

**DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA EMPALME DE CONDUCTOR UNIPOLAR
AISLADO DIRIGIDO AL ÁREA ELECTRICA DE TECNIORIENTE S.A.S**

.....

YOLMAR ALEXIS ROMERO HENAO

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA
2020**

**DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA EMPALME DE CONDUCTOR UNIPOLAR
AISLADO DIRIGIDO AL ÁREA ELECTRICA DE TECNORIENTE S.A.S**

YOLMAR ALEXIS ROMERO HENAO

**Proyecto de grado presentado como requisito
para optar al título de Ingeniero Electromecánico**

Director

M.Sc. Ing. Mecánico CIRO ANTONIO CARVAJAL LABASTIDA

Codirector

Ing. Electrónico FEISSAN ALONSO GERENA MATEUS

**Línea de Investigación:
Automatización de procesos**

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA
2020**

A Dios, por protegerme y permitirme haber llegado a tan importante momento de mi formación personal y profesional.

A mi hija Mariana, quien ha sido mi mayor motivación para culminar esta carrera, por quien decidí iniciar mis estudios universitarios para poder brindarle un mejor futuro.

A mi Señora: Leydy Karina por ser la mujer ideal, por compartir su vida conmigo y porque durante las largas jornadas de estudio en la carrera pacientemente me apoyo y con amor formó parte de ella.

A mis padres, Vicente y Piedad por ser el ejemplo de superación y motivarme siempre con su apoyo y alegría de una forma tan amorosa, que siento la fortaleza necesaria para seguir adelante y lograr el éxito.

A Erik Arciniegas Gerente General de Tecnioriente y Édison Pérez Gerente de proyectos Tecnioriente por su apoyo incondicional.

YOLMAR ALEXIS

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

CIRO ANTONIO CARVAJAL LABASTIDA, Ingeniero, Coordinador de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño, por convertirse en nuestro Padre estudiantil y que con sus enseñanzas ayudó a formar las personas e Ingenieros que hoy somos.

Dr. Ing. ANTONIO GAN ACOSTA, Ingeniero de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño, por su ayuda incondicional como asesor.

EDGAR ALFONSO SANTOS HIDALGO, Ingeniero de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño, quien nos mostró que con firmeza y fuerza de carácter se pueden llegar a cumplir todas nuestras metas.

MSc. Ing. OSCAR ORLANDO GUERRERO DIAZ, Ingeniero de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño, por su ayuda incondicional como maestro y amigo.

Ing. BENJAMÍN OTERO, Ingeniero de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño, por su ayuda incondicional como maestro y amigo.

FEISSAN ALONSO GERENA MATEUS, Ingeniero de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño, por su ayuda incondicional como director, maestro y amigo.

Ing. Roció Contreras Manrique y Dr. Cesar Augusto Hernández Suárez por su apoyo incondicional y su orientación en la obtención de este logro.

Sr Erik Arciniegas Gerente General de Tecnioriente y el Ing. Edison Pérez Gerente de proyectos Tecnioriente por su ayuda incondicional.

RESUMEN

El presente trabajo se basó en la investigación de una herramienta que realiza el proceso de empalme de cables eléctricos, conscientes de que generalmente en los trabajos de instalaciones eléctricas, se presenta la necesidad de realizar empalmes de conductores de alambre aislados y que en un alto porcentaje esta práctica genera inconvenientes si no se ejecuta adecuadamente, llegando a provocar diferentes fallas en instalaciones eléctricas, como sobrecarga en los circuitos, recalentamiento de conductores, chisporroteos, cortocircuitos e incendios, entre otros, también el uso de una técnica inadecuada al realizar el procedimiento para empalmar dos o más conductores se puede presentar incidentes o accidentes eléctricos que ponen en riesgo la integridad física del técnico o profesional electricista que manipula y hace esta actividad. El trabajo, está dirigido al diseño de la herramienta que realiza un empalme de conductores de alambre aislado, lo hace mediante 7 motores de corriente continua que actúan desde los extremos opuestos a las puntas del conductor. un mecanismo de piñones y partes mecánicas las cuales realizan el trabajo en una cabina encapsulada evitando el contacto manual directo del operario, garantizando la calidad del empalme y la seguridad del electricista.

Se realizó el diseño estructural a partir de varias pruebas buscado encontrar la mejor opción para satisfacer la necesidad planteada y finalmente se realizó la simulación con software de simulación electrónico demostrando la viabilidad del proyecto.

Palabras claves: empalme, conductor, simulación, herramienta, piñones.

ABSTRACT

The present work was based on the investigation of a tool that performs the splicing process of electric cables, aware that generally in the work of electrical installations, there is a need to perform splicing of insulated wire conductors and that in a high percentage This practice creates inconveniences if it is not executed properly, leading to different failures in electrical installations, such as overloading of the circuits, overheating of conductors, sparks, short circuits and fires, among others, also the use of an inappropriate technique when carrying out the procedure to Joining two or more conductors can present incidents or electrical accidents that put the physical integrity of the technician or professional electrician who manipulates and does this activity at risk. The work is directed to the design of the tool that performs a joint of insulated wire conductors; it does it by means of 7 direct current motors that act from the opposite ends to the tips of the conductor. a pinion mechanism and mechanical parts which perform the work in an encapsulated cabin avoiding direct manual contact of the operator, guaranteeing the quality of the joint and the safety of the electrician.

The structural design was carried out from various tests seeking to find the best option to satisfy the need and finally the simulation was carried out with electronic simulation software demonstrating the viability of the project.

Key words: splice, driver, simulation, tool, sprockets.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. FUNDAMENTACIÓN	17
1.1 EL PROBLEMA	17
1.2 JUSTIFICACIÓN	17
1.3 OBJETO	18
1.4 OBJETIVOS	18
1.4.1 Objetivo general	18
1.4.2 Objetivos Específicos	18
1.5 ACOTACIONES	18
1.5.1 Alcance	19
1.5.2 Limitaciones	19
1.6 LEGISLACIÓN	19
1.6.1 Impacto ambiental	19
1.6.2 Marco internacional	19
1.6.3 Marco nacional	20
1.6.4 Licenciamiento de Software	20
1.6.5 Marco institucional	20
2. ARGUMENTACIÓN	21
2.1 ANTECEDENTES	21

2.1.1 Nivel internacional	21
2.1.2 Nivel nacional	22
2.1.3 Nivel local	23
2.2 MARCO TEÓRICO	23
2.2.1 Diseño Mecánico	23
2.2.2 Fases de diseño	23
2.2.2.1 Identificar las necesidades	23
2.2.2.2 Especificaciones	24
2.2.2.3 Consideraciones de diseño	24
2.2.2.4 Herramientas y recursos de diseño	25
2.2.2.5 Herramientas computacionales	25
2.2.3 Empalmes eléctricos	26
3. METODOLOGÍA	29
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	29
3.2 MARCO ESTRATÉGICO TÁCTICO	29
3.3 PLAN DE TRABAJO	29
3.3.1 Etapa 1	30
3.3.2 Etapa 2	30
3.3.3 Etapa 3	30
4. DESARROLLO DEL PROYECTO	32
4.1 ETAPA 1: PROYECTAR LAS PIEZAS MECÁNICAS PARA EL ENSAMBLE DE LA HERRAMIENTA UTILIZANDO SOFTWARE CAD	32

4.1.1 Metodología aplicada en el diseño	32
4.1.2 Diseño de elementos mecánicos	35
4.1.2.1 Engranajes Rectos. Piñón motor 4 conductor y Piñón Conducido de eje del servomotor.	35
4.1.2.2 Piñón menor Y corona de Torsión	40
4.1.2.3 Leva	44
4.1.2.4 Eje	52
4.2 ETAPA 2: DIAGRAMAR EL CIRCUITO ELECTRÓNICO DE CONTROL EMPLEANDO SOFTWARE DE DISEÑO ELECTRÓNICO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA	60
4.2.1 Sistemas embebidos arduinos	61
4.2.1.1 Estructura Hardware Arduino	61
4.2.1.2 Alimentación	63
4.2.1.3 Programación	63
4.2.1.4 Memoria	63
4.2.2 Sistema de control y potencia	64
4.2.2.1 Interfaz de potencia	64
4.2.3 Programación y Simulación del sistema de control	66
4.2.3.1 Diseño del circuito en proteus	66
4.2.3.2 Diseño del programa	67
4.3 ETAPA 3 PROYECTAR LOS PLANOS MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS UTILIZANDO SOFTWARE CAD, PARA EL DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA	72
4.3.1 Planos	72
4.3.1.1 Emsamble	72

4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO	78
4.5 ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL	82
4.6 GLOSARIO	83
5. CONCLUSIONES	85
6. RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	88

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Dayco Rubber internacional	89
ANEXO B. DATA SHEET I298	90
ANEXO C. Cuadro de Secuencia	91
ANEXO D. Manual Usuario	92
ANEXO E. Simulación de Arduino en Proteus	93
ANEXO F. Motores	94
ANEXO G. Planos Mecánicos - TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR	95
ANEXO H. Planos Electrónicos	96
ANEXO I. ANEXO I CÓDIGO FUENTE DEL SKETCH DEL PROGRAMA	98

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Empalmadora por ultrasonido Ultra-splice 40 de Branson	22
Figura 2. Kit para empalmes eléctricos	22
Figura 3. Empalmes eléctricos	27
Figura 4. Comparación empalmes eléctricos	28
Figura 5. Gestión diseño mecánico	33
Figura 6. Sistema de engranes eje y leva	35
Figura 7. Eje rotativo porta leva	36
Figura 8. Engranes de torsión de conductor tipo alambre	40
Figura 9. Ejes para los diagramas s v a j	46
Figura 10. Comparación de tres funciones de desplazamiento para leva con dos detenimientos	47
Figura 11. Diagramas s v a j para la función de subida polinomial 3-4-5	49
Figura 12. Aceleración senoidal de la función cicloidal	50
Figura 13. Desplazamiento de la leva altura maxima	51
Figura 14. Desplazamiento angular de la leva 180°	52
Figura 15. Diagrama de cuerpo libre en el eje	54
Figura 16. Analisis desplazamiento seguidor	55
Figura 17. Diagrama cortante, flector; xy	57
Figura 18. Carga estática	57
Figura 19. Arduino MEGA	61

Figura 20. Arduino MEGA ADK Entradas y Salidas	63
Figura 21. Sistemas a bloques	64
Figura 22. Interfaz de potencia, módulo de 8 relés	65
Figura 23. Circuito electrónico interfaz L298	66
Figura 24. Circuito electrónico de control de la herramienta	67
Figura 25. Secuencia de control de los motores	68
Figura 26. Circuito de control en proteus	69
Figura 27. Sketch de programación del Arduino	70
Figura 28. Sketch con el programa cargado	71
Figura 29. Herramienta “TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR”	72
Figura 30 . Chasis	73
Figura 31. Carcasa	73
Figura 32. Ensamble “TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR”	74
Figura 33. Vastagos, Guías, Soportes	74
Figura 34. Cortador de conductores	75
Figura 35. Eje de leva	75
Figura 36. Piñon conductor	76
Figura 37. Guia de Piñon	76
Figura 38. Guia conductor	77
Figura 39. Porta guías	77
Figura 40. Plano Circuito electrónico de control	78
Figura 41. Manejo Integral de Residuos sólido	82

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Apreciaciones de diseño	25
Cuadro 2. Materiales engranes (p y g)	36
Cuadro 3. Paso diametral	38
Cuadro 4. Materiales engranes (p' y g')	41
Cuadro 5. Notación utilizada en el diseño de Levas	45
Cuadro 6. Factores para velocidad y aceleración pico de algunas funciones de leva	51
Cuadro 7. Factores de confiabilidad k_e	53
Cuadro 8. Parámetros del factor de modificación superficial de Marín	53
Cuadro 9. Características de Hardware Arduino Mega	62
Cuadro 10. Presupuesto en detalle	79
Cuadro 11. Presupuesto global del proyecto	81

INTRODUCCIÓN

La empresa Tecnioriente, está ubicada en la ciudad de Arauca, Departamento de Arauca, ubicado en el oriente colombiano y durante 17 años se ha dedicado a los procesos industriales tales como metalmecánica, mecanizados, sistemas eléctricos, entre otros.

Uno de los objetivos más importantes, es garantizar la calidad y el cumplimiento de las normas y estándares que rigen para los diferentes procesos que se llevan a cabo dentro de esta organización. En esta ocasión, razón de ser del proyecto, se enfoca en la solución de uno de los problemas más frecuentes que se presentan en la ejecución de trabajos eléctricos, como son los empalmes de conductores aislados, factor que influye directamente en el impacto de la productividad.

En una instalación eléctrica, siempre se trata de realizar el menor número de empalmes, sin embargo, no siempre se cumple con este objetivo y es necesario recurrir a esta práctica cotidiana.

Un empalme eléctrico se denomina como la unión de dos o más conductores en instalaciones eléctricas, existen técnicos que realizan esta actividad de una manera inadecuada dejando el proceso empalme con contactos falsos y flojos, generando problemas que afectan el buen funcionamiento del circuito eléctrico. En la actualidad, se han desarrollado varios dispositivos que permiten el enlace entre cables de manera sencilla, sin embargo, la mayoría de electricistas acuden a realizar empalmes manualmente. Esta recurrente actividad, requiere de especial cuidado y supervisión. Es importante que los electricistas se entrenen y adquieran la experiencia adecuada, debido a que la mayoría de los accidentes donde se presentan incendios, es por causa de cortocircuitos derivados de esa mala práctica y proceden de un empalme de conductores mal realizado.

Cuando un empalme no está correctamente realizado, puede causar problemas en una instalación eléctrica tales como sobrecargas, recalentamiento de conductores, cortocircuito, chisporroteo e incendios.

Si la carga eléctrica está presente en un circuito y el empalme presenta un mal ajuste, éste presentará calentamiento, las chispas generadas al entrar en contacto con materiales inflamables cercanos, también el aumento de la temperatura puede causar que se derrita el aislamiento del conductor y si no es de buena calidad puede causar ignición.

En el evento en que se llegará a ocasionar un cortocircuito, aunque el interruptor termomagnético desconecte la energía, el fuego ya se habrá propagado.

Teniendo en cuenta esta variedad de tipos de empalme, el proyecto se centra en el diseño de una herramienta para la elaboración del empalme por Unión Western, el cual se realiza a través de una herramienta que posee una ranura donde se introducen las puntas de los cables y se procede a empalmar mediante un mecanismo que sujeta y asegura los cables realizando el empalme limpio y seguro de manera automática.

1. FUNDAMENTACIÓN

1.1 EL PROBLEMA

En las instalaciones eléctricas existen diversos procesos en los cuales se presentan problemas por no aplicar correctamente los protocolos en cada una de las actividades que se desarrollan en el montaje y puesta en marcha de la instalación; uno de ellos son los empalmes de conductores, (cables o alambres) cuando quedan mal realizados presentan fallas de funcionamiento en la instalación, como se describió anteriormente, en la actualidad en varias ocasiones se han presentado incidentes que afectan la integridad física de los técnicos electricistas en la empresa TECNORIENTE cuya actividad principal es el mantenimiento a equipos de la industria petrolera.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En las instalaciones eléctricas residenciales e industriales los elementos que proveen las trayectorias de circulación de la corriente eléctrica son los conductores o alambre forrado en material aislante, desde luego el material aislante no es conductor, es por esto que cuando se usan empalmes se debe garantizar un empalme con todas las normas del RETIE.

Con el diseño de la herramienta para realizar empalmes de conductores de alambre aislado se garantiza la calidad del empalme y mantiene en óptimas condiciones la instalación eléctrica, evitando los posibles problemas por sobrecargas, recalentamiento de conductores, cortocircuito, chisporroteo e incendios, no obstante, se busca garantizar la seguridad física del técnico electricista evitando accidentes de trabajo como pinchazos, cortes en la piel, atrapamiento, entre otras.

La Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta, contribuye a la formación de nuevos ingenieros y tecnólogos en el área electromecánica, formados integralmente para que apoyen a los sectores económicos. Por otra parte, la formación no tiene sentido si no está informada del devenir tecnológico de las empresas y especialmente de las nuevas tecnologías que se están implementando en la industria del sector eléctrico aplicada al mantenimiento en campos petroleros; la formación del Ingeniero y Tecnólogo UAN tiene que llevarse a cabo teniendo en cuenta las tecnologías usadas por la industria en el presente y las que se pueden usar en un futuro inmediato.

Con el desarrollo de este proyecto, se está dando cumplimiento al requisito para la obtención del título de Ingeniero Electromecánico por parte del estudiante de la Facultad de Ingeniería Electromecánica proponente del proyecto.

1.3 OBJETO

Sistema mecánico y de control electrónico para herramienta de empalmes de alambre aislado.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general. Diseñar una herramienta para empalme de conductores de alambre aislado, mediante softwares de diseño mecánico y electrónico, para implementarlo en Tecnioriente SAS.

1.4.2 Objetivos Específicos. Proyectar las piezas mecánicas para el ensamble de la herramienta utilizando software CAD.

Diagramar el circuito electrónico de control empleando software de diseño electrónico para la automatización de la herramienta.

Proyectar los planos mecánicos y electrónicos utilizando software CAD, para el desarrollo de la herramienta.

1.5 ACOTACIONES

Acuerdo de conformidad adendum: Para hacer realidad el proyecto global denominado DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA EMPALME DE CONDUCTOR UNIPOLAR AISLADO DIRIGIDO AL ÁREA ELÉCTRICA DE TECNORIENTE S.A.S.

El diseño de la herramienta se aplicó específicamente para el conductor calibre 12 AWG ya que es el más usado en la empresa Tecnioriente SAS.

Se determinó el nombre “TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR” a la herramienta para empalme de conductor unipolar aislado, como un nombre comercial.

1.5.1 Alcance. El alcance del proyecto es el diseño de la herramienta para empalme de conductor de alambre aislado usado en la empresa Tecnioriente SAS aplicando normativa del RETIE.

Propuesta para mejorar el desarrollo de la investigación en el campo del diseño mecánico aplicado a la industria en la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño UAN sede Cúcuta.

1.5.2 Limitaciones. El trabajo de grado se desarrolla en la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta y la empresa Tecnioriente SAS de la ciudad de Arauca en un término de cuatro meses y es aplicado a la formación en el programa de Ingeniería Electromecánica.

El desarrollo del trabajo de grado se limita al diseño de la herramienta para empalme de conductor de alambre aislado AWG No 12 usado en la empresa Tecnioriente SAS.

1.6 LEGISLACIÓN

1.6.1 Impacto ambiental. Con este proyecto se busca tomar conciencia de la aplicación correcta en el manejo de desechos eléctricos. Guiados por la norma plan de gestión integral de residuos sólidos. ISO 14001 VERSIÓN 2015.

1.6.2 Marco internacional. A nivel internacional se encuentran las siguientes normas:

NEMA por sus siglas en inglés (National Electric Manufactures Association) Estándares principales en los Estados Unidos.

La norma NFPA 70E: Norma Norte americana que fue creada en consenso general por la **National Fire Protection Association**, y presenta los lineamientos planteados en los reglamentos y normas que rigen las instalaciones eléctricas en baja tensión.

IEC 60364. Norma europea que rige las instalaciones eléctricas para baja tensión para edificios y es regulada por la Comisión Electrotécnica Internacional el cual se refiere al estándar internacional en instalaciones eléctricas de edificios.

1.6.3 Marco nacional. Norma Técnica Colombiana NTC 2050 código eléctrico colombiano.

Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE.

Norma ISO 9001/2008. Norma que establece los requisitos de sistemas de gestión de calidad referente al “DISEÑO”.

1.6.4 Licenciamiento de Software. SOLIDWORKS 2020 licencia estudiantil
https://www.solidworks.es/sw/education/4533_ESN_HTML.htm
DYNACAM licencia estudiantil
<https://es.freedownloadmanager.org/Windows-PC/DYNACAM-Student-Edition.html>
PROTEUS Licencia SENA (Convenio UAN-SENA)
ARDUINO Software libre

1.6.5 Marco institucional. Acuerdo N° 48 de la Universidad Antonio Nariño para los proyectos de grado, “reglamento de trabajo de grado”. El Consejo Directivo de la Universidad Antonio Nariño en uso de sus Facultades legales y estatutarias y en particular las que son mencionadas en el Reglamento Estudiantil en sus Artículos 9,10, 11, 12 y 43.

2. ARGUMENTACIÓN

2.1 ANTECEDENTES

Después de realizar un rastreo bibliográfico sobre el proyecto de investigación que se adelanta, se puede decir, que no se encontraron trabajos de grado, artículos de revista e informes de investigación, que hagan una referencia específica a la actividad del proyecto. A continuación, se relacionan algunos, equipos similares al tema en estudio.

2.1.1 Nivel internacional. No se encontraron vestigios de investigaciones o desarrollo de proyectos similares a la actividad del proyecto propuesto; indagando en el mercado internacional se encontró una máquina de empalme de cables eléctricos por ultrasonido.

La Ultrasplice 40 de Branson

Palabras claves: Ultrasonido, empalme

Descripción o resumen: su alcance está en el empalme de cables en línea de calibre # 4 hasta calibre #16 AWG o una sección total de 6 mm cuadrados.

“El empalme por ultrasonidos obtiene una conexión eléctrica excelente frente a uniones por compresión/engarce, soldadura de estaño o soldadura por resistencia y ofrece ahorros en el consumo de energía, elimina materiales consumibles y garantiza una vida más larga de la herramienta”¹.

¹ Branson Ultrasplice40 Wire Splicer <https://www.emerson.com/en-us/catalog/branson-ultrasplice40-wire-splicer>

Figura 1. Empalmadora por ultrasonido Ultrasplice 40 de Branson



Fuente: <https://www.emerson.com/en-us/catalog/branson-ultrasplice40-wire-splicer>

2.1.2 Nivel nacional. No se encontraron vestigios de investigaciones o desarrollo de proyectos similares a la actividad del proyecto propuesto; indagando en el mercado nacional se encontró solamente herramientas manuales adaptadas a un taladro con un kit accesorios para Empalmeria de conductores eléctricos. (Ver Figura 2).

Figura 2. Kit para empalmes eléctricos



Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/32924767459.html>.

2.1.3 Nivel local. No se encontraron vestigios de investigaciones o desarrollo de proyectos similares a la actividad del proyecto propuesto.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Diseño Mecánico. El concepto de diseño mecánico se ha definido por diferentes autores, los cuales coinciden en la importancia de la implementación de procesos o protocolos a seguir en la realización de proyectos técnicos que involucren la mecánica.

Conforme a la norma ISO 9001/2008 que se determina como las actividades en conjunto que coordinadas se pueden usar para dirigir y controlar una organización. Entendiendo por diseño “la concepción original de un objeto u obra destinados a la producción en serie²”.

De acuerdo a lo anterior, puede definirse el diseño mecánico “como las actividades en conjunto que coordinadas se pueden usar para dirigir y controlar una organización con referencia al mismo”.

De estos conceptos nace en un sentido amplio de la palabra: diseño eléctrico, diseño electrónico, diseño industrial, diseño gráfico y otros más.

El diseño en las diferentes ramas de la ingeniería tiene varias etapas o fases que se pueden definir con los requerimientos del producto y según las exigencias del usuario o del mercado, puede generar diferentes soluciones que satisfagan los requerimientos del pedido y el desarrollo de la proposición o alternativa seleccionada.

2.2.2 Fases de diseño

2.2.2.1 Identificar las necesidades. El pedido o solicitud se genera cuando se realiza un análisis de mercado para definir cuáles son las características del producto a diseñar. Es importante entender la necesidad del usuario por lo cual es importante realizar una caracterización del producto en forma directa.

² Sistemas de Gestión Integral. ISO 9001, 14001 y OHSAS 18001 <https://www.gestiopolis.com/sistemas-gestion-integral-iso-9001-14001-ohsas-18001/>

2.2.2.2 Especificaciones. Se determinan o establecen de acuerdo a las necesidades del usuario.

Se pueden considerar especificaciones del producto aquellas que lo afecten directamente como:

Ingeniería de diseño.

Calidad.

Fabricación.

De aceptación las que se establezcan por el usuario.

En un diseño todas las especificaciones son de estricto cumplimiento, en lo posible se debe establecer una correspondencia entre las especificaciones técnicas y las posibles normas que se puedan aplicar donde se especifique tolerancias, nivel de precisión, costos y la función que se requiere.

En las especificaciones finales de todo producto diseñado se debe incluir la documentación concerniente a:

Manual de usuario.

Planos y diagramas Mecánicos, eléctricos y electrónicos.

Software si aplica.

2.2.2.3 Apreciaciones de diseño. La mayoría de las veces la resistencia que necesita una pieza de un sistema es un factor determinante en cuanto a su estructura geométrica y dimensional³. De acuerdo a la situación anterior se puede decir que la resistencia es un requerimiento de diseño importante. Cuando se utiliza la expresión consideración de diseño se incluye de forma directa una característica que contribuye en el diseño de la pieza, o posiblemente en el diseño total del sistema. Frecuentemente se consideran varias de estas características en un contexto de diseño dado. Entre las más influyentes se pueden citar. (Véase el Cuadro 1).

³ Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 8va Edición - Richard G. Budynas. Cap 1. p 8.

Cuadro 1. Apreciaciones de diseño

1- Funcionalidad	14 - Ruido
2 - Resistencia/efuerzo	15 - Estilo
3- Distorsión/deflexión/rigidez	16- Forma
4- Desgaste	17- Tamaño
5 - Corrosión	18 - Control
6 - Seguridad	19- Propiedades térmicas
7 - Confiabilidad	20 - Superficie
8 - Manufacturabilidad	21- Lubricación
9 - Utilidad	22 - Comercialización
10 - Costo	23 - Mantenimiento
11 - Fricción	24- Volumen
12 - Peso	25- Responsabilidad legal
13 - Vida	26 - Capacidad de reciclado/ recuperación de recursos

Fuente: Ingeniería mecánica de Shigley, 8va Edición - Richard G. Budynas.

2.2.2.4 Herramientas y recursos de diseño. En la actualidad, la ingeniería dispone de una gran diversidad de herramientas y recursos utilizables en la solución de dificultades que se encuentran en la fase de diseño. Sistemas computadorizados y software robusto entregan recursos que facilitan el diseño, el estudio y simulación de piezas de un sistema mecánico. Para complementar estas herramientas, el ingeniero debe apoyarse en la información técnica, ya sea en la representación del desempeño de las ciencias básicas de la ingeniería o de las características de componentes especiales de tecnología de punta. En este caso, pueden ser recursos bibliográficos de ciencia e ingeniería o manuales y catálogos de los fabricantes. También la computadora por medio del internet puede desempeñar una labor importante en el seguimiento de la información.

2.2.2.5 Aplicaciones de software en el diseño. Los paquetes computacionales para el diseño asistido por computador (CAD) permiten desarrollar diseños en tres dimensiones o 3-D, Presentando resultados donde se producen vistas ortográficas en forma convencional o en dos dimensiones de forma automática.

“Los trayectos de las piezas a diseñar pueden producirse partiendo de uno o varios modelos en 3-D y en varios casos, las piezas pueden generarse directamente con diseños previos almacenados en una base de datos 3-D usando un método para la creación rápida de prototipos y manufactura

(estereolitografía)⁴: o manufacturación sin realizar impresión física que es otra ventaja que presenta esta clase t de información almacenada en bases de datos las cuales permiten calcular rápidamente con exactitud algunas propiedades como la masa, la localización del centro de gravedad y los momentos de inercia de masa. De la misma forma, pueden obtenerse velozmente otras características como áreas y distancias entre puntos.

Existen varios softwares de CAD disponibles en el mercado entre los más relevantes se encuentran:

Aries
AutoCAD
CadKey
I-Deas
Unigraphics
Solid Works
ProEngineer

“La terminología ingeniería asistida por computadora (CAE) generalmente es empleada para diseños en ingeniería donde este se relaciona con una computadora. Esta definición, para el CAD puede sopesarse como un subconjunto del CAE”⁵. Varios software en computación ejecutan análisis que son específicos en la ingeniería cumpliendo labores de simulación para entregar al diseñador una versión en tiempo real, aunque no es considerada herramienta de creación en cuanto al diseño se refiere, como lo es el CAD.

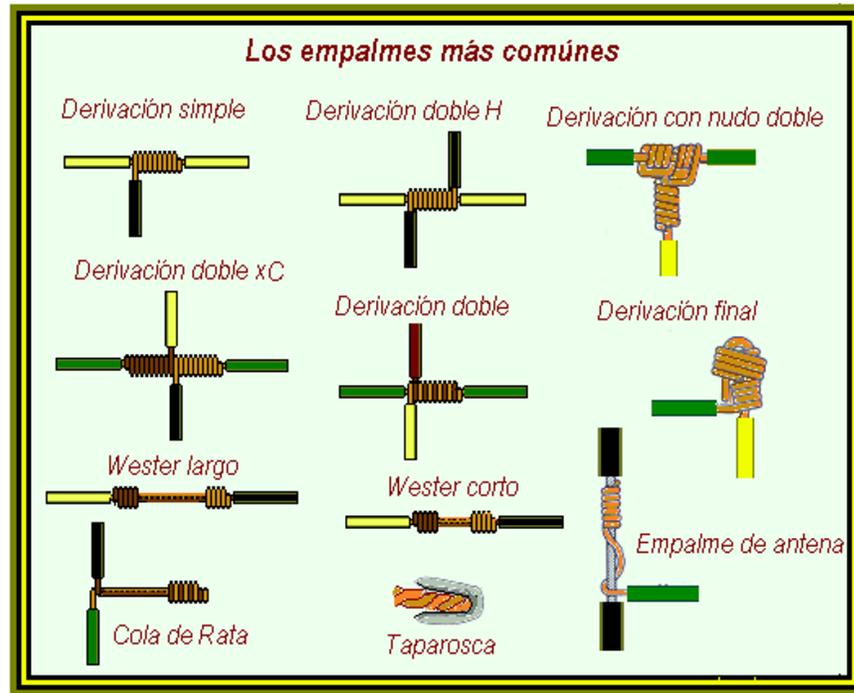
2.2.3 Empalmes eléctricos. El empalme es un proceso realizado para la unión de dos o más cables eléctricos estableciendo una conexión segura para la conducción de energía en una instalación eléctrica ya sea industrial o residencial.

(Véase la Figura 2).

⁴ Ibid. p. 8.

⁵ Ibid. p. 9.

Figura 3. Empalmes eléctricos



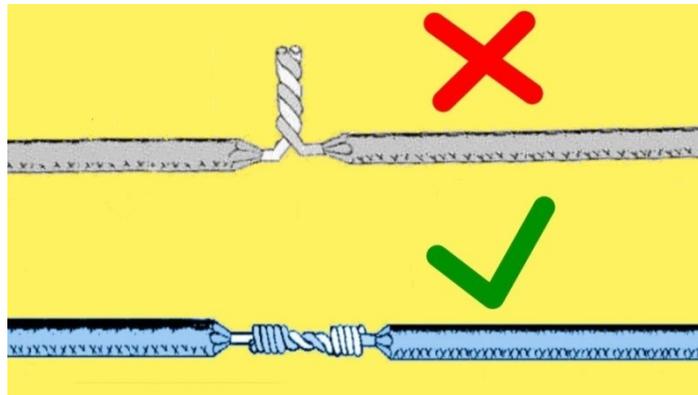
Fuente: Empalmes eléctricos. Disponible en: <https://www.google.com/search?q=empalmes+electricos&sxsrf>

El proceso de empalmar dos cables es básico y se puede realizar con facilidad de forma manual por el técnico electricista que tenga la experticia, de lo contrario se puede realizar mal el proceso de empalme y esto hace que el sistema eléctrico será inseguro, colocando en riesgo la instalación y con la factibilidad de desencadenar un accidente eléctrico produciendo incendios o choques eléctricos en los equipos o las personas que operan los equipos.

En la figura se puede observar una comparación entre un empalme bien ejecutado y un empalme mal ejecutado.

(Véase la Figura 4).

Figura 4. Comparación empalmes eléctricos



Fuente: Comparación empalmes eléctricos. Disponible en: <https://www.google.com/search?q=empalmes+electricos&sxsrf>

3. METODOLOGÍA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La realización de este proyecto se fundamentó en la investigación aplicada con el análisis de la información consultada y recopilada con referencia a las especificaciones técnicas de materiales y elementos requeridos para el diseño existentes en el mercado local y nacional, haciendo un análisis técnico de las características de cada uno de los componentes mecánicos, eléctricos y de control electrónico aplicados en el diseño, lo cual representa una forma de aplicación de la ingeniería electromecánica en la solución de la problemática planteada.

Con la investigación realizada desde el análisis técnico y el trabajo de ingeniería presentado a través del diseño y la simulación del proceso de empalme de cables eléctricos aplicado en la máquina empalmadora, se alcanzó la aplicación de conocimientos adquiridos durante la carrera en las áreas de diseño mecánico, circuitos eléctricos, electrónica análoga, electrónica digital, sistemas automáticos de control, instrumentación industrial, teoría de control y programación.

3.2 MARCO ESTRATÉGICO TÁCTICO

La ejecución del proyecto se fundamentó en el análisis y aplicación de datos técnicos recopilados en la investigación de campo realizada en la empresa Tecnioriente S.A.S, para aplicarlos al diseño de la herramienta; esto permitió el aprendizaje sobre los diferentes parámetros y tecnologías que se pueden utilizar en los procesos de empalmes de cables eléctricos en los talleres de la empresa, obteniendo un diseño eficiente, eficaz, con menos riesgos para el personal técnico y amigable con el medio ambiente, optimizando el proceso de empalme y garantizando la calidad de las instalaciones eléctricas industriales realizadas en los diferentes procesos de la empresa.

3.3 PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo del proyecto, se llevó a cabo utilizando la metodología de desarrollo por etapas, donde cada etapa representa cada uno de los objetivos propuestos fundamentándose en el marco conceptual para recolectar y analizar la información por medio de actividades propuestas en las diferentes etapas y así alcanzar el objetivo propuesto.

3.3.1 Etapa 1. Proyectar las piezas mecánicas para el ensamble de la herramienta utilizando software CAD.

Para alcanzar este objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Realizar el diseño mediante la ayuda de software de diseño mecánico (CAD).

Hacer un análisis de los movimientos rotativos para la ejecución del trabajo objeto de la herramienta y así determinar los esfuerzos de materiales a utilizar.

Determinar el tipo de mecanizado que se va usar para las piezas tales como: piñones, ejes y elementos de soportes que conforman la herramienta.

3.3.2 Etapa 2. Diagramar el circuito electrónico de control empleando software de diseño electrónico para la automatización de la herramienta.

Para alcanzar este objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Consultar bibliografía de los sistemas embebidos (Arduinos) existentes en el mercado para aplicar al control de los motores de la herramienta.

Determinar el sistema de control y de potencia para la herramienta.

Programar y simular en el software Proteus el sistema de control.

3.3.3 Etapa 3. Proyectar los planos mecánicos y electrónicos utilizando software CAD, para el desarrollo de la herramienta.

Para alcanzar este objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Proyectar los planos mecánicos para el desarrollo de la herramienta de acuerdo al diseño establecido.

Proyectar los planos electrónicos y de control para desarrollo de la herramienta de acuerdo al diseño establecido.

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 ETAPA 1: PROYECTAR LAS PIEZAS MECÁNICAS PARA EL ENSAMBLE DE LA HERRAMIENTA UTILIZANDO SOFTWARE CAD

Para alcanzar este objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Realizar el diseño mediante la ayuda de software de diseño mecánico 3D (CAD).

Realizar el análisis de los movimientos rotativos para la ejecución del trabajo objeto de la herramienta y así determinar los esfuerzos de materiales a utilizar.

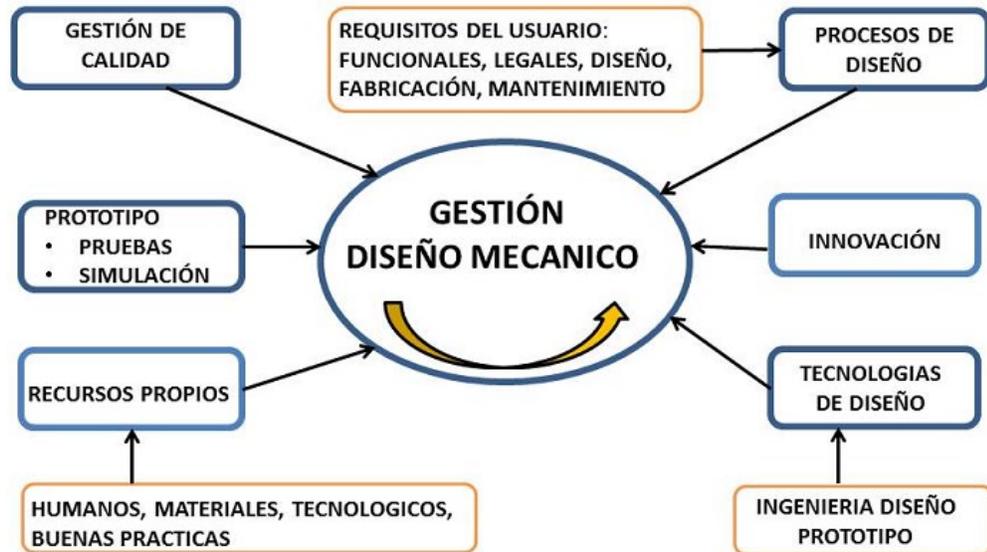
Determinar el tipo de mecanizado que se va usar para las piezas tales como: piñones, ejes y elementos de soportes que conforman la herramienta.

4.1.1 Metodología aplicada en el diseño. En la ejecución del diseño se utilizó software de diseño asistido por computador (CAD).

Inicialmente se realiza el diseño de los elementos mecánicos para la implementación de la herramienta empalmadora de cables eléctricos “**TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR**”.

Para el inicio del diseño de la parte mecánica de la máquina “**TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR**” se planteó la metodología de gestión de diseño mecánico; en la figura 5 se pueden observar los diferentes aspectos que influyen en el diseño.

Figura 5. Gestión diseño mecánico



Fuente: Autor.

El diseño de cada uno de los componentes de la máquina “TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR se soporta de acuerdo a la metodología usada en las siguientes fases:

Planteamiento del problema: se refiere directamente a la identificación de la necesidades o requerimientos técnicos de la pieza o componente a diseñar basado en un análisis del funcionamiento general de la máquina en desarrollo para definir las características del componente.

Especificaciones. Estas se relacionan con la necesidad y requisitos que deben cumplir cada pieza o elemento de acuerdo a la norma técnica aplicada al diseño general de la herramienta, unas de las especificaciones del proceso pueden ser la selección del material y el análisis relacionado con el modelado del componente.

Las especificaciones deben ser precisas en cuanto a:

Entorno de aplicación.
Condiciones de diseño, fabricación y uso.

Características propias del producto (dimensionales, eléctricas, físicas, materiales) y se deben cuantificar con precisión.

Protecciones al desgaste por trabajo o fatiga del material.

Información complementaria. Manual del usuario, planos, diagramas.

Función y sollicitación. Se hace referencia a las condiciones de las variables usadas en el diseño.

Resistencia y diseño.

Valoración de las condiciones cinemáticas y dinámicas.

Valoración de las fuerzas aplicadas.

Velocidades de giro. Frecuencias propias, resonancias, vibraciones.

Puntos críticos de desgaste por deslizamiento.

Evaluación del ruido.

Juntas enfrentadas a contaminación por polvillo, tierra. Filtración de líquidos aceitosos o fluidos en general de acuerdo a cada caso.

Riesgo y seguridad

Es importante resaltar que dar cumplimiento a todas las condiciones de seguridad que afecten un producto parcial o final es un aspecto fundamental en la ingeniería de diseño. Se hace imprescindible la comprobación de todos estos requisitos legales, reglamentarios y normativos de aplicación.

Normalización. Uno de los aspectos más relevante en el diseño y la fabricación son las tolerancias y ajustes. Sin la aplicación de estas características sería imposible la fabricación del prototipo diseñado. Se debe tener en cuenta que los porcentajes en los ajustes del diseño infieren de diferentes formas en la manufactura del producto final.

Cálculos y cifras significativas. “En el diseño se hace un análisis a los números reales y no a los enteros, debido a la precisión que entregan los números reales que dependen de la cantidad de cifras significativas que los especifican. Generalmente en ingeniería se requieren tres de las cuatro cifras significativas para obtener la exactitud, a menos que se establezcan otras condiciones de diseño”⁶.

En nuestro caso para la realización de los cálculos se tomaron las fórmulas para

⁶ Ibid. p. 22.

diseño del libro: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 8a Edición - Richard G. Budynas y se utilizaron tres cifras significativas.

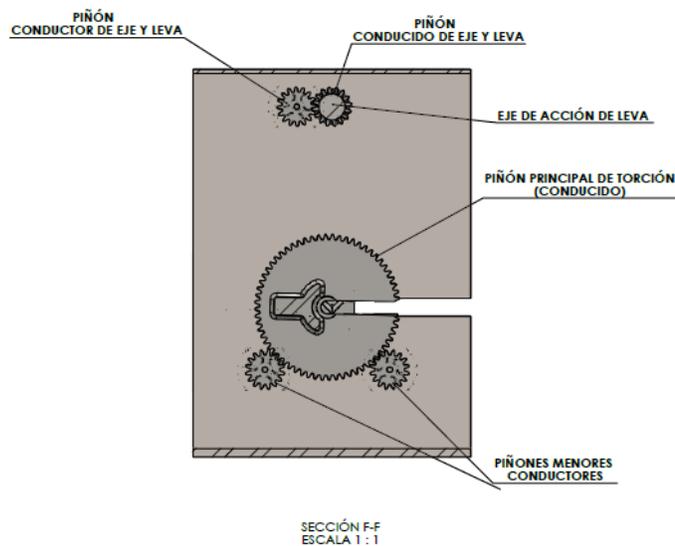
4.1.2 Diseño de elementos mecánicos. Los elementos mecánicos necesarios para la construcción de la herramienta **“TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR”** son:

Sistema de engranes
Leva
Eje
Chasis

4.1.2.1 Engranajes Rectos. Piñón motor 4 conductor y Piñón Conducido de eje del servomotor.

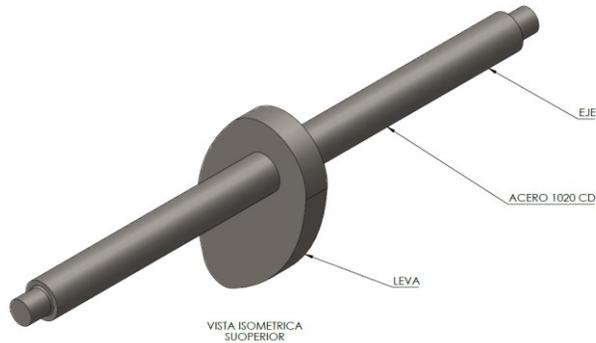
Planteamiento del problema: Se requiere diseñar el sistema de engranajes para el movimiento rotativo del eje que porta la leva.

Figura 6. Sistema de engranes eje y leva



Fuente: Autor.

Figura 7. Eje rotativo porta leva



Fuente: Autor.

Especificaciones: Para efectos de cálculos, piñón (p) y engrane (g).

Piñón (p) engranaje del motor

Piñón (g) engranaje del eje

El eje debe tener un torque $T = 8,85 \text{ Nm}$ y girar a 60 rpm.

Se deja el piñón (p) con una tolerancia de resistencia mayor en el material con respecto a la resistencia del material en el engrane (g), esto con el fin de inducir más desgaste en unos de ellos y así crear la necesidad de cambiar un solo engrane en futuros mantenimientos. (Véase el Cuadro 2).

Cuadro 2. Materiales engranes (p y g)

Especificaciones	Piñón (p)	Engrane (g)
Acero	AISI 1020 CD	AISI 1010 CD
Dureza HBN	131	105
Modulo Elástico E.	30 Kpsi	26 Kpsi
S y (Resistencia a la fluencia)	57 Kpsi	44 Kpsi

Fuente: Autor.

Cálculos. El giro del eje lo realiza un motor de las siguientes características:

- $n_r = 90 \text{ rpm}$
- Torque = 5,4Nm
- Velocidad Angular = $\omega_r = \frac{2\pi n_r}{60} \rightarrow \omega_r = \frac{2\pi 90}{60} = \frac{9.4248 \text{ rad}}{s}$
- Potencia en Watts
- $W = T * \omega_r = 5.4 * 9.4248 = 50.89 \text{ Watt}$
- Potencia en HP
- $H = W * 0.0013 * k_s = 50.89 * 0.0013 * 1.2 = 0.079 \text{ hp}$

Donde $k_s = 1.2$ Factor de incremento para trabajo medio

En este caso se trabajó con un ángulo de presión: $\phi = 30^\circ$. A mayor Angulo de presión se logra disminuir el número de dientes del engrane.

Se elige diseñar engranajes rectos por su función de potencia, facilidad de cálculos y fabricación.

De acuerdo a los requerimientos del sistema de engranajes se calcula:

- Z = Numero de diente
- D = Diámetro nominal

La cantidad de dientes mínimos para un piñón que tiene un ángulo de presión $\phi = 30^\circ$ se elige por tener menos número de dientes.

$$Z_p = \frac{2k}{[\text{sen}(\phi)]^2} = \frac{2(1)}{[\text{sen}(30)]^2} = \frac{2}{0.25} = 8$$

Tomando a $k=1$ cuando se diseña el diente con profundidad completa.

Relación de velocidades:

$$R_p = \frac{n_r \text{ entrada}}{n_r \text{ salida}} = \frac{90rpm}{60rpm} = 1.5$$

Se calculó el número de dientes del engrane (Z_g):

$$Z_g = Z_p * R_p = 8 * 1.5 = 12$$

Del cuadro 3 se seleccionó un paso diametral de $P\emptyset=12$.

Cuadro 3. Paso diametral

Basto	2	2 ¼	2 ½	3	4	6	8	10	12	16
Fino	20	32	40	48	64	80	96	120	150	200

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 8va Edición - Richard G. Budynas Tabla 13-2 p. 677.

Diámetros del sistema de engranaje (D_p y D_g)

$$D_p = \frac{Z_p}{P\emptyset} = \frac{8}{12} = \frac{2}{3}$$

$$D_g = \frac{Z_g}{P\emptyset} = \frac{12}{12} = 1''$$

Velocidad en línea de paso o tangencial

$$V = \frac{\pi D_p n_r}{12} = \frac{\pi \left(\frac{2}{3}\right) (90)}{12} = \frac{15.708ft}{min}$$

Carga tangencial W_t

$$W_t = 33000 \frac{H}{V} = \frac{33000 * 0.079hp}{15.708ft/min} = 166 lb$$

Factor Dinámico. Para engranajes en hierro fundido o perfil moldeado.

$$K_v = \frac{600 + V}{600} = \frac{600 + 15.708}{600} = 1.02618$$

Carga Dinámica

$$W_d = W_t * K_v = 166 lbf * 1.02618 = 170.35 lbf$$

Resistencia a la fatiga superficial.

HBmin= Dureza menor de entre los dos engranes.

$$Sc = (0.4 * HBmin) - 10$$

$$Sc = (0.4 * 105) - 10 = 32$$

Factor K

$$K = \frac{Sc^2}{1.4} \text{sen} \left(\frac{\phi * 2\pi}{360} \right) \left(\frac{1}{Ep} + \frac{1}{Eg} \right) = \frac{32^2}{1.4} \text{sen} \left(\frac{30 * 2\pi}{360} \right) \left(\frac{1}{30} + \frac{1}{26} \right) = \frac{1024}{39} = 26.26$$

Factor Q

$$Q = \frac{2 * Zg}{Zg + Zp} = \frac{2 * 12}{12 + 8} = \frac{24}{20} = 1.2$$

Torque en el engrane

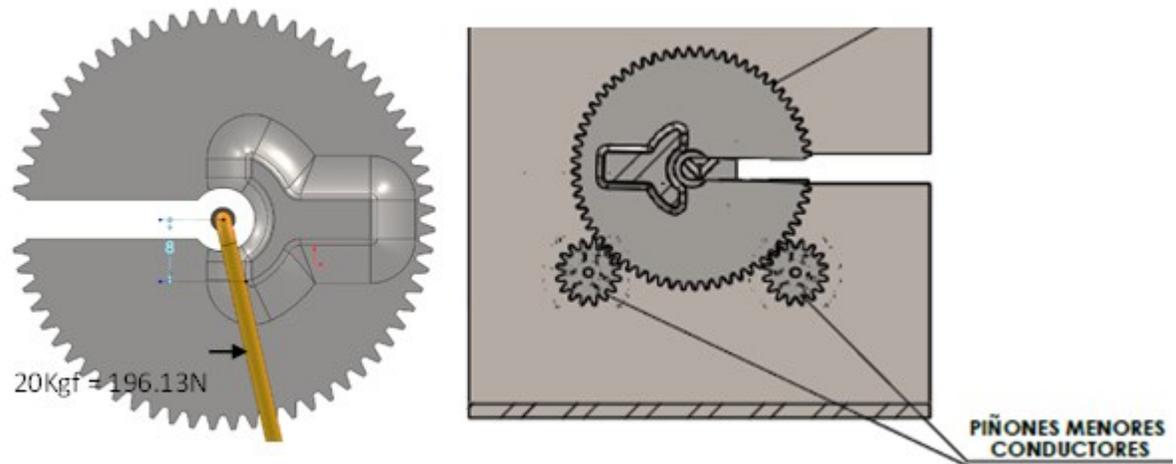
$$T_g = W_t * \frac{D_g}{2} = 166\text{ lbf} * \frac{1}{2 * 12} = 6,92\text{ lb} * \text{ft} = 9.3823 \text{ Nm}$$

Ancho de cara F

$$\frac{3\pi}{P\phi} \leq F \leq \frac{5\pi}{P\phi}$$

4.1.2.2. Piñón menor y corona de torsión. Planteamiento del problema. Se requiere diseñar el sistema de engranajes para el movimiento rotativo que doble el conductor tipo alambre.

Figura 8. Engranes de torsión de conductor tipo alambre



Fuente: Autor.

Especificaciones:

Piñón (p') engrane del motor.
Piñón (g') engranaje del eje.

Cuadro 4. Materiales engranes (p' y g')

Especificaciones	Piñón (p')	Engrane (g')
Acero	AISI 1020 CD	AISI 1010 CD
Dureza HBN	131	105
Modulo Elástico E.	30 Kpsi	26 Kpsi
Sy (Resistencia a la fluencia)	57 Kpsi	44 Kpsi

Fuente: Autor.

Se deja el piñón (p') con más resistencia en el material que el engrane (g').

$$T = F * D = 196.13N * 0.008m$$

$$T = 1.57 \approx 2Nm$$

El engrane debe tener un torque T=2Nm y girar a 60rpm, la velocidad no considerada para el proceso de envolver el conductor.

Cálculos. Se considera un motor comercial con las siguientes especificaciones:

$$n_r = 90rpm$$

$$T = 5.4Nm$$

$$V. \text{ Angular} = \omega_r = \frac{2\pi n_r}{60} \rightarrow \omega_r = \frac{2\pi 90}{60} = \frac{9.4248rad}{s}$$

Potencia en Watts

$$W = T * \omega_r = 5.4 * 9.4248 = 50.89Watt$$

Potencia en HP

$$H = W * 0.0013 * k_s = 50.89 * 0.0013 * 1.2 = 0.079hp$$

ks = 1.2 Factor de incremento para trabajo medio.

Para este caso se trabajó con un ángulo de presión: $\phi=20^\circ$. Debido a los

requerimientos de diseño se necesita usar engranes con mayores dimensiones para cumplir con su función y mejorar la complejidad de fabricación. Se elige diseñar engranajes rectos por su función de potencia, facilidad de cálculos y fabricación.

De acuerdo a los requerimientos del sistema de engranajes calcularemos:

Z = Cantidad de dientes

D = Diámetro nominal

La cantidad de dientes mínimos para un piñón que tiene un ángulo de presión $\phi=20^\circ$ se elige por tener menos número de dientes.

$$Z_{p'} = \frac{2k}{[\text{sen}(\phi)]^2} = \frac{2(1)}{[\text{sen}(20)]^2} = \frac{2}{0,117} = 17.09 \approx 18$$

Tomando a $k=1$ cuando se diseña el diente con profundidad completa.

Relación de velocidades:

$$R_{p'} = \frac{n_{r \text{ entrada}}}{n_{r \text{ salida}}} = \frac{90rpm}{60rpm} = 1.5$$

A continuación, se calcula el número de dientes del engrane (Z_g):

$$Z_{g'} = Z_{p'} * R_{p'} = 18 * 1.5 = 27$$

Del cuadro 3 se selecciona un paso diametral de $P\phi=12$.

Diámetros del sistema de engranaje (D_p y D_g).

$$D_{p'} = \frac{Z_{p'}}{P\phi} = \frac{18}{12} = 1 \frac{1}{2}$$

$$D_{g'} = \frac{Z_{g'}}{P\phi} = \frac{27}{12} = 2 \frac{1}{4}$$

Velocidad en línea de paso o tangencial

$$V = \frac{\pi D_p n_r}{12} = \frac{\pi \left(1\frac{1}{2}''\right) (90)}{12} = \frac{35.34 ft}{min}$$

Carga tangencial W_t

$$W_t = 33000 \frac{H}{V} = \frac{33000 * 0.079 hp}{35.34 ft/min} = 73.76 lbf$$

Factor Dinámico. Para engranajes en hierro fundido o perfil moldeado.

$$K_v = \frac{600 + V}{600} = \frac{600 + 35.34}{600} = 1.0589$$

Carga Dinámica

$$W_d = W_t * K_v = 73.76 lbf * 1.02618 = 75,7 lbf$$

Resistencia a la fatiga superficial

$Sc = (0.4 * HB_{min}) - 10$ HBmin= Dureza menor de entre los dos engranes.

$$Sc = (0.4 * 105) - 10 = 32$$

Factor K

$$K = \frac{Sc^2}{1.4} \operatorname{sen} \left(\frac{\phi * 2\pi}{360} \right) \left(\frac{1}{Ep'} + \frac{1}{Eg'} \right) = \frac{32^2}{1.4} \operatorname{sen} \left(\frac{20 * 2\pi}{360} \right) \left(\frac{1}{30} + \frac{1}{26} \right) = 17,97$$

Factor Q

$$Q = \frac{2 * Zg'}{Zg' + Zp'} = \frac{2 * 27}{27 + 18} = \frac{54}{45} = 1.2$$

Torque en el engrane

$$T_{g'} = W_t * \frac{D_{g'}}{2} = 73.76 \text{ lbf} * \frac{2.25}{2 * 12} = 6,92 \text{ lb} * \text{ft} = 9.3823 \text{ Nm}$$

Ancho de cara F

$$\frac{3\pi}{P\phi} \leq F \leq \frac{5\pi}{P\phi}$$

4.1.2.3 Leva. Planteamiento del problema. En el diseño de la leva para la herramienta, se requiere que ésta accione el actuador de doblez de cable y el actuador de presión; para su cálculo se aplica el modelo matemático funciones polinomiales con doble detenimiento. Se tomó como fuente el libro de Diseño de Maquinaria Norton 4ta Edición (p. 343-371).

Especificaciones. Considérese las siguientes especificaciones en el diseño de la leva.

Detenimiento: Para el desplazamiento cero en 90 grados (Se detiene en bajo)

Subida: 1 pulg (25 mm) durante 90 grados.

Detenimiento: En 1 pulg (25 mm) en 90 grados (se detiene en alto).

Bajada: 1 pulg (25 mm) para 90 grados.

ω leva: $2\pi \text{ rad/s} = 1 \text{ rev/s}$.

Cuadro 5. Notación utilizada en el diseño de Levas

t = tiempo, segundos
q = ángulo de árbol de levas, grados o radianes (rad)
w = velocidad angular del árbol de levas, rad/s
b = ángulo total de cualquier segmento, subida, bajada o detenimiento, grados o rad
h = elevación total (subida o bajada) de cualquier segmento, unidades de longitud
s o S = desplazamiento del seguidor = unidades de longitud
$v = ds/dq$ = velocidad del seguidor, longitud/rad
$V = dS/dt$ = velocidad del seguidor, longitud/s
$a = dv/dq$ = aceleración del seguidor, longitud/s ²
$A = dV/dt$ = aceleración del seguidor, longitud/s ²
$j = da/dq$ = golpeteo del seguidor, longitud/rad ³
$J = dA/dt$ = golpeteo del seguidor, longitud/s ³ <i>s v a j se refieren al grupo de diagramas, unidades de longitud contra radianes</i>
$S V A J$ se refieren al grupo de diagramas, unidades de longitud contra tiempo
R_b = radio del círculo base, unidades de longitud
R_p = radio del círculo primario, unidades de longitud
R_f = radio del seguidor de rodillo, unidades de longitud
e = excentricidad de leva-seguidor, unidades de longitud
j = ángulo de presión, grados o radianes
r = radio de curvatura de superficie de leva, unidades de longitud
$r_{\text{primitivo}}$ = radio de curvatura de curva de paso, unidades de longitud
$r_{\text{mín}}$ = radio de curvatura mínimo de curva de paso o superficie de leva, unidades de longitud.

Fuente: Diseño de Maquinaria Norton 4ta Edición. Cap 8. p. 344.

Cálculos:

Solución planteada al requerimiento del problema.

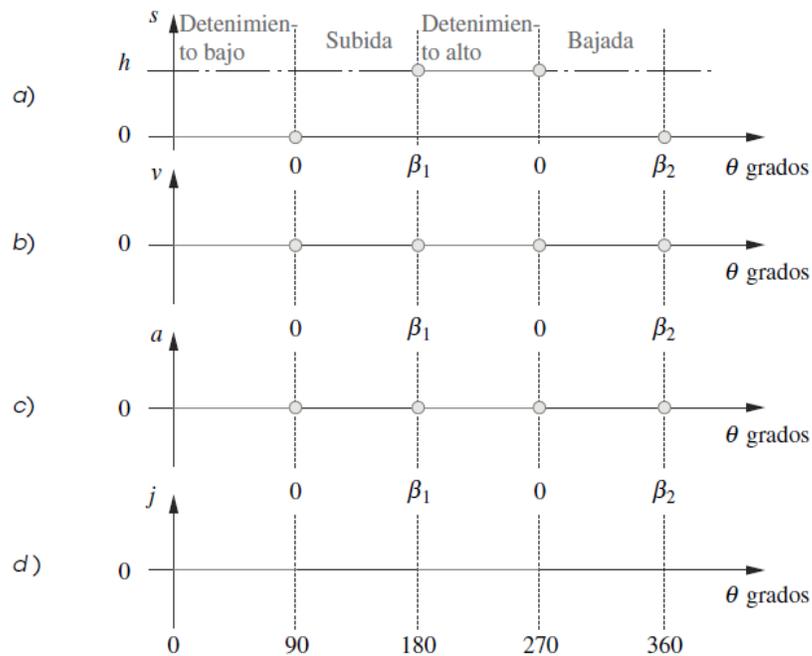
“Dando satisfacción a la ley fundamental en el diseño de levas, se toman los valores de las funciones de subida y bajada, en sus fronteras con paradas, que deben ser iguales con ellas, tomando un mínimo a, s, v y a ”⁷.

En la figura 9 podemos observar los ejes de las gráficas $s v a j$, donde se trazan datos hallados. Las paradas son los únicos segmentos que se definen en esta fase.

⁷ Diseño de Maquinaria Norton 4ta Edición. Cap 8. p. 369.

El requerimiento de prolongación hasta la aceleración precisa un mínimo de seis condiciones de frontera para el segmento de elevación y seis más para el descenso en este ejercicio. Se muestran como pequeñas circunferencias llenas en las gráficas. Generalmente, se representa el ascenso total con la variable h . El conjunto mínimo de CF requeridas para este ejercicio es:

Figura 9. Ejes para los diagramas s v a j



Fuente: Diseño de Maquinaria Norton 4ta Edición. Cap 8. p. 369.

Para la subida:

Cuando $\theta = 0$; entonces $s = 0, v = 0, a = 0$ (1)
 Cuando $\theta = \beta_1$; entonces $s = h, v = 0, a = 0$

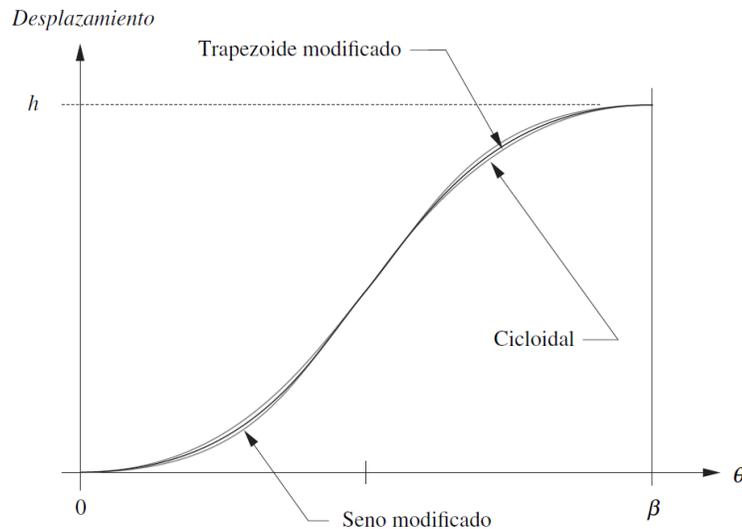
Para la bajada:

Cuando $\theta = 0$; entonces $s = h, v = 0, a = 0$ (2)
 Cuando $\theta = \beta_2$; entonces $s = 0, v = 0, a = 0$

Se usa la subida para una solución ejemplo. (La bajada es una derivación similar.) Se tienen seis CF en la subida. Esto necesita seis términos en la ecuación. El término más alto será de quinto grado. Se usa el ángulo normalizado θ/β como variable independiente, como antes. Como los requerimientos de frontera implican velocidad y aceleración, lo mismo que desplazamiento, se debe diferenciar la ecuación general de una función polinomial:

$$s = C_0 + C_1x + C_2x^3 + C_3x^4 + C_4x^5 + C_5x^6 + \dots + C_nx^n$$

Figura 10. Comparación de tres funciones de desplazamiento para leva con dos detenimientos



Fuente: Diseño de Maquinaria Norton 4ta Edición. Cap 8 Pg. 369.

Referente a θ se pueden hallar ecuaciones en las que se puede reemplazar las CF. Al reescribir la ecuación conforme a estas limitaciones y diferenciar dos veces, se halla:

$$s = C_0 + C_1 \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + C_2 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + C_3 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + C_4 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 + C_5 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5 \quad (3)$$

$$v = \frac{1}{\beta} \left[C_1 + 2C_2 \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 3C_3 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 4C_4 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + 5C_5 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 \right] \quad (4)$$

$$a = \frac{1}{\beta^2} \left[2C_2 + 6C_3 \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 12C_4 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 20C_5 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 \right] \quad (5)$$

Se reemplazan las condiciones de frontera $\theta = 0, s = 0$ en la ecuación (1):

$$0 = C_0 + 0 + 0 + \dots \quad (6)$$

$$C_0 = 0$$

Se reemplazan $\theta = 0, v = 0$ en la ecuación 2):

$$0 = \frac{1}{\beta} [C_1 + 0 + 0 + \dots] \quad (7)$$

$$C_1 = 0$$

Sustituyendo $\theta = 0, a = 0$ en la ecuación 3):

$$0 = \frac{1}{\beta^2} [C_2 + 0 + 0 + \dots] \quad (8)$$

$$C_2 = 0$$

Se reemplaza $\theta = \beta, s = h$ en la ecuación 1):

$$h = C_3 + C_4 + C_5 \quad (9)$$

Se reemplaza $\theta = \beta, s = h$ en la ecuación 1):

$$0 = \frac{1}{\beta} [3C_3 + 4C_4 + 5C_5] \quad (10)$$

Se reemplaza $q = b, a = 0$ en la ecuación c):

$$0 = \frac{1}{\beta^2} [6C_3 + 12C_4 + 20C_5] \quad (11)$$

Del proceso previo se define que tres de las incógnitas se hacen cero y quedarían tres por solucionar (C_3, C_4, C_5). Las ecuaciones (4), (5) y (6) se solucionan simultáneamente para hallar:

$$C_3 = 10h; \quad C_4 = -15h; \quad C_5 = 6h$$

La ecuación para este movimiento de diseño de leva es:

$$s = h \left[10 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 - 15 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + 6 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

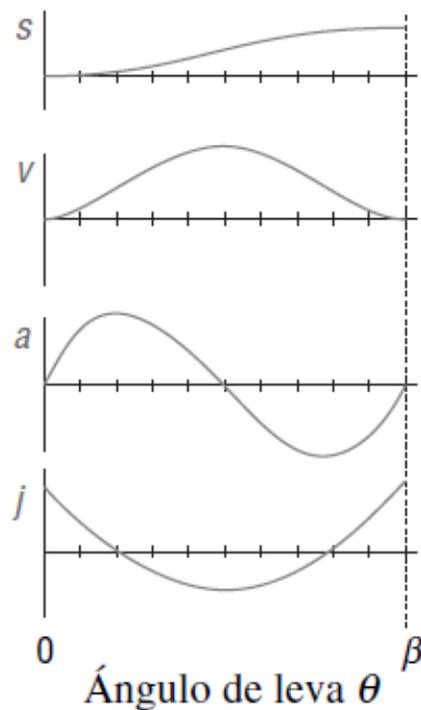
Las expresiones para velocidad y aceleración se hallan al reemplazar los valores de C3, C4 y C5 en las ecuaciones:

$$y' = C_a \left(-x + \frac{b}{\pi} + 1 - \frac{b}{2} \right)$$

$$y'' = -C_a$$

Esta función se conoce como polinomio 3-4-5, por sus exponentes.

Figura 11. Graficas s v a j para la función de subida polinomial 3-4-5

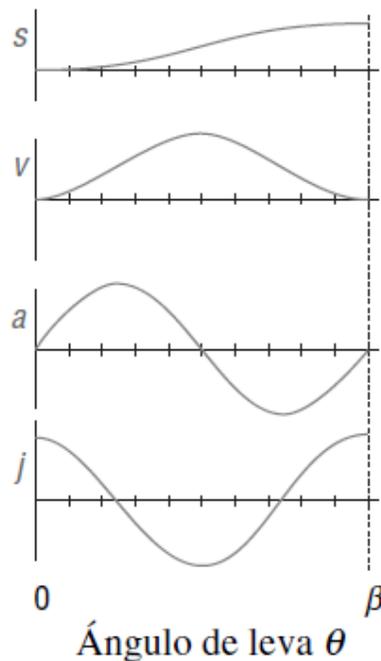


Fuente: Diseño de Maquinaria Norton 4ta Edición. Cap 8.

La subida polinomial 3-4-5 es similar a la senoidal del movimiento cicloidal.

La figura 12 muestra las gráficas, s v a j para una función de elevación polinomial 3-4-5 con sus condiciones de frontera dentro de una circunferencia pequeña. Obsérvese que la aceleración es continua, pero el golpeteo no, porque no se impuso ninguna restricción en los valores de frontera de la función de golpeteo. También es importante señalar que la forma de onda de la aceleración se parece mucho a la aceleración senoidal de la función cicloidal en la figura 12.

Figura 12. Aceleración senoidal de la función cicloidal



Fuente: Diseño de Maquinaria Norton 4ta Edición. Cap 8.

En el cuadro 6 se enumeran factores para la velocidad, aceleración y golpeteo máximos de algunas funciones de leva.

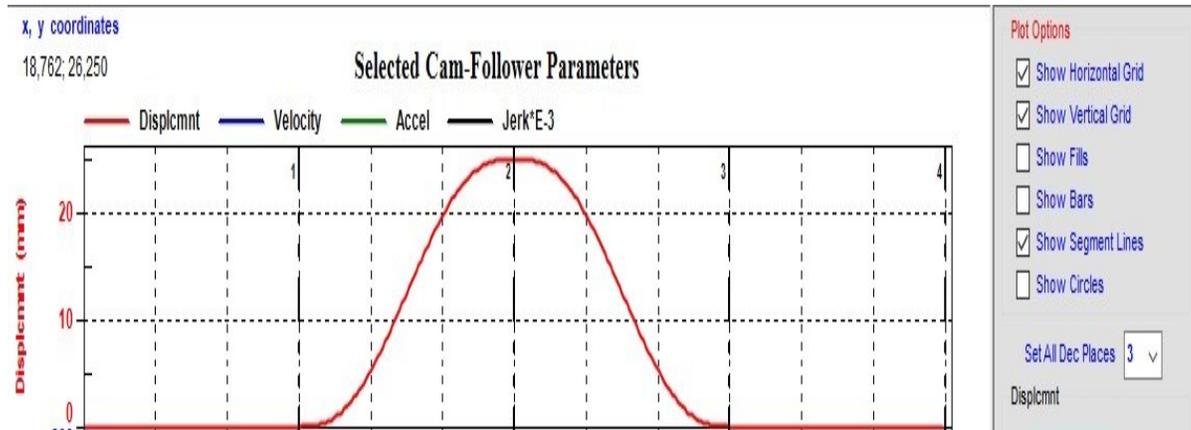
Cuadro 6. Factores para velocidad y aceleración pico de algunas funciones de leva

Función	Vel. máx.	Acel. máx.	Golpeteo	Comentarios
Aceleración constante	$2.000 h/\beta$	$4.000 h/\beta^2$	Infinito	Golpeteo ∞ ; no aceptable
Desplazamiento armónico	$1.571 h/\beta$	$4.945 h/\beta^2$	Infinito	Golpeteo ∞ ; no aceptable
Aceleración trapezoidal	$2.000 h/\beta$	$5.300 h/\beta^2$	$44 h/\beta^3$	No es tan buena como la trapezoidal modificada
Aceleración trapezoidal modificada	$2.000 h/\beta$	$4.888 h/\beta^2$	$61 h/\beta^3$	Baja aceleración, pero aceleración brusca
Aceleración seno modificada	$1.760 h/\beta$	$5.528 h/\beta^2$	$69 h/\beta^3$	Baja velocidad, buena aceleración
Desplazamiento polinomial 3-4-5	$1.875 h/\beta$	$5.777 h/\beta^2$	$60 h/\beta^3$	Buena combinación
Desplazamiento cicloidal	$2.000 h/\beta$	$6.283 h/\beta^2$	$40 h/\beta^3$	Aceleración uniforme y golpeteo
Desplazamiento polinomial 4-5-6-7	$2.188 h/\beta$	$7.526 h/\beta^2$	$52 h/\beta^3$	Golpeteo uniforme, alta aceleración

Fuente: Diseño de Maquinaria Norton 4ta Edición. Cap 8. P. 376.

Simulación en Dynacam 10. Una vez obtenidos los de diseño de la leva se realizo la simulación mediante el software libre Dynacam 10. Se obtuvieron los siguientes resultados:

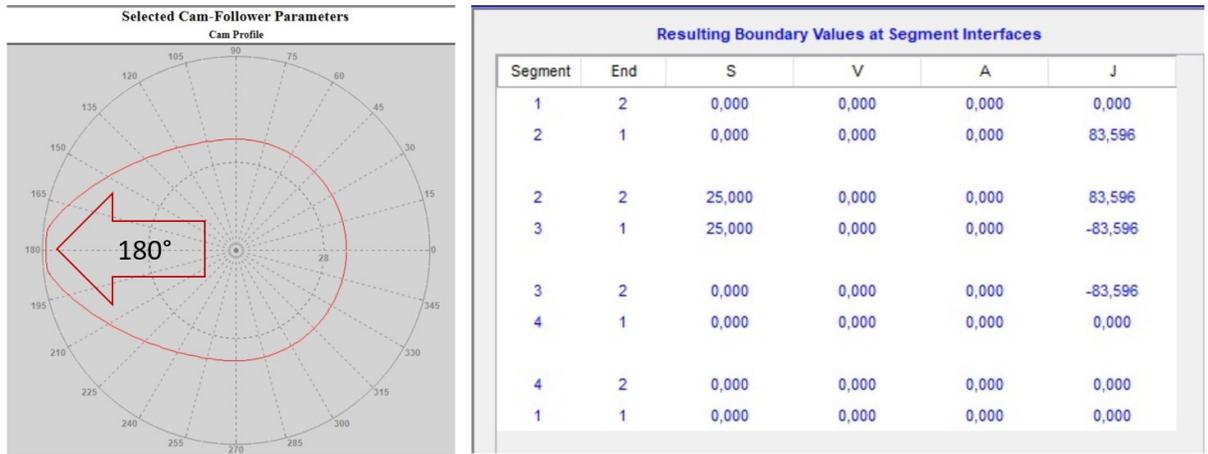
Figura 13. Desplazamiento de la leva altura maxima



Fuente: Software Dynacam

Desplazamiento: Se evidencia que cuando la leva se mantiene sin presionar el vástago a 90° , luego al iniciar la rotación del eje el seguidor inicia su recorrido a través de la cara de contacto de la leva, alcanzando una altura máxima de 25mm a los 180° .

Figura 14. Desplazamiento angular de la leva 180°



Fuente: Software Dynacam.

4.1.2.4 Eje. Planteamiento del problema. En el diseño del eje para la herramienta, se requiere para el diseño del eje requerido en la herramienta se aplicó la técnica de análisis de falla por fatiga de carga variable.

(Cap. 6 Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 8va Edición - Richard G. Budynas).

Determinación de límite de resistencia a la fatiga.

$$S'_e = 0.5 S_{ut}$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

Material AISI 1020 CD:

(Véase el Cuadro 7).

Cuadro 7. Factores de confiabilidad k_e

Confiabilidad, %	Variación de transformación za	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
999.999	4.753	0.620

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 8va Edición - Richard G. Budynas Tabla 13-2 pag. 337.

Cuadro 8. Parámetros del factor de modificación superficial de Marín

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	Sut, kpsi	Sut, MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 8va Edición - Richard G. Budynas Tabla 13-2 pag. 337.

$k_a = a S_{ut}^b$; Factores a y b en el Cuadro 8– Acero CD laminado en frío.

$$k_b = 1.24d^{-0.107}$$

$$k_c = 1$$

$$k_d = 1$$

$k_e = 0.702$; (Véase el Cuadro 7); confiabilidad del 99.99%

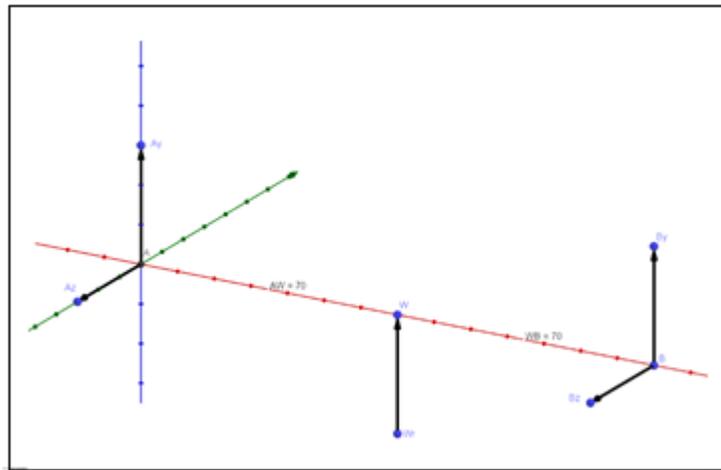
$k_f = 1$; Se usará para modificar más adelante el esfuerzo

Por eso el valor de 1 en esta sección.

Para el cálculo del factor de seguridad se utilizó la ecuación de Goodman mod que se basa en la resistencia de fatiga y potencia⁸.

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

Figura 15. Diagrama de cuerpo libre en el eje



Fuente: Autor.

Los puntos A, B son la ubicación de rodamientos.
El punto W es el centro del eje donde está ubicada la leva.

Análisis de desplazamiento del seguidor: Se presentan dos casos de desplazamiento del seguidor que se pueden observar en la Figura 16.

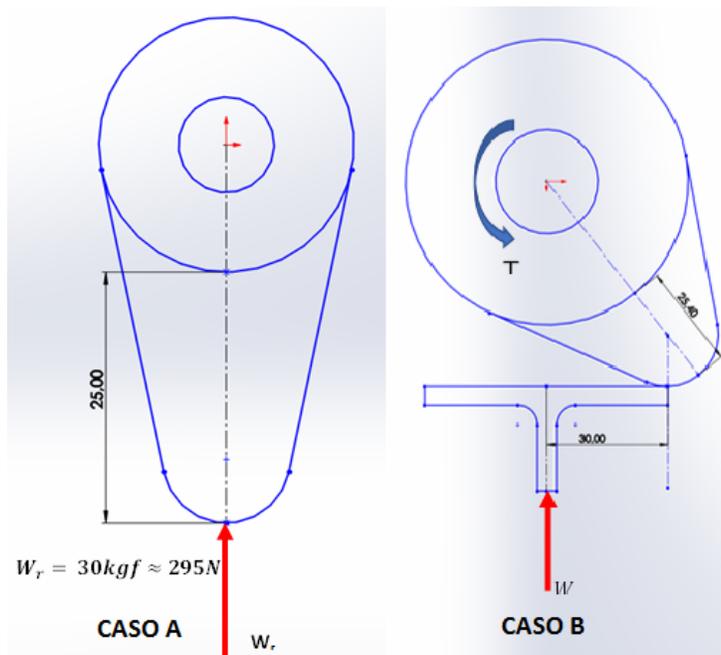
⁸ Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 8va Edición - Richard G. Budynas cap 6- ecuación (6-46)

Caso A:

Cuando el seguidor ha recorrido los 25mm.

$W_r=30\text{kgf}$: Fuerza requerida para doblar el conductor tipo alambre aislado.

Figura 16. Analisis desplazamiento seguidor



Fuente: Autor.

Caso B:

- Cuando el seguidor no se ha desplazado 25mm, se mantiene una fuerza tangente con la leva.
- Al estar en esta posición la fuerza W_r genera un torque T^* en x.

$$T^* = 295 * 30E - 3m = 8.85 Nm$$

Sumatoria de momento en A.

$$\sum M_A = 0$$

$$\underbrace{\begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 0.07 & 0 & 0 \\ 0 & W_r & 0 \end{vmatrix}}_{\text{Fuerza en W}} + \underbrace{\begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 0.07 & 0 & 0 \\ 0 & W_r & 0 \end{vmatrix}}_{\text{Fuerza en B}} + T - T^* = 0$$

Fuerza en W

Fuerza en B

Nota: Se resta debido a la acción y reacción.

$$\text{En } \hat{i} : T - T^* = 0 \rightarrow T = T^*$$

$$\text{En } \hat{j} : -[0.14(B_z)] = 0 \rightarrow B_z = 0$$

$$\text{En } \hat{k} : 0.07(W_r) + 0.14(B_y) \rightarrow B_y = -147.5$$

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y + W_r + B_y = 0$$

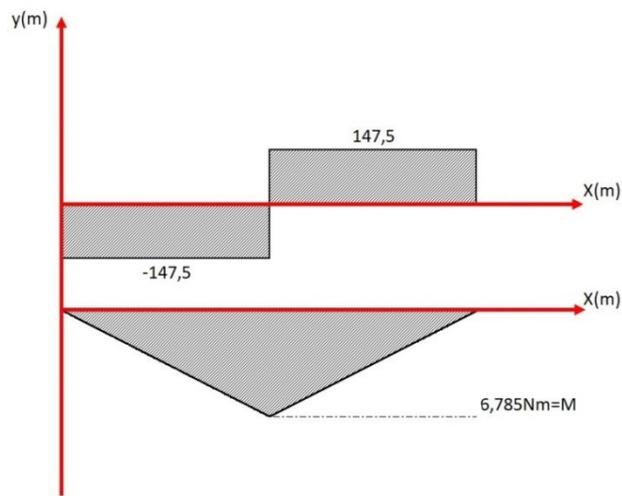
$$A_y = -147.5$$

$$\sum F_z = 0$$

$$A_z + B_z = 0 ; A_z = 0$$

Se evidencia únicamente momento Torsión en el plano xy

Figura 17. Diagrama cortante, flector; xy

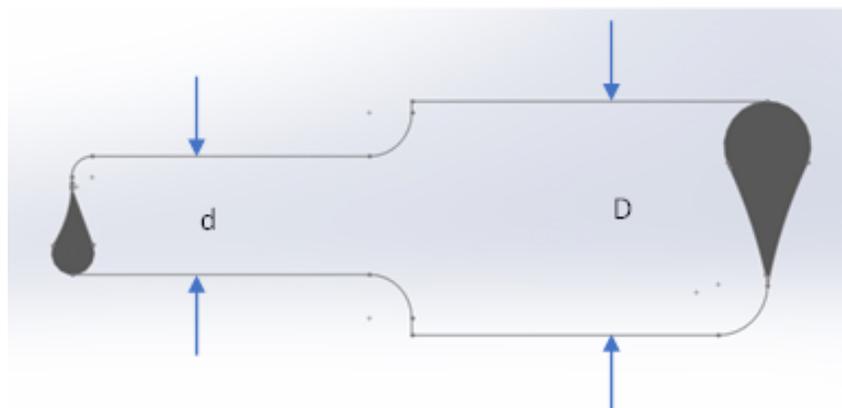


Fuente Autor.

Factor de servicio = 1.4 // Tomado de la clasificación Dayco Rubber internacional. Maquinas herramientas – Operaciones de arqueado – clase 2. (Véase el Anexo A).

Diseño a carga estática:

Figura 18. Carga estática



Fuente: Autor.

Se halla un \emptyset del eje 'd' como base para el diseño a fatiga.

$D > d$ // $D = \emptyset$ del eje $d = \emptyset$ del rodamiento.

$$d = \left[\frac{16\eta}{\pi S_y} (4M^2 + 3T)^{1/2} \right]^{1/3}$$

η = Factor de servicio

$$d = \left[\frac{16(1.4)}{\pi 390e + 6} (4(6.79)^2 + 3(8.85))^{1/2} \right]^{1/3} = 0.0072m$$

Se aproxima 'd' a 12mm de diámetro de eje para análisis de fatiga. (\emptyset Comercial)
El Valor 'D' se define de los valores comerciales de ejes (Tabla A-17). Se tomó como fuente el libro de Diseño de Maquinaria Norton 4ta Edición (Para las gráficas y tablas referenciadas a continuación para el cálculo de las fórmulas).

Se debe verificar que 'd' resista esfuerzo a torsión.

$$\tau = \frac{2T}{\pi c^3} \quad \text{Donde c es el radio del eje}$$

$$\tau = \frac{2(8.85)}{\pi(0.006)^3} = 26.084Mpa$$

$$\tau_{perm} = 0.5 S_y = 0.5(390Mpa) = 195Mpa$$

Factor de seguridad:

$$\frac{\tau_{perm}}{\tau} = \frac{195}{26.084} = 7.48$$

Considerando un factor mínimo 5 de seguridad de 1.5, se evidencia un factor de seguridad apropiado para el torque aplicado.

Parámetros para fatiga

$$S_e' = 0.5S_{ut} = 0.5(470) = 235\text{Mpa}$$

$$k_a = a * S_{ut}^b = 4.51 * 470^{-0.265} = 0.8832$$

$$k_b = 1.24 * 12^{-0.107} = 0.9505$$

$$k_c = 1; \quad k_e = 0.702 \text{ (Tabla 6-5) Confiabilidad} = 99.99\%$$

$$k_d = 1; \quad k_f = 1$$

Resistencia a la fatiga

$$S_e = 0.8832 * 0.9505 * 1 * 0.753 * 235 = 148.5534 \text{ Mpa}$$

Retomando el valor de k_f para modificar el esfuerzo de flexión y Torsión.

Flexión: Se tomó como fuente el libro de Diseño de Maquinaria Norton 4ta Edición (Página 343-371).

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad q \rightarrow \text{Grafica 6-20} \quad kt \rightarrow \text{Tabla A-15-9}$$

$$\sigma_f = \frac{4M}{k_c^3} * k_f$$

$\sigma_f \rightarrow$ Esfuerzo de flexión

$$k_f = 1 + 06162(2.0374 - 1) = 1.6392$$

$$\sigma_f = 40\text{Mpa} * 1.6392 = 65.6\text{Mpa}$$

Torsión

$$k_{fs} = 1 + q(k_{ts} - 1) \quad q \rightarrow \text{Grafica 6-21} \quad k_{ts} \rightarrow \text{Tabla A-15-8}$$

$$\tau = \frac{2T}{k_c^3} * k_{fs}$$

$$k_{fs} = 1 + 0.5458(1.3692 - 1) = 1.2$$

$$\tau = 26\text{Mpa} * 1.2 = 31.2\text{Mpa}$$

Esfuerzo de Von Mises

$$\sigma' = (\sigma_f^2 + 3\tau^2)^{1/2} = [65.6^2 + 3(31.2)^2]^{1/2} = 85.15 \text{ Mpa}$$

Criterio de Soderberg para el factor de seguridad.

$$\frac{\sigma'}{S_e} = \frac{1}{\eta_f} ; \eta_f = \frac{S_e}{\sigma} = \frac{148.5534}{85.15} = 1.75$$

Conclusión:

$$D = 12.7$$

$$d = 12$$

$$F. seg = 1.75$$

Se evidencia la factibilidad del diseño en cuanto del eje considerando un factor de seguridad mínima de 1.5.

4.2 ETAPA 2: DIAGRAMAR EL CIRCUITO ELECTRÓNICO DE CONTROL EMPLEANDO SOFTWARE DE DISEÑO ELECTRÓNICO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA

Para alcanzar este objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Consultar bibliografía de los sistemas embebidos (Arduinos) existentes en el mercado para aplicar al control de los motores de la herramienta.

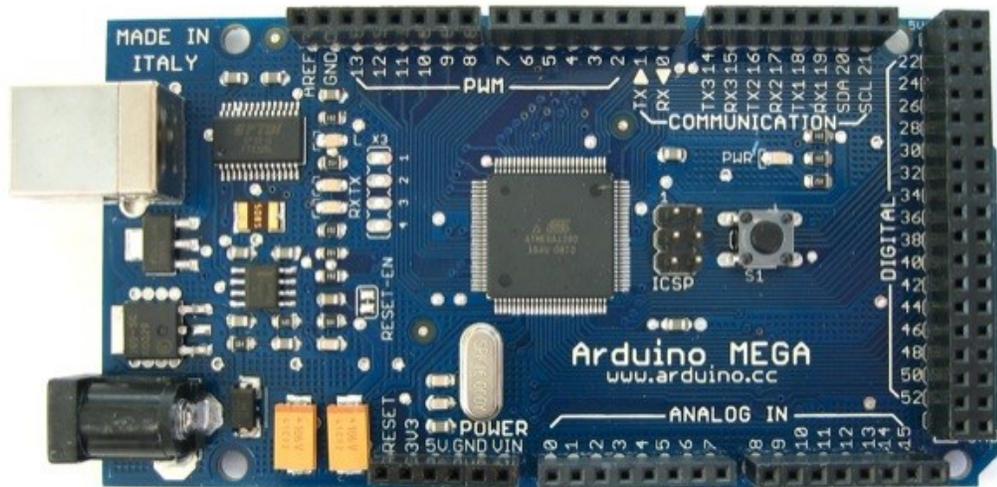
Determinar el sistema de control y de potencia para la herramienta.

Programar y simular en el software proteus el sistema de control.

4.2.1 Sistemas embebidos arduinos

4.2.1.1 Estructura Hardware Arduino. Hardware ARDUINO MEGA. (Véase la Figura 19).

Figura 19. Arduino MEGA



Fuente: <http://www.arduino.cl/int/caracteristicas.html>

El Arduino Mega es un sistema embebido que está formado por una placa de hardware que se basa en el microcontrolador ATmega1280. Su estructura de comunicación con el mundo exterior se soporta en un bloque de entradas y salidas análogas y digitales distribuidas de la siguiente forma:

Entradas / Salidas digitales: 54 de las cuales 14 proporcionan una salida PWM Modulación por pulso.

16 entradas digitales, 4 UARTS (puertos serie por hardware).

Un cristal oscilador de 16MHz.

Puerto USB.

Puerto ICSP (In Circuit Serial Programming), puerto de programación.

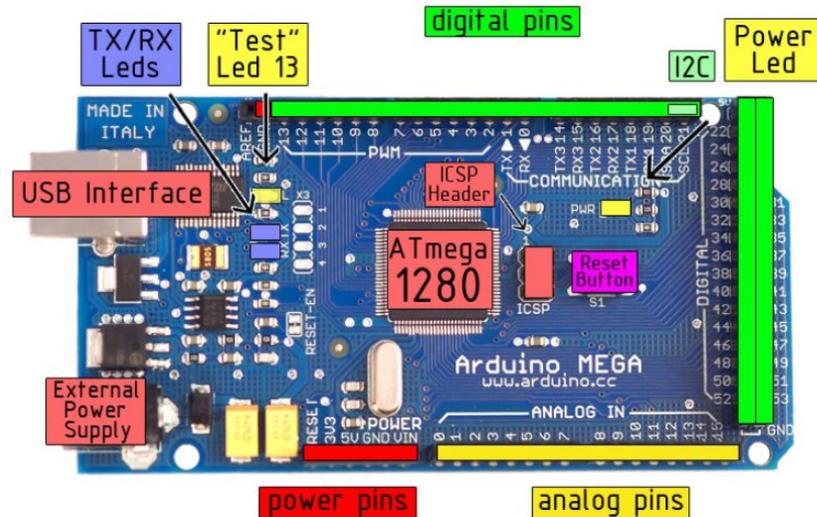
Entrada de corriente.

Cuadro 9. Características de Hardware Arduino Mega

Microcontrolador	ATmega 1280
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (limite)	6-20V
Pines E/S digitales	54 (14 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Intensidad por pin	40 mA
Intensidad en pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	128 KB de las cuales 4 KB las usa el gestor de arranque(bootloader)
SRAM	8 KB
EE PROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

Fuente: Características de Hardware Arduino Mega. Disponible en:
<http://www.arduino.cl/int/caracteristicas.html>

Figura 20. Arduino MEGA ADK Entradas y Salidas



Fuente: <http://www.arduino.cl/int/caracteristicas.html>

4.2.1.2 Alimentación. El Arduino Mega se alimenta por el puerto USB o también a través de una fuente de alimentación externa. El tipo de suministro del voltaje de alimentación se selecciona en forma automática.

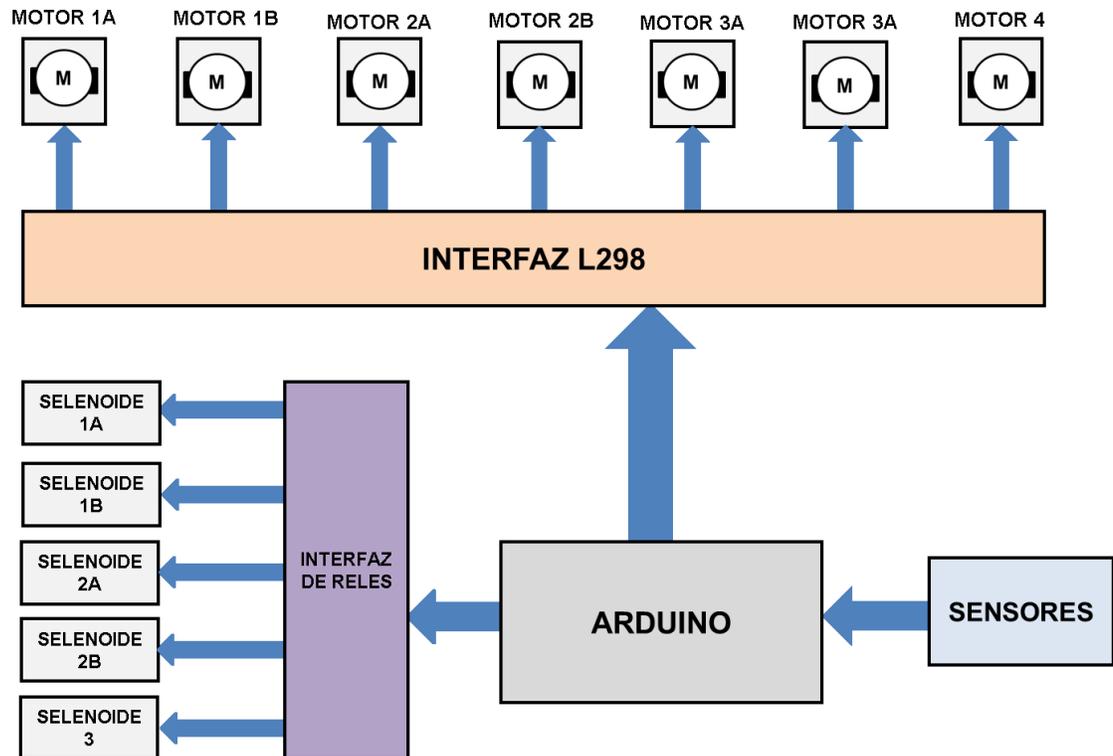
La tarjeta se puede alimentar externamente por medio de un cargador o una batería. Los cables de la batería pueden conectarse a los pines Gnd y Vin en los conectores de alimentación.

4.2.1.3 Programación. La programación del arduino se realiza con el software Arduino que es de uso libre. El ATmega1280 en el Arduino Mega viene pre cargado con un gestor de arranque (bootloader) que permite cargar nuevo código sin necesidad de un programador por hardware externo. Se comunica utilizando el protocolo STK500 original (referencia, archivo de cabecera C).

4.2.1.4 Memoria. El procesador ATmega1280 tiene 128KB de memoria flash para almacenar código (4KB son usados para el arranque del sistema (bootloader), 8 KB de memoria SRAM, 4KB de EEPROM, a la cual se puede acceder para leer o escribir con la librería EEPROM.

4.2.2 Sistema de control y potencia. Inicialmente se realizó el diseño de un sistema a bloques con todos los elementos eléctricos y electrónicos que hacen parte del sistema de control y de acuerdo a su función se distribuyeron en cada uno de ellos, en la figura se puede observar cómo quedó la distribución.

Figura 21. Sistemas a bloques

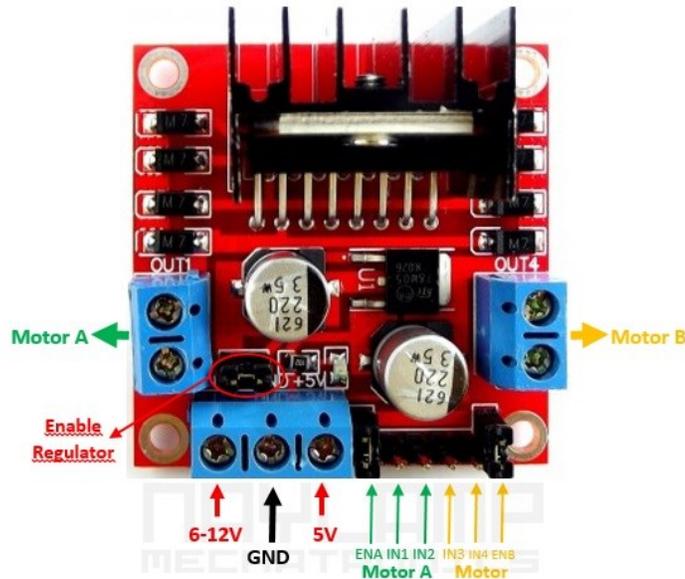


Fuente: Autor.

La adquisición de datos se realiza por medio del bloque de sensores que es el encargado de tomar las señales de los sensores de contacto que envían una señal de presencia cuando se introduce el cable en la herramienta. Los datos se llevan al Arduino, éste los procesa de acuerdo al programa instalado que cumple la secuencia programada y entrega una respuesta a las dos interfaces de potencia para que actúen los motores o los solenoides dependiendo del proceso.

4.2.2.1 Interfaz de potencia. En el proceso que realiza la herramienta se requieren dos interfaces para controlar los motores y los solenoides.

Figura 23. Circuito electrónico interfaz L298



Fuente: Interface de potencia, módulo de 8 relés. Disponible en: <http://www.arduino.cl/int/caracteristicas.html>.

4.2.3 Programación y Simulación del sistema de control. Después de seleccionar los elementos que se van a utilizar de acuerdo a las características requeridas para el control de los motores y solenoides, se procedió a realizar la simulación en el software proteus; simulación que se desarrolló en tres fases:

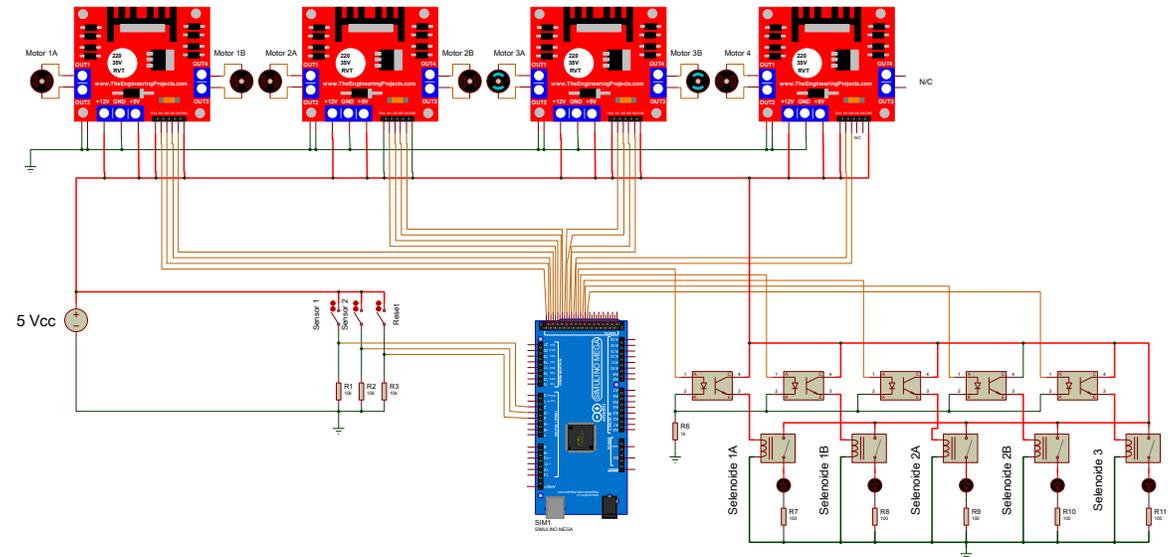
Diseño del circuito en Proteus
Diseño del programa con software Arduino
Simulación en Software Proteus.

4.2.3.1 Diseño del circuito en proteus. La ventaja que se tiene con este software radica en sus librerías ya que posee una gran cantidad de dispositivos que se usan en las tecnologías actuales de desarrollo como el Arduino ADK MEGA, una de las principales ventajas es que no se requiere tener la placa en tiempo real.

Proteus para diseño electrónico. Es software de automatización de diseño electrónico, desarrollado por Labcenter Electronics, que consta de los dos programas principales: Ares e Isis y los módulos VSM y Electra.

En la gráfica se pueden observar las tarjetas L298 que sólo se utilizan cuando se ensambla el circuito físico en la simulación ya que el software tiene las librerías que las reemplazan.

Figura 24. Circuito electrónico de control de la herramienta



Fuente: Autor.

4.2.3.2 Diseño del programa. El software utilizado en el diseño se llama Arduino; que básicamente es una compañía de desarrollo de software y hardware libre, así como una comunidad a nivel internacional que diseña y fabrica placas de desarrollo de hardware para construir dispositivos digitales interactivos que puedan detectar y controlar objetos del mundo real. Arduino se enfoca en acercar y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios como el diseño del control para la herramienta “TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR”.

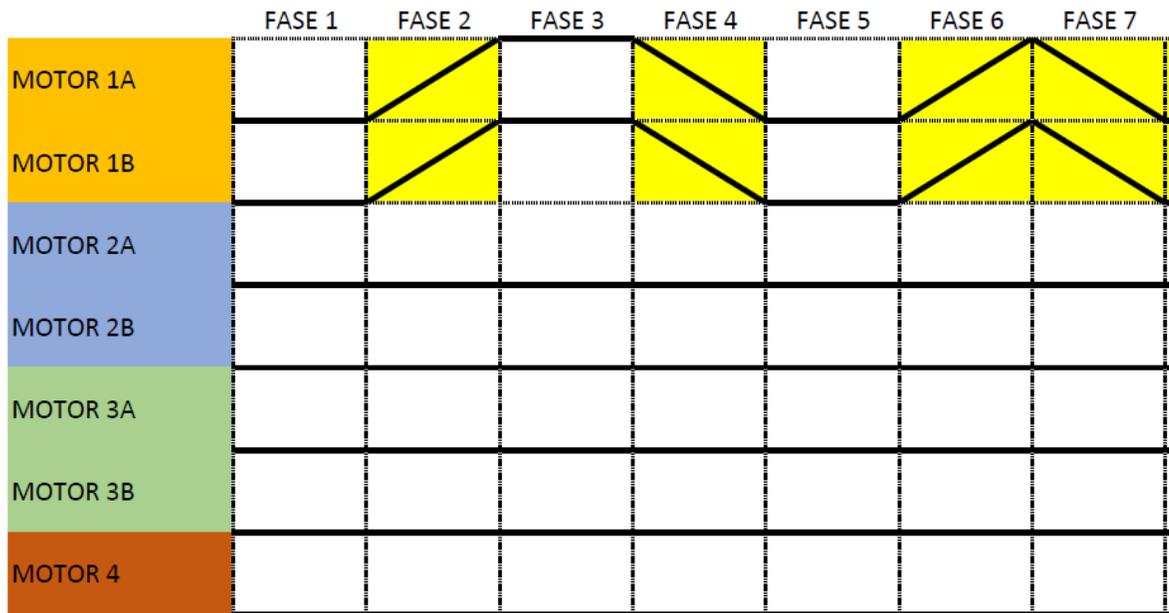
“El software libre son los programas informáticos cuyo código es accesible por cualquiera para que quien quiera pueda utilizarlo y modificarlo. Arduino ofrece la plataforma Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), que es un entorno de programación con el que cualquiera puede crear aplicaciones para las placas Arduino, de manera que se les puede dar todo tipo de utilidades”⁹.

⁹ Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>

Para el diseño del programa se tomó la secuencia de trabajo del sistema; en la figura se observa una parte de la secuencia de inicio. En el Anexo C está completa la secuencia de trabajo en la cual se basó el desarrollo de programa.

Figura 25. Secuencia de control de los motores

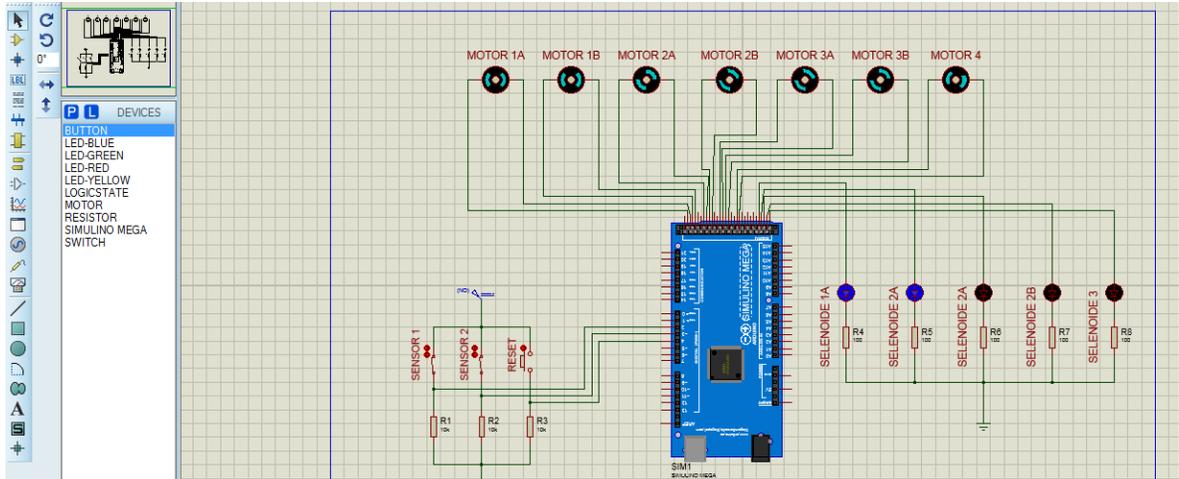
CUADRO DE SECUENCIAS DE MOTORES



Fuente: Autor.

Diseñado el circuito electrónico se esquematiza en proteus con la placa Arduino y se inicia por separado el diseño del programa, pero se trabaja paralelo al circuito diseñado en PROTEUS para realizar las pruebas del mismo. Existen normas de diseño para programación, pero esto lo realizan los programadores expertos; una de las bondades del sistema es que ingenieros y personal con capacidad básica de programación puede realizar estos diseños sin ser ingenieros programadores; en mi caso con lo aprendido de programación en la carrera y con unos estudios más de fondo inicié el trabajo de diseñar el programa, pero de la mano de un experto por la premura del tiempo. En la figura podemos observar el circuito diseñado con los motores conectados a la placa de control del arduino. En este circuito como se dijo anteriormente, no es necesario conectar directamente la interfaz L298 ya que el sistema las incluye en las librerías.

Figura 26. Circuito de control en proteus

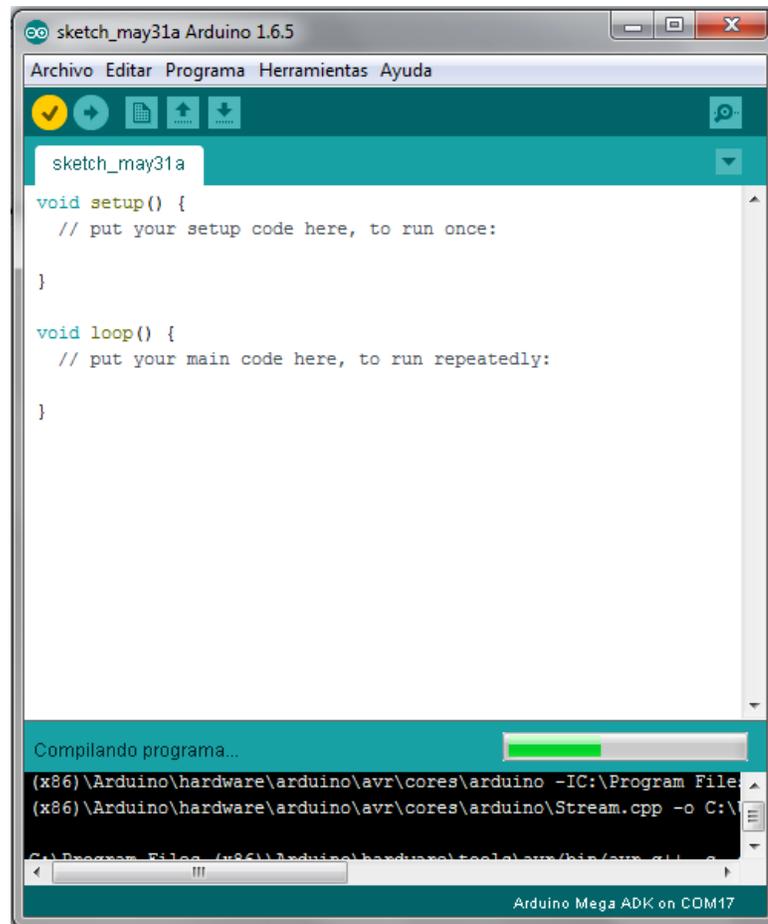


Fuente: Autor.

El siguiente paso es abrir el sketch de arduino para iniciar la edición del programa.

Los primeros pasos radican en definir las entradas y salidas de acuerdo a la conexión física realizada en el esquema del circuito y luego se procede con la programación de acuerdo a la secuencia de trabajo; ésta tiene tiempos o intervalos de operación de cada uno de los motores por lo que se tienen que programar temporizados y contadores para contabilizar los giros de los motores en una parte del proceso. En el Anexo D manual de usuario se especifica todo el proceso del empalme: En la figura 26 podemos ver el Sketch de programación del arduino.

Figura 27. Sketch de programación del Arduino



Fuente: Autor.

Código Fuente: En el anexo I, se tiene el código fuente que se copia del sketch del programa.

Podemos ver cómo están asignadas las salidas a los motores y solenoides de acuerdo al diagrama de tiempos.

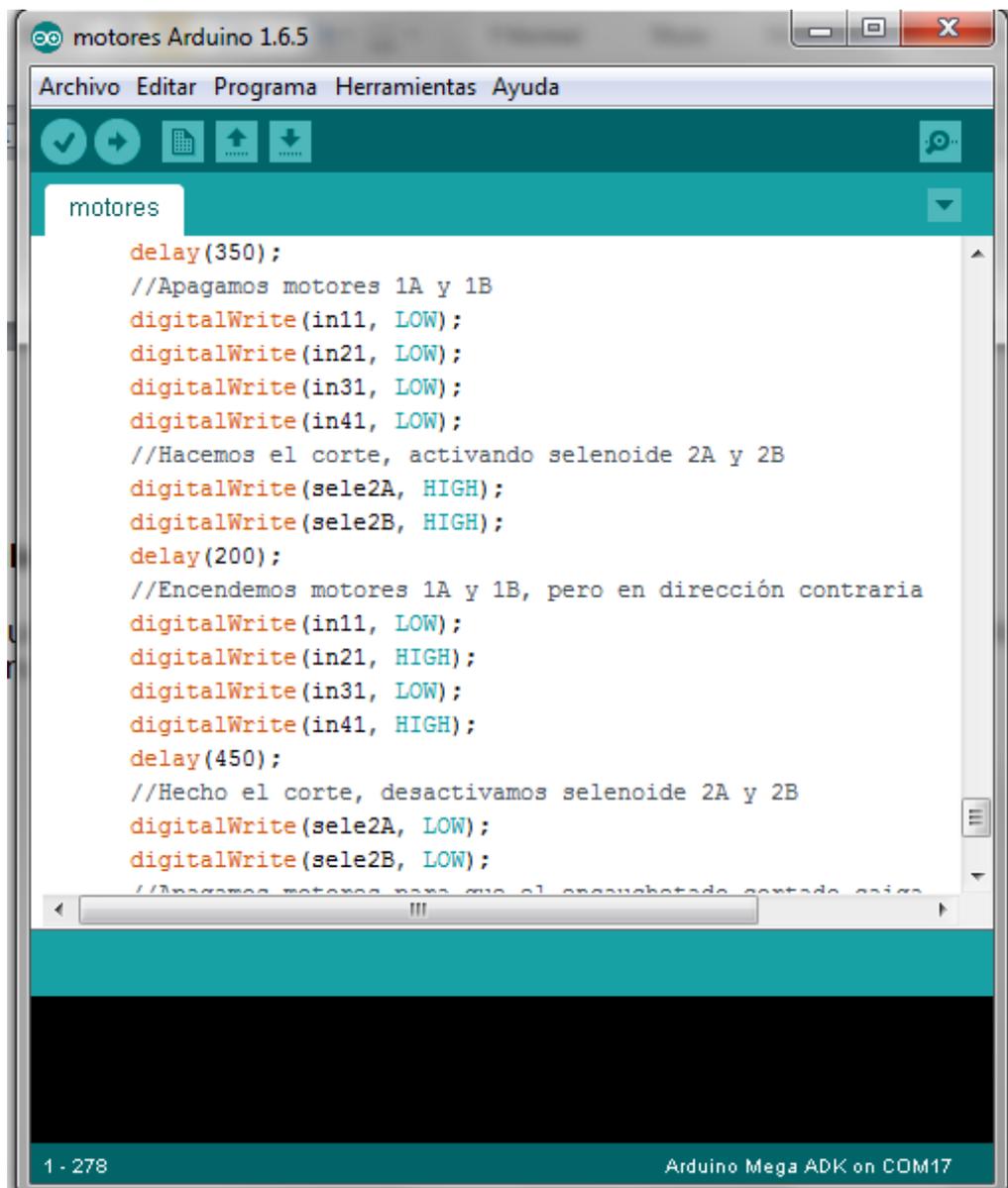
Simulación en Proteus conjuntamente con el arduino en tiempo real:

Después de tener listo el programa se realiza un proceso para cargarlo en el arduino, estos pasos se explican en detalle en el Anexo E. Con el programa

cargado se procede a realizar la simulación.

El programa está con el archivo de proteus en la carpeta Motores (Véase el Anexo F).

Figura 28. Sketch con el programa cargado



```
motores Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
motores
delay(350);
//Apagamos motores 1A y 1B
digitalWrite(in11, LOW);
digitalWrite(in21, LOW);
digitalWrite(in31, LOW);
digitalWrite(in41, LOW);
//Hacemos el corte, activando selenoide 2A y 2B
digitalWrite(sele2A, HIGH);
digitalWrite(sele2B, HIGH);
delay(200);
//Encendemos motores 1A y 1B, pero en dirección contraria
digitalWrite(in11, LOW);
digitalWrite(in21, HIGH);
digitalWrite(in31, LOW);
digitalWrite(in41, HIGH);
delay(450);
//Hecho el corte, desactivamos selenoide 2A y 2B
digitalWrite(sele2A, LOW);
digitalWrite(sele2B, LOW);
//Apagamos motores para que el ensanchado cortado sea
```

1 - 278 Arduino Mega ADK on COM17

Fuente Autor.

4.3 ETAPA 3 PROYECTAR LOS PLANOS MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS UTILIZANDO SOFTWARE CAD, PARA EL DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA

Para alcanzar este objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

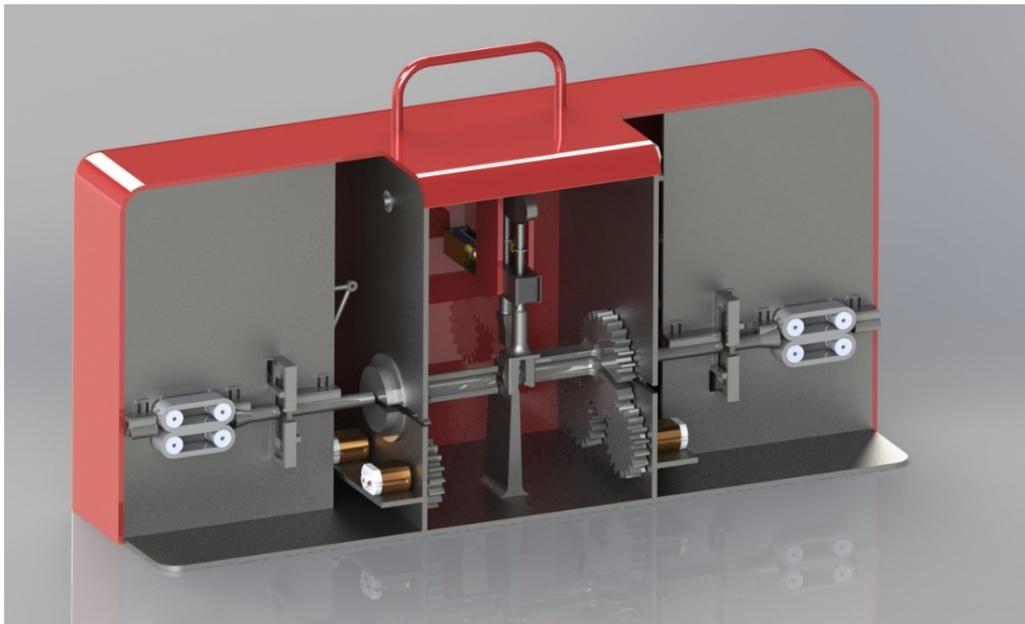
Proyectar los planos de la parte mecánica de la herramienta de acuerdo al diseño establecido.

Proyectar los planos de la parte eléctrica y de control electrónico de la herramienta de acuerdo al diseño establecido.

4.3.1 Planos mecánica. Los planos completos integrados se pueden ver en el Anexo G.

4.3.1.1 Emsamble. Se refleja en la figura 29.

Figura 29. Herramienta “TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR”



Fuente: Autor.

Chasis:

Figura 30 . Chasis

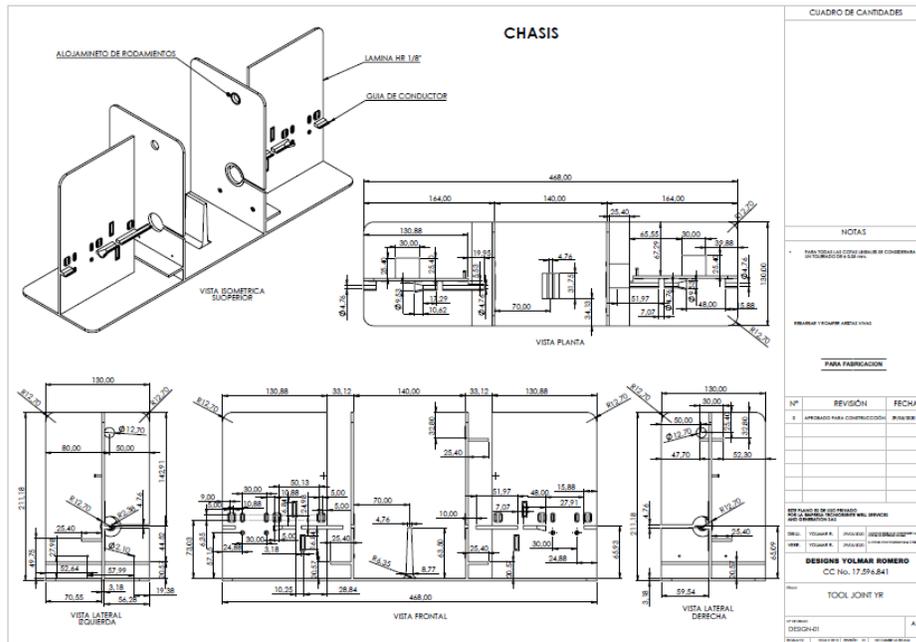


Figura 31. Carcasa

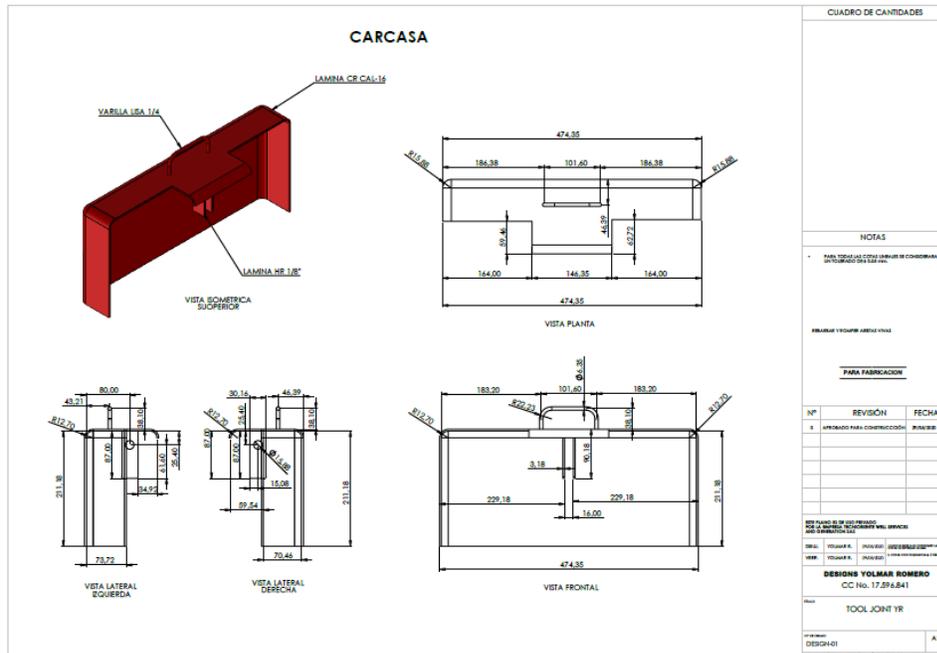


Figura 32. Ensamble “TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR”

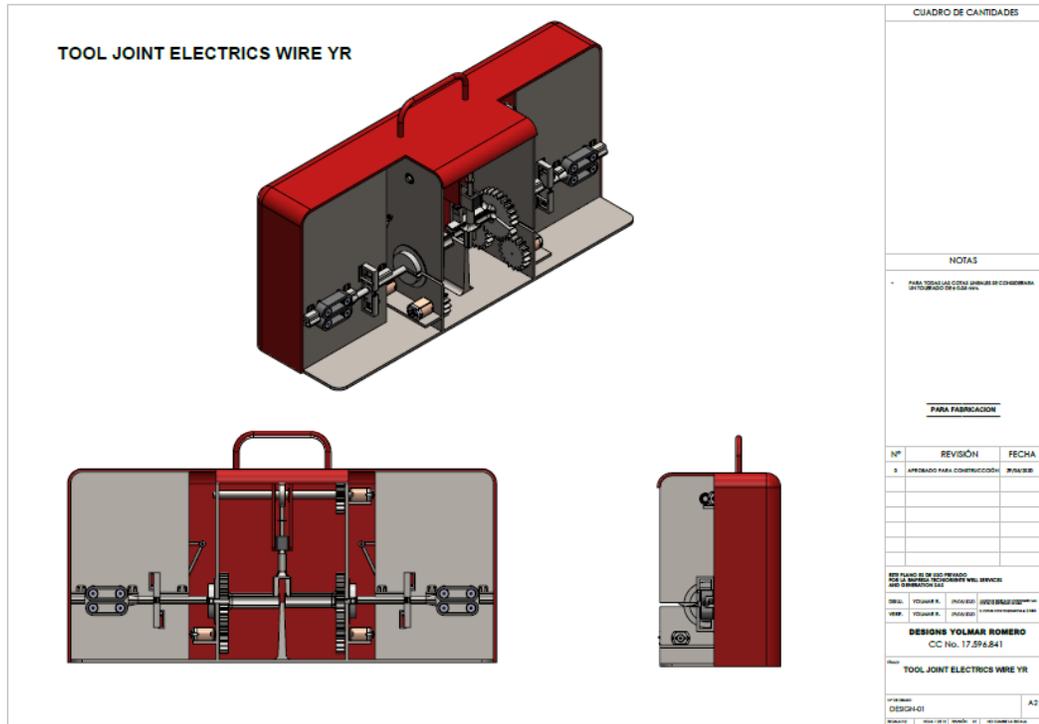


Figura 33. Vastagos, Guías, Soportes

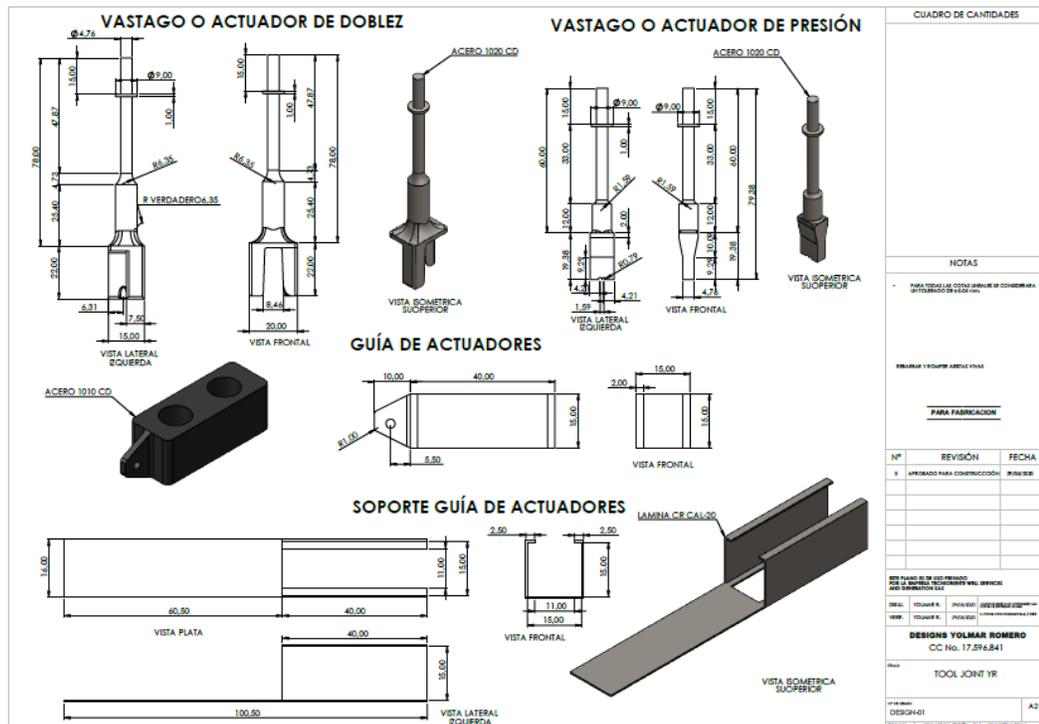


Figura 38. Guia conductor

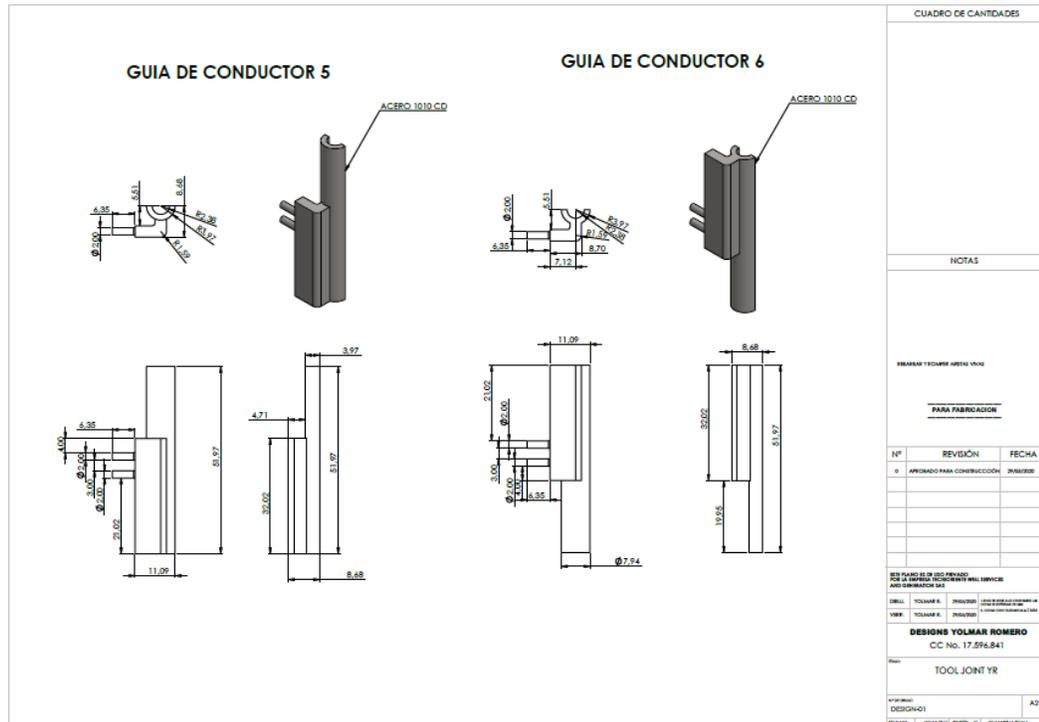
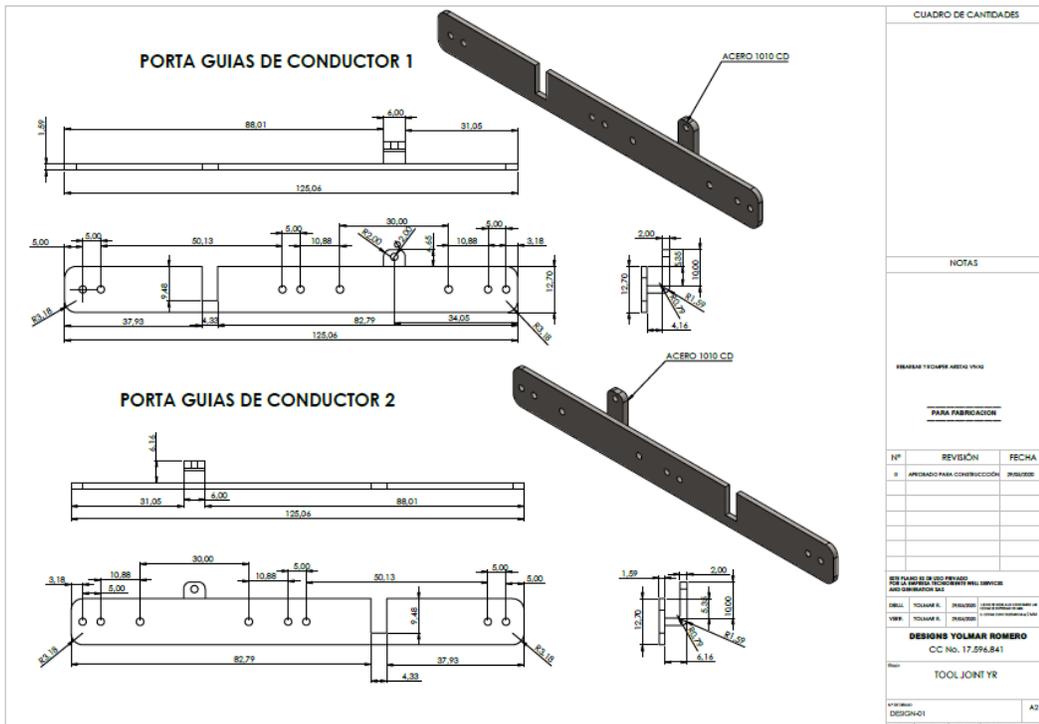
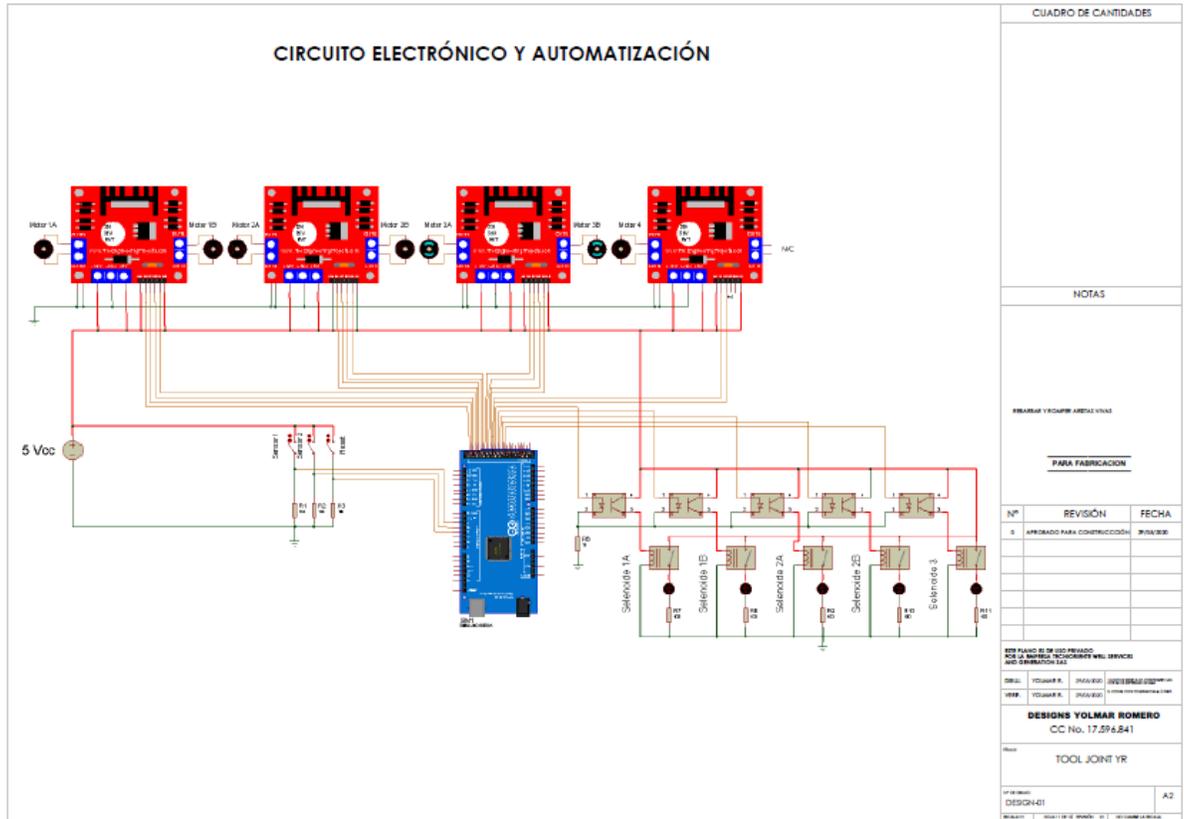


Figura 39. Porta guias



Planos electronicos. (Véase el Anexo I).

Figura 40. Plano Circuito electronico de control



4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

(Véase el Cuadro 10).

Cuadro 10. Presupuesto en detalle

COSTOS DE DISEÑO MECANICO			
ÍTEMS	DISEÑO Y GENERACIÓN DE PLANOS	DÍAS	V/TOTAL
1	Modelado en 3D mediante software de diseño CAD "SolidWorks 2020 versión estudiantil"	15	\$ 750.000
2	Generación de planos de fabricación	2	\$ 100.000
3	Impresión de planos		\$ 120.000
SUBTOTAL		\$	970.000
ELEMENTOS DE CONSUMO			
ITEMS	DESCRIPCIÓN	CATIDAD	PRECIO
1	Lamina HR 1/8" 4x8	1/4	\$ 57.715
2	Disco acero AISI 1020 CD Ø3/4" x 1/4"	1	\$ 5.800
3	Disco acero AISI 1010 CD Ø1" x 1/4"	1	\$ 2.500
4	Disco acero AISI 1010 CD Ø2-1/4" x 1/2"	2	\$ 3.200
5	Disco acero AISI 1020 CD Ø1-1/2" x 1/2"	4	\$ 5.000
6	Barra cuadrada AISI CD 3/4" x 3/4" x 3"	2	\$ 34.000
7	Barra eje acero AISI 1020 CD ø3/8" 150mm	1	\$ 47.000
8	Disco acero AISI 1020 CD Ø2" x 1/4"	1	\$ 4.500
9	Barra eje acero AISI 1020 CD Ø1/2" 127mm	1	\$ 87.037
10	Rodamientos	6	\$ 60.743
SUBTOTAL		\$	307.495

Continuación Cuadro 10.

ELEMENTOS PRIMARIOS PARA CONSTRUCCION MECANIZADA			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V/TOTAL
1	Piñones	8	\$ 384.000
2	Leva	1	\$ 12.000
3	Eje	1	\$ 9.000
4	Poleas	8	\$ 64.000
5	Enrolladores	2	\$ 24.000
6	Vástagos	2	\$ 16.000
7	Soldadura Chasis	1	\$ 25.000
SUBTOTAL		\$	534.000
DISEÑO DE CONTROL ELECTRONICO			
ITEMS	DISEÑO Y GENERACIÓN DE PLANOS	CANTIDAD	V/TOTAL
1	Diseño de software	1	\$25.000
2	Interfaz de relés	1	\$22.153
3	Fuente de alimentación	1	\$30.940
4	Arduino mega ADK	1	\$134.784
5	Módulo I298	4	\$35.404
SUBTOTAL			\$248.281
TOTAL			\$ 2.033.223

Fuente: Autor.

Cuadro 11. Presupuesto global del proyecto

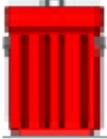
PRESUPUESTO	
MATERIA PRIMA (MP)	
DESCRIPCION	VALOR
ELEMENTOS DE CONSUMO	\$ 307.495
ELEMENTOS PRIMARIOS PARA CONSTRUCCION	\$ 559.000
ELEMENTOS PRIMARIOS PARA EL CONTROL ELECTRONICO	\$ 223.281
TOTAL	\$ 1.089.776
MANO DE OBRA (MO)	
DESCRIPCION	VALOR
DESARROLLO DE DISEÑO MECANICO	\$ 850.000
DESARROLLO DE DISEÑO ELECTRONICO	\$ 250.000
TOTAL	\$1.100.000
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACION (CIF)	
DESCRIPCION	VALOR
IMPRESIÓN DE PLANOS	\$ 120.000
BIBLIOGRAFIA Y COSTOS DE IMPRESIÓN LIBROS Y DOCUMENTOS	\$ 1.500.000
TOTAL	\$1.620.000
TOTAL PRESUPUESTO	
DESCRIPCION	VALOR
MATERIA PRIMA (MP)	\$ 1.089.776
MANO DE OBRA (MO)	\$ 875.000
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACION (CIF)	\$ 1.620.000
TOTAL	\$ 3.809.776

Fuente: Autor.

4.5 ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

Energía eléctrica y medioambiente. En el diseño de la herramienta está previsto para que los residuos de los conductores se puedan recolectar en un 100% para proteger el medio ambiente y los sitios de trabajo; más sin embargo se recomienda realizar la incorporación de la herramienta “**TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR**” al plan de gestión integral de la empresa como un equipo que desecha residuos que se deben almacenar aplicando la norma ISO 14001 VERSIÓN 2015. Con Los elementos para la disposición adecuada de los residuos y su almacenamiento, dando un manejo integral, como los que se pueden observar en la figura 41.

Figura 41. Manejo Integral de Residuos sólido

COLOR RECIPIENTE	ROTULO	CONTENIDO
Gris: 	Residuos Reciclables	Papel, Cartón, Plásticos y Vidrio,
Verde: 	Residuos Reciclables	No Residuos de alimentos y sus empaques, madera, productos de aseo.
Rojo: 	Residuos Contaminados	Residuos Impregnados de aceite e hidrocarburo (EPP, estopas, correas, baldes, madera, sellos de seguridad, entre otros). Además de papel y toallas higiénicas.

Fuente: Manejo Integral de Residuos sólido. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/146477/>.

4.6 GLOSARIO

ACERO: Metal cuyo compuesto químico principal es el hierro con una aleación de carbono, con una proporción entre el 0,03% y el 2%. Por otra parte, el acero dulce tiene como caracterización ser muy maleable (con una muy buena capacidad de deformarse) y tiene una concentración de carbono por debajo del 0,2%. Por tanto, se puede determinar al estar a una proporción mayor de carbono, el acero se hace más duro y por ende más frágil.

ARDUINO MEGA: Sistema embebido que está formado por una placa de hardware que se basa en el microcontrolador ATmega1280.

BISELADO: Acción que consiste en el rectificado de bordes hasta transformarlo en una superficie angular plana con una similitud a la letra "V"

BRASIÓN: Desgaste o deterioro de superficie, producido por rayado perenne o continuo, usualmente debido a la presencia de materiales extraños o partículas metálicas en el lubricante. Esto puede también causar rotura o resquebrajadura en el material (en las superficies de los dientes de engranes). También la falta de una adecuada lubricación puede dar como resultado la abrasión.

CABLE AISLADO: Conjunto constituido por uno o más conductores aislados, su eventual revestimiento individual, la protección eventual del conjunto y el o los revestimientos de protección eventuales.

CABLE MULTIPOLAR: Cable de más de un conductor aislado

CABLE UNIPOLAR: Cable de un solo conductor aislado.

CAD: Diseño asistido por computadora.

CIRCUNFERENCIA PRIMITIVA: Circunferencia que define la superficie por la que se engranan los dientes de los engranajes sin que estos se deslicen entre sí y se determinan las características de los diferentes elementos de los dientes de los engranes.

CONDUCTOR AISLADO: Conjunto que incluye el conductor, su envolvente aislante y sus eventuales pantallas

ERGONOMÍA: Estudio de la relación entre el cuerpo humano y el medio ambiente que le envuelve.

ESPESOR DEL DIENTE: Grosor del diente donde se presenta el contacto entre los engranes o bien sea en el diámetro primitivo.

PASO CIRCULAR: Longitud sobre la circunferencia primitiva entre puntos correspondiente a un diente y un vano en forma consecutiva.

RODAMIENTO: Dispositivo mecánico antifricción conformado por dos cilindros ubicados concéntricamente y elementos rodantes en forma de bolas o cilindros tipo rodillos.

ROZAMIENTO: Fuerza que surge entre dos cuerpos a través de superficies las cuales tienen un movimiento relativo entre ellas.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el diseño de esta herramienta para realizar empalmes de conductor unipolar aislado, cumplió con las expectativas y objetivos establecidos al inicio de este trabajo integral de grado en el que se proyectaron todos los mecanismos y el circuito electrónico de control para la automatización de la herramienta, empleando los conocimientos y experiencia en diseño, manejo de software CAD “SolidWorks”, cálculos mecánicos teniendo en cuenta las propiedades de los materiales y su comportamiento debido a los esfuerzos producidos por el funcionamiento de los mismos, de igual manera se demostró la apropiada implementación del software de programación y diseño electrónico y la generación de planos evidenciando en detalle las características, especificaciones técnicas y formas que determinan el proceso constructivo de cada una de las partes de la herramienta.

El desarrollo de este trabajo integral de grado me sirvió como base tecnológica para la realización de proyectos encaminados al diseño y desarrollo de máquinas industriales con tecnologías de punta, para su uso en el sector eléctrico, generando un menor impacto al medio ambiente y menos riesgos al operador.

El objeto de proporcionar la información generada por este trabajo integral de grado me entregó como proyectista una herramienta útil, que al ser analizada desde el punto de vista ingenieril, me permitió aplicar mi valiosa experiencia profesional de más de 10 años de trabajo en el área de diseño mecánico y estructural asociado a los conocimientos adquiridos durante la etapa lectiva de la formación como Ingeniero Electromecánico.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda a futuro realizar la construcción de la herramienta **“TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR”**, para aplicar toda la ingeniería planteada en este trabajo integral de grado y así comprobar la eficiencia del diseño.

Es importante que la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta, siga apoyando este tipo de proyectos para que sea un aporte a la comunidad estudiantil y de esta forma se promueva el desarrollo de la Ingeniería Electromecánica orientada al diseño de herramientas de uso industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¿Cuáles son los tipos de cables eléctricos?. Disponible en:
<https://www.quotatis.es/consejos-reformas/preguntas-frecuentes/electricidad-domotica-alarmas/cuales-son-los-tipos-de-cables-electricos/>

Budynas, Richard y J. Keith Nisbett. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Mc Graw-Hill/Interamericana Editores, S.A. DE C.V.

Colombia. Norma Técnica Colombiana NTC 2050. Código eléctrico colombiano 1998-11-25.

Empalme eléctrico. Disponible en: <http://dhrb.blogspot.com/2015/03/empalme-electrico.html>

Harper, Enrique. El ABC de las Instalaciones eléctricas residenciales. México: Limusa, 1998.

Norma Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos. ISO 14001 VERSIÓN 2015.

Norton L., Robert. Diseño de maquinaria; síntesis de máquinas y mecanismos. Mc Graw-Hill/Interamericana Editores.

RETIE (Reglamento aplicable para Colombia).

Tipos de cables eléctricos. Disponible en: <https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12>

ANEXOS

ANEXO B. DATA SHEET I298



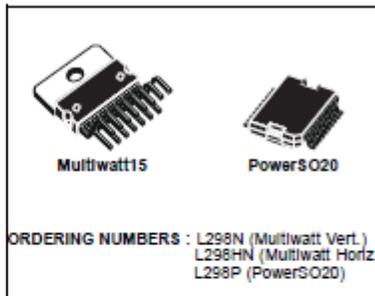
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 48 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

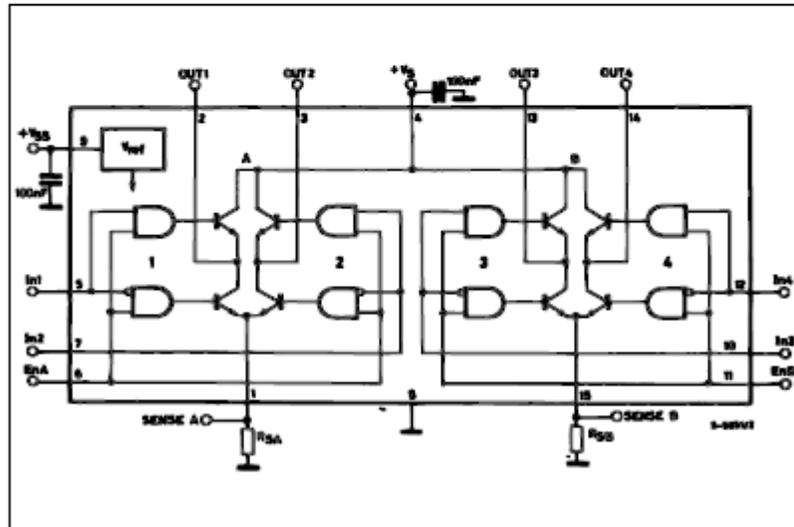
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

BLOCK DIAGRAM

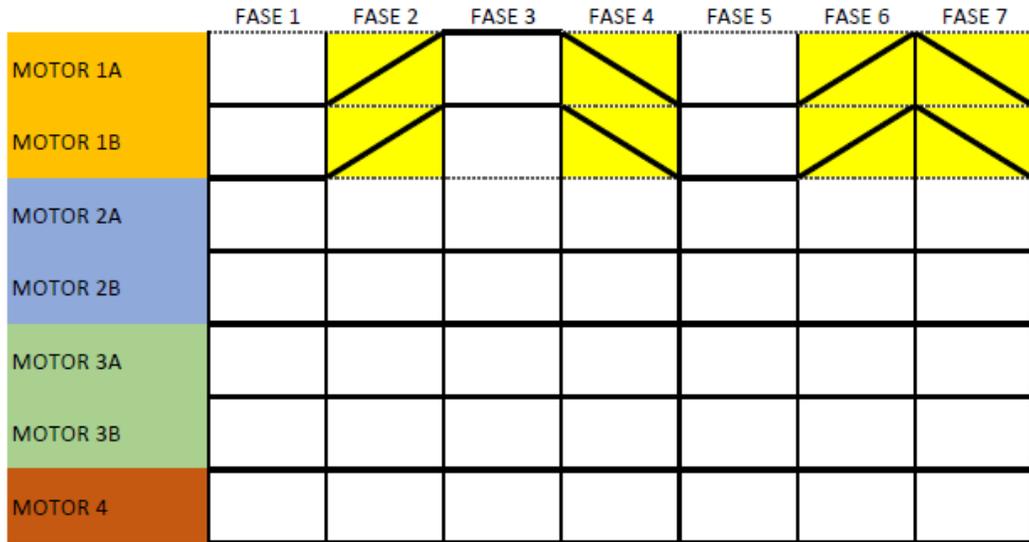


January 2000

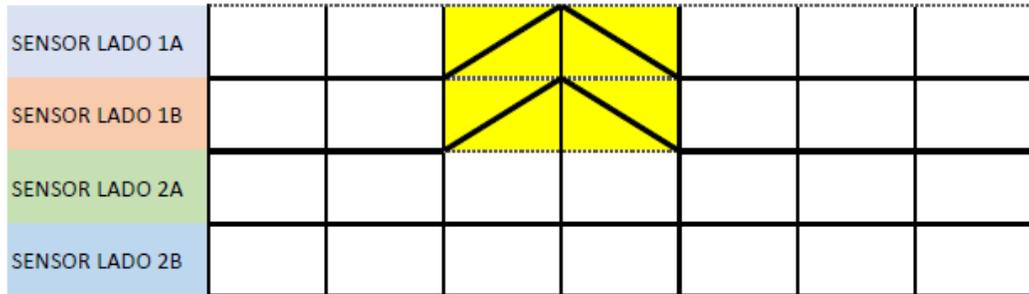
1/13

ANEXO C. Cuadro de secuencia

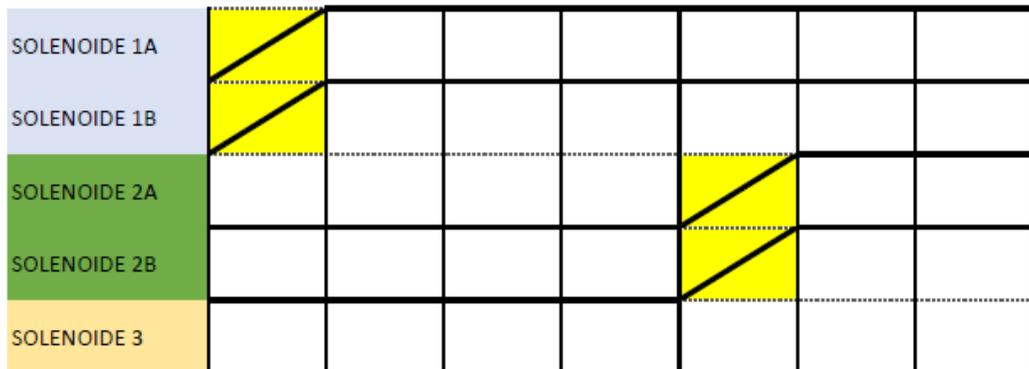
CUADRO DE SECUENCIAS DE MOTORES



CUADRO DE SECUENCIAS DE SENSORES DE MOVIMIENTO O PROXIMIDAD



CUADRO DE SECUENCIAS DE SOLENOIDES

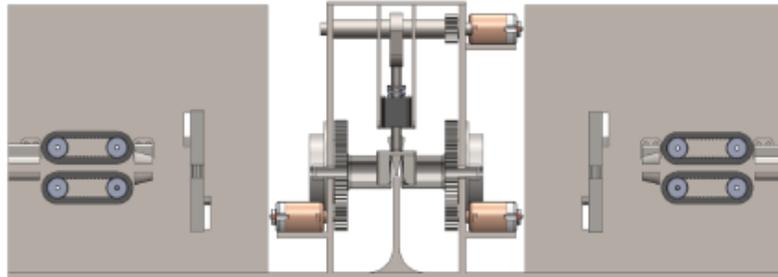


ANEXO D. Manual Usuario

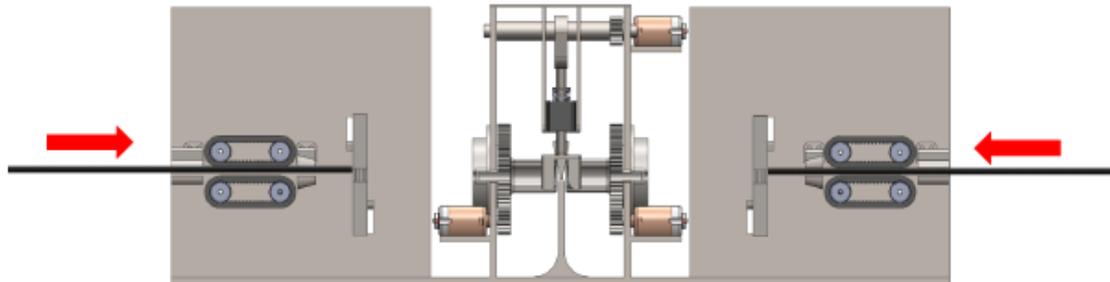
1. Alistamiento de conductores de alambre aislado a empalmar.



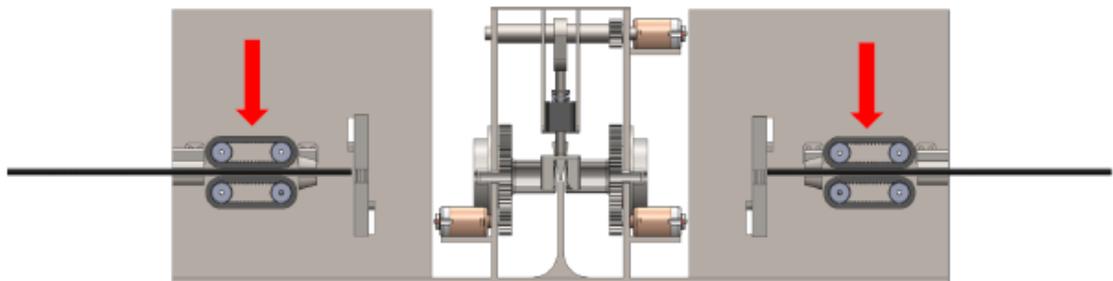
2. Fije la herramienta sobre una superficie horizontal y estable.



3. Introducimos los conductores en las guías de los extremos de la herramienta.



4. A continuación, se detectará la presencia del conductor y se activará el solenoide 1A y 1B, sujetando los conductores en los 2 extremos.



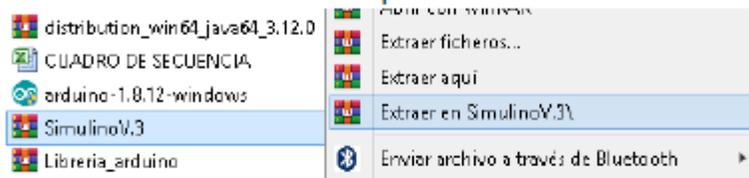
ANEXO E. Simulación de Arduino en Proteus

Simulación del control de la herramienta

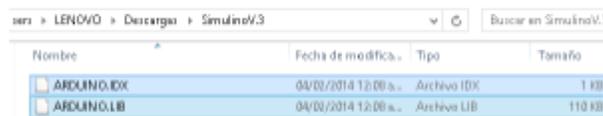
“TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR” usando arduino en proteus

Instalación de librerías de arduino en proteus

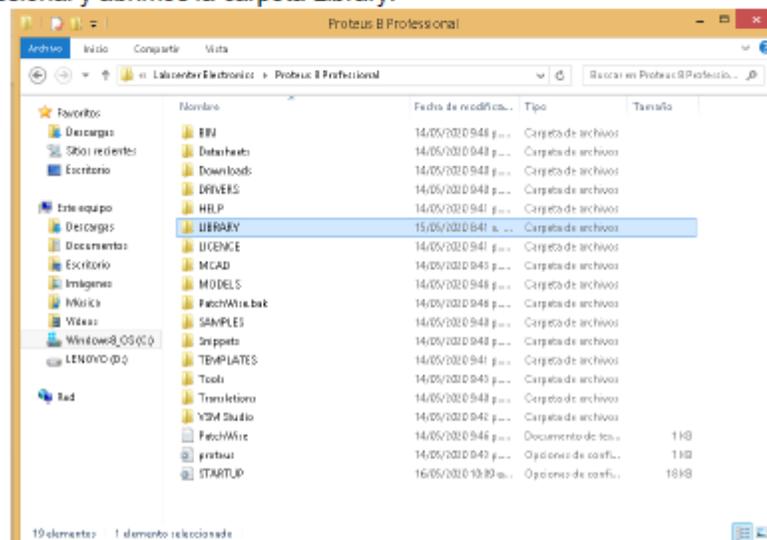
1. Descargar las librerías de arduino para proteus del enlace:
https://mega.nz/file/MlwFwlaa#Jn_XuKV2p06mcusL_PtPRkauLBEPHMeIql-q9AzC3g
2. Extraemos los archivos en una carpeta



3. Copiar los archivos que fueron extraídos.



4. Buscar la carpeta de instalación de proteus normalmente se encuentra en disco C:\ (Program Files o Program Files x86)\Labcenter Electronics\Proteus 8 Professional y abrimos la carpeta Library.



ANEXO F. Motores

Abrir La carpeta MOTORES en el CD y seguir instrucciones de simulación del ANEXO E

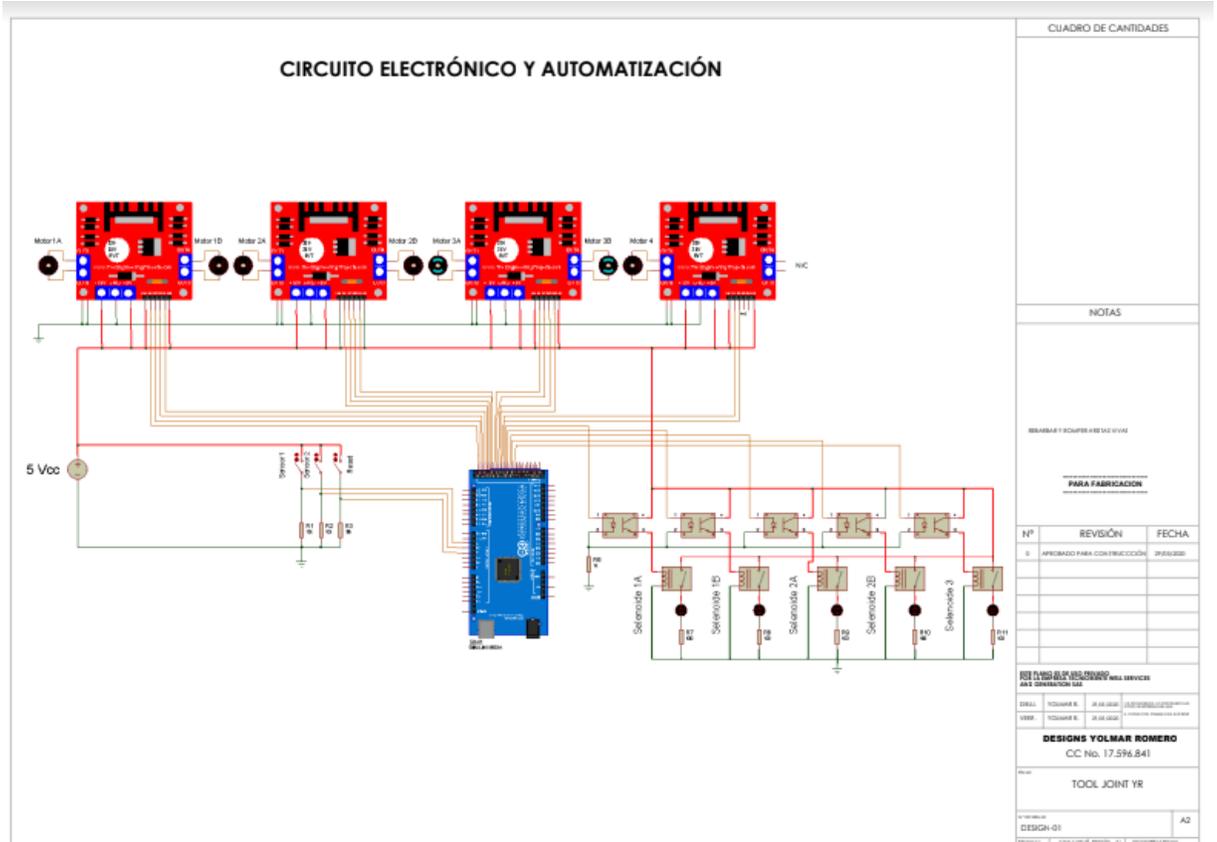


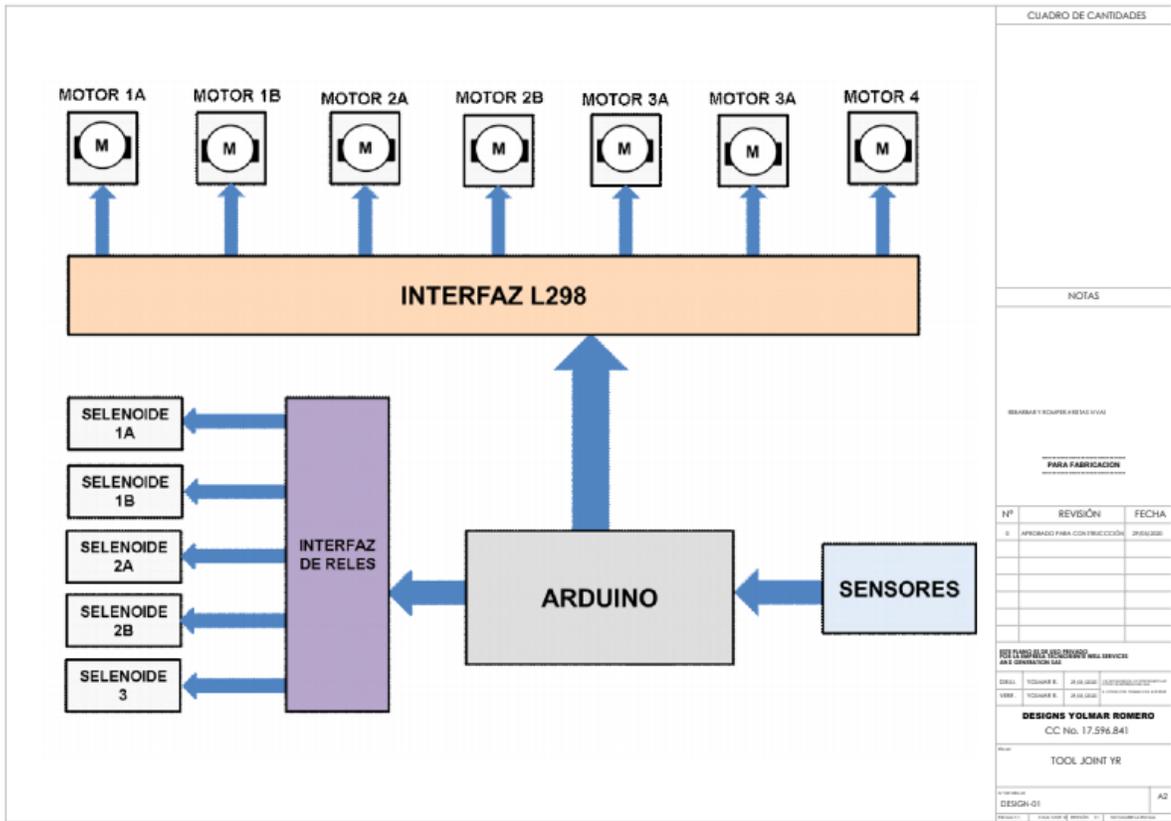
ANEXO G. Planos Mecánicos - TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR

TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR

CUADRO DE CANTIDADES		
NOTAS		
1. Para todas las cotas y medidas de construcción se utilizará el sistema métrico.		
"SIMBOLIZACIÓN"		
Nº	REVISIÓN	FECHA
1	APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN	2008/08/01
<small> DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE: DESIGNER YOLMAR ROMERO C.C. No. 17.594.841 PARA: TOOL JOINT ELECTRICS WIRE YR ESCALA: 1:1 DISEÑO: 01 A3 </small>		

ANEXO H. Planos Electrónicos





ANEXO I. CÓDIGO FUENTE DEL SKETCH DEL PROGRAMA

```
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
```

```
/ Motor 1A conexiones
int enA1 = 22;
int in11 = 23;
int in21 = 24;
// Motor 1B conexiones
int enB1 = 27;
int in31 = 25;
int in41 = 26;
//Motor 2A
int enA2 = 28;
int in12 = 29;
int in22 = 30;
//Motor 2B
int enB2 = 33;
int in32 = 31;
int in42 = 32;
//Motor 3A
int enA3 = 34;
int in13 = 35;
int in23 = 36;
//Motor 3B
int enB3 = 39;
int in33 = 37;
int in43 = 38;
//Motor 4
int enA4 = 40;
int in14 = 41;
int in24 = 42;

//Selenoide 1A
int sele1A = 49;
//Selenoide 1B
int sele1B = 50;
//Selenoide 2A (Cortadora)
int sele2A = 51;
//Selenoide 2B (Cortadora)
int sele2B = 52;
//Selenoide 3
int sele3 = 53;

//Sensor de posicionamiento del cable
int sensor1 = 2;
int sensor2 = 3;
int sensor3 = 4;
```