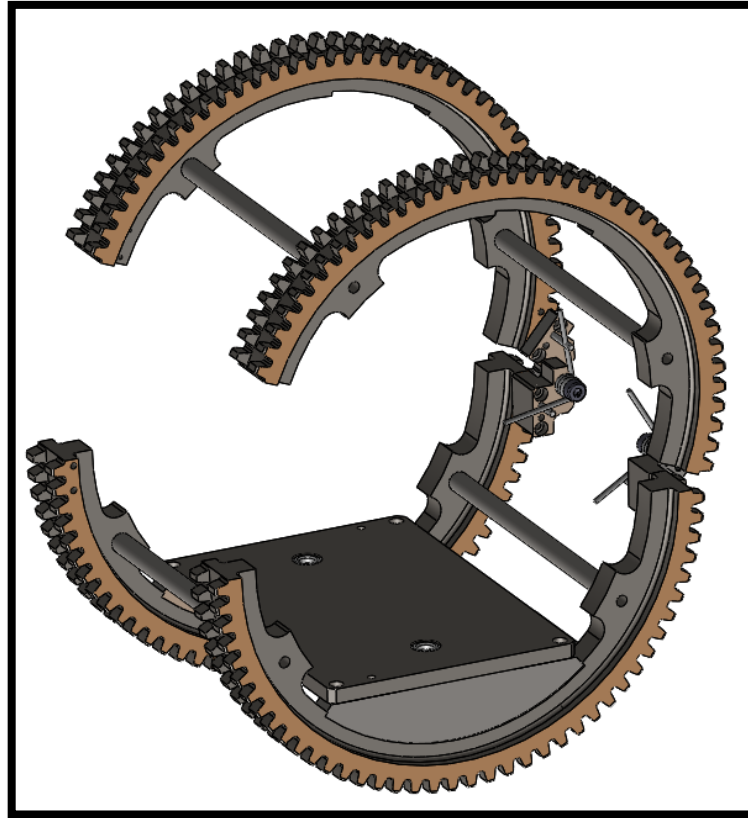


Imagen 37. Apertura de engranes bipartidos para extracción de coraza.

Para este engrane S580 se seleccionaron piñones del tipo S520, para una relación de los piñones de 4:1.

Para las poleas de la zona de sujeción de colector y difusor, también se buscaron relaciones 4:1, siendo estas 20H100 y 80H100.

Con estas relaciones en el sistema de transmisión, el intercambiador de calor da un giro completo sobre su eje longitudinal, cuando el eje del servomotor de 2 vueltas, es decir una relación 1:2.

2.2.4 Sistema de transmisión completo.

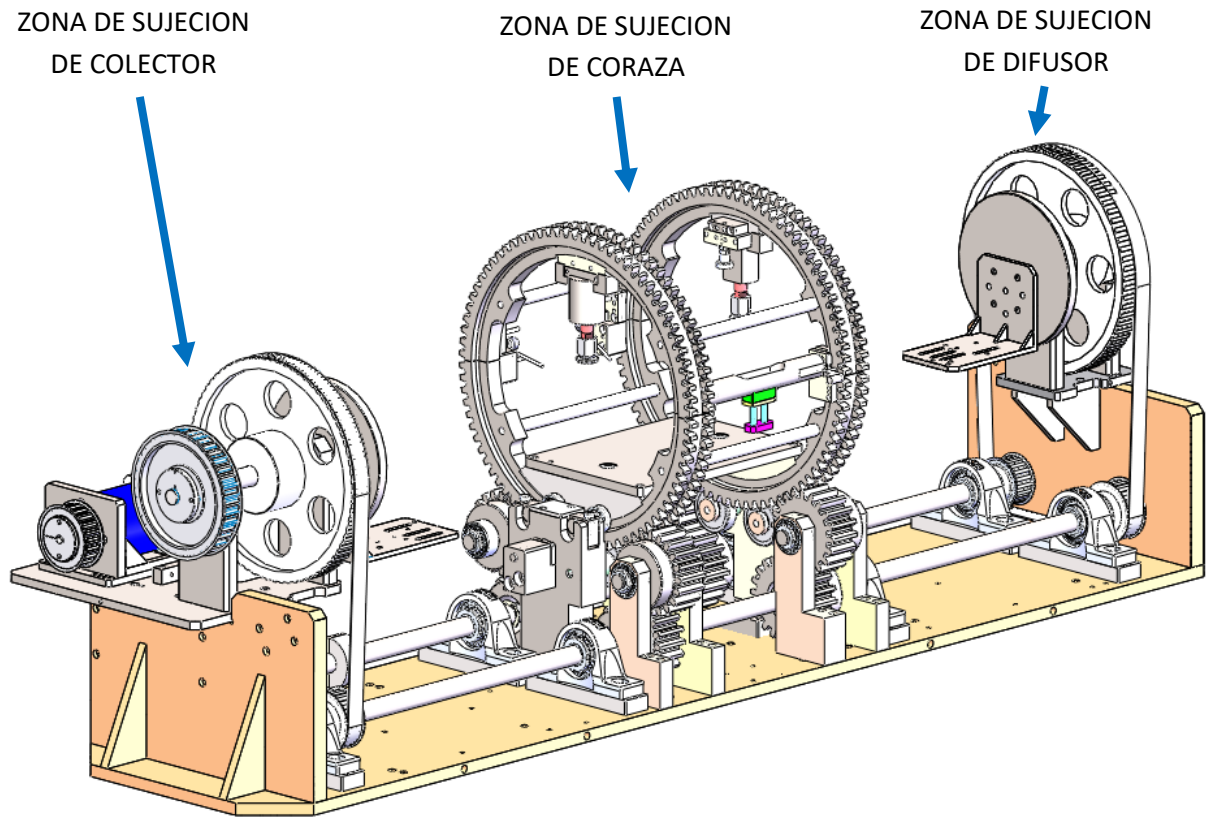


Imagen 38. Sistema de transmisión completo.

2.2.5 Herramientales de sujeción.

Considerando las dimensiones de los intercambiadores y sus datum's, se diseñaron los herramientales de sujeción para el modelo A y el modelo B de los intercambiadores de calor.

Para el modelo A:

- La Imagen 39 muestra el herramientales de sujeción para el colector de gases.
- La Imagen 40 muestra el herramientales de sujeción para el difusor de gases.
- La Imagen 41 muestra el herramientales de sujeción para la coraza.

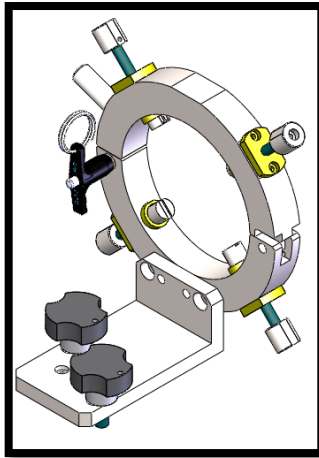


Imagen 39. Sujeción colector modelo A.

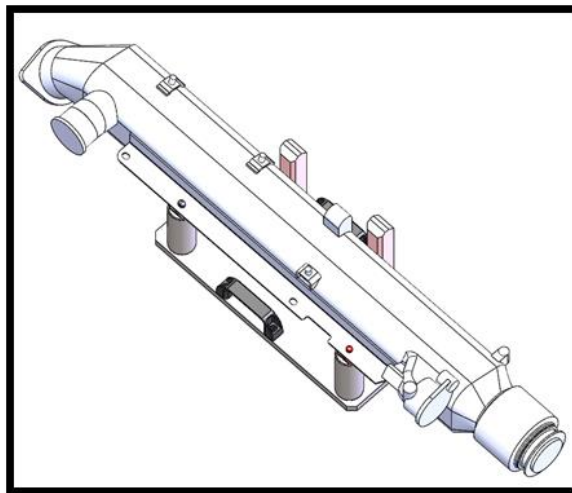


Imagen 40. Sujeción coraza modelo A.

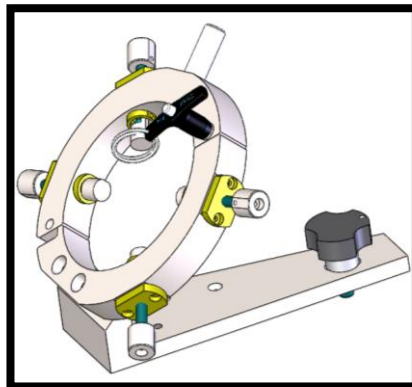


Imagen 41. Sujeción difusor modelo A.

Para el modelo B:

- La Imagen 42 muestra el herramental de sujeción para el colector de gases.
- La Imagen 43 muestra el herramental de sujeción para el difusor de gases.
- La Imagen 44 muestra el herramental de sujeción para la coraza.

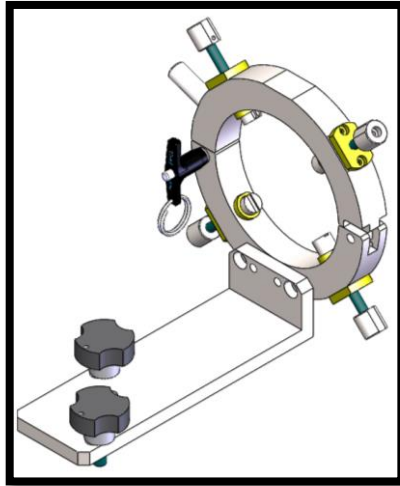


Imagen 42. Sujeción colector modelo B.

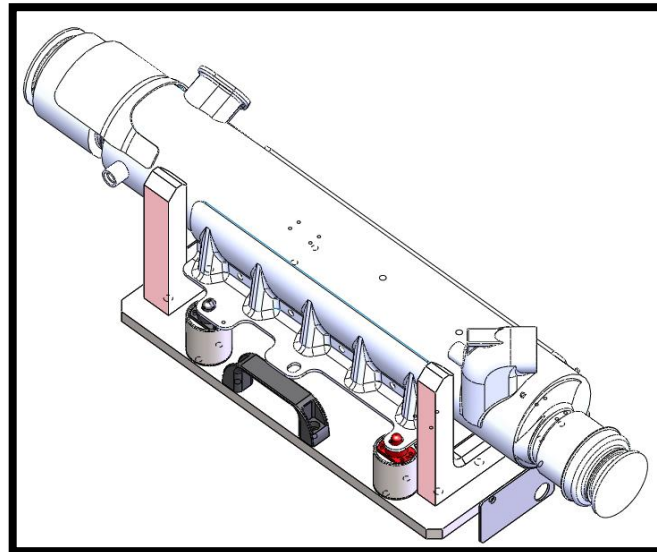


Imagen 43. Sujeción coraza modelo B.

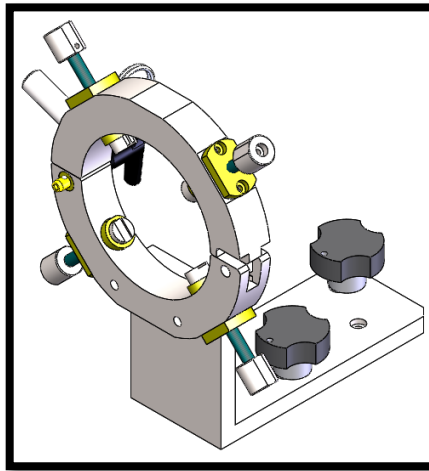


Imagen 44. Sujeción difusor modelo B.

2.2.6 Dispositivo seguidor de perfil.

Se considera lograr repetitividad y calidad tanto en el corte laser como en la aplicación de soldadura CMT, con las siguientes condiciones:

- Mantener la misma distancia de separación entre la punta tanto del cabezal de corte laser como el de la soldadura, con la superficie del intercambiador.
- Mantener la misma velocidad tangencial en la superficie del intercambiador independientemente de la forma del perfil (cambio del radio).

Estos aspectos se logran con un dispositivo seguidor de perfil, que consiste de lo siguiente:

- Dos guías sobre las cuales se desliza el sujetador del cabezal de corte.
- El sujetador tiene un perno con un seguidor de perfil del intercambiador en el extremo.
- Un marco de PTR, soporta estos elementos y es fijado sobre la base del dispositivo de sujeción y giro del intercambiador.

En la Imagen 45 se aprecian las partes para el cabezal corte laser y en la Imagen 46 se muestra el dispositivo seguidor de perfil para el cabezal de soldadura.

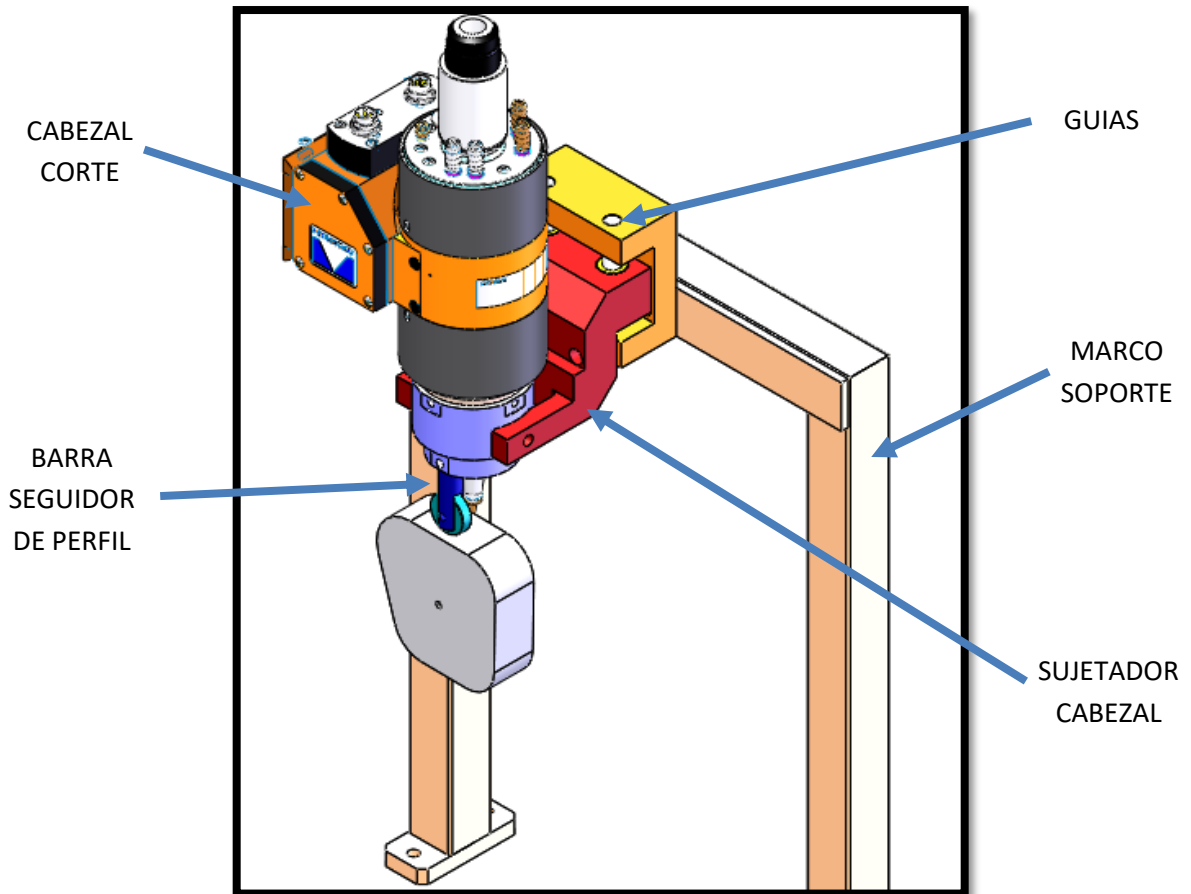


Imagen 45. Seguidor de perfil, corte láser.

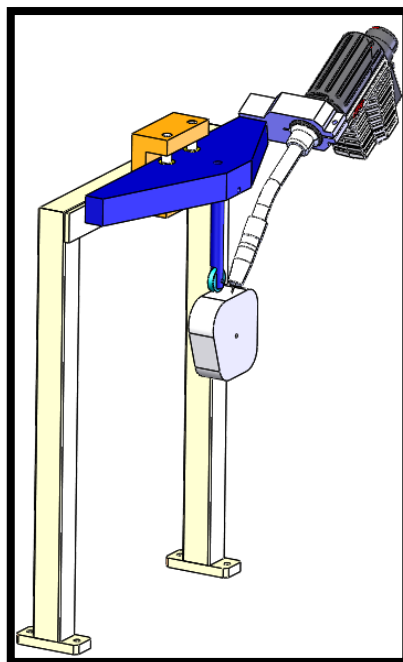


Imagen 46. Seguidor de perfil, aplicación de soldadura.

2.2.7 Dispositivo completo.

Para el modelo A, la Imagen 47 muestra el ensamblaje completo del dispositivo de sujeción y giro.

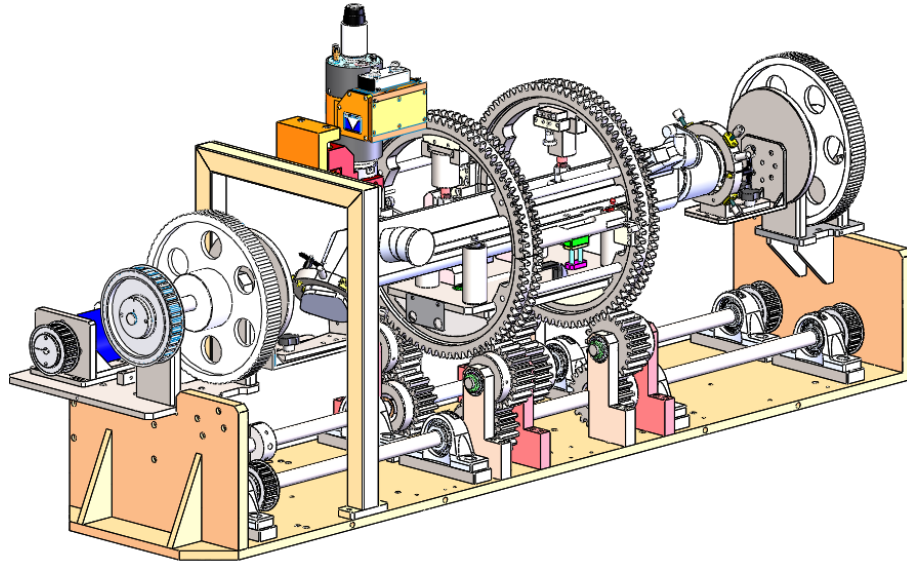


Imagen 47. Dispositivo de sujeción y giro de intercambiador con modelo A.

Para el modelo B, la Imagen 48 muestra el ensamblaje completo del dispositivo de sujeción y giro.

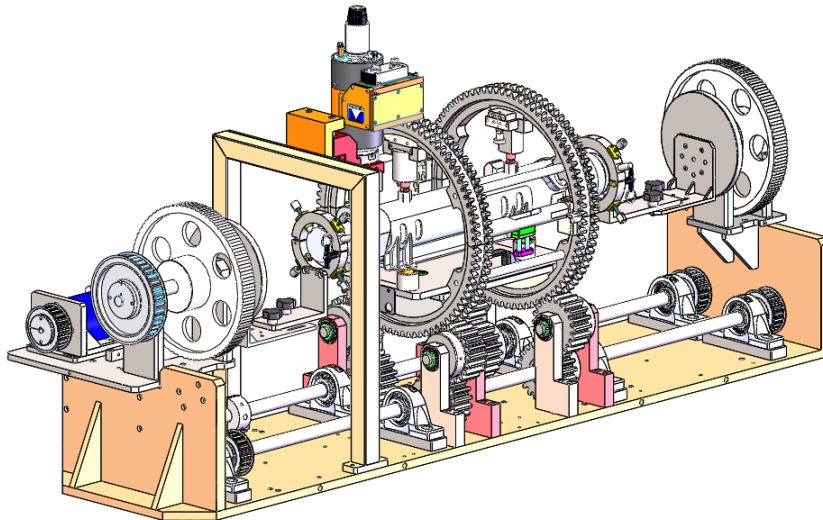


Imagen 48. Dispositivo de sujeción y giro de intercambiador con modelo B.

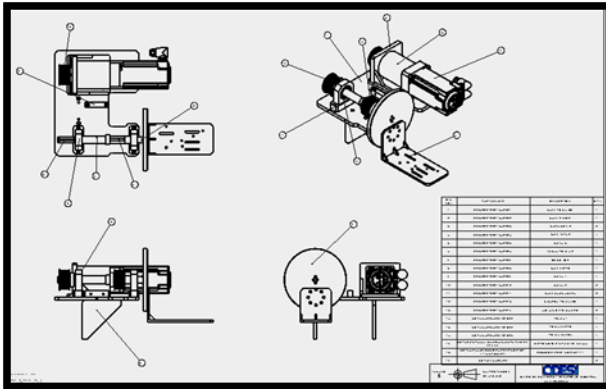


Imagen 53. Plano MFG 5.

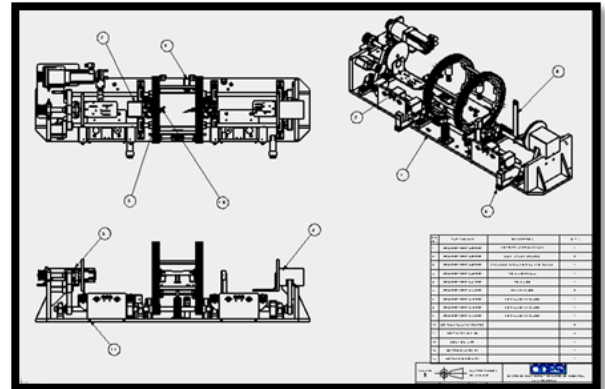


Imagen 54. Plano MFG 6.

3.2 ENSAMBLE DE DISPOSITIVO.

Después de la fabricación, todas las piezas mecanizadas y partes comerciales se ensamblan y se ajustan realizando primeramente movimientos manuales del dispositivo y después los automáticos.

En la Imagen 55, Imagen 56 e Imagen 57, se muestran partes del dispositivo ensamblado.



Imagen 55. Ensamble de dispositivo de sujeción y giro 1.

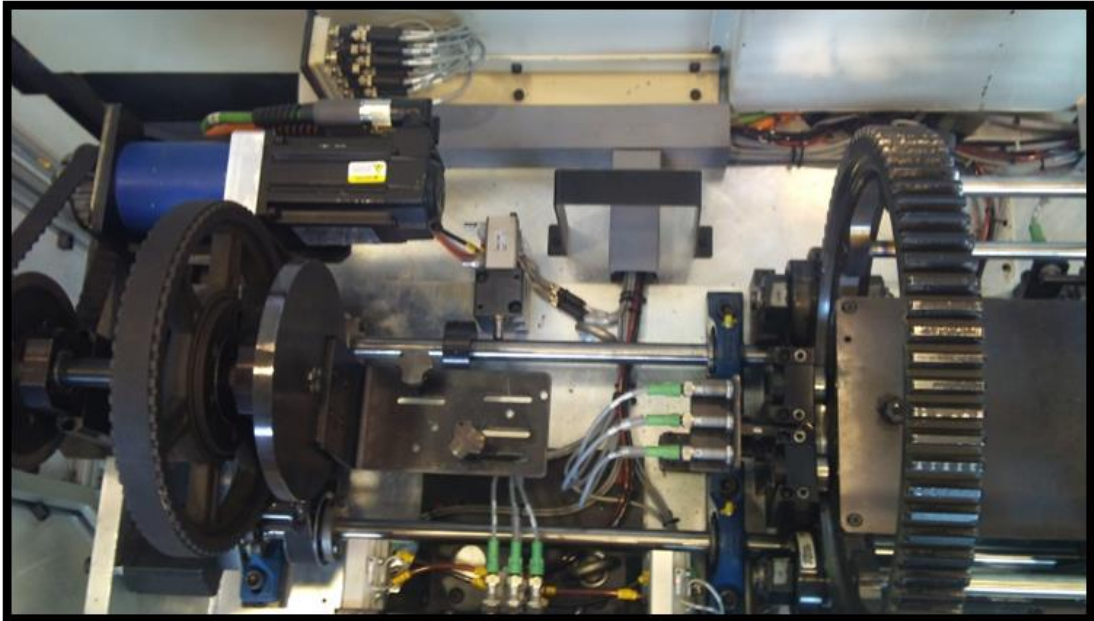


Imagen 56. Ensamble de dispositivo de sujeción y giro 2.

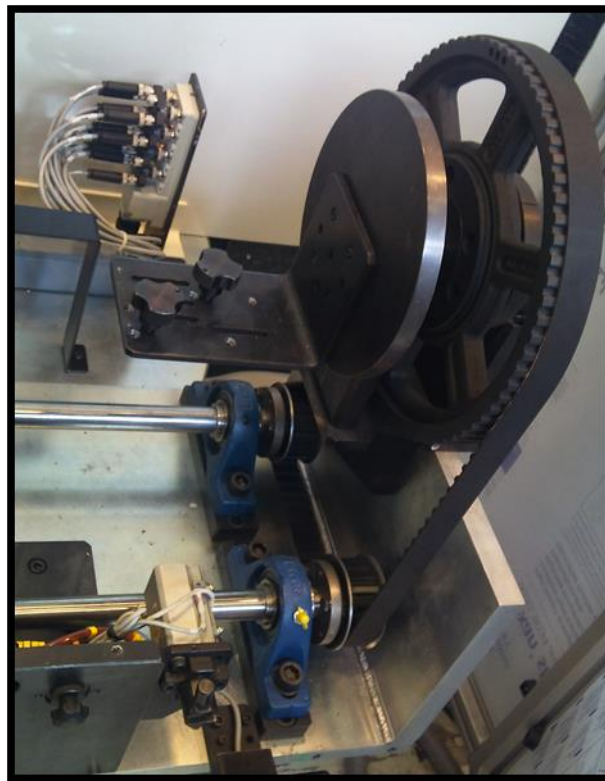


Imagen 57. Ensamble de dispositivo de sujeción y giro 3.

3.3 BÚSQUEDA DE PARÁMETROS ADECUADOS PARA CORTE LASER.

El material para los dos modelos de intercambiadores es acero inoxidable 304L, espesor 2.5 mm.

La sección transversal de los intercambiadores A y B a cortar y soldar, se muestran en la Imagen 58 y la Imagen 59, respectivamente.

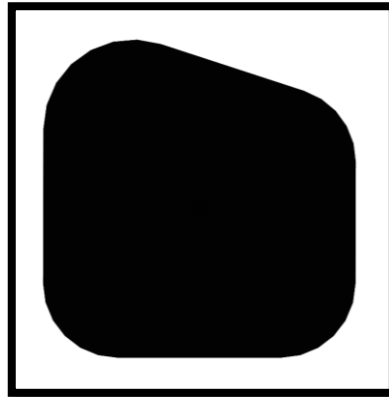


Imagen 58. Perfil sección transversal modelo A.

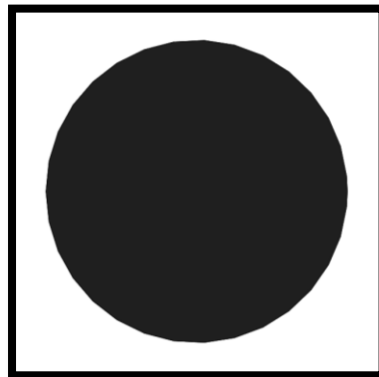


Imagen 59. Perfil sección transversal modelo B.

Una parte fundamental para encontrar los parámetros adecuados tanto de corte como de soldadura y que involucra el dispositivo de sujeción y giro de los dos modelos de intercambiadores, es que la velocidad tangencial (V_t) sobre la trayectoria perimetral del perfil del intercambiador sea constante, además de estar sincronizada con el cambio radial (r) y angular (θ) del perfil, al girar el intercambiador (w).

En la Imagen 60 se aprecia un esquema con todas estas características.

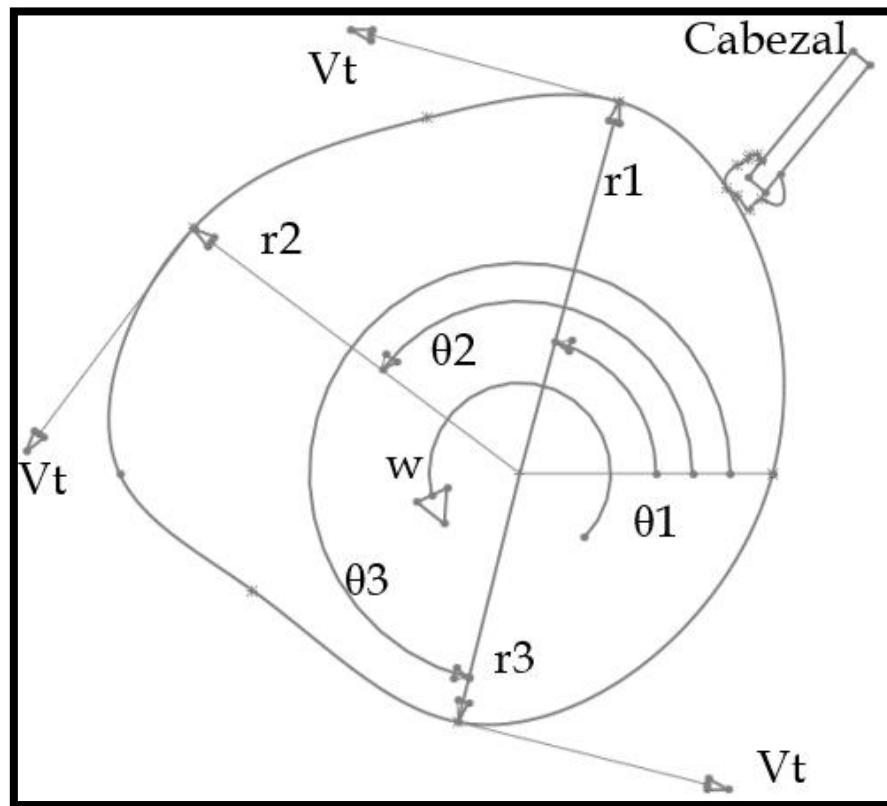


Imagen 60. Velocidad tangencial.

La ecuación de la velocidad tangencial es la siguiente:

$$\text{Velocidad tangencial (Vt)} = \text{Velocidad angular (w)} * \text{radio (r)} \dots \dots \dots \text{ECU 1}$$

Analizando la geometría de los perfiles y un punto fijo sobre el perfil que representaría el cabezal de corte o soldadura de los dos modelos de intercambiadores, observamos lo siguiente:

- Al girar el modelo A existe un cambio radial (r), de la ecuación 1 para lograr una velocidad tangencial (Vt) constante se necesita una velocidad angular variable (w), es decir tenemos valores que serán variables.
- Para el modelo B al ser circular el perfil, no existe cambio en el radio (r), por lo que para lograr una velocidad tangencial (Vt) constante, es necesaria una velocidad angular (w) constante. Es decir, los tres valores (Vt, r, w) son constantes.

Por esta razón el único perfil a analizar a detalle será el que corresponde al modelo A, tanto para corte laser, como para aplicación de soldadura CMT.

Los parámetros necesarios para un buen corte son:

- La capacidad de la potencia de la fuente laser, 1000 watts son suficientes para 2.5 mm de espesor de acero inoxidable.
- Distancia de la punta del cabezal laser a la superficie del intercambiador de calor, se recomienda para el corte una distancia de separación de 0.5 a 2.5 mm.
- La velocidad de avance lineal del cabezal de corte, para este material y espesor va desde 5 mm/s hasta 20 mm/s, en base a las recomendaciones del proveedor.

Con los adecuados parámetros se logra un buen corte, que se refleja en el tamaño de rebaba, a menor tamaño de rebaba mejor corte.

3.3.1 Obtención de potencia optima de corte laser.

La fuente laser para el proceso de corte es del tipo TruDisk marca TRIUMP ver Imagen 61, y para un espesor de 2.5 mm de material acero inoxidable, la potencia requerida es de menos de 1000 Watts. Si el espesor a cortar fuera de 25 mm, la potencia requerida sería de 4000 Watts.



Imagen 61. Fuente de potencia láser true disk 1000 W.

Tomando en consideración que el equipo de la fuente laser puede cortar hasta un espesor de 3.5 mm, se probaron con potencias de 600, 700, 800 y 900 watts, y los parámetros de velocidad y distancia se mantuvieron constantes.

En la Tabla 3, Imagen 62 e Imagen 63, se muestran los siguientes resultados:

Tabla 3. Resultados potencia variable.

ITEM	DISTANCIA	POTENCIA	VELOCIDAD	RESULTADO
	mm	Watts	mm/s	¿Corte?
1	1	600	15	NO
2	1	700	15	SI
3	1	800	15	SI
4	1	900	15	SI

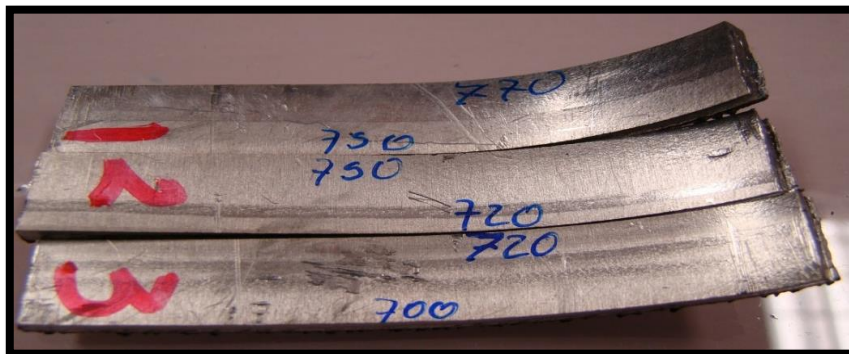


Imagen 62. Corte de 700 a 770 Watts.



Imagen 63. Corte de 825 a 900 Watts.

En esta etapa se observó lo siguiente:

- Con una potencia de 600 watts no es posible cortar la placa de acero inoxidable de 2.5 mm.
- A los 700 watts ya se logra el corte.
- A los 800 watts se observa un mejor resultado, con rebaba menor a 1 mm.
- A los 900 watts se produce un tamaño de rebaba más grande que los producidos por potencias de 700 y 800 watts.

3.3.2 Obtención de distancia de la separación óptima.

Se prueba cada 0.5 mm, hasta una distancia de 3 mm, considerando los 800 watts de potencia. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados distancia separación óptima.

ITEM	DISTANCIA	POTENCIA	VELOCIDAD	RESULTADO
	mm	Watts	mm/s	¿Corte?
1	2.5	800	15	NO
2	2	800	15	NO
3	1.5	800	15	OK
4	0.5	800	15	OK

Se muestran las imágenes con los resultados que nos producen corte: en la Imagen 64 se muestra el resultado a una distancia de 0.5mm y de 1.5 mm; en la Imagen 65 se muestra más claramente el tamaño de la rebaba producida por el corte a estas dos distancias siendo el de 0.5 mm la más pequeña en comparación de la rebaba más grande que se produce a cortar a una distancia de separación de 1.5 mm.



Imagen 64. Distancia de separación de 0.5 y 1.5 mm.



Imagen 65. Perfil distancia de separación 0.5 mm y 1.5mm.

Respecto a la distancia de separación del cabezal de corte con la superficie a cortar tenemos las siguientes observaciones:

- Se muestran solo dos distancias, ya que en las de 2 y 2.5 mm no se logró realizar el corte.
- Para la distancia de 1.5 mm, el tamaño de rebaba se observa hasta 2.5 mm.
- Para la distancia de 0.5 mm, el tamaño de rebaba en la mayoría de la longitud fue menor a 0.5mm, se presentó alguna de 0.8 mm máximo.
- Por lo tanto, la distancia optima se considera de 0.5 mm.

3.3.3 Obtención de la velocidad lineal óptima.

Se prueban 5 velocidades, desde 6 mm/s hasta 21 mm/s. En la Tabla 5 se muestran los resultados, ya considerando la distancia de separación de 0.5mm y potencia de 800 watts.

Tabla 5. Resultados velocidad óptima.

ITEM	DISTANCIA	POTENCIA	VELOCIDAD	RESULTADO
	mm	Watts	mm/s	Long Rebaba
1	0.5	800	9	MENOR
2	0.5	800	12	MENOR
3	0.5	800	18	MAYOR
4	0.5	800	21	MAYOR

En la Imagen 66 se muestran los resultados para las velocidades de 9 mm/s y 12 mm/s, en la Imagen 67 se muestra el resultado para la velocidad de 18 mm/s, y por último en la Imagen 68 se muestra para la velocidad de 21mm/s.

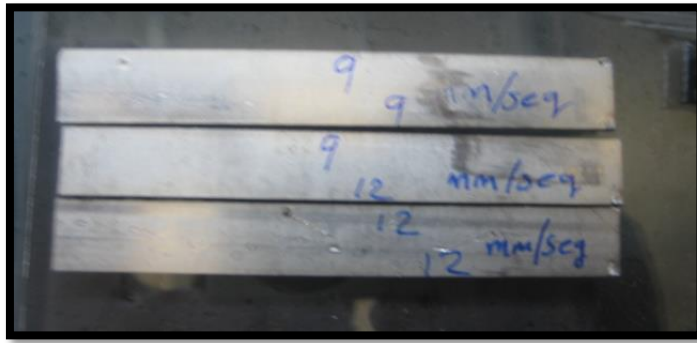


Imagen 66. Velocidades de 9 y 12 mm/s.

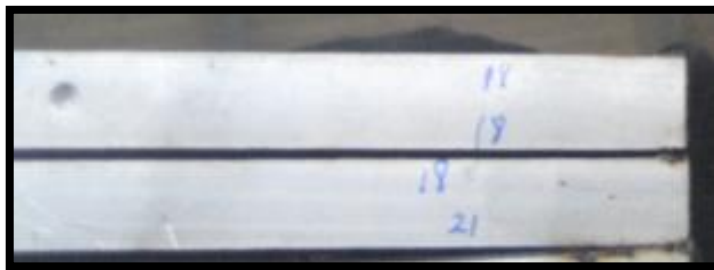


Imagen 67. Velocidad de 18 mm/s.

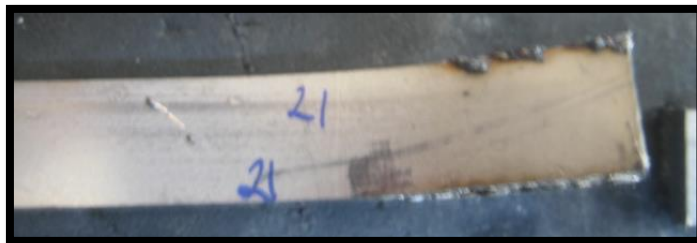


Imagen 68. Velocidad 21 mm/s.

Para la velocidad lineal se observa lo siguiente:

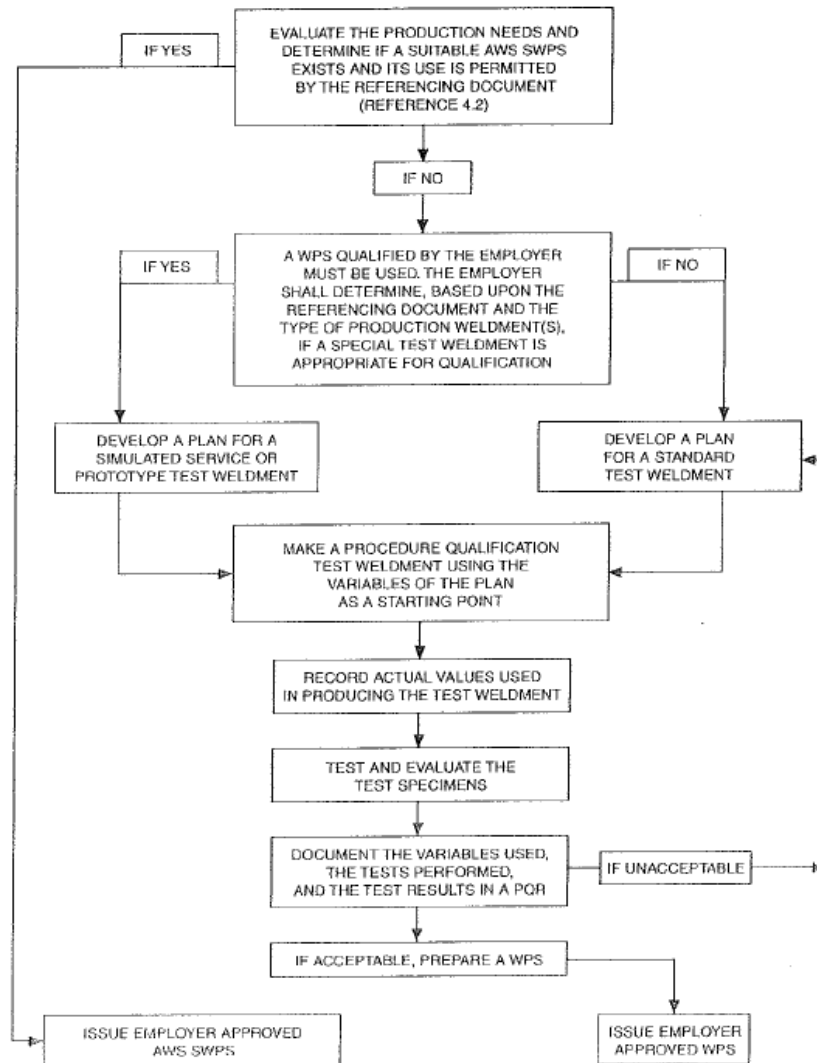
- A mayor velocidad el acabado se logra con rebabas.
- Se observa que las rebabas no son como en los casos de la potencia de la fuente de poder laser, o como la distancia de separación, sino que aparecen quemadas.
- La de mejor apariencia (con poca rebaba) es la de la velocidad de 9 mm/s.

3.4 BÚSQUEDA DE PARÁMETROS ADECUADOS PARA SOLDADURA.

3.4.1 Obtención de parámetros óptimos de soldadura.

Para el proceso de soldadura CMT, se realizan los procedimientos de soldadura y la calificación de estos, basándose en la norma de la American Welding Society, AWS B2.1/B2.1 M:2009, Specification for Welding Procedure and Performance Qualification.

Para determinar el procedimiento a utilizar se usa el criterio de selección basado en la norma AWS B2.1 que se ilustra en la Imagen 69.




Note. Figure 4.1 is provided to aid the user of this standard in determining whether an AWS Standard Welding Procedure Specification (SWPS) may be used for their application, and if not, whether a special test weldment or a standard test weldment is applicable and the steps which must be taken to develop a welding procedure which meets the requirements of this document once these determinations have been made.

Figure 4.1—Welding Procedure Selection Criteria

Imagen 69. Selección de procedimiento de soldadura.

Derivado de esto se determina realizar el procedimiento de soldadura (Welding Procedure Specification WPS), así como la calificación del procedimiento (Procedure Qualification Record PQR).

El área de tecnologías de soldadura de CIDESI determina el procedimiento (WPS), que se ilustra en la siguiente Imagen 70.

DISEÑO DE JUNTA USADA				POSICION			
TIPO : SOLDADURA DE RANURA UNIÓN A "TOPE" SIN PREPARACIÓN				POSICION DE RANURA <u>1G</u>		FILETE: <u>N/A</u>	
SIMPLE: <u>X</u> SOLDADURA POR AMBOS LADOS: <u>N/A</u>				PROGRESION: ASCENDENTE: <u>N/A</u>		DESCENDENTE <u>N/A</u>	
RESPALDO: SI: <u> </u> NO: <u>X</u>				CARACTERISTICAS ELECTRICAS			
MATERIAL DE RESPALDO: <u>N/A</u>				METODO DE TRANSFERENCIA: <u>SPRAY PULSADO (CMT)</u>			
ABERTURA DE RAIZ: <u>1.0 mm</u>		ALTURA DEL TALON: <u>N/A</u>		TIPO DE CORRIENTE: <u>CORRIENTE DIRECTA</u>			
ANGULO DE RANURA: <u>N/A</u>		RADIO (J - U): <u>N/A</u>		POLARIDAD: <u>CDEP (ELECTRODO AL POSITIVO)</u>			
RESANADO: SI: <u> </u> NO: <u>X</u>		METODO: <u>N/A</u>		VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN: <u>4.0 - 4.5 m/min</u>			
METALES BASE				AMPERAJE: <u>90 - 120 Amper</u>			
ESPECIFICACION DEL MATERIAL: <u>ASTM A-240</u>				VOLTAJE: <u>17.0 - 18.0 Volts</u>			
CON ASTM A-240				TECNICA			
TIPO O GRADO: <u>304L</u>				CORDON RECTO U OSCILADO: <u>RECTO</u>			
ESPESOR: RANURA <u>3.2 mm (1/8")</u>		FILETE: <u>N/A</u>		PASOS MULTIPLES O SENCILLOS (POR LADO): <u>SENCILLO</u>			
DIAMETRO (TUBERIA): <u>N/A</u>				NUMERO DE ELECTRODOS <u>1</u>			
METALES DE APORTE				DISTANCIA DE LA PUNTA DE CONTACTO <u>12 a 13 mm</u>			
ESPECIFICACION AWS: <u>A 5.9</u>				LIMPIEZA: <u>CON SOLVENTE Y CEPILLO DE ALAMBRE</u>			
CLASIFICACION AWS: <u>ER308L</u>				DIAMETRO: <u>1.2 mm (0.045")</u>			
PROTECCION				<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> DETALLE DE LA UNION  t = 3.2 mm (1/8") </div>			
GAS: <u>Ar + CO₂</u>		COMPOSICION: <u>95% Ar + 5% CO₂</u>					
FLUJO: <u>25 CFH</u>		DIAM. BOQUILLA: <u>12.7 mm (1/2")</u>		PRECALENTAMIENTO			
TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO (MIN): <u>30 °C</u>				TEMPERATURA ENTRE PASOS: MIN: <u>25 °C</u> MAX: <u>120 °C</u>			
TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR				TEMPERATURA: <u>N/A</u>			
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA							
No. DE PASO	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE		VOLTAJE	VELOCIDAD DE SOLDADURA
		CLASIFICACION	DIAMETRO	TIPO Y POLARIDAD	AMPERAJE		
1	GTAW	ER308L	1.2 mm	CDEP	90 - 120 A	17 - 18 V	17 in/min

CERTIFICAMOS QUE LAS VARIABLES INDICADAS EN ESTE REGISTRO SON CORRECTAS Y QUE LAS PIEZAS DE PRUEBA SE PREPARARON, SOLDARON Y EVALUARON, DE ACUERDO CON LOS REQUERIMIENTOS DE LA NORMA AWS B1.1 D1.1 EN 2002.

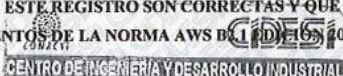



 Victor Hugo Prieto Luna
 CWI 06050241
 QC1 EXP. 5/1/2015

Imagen 70. Procedimiento de soldadura (WPS).

La velocidad de soldadura es de 17 in/min y como 1in=25.4mm y 1min=60s, la velocidad tangencial constante a mantener para la soldadura es de 7.19 mm/s.

El voltaje es de 17-18 V y el amperaje de 90-120 A.

Basado en los métodos de prueba requeridos en la norma AWS B2.1 para la calificación del procedimiento (PQR), se realizó inspección visual, ensayo de tensión y ensayo de dobléz para la soldadura a tope, ver Imagen 71.

SE REALIZARON PRUEBAS PARA LA CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE RANURA EN UNIÓN A "TOPE" SIN PREPARACIÓN EN PLACA DE ACERO INOXIDABLE ASTM A-240 TIPO 304L, DE 3.2 mm (1/8") DE ESPESOR, EN POSICIÓN 1G MEDIANTE EL PROCESO GMAW - CMT, DE ACUERDO CON LOS REQUISITOS DE LA ESPECIFICACIÓN AWS B2.1 EDICIÓN 2009.


INSPECCION VISUAL
SE REALIZO INSPECCION VISUAL A LA PROBETA IDENTIFICADA COMO: DAV-1G, DE ACUERDO CON LO ESTABLECIDO EN LA TABLA 4.1
LA PROBETA IDENTIFICADA COMO: DAV-1G, SE ENCUENTRA **ACEPTADA**, DE ACUERDO CON LOS REQUISITOS DE 4.7.3.


ENSAYO DE TENSION
SE REALIZO ENSAYO DE TENSION A LAS PROBETAS IDENTIFICADAS COMO: T-1 Y T-2, DE ACUERDO CON LO ESTABLECIDO EN LA TABLA 4.1
LAS PROBETAS ESTAN ESPECIFICADAS COMO ACERO INOXIDABLE ASTM A-240 TIPO 304L, CON UNA RESISTENCIA A LA TENSION MINIMA ESPECIFICADA DE 70,000 PSI.
LAS PROBETAS IDENTIFICADAS COMO: T-1 Y T-2, ROMPEN EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR (ZAC) Y PRESENTAN UNA RESISTENCIA A LA TENSION MAYOR A LA MINIMA ESPECIFICADA, POR LO QUE SE ENCUENTRAN **ACEPTADAS** DE ACUERDO CON LO ESTABLECIDO EN 4.7.5

ENSAYO DE DOBLEZ
SE REALIZO ENSAYO DE DOBLEZ DE CARA Y RAZA A LAS PROBETAS IDENTIFICADAS COMO: DC-1, DR-1, DC-2 Y DR-2, DE ACUERDO CON LO ESTABLECIDO EN LA TABLA 4.1
LAS PROBETAS IDENTIFICADAS COMO: DC-1, DR-1, DC-2 Y DR-2, SE ENCUENTRAN **ACEPTADAS**, DE ACUERDO CON LO ESTABLECIDO EN 4.7.6

POR LO TANTO, EL PROCEDIMIENTO SE ENCUENTRA ACEPTADO.

LOS REPORTES DE LAS PRUEBAS REALIZADAS SE ENCUENTRAN ANEXOS. (PM-120181 Y SOLD-PM-12035-02)

 Víctor Hugo Prieto Luna
CWI 06050241
QC1 EXP. 5/1/2015

 CENTRO DE INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL
LABORATORIO DE


 Mauricio Tello Rico
SCWI 06050018
QC1 EXP. 5/1/2015

Imagen 71. Calificación del proceso de soldadura (PQR)

El resultado es la aceptación del procedimiento de soldadura para los intercambiadores de calor (WPS).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Una de las formas de comprobar que el diseño del dispositivo es el adecuado, es mediante el funcionamiento del mismo, por lo que, para hacer girar el intercambiador dentro del dispositivo de sujeción, primero se encuentran las rpm a las que este debe girar.

De la ecuación 1:

$$\text{Velocidad tangencial (} Vt \text{)} = \text{Velocidad angular (} w \text{)} * \text{radio (} r \text{)}$$

Se tiene que:

- $w = Vt / r$;
- $Vt = 9 \text{ mm/s}$;
- El parámetro que falta, es el radio.

Para encontrar los valores de los radios de los modelos de los intercambiadores, se utiliza el módulo de movimiento Solidworks Motion.

Con el software Solidworks se obtiene el perfil 3D del intercambiador y se crea otro modelo 3D que servirá como seguidor, ver Imagen 72.

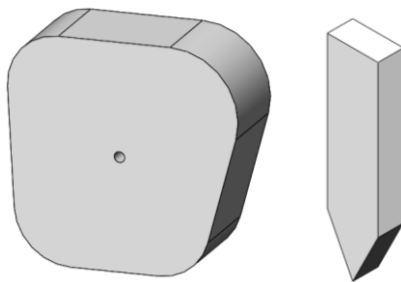


Imagen 72. Modelo CAD 3D de perfil de intercambiador modelo A y seguidor.

Se crea un ensamblaje y se unen los dos modelos por medio de la relación de posición de leva y con esto ya es posible utilizar el módulo de motion.

4.1 RESULTADOS.

4.1.1 Corte laser para el modelo A.

Los siguientes datos solo se utilizaron para obtener el radio del modelo A del intercambiador de calor.

Dentro del módulo de motion se agrega el comando de motor que haga girar al perfil del intercambiador a una revolución por minuto.

Si una revolución completa son 360° y 1 min son 60 segundos tenemos:

- $1 \text{ rev} / \text{min} = 360^\circ / 60 \text{ s} = 6^\circ / \text{s}$.
- Por lo tanto, para efectos de obtención del radio nuestra simulación funcionara con una velocidad angular que me da un giro de 6° por cada segundo, completando una vuelta en 60 segundos.
- Se le solicita al software los datos del radio del perfil, ver Imagen 73.

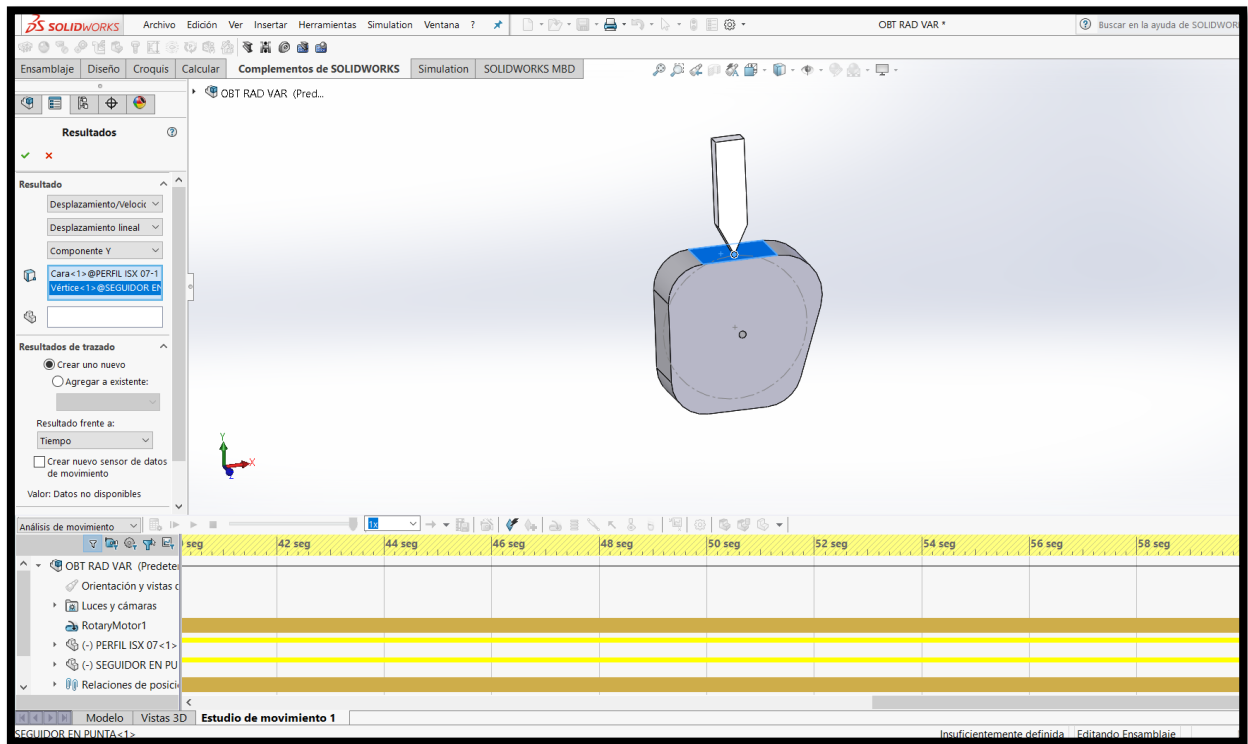
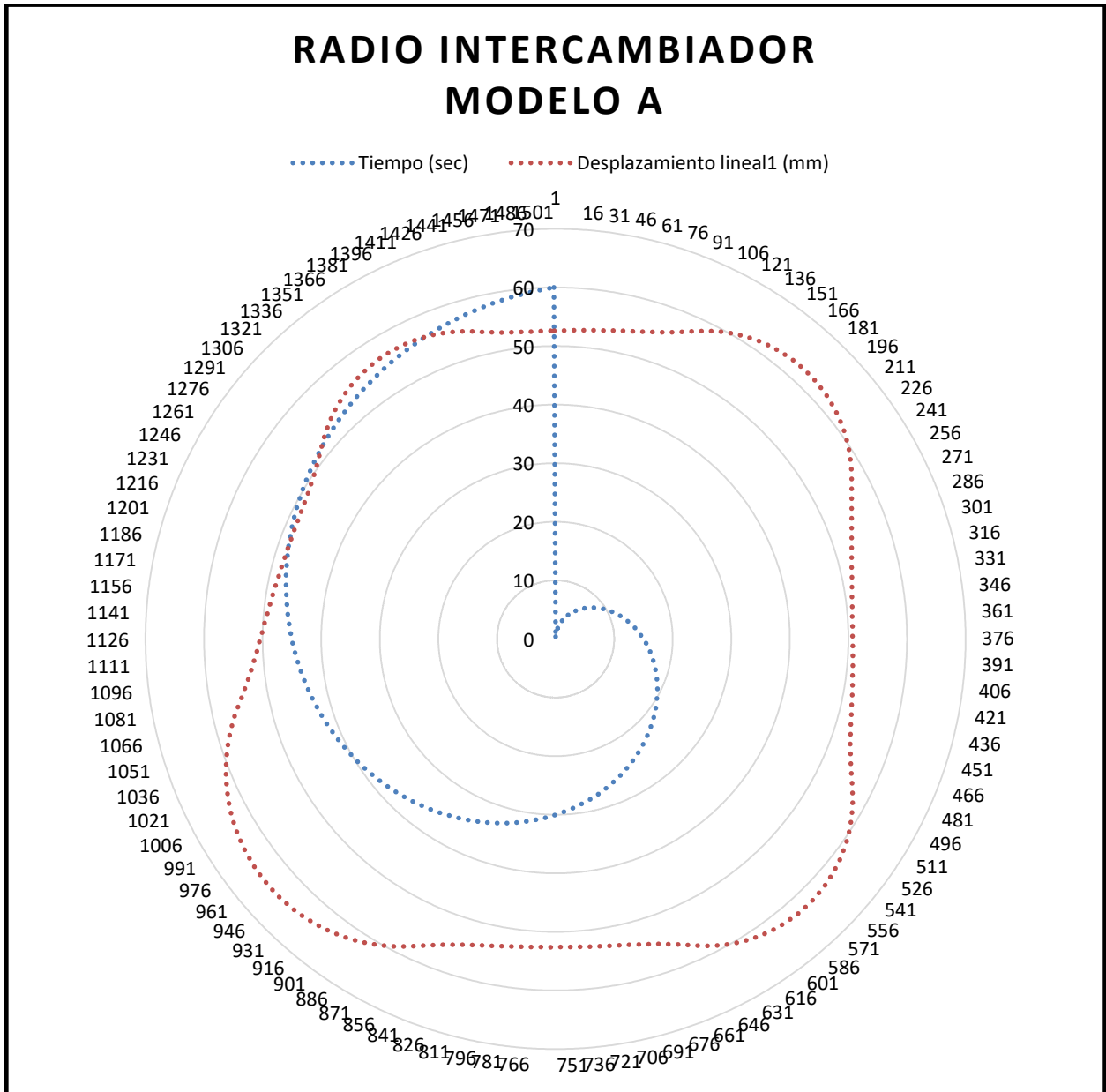


Imagen 73. Obtención de radios de intercambiador modelo A.

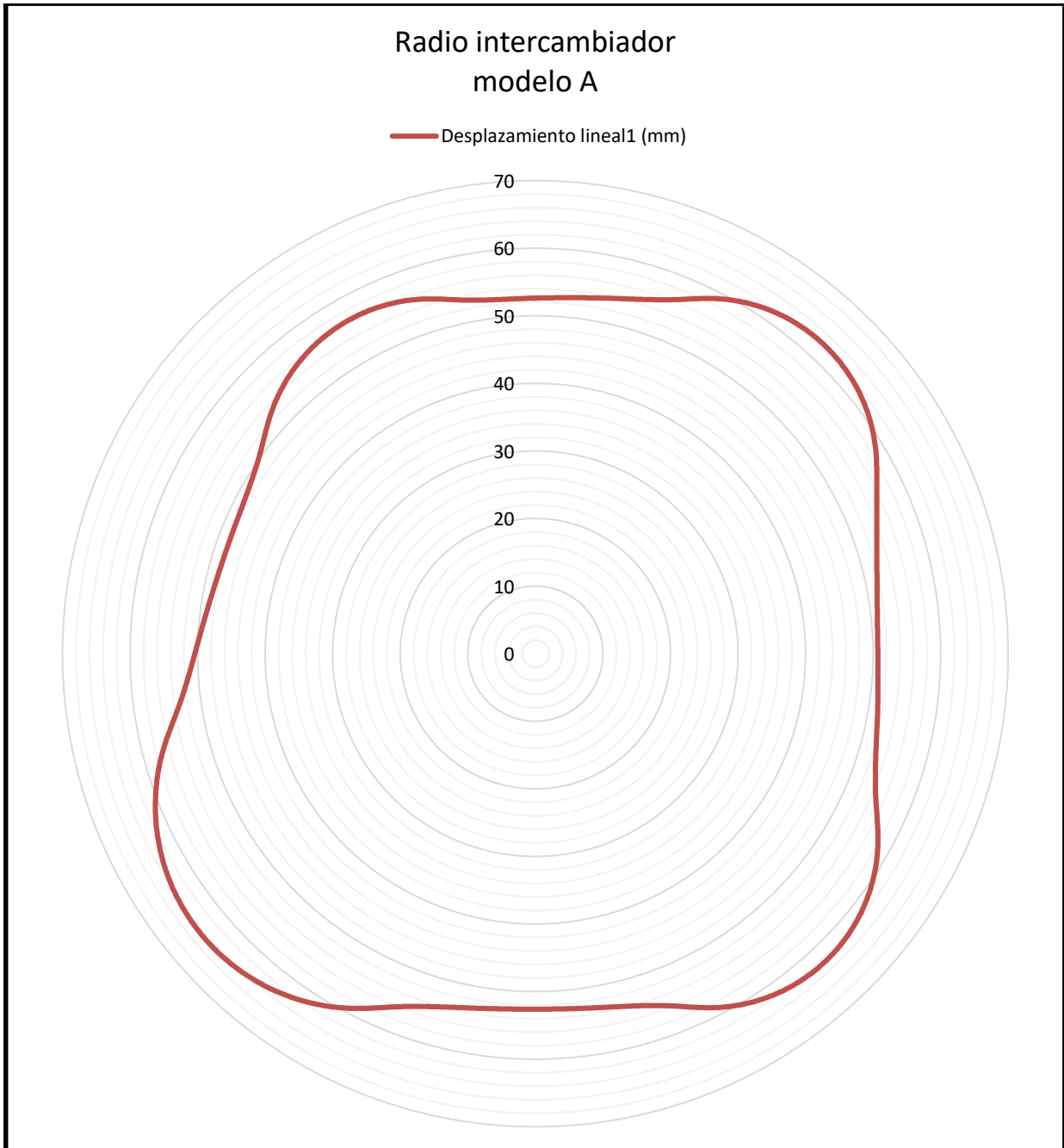
A manera de grafica se muestran los datos que nos arroja el software y estos son:

- Un radio cada 0.04 segundos, con esto tenemos 1501 datos de radio en 60 segundos que corresponden a una revolución, la numeración de estos datos se aprecia alrededor de la gráfica;
- Los puntos rojos son los valores del radio que nos forman el perfil del intercambiador del modelo A; y
- Los puntos azules son el tiempo, ver Gráfica 1.



Gráfica 1. Radio de intercambiador modelo A.

- Los círculos que salen del centro del perfil del intercambiador es la magnitud en milímetros.
- Para mayor claridad, de la Gráfica 2 se observa que las magnitudes de los radios están en los rangos de los 48 a los 65 milímetros aproximadamente.



Gráfica 2. Magnitud radios.

Por lo tanto, la velocidad angular se obtiene substituyendo los valores de radio variable y velocidad tangencial constante de 9 mm/s.

Para obtener la velocidad angular en revoluciones por minuto, se toma en cuenta que una vuelta son 360° y a su vez estos son 2π radianes.

Para efectos de ilustrar los valores de velocidad angular variable, se toman 60 datos de radios que cubran la vuelta completa del intercambiador modelo A, los resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Velocidad angular variable para corte laser.

Tiempo (sec)	r variable (mm)	Vt cte (mm/s)	w (rad/s)	w (rpm)	Tiempo (sec)	r variable (mm)	Vt cte (mm/s)	w (rad/s)	w (rpm)
0	52.62	9	0.17	1.63	31	52.83	9	0.17	1.63
1	52.97	9	0.17	1.62	32	53.52	9	0.17	1.61
2	53.76	9	0.17	1.60	33	54.85	9	0.16	1.57
3	55.09	9	0.16	1.56	34	57.29	9	0.16	1.50
4	57.47	9	0.16	1.50	35	60.27	9	0.15	1.43
5	60.21	9	0.15	1.43	36	62.50	9	0.14	1.38
6	61.92	9	0.15	1.39	37	63.94	9	0.14	1.34
7	62.58	9	0.14	1.37	38	64.56	9	0.14	1.33
8	62.21	9	0.14	1.38	39	64.36	9	0.14	1.34
9	60.79	9	0.15	1.41	40	63.35	9	0.14	1.36
10	58.32	9	0.15	1.47	41	61.53	9	0.15	1.40
11	55.36	9	0.16	1.55	42	58.90	9	0.15	1.46
12	53.18	9	0.17	1.62	43	55.49	9	0.16	1.55
13	51.72	9	0.17	1.66	44	52.35	9	0.17	1.64
14	50.92	9	0.18	1.69	45	50.45	9	0.18	1.70
15	50.71	9	0.18	1.69	46	49.26	9	0.18	1.74
16	51.00	9	0.18	1.69	47	48.55	9	0.19	1.77
17	51.71	9	0.17	1.66	48	48.25	9	0.19	1.78
18	52.94	9	0.17	1.62	49	48.36	9	0.19	1.78
19	55.21	9	0.16	1.56	50	48.94	9	0.18	1.76
20	58.46	9	0.15	1.47	51	50.31	9	0.18	1.71
21	60.89	9	0.15	1.41	52	52.69	9	0.17	1.63
22	62.25	9	0.14	1.38	53	54.76	9	0.16	1.57
23	62.57	9	0.14	1.37	54	56.05	9	0.16	1.53
24	61.86	9	0.15	1.39	55	56.55	9	0.16	1.52
25	60.11	9	0.15	1.43	56	56.27	9	0.16	1.53
26	57.31	9	0.16	1.50	57	55.21	9	0.16	1.56
27	54.79	9	0.16	1.57	58	53.56	9	0.17	1.60
28	53.47	9	0.17	1.61	59	52.71	9	0.17	1.63
29	52.82	9	0.17	1.63	60	52.62	9	0.17	1.63
30	52.61	9	0.17	1.63					

Con estas velocidades angulares a la que debe girar el intercambiador para mantener una velocidad lineal de corte constante, se obtienen las velocidades angulares a las que debe girar el servomotor que es la unidad motriz del dispositivo de sujeción y giro.

Con la relación de engranes del sistema de transmisión del dispositivo, que es 1:2 mencionada en el punto 2.2.3 se obtienen las rpm para el servomotor, ver Tabla 7.

Tabla 7. Velocidad angular variable para servomotor, proceso corte laser.

Tiempo (sec)	w motriz (rpm)	Tiempo (sec)	w motriz (rpm)
0	0.817	31	0.813
1	0.811	32	0.803
2	0.799	33	0.783
3	0.780	34	0.750
4	0.748	35	0.713
5	0.714	36	0.688
6	0.694	37	0.672
7	0.687	38	0.666
8	0.691	39	0.668
9	0.707	40	0.678
10	0.737	41	0.698
11	0.776	42	0.730
12	0.808	43	0.774
13	0.831	44	0.821
14	0.844	45	0.852
15	0.847	46	0.872
16	0.843	47	0.885
17	0.831	48	0.891
18	0.812	49	0.889
19	0.778	50	0.878
20	0.735	51	0.854
21	0.706	52	0.816
22	0.690	53	0.785
23	0.687	54	0.767
24	0.695	55	0.760
25	0.715	56	0.764
26	0.750	57	0.778
27	0.784	58	0.802
28	0.804	59	0.815
29	0.814	60	0.817
30	0.817		

Los datos de velocidad angular variable para el giro del dispositivo, se ingresan al programa para al servomotor, para el corte de las tapas del colector, difusor, y de algunas partes del cuerpo (pruebas que solicita el cliente), en la Imagen 74 e Imagen 75 se muestran los cortes.



Imagen 74. Corte láser 1, modelo A.

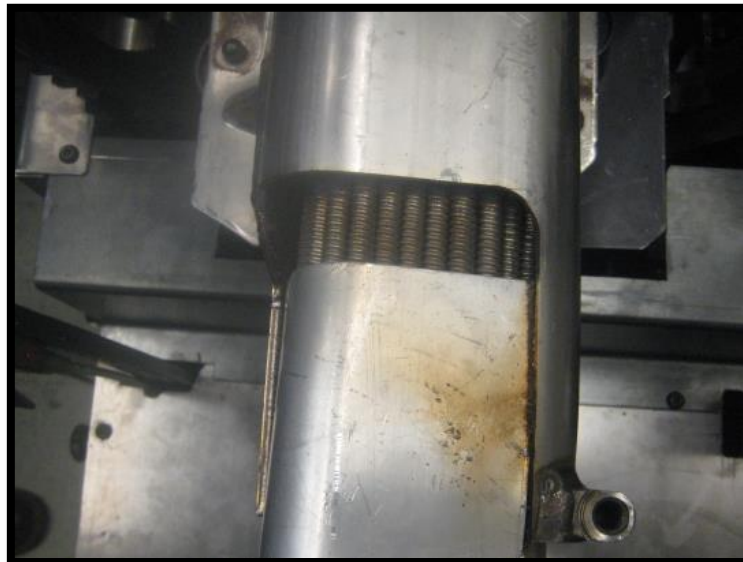


Imagen 75. Corte láser 2, modelo A.

4.1.2 Corte laser para el modelo B.

Para el modelo B, todo es más sencillo ya que el radio es constante, en la Imagen 76, se muestra el radio del intercambiador

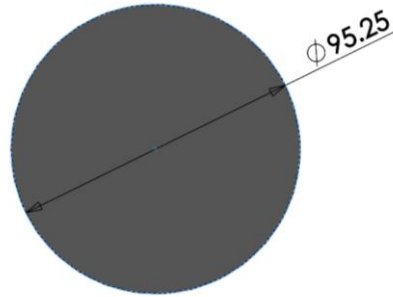


Imagen 76. Perfil intercambiador modelo B.

Por lo tanto, de la ecuación 1 se obtiene la velocidad angular para el modelo B.

- $w = Vt / r; y$
- $Vt = 9 \text{ mm/s}$
- $r = 95.25/2 = 47.625 \text{ mm}$
- $w = (9 \text{ mm/s}) / (47.625 \text{ mm}) = 0.189 \text{ rad/s} = 1.80 \text{ rpm}$

En este caso la velocidad angular siempre será constante.

La Imagen 77 e Imagen 78 muestran los cortes para el modelo B del intercambiador.

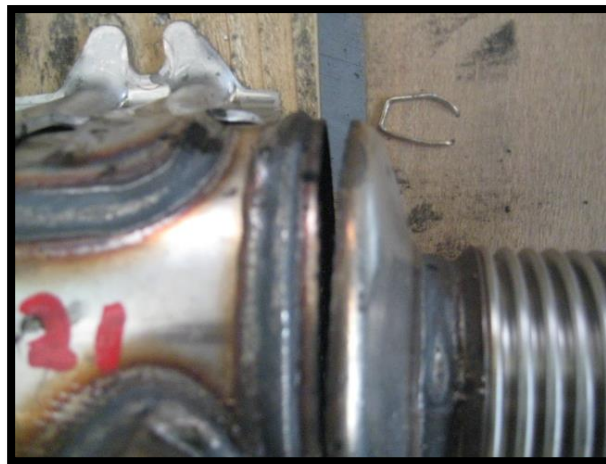


Imagen 77. Corte laser 1, modelo B.



Imagen 78. Corte láser 2, modelo B.

4.1.3 Soldadura CMT para el modelo A.

Para mantener la velocidad tangencial constante a lo largo del perfil del intercambiador modelo A, la velocidad angular debe ser variable.

Con los radios ya conocidos y una velocidad tangencial constante de 7.19 mm/s para la antorcha de soldadura, se obtienen la Tabla 8.

Tabla 8. Velocidad angular variable para soldadura.

Tiempo (sec)	r variable (mm)	Vt cte (mm/s)	w (rad/s)	w (rpm)	Tiempo (sec)	r variable (mm)	Vt cte (mm/s)	w (rad/s)	w (rpm)
0	52.62	7.19	0.137	1.305	31	52.83	7.19	0.136	1.300
1	52.97	7.19	0.136	1.296	32	53.52	7.19	0.134	1.283
2	53.76	7.19	0.134	1.277	33	54.85	7.19	0.131	1.252
3	55.09	7.19	0.131	1.246	34	57.29	7.19	0.126	1.199
4	57.47	7.19	0.125	1.195	35	60.27	7.19	0.119	1.139
5	60.21	7.19	0.119	1.140	36	62.50	7.19	0.115	1.099
6	61.92	7.19	0.116	1.109	37	63.94	7.19	0.112	1.074
7	62.58	7.19	0.115	1.097	38	64.56	7.19	0.111	1.064
8	62.21	7.19	0.116	1.104	39	64.36	7.19	0.112	1.067
9	60.79	7.19	0.118	1.129	40	63.35	7.19	0.113	1.084
10	58.32	7.19	0.123	1.177	41	61.53	7.19	0.117	1.116
11	55.36	7.19	0.130	1.240	42	58.90	7.19	0.122	1.166
12	53.18	7.19	0.135	1.291	43	55.49	7.19	0.130	1.237
13	51.72	7.19	0.139	1.328	44	52.35	7.19	0.137	1.312
14	50.92	7.19	0.141	1.348	45	50.45	7.19	0.143	1.361
15	50.71	7.19	0.142	1.354	46	49.26	7.19	0.146	1.394
16	51.00	7.19	0.141	1.346	47	48.55	7.19	0.148	1.414
17	51.71	7.19	0.139	1.328	48	48.25	7.19	0.149	1.423
18	52.94	7.19	0.136	1.297	49	48.36	7.19	0.149	1.420
19	55.21	7.19	0.130	1.244	50	48.94	7.19	0.147	1.403
20	58.46	7.19	0.123	1.175	51	50.31	7.19	0.143	1.365
21	60.89	7.19	0.118	1.128	52	52.69	7.19	0.136	1.303
22	62.25	7.19	0.116	1.103	53	54.76	7.19	0.131	1.254
23	62.57	7.19	0.115	1.097	54	56.05	7.19	0.128	1.225
24	61.86	7.19	0.116	1.110	55	56.55	7.19	0.127	1.214
25	60.11	7.19	0.120	1.142	56	56.27	7.19	0.128	1.220
26	57.31	7.19	0.125	1.198	57	55.21	7.19	0.130	1.244
27	54.79	7.19	0.131	1.253	58	53.56	7.19	0.134	1.282
28	53.47	7.19	0.134	1.284	59	52.71	7.19	0.136	1.303
29	52.82	7.19	0.136	1.300	60	52.62	7.19	0.137	1.305
30	52.61	7.19	0.137	1.305					

De igual forma para darle movimiento a la unidad motriz del dispositivo, con estos datos de velocidad angular a la que debe girar el intercambiador y con la relación de engranaje del sistema de transmisión del dispositivo que es 1:2 se obtienen las velocidades angulares para el servomotor para el proceso de soldadura, ver Tabla 9 y el resultado se muestra en la Imagen 79.



Imagen 79. Soldadura CMT, modelo A.

Tabla 9. Velocidad angular variable para servomotor, proceso soldadura.

Tiempo (sec)	w motriz (rpm)	Tiempo (sec)	w motriz (rpm)
0	0.652	31	0.650
1	0.648	32	0.641
2	0.639	33	0.626
3	0.623	34	0.599
4	0.597	35	0.570
5	0.570	36	0.549
6	0.554	37	0.537
7	0.549	38	0.532
8	0.552	39	0.533
9	0.565	40	0.542
10	0.589	41	0.558
11	0.620	42	0.583
12	0.646	43	0.619
13	0.664	44	0.656
14	0.674	45	0.681
15	0.677	46	0.697
16	0.673	47	0.707
17	0.664	48	0.712
18	0.649	49	0.710
19	0.622	50	0.702
20	0.587	51	0.682
21	0.564	52	0.652
22	0.552	53	0.627
23	0.549	54	0.613
24	0.555	55	0.607
25	0.571	56	0.610
26	0.599	57	0.622
27	0.627	58	0.641
28	0.642	59	0.651
29	0.650	60	0.652
30	0.653		

4.1.4 Soldadura CMT para el modelo B.

De la ecuación 1 se obtiene la velocidad angular para el modelo B.

- $w = V_t / r; y$
- $V_t = 7.19 \text{ mm/s}$
- $r = 95.25/2 = 47.625 \text{ mm}$
- $w = (7.19 \text{ mm/s}) / (47.625 \text{ mm}) = 0.151 \text{ rad/s} = 1.44 \text{ rpm}$

En este caso la velocidad angular siempre será constante.

La velocidad angular para el modelo B es constante. En la Imagen 80, se muestra el resultado.

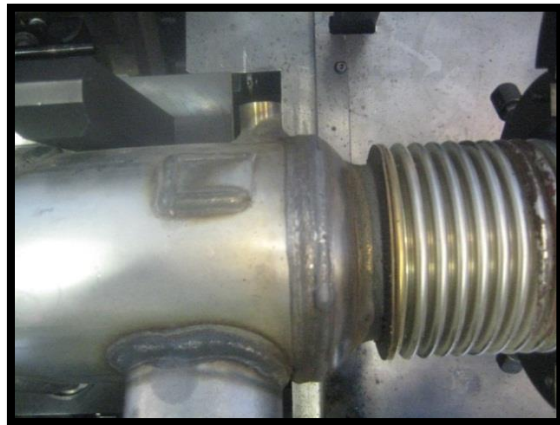


Imagen 80. Soldadura CMT, modelo B.

4.2 CONCLUSIONES.

El diseño final del dispositivo de sujeción y giro para los modelos A y B de intercambiadores de calor, cumple con los requerimientos solicitados por el cliente ya que permiten el corte láser y soldadura CMT de los colectores y difusores de gases de dichos intercambiadores, los parámetros óptimos son mostrados en la Tabla 10 para el corte láser y en la Imagen 81 para la soldadura CMT.

Tabla 10. Parámetros óptimos de corte.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Potencia	800	Watts
Velocidad	9	mm/s
Distancia separación	0.5	mm
W modelo A	1.33 a 1.78	rpm
W modelo B	1.8	rpm



Imagen 81. Parámetros de soldadura.

Además, se concluye lo siguiente:

- Al lograr cambiar los movimientos manuales de los operadores, por movimientos automáticos del dispositivo de sujeción para corte y soldadura, se logran resultados más uniformes.
- Se observa y comprueba que el mantener una velocidad tangencial constante en la periferia del perfil del intercambiador, tanto para el proceso de soldadura como para el proceso de corte laser, se mejora la calidad y apariencia.
- El dispositivo de sujeción de los dos modelos de los intercambiadores es capaz de mantener una velocidad tangencial constante, por medio de una transmisión con poleas de tiempo y engranes, así como con un servomotor que es la unidad motriz, al cual, para perfiles de intercambiadores de radio variable se le ingresa una velocidad angular variable y cuando tenga un perfil circular se ingresa una velocidad angular siempre constante.
- Se logra el propósito de volver a recuperar los intercambiadores de calor ya dañados y regresarlos al mercado para su venta, acercando a la empresa a su objetivo de llegar a manejar el concepto de economía circular.
- El dispositivo de sujeción y giro sirve para continuar con futuros trabajos como por ejemplo el incluir más modelos de intercambiadores de calor similares, o bien continuación de la optimización de los parámetros de corte láser, ya que en este campo falta más por indagar.

En la Imagen 82, se aprecia la celda de corte laser y soldadura CMT, con el dispositivo de sujeción al frente.



Imagen 82. Celda de corte láser y soldadura CMT.

REFERENCIAS.

- [1] D. Gonzáles Mendizábal, *Guía de intercambiadores de calor: tipos generales y aplicaciones.*, Departamento de termodinámica y fenómenos de transferencia, Universidad Simón Bolívar, 2002.
- [2] Sculpteo, «Sculpteo,» 2010. [En línea]. Available: [www.sculpteo.com/es/glosario/corte por laser definicion](http://www.sculpteo.com/es/glosario/corte%20por%20laser%20definicion).
- [3] SISA, «Soldaduras Industriales S.A.,» [En línea]. Available: www.sisa-brazing.com/pdf/files/consejos_soldadura.
- [4] J. Luddey Marulanda, «Proceso de soldadura por transferencia de metal en frío,» *Scientia et technica*, nº 38, pp. 427-430, 2008.
- [5] A. Ramirez, J. Pascual, J. Laserna, M. Moya, J. Zapatero y T. Fernandez, «Efecto de las condiciones de corte de un láser de Nd:YAG sobre la estructura y microcomposición de la superficie de aceros inoxidables,» *Revista de Metalurgía*, nº 34, pp. 220-226, 1998.
- [6] FMA, «The fabricator,» [En línea]. Available: <http://www.thefabricator.com/spanish/la-delicada-ciencia-del-corte-l-ser-sin-rebabas>.
- [7] ACERIND S.C., «Academia,» [En línea]. Available: www.academia.edu/26352757/SOLDADURA_DE_LOS_ACEROS_INOXIDABLES.
- [8] AWS, «AWS B2.1/B2.1 Specification For Welding Procedure and Performance Qualification,» 2009.
- [9] A. Bedford y W. Fowler, *DINÁMICA. Mecánica para ingeniería.*, México: Prentice Hall, 2000.
- [10] R. G. Budynas y K. J. Nisbett, *Diseño en Ingeniería mecánica de shigley*, México: McGraw-Hill, 2008.
- [11] E. Oberg, F. Jones, H. Horton y H. Ryffel, *Machinery's Handbook*, New York: Industrial press inc., 2000.
- [12] MARTIN, Sprocket and Gear, *El gran catalogo 4000*, Arlinton Texas, 2013.

- [13] A. Chevalier, *Dibujo industrial*, México D.F: Limusa, 2005.
- [14] A. Ferreira, *MATLAB Codes for Finite Element Analysis.*, Porto: Springer, 20009.
- [15] O. Vinogradov, *Fundamentals of kinematics and dynamic of machines and mechanism*, Florida: CRC Press LLC, 2000.
- [16] O. Nwokah y Y. Hurmuzlu, *The Mechanical systems design handbook*, Florida: CRC Press LLC, 2002.
- [17] R. Serway y R. Beichner, *FISICA Para Ciencias e Ingeniería*, México D.F: McGraw-Hill, 2002.
- [18] R. Resnick, D. Halliday y K. Krane, *FISICA Volumen 1*, México D.F: Grupo Editorial Patria, 2014.
- [19] Foundation EC, «economíacircular,» [En línea]. Available: <http://economíacircular.org/>.
- [20] Foundation Ellen Mc Arthur Foundation, «ellenmacarthurfoundation,» [En línea]. Available: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy>.
- [21] B. Jhonson, *Mecánica Vectorial para Ingenieros-Dinámica*, México: McGraw-Hill, 2008.
- [22] Asociación Aimen , «Aimen,» [En línea]. Available: www.aimen.es/servicios-tecnologicos.
- [23] Inmeba, «inmebasrl,» [En línea]. Available: www.inmebasrl.com/productos/dispositivos-de-ensamble-y-soldadura.
- [24] EK roboter, «ekroboter,» [En línea]. Available: www.ekroboter.com/integración/celdas-robotizadas/.
- [25] Forster, «FORSTER welding Systems,» [En línea]. Available: www.forster-welding-systems.com/es/mesas-especiales-para-soldadura.html.
- [26] A. Sauber, «Alejandro Sauber Automatizaciones,» [En línea]. Available: www.alejandrosauber.com.ar/productos/.