

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA
INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO MECÁNICO

TEMA
Análisis mecánico de un posicionador de soldadura para el proceso FCAW

AUTOR
PABLO ANDRÉS VINUEZA SANDOVAL

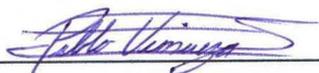
TUTOR
ING. VÍCTOR HUGO CABRERA MORETA

Quito, Septiembre, 2017

Cesión de derechos de autor

Yo, Pablo Andrés Vinueza Sandoval con documento de identificación N° 1718892282 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: “Análisis mecánico de un posicionador de soldadura para el proceso FCAW”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo el derecho moral de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Pablo Andrés Vinueza Sandoval

C.I. 171889228-2

CARTA DE DECLARATORIA DE COAUTORÍA

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Análisis mecánico de un posicionador de soldadura para el proceso FCAW*, realizado por PABLO ANDRÉS VINUEZA SANDOVAL, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como Trabajo Final de Titulación.

Quito, 24 de julio de 2017



Ing. Víctor Hugo Cabrera Moreta, Msc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, julio 2017



Pablo Andrés Vinueza Sandoval
C.I. 171889228-2

DEDICATORIA

“La inteligencia consiste no solo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica” Aristóteles.

Dedico el presente trabajo a mi madre, que con su esfuerzo me enseñó que cada uno de los sueños se pueden cumplir, incluso cuando no se pueden percibir. A cada una de las personas que con su apoyo o consejos han forjado con dureza un camino por el cual se puede transitar, pero no todos lo pueden hacer.

PABLO ANDRÉS VINUEZA SANDOVAL

TABLA DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	ii
CARTA DE DECLARATORIA DE COAUTORÍA.....	iii
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
ÍNDICE.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	18
OBJETIVOS.....	21
Objetivo general	21
Objetivos específicos	21
CAPITULO I.....	22
MARCO TEÓRICO	22
1.1. Automatización	22
1.1.1. Aplicaciones	22
1.1.2. Niveles de automatización	23
1.1.3. Niveles jerárquicos de automatización	24
1.2. Soldadura	25
1.2.1. Soldadura autónoma	25
1.2.2. Soldadura FCAW.....	25
1.2.2.1. Ventajas del proceso FCAW	26
1.3. Principio de funcionamiento de soldadura FCAW	27
1.3.1. Componentes	28
1.4. Proceso de soldadura.....	30
1.4.1. Proceso y equipo.....	30
1.4.2. Alambre	30

1.4.3. Corriente de soldadura	31
1.4.4. Tensión del arco.....	31
1.4.5. Velocidad de trabajo	32
1.4.6. Velocidad de aportación y eficiencia.....	32
CAPÍTULO 2.....	33
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	33
2.1. Introducción	33
2.2. Soldadura Hardfacing	33
2.2.1. Soldadura mediante utilización de electrodos	34
2.2.2. Soldadura semiautónoma	35
2.2.3. Soldadura por arco sumergido	35
2.3. Necesidades.....	37
2.4. Selección de alternativas	41
CAPÍTULO 3.....	43
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....	43
3.1. Diseño del eje de rotación y sus componentes.....	43
3.1.1. Diseño y selección de motor.....	43
3.1.2. Sistema de transmisión de potencia.....	46
3.1.3. Cálculo de la manzana del engrane y selección de material.....	50
3.1.4. Selección de material y cálculo del eje principal.....	59
3.2. Diseño y construcción de estructuras.....	70
3.2.1. Diseño de estructura soporte de mandril	70
3.2.2. Diseño de sistemas de posicionamiento	74
3.2.3. Diseño de estructura base y caja de mando	79
3.2.3.1. Estructura base	79
3.2.3.2. Caja de mando.....	89
3.3. Diseño y programación con Arduino.....	89
3.3.1. Selección de componentes eléctricos y electrónicos	89
3.3.2. Programación de Arduino Nano	90
CAPÍTULO 4.....	97
PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	97
4.1. Pruebas y validación	97

4.1.1. Material base.....	98
4.1.2. Primera etapa de pruebas	99
4.1.3. Validación de la primera etapa de pruebas	100
4.1.4. Segunda etapa de pruebas	104
4.1.5. Validación de la segunda etapa de pruebas	105
4.1.6. Análisis de los resultados obtenidos	107
CAPITULO 5.....	108
ANÁLISIS FINANCIERO DE COSTOS	108
5.1. Factibilidad el proyecto.....	108
5.2. Inversión inicial del proyecto.....	108
5.2.1. Inversiones.....	110
5.2.2. Proyección de ventas	110
5.2.3. VAN, TIR, PAY BACK	111
- Valor actual neto (VAN)	112
- Tasa interna de retorno (TIR)	112
- PAY BACK	113
CONCLUSIONES.....	115
RECOMENDACIONES.....	117
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
ANEXOS	
PLANOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un sistema automatizado [3]	22
Figura 2. Soldadura FCAW bajo protección gaseosa [14].....	26
Figura 3. Zonas de soldadura [12].....	26
Figura 4. Proceso FCAW Auto protegido [14]	27
Figura 5. Equipamiento FCAW [14].....	28
Figura 6. Gráfica de las curvas de salida típicas en las fuentes de poder [16].....	29
Figura 7. Proceso de elaboración de alambre FCAW [17]	31
Figura 8. Porosidad distribuida uniformemente [17]	34
Figura 9. Esquema de una instalación de SAW [14]	36
Figura 10. Eje principal [20]	43
Figura 11. Dimensionamiento máximo de material. [20]	44
Figura 12. Placa del motor LAFERT [21]	46
Figura 13. Características del reductor de velocidad	48
Figura 14. Selección de chumaceras NSK para eje principal. [24].....	51
Figura 15. Material para la manzana AISI 1045 y engrane 50B40. [21].....	52
Figura 16. Diagrama de cuerpo libre de la manzana.....	53
Figura 17. Diagrama de cuerpo libre con reacciones de la manzana	54
Figura 18. Diagrama de cortes de la manzana	54
Figura 19. Momentos de la manzana.	55
Figura 20. Diseño con Autodesk Inventor de la manzana del eje, engrane de cadena.	57
Figura 21. Factor de seguridad de la manzana	58
Figura 22. Torneado de eje a dimensiones requeridas. [21]	60
Figura 23. Diagrama de cuerpo libre del eje principal.....	61
Figura 24. Diagrama de cuerpo libre del eje con reacciones.	62
Figura 25. Diagrama de cortes del eje.....	63
Figura 26. Gráfica de momentos del eje.	64
Figura 27. Eje principal mediante Autodesk Inventor.	66
Figura 28. Las fuerzas y momentos que actúan sobre el eje principal. [25]	66
Figura 29. Tensiones de Von Mises del Eje principal	67
Figura 30. Tensiones de Von Mises máximas y mínimas soportadas por el Eje principal.....	68

Figura 31. Desplazamiento del Eje principal.	68
Figura 32. Factor de seguridad del eje principal.	69
Figura 33. Estructura de soporte de chumaceras, motor y reductores de velocidad [20].....	71
Figura 34. Diagrama de cuerpo libre de la estructura	72
Figura 35. Mecanismo guía paralelo al eje. [21].....	75
Figura 36. Diseño mediante Autodesk inventor del mecanismo guía paralelo al eje [25].....	75
Figura 37. Especificaciones del motor paso a paso.....	76
Figura 38. Caja de mando y control de motor paso a paso.	76
Figura 39. Diseño mediante Autodesk inventor del mecanismo guía oscilador	76
Figura 40. Diseño mediante Autodesk inventor del mecanismo guía de altura.....	77
Figura 41. Sistema de rieles de control, peso y guía.....	78
Figura 42. Estructura de posicionador de soldadura.....	79
Figura 43. Aislamiento de un segmento de ángulo de estructura soporte de mandril.	80
Figura 44. Diagrama de cuerpo libre de distribución de peso en la estructura base..	82
Figura 45. Diagrama de cuerpo libre de las reacciones de la estructura base.....	83
Figura 46. Diagrama de cortes de la estructura base.....	84
Figura 47. Gráfico de momentos de la estructura base.....	85
Figura 48. Diagrama de cuerpo libre de la viga de la estructura.....	85
Figura 49. Parámetros de factor de seguridad.....	87
Figura 50. Especificaciones generales de canal U Dipac [30].....	88
Figura 51. Posicionamiento de la caja de mando de la máquina.	89
Figura 52. Primera sección de programación de Arduino nano. [20]	90
Figura 53. Segunda sección de programación de Arduino nano. [20].....	91
Figura 54. Tercera sección de programación de Arduino nano. [20].....	92
Figura 55. Cuarta sección de programación de Arduino nano. [20].....	93
Figura 56. Quinta sección de programación de Arduino nano. [20].....	94
Figura 57. Sexta sección de programación de Arduino nano. [20].....	95
Figura 58. Séptima sección de programación Arduino nano. [20]	96
Figura 59. Dosificador de alambre FCAW.	97
Figura 60. Amperaje para pruebas de máquina de soldar	98
Figura 61. Control de mando del oscilador.....	98

Figura 62. Sujeción de eje de pruebas.....	99
Figura 63. Eje principal con soldadura de las pruebas realizadas.....	99
Figura 64. Gráfica de dispersión 1.....	101
Figura 65. Gráfica de dispersión 2.....	101
Figura 66. Gráfica de dispersión 3.....	102
Figura 67. Gráfica de dispersión 4.....	103
Figura 68. Gráfica de dispersión 5.....	103
Figura 69. Gráfica de dispersión 6.....	105
Figura 70. Gráfica de dispersión 7.....	105
Figura 71. Gráfica de dispersión 8.....	106
Figura 72. Gráfica de dispersión 9.....	106
Figura 73. Propiedades de acero 705 bonificado de Iván bohman. [21].....	2
Figura 74. Propiedades de acero AISI 1045 Böhrler [22].....	3
Figura 75. Propiedades del motor.....	4
Figura 76. Selección del motor y sus características.....	5
Figura 77. Propiedades y dimensiones generales de Chumaceras NSK. [24].....	6
Figura 78. Motor stepper 57HS76-3004A635-D21. [23].....	7
Figura 79. Circuito interno de Arduino nano con sensores y actuadores. [20].....	8
Figura 80. Circuito interno de Arduino Nano. [28].....	9
Figura 81. Programación de la tarjeta Arduino Nano.....	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Método de selección de alternativas mediante producción.....	38
Tabla 2. Método de selección de alternativas mediante simplicidad de operación. ..	39
Tabla 3. Método de selección de alternativas mediante rendimiento.	39
Tabla 4. Método de selección de alternativas mediante mantenimiento.....	40
Tabla 5. Método de selección de alternativas mediante costos de producción.	41
Tabla 6. Análisis de las alternativas.	42
Tabla 7. Características de los motores.....	45
Tabla 8. Características del metal AISI 1045 [23].....	50
Tabla 9. Propiedades del metal 705 bonificado según Iván bohman.....	59
Tabla 10. Datos obtenidos de pruebas realizadas.....	100
Tabla 11. Datos obtenidos de pruebas con variantes de amperaje y salida de alambre.	104
Tabla 12. Generación de velocidad de rotación del eje con respecto al diámetro del mismo.....	107
Tabla 13. Costos de insumos.....	109
Tabla 14. Proyección de retorno de capital.	111
Tabla 15. Flujo de caja de los cinco primeros años de producción.....	111
Tabla 16. Propiedades de la soldadura de estructura soporte de mandril. [20].....	13

RESUMEN

La soldadura automatizada se puede categorizar como la sinergia entre las trayectorias prescritas por la soldadura, controlando el flujo de material mediante sistemas autónomos. En este proyecto se busca combinar la ingeniería y los procesos de manufactura, que acrecienta nuestra sociedad, con miras a un desarrollo productivo y sostenible.

El presente trabajo expuesto como: “Análisis mecánico de un posicionador de soldadura para el proceso FCAW”, pretende enfocar un método rudimentario manual, hacia el aprovechamiento de nuevas tecnologías y métodos autónomos. Se desarrolla un producto que disminuya errores, tiempo, aumente la calidad, mejore la precisión y confiabilidad en el proceso aplicado a elementos cilíndricos.

Mediante software especializado, en análisis de elementos, se diseñó y seleccionó cada parte donde se involucra lo aprendido en el transcurso de la carrera. El proyecto permite la comunicación entre movimientos y velocidad en ejes controlados, evolucionando la forma de percibir nuevos métodos acordes a la industria en crecimiento. El sistema es capaz de movilizar todos los factores expuestos anteriormente hacia un alto nivel de confiabilidad, reduciendo brechas entre operario y máquina.

La falta de tecnología en la industria actual tiende a incrementar el nivel de fallas en la producción de piezas y maquinarias. La falta de los mismos limita de manera progresiva la matriz productiva de la nación así como su retorno de inversión, y su consumo no es medible ni controlado.

El presente trabajo procura implementar una máquina capaz de regularizar los patrones de soldadura en base al conocimiento adquirido a través de la experiencia basada en pruebas e investigación porque este conocimiento no se encuentra muy desarrollado. La presente investigación abre un mundo de posibilidades hacia nuevas técnicas de mantenimiento y reparación de superficies cilíndricas.

Los ejes cilíndricos en maquinarias de un diámetro considerable, representan un inconveniente económico cuando se encuentran en mal estado. Su falla se da por vibraciones, mal mantenimiento o simplemente porque su vida útil terminó, ocasiona desgaste superficial e interno tanto de las piezas como de la maquinaria completa. Genera un problema en la producción, pues crea una cadena de fallos en los otros componentes de la misma.

Este Trabajo Final de Titulación presenta una solución económica a algunos de los factores antes expuestos. Se basa en la recuperación superficial de cilindros en la industria, minimiza el riesgo por trabajos no garantizados y propone utilizar tecnología para entregar un trabajo de mejor calidad. Preserva la integridad del resto de componentes de la maquinaria y alargando la vida útil de la misma.

Palabras clave: automatización, soldadura, hardfacing, arduino nano, motor, controladores, recubrimiento.

ABSTRACT

Automated welding can be categorized as the synergy between the paths prescribed by welding as well the flow of material controlled by autonomous systems. It combines the engineering and the manufacturing processes that increase our society, with a view to a productive and sustainable development.

The present work named as: "Mechanical analysis of a welding positioner for the FCAW process", aims to focus a manual rudimentary method, towards the take advantage of new technologies and autonomous methods developing a product that reduces errors, time, increase the quality, improve to the precision and reliability in the process applied to cylindrical elements.

Through software specialized in element analysis, each part was designed and selected, involving what was learned during the course of the race, allowing the communication between movements and speed in controlled axes, evolving the way of perceiving new methods according to the growing industry, capable to mobilize all the factors discussed above towards a high level of reliability, reducing gaps between operator and machine.

The lack of technology in the current industry tends to increase the level of failures in the production of parts and machinery, and progressively limit the productive matrix of the nation as well as its return of investment, since its consumption is not measurable or controlled.

The present work proposes to implement a machine able to regularize the welding patterns based on the knowledge acquired, experience based on tests and research because at the moment this knowledge is not very developed, as well as open a world of possibilities towards new techniques of maintenance and repair of cylindrical surfaces.

The cylindrical shafts in machinery of considerable diameter represent an economic disadvantage when they are in poor condition, this can be due to vibrations, poor

maintenance or simply because their useful life has ended, causing superficial and internal wear of both parts and machinery Complete. Generating several problems in the production, since it creates a chain of failures in the other components of the same.

The final titration work intends to present an economical solution to some of the factors discussed above, since it is based on the superficial recovery of cylinders in the industry, minimizing the risk for unsecured jobs proposing to use technology to deliver a repair of pieces of better quality which entails preserving the integrity of the rest of the components of the machinery and extending the useful life of the same.

Keywords: automation, welding, hardfacing, arduino nano, motor stepper, drivers, coating, welding.

INTRODUCCIÓN

La soldadura GMAW (gas metal arc welding) soldadura por arco metálico protegido por gas, es un proceso de soldadura que emplea un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura [1], tiene gran aplicación a nivel industrial por su alta productividad y excelente calidad. Una variación del proceso GMAW emplea un electrodo tubular dentro del cual hay un núcleo constituido principalmente por polvos metálicos [1], dicho proceso se lo conoce como FCAW (flux core arc welding) aplicable en revestimientos duros en procesos de fabricación y recuperación de diversos componentes empleados en los diferentes sectores industriales y agrícolas con el objeto de proporcionar resistencia al desgaste en su superficie [2].

El proceso de soldadura ha experimentado cambios desde sus inicios en donde el conocimiento ha sido aprendido de forma empírica dando paso a conocimientos tecnificados y documentados. Pueden ser utilizados en la industria minimizando riesgos en el manejo de técnicas y procedimientos.

Los métodos de soldadura han sufrido cambios en sus maquinarias pasando de unas completamente manuales a otras parcialmente automatizadas. Actualmente, los equipos de soldadura de piezas requieren obligatoriamente de un operario calificado para realizar el proceso de soldadura. El inconveniente que se presenta se debe a que al ser un proceso manual se puede sufrir complicaciones en el producto final.

Si el soldador no tiene un conocimiento alto y calificado en elementos de tamaño considerable el producto final de la soldadura puede tener afectaciones en las piezas y por lo tanto en la maquinaria. Si se realiza un mal trabajo de soldadura puede generar fisuras internas, agrietamientos por exceso de calor, deposición inadecuada del material de soldadura entre otros. La destreza del operario radica en la experiencia adquirida en el campo de trabajo mediante prueba y error, inclusive si tiene la certificación adquirida por normativas internacionales.

Los diferentes procesos de soldadura permiten ser aplicados a reparación de ejes en su superficie bajo condiciones propias del trabajo a realizar. El proceso SMAW permite el aporte de material en forma de electrodos generando la limitante de suministro constante. El proceso GTAW es de mayor precisión y menor cantidad, la limitante es que la colocación es variable y se puede tener incoherencias en la soldadura. GMAW es una soldadura más precisa porque utiliza rollos de alambre que puede cubrir piezas mayores de forma constante. El inconveniente al utilizar este proceso es que la dureza no es la adecuada para recuperación de piezas en su superficie. FCAW es un proceso de soldadura que utiliza rollos de alambre tubular usados con o sin protección gaseosa, siendo aplicados a revestimientos duros en procesos de fabricación o recuperación. La limitante es la pericia del soldador para mantener el arco a una altura constante, lo que puede ocasionar que el aporte de material no sea homogéneo.

Con la utilización de la tecnología algunos de estos inconvenientes indicados se pueden minimizar. El presente trabajo indica un sistema para trabajar tanto con procesos y maquinaria automatizadas para la soldadura de piezas cilíndricas de tamaños considerables, en donde se podrá controlar parámetros como inspección de posicionamiento, flujo de material, velocidad de rotación, traslación y oscilación; los cuales en procesos manuales son extremadamente difíciles de dominar.

Como resultado se pretende mitigar los impactos que se tiene en la industria de la soldadura mediante procesos automatizados brindando garantía en el producto final, con menor esfuerzo y mayor precisión, lo que ayuda a disminuir costos y tiempo en arreglo de piezas.

En las últimas décadas se ha seguido la tendencia de automatizar de manera progresiva procesos productivos de todo tipo. “Esta tendencia ha sido y sigue siendo posible gracias al desarrollo y abaratamiento de la tecnología necesaria” [3].

La automatización propone diferentes objetivos universales como:

- Incremento de la calidad manteniendo un nivel uniforme
- Manufactura conforme a lo planificado
- Disminución de costos en la producción en serie
- Flexibilidad de fabricación [3]

Las deducciones obtenidas en el presente trabajo de titulación permitirán la inclusión óptima en la industria de la soldadura mediante procesos automatizados, permitiendo de esta manera se incremente la producción manteniendo estándares de calidad y afinando el fundamento metalúrgico.

En la industria con frecuencia no se dispone de los implementos necesarios para realizar una recuperación superficial en ejes cilíndricos, y de ésta manera alargar la vida útil de los mismos, ya sea por costos o infraestructura; por lo que la presente máquina permitirá realizar estos procesos de soldadura satisfaciendo las necesidades a corto, mediano o largo plazo.

- **OBJETIVOS:**

a. Objetivo general

Realizar un posicionador de soldadura en dos ejes automatizado con capacidad de 5000 Newton, para la ejecución de soldadura de piezas de tamaños considerables utilizando proceso FCAW y manteniendo los parámetros para un trabajo de calidad.

b. Objetivos específicos

- Diseñar y construir un mecanismo, que sea capaz de controlar el movimiento en dos ejes.
- Realizar un sistema que controla el movimiento de la antorcha de soldadura y el avance de la misma.
- Realizar aplicaciones y análisis de resultados en rodillos para su recuperación superficial mediante la aplicación de soldadura FCAW (Flux Core Arc Welding).
- Ejecutar análisis de caracterización de la soldadura, como: espesor del cordón, dureza de soldadura, penetración de la soldadura.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Automatización

La automatización es el uso de la tecnología y diferentes sistemas de control para reducir la intervención humana en procesos, reemplaza el mecanizado asistido por humanos utilizando su fuerza y concentración, en la automatización reduciendo sus funciones sensoriales, así como su capacidad mental conocida como habilidad. De esta manera su intervención y riesgo en las operaciones con maquinaria se ve reducido considerablemente aportando ventajas como: producción eficiente y eficaz, reducción de tiempos de producción, producción en serie con tolerancias de errores menores a las de un operario. [3]

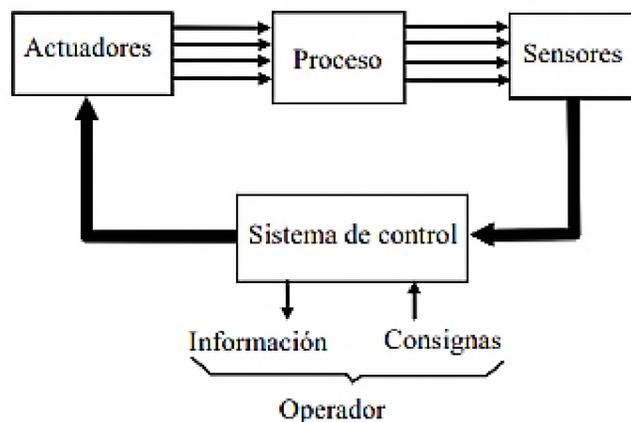


Figura 1. Estructura de un sistema automatizado [3].

1.1.1. Aplicaciones

La tecnología en nuestro tiempo es una referencia y un mecanismo indispensable en una serie de controles para procesos. Se aprovechan tanto en pequeñas como en grandes redes de control con millares de terminales sensoriales, se considerarán algunos contextos en los que la automatización en la actualidad es habitual. [4]

- **Automatización de edificios:** se pueden encontrar en los sistemas de acondicionamiento de temperatura, aire acondicionado, ventilación, iluminación, supervisión de energía y en los sistemas de identificación o cerraduras electrónicas.
- **Automatización de viviendas:** se encuentra presente en residencias exclusivas para diferentes desempeños como el control de aspersion, sistema de celosías, revisión e intercomunicación de electrodomésticos y la optimización de uso de energía.
- **Automatización industrial:** se usa regularmente en el control de procedimientos de aguas residuales, en cadenas de producción, en mediciones por medio de sensores, en el análisis de instalaciones electrónicas o dosificación de procesos.
- **Automatización del transporte:** se emplea en numerosas partes del vehículo, como en frenos o el alumbrado; pero también en aviones y trenes, en la parte interna de los mismos.
- **Otros:** las máquinas de venta de productos varios, restaurantes, maquinaria para talleres metalmecánicos. [4]

1.1.2. Niveles de automatización

La automatización industrial es una de las fuentes más importantes para aprovechar de manera sustancial las oportunidades y crear un sistema que implique menor esfuerzo humano, con mayor producción. De esta manera se logra diferenciar todos los niveles de la automatización como son:

- a. **Nivel de maquinaria:** Se supone que este nivel describe la automatización de una máquina que realiza una acción productiva simple y determinada.
- b. **Nivel de célula (de grupo):** Se interpreta como un grupo de máquinas que laboran de manera coordinada y vinculada para una producción compleja, limitada en un área específica del proceso.
- c. **Nivel de planta:** En este nivel se considera el control automatizado de toda la planta de producción que trabaja de forma coordinada para cumplir unos objetivos de producción global de la fábrica.

- d. **Nivel de empresa:** En este nivel se considera el conjunto de la empresa (gestión, ventas, producción) [3]

1.1.3. Niveles jerárquicos de automatización

La pirámide de la automatización se encuentra dividida en cinco niveles jerárquicos para su mayor comprensión siendo enumerados en forma descendente y orden cronológico de mayor a menor:

- a. **Nivel administración:** ERP (planificación de recursos de empresas), es un sistema general de programación de recursos e información que cumple con la demanda de requerimientos de gestión de la empresa. [5]
- b. **Nivel de información y manufactura:** MES (Manufacturing Execution System), se obtiene una programación autónoma de la producción facilitando una diversidad en dirección de proyectos y optimar varios recursos de manufactura dentro de la empresa. [6]
- c. **Nivel de supervisión:** SCADA (Supervisory Control and data acquisitions) permite mediante un interfaz interactuar manera virtual comunicando al usuario con un sistema, generando un control de actuadores desde una cabina de mando. [7]
- d. **Nivel de control:** desarrollo de software y mecanismos de control como sensores y actuadores desarrollando pericias de inspección con lenguajes informáticos visuales de alto nivel, permitiendo su reutilización. [8]
- e. **Nivel de campo o nivel de instrumentación:** Incorpora diferentes aplicaciones de control de procesos, ajustando a dispositivos como unidades terminales remotas, controladores lógicos programables PLC's, sensores y actuadores. [9]

1.2. Soldadura

La soldadura es la coalescencia restringida de dos metales elevando la temperatura hasta el punto de fusión permitiendo la unión de las estructuras granulares de los materiales, aplicando o no presión y dependiendo del caso se utiliza material de aporte. [10]

1.2.1. Soldadura autónoma

Debido a las condiciones tecnológicas que el mundo nos presenta actualmente bajo la incorporación de nuevos productos al mercado, es de manera indispensable si no primordial el uso de la automatización en la soldadura [11] acondicionando en los procesos recurrentes para controlar de manera evidente los parámetros como, velocidad de avance, oscilación, velocidad de salida de alambre, etc.

1.2.2. Soldadura FCAW

Es un proceso de soldadura por arco eléctrico ocasionando un charco de soldadura formado por el material de aporte continuo alimentado por un sistema automático (incorpora en el interior del alambre tubular elementos químicos que al contacto con el calor proporciona gases de protección, así como escoria de la soldadura) provocando discrepancia de potencial entre las piezas a soldar y el electrodo [12]. El electrodo de núcleo de flujo puede ser suplementado por un gas de protección aplicado externamente cerrando el circuito y crea el arco eléctrico. [13]

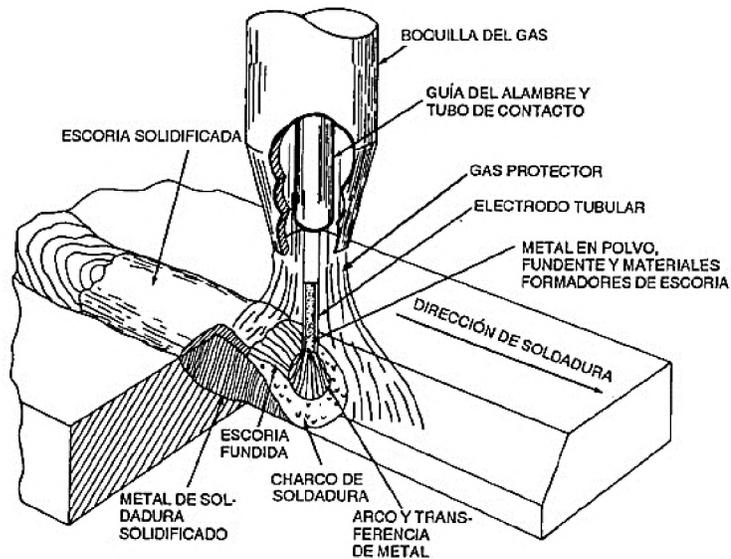


Figura 2. Soldadura FCAW bajo protección gaseosa [14].

1.2.2.1. Ventajas del proceso FCAW

- Se permite soldar en el rango de espesores de 1 milímetro en adelante, en una sola pasada, permitiendo incorporar una serie de cordones para soldadura de relleno.
- Posee una velocidad de deposición superior a otros procesos de soldadura
- Ofrece un cordón limpio sin mayores salpicaduras
- Diseñado para soldar en cualquier posición ya que su auto-alimentación del electrodo lo permite.
- Ostenta su aplicación en varios metales aleados.
- Su composición permite distinguir tres zonas totalmente definidas siendo (1) el cordón de soldadura, (2) afectación térmica en el proceso y (3) la zona no afectada, [15] según lo determina la Figura 3.

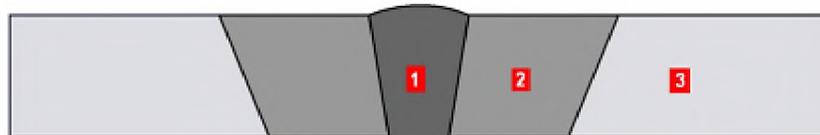


Figura 3. Zonas de soldadura [12].

1.3. Principio de funcionamiento de soldadura FCAW

El palillo de soldadura FCAW auto protegido se descompone y vaporiza el núcleo de flujo del electrodo protegiendo de forma parcial al metal fundido. Los componentes del flujo introducen desoxidantes y agentes desnitrurantes, lo cual es ideal para condiciones de corrientes de aire. Por otro lado, los procesos de soldadura con protección de gases requieren de un ambiente cerrado o en tiendas de campaña porque las corrientes de aire influyen en la composición de la soldadura.

El proceso de auto-blindado es portátil, permite la alimentación continua con una fuente de voltaje constante, desvinculando a mangueras, reguladores y tanques de gas. [14]

Para los procesos FCAW, la eficiencia de la deposición varía depende la relación del peso de metal depositado sobre el metal consumido en peso, para los auto protegidos de 78% a 87%, mientras que para los protegidos con gas de 80% a 90%. [14]

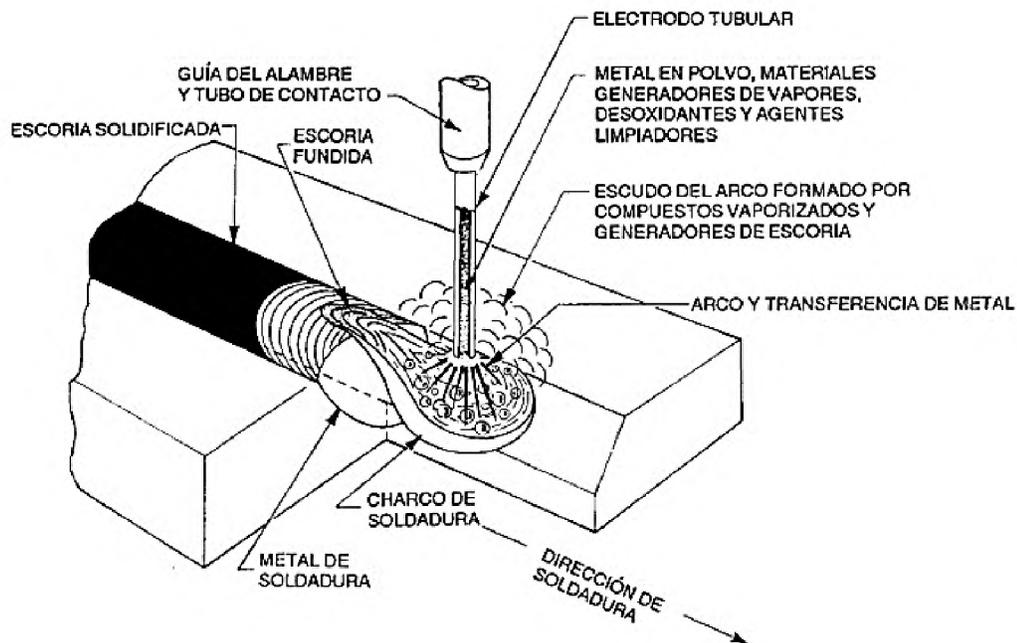


Figura 4. Proceso FCAW Auto protegido [14]

1.3.1. Componentes

Los diferentes componentes de la soldadura FCAW se encuentran detallados en la Figura 5, puesto que se citan conceptos de cada parte para un alcance teórico.

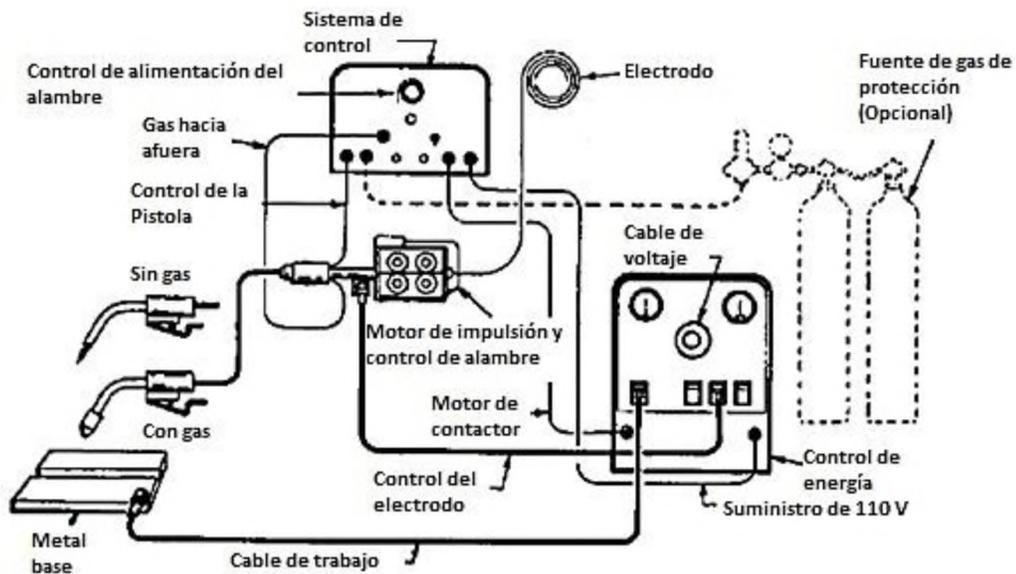


Figura 5. Equipamiento FCAW [14].

- **Fuente de poder:** existen dos tipos de fuentes de poder siendo las de corriente constante y tensión constante.

Las primeras poseen en su interior un motor de alimentación controlado por la tensión referencial del arco siendo proporcional y su corriente regulada desde los comandos de la fuente, proporcionando variaciones en la longitud del arco hasta equiparar la velocidad de salida del electrodo con la tensión del arco.

El segundo sistema posee una fuente con voltaje constante tipo DC, siendo fijada la tensión del arco por la tensión de salida de la fuente y la corriente de forma automática se regula por la velocidad del alambre.

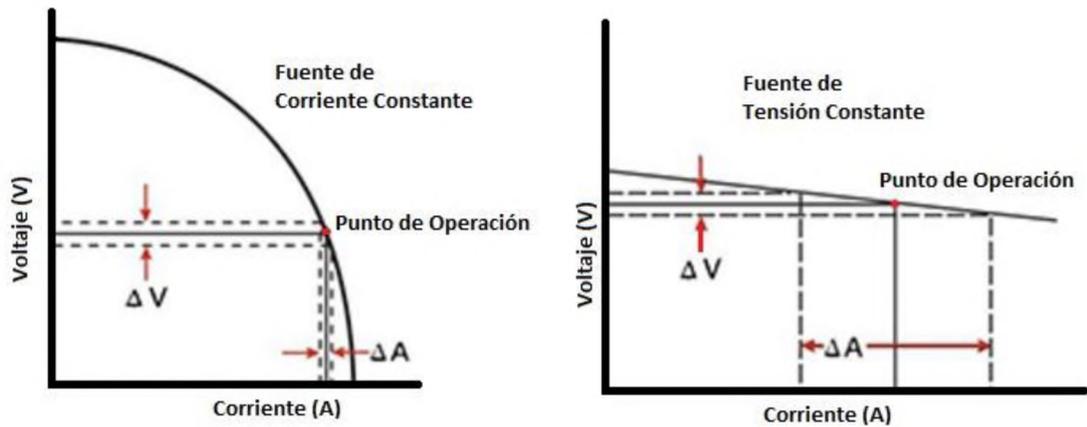


Figura 6. Gráfica de las curvas de salida típicas en las fuentes de poder [16].

- **Motor de impulsión y control de alambre:** tiene la capacidad de proporcionar una velocidad de salida de alambre (electrodo) constante dependiendo de su regulación por medio de dos juegos de rodillos, ayuda a disminuir la presión de impulso en el electrodo. [17]
- **Antorcha:** la función principal es dar soporte al soldador, incorpora la salida del gas y el electrodo de tal forma que provoque una adecuada protección cuando el material se incorpora al metal de unión. Sus variantes posibilitan el enfriamiento mediante aire o agua para condiciones de trabajo extremas. Las pistolas de soldar se clasifican para su capacidad de carga actual y la longitud de tiempo que se utilizan con un amperaje dado, brindando una protección contra descargas eléctricas [13].
- **Mando de control:** se encuentra en un extremo del equipo de soldadura, el cual determina la salida del alambre por medio de botoneras especiales para el trabajo. De esta manera se controla el flujo de alambre tubular (electrodo FCAW), así como la parada de emergencia del equipo [13].

1.4. Proceso de soldadura

1.4.1. Proceso y equipo

El proceso necesario para que la reparación superficial se realice en óptimas condiciones se conoce como soldadura de recuperación, siendo realizada por operadores calificados mediante electrodos de características similares a la soldadura FCAW, permitiendo que cada cordón se tenga diferentes características variadas como: espesor de cordón, penetración de la suelda o uniformidad, debido a las condiciones del trabajador así como la cantidad de horas invertidas soldando, para lo cual se requiere de una solución que integre de manera adecuada las variables presentadas anteriormente, otorgando una mejora en el proceso. [13]

El equipo necesario para realizar la recuperación superficial depende del tipo de soldadura a utilizar para que sea adecuada dependiendo el esfuerzo a realizar por el eje recuperado, teniendo varias opciones para enfocarnos y seleccionar de manera adecuada la más promisoría, siendo la soldadura FCAW la opcionada a diferencia del recargue duro por medio de Hard-facing o coating. [13]

1.4.2. Alambre

Conocido como electrodo con lleva en su interior fundente empaquetado a presión. El proceso de elaboración consiste en formar una hoja delgada de metal en forma de U, introduciendo en el espacio una cantidad de fundente y posterior proceder a su cierre. En la actualidad existe un segundo método de elaboración de alambre FCAW, que consiste en utilizar un tubo de aproximadamente una pulgada de diámetro, obstruyendo en uno de sus extremos e ingresando fundente mientras se somete a vibraciones para que se disperse de manera uniforme. [17]

Los fundentes que se utilizan son realizados a base de rutilo o cal, proporcionando desoxidantes, formadores de escoria, agentes fundentes, elementos de aleación, estabilizadores de arco y gas protector [17].

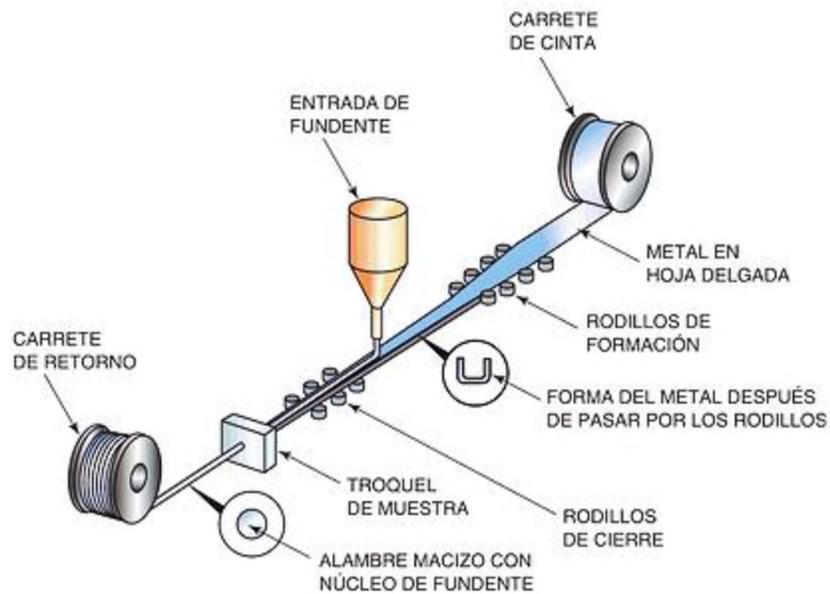


Figura 7. Proceso de elaboración de alambre FCAW [17]

1.4.3. Corriente de soldadura

La corriente varía dependiendo del diámetro del electrodo, composición y cantidad de deposición. Cada fabricante proporciona curvas relacionadas entre la velocidad de salida del electrodo y la corriente. La variación de incremento de la corriente, aumenta la velocidad de deposición, así como la penetración y su apariencia, por el contrario cuando se proporciona insuficiencia de corriente produce porosidad (electrodo es auto-protegido) y salpicado de soldadura. [17]

1.4.4. Tensión del arco

La tensión y el voltaje del arco están directamente relacionados con la corriente. El incremento de la tensión aplanan el cordón, mientras que si el voltaje aumenta causa salpicaduras, socavado, porosidad e inestabilidad en el arco. [15]

1.4.5. Velocidad de trabajo

El aumento de la velocidad de oscilación de la antorcha ocasiona la disminución considerable de calor a la pieza, así como la cantidad de material, y la penetración se reduce. [15]

1.4.6. Velocidad de aportación y eficiencia

La velocidad de salida del alambre depende del controlador del equipo de soldadura, a menor deposición genera un cordón de soldadura inadecuado observando una serie de puntos de suelda en disposición no uniforme. Mientras que por el contrario si existe un exceso de salida del alambre genera la no deposición de la suelda pues se queda pegado el alambre a la pieza a soldar. [10]

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

2.1. Introducción

En el presente capítulo se presentan las alternativas más convenientes para la implementación de soldadura FCAW, seleccionando de manera adecuada y con fundamentos tanto teóricos como prácticos, para los fines presentados en los objetivos. Mediante puntuación escalar se otorga una solución correcta a los planteamientos establecidos, se toma en cuenta los recursos económicos escasos y el diseño sin referente alguno. Se establecerán de manera general lineamientos pertinentes por implementación de un prototipo nuevo (no se tiene referencias de diseño y construcción), los cuales en el capítulo siguiente se desglosará mediante la selección de cada uno de los elementos para el diseño y construcción de la máquina.

El equipo de soldadura por sí solo no puede recuperar una pieza mecánica en su superficie, necesita de varios operadores que trabajen en forma coordinada presentando un alza en el costo de la producción; sin embargo, capacitar de forma adecuada a un operario significa implementar un equipo que se encuentre acorde a las necesidades requeridas, es decir una máquina semiautónoma que simplifique el trabajo, por dichos aspectos se considera importante el diseño y construcción de dicho artefacto.

2.2. Soldadura Hardfacing

La soldadura de recuperación genera una ventaja dentro del mundo industrial porque simplifica las operaciones de soldadura tanto cuantitativa como cualitativa, es un precedente de partida para la obtención de resultados.

El proceso mencionado recubre el metal base con una capa de metal, el material de aporte es más resistente al desgaste e impacto que al que se aplica de forma común en la industria, conservando la cualidad de extender la vida útil de componentes mecánicos nuevos o reparados por algún tipo de desgaste. [18]

Los diferentes métodos de aplicar soldadura hardfacing dependen del trabajo y la posibilidad de manipulación del componente dentro de un espacio determinado, los más comunes son: la soldadura mediante la utilización de electrodos, soldadura semiautónoma con alambre FCAW con o sin protección de gas y la soldadura por arco. Cada una de estas presenta dificultades propias del trabajo a realizar por lo que están sujetas a limitaciones de espacio e implementación. Lo recomendable es seleccionar un método acorde a las necesidades y requerimientos. [18]

2.2.1. Soldadura mediante utilización de electrodos

La utilización de electrodos es uno de los métodos más comunes dentro de la industria, aportan una facilidad de movilización, así como de manipulación. “EutecTrod ME 9060 A” es un electrodo de alta resistencia a la fricción, impacto, oxidación y corrosión, sus propiedades químicas le permiten reparar superficies de ejes, su uso es propicio para el trabajo a realizar, sin embargo es limitado a personal con experiencia en el campo de la soldadura. Al aplicar la soldadura sin precalentamiento a la pieza a reparar permite la aparición de grietas en su superficie y en la estructura interna, facilitando la aparición de grietas en los puntos más frágiles.

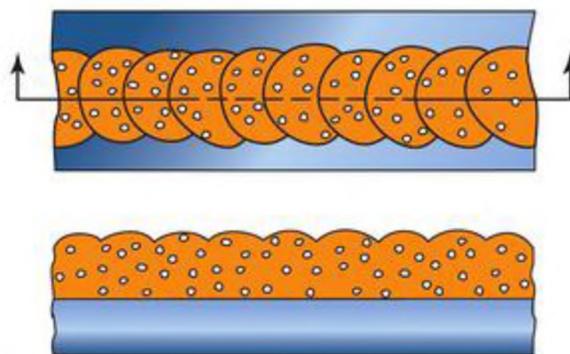


Figura 8. Porosidad distribuida uniformemente [17]

2.2.2. Soldadura semiautónoma

La soldadura semiautónoma constituye un gran salto en la ingeniería controlando ciertas variables como la velocidad, altura y distancias, se establecen parámetros apropiados de acuerdo a los requerimientos propios de cada material, eleva de forma significativa el nivel de eficiencia y eficacia en la soldadura. [13]

Los requerimientos son: penetración del cordón de soldadura, espesor, altura y estética, para lo cual se usan mecanismos electrónicos, mecánicos o combinados, para limitar de algún modo el movimiento de oscilación simulando al de un operario experimentado.

El proceso FCAW cumple en parte con los requerimientos establecidos dentro de la normativa, su dosificador de alambre permite de manera gradual regular la salida del mismo, controlando el nivel de deposición. [13]

La fuente de alimentación semiautomática para soldadura FCAW, la unidad de alimentación de alambre FCAW, la pistola de soldar, rodillo de alambre tubular son de fácil integración por lo que facilitan la movilización del mismo lo que permite realizar el trabajo en sitio y no tener que transportar las piezas por separado lo cual beneficia al mantenimiento de las maquinarias. [15]

2.2.3. Soldadura por arco sumergido

Procedimiento de soldadura que emplea una capa de fundente granulado que se encuentra cubriendo en su totalidad el arco formado por la aplicación de arco eléctrico aportando calor que permite la fundición de dicho aporte. [17]

Una de las mayores virtudes del proceso es la implementación de corriente elevada sin chisporroteo, aplica una penetración profunda de la soldadura. El proceso es térmicamente eficiente; sin embargo la aplicación de metal base de la soldadura es mayor considerando el costo-beneficio de la misma. [10]

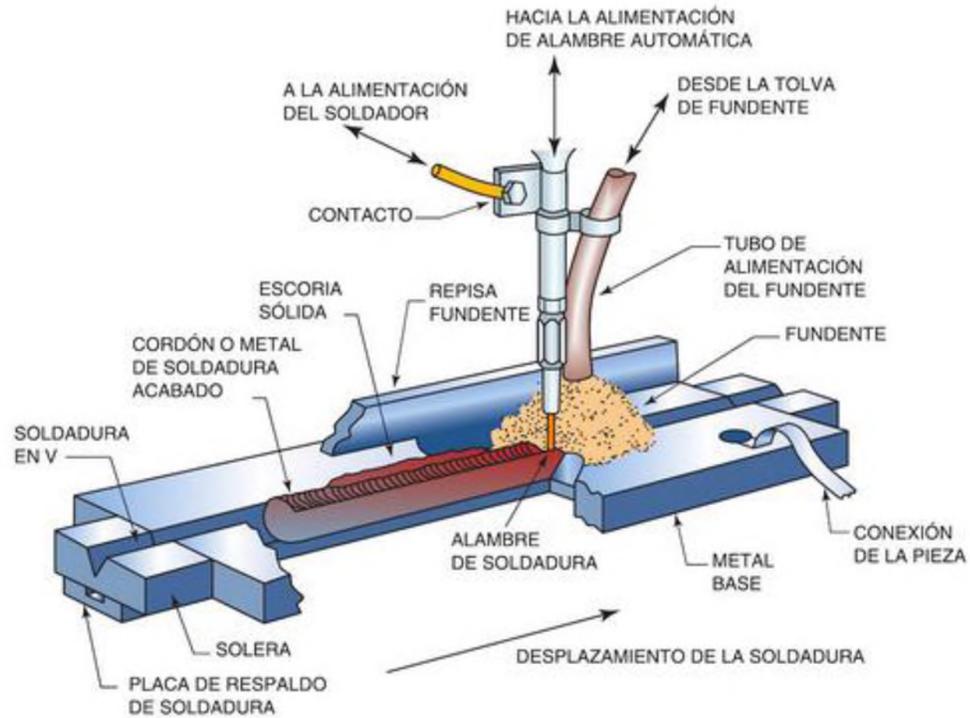


Figura 9. Esquema de una instalación de SAW [14]

Su aplicación es variada y depende del trabajo a realizar, los aceros suaves de baja aleación los más aptos para la implementación.

Dentro de las ventajas encontradas al utilizar soldadura SAW (soldadura de arco sumergido) se encuentran:

- La velocidad de deposición es relativamente alta llegando a 40 libras/hora, prácticamente el doble que la soldadura FCAW. [17]
- La soldadura es de alta calidad permitiendo su uso en cilindros de presión, hierro estructural, al igual que en aplicaciones críticas. [17]
- El cordón de soldadura FCAW puede realizarse en todas las posiciones con velocidades de desplazamiento regulables. [13]
- Las salpicaduras no existen, por lo que la limpieza pos soldadura ya no se realiza. [17]
- Su adaptación es variable dependiendo el trabajo a realizar pues el fundente, tanto como el alambre se los adquiere de forma individual. [13]

- La deposición de la soldadura permite realizar ranuras planas o de filete. [13]
- La protección del operador se encuentra asegurada, la luz del arco se encuentra cubierta de fundente granular, sin la necesidad de usar casco de soldar así como ventiladores de extracción de humo pues este tipo de soldadura no genera. [19]

2.3. Necesidades

Los factores que influyen en la selección de los equipos como la elaboración son importantes, así que se definen algunos tales como:

- Producción
- Operación
- Rendimiento
- Mantenimiento
- Costo de producción

- **Producción:** La máquina al ser operada en el área de soldadura tiene que proporcionar seguridad al operario, y su prototipo se limitará a ciertas dimensiones de construcción, por lo que mediante la tabla argumentada se dará selección a la más idónea.

Tabla 1. Método de selección de alternativas mediante producción

Calificación	Argumento
1	La producción se encuentra desfavorable, se necesita de mucho tiempo para garantizar un trabajo solvente para la empresa con respecto al costo.
2	Proporciona una producción trabajo/hora limitada pero la evaluación de la misma sigue siendo regular con respecto a la anterior.
3	Se encuentra un punto de equilibrio, entre costo y producción aunque resulta emocionante su producción con respecto al tiempo genera malestar si se trata de una producción a gran escala.
4	Genera una muy buena expectativa porque proporciona un trabajo adecuado en un tiempo menor refiriendo ganancias buenas por cada trabajo.
5	El costo de la producción así como el tiempo mejoran de manera atractiva, el hecho de ser una soldadura eficiente y eficaz genera confiabilidad en el producto.

- **Operación:** La máquina tiene que poseer la capacidad de ser manipulada por operarios de poca experiencia facilitando el proceso,

Tabla 2. Método de selección de alternativas mediante simplicidad de operación.

Calificación	Argumento
1	Se necesita personal calificado y con certificaciones abaladas por funcionarios o escuelas de soldadura.
2	Se requiere de personal calificado pero con experiencia para manipulación de instrumentos y control de los parámetros de soldadura.
3	El personal requiere de conocimientos referentes a la soldadura sin necesidad de una formación previa.
4	Se pretende formar al personal a cargo de la máquina por lo que se necesitan operarios que tengan conocimiento teórico para poder solventar los inconvenientes sujetos a control.
5	Las personas que no posean experiencia tanto en las áreas de la soldadura o metalmecánica.

- **Rendimiento:** El rendimiento de la máquina dependerá del tipo de material a utilizar en su elaboración así como el tiempo de uso destinado en cada proceso.

Tabla 3. Método de selección de alternativas mediante rendimiento.

Calificación	Argumento
1	El desperdicio de material es abundante
2	El material de aporte o electrodos es abundante, pero su postsoldadura no es evidente.
3	El desperdicio de la soldadura es considerable si tomamos como referencia el peso de la soldadura aportada al material.
4	Su desperdicio es mínimo y son procesos de mayor control de parámetros.
5	El material aportado con respecto a su desperdicio es nulo.

- **Mantenimiento:** Hay que tener en cuenta los costos de mantenimiento así como su pronta adquisición de repuestos, por su uso está expuesto a ambientes agresivos de trabajo delimitando su vida útil.

Tabla 4. Método de selección de alternativas mediante mantenimiento.

Calificación	Argumento
1	El equipo requiere mantenimiento constante y posee componentes sensibles a la soldadura.
2	La maquinaria utilizada requiere de un mantenimiento considerable cada cierto tiempo, teniendo en cuenta un cronograma establecido.
3	El equipo funciona adecuadamente, y requiere limpieza constante, pero su mantenimiento tiene que ser minucioso cuando se lo realice.
4	Es necesario un mantenimiento preventivo de todos sus componentes a espacios de tiempo prolongados, teniendo en cuenta sus repuestos necesarios.
5	No requiere mantenimiento alguno, solo con la limpieza continua se mantiene el equipo en buenas condiciones.

- **Costos de producción:** Es importante optimizar el material de soldadura, pues la eficiencia de la máquina radica en disminuir el desperdicio de materia prima cuando se recupera la soldadura superficial.

Tabla 5. Método de selección de alternativas mediante costos de producción.

Calificación	Argumento
1	Teniendo en cuenta el desperdicio de material de aporte, con el trabajo a realizar tenemos que no favorece su costo porque es elevado.
2	El trabajo a realizar tiene un costo elevado pero el desperdicio de aporte no es abundante, teniendo en cuenta un periodo largo de retribución monetaria.
3	Su elaboración requiere de costos normales acorde al trabajo a realizar por lo que tiene una rentabilidad buena y sin riesgos en un mediano plazo.
4	Su desperdicio es mínimo y su rentabilidad supera los costos de reparación y mantenimiento de la máquina.
5	El costo del aporte como de la mano de obra no es elevado y genera una rentabilidad favorable para la empresa en un corto plazo.

2.4. Selección de alternativas

La selección de alternativas se la realiza con el objetivo de encontrar un tipo de soldadura que sea adaptable al equipo por diseñar porque en el mercado industrial son aisladas las empresas que transfieren un diseño o boceto esquemático de dicha máquina, refiriéndose a secreto industrial, por lo que el proyecto a realizar se perfila como prototipo experimental. Sin embargo el método a utilizar se refiere como cuantitativo y cuenta con una escala numérica permitiendo valorar de manera más objetiva los aspectos para cada alternativa. En la tabla mostrada a continuación se presenta una escala descendente de 1 a 5, donde:

- 5 = Excelente
- 4 = Muy buena
- 3 = Buena
- 2 = Mala
- 1 = Muy mala

La opción más favorable se encuentra identificada mediante características propias de cada necesidad, mostradas en el punto anterior refiriendo su puntuación como limitante para la obtención de un resultado favorable.

Tabla 6. Análisis de las alternativas.

Alternativas	Necesidades					Valor global	Valor porcentual
	Producción	Operación	Rendimiento	Mantenimiento	Costo de producción		
Soldadura mediante utilización de electrodos	2	3	2	3	2	12/25	48%
Soldadura semiautónoma	5	4	4	4	4	21/25	84%
Soldadura por arco sumergido	1	2	5	2	5	15/25	60%

La solución más apropiada es la soldadura semiautomática para la implementación del diseño de la máquina, y reúne todas las propiedades en un alto porcentaje.

CAPÍTULO 3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1. Diseño del eje de rotación y sus componentes

3.1.1. Diseño y selección de motor

La potencia necesaria para el funcionamiento del eje será definida por la velocidad máxima de giro del rotor y su carga al cual está sometido el eje.

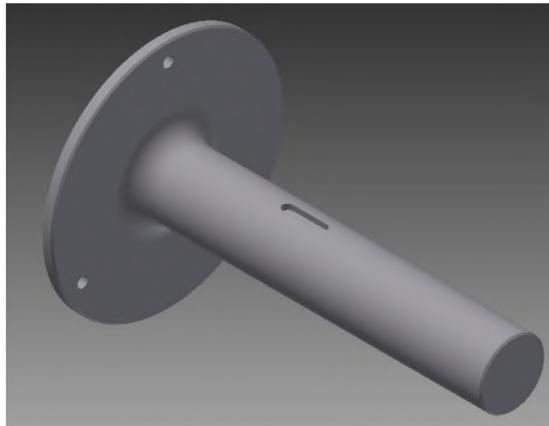


Figura 10. Eje principal [20]

La Ecuación 1 sirve para calcular el torque:

$$T = W * x$$

Ecuación 1

Donde:

$T_1 =$ Torque de rotación

$W =$ Capacidad máxima de carga

$x =$ distancia excéntrica

La capacidad máxima de carga se calcula de manera general, es la suma del peso a soportar 1000Kg, más el peso del mandril 20 Kg, se necesita la sujeción de los elementos a recuperar, representado en la Ecuación 2.

$$W = (1.000 \text{ Kg} + 20\text{Kg}) * 9,8 \frac{m}{s^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$W = 9.996 \text{ N}$$

$$W \approx 10000\text{N}$$

De la carga máxima calculada con anterioridad se tiene un torque de:

$$T_1 = W * x$$

$$T_1 = 10.000\text{N} * 0,5\text{m}$$

$$T_1 = 5.000\text{Nm}$$

Se considera que la distancia excéntrica se toma desde el centro del eje hacia su perímetro externo, conocido como radio de una circunferencia. Se toma en cuenta dos aspectos fundamentales; el primero, el que la máquina se encuentre operativa y diseñada para ejes de diámetro límite de 1000 milímetros y su distancia de 16 centímetros, como se muestra en la Figura 11. Su peso es 986,46 Kg con una densidad de $7850 \text{ Kg}/\text{m}^3$.

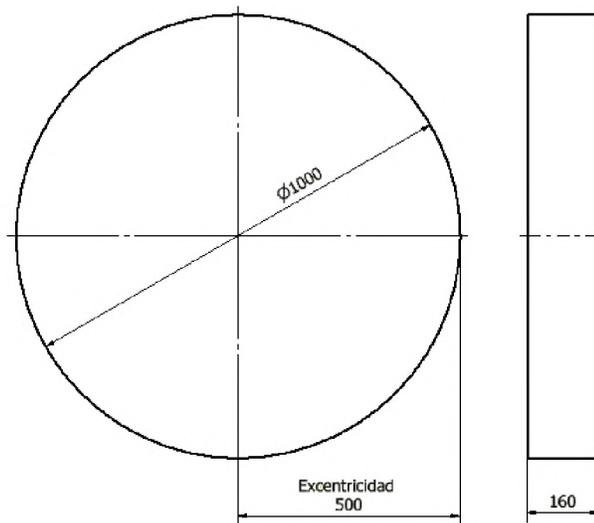


Figura 11. Dimensionamiento máximo de material. [20]

Se calcula la potencia requerida para el funcionamiento mediante la Ecuación 3.

$$Pot = T_1 * \omega_1 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$Pot =$ Potencia requerida

$T_1 =$ Torque de rotación

$\omega_1 =$ Velocidad máxima

$$Pot = T_1 * \omega_1$$

$$Pot = 5000 \text{ Nm} * 0,3 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi}{1\text{rev}} * \frac{1\text{min}}{60\text{seg}}$$

$$Pot = 157,08\text{w}$$

$$Pot = 0,157\text{Kw}$$

Con los dos primeros datos obtenidos se requiere de una potencia 0,157 KW y un torque de 5000 Nm para el funcionamiento del eje de rotación, siempre que la máquina trabaje en su máxima capacidad, para lo que se necesita una transmisión del motor a seleccionar.

Tabla 7. Características de los motores.

Marca	Potencia	Velocidad	Torque
LAFERT	0,18KW a 200KW	1630 rev/min	7,6 Nm
GAMMA	3 KW a 5KW	1000 rev/min	9 Nm
SIEMENS	1KW a 13KW	1800 rev/min	4,06 Nm

Se observan tres motores diferentes en tipo, pero se acoplan a las potencias requeridas, el motor seleccionado es el de marca LAFERT, con una potencia de 0,18KW a 200KW y un torque de 7,6 Nm. La velocidad de la placa del motor designa 1630 rev/min y es necesario reducir a 0,3 rev/min , el mecanismo a utilizar son reductores de velocidad que permiten aumentar el torque.



Figura 12. Placa del motor LAFERT [21]

3.1.2. Sistema de transmisión de potencia

El sistema de transmisión de potencia requiere de la selección adecuada de los reductores de velocidad que a su vez cumplen con aumentar el torque, la selección optada precisa de una caja reductora de 30:1, siendo primordial el costo y su fácil adquisición.

Las revoluciones de salida se calculan mediante la Ecuación 4:

$$\omega_1 = \frac{\omega_M}{i_1} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

ω_1 = velocidad de salida del reductor

ω_M = velocidad máxima del motor

i_1 = la relación del reductor

Entonces se tiene:

$$\omega_1 = \frac{1630 \text{ rpm}}{30}$$

$$\omega_1 = 54,33 \text{ rpm}$$

El torque de salida del motor se calcula mediante la Ecuación 5:

$$T_1 = T_M * \frac{\omega_M}{\omega_1} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$T_1 = \text{Torque requerido del reductor}$

$T_M = \text{Torque propio del motor}$

Entonces se tiene:

$$T_1 = 7,6 \text{ Nm} * \frac{1630 \text{ rpm}}{54,33 \text{ rpm}}$$

$$T_1 = 228,014 \text{ Nm}$$

Para que sea adecuado el sistema de potencia se requiere de otro reductor de velocidad existente en el mercado con una relación de 80:1, se tiene que realizar las operaciones anteriores y se exponen los resultados.

$$\omega_1 = 0,68 \text{ rpm}$$

$$T_1 = 18217,64 \text{ Nm}$$

Se selecciona un reductor REM 110 cuyo límite de revoluciones a recibir es 900 rpm, soporta 377 Nm y 0,75KW como lo muestra en la Figura 13.

Reductor: REM110							
i	n1	n2	M2(Nm)	Kw1	RD	sf	
7,5	900	120	398	5,5	91,1	1,2	
10		90	522	5,5	89,6	1,0	
15		60	549	4	86,3	1,0	
20		45	531	3	83,5	1,0	
25		36	641	3	80,6	0,9	
30		30	543	2,2	77,6	1,1	
40		22,5	465	1,5	73,1	1,2	
50		18	547	1,5	68,8	1,0	
60		15	459	1,1	65,6	1,1	
80			11,3	377	0,75	59,5	1,1
100			9	450	0,75	56,6	0,9

Figura 13. Características del reductor de velocidad

El torque favorece en gran medida a lo requerido en los parámetros iniciales pero la velocidad de salida precisa de un sistema de transmisión por cadena, se reduce de esta manera la velocidad solicitada, su relación será de 2:1, se utiliza la Ecuación 6.

$$i_T = \frac{W_M}{W_R} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$i_T = \text{Relación}$

$W_R = \text{Velocidad de rotación máxima}$

Entonces se tiene que:

$$i_T = \frac{0,68 \text{ rpm}}{0,33 \text{ rpm}}$$

$$i_T = 2,06$$

$$i_T \approx 2$$

Bajo las condiciones propuestas se requiere un engrane que doble el número de dientes del piñón que posee 20 dientes y su paso es 50, seleccionado del catálogo de Iván Bohman [22] y para calcular se parte de la Ecuación 7.

$$i_T = \frac{N_2}{N_1} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

$N_2 =$ Número de dientes del engrane

$N_1 =$ Número de dientes del piñón

Para lo cual se procede al cálculo correspondiente:

$$N_2 = 2 * 20$$

$$N_2 = 40$$

La velocidad de rotación final es calculada por la Ecuación 8:

$$W_2 = \frac{W_1}{i_T} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$W_2 = 0,34 \text{ rpm}$$

Y su torque final es calculado por la Ecuación 9:

$$T_F = T_1 * i_T \quad \text{Ecuación 9}$$

$$T_F = 18217,64 \text{ Nm} * 2$$

$$T_F = 36435,28 \text{ Nm}$$

El torque final calculado de 36.435,28 Nm excede al torque necesario de 5.000 Nm del eje principal, por lo que se considera una elección favorable.

3.1.3. Cálculo de la manzana del engrane y selección de material.

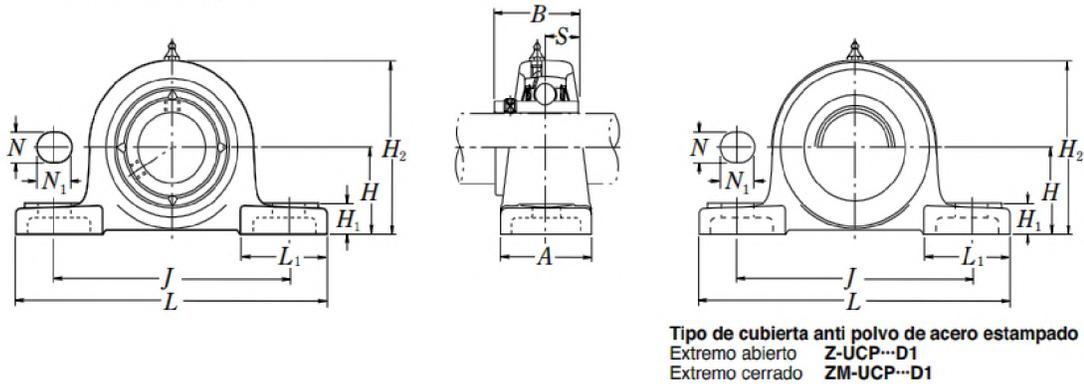
El material AISI 1045 tiene propiedades especiales que lo definen como la dureza, ductilidad y maleabilidad, se utiliza para repuestos sometidos a esfuerzos normales y partes de maquinaria, sus características se muestran en la Tabla 8. [23]

Tabla 8. Características del metal AISI 1045 [23]

Estado	Características mecánicas			
	Límite de fluencia N/mm^2	Resistencia a la tracción N/mm^2	Alargamiento ($L_0 = 5d$) <i>min.</i> %	Contracción <i>min.</i> %
Natural	370	650	15	35

Se tiene en cuenta que las dimensiones generales del material a considerar como eje son sobredimensionadas, se selecciona de forma adecuada las chumaceras idóneas para que le proporcione soporte correcto. [24]

Soportes tipo silleta con tornillos de apriete



Diám. Eje mm pulgadas	Designación soporte (1)	Dimensiones nominales											Tamaño tornillo mm pulgadas	Número de rodamiento
		H	L	J	A	N	N ₁	H ₁	H ₂	L ₁	B	S		
75	UCP215D1	82.6	275	217	74	25	28	28	163	80	77.8	33.3	M20	UC215D1
2 ¹³ / ₁₆	UCP215-213D1	3 ¹ / ₄	10 ¹³ / ₁₆	8 ¹⁷ / ₃₂	2 ²⁹ / ₃₂	3 ¹ / ₃₂	1 ³ / ₃₂	1 ³ / ₃₂	6 ¹³ / ₃₂	3 ⁵ / ₃₂	3.0630	1.311	3/4	UC215-213D1
2 ⁷ / ₈	UCP215-214D1													UC215-214D1
2 ¹⁵ / ₁₆	UCP215-215D1													UC215-215D1
3	UCP215-300D1													UC215-300D1
80	UCP216D1	88.9	292	232	78	25	28	30	175	85	82.6	33.3	M20	UC216D1
3 ¹ / ₁₆	UCP216-301D1	3 ¹ / ₂	1 ¹ / ₂	9 ¹ / ₈	3 ¹ / ₁₆	3 ¹ / ₃₂	1 ³ / ₃₂	1 ³ / ₁₆	6 ⁷ / ₈	3 ¹¹ / ₃₂	3.2520	1.311	3/4	UC216-301D1
3 ¹ / ₈	UCP216-302D1													UC216-302D1
3 ³ / ₁₆	UCP216-303D1													UC216-303D1

Nota (1) Estas designaciones de soporte indican que son de tipo relubricable. Si se necesita el tipo sin mantenimiento, seleccione los tipos sin el sufijo "D1".

Figura 14. Selección de chumaceras NSK para eje principal. [24]

La selección de las chumaceras fue por medio de facilidad de entrega en un plazo corto de tiempo, se limitó a la medida 3³/₁₆ pug. (80,9625 mm) como diámetro de eje, ya que se encuentra en stock a diferencia de las anteriores medidas, eleva el factor de seguridad. Se considera el factor de seguridad como adecuado si supera a la unidad, para el usuario y la máquina a diseñar, el sobredimensionamiento se considera prudente porque sus distancias calculadas se acercan a las seleccionadas.

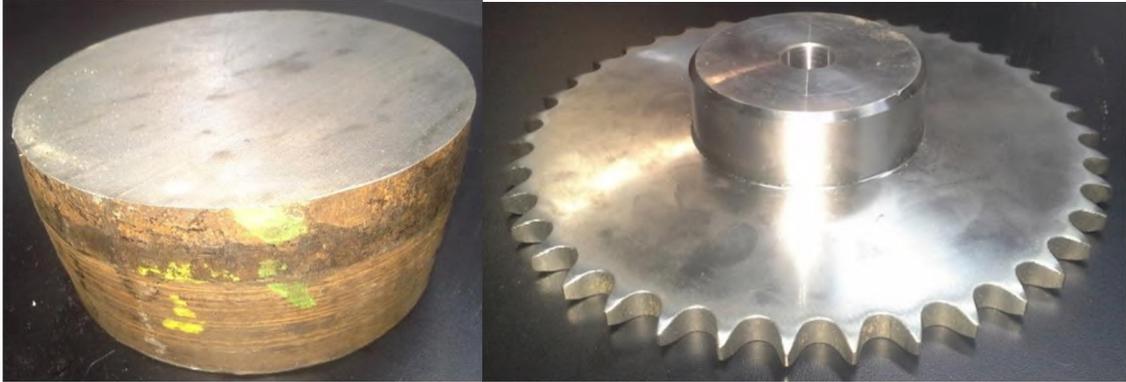


Figura 15. Material para la manzana AISI 1045 y engrane 50B40. [21]

Con las características del material se procede a calcular y diseñar, mediante análisis matemático, los ejes bajo cargas estáticas de la Ecuación 10 y Ecuación 11.

$$J_{max} = \frac{16 T}{\pi d^3} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\sigma = \frac{32 M}{\pi d^3} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

J_{max} = esfuerzo a torsión

T = torque requerido

d = diámetro del eje

M = momento máximo

σ = Tensión

El factor de seguridad de cualquier material se calcula mediante la Ecuación 12:

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

S_y = límite de fluencia del metal

F_s = factor de seguridad sugerido

El límite de fluencia del material es:

$$S_y = 370 \frac{N}{mm^2} * \frac{0,225 lb_f}{1N} * \frac{(25,4 mm)^2}{(1pulg)^2} = 53709,57 \frac{lb_f}{pulg^2}$$

El peso de la manzana se calcula con la densidad de $7850 \text{ Kg}/m^3$.

$$w = 11,76 lb$$

El análisis matemático se lo ejecuta mediante cargas estáticas porque el eje trabaja a bajas velocidades de revolución. Las cargas se distribuyen como lo muestra la Figura 16, que es un diagrama de cuerpo libre.

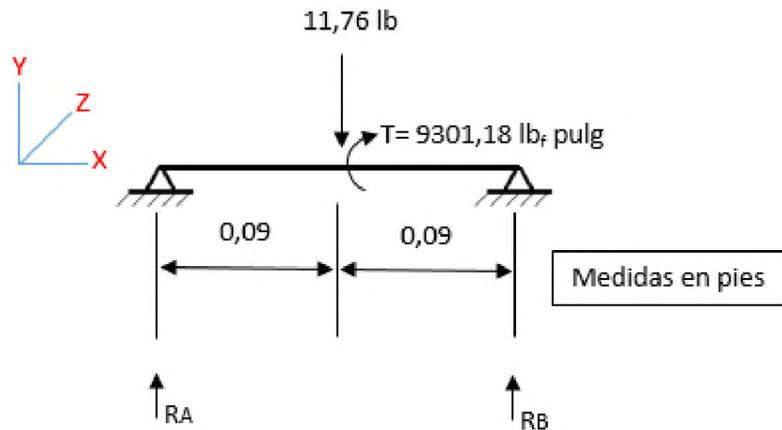


Figura 16. Diagrama de cuerpo libre de la manzana

Las reacciones se calculan mediante la suma de momentos en el punto B como muestra la Ecuación 13.

$$\begin{aligned} \cup \sum M_B &= 0 && \text{Ecuación 13} \\ (R_A * 0,66pies) - (11,76 lb * 0,09 pies) &= 0 \\ R_A &= 5,88 lb \end{aligned}$$

La sumatoria de fuerzas se expresa en la Ecuación 14

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 && \text{Ecuación 14} \\ R_A - 11,76 \text{ lb} + R_B &= 0 \\ R_A + R_B &= 11,76 \text{ lb}\end{aligned}$$

Entonces, se desprecia el sentido de las reacciones en el eje y tenemos:

$$\begin{aligned}R_B &= 5,88 \text{ lb} \\ R_A &= 5,88 \text{ lb}\end{aligned}$$

Por lo tanto, las reacciones en el eje se distribuyen como lo muestra la Figura 17.

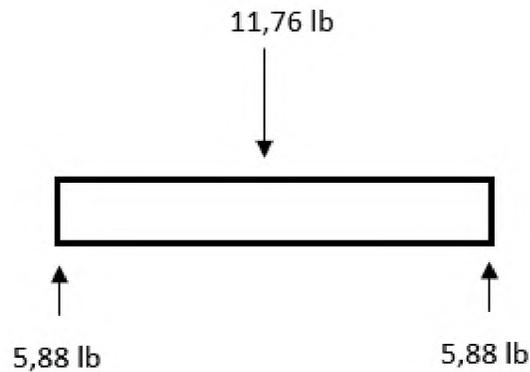


Figura 17. Diagrama de cuerpo libre con reacciones de la manzana.

Mediante los resultados obtenidos se realiza el diagrama de cortes como lo muestra la Figura 18.

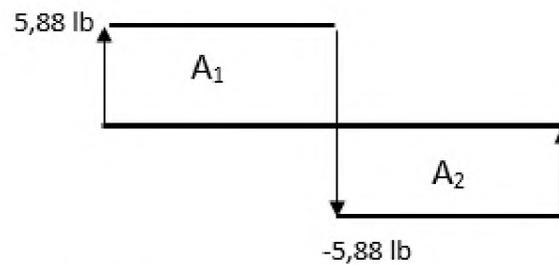


Figura 18. Diagrama de cortes de la manzana

Las áreas que se muestran en la Figura 18, se determinan mediante la multiplicación del peso ejercido con la longitud como lo muestra la Ecuación 15.

$$A = L \times w \quad \text{Ecuación 15}$$

$$A_1 = 0,09 \text{ pies} * 5,88 \text{ lb}$$

$$A_1 = 0,53 \text{ lb pies}$$

$$A_2 = 0,09 \text{ pies} * (-5,88 \text{ lb})$$

$$A_2 = -0,53 \text{ lb pies}$$

Las áreas indicadas anteriormente corresponden a los momentos de la manzana graficados en la Figura 19.

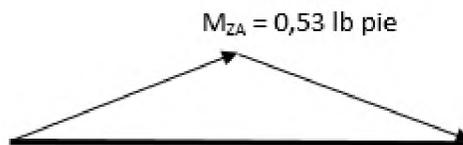


Figura 19. Momentos de la manzana.

El momento máximo obtenido de acuerdo a la gráfica es de 0,53 lb pie.

El esfuerzo equivalente se calcula mediante el esfuerzo de Von Mises, con la Ecuación 16:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\mathcal{J}_{max}^2} \quad \text{Ecuación 16}$$

Se calcula mediante las ecuaciones mencionadas:

$$\mathcal{J}_{max} = \frac{16 T}{\pi d^3} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\sigma = \frac{32 M}{\pi d^3} \quad \text{Ecuación 11}$$

Entonces se tiene:

$$T_{max} = \frac{16 (9301,18 \text{ lb}_f \text{ pulg})}{\pi (3,19 \text{ pulg})^3} = 1459,27 \text{ lb}_f / \text{pulg}^2$$

$$\sigma = \frac{32 (0,53 \text{ lb pie}) * \frac{12 \text{ pulg}}{1 \text{ pie}}}{\pi (3,19 \text{ pulg})^3} = 1,99 \text{ lb}_f / \text{pulg}^2$$

Ahora se reemplaza en la Ecuación 16.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(1,99 \text{ lb}_f / \text{pulg}^2\right)^2 + 3 \left(1459,27 \text{ lb}_f / \text{pulg}^2\right)^2}$$
$$\sigma_{eq} = 5029,79 \text{ lb}_f / \text{pulg}^2$$

El factor de seguridad se calcula mediante la Ecuación 12:

$$Fs = \frac{S_y}{\sigma_{eq}}$$

Ahora con los datos obtenidos se reemplaza en la ecuación y se calcula el factor de seguridad final.

$$S_y = 53709,57 \text{ lb}_f / \text{pulg}^2$$

$$\sigma_{eq} = 5029,79 \text{ lb}_f / \text{pulg}^2$$

$$Fs = \frac{53709,57 \text{ lb}_f / \text{pulg}^2}{5029,79 \text{ lb}_f / \text{pulg}^2}$$

$$Fs = 10,68$$

El factor de seguridad calculado (10,68) es bueno, porque permite trabajar con las cargas propuestas como limitantes.

Una vez concluidos los cálculos de los esfuerzos con análisis estático para la manzana, se utiliza el software Autodesk Inventor para comprobar los resultados arrojados por el software con los calculados.

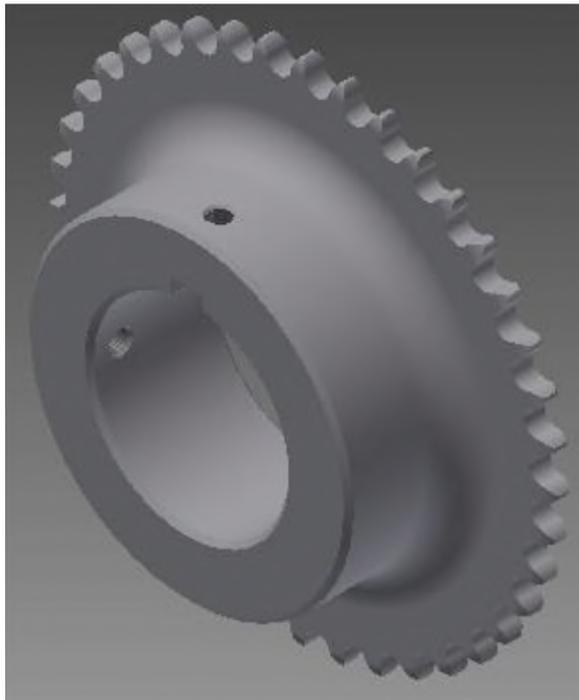


Figura 20. Diseño con Autodesk Inventor de la manzana del eje, engrane de cadena.

La Figura 21 muestra que la manzana tiene un factor de seguridad de 9,92 lo que se encuentra dentro de los parámetros calculados con anterioridad.

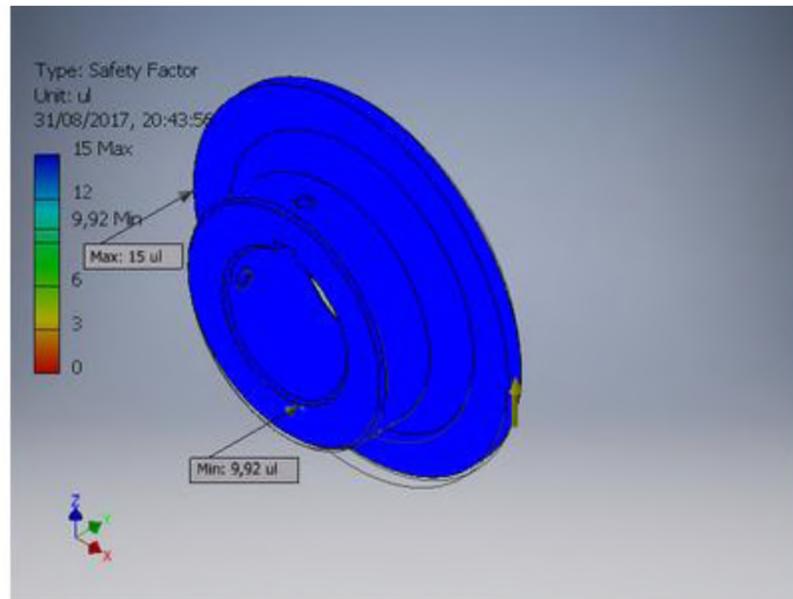


Figura 21. Factor de seguridad de la manzana.

Una vez concluido con el análisis de Autodesk Inventor se puede comparar dichos resultados con los calculados.

Factor de seguridad calculado:

$$F_s = 10,68$$

Factor de seguridad de Autodesk Inventor:

$$F_s = 9,92$$

El factor de seguridad calculado con el arrojado por el software Autodesk Inventor tiene un error de 7,12%, lo que es admisible para diseñar los diferentes elementos que conforman la máquina, porque es muy eficaz y seguro trabajar con este software.

3.1.4. Selección de material y cálculo del eje principal

El material es un acero bonificado porque no necesita tratamiento térmico a su posterior maquinado. El acero seleccionado es AISI 705, con las características generales prescritas en la Tabla 9.

Tabla 9. Propiedades del metal 705 bonificado según Iván bohman

Propiedades mecánicas en condiciones de suministro					
Resistencia a la tracción kg/mm^2	Esfuerzo de cedencia kg/mm^2	Elongación, A5	Reducción de área	Resistencia al impacto	Dureza
90-110	70	min 12%	min 45%	Aprox. 20J	270 – 330 HB

Como su esfuerzo de cedencia está expresado en kg/mm^2 , para realizar los cálculos se expresa en $lbf/pulg^2$.

$$S_y = 70 \frac{Kg}{mm^2} * \frac{2,2046 lb_f}{1kg} * \frac{(25,4mm)^2}{1 pulg^2}$$

$$S_y = 99562,38 lb_f/pulg^2$$



Figura 22. Torneado de eje a dimensiones requeridas. [21]

El peso tiene que equilibrarse en cada miembro de la misma, se calcula un factor de seguridad adecuado para su normal funcionamiento.

$$\begin{aligned}
 w_1 &= 1000 \text{ Kg} = 2204,62 \text{ lb} && \text{(Peso a soportar)} \\
 w_2 &= 20 \text{ Kg} = 44,09 \text{ lb} && \text{(Peso del mandril)} \\
 w_3 &= 18 \text{ Kg} = 39,68 \text{ lb} && \text{(Peso de chumaceras)}
 \end{aligned}$$

El peso del eje se determina mediante la Ecuación 17 y tablas de catálogo del fabricante, porque es un acero AISI 705 bonificado.

$$w_4 = \text{Peso lineal} \times \text{distancia del eje} \qquad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

$$\text{peso unitario} = 30,57 \frac{\text{lb}}{\text{pie}} \quad (\text{Si tiene 85 mm de diámetro}) \quad [22]$$

$$\text{Distancia} = 1,56 \text{ pie}$$

Se reemplaza los datos anteriores en la Ecuación 17:

$$w_4 = 30,57 \frac{lb}{pie} \times 1,56 pie$$

$$w_4 = 47,69 lb$$

Para obtener un peso total se suma los datos calculados con anterioridad como muestra la Ecuación 18.

$$w_T = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 \quad \text{Ecuación 18}$$

$$w_T = 2204,62 lb + 44,09 lb + 39,68 lb + 47,69 lb$$

$$w_T = 2333,24 lb$$

Se transforma el peso a Klb:

$$w_T = 2,33 Klb$$

El cálculo se procede a realizar bajo cargas estáticas porque el eje trabaja a bajas velocidades. Las cargas se encuentran distribuidas como lo muestra la Figura 23 que corresponde a un diagrama de cuerpo libre, por lo que las reacciones (R_A , R_B) en los ángulos de apoyo son diferentes.

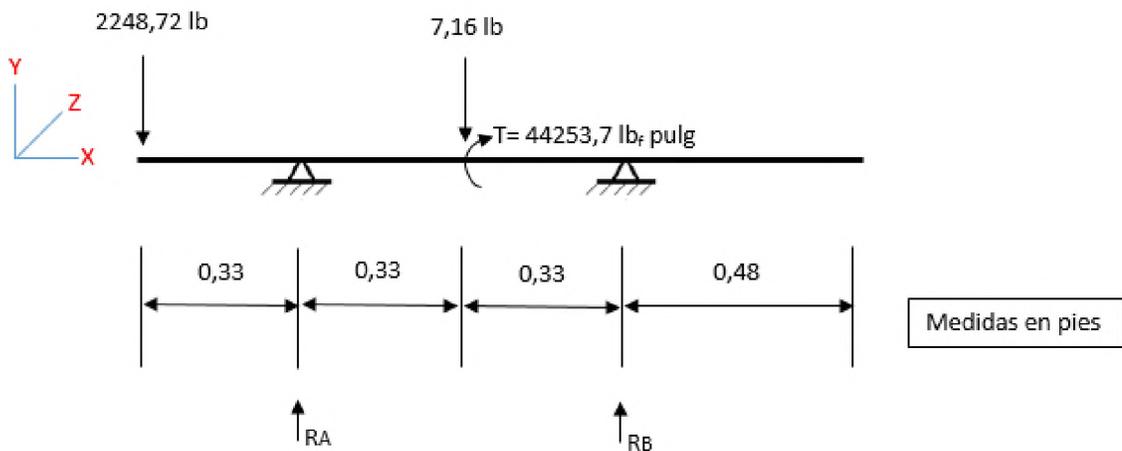


Figura 23. Diagrama de cuerpo libre del eje principal.

Para calcular las reacciones se realiza suma de momentos en el punto B, como muestra la Ecuación 13.

$$\begin{aligned} \cup \sum M_B &= 0 && \text{Ecuación 13} \\ -(7,16 \text{ lb} * 0,33\text{pies}) + (R_A * 0,66\text{pies}) - (2248,72 \text{ lb} * 0,98\text{pies}) &= 0 \\ R_A &= 3376,66 \text{ lb} \end{aligned}$$

La sumatoria de fuerzas en el eje y se expresa en la Ecuación 14

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 && \text{Ecuación 14} \\ -2248,72 \text{ lb} + R_A - 7,16 \text{ lb} + R_B &= 0 \\ R_A + R_B &= 2255,88 \text{ lb} \end{aligned}$$

Entonces, se desprecia el sentido de las reacciones en el eje y se tiene

$$\begin{aligned} R_B &= -1120,775 \text{ lb} \\ R_A &= 1127,94 \text{ lb} \end{aligned}$$

Por lo tanto, las reacciones en el eje se distribuyen como lo muestra la Figura 24.

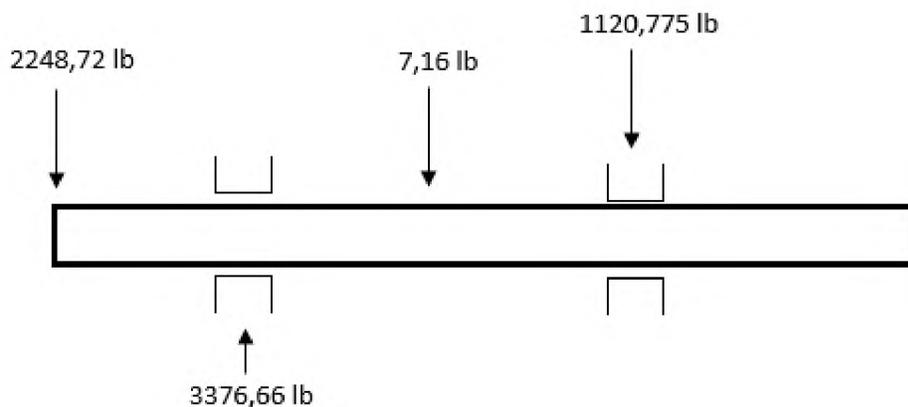


Figura 24. Diagrama de cuerpo libre del eje con reacciones.

Mediante los resultados obtenidos se realiza el diagrama de cortes como lo muestra la Figura 25.

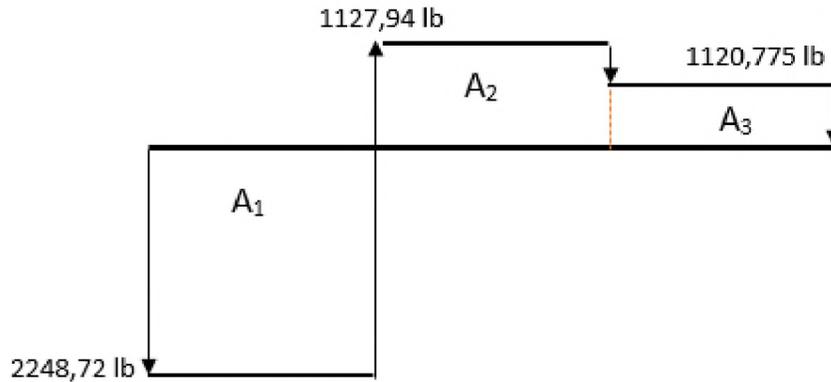


Figura 25. Diagrama de cortes del eje.

Las áreas que se muestran en la Figura 25, se determina mediante la multiplicación del peso ejercido con la longitud como lo muestra la Ecuación 15.

$$A = L \times w$$

Ecuación 15

$$A_1 = 0,33 \text{ pies} * (-2248,72 \text{ lb})$$

$$A_1 = -742,08 \text{ lb pies}$$

$$A_2 = 0,33 \text{ pies} * 1127,94 \text{ lb}$$

$$A_2 = 372,22 \text{ lb pies}$$

$$A_3 = 0,33 \text{ pies} * 1120,775 \text{ lb}$$

$$A_3 = 369,85 \text{ lb pies}$$

Las áreas indicadas anteriormente corresponden a los momentos del eje graficados en la Figura 26.

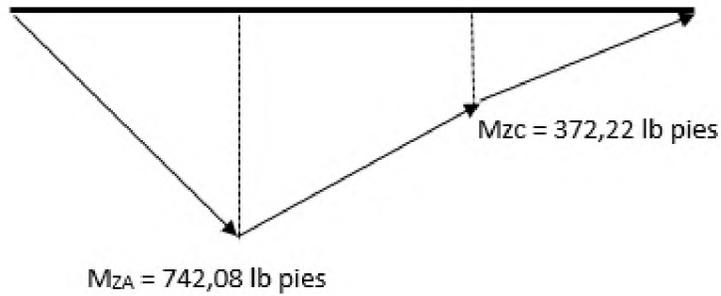


Figura 26. Gráfica de momentos del eje.

El momento máximo obtenido sobre el eje es de 742,08 lb pie.

Se calcula mediante la teoría de la energía de distorsión de materiales, o Von Mises.

La teoría de la energía de deformación predice un factor de seguridad, considera que la falla por fluencia ocurre cuando la energía aplicada al material excede a la resistencia del mismo. [25]

El esfuerzo equivalente se calcula con la Ecuación 16:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3T_{max}^2} \quad \text{Ecuación 16}$$

Se calcula mediante las ecuaciones mencionadas con anterioridad.

$$T_{max} = \frac{16 T}{\pi d^3}$$

$$\sigma = \frac{32 M}{\pi d^3}$$

El torque aplicado sobre el eje es:

$$T = 5000 \text{ Nm} * \frac{0,225 \text{ lb}_f}{1 \text{ N}} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} * \frac{1 \text{ pulg}}{25.4 \text{ mm}} = 44253,7 \text{ lb}_f \text{ pulg}$$

Entonces se tiene:

$$T_{max} = \frac{16 (44253,7 \text{ lb}_f\text{pulg})}{\pi(3,19\text{pulg})^3} = 6943 \text{ lb}_f/\text{pulg}^2$$
$$\sigma = \frac{32 (742,08 \text{ lb}_f\text{pie}) * \frac{12 \text{ pulg}}{1\text{pie}}}{\pi(3,19\text{pulg})^3} = 2794,22 \text{ lb}_f/\text{pulg}^2$$

Ahora se reemplaza en la Ecuación 16.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(2794,22 \text{ lb}_f/\text{pulg}^2\right)^2 + 3\left(6943 \text{ lb}_f/\text{pulg}^2\right)^2}$$
$$\sigma_{eq} = 12345,99 \text{ lb}_f/\text{pulg}^2$$

El factor de seguridad se calcula mediante la Ecuación 12:

$$Fs = \frac{S_y}{\sigma_{eq}}$$

Ahora con los datos obtenidos se reemplaza en la ecuación y se calcula el factor de seguridad final.

$$S_y = 99562,38 \text{ lb}_f/\text{pulg}^2$$
$$\sigma_{eq} = 12345,99 \text{ lb}_f/\text{pulg}^2$$

$$Fs = \frac{99562,38 \text{ lb}_f/\text{pulg}^2}{12345,99 \text{ lb}_f/\text{pulg}^2}$$

$$Fs = 8,06$$

El factor de seguridad de 8,06 calculado permite que el eje trabaje con las cargas permitidas y garantiza en alto grado de confiabilidad la seguridad del operario.

Una vez concluido los cálculos de los esfuerzos con análisis estático para el eje principal, se utiliza Autodesk Inventor comprobar los resultados arrojados por el software con los calculados.

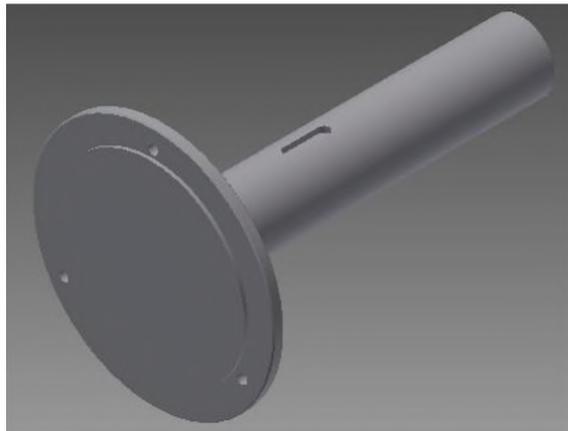


Figura 27. Eje principal mediante Autodesk Inventor.

El diseño facilita simular las fuerzas y el material, lo que permite validar los resultados calculados con anterioridad.

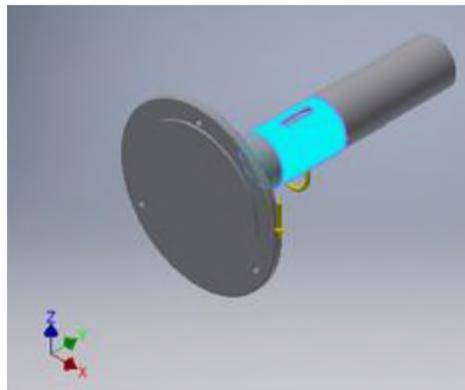


Figura 28. Las fuerzas y momentos que actúan sobre el eje principal. [25]

Las fuerzas del diseño son 5000 Newtons para la aplicada por la carga a soportar y 1006000 N mm. Por el momento aplicado por la torsión necesaria para mover el eje.

El resultado de la simulación permite conocer las consecuencias del análisis estático de las tensiones para material dúctil, como: esfuerzos de Von Mises, desplazamiento y factor de seguridad.

En la Figura 29 se tiene que la tensión máxima es de 42,42 MPa, se encuentra dentro de los parámetros de tensiones que puede soportar el material, por tanto el diseño es seguro para su implementación.

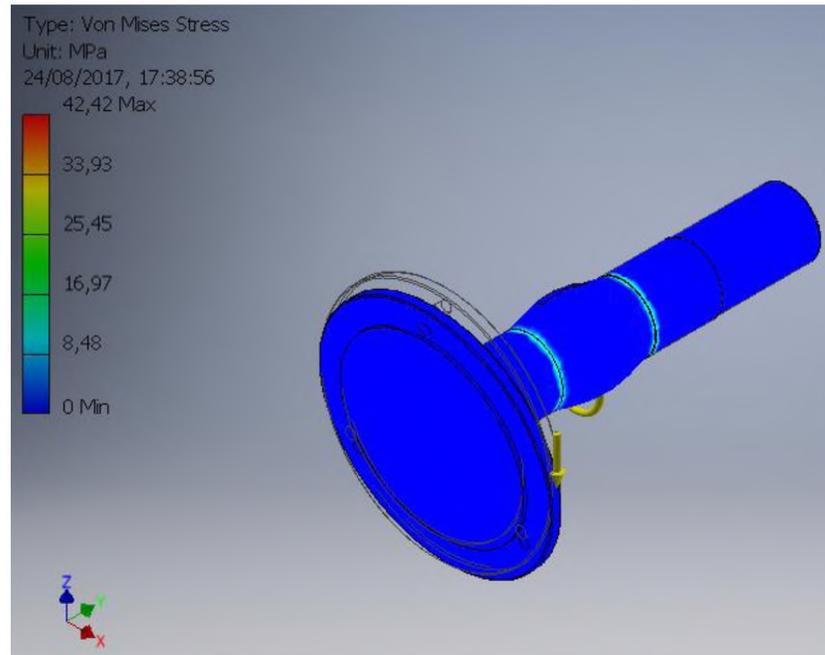


Figura 29. Tensiones de Von Mises del Eje principal

En la Figura 30 se muestra la posición de los esfuerzos máximos y mínimos que soporta el eje.

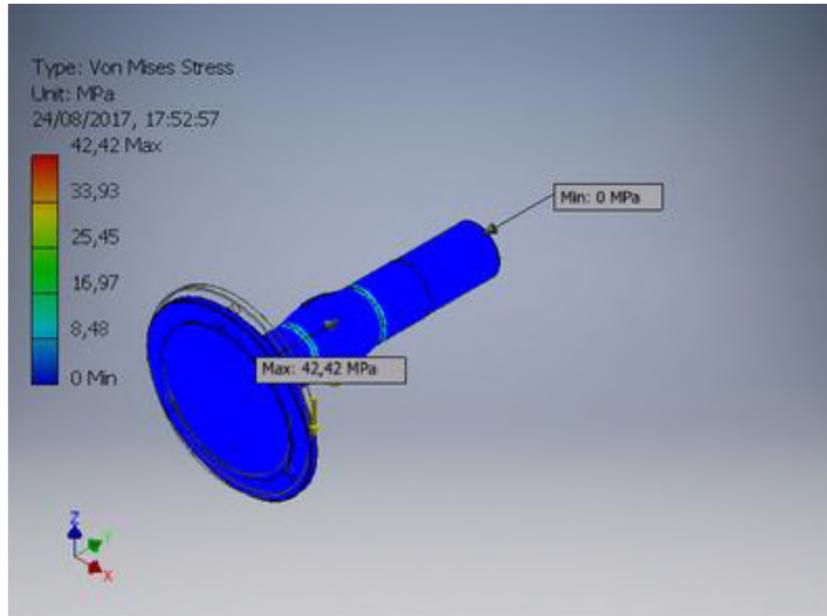


Figura 30. Tensiones de Von Mises máximas y mínimas soportadas por el Eje principal.

El desplazamiento al que va a estar sometido el eje es de 0,002311 milímetros, por lo que no afecta al sistema como lo muestra la Figura 31.

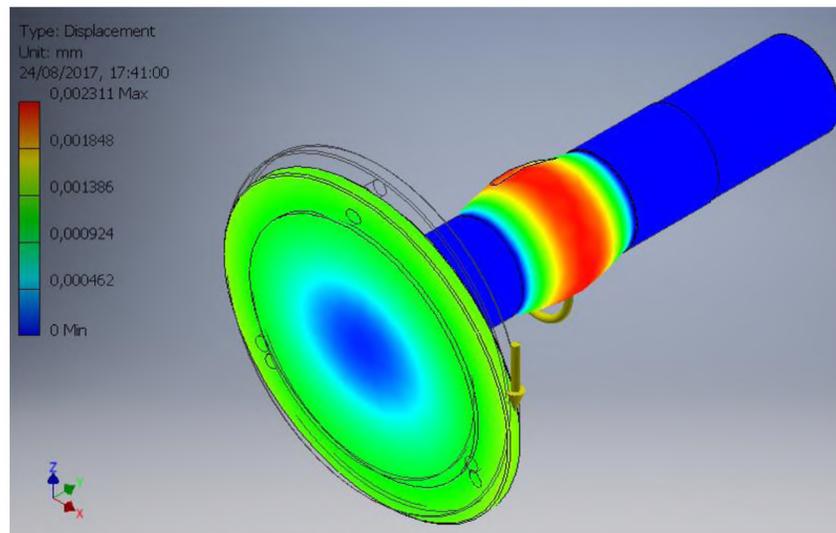


Figura 31. Desplazamiento del Eje principal.

La Figura 32 muestra que el eje principal tiene un factor de seguridad de 8,25, lo que se encuentra dentro de los parámetros calculados con anterioridad.

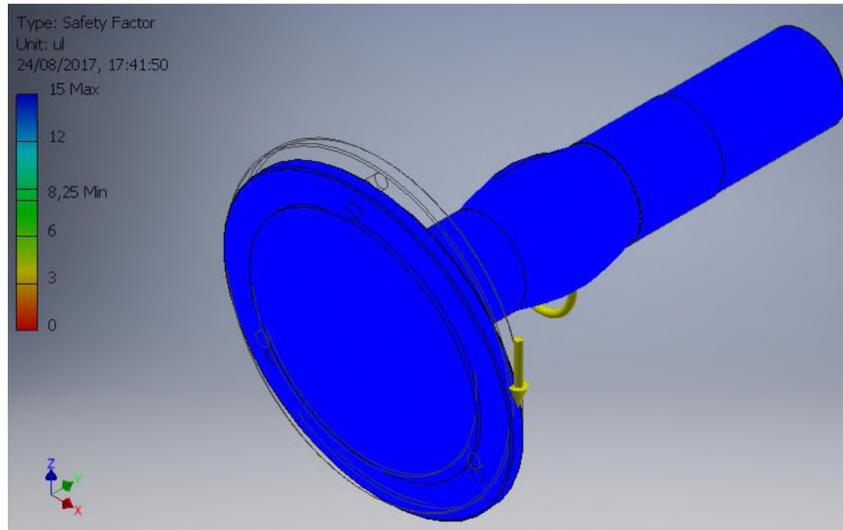


Figura 32. Factor de seguridad del eje principal.

Una vez concluido con el análisis de Autodesk Inventor se puede comparar dichos resultados con los calculados.

Esfuerzo calculado:

$$\sigma_{eq} = 12345,99 \text{ lb}_f / \text{pulg}^2$$

Esfuerzo de Autodesk Inventor:

$$\sigma_{eq} = 12305,22 \text{ lb}_f / \text{pulg}^2$$

Factor de seguridad calculado:

$$Fs = 8,06$$

Factor de seguridad de Autodesk Inventor:

$$Fs = 8,25$$

Se utiliza el programa Autodesk Inventor para diseño de los diferentes elementos que conforman la máquina, porque es muy eficaz y seguro trabajar con este software.

La diferencia de valores entre el factor de seguridad simulado y calculado es de 2,3% lo que se considera aceptable.

3.2. Diseño y construcción de estructuras

Las estructuras tienen la finalidad de brindar un soporte adecuado a las cargas dadas por el trabajo a realizar, su diseño debe tener armonía y estética.

En el presente apartado se muestra un análisis matemático para seleccionar los perfiles más adecuados que soporten cargas y momentos, así como su construcción con elementos de anclaje capaces de brindar soporte entre estructuras.

3.2.1. Diseño de estructura soporte de mandril

La estructura mostrada en la Figura 33 se elabora con ángulos de (75 x 75 x 6) mm, con las dimensiones mostradas en los planos situados al final del documento.

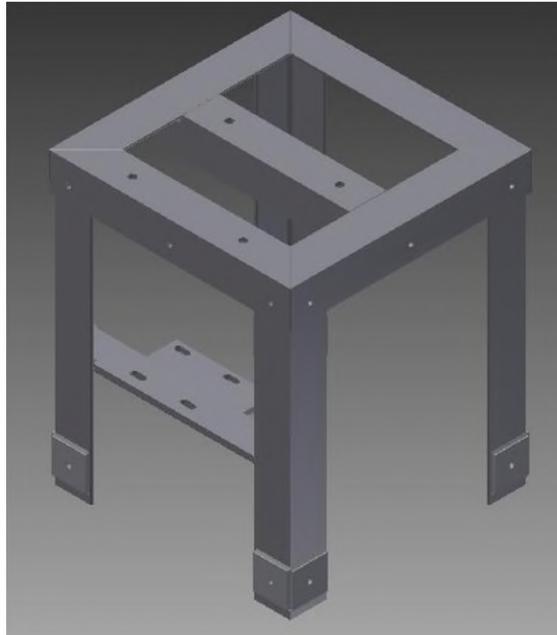


Figura 33. Estructura de soporte de chumaceras, motor y reductores de velocidad [20]

Como lo mencionado la sumatoria de fuerzas se otorgan los resultados de las reacciones a las cuales afectan a la viga de la estructura:

$$R_B = -1120,775 \text{ lb}$$

$$R_A = 1127,94 \text{ lb}$$

Se toman las reacciones que se generan por el esfuerzo a realizar y se tiene que la R_A es la más crítica por lo que se toma como dato para los futuros cálculos.

La estructura a realizar tiene que ser capaz de soportar el peso y los esfuerzos generados en el trabajo, se procede a realizar un diagrama de cuerpo libre como lo muestra la Figura 34. Se determina las dimensiones de la estructura 500 mm x 500 mm x 600 mm

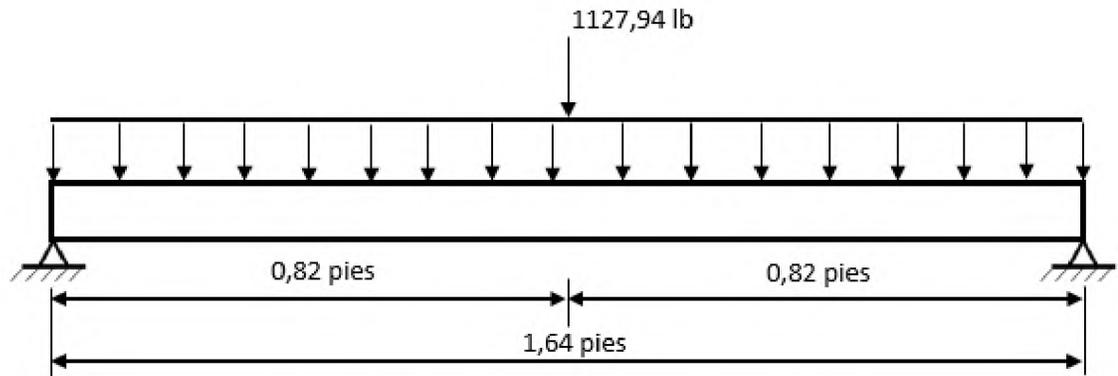


Figura 34. Diagrama de cuerpo libre de la estructura

La dimensión presentada en milímetros se la expresa en pies para facilitar el cálculo.

Se selecciona el peso de la viga como carga distribuida.

$$w_{viga} = 4,9 \frac{lb}{pies}$$

Para facilitar los cálculos al peso de la viga se expresa en lb/pulg,

$$w_{viga} = 4,9 \frac{lb}{pies} * \frac{1pie}{12 pulg}$$

$$w_{viga} = 0,408 \frac{lb}{pulg}$$

El peso del eje se calcula con valores del catálogo de Iván Bohman, para un diámetro de 85 mm el peso en acero 705 bonificado es 45,5 Kg/m. [22]

$$P_{eje} = 30,57 \frac{lb}{pie} * 1,47 pie$$

$$P_{eje} = 44,84 lb$$

Se suma el peso del eje con la carga puntual de la viga para obtener un peso total que se aplica a la estructura a diseñar, como lo muestra la Ecuación 19.

$$P_{TOTAL} = P_{eje} + P_{RA} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$P_{TOTAL} = 44,84 \text{ lb} + 1127,94 \text{ lb}$$

$$P_{TOTAL} = 1172,77 \text{ lb}$$

El valor del peso lo expresamos en Klb

$$P_{TOTAL} = 1,17 \text{ Klb}$$

Por lo que se desarrolla el cálculo del momento flector de la viga mediante la Ecuación 20.

$$M = \frac{WL^2}{8} + \frac{PL}{2} \quad \text{Ecuación 20}$$

Se reemplaza los valores tenemos:

$$M = \left[\frac{4,9 \text{ lb/pie} * (1,64 \text{ pies})^2}{8} * \frac{1 \text{ Klb}}{1000 \text{ lb}} \right] + \frac{1,17 \text{ Klb} * (0,82 \text{ pies})}{2}$$

$$M = 1,64 \times 10^{-3} \text{ Klb pies} + 0,4797 \text{ Klb pies}$$

$$M = 0,48134 \text{ Klb pies}$$

Para proceder a calcular el módulo de sección se asume un esfuerzo permisible de:

$$F_b = 15 \text{ Klb/pulg}^2$$

Se encuentra apoyado. El módulo de sección se calcula mediante la Ecuación 21.

$$S = \frac{M}{F_b} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$S = \frac{0,4813 \text{ Klb ft}}{15 \text{ Klb/pulg}^2} * \frac{12 \text{ pulg}}{1 \text{ ft}}$$

$$S = 0,38504 \text{ pulg}^3$$

Una vez obtenido el módulo de sección, se procede a seleccionar la viga más adecuada para elaborar la estructura.

El ángulo seleccionado corresponde a las dimensiones en pulgadas (75x75x6) mm expresadas la tabla 1-49 [25], obteniendo un módulo de sección superior al requerido.

$$S = 0,577 \text{ pulg}^3$$

Se calcula un factor de seguridad de:

$$F_s = 1,5$$

Es aceptable para la estructura a realizar.

3.2.2. Diseño de sistemas de posicionamiento

Se utiliza un mecanismo de guías controladas por un motor paso a paso como se muestra en las Figuras 35 y 36, para trasladar en dirección paralela al eje los componentes que controlan la altura de la antorcha como la oscilación, esta puede moverse en distancias de un metro hacia adelante o atrás.

La programación del motor se realiza mediante la implementación de un controlador del mismo y una tarjeta Arduino nano programable, porque en el mercado actual no se encuentra un dispositivo que realice tanto el control de oscilación de la antorcha como un sistema de control que permita traslapar el cordón cada vez que el eje termine una rotación.



Figura 35. Mecanismo guía paralelo al eje. [21]

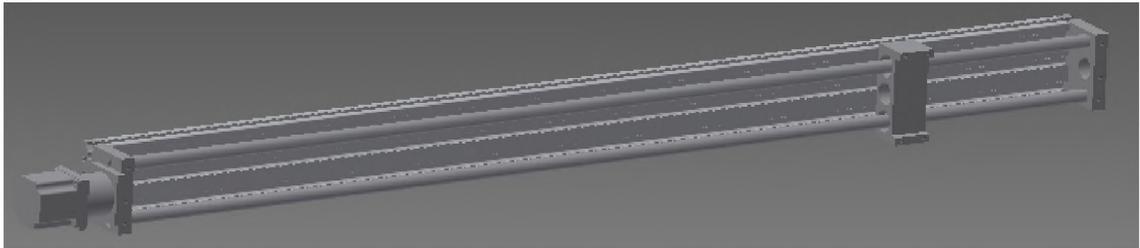


Figura 36. Diseño mediante Autodesk inventor del mecanismo guía paralelo al eje [25]

El mecanismo de posicionamiento necesita en un sistema de movimiento de oscilación controlado de la antorcha que simule al soldador calificado y la velocidad sea controlada.

Utilizaremos el peso de la antorcha

$$w_1 = 1 \text{ Kg} = 2,2 \text{ lb} \quad (\text{Peso de la antorcha})$$

La máxima fuerza sería

$$F = w_1 * 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 9,8 \text{ N}$$

Con el peso se selecciona un sistema de guías lineales controladas por un motor stepper y una caja de mando que precise las distancias y la velocidad de oscilación, como se muestra en las Figuras 37, 38, y 39.

Item	Specifications
Step Angle	1.8°
Temperature Rise	80°C max
Ambient Temperature	-20°C ~+50°C
Insulation Resistance	100 MΩ Min. ,500VDC
Dielectric Strength	500VAC for 1 minute
Shaft Radial Play	0.02Max. (450g-load)
Shaft Axial Play	0.08Max. (450g-load)
Max. radial force	75N (20mm from the flange)
Max. axial force	15N

Figura 37. Especificaciones del motor paso a paso



Figura 38. Caja de mando y control de motor paso a paso.

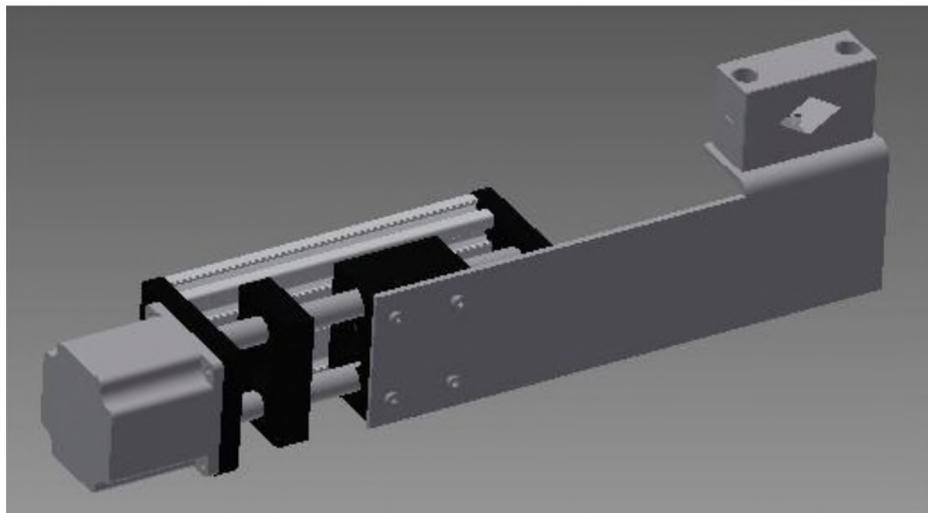


Figura 39. Diseño mediante Autodesk inventor del mecanismo guía oscilador

El control de altura del mecanismo de oscilación de la Figura 40, se selecciona mediante un sistema de guías que se controla de forma manual.

- Carga Horizontal = 10Kg
- Carga Vertical = 15Kg [27]

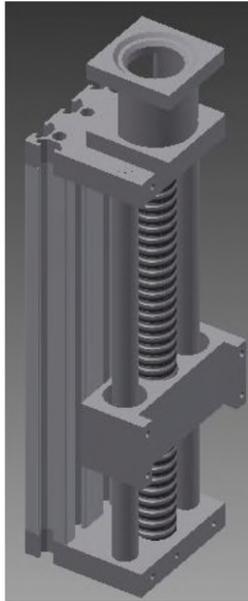


Figura 40. Diseño mediante Autodesk inventor del mecanismo guía de altura

El motor paso a paso del eje longitudinal se lo selecciona mediante el peso que aporta el mecanismo así como la carga a trasladar.

Peso del mecanismo

$w_1 = 6,61 \text{ lb}$ (Peso de sistema de guías lineales de oscilador)

$w_2 = 9,26 \text{ lb}$ (Peso de sistema de guías lineales de altura)

$w_3 = 2,2 \text{ lb}$ (Peso de antorcha)

Se realiza la suma de los pesos:

$$w_T = w_1 + w_2 + w_3$$

Ecuación 14

$$w_T = 6,61 \text{ lb} + 9,26 \text{ lb} + 2,2 \text{ lb}$$

$$w_T = 18,07 \text{ lb}$$

El mecanismo elimina las reacciones incorporando un sistema de riel, que excluye el peso de las guías de oscilación y altura, para que el motor no sufra sobreesfuerzo como se muestra en la Figura 41.



Figura 41. Sistema de rieles de control, peso y guía.

El mecanismo es normalizado y se adquiere junto con los sistemas de guías.

3.2.3. Diseño de estructura base y caja de mando

3.2.3.1. Estructura base

La estructura inferior tiene que ser capaz de soportar el peso de la máquina, sirve como soporte y guía de la estructura de los posicionadores y controla de esta manera la estabilidad de la misma.

El material a seleccionar es una C de acero A36 con dimensiones 50 x 100 x 6 mm, capaz de soportar inclemencias del clima, en su superficie se le aplicará pintura anticorrosiva negra mate, obteniendo una capa de protección contra la corrosión.

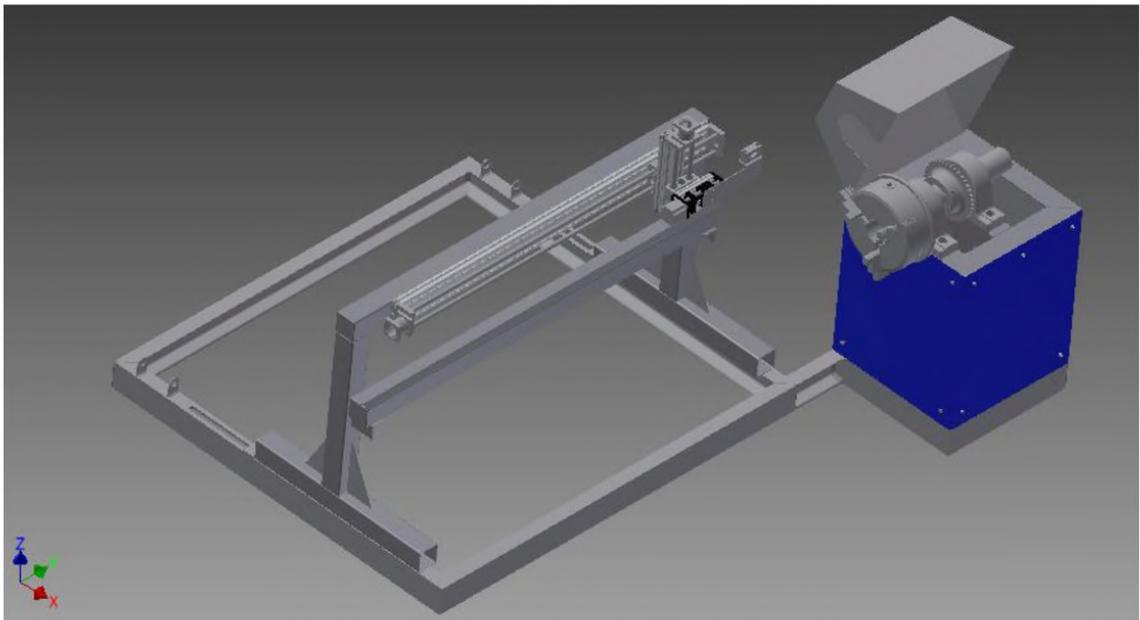


Figura 42. Estructura de posicionador de soldadura.

Para el sistema de guías de control de paralelismo se utilizó una varilla roscada de $\frac{3}{4}$ de pulgada de galvanizado las cuales fueron tomadas mediante diseño práctico.

La estructura base se ensambla a la estructura de posicionadores mediante 4 pernos de $\frac{1}{2}$ pulgada.

Para la selección del material de la estructura base se calcula el peso de la estructura soporte de mandril partiendo de los datos de la tabla 1-49 [25]

$$w = 4,9 \frac{lb}{ft}$$

La distancia total se calcula mediante las dimensiones generales 500 mm x 500mm x 600 mm, de lo cual se aumenta una distancia de 500 mm para soporte de chumacera, como se muestra en la Figura 33. Se realiza el cálculo mediante la Ecuación 22.

$$P = w * L_T \qquad \text{Ecuación 22}$$

Se elimina el destaje a 45 grados en los ángulos correspondientes reduciendo la medida general como se muestra en la Figura 47.



Figura 43. Aislamiento de un segmento de ángulo de estructura soporte de mandril.

Se transforma la dimensión de milímetros a pies para facilitar los cálculos como muestra la Ecuación 23.

$$L = L_n * \frac{1\text{pulg}}{25.4\text{mm}} * \frac{1\text{ft}}{12\text{pulg}} \quad \text{Ecuación 23}$$
$$L_1 = 1,39\text{ ft}$$
$$L_2 = 1,64\text{ ft}$$
$$L_3 = 1,97\text{ ft}$$

Dicha dimensión se multiplica por las unidades ocupadas, según lo mostrado en la Figura 43, obteniendo una longitud total según la Ecuación 24 de:

$$L_T = (L_1 * x) + (L_2 * x) + (L_3 * x) \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

x = número de unidades requeridas para cada caso

$$L_T = (1,39\text{ ft} * 4) + (1,64\text{ ft} * 2) + (1,97\text{ ft} * 4)$$
$$L_T = 16,72\text{ ft}$$

Dicha longitud interviene para calcular el peso de la estructura.

$$P_{\text{estructura}} = 4,9 \frac{\text{lb}}{\text{ft}} * 16,72\text{ ft}$$
$$P_{\text{estructura}} = 81,93\text{ lb}$$

A estos datos se le suma el peso de la soldadura extraído del programa de diseño Inventor (Anexo 8), su peso es:

$$P_{\text{soldadura}} = 0,46\text{ Kg} = 1\text{ lb}$$

El peso del motor, reductores de velocidad, así como las chumaceras y los engranes se los agrupa en la Ecuación 25.

$$P_{\text{accesorios}} = P_{\text{motor}} + P_{\text{reductores}} + P_{\text{chumaceras}} + P_{\text{engranes}} \quad \text{Ecuación 25}$$

$$P_{\text{accesorios}} = 20,9\text{lb} + 72,6\text{ lb} + 40\text{lb} + 9,79\text{lb}$$

$$P_{\text{accesorios}} = 143,29\text{ lb}$$

La carga que la estructura base tiene que soportar está ligada al peso de los componentes que se incorporan para el funcionamiento de la máquina y se diseña un armazón metálico capaz de integrar todos los elementos de la máquina.

La Ecuación 26 permite integrar todos los pesos.

$$P_{\text{total}} = P_{\text{estructura}} + P_{\text{soldadura}} + P_{\text{accesorios}} + P_{\text{eje}} + P_{\text{carga}} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$P_{\text{total}} = 81,93\text{ lb} + 1\text{ lb} + 143,29\text{lb} + 44,748\text{lb} + 2244\text{lb}$$

$$P_{\text{total}} = 2514,968\text{lb}$$

Las cargas se encuentran distribuidas como se muestra en la Figura 44.

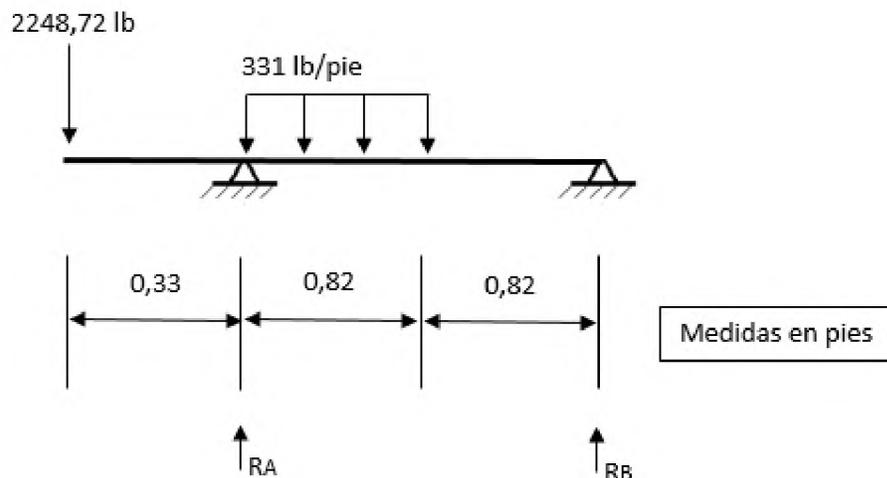


Figura 44. Diagrama de cuerpo libre de distribución de peso en la estructura base.

La Ecuación 13 nos permite encontrar las reacciones (R_A y R_B)

$$\cup \sum M_B = 0 \quad \text{Ecuación 13}$$

$$-(2248,72 \text{ lb} * 1,97 \text{ pie}) + (R_A * 1,64 \text{ pie}) - \left(331 \frac{\text{lb}}{\text{pie}} * 0,82 \text{ pie}\right) = 0$$

$$R_A = \frac{(2248,72 \text{ lb} * 1,97 \text{ pie}) + \left[\left(331 \frac{\text{lb}}{\text{pie}} * 0,82 \text{ pie}\right) * 1,23 \text{ pie}\right]}{1,64 \text{ pie}}$$

$$R_A = 2902,11 \text{ lb}$$

La sumatoria de fuerzas se expresa en la Ecuación 14

$$\sum F_y = 0 \quad \text{Ecuación 14}$$

$$-2248,72 \text{ lb} + R_A - 271,54 \text{ lb} + R_B = 0$$

$$R_A + R_B = 2520,25 \text{ lb}$$

Entonces, se desprecia el sentido de las reacciones en el eje tenemos

$$R_B = -381,86 \text{ lb}$$

$$R_A = 2138,39 \text{ lb}$$

Por lo tanto, las reacciones en la estructura base se distribuyen como lo muestra la Figura 45.

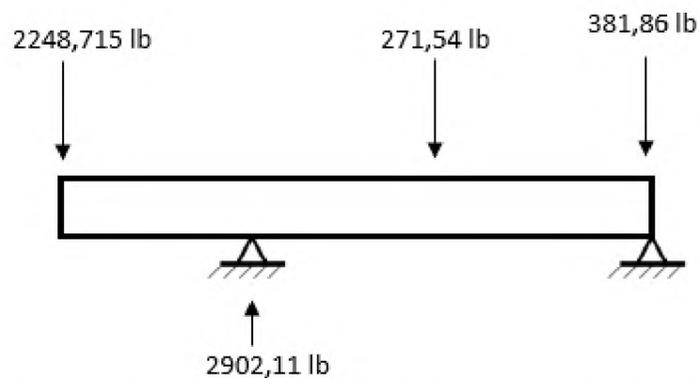


Figura 45. Diagrama de cuerpo libre de las reacciones de la estructura base.

Mediante los resultados obtenidos se realiza el diagrama de cortes como lo muestra la Figura 46.

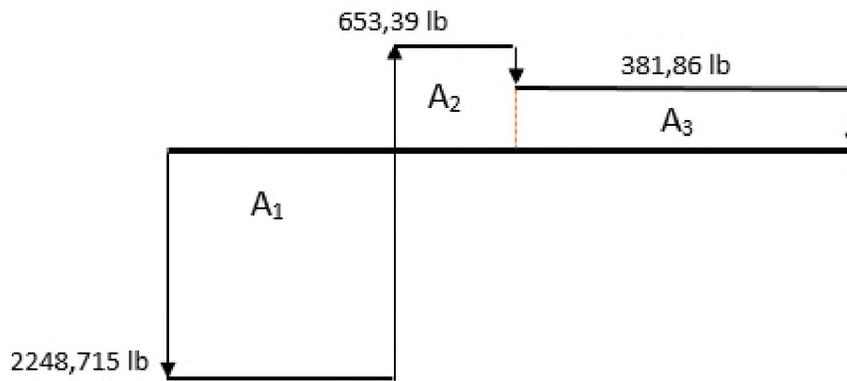


Figura 46. Diagrama de cortes de la estructura base.

Las áreas que se muestran en la Figura 46, se determinan mediante la multiplicación del peso ejercido con la longitud como lo muestra la Ecuación 15.

$$A = L \times w$$

Ecuación 15

$$A_1 = 0,33 \text{ pie} * (-2248,715 \text{ lb})$$

$$A_1 = -742,08 \text{ lb pie}$$

$$A_2 = 0,41 \text{ pie} * 653,38 \text{ lb}$$

$$A_2 = 267,88 \text{ lb pie}$$

$$A_3 = 1,23 \text{ pie} * 381,86 \text{ lb}$$

$$A_3 = 439,69 \text{ lb pie}$$

Las áreas indicadas anteriormente corresponden a los momentos de la estructura graficados en la Figura 47.

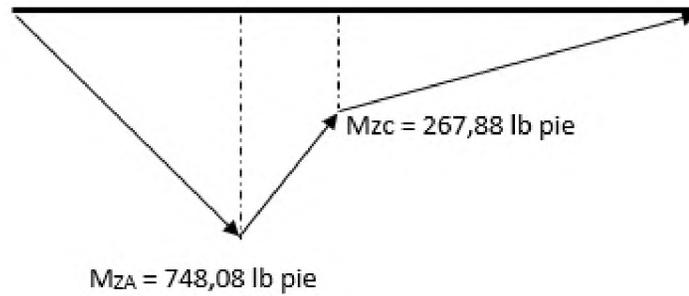


Figura 47. Gráfico de momentos de la estructura base.

Como lo mencionado anteriormente la sumatoria de fuerzas nos otorgan los resultados de las reacciones a las cuales afectan a la viga de la estructura base:

$$R_B = -381,86 \text{ lb}$$

$$R_A = 2138,39 \text{ lb}$$

Partiendo de las reacciones que se generan por el esfuerzo a realizar tenemos que la R_A es la más crítica por lo que se toma como dato para los futuros cálculos.

La estructura a realizar tiene que ser capaz de soportar el peso y los esfuerzos generados en el trabajo, se procede a realizar un diagrama de cuerpo libre como lo muestra la Figura 48. Que determina las dimensiones de la estructura 500 mm x 500 mm

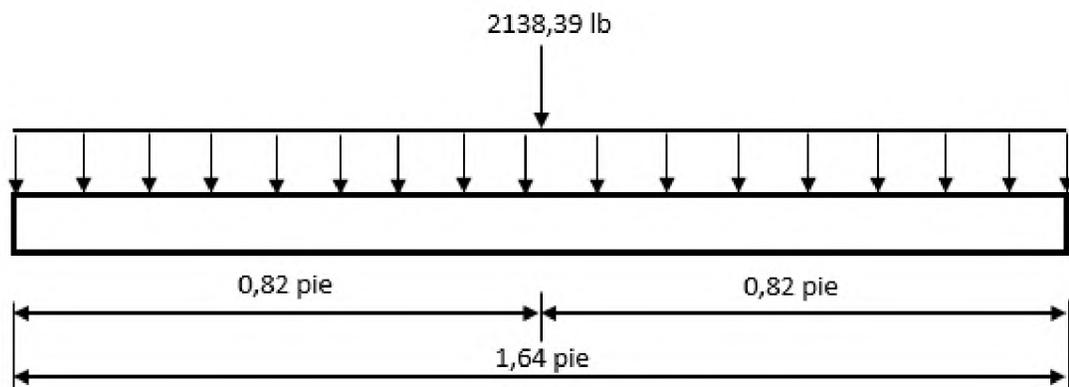


Figura 48. Diagrama de cuerpo libre de la viga de la estructura.

La dimensión presentada en milímetros se la expresa en pies para facilitar el cálculo.

Se selecciona el peso de la viga como carga distribuida.

$$w_{viga} = 9 \frac{lb}{ft}$$

El valor del peso se expresa en Klb

$$P = 969,959 Kg * \frac{2,2 lb}{1Kg} * \frac{1Klb}{1000lb}$$
$$P = 2,134 Klb$$

Por lo se desarrolla el cálculo del momento flector de la viga mediante la Ecuación 27.

$$M = \frac{wL^2}{8} + \frac{PL}{2} \quad \text{Ecuación 27}$$

Se reemplaza valores:

$$M = \left[\frac{9 \frac{lb}{ft} * (1,64ft)^2}{8} * \frac{1Klb}{1000lb} \right] + \frac{2,134Klb * (0,82ft)}{2}$$
$$M = 3,0258 \times 10^{-3} Klb ft + 0,875 Klb ft$$
$$M = 0,878 Klb ft$$

Para proceder a calcular el módulo de sección se opta por un esfuerzo permisible de:

$$Fb = 24 \frac{Klb}{pulg^2}$$

Porque no se encuentra apoyado. El módulo de sección se calcula mediante la Ecuación 28.

Ecuación 28

$$S = \frac{M}{F_b}$$

$$S = \frac{0,878 \text{ Klb ft}}{24 \text{ Klb/pulg}^2} * \frac{12 \text{ pulg}}{1 \text{ ft}}$$

$$S = 0,439 \text{ pulg}^3$$

La selección del módulo de sección depende del factor de seguridad que obedece a la Figura 49, que muestran los factores sugeridos para las estructuras a realizar, los parámetros son: MB (muy bueno), B (bueno), R (regular), M (malo).

Calidad de los materiales, mano de obra, mantenimiento e inspección	Exactitud del análisis de esfuerzos, de la información experimental o experiencias en diseños similares	Control sobre la carga aplicada			
		MB	B	R	M
MB	MB	1,1	1,3	1,5	1,7
	B	1,2	1,45	1,7	1,95
	R	1,3	1,6	1,9	2,2
	M	1,4	1,75	2,1	2,45
B	MB	1,3	1,55	1,8	2,05
	B	1,45	1,75	2,05	2,35
	R	1,6	1,95	2,3	2,65
	M	1,75	2,15	2,55	2,95
R	MB	1,5	1,8	2,1	2,4
	B	1,7	2,15	2,4	2,75
	R	1,9	2,3	2,7	3,1
	M	2,1	2,55	3,0	3,45
M	MB	1,7	2,15	2,4	2,75
	B	1,95	2,35	2,75	3,15
	R	2,2	2,65	3,1	3,55
	M	2,45	2,95	3,45	3,95

Figura 49. Parámetros de factor de seguridad

Una vez obtenido el módulo de sección, se procede a seleccionar la viga más adecuada para elaborar la estructura teniendo en cuenta que su diseño tiene que favorecer métodos de sujeción de la estructura del posicionador. La Figura 50 proporciona un catálogo de canales U.

Designación	Dimensiones (mm)			Masa	A	d1	Momento de inercia		Módulo resistente		Radio de giro	
	h	b	e				lx	ly	Wx	Wy	ix	iy
	mm	mm	mm				Kg/m	cm ²	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm ³
C 50 x 25 x 2	50	25	2	1,45	1,87	0,72	7,06	1,13	2,83	0,63	1,94	0,72
C 50 x 25 x 3	50	25	3	2,09	2,7	0,77	9,7	1,57	3,88	0,91	1,89	0,76
C 60 x 30 x 2	60	30	2	1,77	2,26	0,85	12,5	2,00	4,16	0,93	2,35	0,94
C 60 x 30 x 3	60	30	3	2,56	3,3	0,89	17,5	2,84	5,85	1,34	2,31	0,93
C 60 x 30 x 4	60	30	4	3,30	4,2	0,95	21,1	3,51	7,03	1,72	2,24	0,91
C 80 x 40 x 2	80	40	2	2,40	3,07	1,09	30,8	4,89	7,71	1,68	3,17	1,26
C 80 x 40 x 3	80	40	3	3,51	4,5	1,14	43,9	7,01	11	2,45	3,12	1,25
C 80 x 40 x 4	80	40	4	4,56	5,87	1,19	55,4	8,92	13,9	3,17	3,07	1,23
C 80 x 40 x 5	80	40	5	5,55	7,18	1,23	65,49	10,62	16,37	3,83	3,02	1,21
C 80 x 40 x 6	80	40	6	6,49	8,42	1,28	74,18	12,1	18,54	4,44	2,96	1,19
C 100 x 50 x 2	100	50	2	3,02	3,87	1,34	61,5	9,72	12,3	2,66	3,99	1,58
C 100 x 50 x 3	100	50	3	4,45	5,7	1,39	88,5	14,1	17,7	3,89	3,94	1,57
C 100 x 50 x 4	100	50	4	5,81	7,47	1,44	113	18,1	22,6	5,07	3,89	1,56
C 100 x 50 x 5	100	50	5	7,12	9,18	1,48	135	21,8	27,1	6,19	3,84	1,54
C 100 x 50 x 6	100	50	6	8,37	10,82	1,53	115,3	25,14	31,05	7,24	3,79	1,52

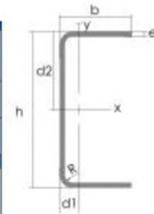


Figura 50. Especificaciones generales de canal U Dipac [30]

El perfil seleccionado corresponde a las dimensiones (100 x 50 x 4) milímetros expresadas en la tabla, con un módulo de sección superior al requerido.

$$S = 22,6 \text{ cm}^3 = 1,38 \text{ pulg}^3$$

El perfil C cuenta con dimensiones apropiadas para la implementación de agujeros ciegos que permitan movimiento transversal y el anclaje de la estructura de posicionadores hacia la base.

El factor de seguridad se incrementa y es:

$$F_s = 3,136$$

El factor de seguridad $F_s = 3,136$ muestra que la estructura se encuentra apta para soportar cargas mayores a las calculadas así como brindar un apoyo estable a la máquina capaz de soportar los esfuerzos a realizar.

3.2.3.2. Caja de mando

La caja de mando es un rack de 330 x 630 x 345 mm diseñado para albergar a los dispositivos de mando que son la tarjeta Arduino, el dispositivo led, la fuente de poder del sistema, caja de mando del oscilador con su controlador a distancia, y el variador de velocidad de rotación del motor. Se ubica sobre la estructura de posicionadores mediante un anclaje a la estructura base como e muestra en la Figura 51.

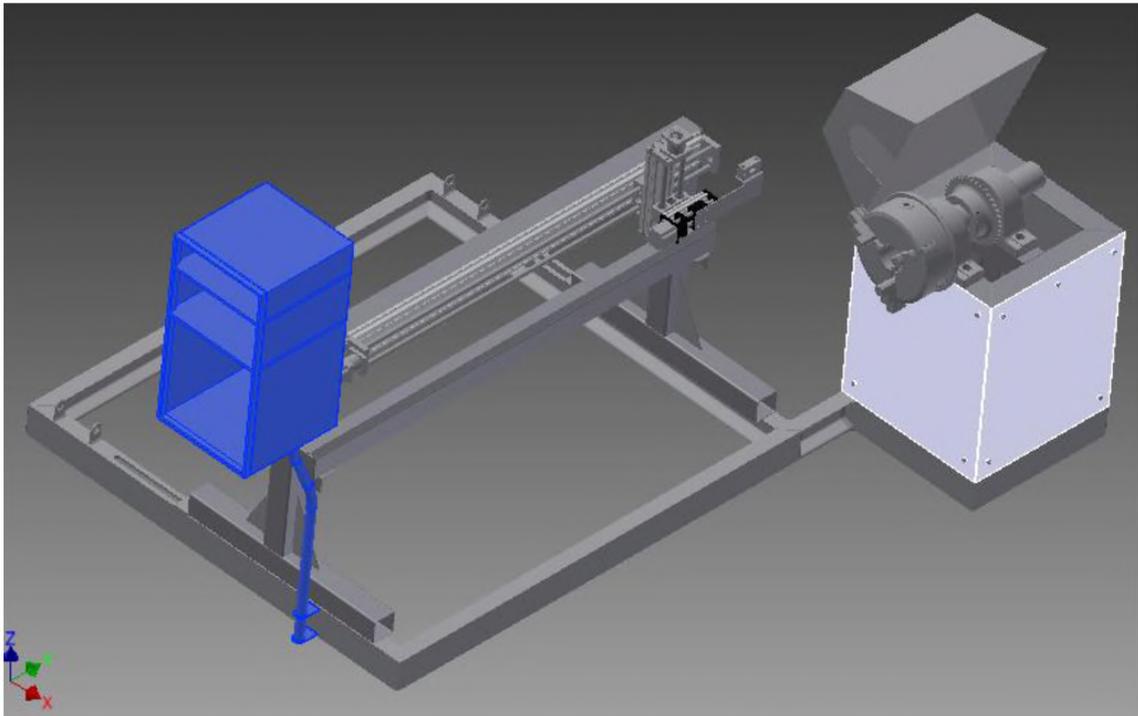


Figura 51. Posicionamiento de la caja de mando de la máquina.

3.3. Diseño y programación con Arduino

3.3.1. Selección de componentes eléctricos y electrónicos

La tarjeta de control Arduino nano permite programar un sistema no muy complejo para poner en marcha un motor a paso, el cual se une a un controlador para proteger el funcionamiento de dicho motor de las variaciones de voltaje que regula el paso de corriente.

La instalación eléctrica de la tarjeta Arduino nano como del motor se encuentra en el Anexo 6.

3.3.2. Programación de Arduino Nano

La programación de la tarjeta Arduino Nano se realiza en lenguaje C# para la ejecución de la soldadura mediante controles de movimiento de la guía longitudinal del equipo cuando se encuentre operativo de manera automática e indicadores cuando se encuentre funcionando de manera manual.

La Figura 52 muestra la primera parte de la programación, desde la línea 1 a 6 se declara valores constantes, de la línea 7 a 10 se declaran variables, en las líneas 11 y 12 se realiza la llamada a la librería para que se muestre en pantalla los valores “lcd (9, 8, 13, 12, 11, 10)”, la línea 13 contiene un comentario con la especificación de los valores presentados.

```
1  const int clk=2;
2  const int pulso=3;
3  const int sensor=4;
4  const int inicio=5;
5  const int tamper=6;
6  const int sentido=7;
7  int val;
8  int val1;
9  int val2;
10 int val3;
11 #include <LiquidCrystal.h>
12 LiquidCrystal lcd(9, 8, 13, 12, 11, 10);
13 //negro,verde-rojo,blanco,verde,negro
14
15
```

Figura 52. Primera sección de programación de Arduino nano. [20]

En la segunda parte de la programación declaramos una función de inicio. Esta función se ejecuta cada vez se encienda la tarjeta y la pantalla LED.

La figura 53 muestra la programación realizada en esta parte, línea 16 declaración de la función de nombre setup, línea 17 comentario, de la línea 18 a 23 se setea los indicadores

a utilizar en el programa cuando reciban o envíen información a los actuadores, de la línea 24 a 27 se colocan valores iniciales a las variables antes declaradas, de la línea 28 a 32 se coloca el mensaje que aparecerá al iniciar el dispositivo que indica la posición y las líneas que se presentarán, en la línea 33 se indicará el tiempo que se presenta el mensaje en pantalla, en este caso 3 segundos.

```
16 void setup() {
17   // put your setup code here, to run once:
18   pinMode(clk,OUTPUT);
19   pinMode(pulso,INPUT);
20   pinMode(sensor,INPUT);
21   pinMode(inicio,INPUT);
22   pinMode(tamper,INPUT);
23   pinMode(sentido,INPUT);
24   val=0;
25   val1=0;
26   val2=0;
27   val3=0;
28   lcd.begin(16, 2);           // Fijamos el numero de caracteres y filas
29   lcd.setCursor(5, 0);
30   lcd.print("TESIS");
31   lcd.setCursor(2, 1);
32   lcd.print("PABLO VINUEZA");
33   delay (3000);
34
35
36
37 }
38
```

Figura 53. Segunda sección de programación de Arduino nano. [20]

La tercera parte del programa generado corresponde a la ejecución manual del sistema, en donde se indica los pulsos del motor controlados en 0.0005 segundos cuando se encuentran en los picos de oscilación de funcionamiento.

En la Figura 54 se indica el bloque de código generado, en donde la línea 39 es la declaración de la función de nombre manual, en las líneas 40 y 41 se coloca valores a las variables pulso y tamper, de la línea 42 a 47 se realiza una validación cuando las variables cumplan la condición de pulso bajo y tamper alto se presentaran estos mensajes en pantalla con una duración de 0.0005 segundos, desde la línea 48 a 57 se exhibirá otra condición siempre y cuando no se cumpla la primera detallada, se asignará un valor que corresponde

al sentido y se realizará una validación cuando las variables sean pulso bajo y sentido alto, se presentaran estos mensajes en pantalla con una duración de 0.0005 segundos.

El valor que se asignan a las variables en esta sección del programa son definidas por sensores y actuadores, siendo así el valor de estado_pulso la pulsación de un botón definido para el movimiento del posicionador, el valor de la variable estado_tamper un sensor de fin de carrera que se activará cuando el posicionador llegue al límite del eje, al activarse el sistema detectará que ya no cumple con la primera condición y se ejecutará la segunda validación, en donde se activará la variable estado_sentido para cambiar la dirección de desplazamiento del posicionador al contrario del que se estaba ejecutando.

```
39 void manual() {
40     int estado_pulso=digitalRead(pulso);
41     int estado_tamper=digitalRead(tamper);
42     if (estado_pulso==LOW && estado_tamper==HIGH) {
43         digitalWrite(clk,HIGH);
44         delayMicroseconds (500);
45         digitalWrite(clk,LOW);
46         delayMicroseconds (500);
47     }
48     else {
49         int estado_sentido=digitalRead(sentido);
50         if (estado_pulso==LOW && estado_sentido==HIGH) {
51             digitalWrite(clk,HIGH);
52             delayMicroseconds (500);
53             digitalWrite(clk,LOW);
54             delayMicroseconds (500);
55         }
56     }
57 }
58
```

Figura 54. Tercera sección de programación de Arduino nano. [20]

La cuarta parte del programa generado corresponde a la ejecución automática del sistema, en donde se indica los pulsos del motor controlados en 0.001 segundos cuando se encuentran en los picos de oscilación de funcionamiento.

En la Figura 55 se indica el bloque de código generado, en donde la línea 59 es la declaración de la función de nombre automático, en las líneas 60 y 61 se coloca valores a

las variables sensor e inicio, en la línea 62 se realiza una validación cuando las variables cumplan la condición de sensor alto e inicio bajo, se ejecutará un bucle que mientras cumpla la condición indicada en el código ejecutará el proceso de soldadura con una dimensión de 5mm y presentará el mensaje en pantalla con una duración de 0.001 segundos, cuando se termine el bucle y no cumpla con la condición , desde la línea 71 a 74 se presentará en pantalla el mensaje LOW.

El valor que se asignan a las variables en esta sección del programa son definidas por sensores y actuadores, siendo así el valor de estado_sensor, un sensor inductivo de presencia metálica PNP y el estado_inicio se toma de un interruptor, en donde cuando la condición indica que el interruptor se coloque en ON y no se detecte presencia en el sensor del metal que ejecutará el traslape se ejecutará el proceso de soldadura por una dimensión de 5 mm y luego se solapará la suelda y se volverá a ejecutar el proceso en el programa.

```
59 void automatico(){
60     int estado_sensor=digitalRead(sensor);
61     int estado_inicio=digitalRead(inicio);
62     if(estado_sensor ==HIGH && estado_inicio==LOW){
63         for(int x=0; x<=1900;x++){
64             digitalWrite (clk,HIGH);
65             delayMicroseconds (1000);
66             digitalWrite (clk,LOW);
67             delayMicroseconds (1000);
68         }
69
70     }
71     else {
72         digitalWrite (clk,LOW);
73     }
74 }
75
76
```

Figura 55. Cuarta sección de programación de Arduino nano. [20]

La quinta parte del programa generado corresponde a la presentación de mensajes, en donde se indica la acción que va a realizar la máquina en pantalla.

En la Figura 56 se indica el bloque de código generado, en donde la línea 77 es la declaración de la función de nombre mensajes, en las líneas 78 y 79 se coloca valores a las variables inicio y sentido, desde la línea 80 a 90 se ejecuta una validación para el proceso automático en donde si la variable es de valor 0, inicio bajo y sentido alto se mostrará los mensajes AUTO que corresponde al proceso automático y SENTIDO ADELANTE que indica que la soldadura se está ejecutando en sentido horario. Desde la línea 92 a 104 se ejecuta una validación para el proceso automático en donde si la variable es de valor 0, inicio bajo y sentido bajo se mostrará los mensajes AUTO que corresponde al proceso automático y SENTIDO ATRAS que indica que la soldadura se está ejecutando en sentido anti horario.

```

77 void mensajes(){
78     int estado_inicio=digitalRead(inicio);
79     int estado_sentido=digitalRead(sentido);
80     if (val==0 && estado_inicio==LOW && estado_sentido==HIGH){
81         val=1;
82         lcd.clear();
83         lcd.setCursor(0, 0);
84         lcd.print("MOD0: AUTO");
85         lcd.setCursor(0, 1);
86         lcd.print("SENTIDO:ADELANTE");
87         val1=0;
88         val2=0;
89         val3=0;
90     }
91
92     if (val1==0 && estado_inicio==LOW && estado_sentido==LOW ){
93         val1=1;
94         lcd.clear();
95         lcd.setCursor(0, 0);
96         lcd.print("MOD0: AUTO");
97         lcd.setCursor(0, 1);
98         lcd.print("SENTIDO:ATRAS");
99         val=0;
100        val2=0;
101        val3=0;
102    }
103
104 }
105

```

Figura 56. Quinta sección de programación de Arduino nano. [20]

La sexta parte del programa generado corresponde a la presentación de mensajes, en donde se indica la acción que va a realizar la máquina en pantalla.

En la Figura 57 se indica el bloque de código generado, en donde la línea 106 es la declaración de la función de nombre mensajes2, en las líneas 107 y 108 se coloca valores a las variables inicio y sentido, desde la línea 109 a 119 se ejecuta una validación para el proceso manual en donde si la variable es de valor 0, inicio alto y sentido bajo se mostrará los mensajes MANUAL que corresponde al proceso manual y SENTIDO ATRÁS que indica que la soldadura se ejecuta en sentido anti horario. Desde la línea 120 a 131 se ejecuta una validación para el proceso manual en donde si la variable es de valor 0, inicio alto y sentido alto se mostrará los mensajes MANUAL que corresponde al proceso manual y SENTIDO ADELANTE que indica que la soldadura se está ejecutando en sentido horario.

```
106 void mensajes2(){
107     int estado_inicio=digitalRead(inicio);
108     int estado_sentido=digitalRead(sentido);
109     if (val2==0 && estado_inicio==HIGH && estado_sentido==LOW ){
110         val2=1;
111         lcd.clear();
112         lcd.setCursor(0, 0);
113         lcd.print("MOD0: MANUAL");
114         lcd.setCursor(0, 1);
115         lcd.print("SENTIDO: ATRAS");
116         val3=0;
117         val=0;
118         vall=0;
119     }
120     if(val3==0 && estado_inicio==HIGH && estado_sentido==HIGH){
121         val3=1;
122         lcd.clear();
123         lcd.setCursor(0, 0);
124         lcd.print("MOD0: MANUAL");
125         lcd.setCursor(0, 1);
126         lcd.print("SENTIDO: ADELANTE");
127         val2=0;
128         val=0;
129         vall=0;
130     }
131 }
```

Figura 57. Sexta sección de programación de Arduino nano. [20]

La séptima parte del programa generado corresponde al orden de ejecución de las funciones antes creadas, en la Figura 58 se indica el bloque de código generado en donde en la línea 134 se declara la función loop, desde la línea 136 a 142 se realiza la llamada a las funciones siendo el orden definido el siguiente:

- Manual
- Automático
- Mensajes
- Mensajes2

```
133
134 void loop() {
135     // put your main code here, to run repeatedly:
136     manual();
137     automatico();
138     mensajes();
139     mensajes2();
140
141
142 }
```

Figura 58. Séptima sección de programación Arduino nano. [20]

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Pruebas y validación

En el presente capítulo se mostrará las pruebas realizadas para la ejecución de la máquina con los valores correspondientes por medio de la máquina con una soldadura FCAW auto protegida de alambre tubular de 2,7 mm de diámetro.

Se definen diferentes validaciones de la soldadura para obtener el resultado esperado, y la ejecución óptima de la misma.

Estas pruebas están sometidas bajo los mismos parámetros de amperaje de 120 A como lo muestra la Figura 60, con una velocidad de salida de alambre de 7 como se muestra en la Figura 59.



Figura 59. Dosificador de alambre FCAW.



Figura 60. Amperaje para pruebas de máquina de soldar

El panel de control de oscilador está compuesto por: indicadores de velocidad y oscilación, controles de tiempo de trabajo, y distancia de oscilación como se muestra en la Figura 61.

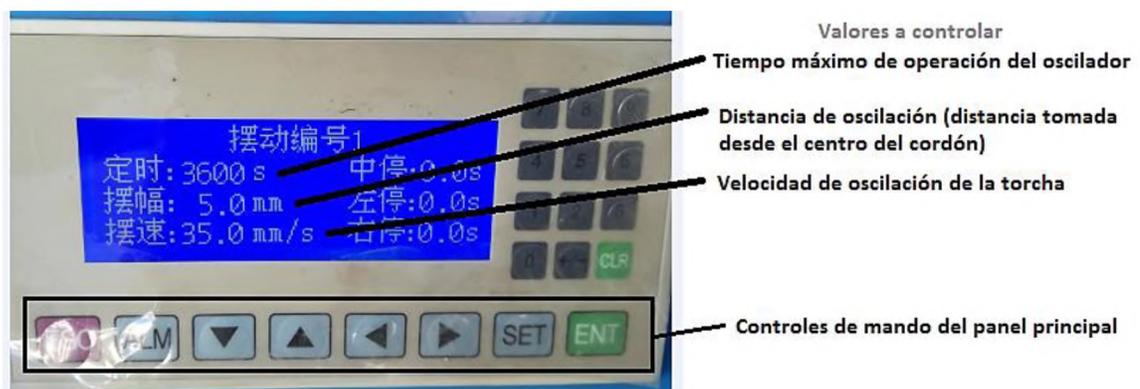


Figura 61. Control de mando del oscilador.

El variador de velocidad del eje principal se encuentra controlado por una perilla de velocidad de rotación, sentido de rotación y control de encendido y apagado del mismo.

4.1.1. Material base

El material A36 de diámetro 166 mm, 780 mm de longitud y 10 mm de espesor, para la sección de pruebas de la máquina se adquirió con las dimensiones mencionadas porque

cumple con los parámetros considerados para el diseño del posicionador de soldadura FCAW, su sujeción fue mediante los dientes del mandril como lo muestra la Figura 62.



Figura 62. Sujeción de eje de pruebas.

4.1.2. Primera etapa de pruebas

Las pruebas fueron realizadas bajo normativa ASME y su corte transversal para verificación de profundidad de soldadura fue realizado mediante sierra y su posterior limpieza con lima. La Figura 63 muestra el eje con la soldadura de prueba.



Figura 63. Eje principal con soldadura de las pruebas realizadas.

Tabla 10. Datos obtenidos de pruebas realizadas.

Número de prueba	Altura de posicionador mm	Velocidad de rotor mm/s	Velocidad de oscilación mm/s	Ancho de cordón mm	Altura de cordón mm	Profundidad de penetración
1	25	2,897 mm/ s	35 mm/s	15,5	3,5	1,3
2	25	2,897 mm/s	40 mm/s	15,4	3,4	0,9
3	25	2,897 mm/s	42 mm/s	16	3,3	1,3
4	25	2,897 mm/s	30 mm/s	15	3,6	1,45
5	25	2,897 mm/s	25 mm/s	14,75	3,6	1,75
6	25	2,897 mm/s	20 mm/s	15	3,65	1,6
7	25	2,897 mm/s	15 mm/s	15	3,8	2,3
8	25	2,897 mm/s	10 mm/s	14	4	2
9	25	2,897 mm/s	5 mm/s	15	4,1	2,9
10	25	2,897 mm/s	3 mm/s	13	4,2	3,2

4.1.3. Validación de la primera etapa de pruebas

Los resultados obtenidos y ordenados en la tabla 10, serán analizados mediante gráficas de dispersión.

Cada una de las gráficas de dispersión emplea una serie de iteraciones entre los resultados obtenidos, de lo cual se realiza un análisis de cada gráfica presentando los siguientes resultados:

Se puede observar en la Figura 64 que a medida que se incrementa la velocidad de oscilación el ancho de cordón varía de forma gradual y ascendente por lo que se puede afirmar que su relación es primordial al momento de realizar la soldadura.

Velocidad de oscilación vs Ancho de cordón

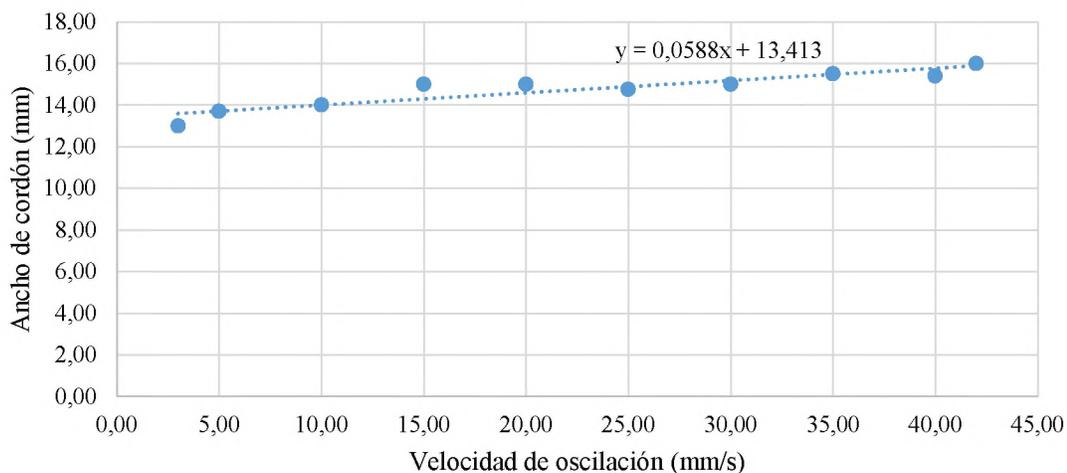


Figura 64. Gráfica de dispersión 1.

La Figura 65 presenta una relación entre la velocidad de oscilación y la altura de cordón, por lo que su relación es dispersa, lo que indica que a mayor velocidad de oscilación la altura de cordón disminuye de forma gradual.

Velocidad de oscilación vs altura de cordón

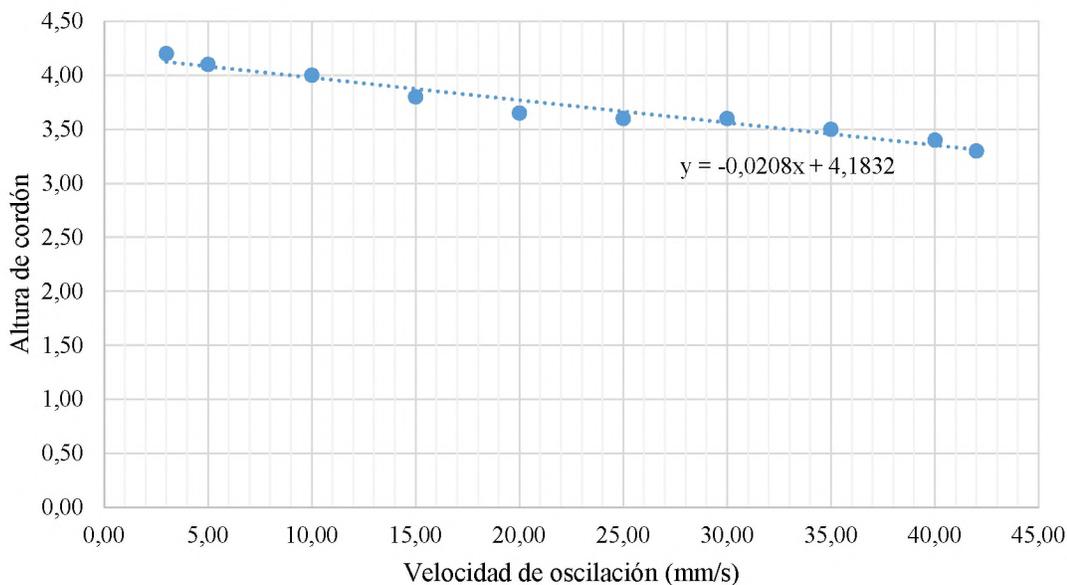


Figura 65. Gráfica de dispersión 2.

En la Figura 66 se muestra una semejanza entre la velocidad de oscilación y la profundidad de penetración, consiguiendo una fórmula polinómica presentando un patrón de comportamiento de la suelda.

A medida que la velocidad de oscilación aumenta, genera menor profundidad del cordón a la pieza.

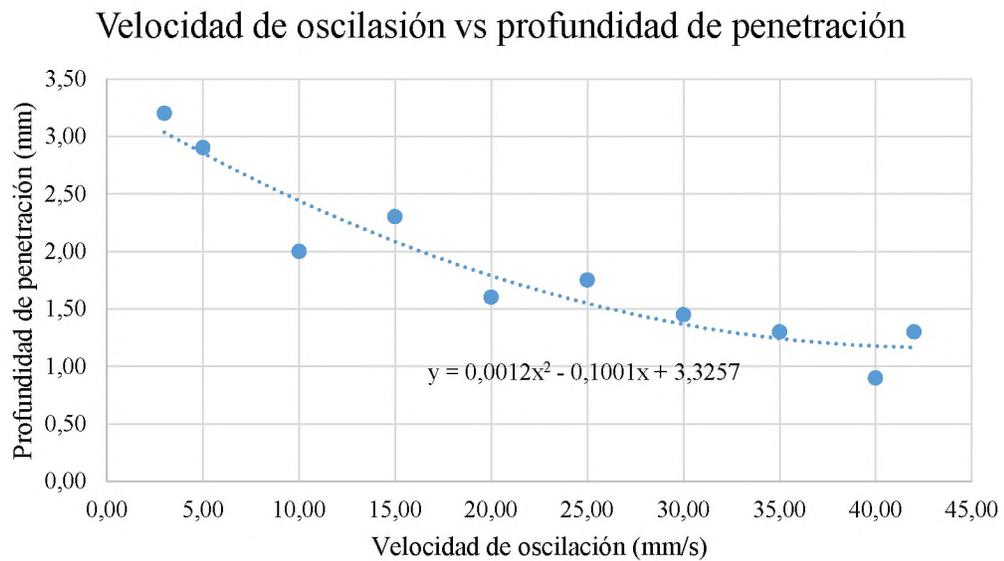


Figura 66. Gráfica de dispersión 3.

En la Figura 67 se puede apreciar que la altura del cordón vs. la profundidad de penetración están relacionados, a mayor altura de cordón mayor profundidad de penetración.

Altura de cordón vs Profundidad de penetración

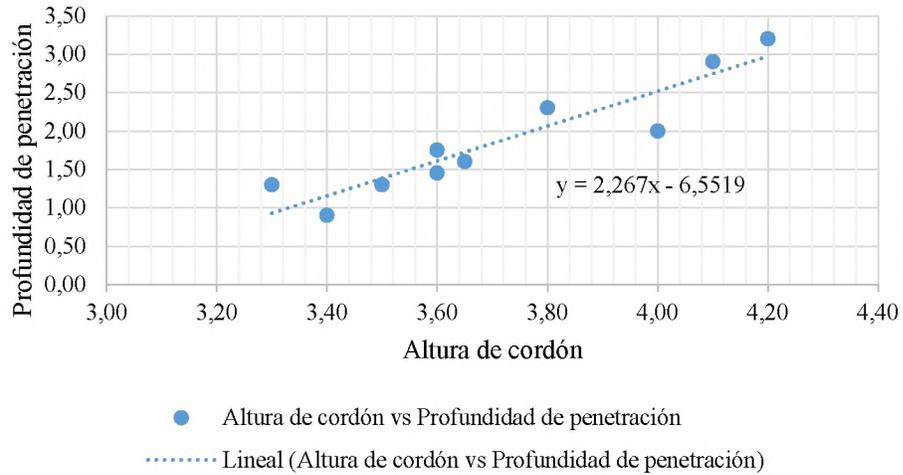


Figura 67. Gráfica de dispersión 4.

La Figura 68 muestra que a mayor ancho de cordón, menor es su altura de forma gradual y ordenada, considerando su implementación en futuros trabajos.

Ancho de cordón vs Altura de cordón

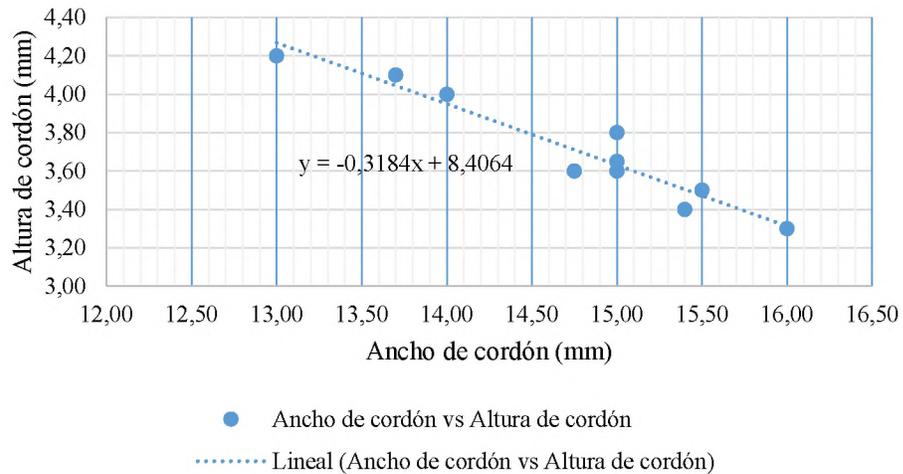


Figura 68. Gráfica de dispersión 5.

4.1.4. Segunda etapa de pruebas

La segunda etapa de pruebas fue realizada mediante la variación de amperaje y salida de alambre, en donde los parámetros establecidos como aceptables se mantienen constantes:

- Altura de posicionador a 25 mm
- La velocidad del rotor se mantiene al máximo $\frac{1}{3} rev/min$ o 2,897 mm/s
- Velocidad de oscilación a 35 mm/s
- Distancia de ancho de cordón 5.0 mm
- Tiempo de trabajo a 3600 segundos

Tabla 11. Datos obtenidos de pruebas con variantes de amperaje y salida de alambre.

Número de prueba	Velocidad de salida de alambre	Amperaje A	Ancho de cordón mm	Altura de cordón mm	Profundidad de penetración
1	7	110	16	4.1	1.3
2	5	150	14	3.2	1,7
3	6	140	16.2	3,6	1,6
4	6.5	130	14.7	3,9	1,45
5	7	120	16	3.9	1,4

4.1.5. Validación de la segunda etapa de pruebas

Se observa que los resultados de la Figura 69 son congruentes con la Tabla 11 y muestran que a mayor amperaje la altura de cordón disminuye de forma gradual.

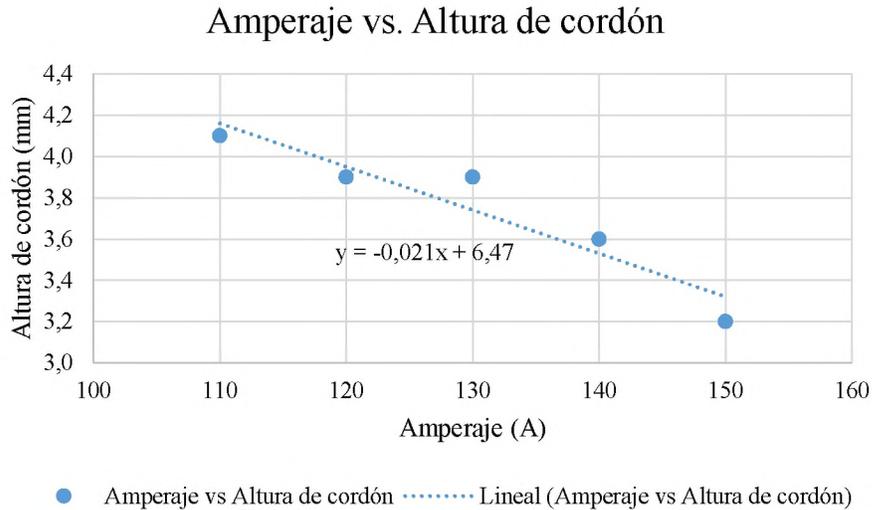


Figura 69. Gráfica de dispersión 6.

La Figura 70 muestra que a menor amperaje la salida de alambre se incrementa de manera progresiva.

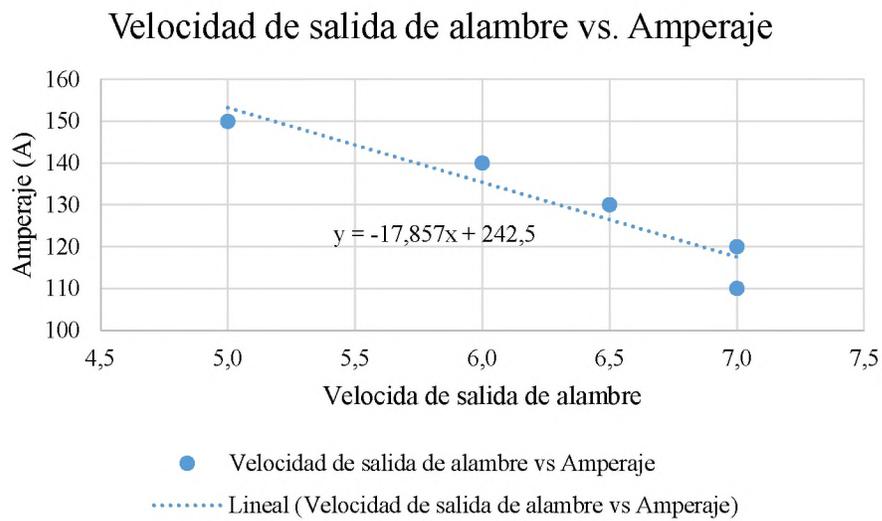


Figura 70. Gráfica de dispersión 7.

La relación que presenta la Figura 71 connota una relación directa entre el amperaje y la profundidad de penetración de la soldadura FCAW, se comprueba que a mayor amperaje mayor penetración de suelda en el material.

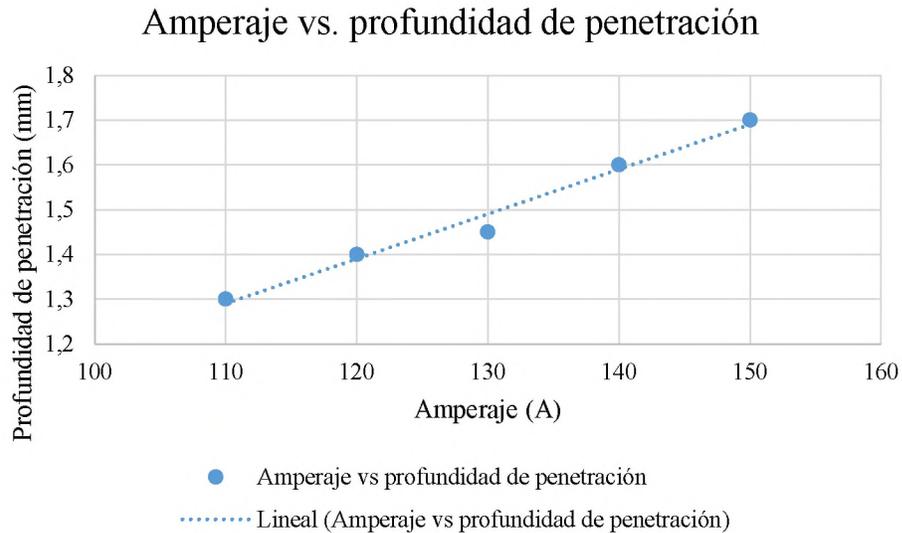


Figura 71. Gráfica de dispersión 8.

La Figura 72 muestra que a mayor velocidad de salida de alambre se incrementa la penetración de la soldadura en el material.

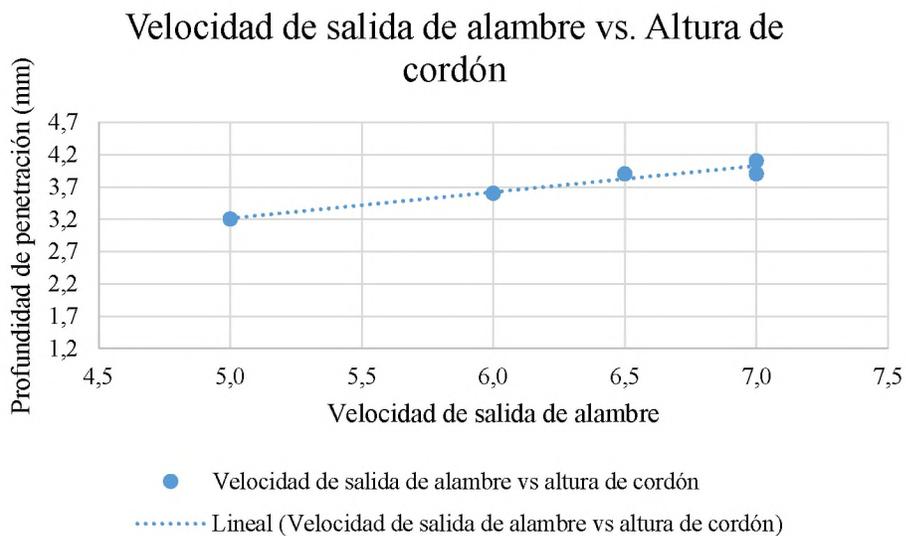


Figura 72. Gráfica de dispersión 9.

4.1.6. Análisis de los resultados obtenidos

Mediante la generación de la ecuación, se generan los parámetros apropiados para la obtención del cordón de soldadura adecuado, se tiene en cuenta el diámetro del eje a recuperar y generamos mediante una ecuación la velocidad de rotación del eje.

Se tiene en cuenta que la velocidad del rotor es 2,9 mm/s, la distancia recorrida en el lapso de tiempo tiene que mantenerse, por lo que se genera la siguiente tabla.

Tabla 12. Generación de velocidad de rotación del eje con respecto al diámetro del mismo.

Diámetro mm	Recorrido mm/s	Velocidad de movimiento del torno mm/s
166,00	2,90	1,00
200,00	2,90	0,83
240,00	2,90	0,69
280,00	2,90	0,59
320,00	2,90	0,52
360,00	2,90	0,46
400,00	2,90	0,42
440,00	2,90	0,38
480,00	2,90	0,35
520,00	2,90	0,32
560,00	2,90	0,30
600,00	2,90	0,28
640,00	2,90	0,26
680,00	2,90	0,24
720,00	2,90	0,23
760,00	2,90	0,22
800,00	2,90	0,21
840,00	2,90	0,20

CAPITULO 5

ANÁLISIS FINANCIERO DE COSTOS

5.1. Factibilidad el proyecto

El análisis de los parámetros expuestos a continuación así como su estudio detallado da factibilidad al proyecto.

5.2. Inversión inicial del proyecto

Los insumos necesarios para la construcción de la máquina son indispensables para el análisis de la inversión.

En la tabla se detalla de manera general los insumos que intervinieron en la fabricación del posicionador de soldadura para proceso FCAW, los costos son expuestos en dólares americanos.

Tabla 13. Costos de insumos

Número	Especificación	Cant.	Costo unitario	Valor
1	Motor	1	147	147
2	Eje principal AISI 1045 bonificado	1	15	15
3	Piñón sencillo 50B40 T	1	42	42
4	Piñón sencillo 50B20 T	1	13	13
5	Catalina Paso 50	1	20	20
6	Chumaceras	2	120	240
7	Mandril	1	250	250
8	Estructura de torno	1	135	135
9	Estructura de posicionador	1	152	152
10	Estructura base	1	150	150
11	Guía longitudinal	1	698	698
12	Guía vertical	1	177	177
13	Guía de oscilación	1	529	529
14	Placa de sujeción de antorcha	1	25	25
15	Caja de mando (Rack)	1	80	80
16	Controlador de motor paso a paso	1	250	250
17	Variador de velocidad de motor trifásico a corriente alterna.	1	185	185
18	Reductor de velocidad 1/20	1	408	408
19	Reductor de velocidad 1/80	1	650	650
20	Cadena de paso 50	1	70	70
21	Tornillos de sujeción		50	50
22	Sensor NPN	1	65	65
23	Cables y protección	1	132	132
24	Pulsador	1	35	35
25	Construcción	1	700	700
26	Circuito interno para control de avance y traslape	1	40	40
TOTAL				\$ 5.258,00

5.2.1. Inversiones

Las empresas necesitan hacer frente a las inversiones sobre las cuales se basa la operativa del negocio.

La viabilidad del proyecto, depende si los ingresos generados, van a ser suficientes para afrontar el financiamiento por parte de accionistas, obteniendo una rentabilidad a corto y mediano plazo.

Los flujos de caja a obtener de los proyectos son calculados mediante la deuda anual (Interés + saldo principal), retribuyendo una cantidad mensual durante el plazo establecido por los socios e inversionistas.

Los métodos a utiliza para catalogar la máquina como rentable son:

- **Valor actual neto:** consiste en calcular el valor presente del flujo de caja futuro, que se originan por una inversión, a este valor se suman intereses.
- **Tasa interna de retorno:** es la tasa de rentabilidad del producto, y que equipara en precio al valor actual neto, dentro de la operación propia del trabajo a realizar.
- **PAY – BACK:** período en el que la inversión se recupera por medio de flujos de caja generados de forma habitual.

5.2.2. Proyección de ventas

La proyección de ventas se basa en un considerado número de ventas dentro de plazos establecidos, permite controlar el flujo de caja y establece un plan de negocios contundente.

La inversión es la implementación de un capital sobre un algún tipo de negocio o capital, para que el mismo sea reembolsado e incrementado en un largo plazo distribuido en el tiempo.

El análisis económico de una inversión muestra el retorno de la inversión o capital monetario, en las peores situaciones estableciendo un plan de retorno aceptable. La tabla muestra una proyección en un período de 5 años.

Tabla 14. Proyección de retorno de capital.

Año	Valor de ventas
0	
1	\$ 10.516,00
2	\$ 12.033,00
3	\$ 13.650,00
4	\$ 15.367,00
5	\$ 17.184,00

5.2.3. VAN, TIR, PAY BACK

El estado financiero presente nos permite constatar la capacidad que tiene la empresa para hacer frente al financiamiento adquirido, sus resultados son el dinero disponible o déficit sin mostrar las utilidades para evitar el caso en que la empresa muestre utilidades pero no posea flujo de caja. En Ecuador, según el Banco Central del Ecuador otorga un interés ordinario máximo de 17,3. [31]

Tabla 15. Flujo de caja de los cinco primeros años de producción.

Año	Inversión	Costos operativos	Trabajadores	Impuestos	Ingresos	flujo
0	\$ 5.258,00				\$ 5.258,00	
1		\$ 3.500,00	\$ 1.000,00	\$ 1.261,92	\$ 10.516,00	\$ 4.754,08
2		\$ 3.510,00	\$ 1.100,00	\$ 1.443,96	\$ 12.033,00	\$ 5.979,04
3		\$ 3.520,00	\$ 1.210,00	\$ 1.638,00	\$ 13.650,00	\$ 7.282,00
4		\$ 3.530,00	\$ 1.331,00	\$ 1.844,04	\$ 15.367,00	\$ 8.661,96
5		\$ 3.540,00	\$ 1.464,10	\$ 2.062,08	\$ 17.184,00	\$ 10.117,82
Tasa interna de retorno						93,28%
Valor actual neto al 17,3% de interés						\$ 16.783,74

- Valor actual neto (VAN)

Procedimiento por el cual permite calcular el valor presente de flujos de caja, originado por la inversión. Se descuenta todos los flujos de caja futuros del proyecto. El monto inicial es disminuido de dicha operación, obteniendo el valor actual neto del proyecto. Si su valor es mayor a cero, se considera rentable el proyecto.

Se calcula mediante la Ecuación 27:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+K)^t} - I_0 \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

V_t = flujos de caja en cada periodo

I_0 = Valor del desembolso inicial

n = Número de periodos

K = Tipo de interés

- Tasa interna de retorno (TIR)

Conocida como la tasa interna de rentabilidad, es definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto es igual a cero, indicando rentabilidad si su cálculo es mayor. El TIR es representado en porcentaje y se calcula mediante la Ecuación 28.

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+x)^t} = 0 \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

F_t = flujos de caja en cada periodo

I_0 = Valor del desembolso inicial

n = Número de periodos

x = Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno es la ganancia a obtener de la inversión y el indicador muestra un 93,28% de rentabilidad y se tiene una ganancia aceptable en el proyecto.

- PAY BACK

Es el tiempo requerido para la recuperación de la inversión inicial, lo que calcula el tiempo que se requiere para obtener un flujo de caja igual a la inversión total.

El tiempo de retorno de la inversión se calcula mediante la ecuación:

$$T = \frac{F_1}{F_0} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

F_{12} = flujo de caja del primer año

F_0 = flujo de caja en el año cero

Entonces, procede el cálculo según la ecuación:

$$T = \frac{4754,08}{5258}$$
$$T = 0,905$$

En el primer año se cubre el 90,5% de la inversión, para calcular el tiempo exacto, se divide el segundo año de flujo de caja para 12 meses, se añade dicho monto hasta completar la deuda adquirida.

$$T_{meses} = \frac{F_2}{12} \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

F_{12} = flujo de caja del segundo año

T_{meses} = Flujo de caja mensual en el segundo año.

$$T_{meses} = \frac{5979,04}{12}$$

$$T_{meses} = 498,25$$

Ahora se calcula con la adición de dos meses hasta conseguir un número aproximado al invertido al inicio del proyecto.

$$T = \frac{4754,08 + 498,25 + 498,25}{5258}$$

$$T = 1,09$$

Entonces, mediante la sumatoria anterior se comprueba que el tiempo necesario para recuperar el dinero invertido es de 1 año con 2 meses.

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un mecanismo capaz de controlar el movimiento en dos ejes transversal y longitudinal, con un factor de seguridad mínimo de 1,5 en la estructura de soporte del mandril y de 8,06 para eje principal, que realiza un trabajo primordial en el equipo.
- Los elementos de la máquina fueron diseñados con software especializado y métodos analíticos. Intervino el Software Autodesk Inventor para establecer dimensiones, movimientos, esfuerzos de elementos bajo cargas estáticas y factor de seguridad. Se aseguró el funcionamiento y una baja probabilidad de falla de 5% en todos los componentes al comparar los resultados del software con los calculados.
- Al comparar los resultados del software Autodesk Inventor, con los calculados de forma analítica, se obtiene que la diferencia mínima de 1,94% en el factor de seguridad y 0,33% en el esfuerzo equivalente de elementos principales dentro del equipo. El software proporciona al profesional la herramienta para facilitar el análisis, e interpretar los resultados.
- Se realizó los distintos análisis de resultados en rodillos para definir la mejor penetración del cordón de soldadura como: ancho (15,5 mm), alto (3,5 mm), profundidad de penetración (1,3 mm), y se obtuvo la Tabla 12. Capaz de generar las condiciones apropiadas para realizar cordones de soldadura óptimos bajo diferentes diámetros.
- Se presenta una máquina capaz de soldar de forma autónoma con proceso FCAW, que controla parámetros de altura, posición y velocidad tanto de oscilación como avance, para un peso de trabajo de 5000 Newton.
- El posicionador de soldadura para proceso FCAW construido por un precio de \$5.258,00 dólares americanos, figura un ahorro con respecto a la incorporación de

elementos individuales mecánicos que se pueden encontrar en el mercado y oscila un costo de \$10.500 dólares.

- El valor actual neto es\$ 16.783,74 dólares americanos y es superior al monto de inversión inicial del proyecto, lo que indica un proyecto beneficioso para ejecutar.
- La tasa interna de retorno es 93,28%, es un indicador de rentabilidad bueno para la inversión, lo que proporciona una garantía del retorno de la inversión en un plazo corto de tiempo.
- El análisis financiero muestra una recuperación del monto inicial en un lapso de 1 año y 2 meses, con respecto al flujo de caja proyectado.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la caracterización de la microestructura de los cordones de soldadura con los mismos parámetros utilizados en el presente trabajo con el fin de ampliar los conocimientos adquiridos en la carrera y mejorar el proceso de soldadura.
- Se propone mejorar la sujeción de la antorcha de soldadura con el fin de asegurar un flujo de alambre de soldadura constante.
- Se sugiere perfeccionar el sistema de comunicación de la antorcha con el movimiento autónomo, establecer diferentes unidades de avance o traslape de soldadura.
- Se recomienda diseñar un mandril de 4 muelas para sujeción de ejes con geometrías diferentes, capaz de soportar el peso del eje y el trabajo a realizar.
- Se sugiere realizar un sistema de anclaje y nivelación para la estructura base capaz de mejorar el trabajo de la máquina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [9] C. Bravo, J. Aguilar y F. Rivas , «Diseño de una arquitectura de automatización industrial basada en sistemas multi-agentes,» *Ciencia e Ingeniería*, vol. 25, n° 2, pp. 75-88, 2004.
- [8] W. Gutiérrez Marroquín y J. A. López Sotelo, «Control difuso para un sistema de nivel implementado en un autómeta programable,» *Informador técnico (Colombia)*, vol. 75, n° 1, pp. 11-16, 2011.
- [7] E. Perez Lopez, «Los sistemas SCADA en la automatización industrial,» *Tecnología en marcha*, vol. 28, n° 4, pp. 3-14, 2015.
- [6] H. Jufang y X. Chunru, «A manufacturing execution system for discrete industry,» *Applied mechanics and materials*, Vols. %1 de %2519-520, n° 1, pp. 1585-1588, 2014.
- [5] A. Benetuto, «Implementación de sistemas ERP, su impacto en la gestión de la empresa e integración con otras TIC,» *CAPIV REVIEW*, vol. IV, n° 1, pp. 33-47, 2006.
- [4] J. M. Maestre, *Domótica para ingenieros*, Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A., 2015.
- [36] Böhler, *Catálogo de materiales*, Quito: Böhler, 2015.
- [35] J. Nadzam, F. Armao y L. Byall, «Gas Metal Arc Welding,» Lincoln electric, Cleveland, OH, 2014.
- [34] Stack Exchange Inc, «Stack Exchange,» Stack Exchange Inc, 1 Enero 2017. [En línea]. Available: <https://arduino.stackexchange.com/questions/35981/arduino-nano-tx-led-is-on>. [Último acceso: 10 Enero 2017].
- [33] Co.Ltd., Changzhou Jinsanshi Mechatronics, «nema23 57HS 2 phase 1.8° hybrid stepper motor,» Enero 2016. [En línea]. Available: <http://www.jss-motor.com/product/nema23-57HS-2-phase-1.8%C2%B0-hybrid-stepper-motor.html>. [Último acceso: 10 Febrero 2017].
- [32] Ivan Bohman, *Catálogo de aceros*, Bogotá: Ivan Bohman, 2014.

- [31] Banco Central del Ecuador, «Banco Central del Ecuador,» 1 Enero 2017. [En línea]. Available:
<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/TasasVigentes082017.htm>. [Último acceso: 25 Agosto 2017].
- [30] Dipac, «Dipac productos de acero,» 1 Enero 2016. [En línea]. Available:
<http://www.dipacmanta.com/canal-u>. [Último acceso: 2 Agosto 2017].
- [3] R. Sanchis Llopis, J. A. Romero Pérez y C. V. Ariño Latorre, *Automatización Industrial*, Castelló de la Plana: Colección Sapientia, 2010.
- [29] AliExpress, «AliExpress,» 01 Enero 2010. [En línea]. Available:
<https://es.aliexpress.com/item/linear-motion-module-300mm-Travel-length-Ballscrew-1605-Sliding-Table-linear-sliding-rail-systems-nama-23/32693906429.html?spm=a219c.search0304.4.19.FpOYOP>. [Último acceso: 5 Enero 2017].
- [28] P. A. Vinueza Sandoval, *Diseño en inventor de posicionador de soldadura*, Quito, 2017.
- [27] AISI American Institute of Steel Construction Inc., *Manual of steel construction*, New York: AISI, 1921.
- [26] P. Vinueza y UPS, «Stress Analysis Report,» Autodesk, 10 Enero 2017. [En línea]. Available:
file:///G:/eje%20principal%20inventor2016%20Stress%20Analysis%20Report%2024_08_2017.html. [Último acceso: 24 Agosto 2017].
- [25] R. G. Budynas y K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica*, México D.F.: McGraw-Hill Companies, Inc., 2008.
- [24] NSK, *Soportes con rodamientos*, Quito: NSK, 2014.
- [23] Böhler, *Catálogo de aceros*, Quito: Böhler, 2014.
- [22] IVAN BOHMAN C.A., *Catálogo de productos*, Quito: ivan bohman, 2016.
- [21] P. A. Vinueza Sandoval, *Fotografías varias tomadas en campo*, Quito, 2017.
- [20] P. A. Vinueza Sandoval, *Diseño de posicionador de soldadura FCAW*, Quito, 2017.

- [2] V. Ignoto y L. A. Valdomir, «Evaluación de procedimientos de soldadura para revestimientos duros aplicados por el proceso FCAW con transferencia metálica pulsada,» 18 Mayo 2003. [En línea]. Available: http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/cobef/2003/artigos/COF03_0555.pdf.
- [19] J. Giachino y W. Weeks, Técnica y práctica de la soldadura, Barcelona: Reverté, 2007.
- [18] Lincoln Electric, «Hardfacin/Recubrimiento duro,» de *Electrodos y alambres*, México D.F., Lincoln Electric Mexicana, 2016, pp. 1-20.
- [17] L. Jeffus, Soldadura Principios y aplicaciones, Quinta ed., Madrid: Parainfo S.A., 2009.
- [16] Lincoln Electric, «Procesos y teoría: Corriente Constante vs Voltaje de Salida Constante,» 11 Octubre 2016. [En línea]. Available: <http://www.lincolnelectric.com/es-mx/support/process-and-theory/Pages/constant-current-vs-constant-voltage-output.aspx>. [Último acceso: Septiembre 2016].
- [15] M. Reina Gomez, Soldadura de los aceros, Madrid: Gráficas Lormo, 2003.
- [14] Society American Welding, «Manual de soldadura,» de *Welding Handbook*, 8 ed., vol. 1, México D.F., AWS, 2000.
- [13] W. H. Minnick, Flux Cored Arc Welding Handbook, Tercera ed., San Marcos, California: The Goodeart-Willcox Company, Inc., 2009.
- [12] L. A, Propagación de grietas por fatiga en soldaduras de acero superdúplex, Cataluña: Universitat Politècnica de Catalunya, 2007.
- [11] N. A. Murcia Acero, P. E. Vargas Flórez y F. Martínez Santa, «Estación de soldadura automatizada,» *Tekhne*, vol. 10, nº 2, pp. 15-21, 2013.
- [10] D. Rodriguez Salgado, Soldadura, Primera ed., Madrid: Bellisco Ediciones, 2006.
- [1] S. A. Welding, Manual de soldadura, Octava ed., Naucalpan de Juárez: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 1996.

ANEXOS

Anexo 1 (Acero 705 bonificado utilizado para el eje principal)

ACEROS

Aceros bonificados para maquinaria

► Cód. IBCA: 705 ≅ 34 CrNiMo6 ≅ AISI 4340 ≅ AISI 4337



Información general

705 es un acero al molibdeno más cromo y níquel. El molibdeno tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Menos susceptibles al fragilizado debido al revenido, que los demás aceros aleados para maquinaria.

Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes. Su contenido de níquel le da más templabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente.

705 combina alta resistencia mecánica (la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma standard es suministrado bonificado, por lo que no se requeriría luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Susceptible de temple por inducción y también puede someterse a tratamiento de nitrurado.

Análisis típico %	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	V
34 CrNiMo6	0,30 - 0,38	≤ 0,30	0,50 - 0,80	0,025	0,025	1,30 - 1,70	1,30 - 1,70	0,15 - 0,30
AISI 4337	0,35 - 0,40	0,20 - 0,35	0,60 - 0,80	0,04	0,04	1,65 - 2,00	0,70 - 0,90	0,20 - 0,30
AISI 4340	0,38 - 0,43	0,15 - 0,35	0,60 - 0,80	0,03	0,04	1,65 - 2,00	0,70 - 0,90	0,20 - 0,30
Código de color	Dorado / Azul							
Equivalencias	AISI / SAE (4337 - 4340) Din (34CrNiMo6)			W.Nr (1.6582) JIS (SNCM1)		AFNOR (35NCD6)		

Aplicaciones

1.-Partes de gran resistencia para la industria automotriz, como:

- Ejes.
- Cardanes.
- Cigüeñales.
- Ejes de leva Tornillería de alta resistencia.

2.-Partes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado como:

- Árbol para trituradoras.
- Ejes de transmisión de grandes dimensiones.
- Engranajes de temple por llama, inducción o nitruración.
- Barras de torsión.
- Mandriles.
- Portaherramientas.

3.-Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga, como:

- En la construcción de equipo pesado para camiones, aviones, equipo militar, etc.

Propiedades mecánicas

En condición de suministro

Resistencia a la tracción	90 - 110 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm ²
Elongación, A5	min 12 %
Reducción de área, Z	min 45 %
Resistencia al impacto, KU	aprox. 20 J
Dureza	270 - 330 HB

Tratamiento térmico

Recocido blando

(650 - 700 °C): Mantener a la temperatura por 2 horas. Enfriar en el horno con una velocidad de 15 °C/h hasta los 600 °C y luego libremente al aire.

Alivio de tensiones

(450 - 650 °C): El acero templado tenaz deberá ser calentado hasta aproximadamente 50 °C por debajo de la temperatura usada para el revenido (como standard el 705 es suministrado revenido a 600 °C). Mantenerlo a esta temperatura durante 1/2 a 2 horas. Enfriar en el horno hasta los 450 °C y luego libremente al aire.

Temple

(830 - 850 °C). Con enfriamiento en aceite: El mantenimiento del tiempo en minutos cuando la superficie ha alcanzado la temperatura de temple es 0.7x espesor o diámetro en milímetros. Interrumpir el enfriamiento a los 125 °C y luego revenir inmediatamente.

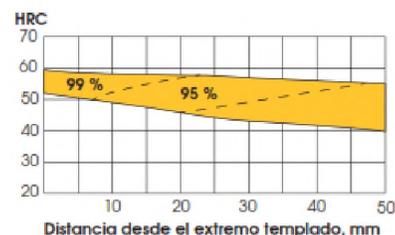


Figura 73. Propiedades de acero 705 bonificado de Iván bohman. [21]

Anexo 2 (Acero AISI 1045 utilizado para la manzana del engrane)

H	AISI : 1045 DIN : CK 45 W N° : 1.1181
---	---

Tipo de aleación promedio : C 0,45 Si 0,3 Mn 0,7 %
 Color de identificación : Rojo - Blanco - Rojo
 Estado de suministro : Dureza natural 193 HB máx.

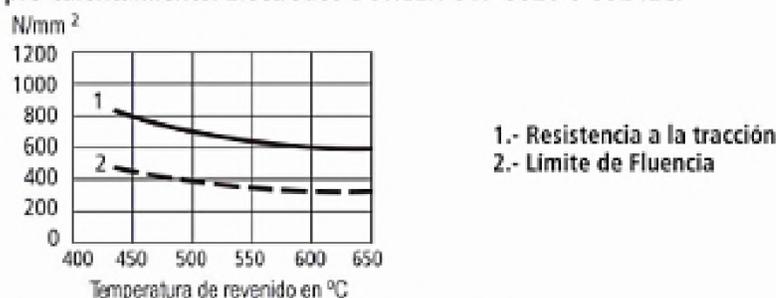
ACERO FINO AL CARBONO DE ALTA CALIDAD
Gran pureza de fabricación y estricto control de calidad.

APLICACIONES: Partes de maquinaria y repuestos sometidos a esfuerzos normales. Árboles de transmisión, ejes, pernos, tuercas, ganchos, pines de sujeción, pasadores, cuñas, chavetas, etc. También para herramientas de mano, portamatrices, etc.

INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

Forjar: 1100 - 850 °C
Normalizar: 840 - 870 °C
Recocer: 650 - 700 °C
 Enfriamiento lento en el horno
Temple: al agua (*) 820 - 850 °C
Dimensiones menores: al aceite 830 - 860 °C
Revenido: Según el uso 100 - 300 °C
Nitrurado: en baño de sal 580 °C

SOLDADURA: Con soldadura especial de alta resistencia.
 Según tamaño y complejidad del trabajo, se recomienda un pre-calentamiento. Electrodo BÖHLER UTP 6020 ó 6824LC.



Estado	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS				
	Diámetro mm.	Limite de fluencia N/mm ²	Resistencia a la tracción N/mm ²	Alargamiento (Lo = 5d) mín. %	Contracción mín. %
Natural	-	370	650	15	35
Recocido	16 - 100	340	650 - 750	17	35
	100 - 250	330	580 - 700	18	-

(*) Consultar con el Departamento Técnico.

22

Anexo 3 (Motor utilizado para rotación de eje principal)

DESCRIPCIÓN GENERAL

Los motores serie Y tienen los estatores bobinados en aislamiento clase F. Es un motor tipo jaula de ardilla; con protección IP55 para su sistema de enfriamiento.

El motor debe ser usado en las siguientes condiciones:

- La temperatura ambiente debe ser de -15°C - 40°C .
- La altura máxima de operación es de 1000 m.
- Frecuencia: 50 Hz
- Voltaje: 220/380 para los motores de hasta 5 HP y de 380/660 para los motes de más de 5 HP.

La conexión para motores es en estrella para los motores de hasta 3 kW, y en triángulo para 4 kW o más. El factor de servicio es de S1 (servicio continuo). La temperatura de servicio del bobinado del estator por el método de resistencia no debe superar los 80K.

PREPARACIÓN ANTES DEL MONTAJE

- Controle el motor en busca de daños; no lo use si estuviera dañado.
- Limpie cuidadosamente el motor y posibles excesos de grasa.
- Controle la chapa de identificación para ver si sus datos coinciden con el pedido.
- Controle girando el motor a mano para detectar posibles rozamientos del rotor.
- Mida la resistencia de aislamiento con un megómetro de 500 V. Si la lectura fuera menor a $0,5\text{ M}\Omega$ el estator debe ser secado en un horno a menos de 120°C .

MONTAJE DEL MOTOR

El motor puede ser acoplado mecánicamente por bridas de acople, por engrane o por polea, pero los motores de dos polos de más de 4 kW y los de 4 polos de más de 30 kW no pueden ser acoplados por poleas.

Si selecciona poleas pequeñas debe conectar el motor en triángulo. Solo se puede conectar con brida sobre el eje del motor un ventilador cuando el acople sea a correa. El eje del motor y el eje acoplado deben estar paralelos y cuando se acopla con brida, el eje del motor y el del eje acoplado deben estar perfectamente centrados y alineados.

El montaje del motor debe contemplar una eficiente ventilación del motor y un lugar fresco.

FUNCIÓNAMIENTO DEL MOTOR

El motor debe ser conectado a tierra (de jabalina) en la caja de terminales.

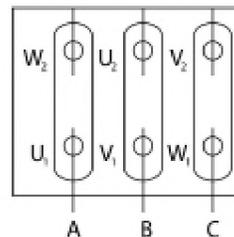
El cableado del motor debe ser realizado por un electricista matriculado, respetando las secciones de los cables de acuerdo con el amperaje de cada motor.

El motor tiene un conector de 6 terminales y están identificadas de esta forma:

Orden de fase	A - (R)	B - (S)	C - (T)
Cabeza	U_1	V_1	W_1
Cola	U_2	V_2	W_2

Debe ser conectado en triángulo o estrella de acuerdo a las tablas:

Conexión triángulo Δ



Conexión en estrella \star

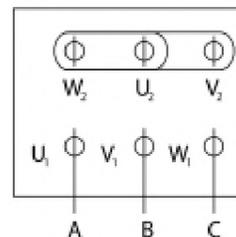


Figura 75. Propiedades del motor.

**EFFICIENCY VALUES
FOR 60 HZ
ACCORDING TO
IEC 60034-30-1:2014**

Efficiency standard
calculation:
IEC 60034-2-1;2014

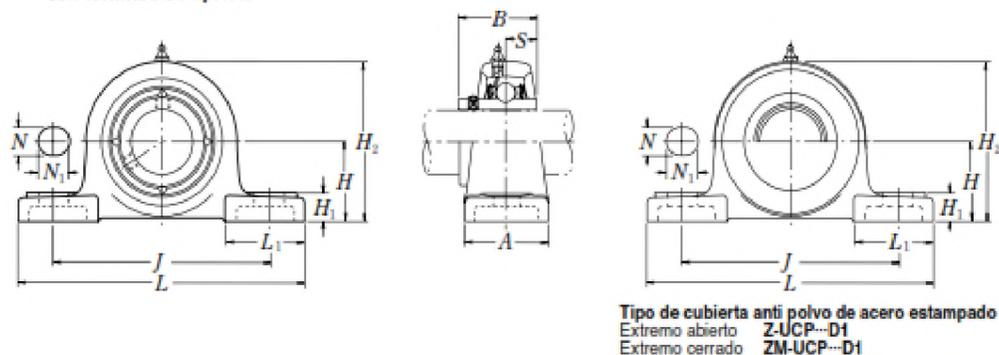
Output kW	Standard Efficiency • IE1			High Efficiency • IE2			Premium Efficiency • IE3		
	2 poles	4 poles	6 poles	2 poles	4 poles	6 poles	2 poles	4 poles	6 poles
0.12	57.5	62.0	48.0	59.5	64.0	50.5	62.0	66.0	64.0
0.18	62.0	66.0	52.5	64.0	68.0	55.0	65.6	69.5	67.5
0.25	64.0	68.0	57.5	68.0	70.0	59.5	69.5	73.4	71.4
0.37	70.0	70.0	62.0	72.0	72.0	64.0	73.4	78.2	75.3
0.55	72.0	74.0	66.0	74.0	75.5	68.0	76.8	81.1	81.7
0.75	77.0	78.0	73.0	75.5	82.5	80.0	77.0	85.5	82.5
1.1	78.5	79.0	75.0	82.5	84.0	85.5	84.0	86.5	87.5
1.5	81.0	81.5	77.8	84.0	84.0	86.5	85.5	86.5	88.5
2.2	81.5	83.0	78.5	85.5	87.5	87.5	86.5	89.5	89.5
3.7	84.5	85.0	83.5	87.5	87.5	87.5	88.5	89.5	89.5
5.5	86.0	87.0	85.0	88.5	89.5	89.5	89.5	91.7	91.0
7.5	87.5	87.5	86.0	89.5	89.5	89.5	90.2	91.7	91.0
11	87.5	88.5	89.0	90.2	91.0	90.2	91.0	92.4	91.7
15	88.5	89.5	89.5	90.2	91.0	90.2	91.0	93.0	91.7
18.5	89.5	90.5	90.2	91.0	92.4	91.7	91.7	93.6	93.0
22	89.5	91.0	91.0	91.0	92.4	91.7	91.7	93.6	93.0
30	90.2	91.7	91.7	91.7	93.0	93.0	92.4	94.1	94.1
37	91.5	92.4	91.7	92.4	93.0	93.0	93.0	94.5	94.1
45	91.7	93.0	91.7	93.0	93.6	93.6	93.6	95.0	94.5
55	92.4	93.0	92.1	93.0	94.1	93.6	93.6	95.4	94.5
75	93.0	93.2	93.0	93.6	94.5	94.1	94.1	95.4	95.0
90	93.0	93.2	93.0	94.5	94.5	94.1	95.0	95.4	95.0
110	93.0	93.5	94.1	94.5	95.0	95.0	95.0	95.8	95.8
150	94.1	94.5	94.1	95.0	95.0	95.0	95.4	96.2	95.8
185-375	94.1	94.5	94.1	95.4	95.4	95.0	95.8	96.2	95.8

Figura 76. Selección del motor y sus características.

Anexo 4 (Selección de chumaceras NSK)

NSK

Soportes tipo silleta con tornillos de apriete



Diám. Eje mm pulgadas	Designación soporte (1)	Dimensiones nominales											Tamaño tornillo mm pulgadas	Número de rodamiento
		H	L	J	A	N	N ₁	H ₁	H ₂	L ₁	B	S		
50	UCP210D1	57.2	206	159	60	20	23	21	114	65	51.6	19	M16	UC210D1
1 13/16	UCP210-113D1													UC210-113D1
1 7/8	UCP210-114D1													UC210-114D1
1 15/16	UCP210-115D1	2 1/4	8 1/8	6 1/4	2 3/8	25/32	29/32	13/16	4 1/2	29/16	2.0315	0.748	5/8	UC210-115D1
2	UCP210-200D1													UC210-200D1
55	UCP211D1	63.5	219	171	60	20	23	23	126	65	55.6	22.2	M16	UC211D1
2	UCP211-200D1													UC211-200D1
2 1/16	UCP211-201D1													UC211-201D1
2 1/8	UCP211-202D1	2 1/2	8 5/8	6 23/32	2 3/8	25/32	29/32	29/32	4 31/32	29/16	2.1890	0.874	5/8	UC211-202D1
2 3/16	UCP211-203D1													UC211-203D1
60	UCP212D1	69.8	241	184	70	20	23	25	138	70	65.1	25.4	M16	UC212D1
2 1/4	UCP212-204D1													UC212-204D1
2 9/16	UCP212-205D1													UC212-205D1
2 3/8	UCP212-206D1	2 3/4	9 1/2	7 1/4	2 3/4	25/32	29/32	31/32	5 7/16	2 3/4	2.5630	1.000	5/8	UC212-206D1
2 7/16	UCP212-207D1													UC212-207D1
65	UCP213D1	76.2	265	203	70	25	28	27	151	77	65.1	25.4	M20	UC213D1
2 1/2	UCP213-208D1	3	10 7/16	8	2 3/4	31/32	13/32	1 1/16	5 15/16	3 1/32	2.5630	1.000	3/4	UC213-208D1
2 9/16	UCP213-209D1													UC213-209D1
70	UCP214D1	79.4	266	210	72	25	28	27	157	77	74.6	30.2	M20	UC214D1
2 9/8	UCP214-210D1													UC214-210D1
2 11/16	UCP214-211D1	3 1/8	10 15/32	8 9/32	2 27/32	31/32	13/32	1 1/16	6 3/16	3 1/32	2.9370	1.189	3/4	UC214-211D1
2 3/4	UCP214-212D1													UC214-212D1
75	UCP215D1	82.6	275	217	74	25	28	28	163	80	77.8	33.3	M20	UC215D1
2 13/16	UCP215-213D1													UC215-213D1
2 7/8	UCP215-214D1													UC215-214D1
2 15/16	UCP215-215D1	3 1/4	10 13/16	8 17/32	2 29/32	31/32	13/32	1 3/32	6 13/32	3 5/32	3.0630	1.311	3/4	UC215-215D1
3	UCP215-300D1													UC215-300D1
80	UCP216D1	88.9	292	232	78	25	28	30	175	85	82.6	33.3	M20	UC216D1
3 1/16	UCP216-301D1													UC216-301D1
3 1/8	UCP216-302D1	3 1/2	11 1/2	9 1/8	3 1/16	31/32	13/32	1 3/16	6 7/8	3 11/32	3.2520	1.311	3/4	UC216-302D1
3 3/16	UCP216-303D1													UC216-303D1

Nota (1) Estas designaciones de soporte indican que son de tipo relubricable. Si se necesita el tipo sin mantenimiento, seleccione los tipos sin el sufijo "D1".

Anexo 5 (Motores Stepper utilizados para sistema de posicionamiento)

Model No	Step Angle (°)	Rated Voltage (V)	Rated Current (A)	Phase Resistance (Ω)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (Kg.cm)	Detent Torque (g.cm Max)	Rotor Inertia (g.cm ²)	Motor Length (mm)	Leads No.	Motor Weight (Kg)
57HS41-2004	1.8	2	2	1	1.2	3.2	210	120	41	4	0.45
57HS41-1004	1.8	5.4	1	5.4	9.5	5.5	210	120	41	4	0.45
57HS41-2004	1.8	2	2	1	2.2	5	210	120	41	4	0.45
57HS51-1504	1.8	2.4	1.5	1.6	3.8	8.2	360	275	51	4	0.65
57HS51-2004	1.8	2.4	2	1.2	3	9	360	275	51	4	0.65
57HS51-2006	1.8	2	2	1	1.6	7	360	275	51	6	0.65
57HS56-1504	1.8	5.7	1.5	3.8	12	13.5	400	300	56	4	0.7
57HS56-3004	1.8	2.85	3	0.95	2.8	12	400	300	56	4	0.7
57HS56-2006	1.8	3.6	2	1.8	2.8	9	400	300	56	6	0.7
57HS64-3004	1.8	3.9	3	1.3	2.2	15	500	380	64	4	0.8
57HS76-2004	1.8	8.6	2	4.3	16.2	24	680	480	76	4	1
57HS76-3004	1.8	2.7	3	0.9	3.5	20	680	480	76	4	1
57HS76-4004	1.8	2.4	4	0.6	2.2	20	680	480	76	4	1
57HS82-3004	1.8	4.2	3	1.4	5	22	700	510	82	4	1.2
57HS82-4004	1.8	3	4	0.75	3.5	20	700	510	82	4	1.2
57HS100-3004	1.8	3	3	1	4.5	25	1000	680	100	4	1.4
57HS112-3004	1.8	3.9	3	1.3	6.5	30	1200	800	112	4	1.7
57HS112-3504	1.8	2.45	3.5	0.7	3	28	1200	800	112	4	1.7

Above only for representative products, products of special request can be made according to the customer request.

Figura 78. Motor stepper 57HS76-3004A635-D21. [23]

Anexo 6 (Circuito interno de Arduino Nano)

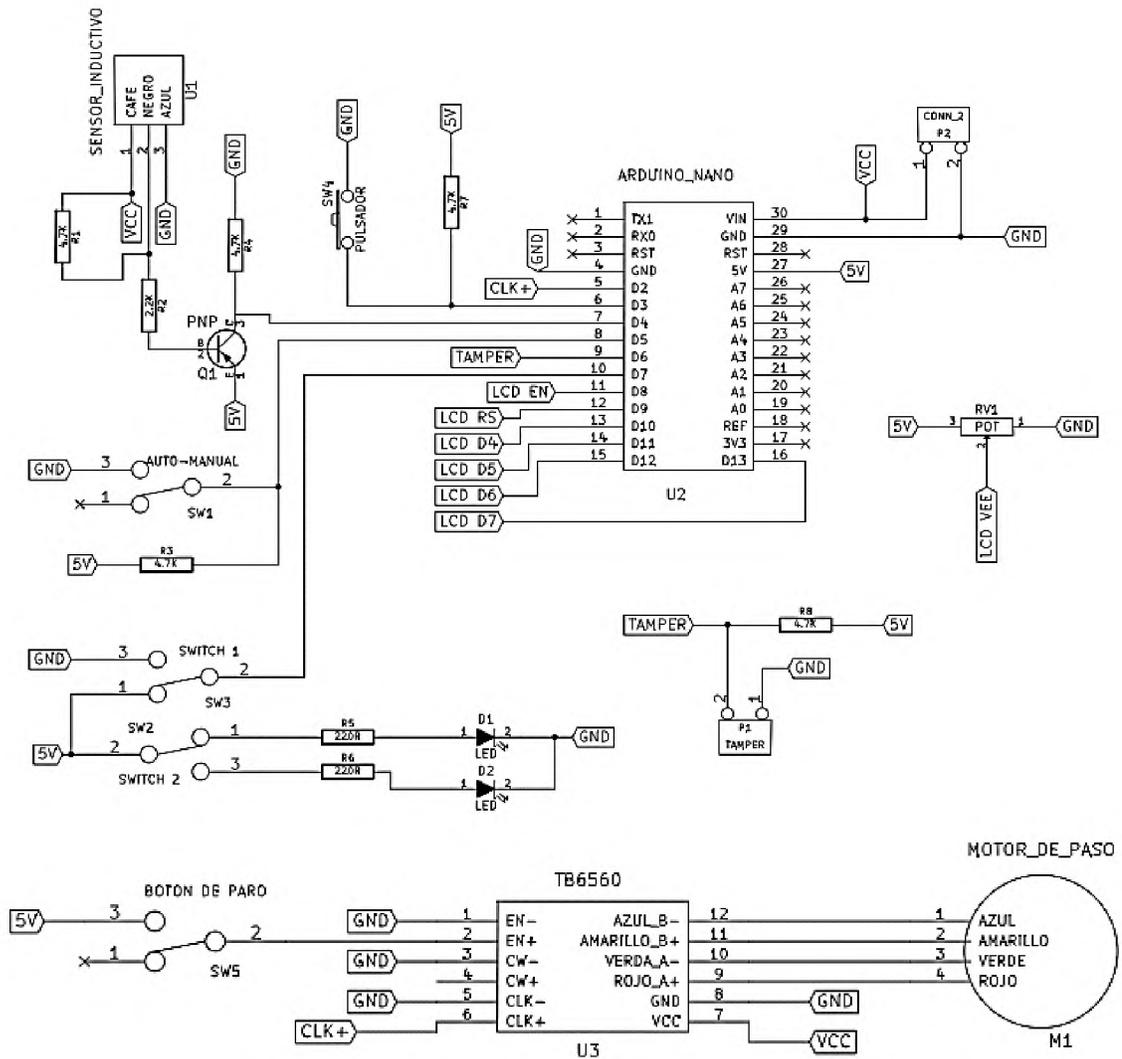
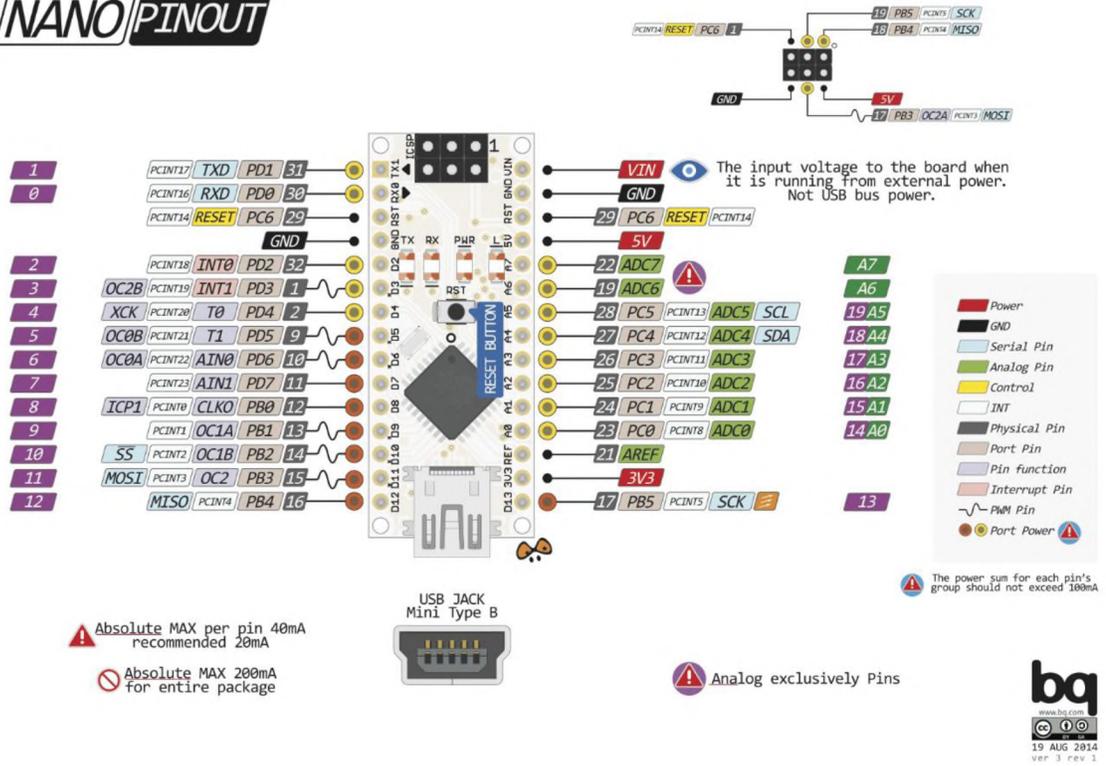


Figura 79. Circuito interno de Arduino nano con sensores y actuadores. [20]

NANO PINOUT



Anexo 7 (Programa en lenguaje C# de la tarjeta Arduino nano)

```
1  const int clk=2;
2  const int pulso=3;
3  const int sensor=4;
4  const int inicio=5;
5  const int tamper=6;
6  const int sentido=7;
7  int val;
8  int val1;
9  int val2;
10 int val3;
11 #include <LiquidCrystal.h>
12 LiquidCrystal lcd(9, 8, 13, 12, 11, 10);
13 //negro,verde-rojo,blanco,verde,negro
14
15
16 void setup() {
17     // put your setup code here, to run once:
18     pinMode(clk,OUTPUT);
19     pinMode(pulso,INPUT);
20     pinMode(sensor,INPUT);
21     pinMode(inicio,INPUT);
22     pinMode(tamper,INPUT);
23     pinMode(sentido,INPUT);
24     val=0;
25     val1=0;
26     val2=0;
27     val3=0;
28     lcd.begin(16, 2);           // Fijamos el numero de caracteres y filas
29     lcd.setCursor(5, 0);
30     lcd.print("TESIS");
31     lcd.setCursor(2, 1);
32     lcd.print("PABLO VINUEZA");
33     delay (3000);
34
35
36
37 }
38
39 void manual(){
40     int estado_pulso=digitalRead(pulso);
41     int estado_tamper=digitalRead(tamper);
42     if (estado_pulso==LOW && estado_tamper==HIGH){
43         digitalWrite(clk,HIGH);
44         delayMicroseconds (500);
45         digitalWrite(clk,LOW);
46         delayMicroseconds (500);
47     }
```

```

48▢ else {
49     int estado_sentido=digitalRead(sentido);
50▢     if (estado_pulso==LOW && estado_sentido==HIGH){
51         digitalWrite(clk,HIGH);
52         delayMicroseconds(500);
53         digitalWrite(clk,LOW);
54         delayMicroseconds(500);
55     }
56 }
57 }
58
59▢ void automatico(){
60     int estado_sensor=digitalRead(sensor);
61     int estado_inicio=digitalRead(inicio);
62▢     if(estado_sensor ==HIGH && estado_inicio==LOW){
63▢         for(int x=0; x<=1900;x++){
64             digitalWrite(clk,HIGH);
65             delayMicroseconds (1000);
66             digitalWrite(clk,LOW);
67             delayMicroseconds (1000);
68         }
69     }
70 }
71▢ else {
72     digitalWrite(clk,LOW);
73 }
74 }
75
76
77▢ void mensajes(){
78     int estado_inicio=digitalRead(inicio);
79     int estado_sentido=digitalRead(sentido);
80▢     if (val==0 && estado_inicio==LOW && estado_sentido==HIGH){
81         val=1;
82         lcd.clear();
83         lcd.setCursor(0, 0);
84         lcd.print("MOD0: AUTO");
85         lcd.setCursor(0, 1);
86         lcd.print("SENTIDO:ADELANTE");
87         val1=0;
88         val2=0;
89         val3=0;
90     }
91
92▢     if (val1==0 && estado_inicio==LOW && estado_sentido==LOW ){
93         val1=1;
94         lcd.clear();
95         lcd.setCursor(0, 0);
96         lcd.print("MOD0: AUTO");
97         lcd.setCursor(0, 1);

```

```

98     lcd.print("SENTIDO: ATRAS");
99     val=0;
100    val2=0;
101    val3=0;
102  }
103
104  }
105
106  void mensajes2(){
107    int estado_inicio=digitalRead(inicio);
108    int estado_sentido=digitalRead(sentido);
109    if (val2==0 && estado_inicio==HIGH && estado_sentido==LOW ){
110      val2=1;
111      lcd.clear();
112      lcd.setCursor(0, 0);
113      lcd.print("MOD0: MANUAL");
114      lcd.setCursor(0, 1);
115      lcd.print("SENTIDO: ATRAS");
116      val3=0;
117      val=0;
118      vall=0;
119    }
120    if(val3==0 && estado_inicio==HIGH && estado_sentido==HIGH){
121      val3=1;
122      lcd.clear();
123      lcd.setCursor(0, 0);
124      lcd.print("MOD0: MANUAL");
125      lcd.setCursor(0, 1);
126      lcd.print("SENTIDO: ADELANTE");
127      val2=0;
128      val=0;
129      vall=0;
130    }
131  }
132
133
134  void loop() {
135    // put your main code here, to run repeatedly:
136    manual();
137    automatico();
138    mensajes();
139    mensajes2();
140
141
142  }

```

Figura 81. Programación de la tarjeta Arduino Nano.

Anexo 8 (Propiedades de la soldadura de estructura soporte de mandril)

Tabla 16. Propiedades de la soldadura de estructura soporte de mandril. [20]

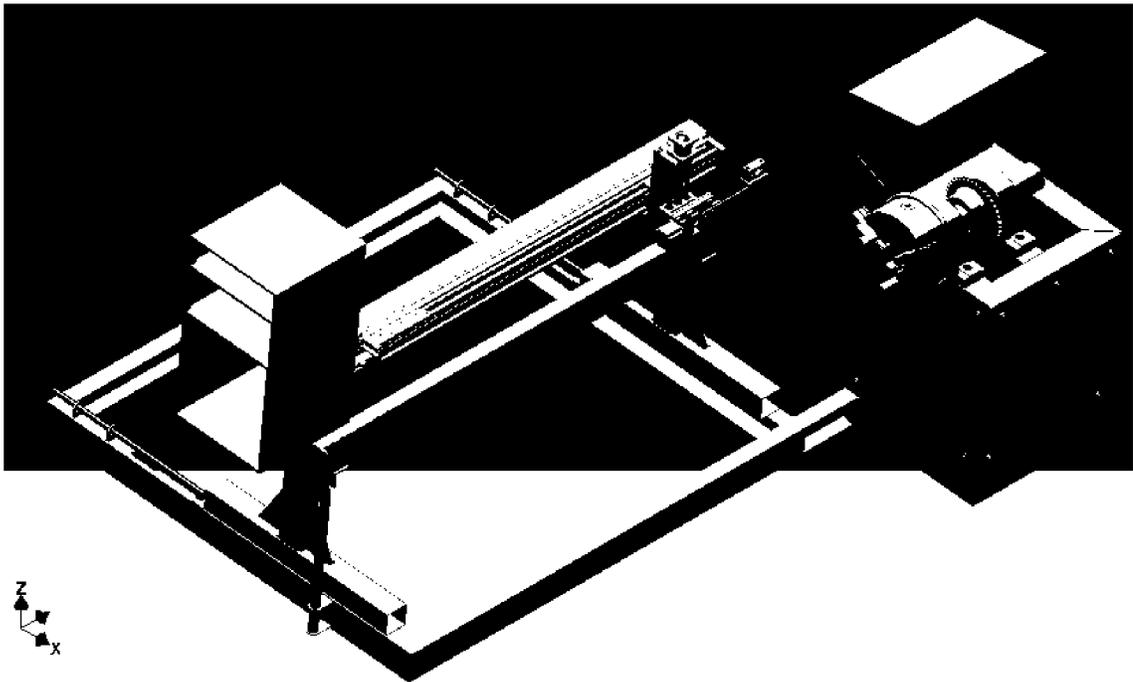
Designación	Tipo	Longitud	U	Masa	U	Área	U	Volumen	U
Fillet Weld 1	Fillet	40	mm	0,004	kg	707,843	mm ²	500	mm ³
Fillet Weld 2	Fillet	40	mm	0,004	kg	707,843	mm ²	500	mm ³
Fillet Weld 3	Fillet	40	mm	0,004	kg	707,843	mm ²	500	mm ³
Fillet Weld 4	Fillet	40	mm	0,004	kg	707,843	mm ²	500	mm ³
Fillet Weld 5	Fillet	40	mm	0,004	kg	707,843	mm ²	500	mm ³
Fillet Weld 6	Fillet	40	mm	0,004	kg	707,843	mm ²	500	mm ³
Fillet Weld 7	Fillet	40	mm	0,004	kg	707,843	mm ²	500	mm ³
Fillet Weld 8	Fillet	40	mm	0,004	kg	707,843	mm ²	500	mm ³
Fillet Weld 9	Fillet	65,075	mm	0,006	kg	1,14E+03	mm ²	813,438	mm ³
Groove Weld 1	Groove	N/A		0,002	kg	693,741	mm ²	282,516	mm ³
Groove Weld 2	Groove	N/A		0,002	kg	693,741	mm ²	282,516	mm ³
Groove Weld 3	Groove	N/A		0,002	kg	693,741	mm ²	282,516	mm ³
Groove Weld 4	Groove	N/A		0,002	kg	693,741	mm ²	282,516	mm ³
Fillet Weld 11	Fillet	65,075	mm	0,026	kg	2,32E+03	mm ²	3,25E+03	mm ³
Fillet Weld 12	Fillet	65,075	mm	0,026	kg	2,32E+03	mm ²	3,25E+03	mm ³
Fillet Weld 13	Fillet	65,075	mm	0,026	kg	2,32E+03	mm ²	3,25E+03	mm ³
Fillet Weld 14	Fillet	65,075	mm	0,019	kg	1,19E+03	mm ²	2,44E+03	mm ³
Fillet Weld 15	Fillet	100	mm	0,039	kg	3,51E+03	mm ²	5,00E+03	mm ³
Fillet Weld 16	Fillet	140,965	mm	0,052	kg	4,53E+03	mm ²	6,55E+03	mm ³
Fillet Weld 17	Fillet	2,234	mm	0,003	kg	312,276	mm ²	355,555	mm ³
Fillet Weld 18	Fillet	2,234	mm	0,003	kg	312,276	mm ²	355,555	mm ³
Fillet Weld 19	Fillet	162,517	mm	0,064	kg	5,63E+03	mm ²	8,18E+03	mm ³
Fillet Weld 20	Fillet	65,075	mm	0,026	kg	2,32E+03	mm ²	3,25E+03	mm ³
Fillet Weld 21	Fillet	65,075	mm	0,026	kg	2,32E+03	mm ²	3,25E+03	mm ³
Fillet Weld 22	Fillet	65,075	mm	0,026	kg	2,32E+03	mm ²	3,25E+03	mm ³
Fillet Weld 23	Fillet	65,075	mm	0,026	kg	2,32E+03	mm ²	3,25E+03	mm ³
Groove Weld 5	Groove	N/A		0,005	kg	1,05E+03	mm ²	634,867	mm ³
Groove Weld 6	Groove	N/A		0,005	kg	1,05E+03	mm ²	634,867	mm ³
Groove Weld 7	Groove	N/A		0,005	kg	1,05E+03	mm ²	634,867	mm ³
Groove Weld 8	Groove	N/A		0,005	kg	1,05E+03	mm ²	634,867	mm ³
Groove Weld 9	Groove	N/A		0,005	kg	1,05E+03	mm ²	634,867	mm ³
Groove Weld 10	Groove	N/A		0,005	kg	1,05E+03	mm ²	634,867	mm ³
Groove Weld 11	Groove	N/A		0,005	kg	1,05E+03	mm ²	634,867	mm ³
Groove Weld 12	Groove	N/A		0,005	kg	1,05E+03	mm ²	634,867	mm ³
Groove Weld 13	Groove	N/A		0,005	kg	1,05E+03	mm ²	634,867	mm ³
Groove Weld 14	Groove	N/A		0,005	kg	1,05E+03	mm ²	634,867	mm ³
TOTAL				0,458	kg	51801,6	mm ²	57958,4	mm ³

Anexo 9 (Manual de operación y mantenimiento de la máquina)

Manual de Instrucciones

POSICIONADOR DE SOLDADURA PARA PROCESO “FCAW”

Elaborado por: Pablo Vinueza Sandoval



Quito, julio 2017

INTRODUCCION

EL POSICIONADOR DE SOLDADURA PARA PROCESO “FCAW” es una máquina automática de soldar la cual se puede añadir revestimientos duros a diversos procesos industriales con la finalidad de dar mayor resistencia al material y que se obtenga un menor desgaste de la superficie así dando mayor vida de uso y sin afectar la maquinaria.

PERFIL DE SEGURIDAD

Protección del operador

- Utilizar ropa protectora cerrada y herramientas adecuadas para evitar el daño de la piel y protegerse el cuello, la cara y los lados de la cabeza
- Utilice guantes protectores para soldar
- Usar máscara de soldar que cubra toda la cabeza y que se pueda observar el arco eléctrico solamente a través del visor de la máscara para proteger adecuadamente los ojos.
- Mantenga los lentes protectores limpios, además de reemplazarlos si se quiebran o se agrietan
- Evitar manipular con su cuerpo las salidas “+” y / o “-” de la máquina de soldar
- Evitar soldar en metales recubiertos que contengan zinc, mercurio, cromo, grafito, plomo, cadmio o berilio a menos que el operario y las personas que se encuentren en el mismo lugar usen un respirador con suministro de aire.

Instrucciones de Seguridad

El posicionador de soldadura para proceso “FCAW” es una máquina automática de soldar que contiene sofisticados sistemas de control y potencia por lo que se recomienda no utilizarla inadecuadamente.

- Antes de soldar verifique si las conexiones están correctas y seguras.
- Compruebe que la conexión a tierra del enchufe esté debidamente conectada y que no estén dañados
- Evitar mover y hacer ajustes al equipo cuando se esté soldando.
- Verificar que los cables de salida no estén en cortocircuito, sin cortes o uniones de mala calidad.
- Alrededor del sitio de trabajo no debe haber productos inflamables o explosivos.
- Mantener a la mano un extintor

Instalación de la Máquina de Soldar y Protección del Lugar de Trabajo

Para evitar un mal trabajo de soldadura que pueda generar fisuras internas, agrietamientos por exceso de calor, deposición inadecuada del material de soldadura entre otros se debe:

- Proteger al operario y la máquina ante caídas de objetos cuando exista dicho peligro.
- Evitar exponer al sol, lluvia, humedad o a temperaturas excesivas
- Operar a lo menos 50 cm. alrededor de la máquina de soldar, para tener una buena ventilación y evitar que el humo ingrese a los pulmones.
- Evitar que piezas extrañas ingresen al interior de la máquina.
- Verificar que no existan interferencias electromagnéticas cerca a la máquina y del operario.
- Instalar la maquina sobre superficies planas.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Condiciones de la instalación de suministro eléctrico

Funciona a con dos entradas de voltaje trifásico a 220 V y una a 110 V:

La primera entrada de voltaje conecta la soldadora y el regulador de salida de alambre y tiene la capacidad de regular el voltaje y amperaje adecuado para soldar va desde 30 a 450 amperios DC,

La segunda entrada de Voltaje 220 V se conecta al motor y éste tiene la capacidad de regular el voltaje, por medio de un variador de velocidad controlando la velocidad de rotación así como su sentido.

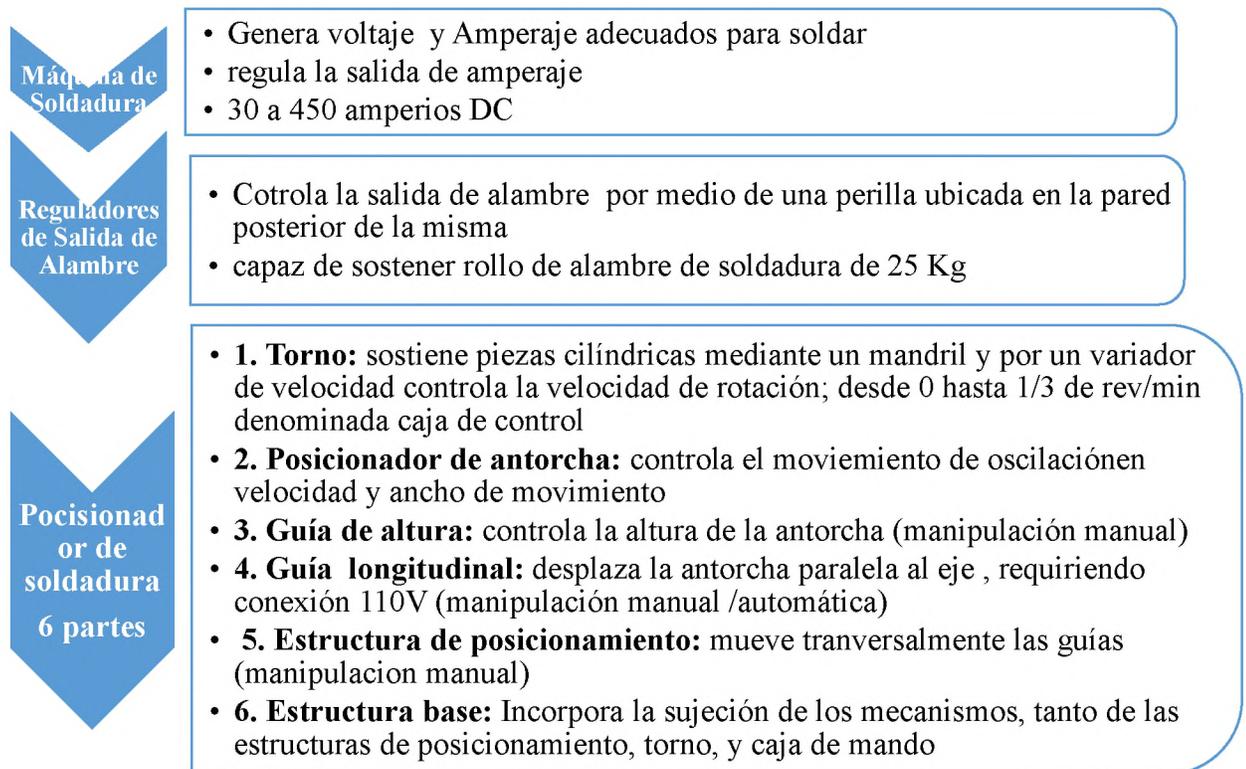
La entrada de voltaje 110 V conecta la sección de mando, y esta es encargada de controlar los movimientos así como la posición de la antorcha de soldar.

La fluctuación de voltaje de alimentación no debe superar 15% del valor nominal. La fluctuación de la frecuencia no debe superar 1% del valor nominal.

Principio de funcionamiento de la máquina de soldar

La máquina de soldar obtiene la energía para su funcionamiento de la línea trifásica de 220 V, luego se rectifica por el puente rectificador y se filtra por los condensadores para obtener corriente continua.

Se controla el movimiento horario y anti horario así como la velocidad de rotación mediante un variador de velocidad situado en la parte baja de la caja de mando.



Datos técnicos

Parámetro	Unidad	Valores
Conexión a la red	Hz	220
Frecuencia	Amp	50/60
Corriente de entrada	KVA	24
Potencia de entrada	Volt	5,3
Tensión de Vacío (Arco manual)	Volt	78
Tensión de trabajo	Amp	25,2
Rango de corriente	Amp	30 - 450
Ciclo de trabajo 40%	Cos	130
Ciclo de trabajo 60%	Cos	106
Ciclo de trabajo 100%	Cos	82
Factor de potencia		0,74
Categoría de aislamiento		H
Protección de carcasa	IP	IP
Tipo de enfriamiento		Ventilación forzada
Terminales de salida	Mm ²	25
Dimensiones	mm	2200 x 1900 x 1800
Peso Neto	Kg	20000
Fusible recomendado	Amp	16

CUIDADO Y MANTENIMIENTO

Solución de problemas

No.	Problema	Análisis	Solución
1	Motor ventilador no funciona	Motor ventilador quemado	Reemplazar el motor ventilador
		Cables de alimentación del motor cortados o desconectados	Revisar y/o reparar cables defectuosos
2	La máquina no enciende	Cable de alimentación cortado o defectuoso	Reemplazar cable de alimentación

		Interruptor general de encendido defectuoso o desconectado	Reemplazar interruptor o reparar conexiones
3	Soldadura sucia, porosa o quebradiza.	Boquilla soldadora obturada.	Limpiar o cambiar la boquilla soldadora
4	El arco funciona, pero no se alimenta alambre	El regulador de la salida del alambre mal conectado, y/o falta de alambre	Sustituir el selector de velocidad del alambre.
			Verificar la existencia de alambre
			Sustituir el motor
			Verificar posible obstrucción de alambre.
5	La soldadura no penetra o el rendimiento es bajo.	Alambre de diámetro incorrecto.	Utilizar alambre de soldar de diámetro correcto
		Mala conexión a tierra.	Cambiar de posición la pinza. Revisar la conexión entre el cable y la pinza.
		Conexión suelta en la pistola o pistola defectuosa.	Apretar o cambiar la pistola.
6	El alambre se acumula en el rodillo impulsor.	Demasiado tensión en el rodillo impulsor	Ajustar la tensión del impulsor
		Forro de la pistola sucia, desgastada o dañada.	Sustituir el forro de la pistola.
		Punta de contacto obturada o dañada.	Cambiar la punta de contacto
7	La pinza para sujetar la pieza a trabajar y/o el cable se calienta	Mala conexión del cable a la pinza.	Apretar la conexión o cambiar el cable
8	La boquilla de la pistola forma arco con la superficie de trabajo.	Acumulación de escoria dentro de la boquilla o boquilla en cortocircuito.	Limpiar o sustituir la boquilla según sea necesario.

9	El alambre empuja el soplete alejándolo de la pieza a trabajar	Velocidad excesiva del alambre.	Reducir la velocidad del alambre.
10	El alambre se pega a la punta de contacto.	Alimentación lenta del alambre	Aumentar la velocidad del alambre
11	Ancho de cordón muy delgado	Distancia de oscilación reducida	Aumentar el ancho de oscilación
			Aumentar la velocidad de oscilación
12	Velocidad de revolución del torno baja	La perilla de regulación defectuosa	Cambio de la perilla defectuosa
			Regulación de la velocidad de rotación

Cuidado y Mantenimiento

El mantenimiento de la máquina se tiene que realizar cada 3 meses por recomendación general y la lubricación de las guías de desplazamiento cada 2 semanas.

No.	Equipo	Mantenimiento			
		3° mes	6° mes	9° mes	12° mes
1	Motor				Δ ◇
2	Eje principal		Δ		Δ ◇
3	Chumaceras	◇	◇	Δ ◇	O
4	Mandril		Δ		Δ
5	Estructura de torno			Δ	
6	Estructura de posicionador		Δ		Δ
7	Estructura base			Δ	
8	Guía longitudinal	Δ ◇	Δ ◇	Δ ◇	Δ ◇ O
9	Guía vertical	Δ ◇	Δ ◇	Δ ◇	Δ ◇ O
10	Guía de oscilación	Δ ◇	Δ ◇	Δ ◇	◇ O
11	Placa de sujeción de antorcha			Δ	
12	Caja de mando (Rack)			Δ	
13	Regulador de salida de alambre		Δ		Δ O
14	Soldadora			Δ	

Se realiza lubricación (◇), limpieza (Δ) y cambio de componentes (O), según lo descrito en la tabla anterior.

Para mantener la máquina en buenas condiciones y protegerla de daños siga las siguientes instrucciones:

- Debe realizar la lubricación de las guías: Longitudinal, altura y oscilación con un lubricante de WD-40
- Limpie la máquina con un paño seco y suave, no usar limpiadores abrasivos o volátiles
- El lugar de almacenamiento debe estar seco, ventilado, sin gases corrosivos ni polvo.

- d. La temperatura debe estar entre 15°C Y +30°C, y la humedad relativa no más del 90%.
- e. Cuando finalice el trabajo o se aleje del lugar por un momento del lugar debe asegurarse de apagar el equipo.
- f. El espacio necesario para la instalación del equipo es de 4 m. X 3m no siendo necesario que el piso se encuentre nivelado.
- g. Cuando se ha terminado el trabajo, realizar una limpieza pos-soldadura en la superficie de trabajo terminado removiendo la escoria adherida. Teniendo como cuidado que la escoria se haya enfriado y endurecido.

Transporte

- a. Si es necesario el transporte a gran distancia, debe ponerlo en una caja de madera y asegurarse que en la caja contenga símbolos de “HACIA ARRIBA” y “EVITAR LLUVIAS Y GOLPES”.
- b. En el transporte hay que evitar exponer el equipo a l sol y a la lluvia.

Lista de partes y piezas

<i>No.</i>	<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>
1	Motor	1
2	Eje principal	1
3	Chumaceras	2
4	Mandril	1
5	Estructura de torno	1
6	Estructura de posicionador	1
7	Estructura base	1
8	Guía longitudinal	1
9	Guía vertical	1
10	Guía de oscilación	1
11	Placa de sujeción de antorcha	1
12	Caja de mando (Rack)	1
13	Regulador de salida de alambre	1
14	Soldadora	1
15	Tornillos de sujeción de chumaceras M20	4
16	Tornillos de sujeción de estructuras 3/8 “	20
17	Tornillos allen de sujeción de guías M8	16
18	Tornillos de sujeción de guía longitudinal	8

PLANOS