



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE ROBOT PARALELO
ORIENTADO A PROCESOS SIDERURGICOS DE CORTE DE LAMINA, A
TRAVES DEL ACONDICIONAMIENTO DE EQUIPO DE OXICORTE, EN LA
CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO 2014

BELALCAZAR LUGO HEYDER DANILO
BOTINA BOTINA JUAN ANDRÉS
ZAMBRANO ORDOÑEZ ANGIE BRIGITH

COORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DE NARIÑO
FACULTAD DE ELECTRONICA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
PASTO
2014



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE ROBOT PARALELO
ORIENTADO A PROCESOS SIDERURGICOS DE CORTE DE LAMINA, A
TRAVES DEL ACONDICIONAMIENTO DE EQUIPO DE OXICORTE, EN LA
CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO 2014

BELALCAZAR LUGO HEYDER DANILO
BOTINA BOTINA JUAN ANDRÉS
ZAMBRANO ORDOÑEZ ANGIE BRIGITH

Trabajo de grado para optar el título de pregrado en ingeniería electrónica

Asesor técnico
ING. ESPECIALISTA: JOHN ESTRADA

COORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DE NARIÑO
FACULTAD DE ELECTRONICA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
PASTO
2014



NOTA DE ACEPTACION

Firma del presidente del jurado

JURADO 1

JURADO 2

PROHIBIDA SU COPIA



DEDICATORIA.

A mi madre Mónica Ordoñez. Por haberme apoyado en todo momento, por sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Oscar Zambrano. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mi hermana Greace Zambrano. Por ser mi amiga, por cada momento de alegría, por cada locura, por ser mi inspiración, mi fuerza y la razón por la cual sigo adelante.

A mi novio Diego Guerrero. Por ser mi confidente, mi mejor amigo y compañero, por cada aventura vivida a su lado y por ser siempre la persona que me mantiene de pie.

A mis amigos y compañeros de tesis Juan Botina y Heyder Belalcazar por su paciencia y dedicación, por cada experiencia juntos en este tiempo

A mis tíos, primos, amigos y especialmente a mis abuelos por todo su apoyo, por brindarme su sabiduría y amor

ANGIE BRIGITH ZAMBRANO ORDOÑEZ.



DEDICATORIA.

A mis padres Juan Botina Noguera y Fidelia Botina que creyeron en mí y me brindaron todo su apoyo moral y económico, a mi hermana Claudia Lorena Botina que con su confianza, amistad y cariño me acompañó durante esta fase de mi vida y a mi novia Diana Carolina Villota que siempre me brindo su compañía y sus consejos.

JUAN ANDRES BOTIN BOTINA

PROHIBIDA SU COPIA



DEDICATORIA.

A mis padres Erasmo Belalcazar y Doris Lugo por su apoyo incondicional, que a pesar de la distancia trabajaron conmigo de la mano, así mismo con su confianza y cariño me dieron el coraje para seguir luchando; a mi hermano Jeasson Belalcazar quien es mi consejero y gran parte de mi fuerza en este proceso y a mi novia Karely Arévalo quien me acompañó en cada momento sin dejarme desfallecer ante ninguna situación.

HEYDER DANILO BELALCAZAR LUGO

PROHIBIDA SU COPIA

AGRADECIMIENTOS.



Primero que todo damos gracias a Dios y a la vida por alcanzar este logro, por permitir compartir cada experiencia juntos y haber culminado ese proceso.

Agradecemos infinitamente a todos y cada uno de los docentes de la Corporación Universitaria autónoma de Nariño por enseñarnos y aportarnos todos sus conocimientos, los cuales hoy nos llevamos para nuestras vidas. A nuestros compañeros y docentes por compartir momentos inolvidables.

A nuestros padres, familiares y amigos que nos brindaron todo su apoyo y comprensión creyendo en nuestras capacidades para lograr alcanzar nuestro el título profesional.

A nuestros asesores Jhon Dario Estrada, Javier Polo y Oscar Rodríguez por estar pendientes de cada detalle, por aportar sus conocimientos, por su tiempo y dedicación con este proyecto

GRACIAS.

PROHIBIDA SU COPIA



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
PRESENTACION DEL R.A.E.	
1. TITULO	26
INTRODUCCION	27
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	29
2.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	29
2.2 FORMULACION DEL PROBLEMA	32
2.3 JUSTIFICACION	32
3. OBJETIVOS	34
3.1 GENERAL	34
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.	34
4. MARCO REFERENCIAL.	35
4.1 MARCO CONTEXTUAL.	35
4.2 MARCO LEGAL.	35
4.3 MARCO CONCEPTUAL – TEORICO.	37
4.4 MARCO TECNOLOGICO	45
5. DISEÑO METODOLOGICO	48
5.1 LINEA DE INVESTIGACION	48
5.2 ENFOQUE	49
5.3 TIPO DE INVESTIGACION	49
5.4 METODO	49
5.5 DETERMINACION DEL UNIVERSO INVESTIGATIVO.	50
5.5.1 DETERMINACION DE LA POBLACION	50
5.5.2 DETERMINACION DE LA MUESTRA	50
6. ELEMENTOS DE ADMINISTRACION Y CONTROL	51
6.1 RECURSOS	51
6.1.1 RECURSOS INSTITUCIONALES	51
6.1.2 RECURSOS HUMANOS	51
6.1.3 RECURSOS TECNOLOGICOS	51
6.1.4 RECURSOS FINANCIEROS	52
6.2 PRESUPUESTO	52
6.2.1 Inversión en maquinaria y equipo	52
6.2.2 Inversión en laboratorio y seguridad industrial	52
6.2.3 Presupuesto de inversiones	53
6.3 CRONOGRAMA	55



7. ANALISIS DE RESULTADOS	58
7.1 ANALISIS DE ENCUESTAS	58
7.2 ANÁLISIS DE BOSQUEJOS PLANOS Y FICHAS TECNICAS	70
7.3 ANALISIS DE DISEÑOS	71
7.4 ANALISIS DE ENSAMBLES Y GRAFICOS DE PROTOTIPO	73
7.5 PROCESOS DE EXPERIMENTACIÓN	75
7.6 CALCULOS ESTRUCTURALES	77
7.7 COSTOS Y PRESUPUESTO	84
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	87

PROHIBIDA SU COPIA



LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Partes de una cortadora	41
Figura 2: Sistema tradicional de oxicorte	45
Figura 3: Boceto de la cortadora de lámina mediante equipo de oxicorte.	46
Figura 4: Bosquejo inicial	71
Figura 5: Prototipo en madera	71
Figura 6: Prototipo en aluminio	72
Figura 7: Ensamble inicial	73
Figura 8: Sistema de riel	73
Figura 9: Sistema de cadena	74
Figura 10: Arduino Mega	74
Figura 11: Prototipo en tubo cuadrado de aluminio	76
Figura 12: Servomotor	76
Figura 13 : Esquemático robot paralelo	78
Figura 14: Cinemática primera cadena	79
Figura 15: Cinemática segunda cadena	80
Figura 16: Cinemática tercera cadena	81



LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1: Edad y experiencia	59
Gráfica 2: Experiencia	59
Gráfica 3: Edad	59
Gráfica 4: Edad y experiencia	59
Gráfica 5: Precisión del corte de lámina	61
Gráfica 6: Tiene control de velocidad la máquina que usa	62
Gráfica 7: Pertinencias al operar una cortadora	63
Gráfica 8: Dificultades en la maquina cortadora	64
Gráfica 9: Necesidades de la maquina cortadora de lamina	65
Gráfica 10: El mejor sistema de oxicorte	66
Gráfica 11: La máquina redice el trabajo	67
Gráfica 12: Riesgo del operario	68
Gráfica 13: Proceso para corte de lámina	68
Gráfica 14: Reducción de riesgo con implementación de nuevas tecnologías	70



LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Recursos institucionales Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 2: Recursos humanos Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 3: Recursos tecnológicos Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 4: Recursos financieros Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 5: Inversión en maquinaria y equipo Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 6: Inversión en laboratorio y seguridad industrial Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 7: Presupuesto de inversiones Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 8: Materia prima e insumos Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 9: Mano de obra directa Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 10: Total costos del proyecto Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 11: Cronograma de actividades Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 12: Edad y experiencia Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 13: Precisión del corte de lámina Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 14: Tiene control de velocidad la máquina que usa Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 15: Pertinencias al operar una cortadora Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 16: Dificultades en la maquina cortadora Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 17: Necesidades de la maquina cortadora de lamina Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 18: El mejor sistema de oxicorte Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 19: La máquina redice el trabajo Marcador no definido.	¡Error!



Tabla 20: Riesgo del operario Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 21: Proceso para corte de lámina ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 22: Reducción de riesgo con implementación de nuevas tecnologías Marcador no definido.	¡Error!

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: formato de encuesta	89
Anexo 2: Diseño prototipo	91
Anexo 3: programación cinemática directa primera cadena	91
Anexo 4: programación cinemática directa segunda cadena	92
Anexo 5: programación cinemática directa tercera cadena	92
Anexo 6: Modelado inverso	92
Anexo 7: Main	93
Anexo 8: Ecuacion cuadratica	95
Anexo 9: Grafica	95
Anexo 10: Trayectoria Circunferencia	96
Anexo 11: Programación motor eje X con sensor de ultrasonido	96
Anexo 12: Programación motor eje Y con sensor de herradura.	97
Anexo 13: Circuito Electrónico	98



Anexo 14: Plano Electrónico – Circuito de control y potencia.	99
Anexo 15: Corte realizados con el prototipo usando oxicorte.	99
Anexo 16: Planos estructura mecánica de prototipo.	101
Anexo 17: Manual del prototipo.	101

**PROTOTIPO DE ROBOT PARALELO ORIENTADO A PROCESOS SIDERURGICOS DE
CORTE DE LÁMINA, A TRAVES DEL ACONDICIONAMIENTO DE EQUIPO DE
OXICORTE**



HEYDER DANILO BELALCAZAR LUGO
ANGIE ZAMBRANO ORDOÑEZ
JUAN ANDRES BOTINA BOTINA

heyders_8@hotmail.com
angie.zambrano.or@gmail.com
andresjl18@hotmail.com

RESUMEN ANALITICO EDUCATIVO - R.A.E.

A continuación se da a conocer la investigación realizada por los estudiantes: Angie Brighth Zambrano Ordoñez, Heyder Danilo Belalcazar Lugo y Juan Andres Botina Botina pertenecientes al programa de Ingeniería Electrónica en la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño; donde se describe el diseño de prototipo de robot paralelo, su modelado y construcción.

La metodología manejada en esta investigación está enfocada al área de automatización industrial con la línea de investigación de diseño de sistemas y equipos electrónicos, que tengan como finalidad la solución de problemáticas relacionadas con el tema en cuestión.

Palabras Claves.



- Oxicorte: Técnica auxiliar a la soldadura, desarrollada desde 1903 y usada hasta la fecha en innumerables aplicaciones industriales, que se utiliza para la preparación de los bordes de las piezas a soldar cuando son de espesor considerable, y para realizar el corte de chapas, barras de acero al carbono de baja aleación u otros elementos ferrosos.
- Robot paralelo: Un robot paralelo es un mecanismo de lazo cerrado en el cual una plataforma móvil está conectada a una base por al menos dos series de cadenas cinemáticas
- Arduino: es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.
- Mat Lab: **MATLAB** (abreviatura de MATrix **LAB**oratory, "laboratorio de matrices") es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M)
- Eficiencia: Capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función.
- Velocidad: Relación que se establece entre el espacio o la distancia que recorre un objeto y el tiempo que invierte en ello.
- Servomotores: es un dispositivo que tiene la capacidad de estar en cualquier posición dentro de su rango de operación y permanecer estable en dicha posición.
- Moto reductores: tiene un motor acoplado directamente, el reductor no tiene un motor acoplado directamente.
- Cinemática inversa: es una gran técnica para crear movimientos realistas. La IK permite crear movimientos coordinados dentro de una cadena de partes conectadas denominada esqueleto IK, de modo que las partes se mueven juntas como en la vida real
- Cinemática Directa: Es el estudio de los movimientos de un robot. En un análisis cinemático la posición, velocidad y aceleración de cada uno de los elementos del robot son calculados sin considerar la fuerzas que causan el movimiento
- Trayectoria.

Introducción.

En San Juan de Pasto, capital del departamento de Nariño existe una gran cantidad de empresas en el sector metalmecánico, de las cuales la mayoría utilizan maquinaria tradicional. Esto implica que los trabajos que se llevan a cabo en los talleres no son de muy buena calidad o en algunos casos no se puede elaborar la pieza por la falta de equipos aptos para este tipo de corte, cuyo principal inconveniente se presenta cuando hay casos complejos por el grosor, calibre, defectos del material o por la figura que se desee. Por tal motivo se realiza la investigación en este sector para solventar las necesidades presentes y brindar seguridad a los operarios, ya que el prototipo disminuirá considerablemente el contacto directo hombre-máquina, por ser un dispositivo semi-



automático que en conjunto con sistemas electromecánicos, electrónicos e informáticos Es capaz de ejecutar acciones en la lámina sin manipulación directa del encargado, además de garantizar la calidad en el producto final.

Mirando los diferentes puntos de vista en que se trabaja la lámina, se define como un elemento muy versátil que se lo puede usar en un sin número de opciones. Por lo que representa una gran demanda de los productos y estructuras fabricados con este material. A pesar de esto no se ha generado el suficiente desarrollo para solventar la necesidad de las transformaciones requeridas a nivel regional. Hoy en día la tecnología ha avanzado colosalmente en este sentido ya que el desarrollo que se viene presentando es considerable, de esto se han creado diferentes máquinas que son totalmente independientes como las cortadoras de plasma y de láser utilizadas en las grandes industrias.

Objetivos de Estudio.

Dentro de esta investigación se determina un objetivo general que se cumple a partir de 5 pasos importantes o de objetivos específicos:

1. Revisar las teorías existentes y documentos, que faciliten el desarrollo del diseño y construcción del prototipo.
2. Diseñar los sistemas que interviene en el prototipo robot paralelo para corte de lámina, a través de la inclusión de técnicas de modelamiento matemáticos que dimensionen las etapas electrónicas y mecánicas del mismo.
3. Construir el sistema electromecánico del robot paralelo en base a la parametrización cinemática y dinámica desarrollada en el modelo.
4. Elaborar los sistemas electrónicos orientados al control de movimiento y a la transferencia de potencia hacia los actuadores y drivers del prototipo.
5. Desarrollar pruebas para el control de parámetros de funcionamiento del robot paralelo.

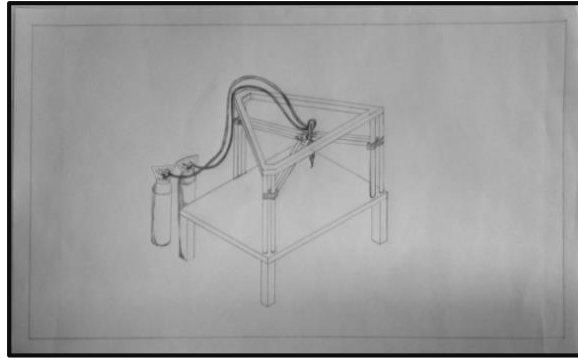
Desarrollo.

Durante el desarrollo del proyecto se llevaron a cabo varias etapas de construcción, divididas de la siguiente manera:

1ª fase: durante esta fase se llevó a cabo el modelado del robot paralelo, para lo cual fue necesario identificar cada uno de los parámetros que se van analizar tales como las medidas de los eslabones, la fuerza de cada actuador, área de trabajo del robo, entre otros La dinámica incluye el estudio de los sólidos rígidos y la fricción en los pares o juntas que constituyen al robot, que son fuerzas presentes en los elementos activos debido al contacto entre dos superficies con un movimiento relativo, tales como los rodamientos, engranes, cilindros hidráulicos entre otros, además los principales dispositivos de actuación serán los motores, encargados de impulsar al robot y que pueden influir considerablemente en su dinámica.



Boceto de la cortadora de lámina mediante equipo de oxicorte.



Fuente: Esta investigación

2ª fase: en esta etapa se procedió con diseño de la estructura mecánica tras a haber obtenido el respectivo modelado se hace el pertinente estudio sobre los materiales a utilizar, donde se tendrá en cuenta la resistencia, la textura entre otros factores importantes que se deben tener presentes.

Una vez se ya elegido los materiales se inicia con el ensamble de la estructura siguiendo los parámetros que requiere el prototipo, el siguiente boceto indica posiblemente lo que será el proyecto final.

3ª fase: en este paso se ubican en la estructura mecánica los diferentes actuadores como los sensores, motores DC y servomotores; Donde los últimos se sitúan en las articulaciones de los brazos para generar movimiento, y los sensores limitan el área de trabajo. También se hará la respectiva disposición de engranes, poleas, correas o bandas y los pertinentes ajustes que estos requieren para eliminar así la fricción y darle un óptimo movimiento al robot paralelo.

4ª fase: Posteriormente se realiza el diseño electrónico con su respectiva simulación, que maneja los motores, servomotores y sensores además de otros componentes necesarios para el funcionamiento del robot paralelo.

5ª fase: Una vez terminadas las etapas de construcción del prototipo se procede a enlazar la estructura física con el software que en este caso fue el Mat Lab, uno de los programas más utilizados en este tipo de modelado matemático.

Diseño.

Prototipo en aluminio



Fuente: Esta investigación

En este diseño ya definido por los cálculos exactos de lo que se necesita, cada eslabón mide 21 cm de largo y el triángulo tiene 17.5 cm de cada lado, así se obtiene el área necesaria para realizar variedad de cortes en lámina.

El triángulo externo del prototipo debe medir 50 cm de eje a eje de cada motor, en este prototipo, por diseño, la base se estructuró de forma rectangular, ya que el área que cubre el robot sobrepasa los límites del área del triángulo; realizando la base de forma rectangular con 50,3cm por 60,5cm.

Se realiza el prototipo de aluminio el cual se le hacen los cambios respectivos para mejorar la dinámica del sistema, llegando a un prototipo final con buen funcionamiento y cumpliendo con los objetivos que debe cumplir el prototipo.

Ya teniendo esta estructura del robot, se continúa con la estructura de la mesa de trabajo de tal forma que en esta alcance una lámina entera de aluminio con las siguientes dimensiones: 120 cm x 240cm, que es el tamaño universal de una lámina completa de aluminio.

La mesa consta de dos carriles un horizontal y otro vertical con el fin de que se realice un movimiento preciso para realizar los cortes deseados, así el robot puede moverse en cualquier dirección alcanzando toda el área de la lámina en su totalidad.

Experimentación.

En el desarrollo de todo el proceso se empezó realizando prototipos de prueba del robot paralelo como se observa anteriormente. El primer prototipo se diseñó en madera con el cual se detalló y analizó el movimiento de las articulaciones y la base móvil, es decir se estudió la dinámica de las articulaciones y el área de trabajo en la que se desplazaba la base móvil.

Posteriormente a este se realizó un prototipo hecho en tubo cuadrado de aluminio y su base móvil en platina de 1/8 de pulgada con el cual se tenía planeado trabajar, pero después de varias pruebas no se obtuvieron buenos resultados en su dinámica ya que en las articulaciones el tubo cuadrado se encontraba recortado y modificado para que en su interior se localizara la unión con el otro tubo, el error fue que al hacer esto no se obtuvo los grados de giro deseados ya que se dieron bloqueos en el movimiento de los eslabones por la misma configuración, los cortes en el



tubo se realizaron de tal manera que la estructura no perdiera estabilidad pero con las comprobaciones realizadas este prototipo fue descartado por no cumplir con las expectativas deseadas.

Prototipo en tubo cuadrado de aluminio



Fuente: Esta investigación

EL prototipo final se concibió con varilla plana de aluminio como eslabones las cuales eliminaron el anterior problema. En las articulaciones se usaron tornillos pasadores con tuercas y lubricados para reducir al máximo la fricción y su base móvil se creó en platina de 1/8 de pulgada la cual es lo suficientemente sólida para soportar el peso necesario sin tener deformaciones.

Los actuadores que se escogieron inicialmente fueron motores D.C. a 12 voltios y motores paso a paso para realizar pruebas pero no se obtuvo ni la fuerza ni la precisión necesaria para el robot, la resolución fue optar por servomotores de alto torque, los cuales tiene un torque casi de 20kg*cm en su forma eficiente y cuenta con una velocidad de 0,14seg/60º que resulta más que suficiente para el dispositivo.

La estructura del robot paralelo se encuentra encima de una base móvil que tiene dos grados de libertad ya sea en el eje Y como en el X. Para el plano X se realizó un diseño que contaba con un moto reductor que tenía una banda en goma en su eje la cual hacía fricción en un canal para así poder mover la estructura del robot, por lo cual se diseñó una cremallera mecánica donde estaba el canal y en el eje del motor se cambió la banda por un piñón.

En el plano Y ya que la distancia es grande la transmisión de potencia se complica, para este punto se tomó también un moto reductor pero a diferencia del anterior este ve incrementada su fuerza, en su eje se diseñó una parte específica en torno para que resista la fuerza que se va a ejercer en ese punto y un piñón pequeño al final del eje, en un extremo encontrará el piñón del motor y en el otro un piño de sostenimiento los que le permitieran su desplazamiento.

El cableado estructurado se realizó en los bordes de la mesa con sus respectivos recubrimientos y espacios de movimiento para no tener complicaciones en momentos de desplazamientos en la estructura. El cableado llega a una tarjeta Arduino Mega que se lo usa como interfaz para conectar Mat Lab con el sistema.

CALCULOS ESTRUCTURALES

➤ CRITERIO DE KUTZBACH

$$F = \lambda(n - j - 1) + \sum_i f_i$$

Donde:

F= Grados de libertad del mecanismo

λ = Grados de libertad donde se desea que se desempeñe el mecanismo

n = número de eslabones incluyendo la base

j = número de juntas cinemáticas

f = grados de libertad permitidos por juntas cinemáticas

Mecanismo planar paralelo:

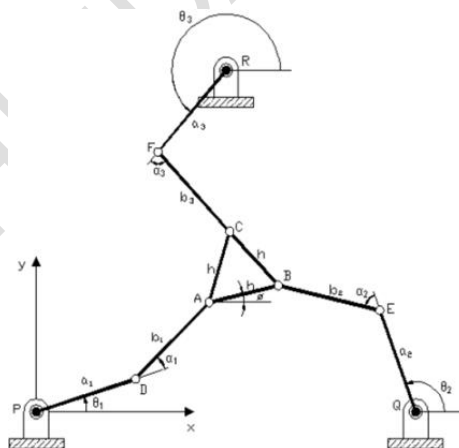
$$\lambda = 3$$

$$n = 8 \quad F = 3(8 - 9 - 1) + 9 \times 1 = 3$$

$$j = 9$$

➤ CINEMATECA DIRECTA DEL MECANISMO

Esquemático robot paralelo



Fuente: Esta investigación

Geometría del mecanismo: Las coordenadas de los puntos B y C pueden ser escritas en términos del punto A y θ

➤ Punto B:

$$x_B = x_A + h \cos\theta$$

$$y_B = y_A + h \sin\theta$$

➤ Punto C:

$$x_C = x_A + h \cos \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right)$$

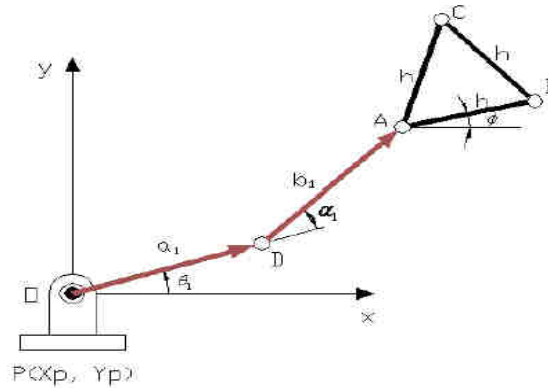
$$y_C = y_A + h \sin \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right)$$

➤ Punto A:

$$\vec{OA} = \vec{OP} + \vec{PD} + \vec{DA}$$

➤ CINEMÁTICA DIRECTA PRIMERA CADENA

Cinemática primera cadena



Fuente: Esta investigación

Vector PD

$$// X \left\langle \cos \theta = \frac{a_1 x}{a_1} \rightarrow a_1 x = \cos \theta * a_1 \right\rangle$$

$$y \left\langle \sin \theta = \frac{a_1 y}{a_1} \rightarrow a_1 y = \sin \theta * a_1 \right\rangle //$$

Vector DA

$$// X \left\langle \cos \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right) = \frac{b_1 x}{b_1} \rightarrow b_1 x = \cos \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right) * b_1 \right\rangle$$

$$y \left\langle \sin \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right) = \frac{b_1 y}{b_1} \rightarrow b_1 y = \sin \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right) * b_1 \right\rangle //$$

Es decir:

$$x_A = x_p + a_1 \cos \theta_1 + b_1 \cos(\theta_1 + \alpha_1)$$

$$y_A = y_p + a_1 \sin \theta_1 + b_1 \sin(\theta_1 + \alpha_1)$$

Con: $y_p = x_p = 0 \rightarrow$ coinciden con el origen x, y para la cadena uno

$$x_A - a_1 \cos \theta_1 = b_1 \cos(\theta_1 + \alpha_1)$$

$$y_A - a_1 \sin \theta_1 = b_1 \sin(\theta_1 + \alpha_1)$$

Para el desarrollo de este sistema de ecuaciones se procedió a utilizar MatLab como programa de resolución haciendo un cambio de variables de la siguiente manera

Donde:

$$f1 = x_A - a_1 \cos \theta_1$$

$$f2 = y_A - a_1 \sin \theta_1$$

$$b1 = b_1 \sin(\theta_1 + \alpha_1)$$

f = sistema resuelto

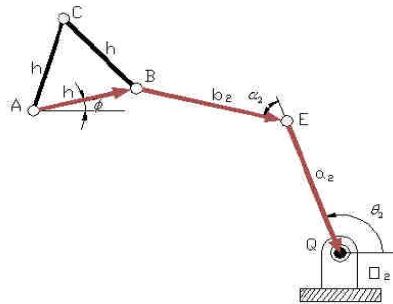
ECUACION 1 (f)

$$x_A^2 + Y_A^2 - 2x_A a_1 \cos \theta_1 - 2y_A a_1 \sin \theta_1 + a_1^2 - b_1^2 = 0$$

➤ CINEMATICA DIRECTA SEGUNDA CADENA

$$AO_2 = \overline{AB} + \overline{BE} + \overline{EQ} + Q$$

Cinemática segunda cadena



Fuente: Esta investigación

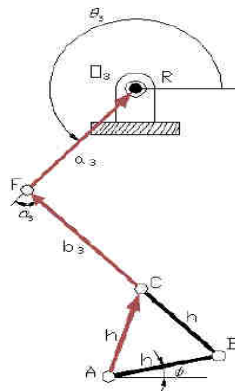
Se realizó el mismo proceso de la cadena uno obteniendo:

$$X_A^2 + Y_A^2 - 2x_A x_Q - 2y_A y_Q + X_Q^2 + Y_Q^2 + h^2 + a_2^2 + b_2^2 + 2x_A h * \cos \phi + 2y_A h * \sin \phi - 2x_A a_2 * \cos \theta_2 - 2y_A a_2 * \sin \theta_2 - 2a_2 h * \cos \phi \cos \theta_2 - 2x_Q h * \cos \phi - 2Y_Q h * \sin \phi + 2x_Q a_2 * \cos \theta_2 + 2y_Q a_2 * \sin \theta_2 - 2a_2 h * \sin \phi \sin \theta_2 = 0$$

➤ CINEMATICA DIRECTA TERCERA CADENA

$$AO_3 = \overline{AC} + \overline{CF} + \overline{FR}$$

Cinemática tercera cadena



Fuente: Esta investigación

Se procede de igual forma a las anteriores cadenas uno, obteniendo:

$$X_A^2 + Y_A^2 - 2x_A x_R - 2y_A y_R + X_R^2 + Y_R^2 + h^2 + a_3^2 - b_3^2 + 2x_A h * \cos(\phi + \frac{\pi}{3}) + 2y_A h * \sin(\phi + \frac{\pi}{3}) - 2x_A a_3 * \cos \theta_3 - 2y_A a_3 * \sin \theta_3 - 2a_3 h * \cos(\phi + \frac{\pi}{3}) \cos \theta_3 - 2x_R h * \cos(\phi + \frac{\pi}{3}) - 2y_R h * \sin(\phi + \frac{\pi}{3}) + 2x_R a_3 * \cos \theta_3 + 2y_R a_3 * \sin \theta_3 - 2a_3 h * \sin(\phi + \frac{\pi}{3}) \sin \theta_3 = 0$$

❖ CINEMATICA INVERSA DEL MECANISMO

- Primera cadena:

$$e_1 \sin \theta_1 + e_2 \cos \theta_1 + e_3 = 0$$

Con:

$$e_1 = -2y_A a_1$$

$$e_2 = -2x_A a_1$$

$$e_3 = x_A^2 + y_A^2 + a_1^2 - b_1^2$$

Usando identidades trigonométrica;

$$\sin \theta_i = \frac{2t_i}{1+t_i^2} \quad \text{y} \quad \cos \theta_i = \frac{1-t_i^2}{1+t_i^2}; \quad t_i = \tan \frac{\theta_i}{2}$$

Desarrollando obtenemos:

$$e_1 \left(\frac{2t_1}{1+t_1^2} \right) + e_2 \left(\frac{1-t_1^2}{1+t_1^2} \right) + e_3 = 0$$

Resolviéndolo para θ_1 :

$$\theta_1 = 2 \tan^{-1} \left[\frac{-e_1 \pm \sqrt{e_1^2 + e_2^2 - e_3^2}}{e_3 - e_2} \right]$$

- Segunda cadena:

$$e_4 \sin \theta_2 + e_5 \cos \theta_2 + e_6 = 0$$

Con:

$$e_4 = -2y_A a_2 \sin \theta_2 + 2y_O a_2 \sin \theta_2 - 2a_2 h \sin \phi \cos \theta_2$$

$$e_5 = -2x_A a_2 \cos \theta_2 - 2a_2 h \cos \phi \cos \theta_2 + 2x_O a_2 \cos \theta_2$$

$$e_6 = x_A^2 + y_A^2 - 2x_A x_O + x_O^2 + h^2 + a_2^2 - b_2^2 + 2x_A h \cos \phi + 2y_A h \sin \phi - 2x_O h \cos \phi$$

Resolviéndolo para θ_2 :

$$\theta_2 = 2 \tan^{-1} \left[\frac{-e_4 \pm \sqrt{e_4^2 + e_5^2 - e_6^2}}{e_6 - e_5} \right]$$



- Tercera cadena:

$$e_7 \operatorname{sen}\theta_2 + e_8 \operatorname{cos}\theta_2 + e_9 = 0 \quad \text{Con:}$$

$$e_7 = -2y_A a_3 s\theta_3 + 2y_R a_3 s\theta_3 - 2a_3 h s\left(\phi + \frac{\pi}{3}\right) s\theta_3$$

$$e_8 = -2x_A a_3 c\theta_3 - 2a_3 h c\left(\phi + \frac{\pi}{3}\right) c\theta_3 + 2x_R a_3 c\theta_3$$

$$e_9 = x_A^2 + y_A^2 - 2x_A x_R - 2y_A y_R + x_R^2 + y_R^2 + h^2 + a_3^2 - b_3^2 + 2x_A h c\left(\phi + \frac{\pi}{3}\right) + 2y_A h s\left(\phi + \frac{\pi}{3}\right) - 2x_R h c\left(\phi + \frac{\pi}{3}\right) - 2y_R h s\left(\phi + \frac{\pi}{3}\right)$$

Resolviendo para θ_3 :

$$\theta_3 = 2 \tan^{-1} \left[\frac{-e_7 \pm \sqrt{e_7^2 + e_8^2 - e_9^2}}{e_9 - e_8} \right]$$

- SOLUCIÓN DEL MECANISMO.

Este prototipo consta de una base ajustada para las dimensiones del tamaño de la lámina industrial, consta de dos plataformas que permiten el movimiento tanto en el eje Y como en el X; en esta segunda plataforma móvil se encuentra el robot paralelo el cual lleva el oxicorte que nos permite realizar los trazos que se desea.

El robot cartesiano solo será usado para realizar cortes rectos de larga extensión ya sea de manera horizontal o vertical. Este consta de dos motores:

En el eje X tiene un sensor de ultrasonido el cual nos permite posicionar exactamente el robot paralelo, trabajando en conjunto con un motoreductor que se desplaza por medio de una cremallera que le da alta fricción para que se realice el corte deseado. El motoreductor se mueve de acuerdo a lo establecido por el sensor de ultrasonido, el cual está programado en Mat Lab y se conecta al sistema por medio de un Arduino, el cual ha sido usado como un traductor de lenguaje, ya que toda la programación se hace en Mat Lab, Arduino es usado como una interfaz de comunicación.

En el eje Y encontramos un sistema por cadena también conectado a otro motoreductor, este es de un alto torque y fuerza, lo que permite la fácil movilidad de la estructura, la posición se determina por medio de un encoder, que se realizó con un sensor que nos brinda un control de pulsos. Este se conectara con Mat Lab permitiendo así controlar la posición y la distancia que recorre en Y.

Los dos motoredutores se conectan a dos relevos cada uno; cada relevo se conecta a 12 voltios, pero su activación se realiza desde Mat Lab por medio del Arduino. Este proceso nos permite controlar la dirección de giro de cada motoreductor enviando desde Mat Lab un 1 o un 0.



La estructura del robot paralelo se basa en los tres servomotores que nos permiten darle un ángulo de giro al motor y también nos permite leer el ángulo en el cual se encuentra; de esta manera se censa la posición inicial para poder moverlo a una posición final.

Los servidores se manejan desde Mat Lab, este envía los ángulos de movimiento que se determinan por medio de la programación y cálculos realizados y de igual manera se usa Arduino como interfaz de comunicación.

Todo el proceso de modelado del robot paralelo se desarrolló en Mat Lab, al igual que la determinación de sus trayectorias, obtenidas basándose en los resultados del modelado matemático.

Para realizar una trayectoria, el robot paralelo al igual que el cartesiano se ubican en una posición inicial preestablecida y se determina la trayectoria que se desea, en este momento las ecuaciones de cinemática inversa y directa se recalculan en Mat Lab, permitiendo realizar una trayectoria; para la cual necesitamos la posición inicial y final el trazo, obteniendo un algoritmo desarrollado por la programación que permite el movimiento del robot en la resolución que se le determine para que realice el corte.

Para la realización de trazos retos únicamente se necesita la posición inicial y final, pero para la realización de otras formas como por ejemplo circunferencias o curvas, se realizó otra programación predeterminada para que el robot cumpla con estos cortes.

Mat Lab determina cada movimiento y parámetros tanto del robot paralelo como del cartesiano, por medio de las ecuaciones y la programación realizada en Mat Lab.

Conclusiones.

Al realizar el estudio de las teorías se puede observar que la información sobre robots paralelos es muy limitada y solo se encuentran en regiones tales como Estados Unidos, Alemania, Francia, Corea y regiones aledañas a estas.

Una vez realizado el modelado matemático del sistema que consiste en el desarrollo de la simétrica tanto directa como inversa, con las cuales se logra la orientación y control del robot a través del área de trabajo, solventando las singularidades del robot.

El cálculo estructural se realiza basado en el área de desarrollo del robot y de las necesidades técnicas de los talleres de metalmecánica, tales como el tamaño de la lámina.

La construcción de la parte electromecánica del prototipo se realiza paso a paso, tomando en cuenta el desarrollo evolutivo del proyecto, alcanzando así en su totalidad el desarrollo de cada etapa necesaria para que el robot cumpla con sus objetivos.

Para el óptimo funcionamiento del prototipo se debe tener una buena etapa de potencia, estudiar y analizar las corrientes necesarias para cada componente electrónico, filtrando las señales y acondicionando protección para los mismos.



Finalmente se acoplan todos los mecanismos que comprende el prototipo y se realizan las pruebas pertinentes para determinar el buen funcionamiento del sistema, se rectifican medidas censadas y especificaciones con las cuales debe cumplir el prototipo

BIBLIOGRAFIA

COORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DE NARIÑO centro de investigación desarrollo y asesoría empresarial CIDAE. Líneas de investigación 2009

CÁMARA DE COMERCIO SAN JUAN DE PASTO, empresas metalmecánicas 2014

LERMA Héctor Daniel. Metodología de la investigación: Propuesta, anteproyecto y proyecto. ECOE EDICIONES

CIBERGRAFIAS

UNIVERSIDAD MARIANA, Municipios de Nariño. Geografía. Disponible en:
<http://www.umariana.edu.co/sanjuandepasto.htm>

LEGISLACIÓN SEGURIDAD INDUSTRIAL NACIONAL - Referido a:
www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/legislacionnacional.aspx

COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL, disponible
en: www.iec.ch/about/brochures/pdf/about_iec/welcome_to_the_iec-s



1. TITULO

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE ROBOT PARALELO ORIENTADO A PROCESOS SIDERURGICOS DE CORTE DE LAMINA, A TRAVES DEL ACONDICIONAMIENTO DE EQUIPO DE OXICORTE, EN LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO 2014.

PROHIBIDA SU COPIA



INTRODUCCION

En San Juan de Pasto, capital del departamento de Nariño existe una gran cantidad de empresas en el sector metalmeccánico, de las cuales la mayoría utilizan maquinaria tradicional, y algunas de ellas cuentan con nuevas tecnologías. Esto implica que los trabajos que se llevan a cabo en los talleres no son de muy buena calidad o en algunos casos no se puede elaborar la pieza por la falta de equipos aptos para este tipo de corte, donde el principal inconveniente se presenta cuando hay casos complejos por el grosor, calibre, defectos del material o por la figura que se desee. Por tal motivo se realiza la investigación en este sector para solventar las necesidades presentes y brindar seguridad a los operarios, ya que el prototipo disminuirá considerablemente el contacto directo hombre-máquina, por ser un dispositivo semi-automático que en conjunto con sistemas electromecánicos, electrónicos e informáticos es capaz de ejecutar acciones en la lámina sin manipulación directa del encargado, además de garantizar la calidad y eficiencia en el producto final.

Mirando los diferentes puntos de vista en que se trabaja la lámina, se define como un elemento muy versátil que se lo puede usar en un sin número de opciones. Por lo que representa una gran demanda de los productos y estructuras fabricados con este material. A pesar de esto no se ha generado el suficiente desarrollo para solventar la necesidad de las transformaciones requeridas a nivel regional, por lo tanto no se puede garantizar un trabajo de calidad. Hoy en día la tecnología ha avanzado colosalmente en este sentido ya que el desarrollo que se viene presentando es considerable, de esto se han creado diferentes máquinas que son independientes totalmente como las cortadoras de plasma y de laser utilizadas en las grandes industrias.

Tomando en cuenta el desarrollo de la región se puede observar que la sociedad tiene una gran acogida por el manejo de láminas por sus múltiples usos, pero la forma de transformarlas es muy rustica. Con lo cual han arriesgado su propia seguridad puesto que en el proceso se han detectado casos de amputación de los miembros superiores como manos, dedos, brazos, entre otros. Con la elaboración de este robot la persona encargada del corte solo tendrá que manipular el dispositivo sin ningún tipo de riesgo, asegurando calidad, precisión y mayor velocidad en la realización de esta.

En este documento se muestra el proceso y desarrollo de la investigación, empezando por dar a conocer a grandes rasgos lo que es el proyecto, seguidamente se plantea la problemática detectada. En el tercer capítulo encontramos un objetivo general y pasos a seguir para dicha finalidad, posteriormente se plantea cada marco con su respectiva descripción involucrando teorías, leyes y tecnología que son base fundamental del estudio, a continuación se describe el enfoque se determina el tipo de población a quien va dirigido,



tomando una muestra para facilitar el análisis de los resultados obtenidos, por último se encuentra qué tipo de recursos se usa, un presupuesto aproximado y un cronograma de actividades.

PROHIBIDA SU COPIA



2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los principales cambios que se han presentado en el sector siderúrgico a nivel mundial surgieron a partir de los años setenta (70), experimentando diferencias en el ámbito económico, tecnológico y comercial con lo cual se analiza el desarrollo de la industria durante las últimas décadas.

El crecimiento en la producción siderúrgica durante las décadas posteriores a la Segunda Guerra Mundial se caracterizó por el aumento de la demanda del acero, con el propósito de reconstruir principalmente a los países de Europa y Japón. La tendencia productiva que se estableció a partir de este hecho en los años posteriores en un contexto de menor demanda provocó un exceso de oferta en el mercado del acero, que generó la reestructuración tecnológica y administrativa de los países industrializados Japón, Europa Occidental y Estados Unidos (EUA) con el fin de incrementar las especificaciones técnicas en la producción y aumentar la productividad en el trabajo. Mientras los países disminuían su producción, los países en desarrollo se encargaban de mantenerla para abastecer el mercado mundial. El problema en el sector se ahondó después de la incorporación de los países del ex bloque socialista al mercado mundial del acero que coincidió con el aumento del intercambio comercial en el mundo y el dinamismo económico creciente de los países de reciente industrialización, especialmente del sudeste asiático.¹

El crecimiento de la producción siderúrgica después de la segunda guerra mundial se generó por la gran demanda de acero que se empezó a originar, con el fin de reconstruir a países como Europa y Japón. La producción que se dispuso a partir de esta causa en los años siguientes en un contexto de menor demanda produjo un gran acogimiento económico en el mercado del acero, generó la reestructuración tecnológica y administrativa de los países industrializados con el fin de aumentar los detalles técnicos en la producción y el rendimiento en el trabajo. Mientras en unos países empezaba a caer la producción, los más desarrollados buscaban mantenerse para abastecer el mercado mundial, las cosas se empezaron a empeorar cuando los países del ex bloque socialista se incorporaron al mercado mundial del acero que coincidió con el crecimiento del intercambio comercial del mundo y el dinamismo económico en los países actualmente industrializados, particularmente los del sudeste asiático.

La tecnología en México se ha quedado estancada durante años en muchas industrias como el desarrollo de tecnología en el área agrícola, alimenticia, metal-mecánica, etc. Las necesidades de tecnologías para la industria mexicana son muchas, pero las tecnologías extranjeras a las que tenemos acceso son de costos muy elevados, de igual forma mantenimiento y refacciones. En México aproximadamente el 80% de las empresas son PYMES las cuales sus procesos

¹ SOTO CRUZ LUIS ANTONIO, El Cambio Mundial de la siderurgia, Revista Contaduría y Administración, No. 209, abril-junio 2003.



son rudimentarios o hasta artesanales, los equipos que utilizan son muy viejos y más en el área de metal mecánica en su mayoría.

La cantidad de máquinas hechas en México son casi nulas, debido a que a la falta de conocimiento en ciertas áreas de la ingeniería de diseño mecánico, tomando en cuenta características de resistencia mecánica, dureza, tratamientos térmicos, selección de materiales, diseño y síntesis de mecanismos, etc.

En Colombia existe una gran cantidad de empresas dedicadas a la industria siderúrgica y metalmeccánica (ISM), como se especifica a continuación:

La cadena de la industria siderúrgica y metalmeccánica (ISM) colombiana es de suma importancia, no solo por lo que representa para un proyecto de nación industrializada, sino también por lo que hoy representa para la economía nacional. La ISM cuenta con 1548 establecimientos (17,4% del total de establecimientos industriales), representa el 15% del personal industrial ocupado (96.182 puestos de trabajo) y consume el 19,9% de la energía eléctrica consumida por toda la industria. El sector además ocupa el 4to lugar en importancia entre toda la industria con una participación del 10,1% en la producción, superada solo por la industria de alimentos, la de refinación de petróleo y la industria química.²

Colombia presenta una cadena de industrias siderúrgicas y metalmeccánicas de gran importancia, ya que representa la industrialización del país y la economía nacional. Todo esto especificado bajo el número de establecimientos industriales, el consumo energético, y el personal industrial ocupado; además este sector es de suma importancia en el país ya que ocupa el cuarto lugar en la producción, superado por otras industrias de bastante categoría.

Uno de los grandes inconvenientes es que las máquinas que se necesitan para este proceso solo las construyen en países europeos o norteamericanos, llegando así a alcanzar precios muy altos por el tipo de tecnologías que usa, e impuestos de importación. Procurando que las empresas utilicen mecanismos rudimentarios sin ningún tipo de control o sistematizado por economía y oferta del producto a nivel nacional, gracias a esto se han generado diversas investigaciones para la construcción de prototipos que sean más accesibles al usuario, que con el tiempo solo se han quedado en diseños que no tienen un valor comercial alto por el impacto y sus costos. Razón por la cual Colombia ha optado en su gran mayoría por el uso de estructuras mecánicas y manuales.

Los productos generados por la rama de la siderúrgica son el insumo principal de la metalmeccánica, esta los ensambla, modifica y repara para producir maquinaria y otros productos. Esta rama de la Cadena contribuye con el 63.9% de la producción y comprende la **a)** fabricación de productos elaborados de metal (24.6%); **b)** maquinaria de uso general (no eléctrica) (8.6%), **c)** maquinaria de uso especial (no eléctrica)(5.4%); **d)** aparatos de uso doméstico (6.3%); **e)** fabricación de maquinaria de oficina e informática (0.1%) y; **f)** maquinaria y aparatos eléctricos(18.9%).

² Documentos, Metalmeccánica, disponible en:

<http://www.dnp.gov.co/Portals/0/archivos/documentos/DDE/metalmeccanica.pdf> (12.3.2004, 4:00pm)



Su importancia es mayúscula. Cerca de 1372 empresas de metalmecánica, en su mayoría PyMes, son el 88,63% del total de empresas de la cadena ISM, generando más de 80 mil empleos que representan el 83,42% de los empleos generados por el total de la cadena. Sin embargo el sector padece un estancamiento.³

Es claro que los productos generados por el sector siderúrgico son la materia prima de la metalmecánica, que se encarga de producir maquinaria y otros productos, que por lo general solo son de uso manual, elementos para oficinas o aparatos eléctricos. La mayoría de estas empresas generan una gran cantidad de empleos, sin embargo el sector está detenido por la falta e implementación de tecnología.

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en San Juan de Pasto, capital del departamento de Nariño, donde actualmente hay una gran cantidad de micro empresas que trabajan en el sector metalmecánico, en su mayoría se dedican al trabajo en todo tipo de láminas, como de acero, aluminio, hierro, zinc, galvanizadas, entre otras. La maquinaria que se utiliza para la manipulación de estas, suele ser mecánica, tal como las Cizallas manuales, que están compuestas de palancas, una platina superior y una inferior y que solo realiza trazos rectos.

El operario interactúa directamente con esta, poniendo en riesgo su integridad física, y psicológica en algunos casos. Esto debido a que en algunos de los talleres que se las utiliza no usan los elementos necesarios de seguridad y protección tales como: el overol, gafas, guantes de carnaza, tapa oídos, zapato cerrado, que son indispensables para el manejo de este tipo de máquinas⁴; así lo asegura la sociedad de operarios industriales. Por otro lado las sierras sin fin electromecánicas, que es la misma que se utiliza para cortar maderas pero con la única diferencia en la cinta de corte sirve para hacer curvaturas y líneas rectas. Este tipo de maquinaria industrial es la más utilizada en esta región porque hay producción a nivel nacional y es accesible a la mayoría de microempresas que se dedican al corte de estas placas.

Esto representa una gran demanda de los productos y estructuras fabricados con este material. A pesar de esto no se ha generado el suficiente desarrollo para solventar la necesidad de las transformaciones requeridas de la lámina a nivel regional, por lo tanto no se puede garantizar un trabajo de calidad en la estructura final. Hoy en día la tecnología ha avanzado a grandes pasos en este sentido ya que el desarrollo que se viene presentando es demasiado grande, de esto se han creado diferentes máquinas que son independientes totalmente como las cortadoras de plasma y de laser utilizadas para las grandes industrias.

³ Documentos, Metalmecánica, disponible en:

<http://www.dnp.gov.co/Portals/0/archivos/documentos/DDE/metalmeccanica.pdf> , 12 de marzo de 2014.

⁴ Trabajos con oxicorte- Riesgos Disponible en: [http://norma-](http://norma-ohsas18001.blogspot.com.co/2014/01/trabajos-de-oxicorte.html)

[ohsas18001.blogspot.com.co/2014/01/trabajos-de-oxicorte.html](http://norma-ohsas18001.blogspot.com.co/2014/01/trabajos-de-oxicorte.html), 6 octubre de 2015, 11:47pm.



2.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cómo desarrollar un dispositivo robot paralelo, que de acuerdo a los actuales métodos de corte asistido de lámina en la industria siderúrgica de la ciudad de San Juan de Pasto permita mejorar la eficiencia y seguridad del proceso?

2.3 JUSTIFICACION

La intención de este trabajo es analizar procesos y métodos de corte de lámina. En cuanto al crecimiento personal se obtendrán conocimientos sobre estructuras mecánicas, sistemas de robot paralelo con sus respectivas configuraciones y los diferentes mecanismos usados para la transformación de las placas determinando beneficios y desventajas entre estos. Tomando en cuenta el desarrollo de la región se puede observar que la sociedad tiene un gran acogida por el manejo de láminas ya que son versátiles en sus diversos usos, pero la forma de transformar este material es muy rustica y las personas que lo hacen es de manera empírica, conocimientos que en su mayoría han sido heredado a través de las generaciones utilizando maquinaria como cizallas de guillotina, cizallas de palanca entre otras y arriesgando su propia seguridad ya que en el proceso se han encontrado casos que atentan contra la salud del operario.

Con la implementación de este robot la persona encargada solo tendrá que manipular el dispositivo sin correr riesgos que atenten con su integridad y asegurando calidad, precisión y mayor velocidad en la realización del producto. En cuanto a la institución se demostrara que existe la capacidad necesaria para producir proyectos tecnológicos que ayuden y faciliten el trabajo en la comunidad, además de poder presentarlo en ferias o convenciones para mostrar el avance que se está llevando a cabo.

Como se ha notado el desarrollo en la región en este aspecto es muy limitado y si se llegase a implementar el robot paralelo equipado con oxicorte, primero se observaría el progreso de la empresa que lo adquiriera dando mayor calidad en el producto y agilizando la entrega de este mismo, también brindaría una mayor seguridad a los trabajadores de la empresa ya que no estarían arriesgando su salud e integridad personal lo cual es relevante en toda institución porque los exonera de demandas o indemnizaciones a los empleados que puedan sufrir daños al manipular maquinas sin ningún control o automatización como en la manipulación de cizallas u otras herramientas que comúnmente se manejan.

Académicamente se realizaron estudios tanto en el sistema electrónico como mecánico para adaptar los mejores tipos de tecnologías y estructuras a este, además del modelado matemático que cada uno de estos conlleva en el cual se han encontrado diversidad de artículos pero ningún estudio acerca de esta



iniciativa a nivel regional por lo cual sería de gran impacto. Teniendo en cuenta la investigación, diseño y realización del prototipo tomó un tiempo aproximado de un año en el cual también se desarrollaron pruebas de uso para la correcta implementación y la creación de un manual de funcionamiento con todos los requerimientos del robot, cuidados que se deben tener en la manipulación y ubicación. También se realizaron distintas comparaciones entre tecnologías y modelos encontrados alrededor del mundo como lo son las máquinas de corte en plasma o laser para saber cuan rentable puede ser apreciando las ventajas de cada uno y sus inconvenientes. Se tiene en cuenta también que empresas en Nariño se abstienen de comprar tecnologías externas al país por las complicaciones que representan la adquisición en el mercado y los problemas que se generarían en necesidad de mantenimiento o reparación.

PROHIBIDA SU COPIA



3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Diseñar y construir un prototipo de robot paralelo orientado a procesos siderúrgicos de corte de lámina, a través del acondicionamiento de equipo de oxicorte, en la ciudad de san juan de pasto.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

Revisar las teorías existentes y documentos, que faciliten el desarrollo del diseño y construcción del prototipo.

Diseñar los sistemas que interviene en el prototipo robot paralelo para corte de lámina, a través de la inclusión de técnicas de modelamiento matemáticos que dimensionen las etapas electrónicas y mecánicas del mismo.

Construir el sistema electromecánico del robot paralelo en base a la parametrización cinemática y dinámica desarrollada en el modelo.

Elaborar los sistemas electrónicos orientados al control de movimiento y a la transferencia de potencia hacia los actuadores y drivers del prototipo.

Desarrollar pruebas para el control de parámetros de funcionamiento del robot paralelo.



4. MARCO REFERENCIAL.

4.1 MARCO CONTEXTUAL.

San Juan de Pasto se encuentra situado sobre el Valle de Atriz a 795 kilómetros al sur occidente de la capital de la República. Limita al norte con La Florida, Chachagüí y Buesaco, por el sur con el Departamento de Putumayo y Funes, por el oriente con Buesaco y el Departamento de Putumayo y por el occidente con Tangua, Consacá y La Florida. Su altura sobre el nivel del mar es de 2.559 metros, la temperatura media es de 14 grados centígrados, su área es de 1.181 kilómetros cuadrados y su precipitación media anual es de 700 milímetros

El territorio municipal en total tiene 1.181 km² de superficie de la cual el área urbana es de 26.4 km². el análisis económico de la ciudad arroja que el 11,1% de los establecimientos se dedica a la industria.⁵

“En San Juan de Pasto encontramos 98 empresas dedicadas al sector metalmeccánico en donde se trabajan todo tipo de láminas y metales para el desarrollo de productos”⁶, En la mayoría de empresas se encontró que el personal tiene sus conocimientos empíricos y son pocas las personas que se han formado en un técnico o tecnólogo referido al tema.

Por cada empresa metalmeccánica existen de dos a tres empleados que trabajan en el corte de lámina y el manejo de esta misma por lo cual se ha obtenido un centenar de personas que se dedican a esta actividad.

4.2 MARCO LEGAL.

Las siguientes son leyes, normas, artículos, reglamentos y estatutos los cuales rigen el prototipo de robot paralelo:

ART. IV, 22 DE MAYO 1994, REGLAMENTO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL, PLANTEA: “Este Reglamento tiene por objeto dictar las normas y demás disposiciones pertinentes para prevenir los accidentes derivados de las actividades laborales cotidianas Obteniendo todas las ventajas derivadas de un adecuado régimen de seguridad industrial.”⁷ Por medio de este artículo se brinda a los trabajadores y terceros Salvaguardar la vida, salud e integridad física, mediante la prevención y eliminación de las causas de accidentes además se Protegen las instalaciones y propiedades industriales, con el objeto de garantizar las fuentes de trabajo y mejorar la productividad.

⁵ UNIVERSIDAD MARIANA, Municipios de Nariño. Geografía. Disponible en:

<http://www.umariana.edu.co/sanjuandepasto.htm> , 9:35.a.m., pag.1,28 de marzo de2012.

⁶ CÁMARA DE COMERCIO SAN JUAN DE PASTO, empresas metalmeccánicas 2014

⁷ Legislación seguridad industrial nacional - Referido a:

www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/legislacionnacional.aspx10de sep. De 2014 , 6:30pm – pag.34



ART. 1254, 22 DE MAYO 1994, REGLAMENTO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL (ropa de trabajo), plantea: “Cuando se seleccione ropa de trabajo se deberá tomar en consideración los riesgos a los cuales el trabajador pueda estar expuesto y se seleccionará aquellos tipos que reduzcan los riesgos al mínimo.”⁸ Al elegir la ropa de trabajo adecuada se evita diferentes accidentes que se pueden presentar a lo largo del corte de una sola lamina , protegiendo siempre la vida del empleado y haciendo que su trabajo sea productivo, que la ropa sea la indicada sin que el obrero se sienta incómodo.

ART. 1256, 22 DE MAYO 1994, REGLAMENTO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL (ropa de trabajo), plantea:”Las camisas con mangas cortas deberán usarse con preferencia a las camisas con mangas enrolladas.”⁹En este tipo de trabajo es necesario usar manga larga, ya que cualquier pedazo de metal podría incrustarse en el brazo fácilmente.

ART. 1275, ART. 1256, 22 DE MAYO 1994, REGLAMENTO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL (Protección de la vista), plantea:”Todos los trabajadores que ejecuten cualquier operación que pueda poner en peligro sus ojos, dispondrán de protección apropiada para estos órganos.”¹⁰ En el corte de lámina de aluminio los ojos pueden sufrir daños irreversibles, astillas o pequeños pedazos pueden entrar a estos por accidentes, por esto es importante tomar medidas de prevención que protejan este órgano tan importante.

ART. 1288, 22 DE MAYO 1994, REGLAMENTO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL (Protección para manos y brazos), plantea:”No usarán guantes los trabajadores que operen taladros, prensas punzadoras, cortadoras u otras máquinas en las cuales la mano pueda ser atrapada por partes en movimiento.”¹¹Las manos son extremidades fundamentales para desempeñar este tipo de trabajos, es importante que se protejan y se tenga en cuentas los riesgos a los cuales se expone, para así tomar medidas de prevención.

IEC 60309,2000, COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL (anteriormente IEC 309) establece: estándar internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional para "Enchufes de uso industrial". El mayor voltaje permitido que los enchufes hogareños”¹² Los enchufes de la casa

⁸ Legislación seguridad industrial nacional - Referido a:

www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/legislacionnacional.aspx10de sep. De 2014 , 6:10pm – pag.75

⁹ Legislación seguridad industrial nacional - Referido a: www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/legislacionnacional.aspx, 10de sep. De 2014 , 6:23pm – pag.90

¹⁰ Legislación seguridad industrial nacional - Referido a: www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/legislacionnacional.aspx, 13de sep. De 2014 , 2:10pm – pag.88

¹¹LEGISLACIÓN SEGURIDAD INDUSTRIAL NACIONAL - Referido a:

www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/legislacionnacional.aspx,13de sep. De 2014 , 2:15pm – pag.98

¹² COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL, disponible en: www.iec.ch/about/brochures/pdf/about_iec/welcome_to_the_iec-s, 15 de sep. De 2014 , 8:16am – pag.5



manejan una menor potencia que los industriales, por tanto para esta cortadora que es catalogada máquina industrial se necesita un enchufe industrial que debe tener un polo a tierra para mayor protección del equipo.

IEC 61131-3, FEBRERO DEL 2013, COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL, establece: “Es la tercera parte (de 8) del estándar internacional IEC 61131 para Controladores Lógicos Programables (PLC). Ésta parte trata los lenguajes de programación y define los estándares de dos lenguajes gráficos y dos lenguajes textuales para PLC”¹³ Los PLC son dispositivos que conllevan un gran campo de acción, en la **industria son muy usados ya que pueden desempeñar varias tareas al tiempo**, permiten hacer reparaciones sin parar la producción y son muy útiles en procesos paralelos.

Ley de la robótica, 1942, Runaround, plantea que

“Un robot no puede hacer daño a un ser humano o, por inacción, permitir que un ser humano sufra daño, debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, excepto si estas órdenes entrasen en conflicto con lo anterior y Un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que esta protección no dañe a ningún ser humano”.¹⁴

Los robots son seres extraordinarios que ayudan mucho con los deberes, es importante resaltar que estos nunca desplazar o reemplazar a una persona únicamente la ayudan y contribuyen a que su trabajo sea más eficiente y más rápido garantizando la eficiencia y la reducción del tiempo en cada tarea.

4.3 MARCO CONCEPTUAL – TEORICO.

ANSI: Instituto Nacional Estadounidense de Estándares, “supervisa la creación, promulgación y uso de miles de normas y directrices que afectan directamente a las empresas en casi todos los sectores”¹⁵, es una organización sin fines de lucro que se encarga de supervisar estándares para productos, procesos y servicios en estados unidos.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, “es una asociación mundial de técnicos e ingenieros

¹³ COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL, disponible en: www.iec.ch/about/brochures/pdf/about_iec/welcome_to_the_iec-s, 15 de sep. De 2014 , 8:25am – pag.7

¹⁴La delec- encontrado en: <http://www.ladelec.com/teoria/informacion-tecnica/290-las-3-leyes-de-la-robotica>, 18 de septiembre de 2014,06:08pm

¹⁵ INSTITUTO NACIONAL ESTADOUNIDENSE DE ESTÁNDARES, definición, referido a: http://www.ansi.org/about_ansi/overview/overview.aspx?menuid=1, 25 sep. De 2014, 12:00pm



dedicados a la estandarización y desarrollo en áreas técnicas”¹⁶. Esta comunidad apoya todo el desarrollo tecnológico en diferentes campos como telecomunicaciones, entre otros.

EIA: Electronic Industries Association, Alianza de Industrias Electrónicas, “es una organización estadounidense de fabricantes de productos electrónicos. El EIA ha publicado una serie de normas relacionadas con las telecomunicaciones y la comunicación informática”¹⁷, es una organización conformada por compañías importantes cuya misión se basa en promover la competitividad de la industria de alta tecnología.

CNC: Control Numérico por Computadora, “Se define como un sistema, máquina o proceso controlado por un programa. El programa está formado por un conjunto de números y letras que siguen un estándar creado por la EIA o la ISO”¹⁸, es un sistema de automatización de máquinas herramienta que son operadas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento para el cumplimiento de un objetivo.

NEMA: National Electrical Manufacturers Association, Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos, “es una asociación industrial estadounidense encargada de muchos estándares industriales”¹⁹. En esta asociación se investiga el desarrollo de normas y protección de posiciones técnicas pensando en los beneficios de la industria.

IEC: “International Electrotechnical Commission, Comisión Electrotécnica Internacional,” es una organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas”²⁰. Comisión que analiza e investiga todo lo relacionado con el manejo de energía y su normatividad, su centro está ubicado en Europa.

ISO: International Organization for Standardization, Organización Internacional de Normalización, “es el organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación”²¹. Esta encargada de toda la normatividad de productos y servicios para su comercio exceptuando la estructura eléctrica y electrónica.

¹⁶ INSTITUTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRONICA, definición, Referido a: www.ieee.org, 20 de sep. De 2014 , 8:00am

¹⁷ MARGARET ROUSE, definicion, referido a: <http://whatis.techtarget.com/definition/EIA-Electronic-Industries-Association-or-Electronics-Industries-Alliance>, 22 Sep. De 2014, 12:10pm

¹⁸ ALDEMAR ALBERTO MARTINEZ, definiciones, referido a: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/mecatronica/docs_curso/Anexos/TUTORIALcnc/DOCUMENTOS/TEORIA/GENERALIDADES%20CNC/GENERALIDADES%20CNC.pdf 25 sep. De 2014, 10:00am

¹⁹ ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES ELÉCTRICOS, definición, referido a www.nema.org, 20 de sep. De 2014 , 9:05am

²⁰ COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL, definición, Referido a: www.iec.ch 20 de sep. De 2014 , 8:30am

²¹ ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, definición, referido a www.iso.org, 20 de sep. De 2014 , 10:00am



ARDUINO: Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un micro controlador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios²². Esta herramienta es fácil de usar y tiene muchas aplicaciones.

FEM: Fuerza Electromotriz, “es toda causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado”²³. Prácticamente es la energía proveniente de cualquier tipo de fuente o dispositivo q suministre una corriente eléctrica.

AC (corriente alterna):” la intensidad cambia de dirección periódicamente en un conductor. Como consecuencia del cambio periódico de polaridad de la tensión aplicada en los extremos de dicho conductor”²⁴, también se la conoce como AC y en esta la magnitud y el sentido varían en ciclos, por lo general se la encuentra en forma senoidal.

ROBOT PARALELO: Un robot paralelo (robot de cadena cinemática cerrada), es todo aquel robot cuyo efector final, con n grados de libertad, se encuentra unido a la base por más de una cadena cinemática independiente²⁵. Esta condición hace que los manipuladores paralelos tengan una variedad de aplicaciones educativas mayor rigidez (estabilidad estructural), puedan trabajar a mayor velocidad.

MICROCHIP: “es una pastilla o chip muy delgado en el que se encuentran una cantidad enorme de dispositivos micro electrónicos interactuados, principalmente diodos y transistores, además de componentes pasivos como resistencias o condensadores”²⁶, también se lo conoce como circuito integrado y por lo general está diseñado para cumplir objetivos específicos.

DC (corriente continua): “es aquella cuyas cargas eléctricas o electrones fluyen siempre en el mismo sentido en un circuito eléctrico cerrado, moviéndose del polo negativo hacia el polo positivo de una fuente de fuerza electromotriz (FEM)”²⁷, hace referencia a un flujo continuo de carga eléctrica a través de un conductor la cual no cambia de sentido en el tiempo.

MATLAB (MATrix LABoratory, "laboratorio de matrices"): es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M).²⁸ Un software muy práctico y útil en este tipo de proyecto con tanta robustez matemática.

²² <https://proyectoarduino.wordpress.com/?que-es-arduino/>, 3 de octubre de 2015, 1:12pm

²³ J Guisasola, definición, Referido a <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v23n1p47.pdf> 22 de sep. De 2014, 11:00am

²⁴ JA Edminister, definición, Referido a <http://ddtorres.webs.ull.es/Docencia/Instalaciones/Electrifica/Tema%202.htm>, 12de sep. De 2014 , 6:00pm

²⁵ <http://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/viewFile/106/93>, 3 DE OCTUBRE DE 2015, 1:28PM

²⁶ Rodríguez Marmolejo. Bucaramanga, definición, Referido a www.cad.com/historia_del_microchip.htm, 10de sep. De 2014 , 6:20pm

²⁷ Cienciadod, definición, Referido a <http://www.cienciadod.com/fisica>, 15 de sep. De 2014 , 7:00pm

²⁸ pentagono.uniandes.edu.co/tutorial/Matlab/tutorial_matlab.pdf, 13 DE OCUBRE DE 2015, 1:00PM



De acuerdo a los anteriores conceptos se plantea las siguientes teorías:

Teniendo en cuenta las disposiciones económicas de la ciudad, se lleva a cabo la investigación para el desarrollo del proyecto; en cuanto al número de talleres que se dedican al corte de lámina, ya sea de manera mecánica o electromecánica que más o menos son del 11,1%, se tiene que en la mayoría de estos, el personal que manipula las maquinas han adquirido los conocimientos de forma empírica, que son aquellos que se ha basado en la experiencia que se han ganado a través del tiempo.

El corte del metal es parte del proceso de fabricación de estructuras y elementos varios. Así plantea una investigación sobre el corte:

“El corte se realiza mediante el uso de dos cuchillas, una superior y una inferior. Ambas cuchillas se fuerzan una sobre la otra para cortar el metal. Actualmente, la industria del metal emplea una amplia variedad de máquinas para cortar metal. Cada máquina difiere en tamaño, energía y en la cantidad de esfuerzo manual requerido para operar. Entre estas están las cizallas, y esta se divide en cuatro tipos que son: de guillotina, de palanca de rodillos, y circulares”²⁹ Para realizar el corte de lámina, se emplean dos cuchillas ubicadas estratégicamente ejerciendo fuerza una sobre la otra fracturando y cortando el metal. En la actualidad se encuentran varios tipos de máquinas que varían en tamaño, energía que poco a poco disminuyen el trabajo del operador, entre estas están las cizallas, la guillotina entre otras.

Las cizallas de guillotina para metal, son máquinas empleadas para cortar metales generalmente en láminas. Su campo de aplicación se extiende a varios sectores industriales.

Entre estas cizalladoras podemos distinguir varios tipos:

- Cizallas de guillotina.
- Cizallas de palanca.
- Cizallas de rodillos.
- Cizallas circulares.

Como ya se ha mencionado, las cizallas de guillotina para metales son máquinas utilizadas para operaciones de corte de metales (hierro, acero, aluminio, etc.) de espesores hasta 25mm.

Con una velocidad de corte de hasta 120 golpes por minuto. El corte es efectuado por una estampa de corte formada por dos cuchillas, las cuales disponen normalmente de cuatro ángulos de corte.

²⁹ FICHEROS – FICHA TECNICA, Referido a:

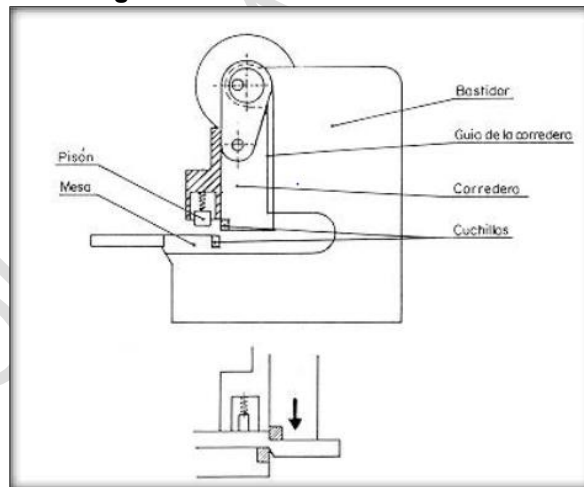
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp_153.pdf -10de sep. De 2014 , 4:00pm – pag.8

La cuchilla inferior va sujeta a la mesa y la superior, bien a la corredera si se trata de cizallas de guillotina con cuello de cisne o al puente porta-cuchillas si son cizallas sin cuello de cisne.

La técnica del proceso consiste en:

- Colocación sobre la mesa de la chapa a cortar. Situación de la chapa en posición de corte (operación que se realiza con la ayuda de reglas graduadas situadas en los soportes delanteros y la galga de tope trasero o bien con la lectura de indicadores automáticos).
- Accionamiento de la corredera, La chapa una vez cortada cae por la parte posterior de la máquina al suelo o bien dentro de un sistema de recogida dispuesto para tal fin y la corredera queda inmovilizada en el punto superior. Un nuevo ciclo puede ser iniciado³⁰.
- Prácticamente la ubicación de cada uno de los componentes debe ser acondicionado de forma que se puede manipular con facilidad y los cortes que se realicen sean lo más precisos posible, mejorando el proceso y empezando un nuevo ciclo.

Figura 1: Partes de una cortadora



Fuente: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp_153.pdf

La protección del punto de operación estará en función del tipo de cizalla, del número de operarios que trabajen en ella, del tipo de trabajo a ejecutar, de la modalidad de funcionamiento y de los mandos de accionamiento utilizados.

³⁰Ficha técnica, definición, referido a:

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp_153.pdf



El sistema de protección considerado para impedir el acceso al punto de operación en este tipo de máquinas es el de "Protección por resguardos fijos".

Si por razones técnicas del proceso de fabricación no puede utilizarse este sistema de protección, se emplearán otros sistemas, siempre que su grado de protección cumpla con las condiciones de seguridad exigidas para eliminar el riesgo.

Las condiciones generales que deben cumplir los sistemas de protección en cuanto a diseño, construcción, aplicación y montaje serán las siguientes: Robustez, rigidez y resistencia adecuada a su función.

Ser de difícil neutralización y burlado; sus partes esenciales no se podrán manipular ni retirar sino es con útiles especiales. No crearán nuevos riesgos. Permitirán una buena visibilidad del punto de operación. No introducirán incomodidades ni esfuerzos excesivos.

Protección por resguardo fijo:

Para la instalación de resguardos fijos, como protección del punto de operación, éstos, deberán cumplir los siguientes requisitos de diseño, construcción y montaje: Evitará la entrada de las manos o dedos más allá del límite de la línea de peligro ya sea a través, alrededor, por encima o por debajo del resguardo (se tendrá en cuenta asimismo, el acceso por las zonas laterales de la cuchilla).

Las aberturas máximas permitidas en el resguardo en función del punto de montaje con respecto a la línea de peligro.

En la protección frontal de la zona de operación se tendrá en cuenta que esta protección, siempre que el recorrido de la misma posibilite la penetración de los dedos, se sitúe por delante de los pisonos con el fin de eliminar el riesgo de atrapamiento entre pisonos y mesa de trabajo.

Se protegerá así mismo la parte trasera del porta-cuchillas por medio de resguardo fijo con el fin de impedir el acceso a la zona de corte por la zona posterior de la máquina.

Teniendo en cuenta lo anterior, se mira la necesidad de implementar nuevas tecnologías que disminuyan los riesgos y faciliten el trabajo de quienes cuentan con estos talleres de corte de lámina, especialmente los que trabajan con sistemas de oxicorte, definido como: "La operación de seccionamiento o corte del acero por medio de un soplete alimentado por un gas combustible y oxígeno. Se basa en la reacción exotérmica de la oxidación del hierro en presencia de oxígeno. El acero



llevado a la temperatura de rojo y puesto en presencia de oxígeno puro, arde rápidamente”³¹

El acero y la mayor parte de sus aleaciones satisfacen dos condiciones: Que la reacción de oxidación sea exotérmica y que el óxido formado tenga una temperatura de fusión inferior a la del metal; sin embargo, para estas aleaciones, la formación de estos óxidos más refractarios puede dificultar la operación. Con este prototipo se fomenta el desarrollo de la región y a la investigación que se está generando en las universidades en este campo.

Cumpliendo con las expectativas que requiere y va a generar el proyecto, se busca que disminuya el factor o riesgo en seguridad industrial; que las microempresas aumenten su producción con esta nueva tecnología, mejorando la calidad del acabado final, para que garanticen su trabajo, recibiendo mayor rentabilidad por este.

Teniendo en cuenta lo anterior, se justifica la necesidad de implementar nuevas tecnologías como lo es un robot paralelo, el cual permite disminuir los riesgos y faciliten el trabajo de quienes cuentan con estos talleres de corte de lámina, fomentando al desarrollo de la región.

Un robot paralelo es una buena solución a las dificultades que presentan los talleres que se dedican al corte de lámina, definiendo el robot paralelo como:

“Un robot paralelo (robot de cadena cinemática cerrada), es todo aquel robot cuyo efector final, con n grados de libertad, se encuentra unido a la base por más de una cadena cinemática independiente. Esto hace que sean rígidos (estabilidad estructural), que puedan trabajar a mayor velocidad y cuenten con más precisión que los robots de cadena abierta o seriales, que son los más comunes en la industria y en la academia”³²

En los últimos años el uso de las computadoras y el desarrollo de nuevas técnicas e análisis han permitido el redescubrimiento y aplicación de los sistemas robóticos paralelos, es así que en la actualidad existe una gran cantidad de estructuras paralelas, las más comunes van de dos a seis grados de libertad originando un campo muy diverso de aplicaciones.

El robot paralelo necesita una estructura, un análisis y un esquema elaborado con cautela y tacto para evita cualquier posible error ya que puede cumplir tareas que no sean repetitivas, brindando con esto mayor exactitud y velocidad al cumplir con

³¹ CORTE DE LAMINA, Referido a:

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/Cortelaminaindustrial/NTP/Ficheros/101a200/ntp_153.pdf
-10de sep. De 2014 , 5:40pm – pag.8

³²Robot paralelo, definición, referido a : <http://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/viewFile/106/93>, Pág. No. 3, 12-Nov-2014, 2:27pm



trabajos específicas a diferencia del robot serial: “Consisten en una serie de barras rígidas unidas entre sí a través de articulaciones de un grado de libertad de tipo rotacional o prismático (como brazos humanos). Las arquitecturas de los robots seriales clásicos están caracterizadas por una gran rigidez estructural, repetitividad y por un elevado peso propio.”³³ Podemos llamar al robot serial como Manipulador multifuncional reprogramable con un grado de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias repetitivas y únicas programadas para realizar tareas diversas.

Para el diseño del prototipo de robot paralelo es fundamental realizar el modelamiento cinemático y dinámico. Así se facilita el análisis y el diseño del prototipo de robot paralelo

La cinemática aplicada al robot paralelo estudia los movimientos del robot sin considerar los pesos y las inercias.

Se divide en dos partes: la cinemática inversa y la cinemática directa. La cinemática inversa permite determinar los valores de las coordenadas articulares a partir de la posición y de la orientación del elemento final. Se resuelve fácilmente por los robots paralelos. La cinemática directa permite determinar la posición y de la orientación del elemento final a partir de los valores de las coordenadas articulares. Es mucho más compleja a resolver por los robots paralelos.

La dinámica calcula los pares de los motores para muy altas velocidades y aceleraciones en el espacio de trabajo. Para lograr este objetivo se requiere:

- Definir la velocidad de trabajo del robot
- La relación entre los radios de la plataforma móvil y de la plataforma fija
- Las longitudes del brazo superior e inferior.

En esta investigación implementó un prototipo de robot paralelo para el corte de lámina de aluminio a través del acondicionamiento de equipo de oxicorte; el oxicorte se considera: “El oxicorte se usa para realizar corte de láminas delgadas de metal entre 1 y 12 milímetros, tuberías, barras de acero al carbono y otros elementos ferrosos en reparaciones, siendo muy versátil para manejar distintos materiales.”³⁴ Con el oxicorte se pueden realizar variedad de cortes de forma libre, pero para un operario con lleva diferentes riesgos la manipulación de este sistema actual de corte ya que no brinda seguridad ni protección con las extremidades.

³³ Fundamentos robóticos, robot serial, definición, disponible en: <http://sfproyectoiprobotica.blogspot.com/2013/01/robots-manipuladores-seriales.html>, 12-Nov-2014, 3:17pm

³⁴ corte de lámina con oxicorte, que es, referido a: <http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-el-oxicorte/>, 12-Nov-2014, 5:01pm

Figura 2: Sistema tradicional de oxicorte



Fuente: <http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-el-oxicorte/>

4.4 MARCO TECNOLÓGICO

Desde la revolución industrial, cuando se empezaron a generar las primeras máquinas tipo robot que facilitaban varios trabajos rigurosos que el hombre no podía hacer de forma individual por el peso del material, o tal vez por la complejidad que implicaba hacer esa actividad. Surge la necesidad de crear mecanismos para aumentar y mejorar el desarrollo industrial y más que todo proteger la integridad física del operario.

En la actualidad existen muchos robots autónomos, mecanismos y herramientas los cuales hacen que dichos trabajos se realicen con más rapidez, eficiencia y calidad, hoy en día las cortadoras de lámina son la tendencia del momento. Por tal motivo el desarrollo de nuevas tecnologías en el campo de la metalúrgica ha llevado a procesos de estudios e investigación abriendo posibilidades de crear, diseñar e innovar en este campo robótico industrial.

Durante el desarrollo del proyecto se llevaron a cabo varias etapas de construcción, divididas de la siguiente manera:

1ª fase: durante esta fase se llevó a cabo el modelado del robot paralelo, para lo cual hubo que identificar cada uno de los parámetros que se van a analizar tales como las medidas de los eslabones, la fuerza de cada actuador, área de trabajo del robot, entre otros. La dinámica incluye el estudio de los sólidos rígidos y la fricción en los pares o juntas que constituyen al robot, que son fuerzas presentes en los elementos activos debido al contacto entre dos superficies con un movimiento relativo, tales como los rodamientos, engranes, cilindros hidráulicos entre otros, además los principales dispositivos de actuación serán los motores, encargados de impulsar al robot y que pueden influir considerablemente en su dinámica.

El modelado del robot paralelo se considerará como un sistema mecánico constituido por varias cadenas abiertas, obtenidas después de separar al robot en uno o varios de sus pares. Esto permite modelar de tal forma que se consiga la formulación de las ecuaciones para identificar el comportamiento dinámico del sistema robótico.

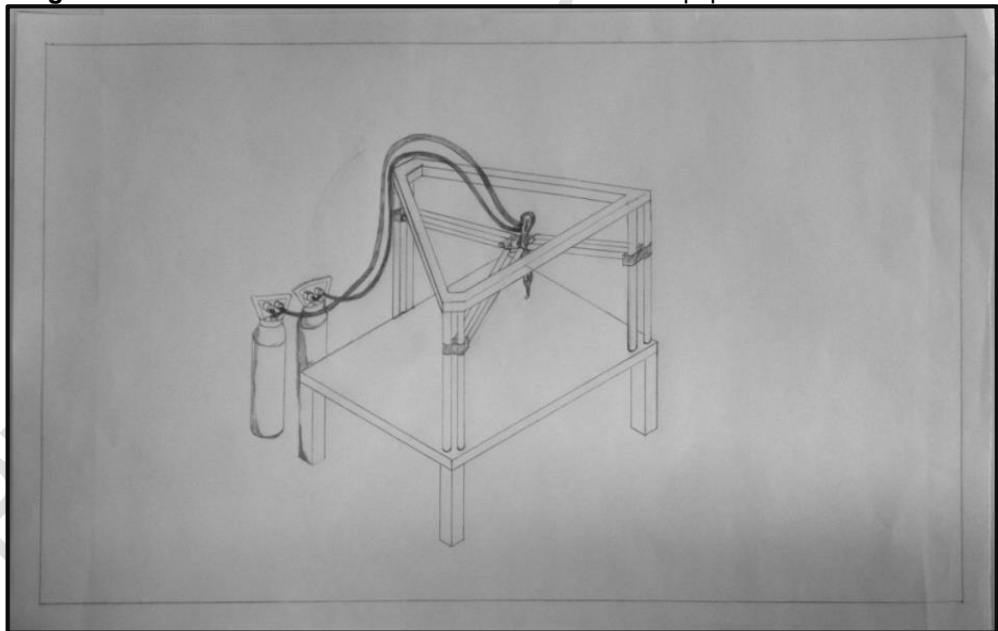
Posteriormente se realiza el análisis cinemático que tiene por objetivo determinar el movimiento (posición, velocidad y aceleración) de cada uno de los elementos

del conjunto mecánico en función de las coordenadas generalizadas o punto final para el modelado del sistema.

Para considerar el punto final o sistema de coordenadas general se definió a partir de la forma en que van unidas las partes del robot, en este sentido se utilizó la notación de Denavit-Hartenberg (DH), de modo que la posición de una barra (i) queda definida de forma relativa con respecto a la barra contigua anterior (i-1) a través de cuatro parámetros (θ_i , a_i , d_i y α_i) estos especifican respectivamente la orientación de los sistemas de referencia de las barras adyacentes unidas mediante pares de revolución o prismáticos. Se debe considerar la cinemática directa e inversa para obtener las diferentes ecuaciones que permiten identificar los efectos cinemáticos del sistema.

2ª fase: en esta etapa se procedió con diseño de la estructura mecánica tras a haber obtenido el respectivo modelado se hace el pertinente estudio sobre los materiales a utilizar, donde se tendrá en cuenta la resistencia, la textura entre otros factores importantes que se deben tener presentes. Una vez se ya elegido los materiales se inicia con el ensamble de la estructura siguiendo los parámetros que requiere el prototipo, el siguiente boceto indica posiblemente lo que será el proyecto final.

Figura 3: Boceto de la cortadora de lámina mediante equipo de oxicorte.



Fuente: Esta investigación

Para los diferentes ensambles se utilizarán piezas que se consiguen en el mercado, tal y como articulaciones, rodamientos, tornillos, tuercas, arandelas, engranes, que con los respectivos cálculos se adaptan correctamente. Para la base que es quien da la pauta para el tamaño del prototipo se hace un marco de



material reforzado que soporte el peso de la lámina que tiene un área aproximada al tamaño de esta.

3^a fase: en este paso se ubican en la estructura mecánica los diferentes actuadores como los sensores, motores DC y servomotores; Donde los últimos se sitúan en las articulaciones de los brazos para generar movimiento, y los sensores limitan el área de trabajo. También se hará la respectiva disposición de engranes, poleas, correas o bandas y los pertinentes ajustes que estos requieren para eliminar así la fricción y darle un óptimo movimiento al robot paralelo.

4^a fase: Posteriormente se realiza el diseño electrónico con su respectiva simulación, que maneja los motores, servomotores y sensores además de otros componentes necesarios para el funcionamiento del robot paralelo.

5^a fase: Una vez terminadas las etapas de construcción del prototipo se procede a enlazar la estructura física con el software que en este caso fue el Mat Lab, uno de los programas más utilizados en este tipo de modelado matemático.

PROHIBIDA SU COPIA



5. DISEÑO METODOLOGICO

5.1 LINEA DE INVESTIGACION

En la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, se manejan actualmente tres áreas de investigación. Las Telecomunicaciones, la Electro medicina y Telemedicina y Automatización Industrial. La propuesta a realizar estuvo encaminada en el área de Automatización Industrial, ya que la electrónica y las empresas industriales están relacionadas para un buen manejo de materia prima lo cual es importante para la calidad, seguridad de los operarios y las reducciones de costos.

Uno de los objetivos principales del Ingeniero Electrónico está orientado en la línea de investigación de DISEÑO DE SISTEMAS Y EQUIPOS ELECTRÓNICOS, que tengan como finalidad la solución de un problema o el mejoramiento de procesos y de la maquinaria existente dentro de los diferentes campos de acción de la electrónica.³⁵

Tomando la estructura de automatización industrial que es manejado por la institución en nuestro proyecto se encamina en nuestra disciplina con el fin de solventar necesidades de seguridad y precisión presentada en las maquinas del corte de lámina

DISEÑO Y MODELAMIENTO DE SISTEMAS Y EQUIPOS ELECTRONICOS

Uno de los objetivos principales del Ingeniero Electrónico es el diseño de sistemas y equipos electrónicos, que tengan como finalidad la solución de un problema o el mejoramiento de procesos y de la maquinaria existente dentro de los diferentes campos de acción de la electrónica. Para ello es importante pensar en el contexto en el que se desarrolla un proyecto de esta índole, costos, materiales, eficiencia y demás parámetros que llevan a conseguir un producto final eficiente y eficaz.

En la línea de investigación de diseño de sistemas y equipos electrónicos, se distinguen dos vertientes diferenciadas que se han venido desarrollando en la Facultad, el diseño digital y el diseño analógico, o bien, la combinación de ellas y algunas implementaciones electrónicas. Para el diseño, se tiene como concepto general el uso de las artes aplicadas a un contexto de desarrollo específico como en este caso es la tecnología y específicamente la electrónica y los fundamentos eléctricos asociados al objeto de estudio que son los dispositivos eléctricos, electrónicos y los sistemas informáticos asociados a ellos.

De acuerdo a las áreas de diseño electrónico posibles, se ha creado unas sub líneas de investigación donde se le otorga un campo de acción específico a cada investigación:

³⁵ CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DE NARIÑO, programa de ingeniería electrónica, líneas de investigación, CIDAE.



SUBLÍNEAS POR ÁREAS:

Prototipos de Sistemas y equipos para control y automatización de procesos industriales y de potencia.

5.2 ENFOQUE

El enfoque de esta investigación se basa en el paradigma cuantitativo, el cual se define de la siguiente manera: “este enfoque utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, confiando en mediciones numéricas, conteo y frecuentemente el uso de las estadísticas para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población.”³⁶ El enfoque Cuantitativo se basa en los resultados numéricos que arroja una determinada investigación, principalmente se basa en recolectar y analizar datos, así arroja datos que pueden ser analizados estadísticamente por medio de graficas o tablas brindando exactitud al estudiar la población.

5.3 TIPO DE INVESTIGACION

El tipo de investigación para el desarrollo del prototipo electrónico es experimental. “El objetivo es explicar la relación causa-efecto entre dos o más variables o fenómenos; En las cuales se puede encontrar la seguridad de los operarios, la calidad y velocidad del corte en las láminas y la reducción de costos para la empresa. El investigar o modificar internacionalmente el estado de los sujetos de estudio, introduciendo y manipulando un tratamiento o una intervención (variable independiente o factor casual) que desea estudiar o evaluar”³⁷. Este proyecto se encuentra basado en lo experimental ya que se quiere llegar a un objetivo que es dar solución problema, basándose en experimentos y pruebas para el beneficio de una persona.

5.4 METODO

El método de esta investigación es inductivo ya que su paradigma es cuantitativo; la investigación inductiva se define como: “Método científico más usual, en el que pueden distinguirse cuatro pasos esenciales: la observación de los hechos para su registro; la clasificación y el estudio de estos; la derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización”³⁸ podemos establecer que este citado método se caracteriza por varias cosas y entre ellas está el hecho de que al razonar lo que hace quien lo utiliza es ir de lo particular a lo general.

³⁶ CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DE NARIÑO, Centro de Investigaciones, Desarrollo y Asesoría Empresarial – CIDAE, Propuesta para la creación de enfoque, San Juan de Pasto, 2009

³⁷ LERMA Héctor Daniel. Metodología de la investigación: Propuesta, anteproyecto y proyecto. ECOE EDICIONES, 2003. Pág. 68.

³⁸ Definición de método inductivo - Qué es, Significado y Concepto, referido a: <http://definicion.de/metodo-inductivo/#ixzz3EgN1MDng>, 25 de septiembre de 2014 , 01:22am



5.5 DETERMINACION DEL UNIVERSO INVESTIGATIVO.

5.5.1 DETERMINACION DE LA POBLACION

“En San Juan de Pasto se encuentra 98 empresas dedicadas al sector metalmeccánico en donde trabajan alrededor de 4 personas en cada taller con todo tipo de láminas y metales para el desarrollo de productos”³⁹, En la mayoría de empresas se encontró que el personal tiene sus conocimientos empíricos y son pocas las personas que se han formado en un técnico o tecnólogo referido al tema. Teniendo 4 personas en los 98 talleres metalmeccánicos la población a quien va aplicada esta investigación seria de 392 personas aproximadamente.

5.5.2 DETERMINACION DE LA MUESTRA

El tipo de muestreo a utilizar es aleatorio, una ventaja del muestreo al azar es:” La facilidad para armar la muestra. También se considera una forma justa de seleccionar una muestra a partir de una población, ya que cada miembro tiene igualdad de oportunidades de ser seleccionado.”⁴⁰ Es una forma imparcial de escoger las muestras donde cualquier individuo de la población puede ser escogido y puede ser parte de la investigación.

Para escoger la muestra se tiene en cuenta cuatro consideraciones que debe cumplir el individuo: Sexo, Edad, Experiencia laboral, Estudios.

Dependiendo de los individuos que cumplan estas condiciones se saca la muestra para realizar esta investigación.

El anexo 1 indica el formato de la encuesta aplicada a los trabajadores en los talleres de metalmeccánica.

³⁹ Cámara de Comercio San Juan de Pasto, empresas metalmeccánicas 2014

⁴⁰Explorable, definiciones , pro y contras, referido a: <https://explorable.com/es/muestreo-aleatorio>, 27 de septiembre de 2014,8:43pm



6. ELEMENTOS DE ADMINISTRACION Y CONTROL

6.1 RECURSOS

Tabla 1: Recursos institucionales

6.1.1 RECURSOS INSTITUCIONALES	
Institución	aportes
AUNAR	Permite la utilización de libros y todos los instrumentos del laboratorio de la facultad de electrónica.

Fuente: Esta investigación

Tabla 2: Recursos humanos

6.1.2 RECURSOS HUMANOS		
NOMBRE	PROFESION	CARGO
John Estrada	Ing. Electrónico	Docente Aunar
Sandra Milena Córdoba	Ing. Industrial	Docente Aunar
Carlos Delgado	Especialista	Docente Aunar
Jaime Ortiz	Empleado AUNAR	Laboratorista

Fuente: Esta investigación

Tabla 3. Recursos tecnológicos

6.1.3 RECURSOS TECNOLOGICOS	
Académicos	Técnicos
Internet	Dispositivos de almacenamiento (memorias USB)
Libros Electrónica avanzada	Micro controladores- PLC - Drivers
Documentos de cinemática y dinámica	Software simulador de circuitos (proteus)
Computadores Portátiles y de escritorio	Elementos pasivos(resistencias, capacitores, bobinas, relés)
PDF's Bases de mecánica	Elementos activos (transistores, amplificadores operacionales, diodos)
Documentación funcionamientos de robótica	Circuitos integrados



Documentos proyectos de grado AUNAR	Herramientas propias para la implementación
-------------------------------------	---

Fuente: Esta investigación

Tabla 4. Recursos financieros

6.1.4 RECURSOS FINANCIEROS
Para el desarrollo del proyecto será financiado 100% por los estudiantes de la investigación

Fuente: Esta investigación

6.2 PRESUPUESTO

6.2.1 Inversión en maquinaria y equipo

Tabla 5. Inversión en maquinaria y equipo

INVERSIONES	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
MULTIMETRO	1	20.000	20.000
CORTAFRIO	1	7.000	7.000
BISTURI	2	2.000	4.000
EXTRACTOR DE SOLDADURA	1	5.500	5.500
CAUTIN	2	4.000	8.000
FUENTE REGULADA DUAL	1	50.000	50.000
FUENTE DE COMPUTADOR	1	15.000	15.000
JUEGO DE DESTORNILLADORES	1	5.000	5.000
JUEGO DE HERRAMIENTAS	1	20.000	20.000
MESA DE TRABAJO	2	10.000	10.000
COMPRESOR	1	80.000	80.000
EQUIPO OXICORTE	1	650.000	650.000
PROTOBOARD	4	10.000	40.000
TOTAL (IVA INCLUIDO)			1.214.500

Fuente: Esta investigación

6.2.2 Inversión en laboratorio y seguridad industrial

Tabla 6. Inversión en laboratorio y seguridad industrial



INVERSIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
BOTIQUÍN DE PRIMEROS AUXILIOS	1	30.000	30.000
DOTACIÓN DE PERSONAL	1	20.000	20.000
TOTAL(IVA INCLUIDO)			50.000

Fuente: Esta investigación

6.2.3 Presupuesto de inversiones

Tabla 7. Presupuesto de inversiones

DETALLE	COSTO
ACTIVOS FIJOS	
Maquinaria y equipo	1.214.500
Equipos de laboratorio y seguridad industrial	50.000
TOTAL	1.264.500

Fuente: Esta investigación

* Materia prima e insumos

Tabla No.8

PRESENTACIÓN	UNIDADES	COSTO MATERIA PRIMA \$	COSTO INSUMOS \$
Placa de acrílico mt^2	1	45.000	45.000
Soldadura para circuitos electrónicos/mt	2	1.000	2.000
Pintura para metal color negro/ galón	1	20.000	20.000
Aerosol color negro	1	10.000	10.000
Servomotor	3	180.000	460.000
Viga de aluminio 6 cm por 2cm, por 1mt de largo	4	12.000	48.000
Laca transparente	1	7.000	7.000



Resistências	100	10	1.000
Transistores	10	100	1.000
Diodos	10	50	500
Cable polarizado/mt	4	300	1200
Cable UTP/mt	30 mts	900	2700
Termoencogible/mt	4	1200	4800
Pasta para soldar	2	3.000	6.000
TOTAL			609.200

Fuente: Esta investigación

Tabla 9. Mano de obra directa

Cargo	Sueldo básico	Auxilio de transporte	Total devengado	Salud	Pensión	Total deducido	Neto a pagar
Técnico mecánico	500.000	0	500.000	65.000	70.000	135.000	635.000
Técnico electrónico	576.000	0	576.000	65.000	70.000	135.000	711.000
Total	1.500.000		1.500.000			135.000	1.346.000

Fuente: Esta investigación

Tabla 10. TOTAL COSTOS DEL PROYECTO

DETALLE	COSTO
Presupuestos Inversiones	1'264.500
Materia prima e insumos	725.300
Mano de obra directa	1'346.000
TOTAL COSTOS + 2% IMPREVISTOS	\$3'402.516

Fuente: Esta investigación



6.3 CRONOGRAMA

ACTIVIDAD	MES 1				MES2				MES 3				MES 4			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1.1. Visitar Biblioteca.	■															
1.1.1. Revisar libros de electrónica.	■															
1.1.2. Revisar revistas científicas.	■															
1.1.3. Revisar artículos científicos	■															
1.2. Consultas en Internet.		■														
1.2.1. Revisar blogs de robótica.		■														
1.2.2. Revisar paginas relacionadas con el prototipo de robot paralelo.		■														
1.2.3. Revisar información de la IEEE en robótica.		■														
1.3. Consultar teorías con docentes que dominen las temáticas a tratar.			■													
1.3.1. Realizar asesoría con los docentes.			■													
1.4. Analizar teorías de docentes que dominen las temáticas tratadas.			■													
2.1. Modelado matemático de la cinemática del robot paralelo.				■	■	■										
2.1.1. Identificar los parámetros generales del prototipo.				■	■	■										
2.1.2. Determinar los grados de libertad.				■	■	■										
2.2.																
2.2.1. Realizar cálculos generales				■	■	■										
2.3. Diseño de la estructura mecánica del robot paralelo.							■	■								
2.3.1. Determinar los parámetros para dimensionar el prototipo.							■	■								
2.3.2. Determinar el material adecuado para la estructura.							■	■								
2.3.3. Identificar elementos de acoplamiento para la estructura.							■	■								
2.4. Diseño de las etapas electrónicas.									■							



ACTIVIDAD	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2.4.1. Identificar actuadores.																
2.4.2. Calcular etapa de potencia y de acoplamiento.																
2.4.3. Realizar cada etapa.																
2.4.4. Realizar pruebas tentativas.																
3.1. Construir la parte electrónica.																
3.1.1. Identificar parámetros para las tarjetas electrónicas.																
3.1.2. Identificación modelo de Arduino.																
3.1.3. Realizar pruebas.																
3.2.																
3.2.1. Ensamblar los componentes.																
3.2.2. Verificar la resistencia de la estructura.																
3.2.3. Realizar pruebas de funcionamiento.																
3.3. Parametrizar el sistema electromecánico planteado en el diseño.																
3.3.1. Identificar los parámetros el sistema electromecánico.																
3.3.2. Realizar pruebas e identificar fallas.																
4.1. Determinar drivers y actuadores.																
4.1.1. Identificar actuadores.																
4.1.2. Identificar drivers.																
4.1.3. Investigar la disponibilidad de dichos actuadores y drives en el mercado.																
4.2. Elaborar la etapa de potencia del sistema.																
4.2.1. Determinar el tamaño adecuado.																
4.2.2. Construir la etapa de potencia del prototipo.																
4.2.3. Realizar pruebas e identificar fallas.																
4.3. Elaborar sistemas electrónicos que permitan el control del prototipo.																



ACTIVIDAD	MES 1				MES2				MES 3				MES 4			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
4.3.1. Determinar la etapa de control.																
4.3.2. Identificar cada componente necesario para el control.																
4.3.3. Realizar sistema electrónico permitiendo control sobre el prototipo.																
4.3.4. Realizar pruebas e identificar posibles errores.																
4.4. Elaborar el sistema electrónico de movimiento del robot paralelo.																
4.4.1. Determinar el sistema de movimiento.																
4.4.2. Identificar cada componente a usar en esta etapa.																
4.4.3. Realizar el sistema que permita la movilidad del prototipo.																
4.4.4. Determinar posibles fallas basándose en pruebas realizadas.																
5.1. Diseño de pruebas para cada etapa final del prototipo.																
5.1.1. Identificar cada etapa y realizar pruebas.																
5.2. Estructurar un plan de pruebas para el prototipo.																
5.3. Tomar y analizar los datos brindados por las pruebas.																
5.4. Desarrollo de una guía de manejo para el prototipo.																

Fuente: Esta investigación



7. ANALISIS DE RESULTADOS

7.1 ANALISIS DE ENCUESTAS

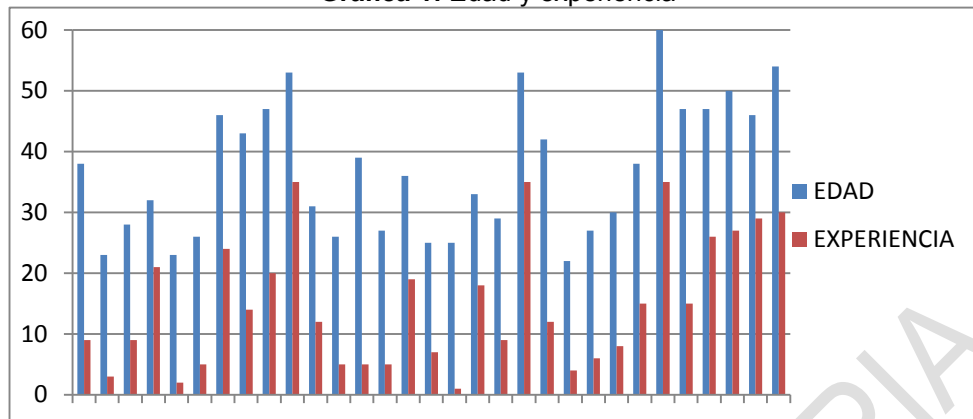
Teniendo en cuenta la encuesta realizada al personal de los talleres metalmecánicos realizada en San Juan de Pasto se arrojan los siguientes resultados y conclusiones:

Tabla 12. Edad y experiencia

ITEM	EXPERIENCIA	EDAD
1	9	38
2	3	23
3	9	28
4	21	32
5	2	23
6	5	26
7	24	46
8	14	43
9	20	47
10	35	53
11	12	31
12	5	26
13	5	39
14	5	27
15	19	36
16	7	25
17	1	25
18	18	33
19	9	29
20	35	53
21	12	42
22	4	22
23	6	27
24	8	30
25	15	38
26	35	60
27	15	47
28	26	47
29	27	50
30	29	46
31	30	54

Fuente: Esta Investigación.

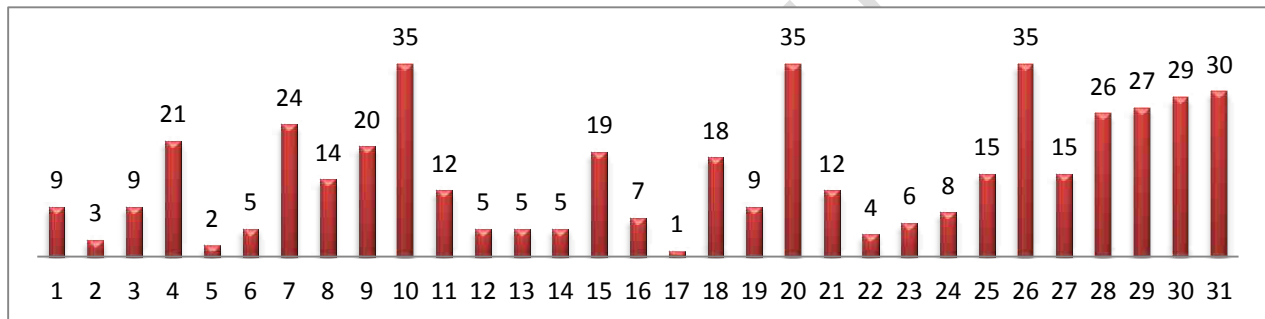
Gráfica 1: Edad y experiencia



Fuente: Esta Investigación.

Como se puede observar la edad de la personas varía entre los 23 y los 60 años, donde la experiencia les ha brindado el conocimiento que hoy demuestran.

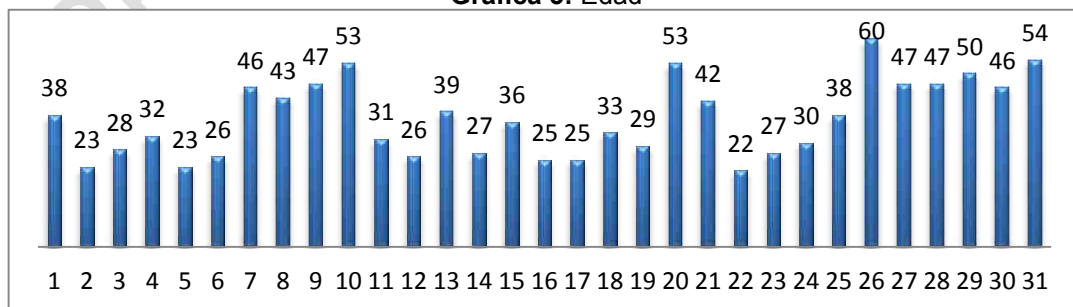
Gráfica 2: Experiencia



Fuente: Esta Investigación.

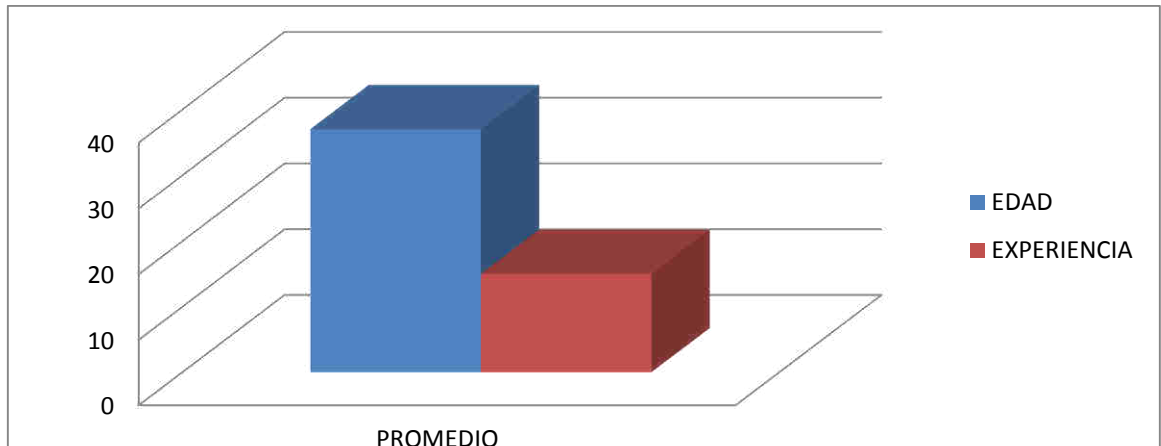
La experiencia de los encuestados varía desde un año hasta los 35 años de trabajo en el área de metalmecánica con los que se fortalece el conocimiento y se afianza la sabiduría convirtiéndose en maestros para generaciones futuras en esta labor.

Gráfica 3: Edad



Fuente: Esta investigación.

Gráfica 4: Edad y experiencia



Fuente: Esta investigación.

En la gráfica anterior se observa el promedio de edades y los años de experiencia; se llega a la Conclusión que en promedio la edad de estos trabajadores es de 37 años aproximadamente con 15 años de experiencia los que indica que las personas empiezan su vida laboral en esta labora a los 22 años aproximadamente.

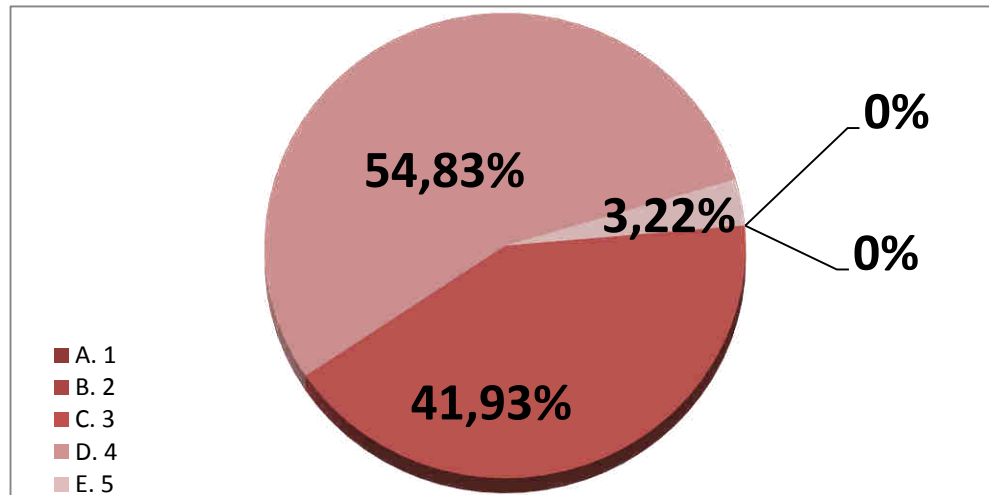
1. Califique la precisión del corte de lámina de calibre 10 en un rango de 1 a 5, tomando 1 como totalmente inexacta y 5 como perfecta ?

Tabla 13. Precisión del corte de lámina

Opciones	frecuencia	Porcentaje	total
A. 1	0	0%	0
B. 2	0	0%	0
C. 3	13	41,93%	13
D. 4	17	54,83%	17
E. 5	1	3,22%	1
Total.	31	100%	31

Fuente: Esta Investigación.

Gráfica 5: Precisión del corte de lámina



Fuente: Esta investigación.

Las respuestas 1 y 2 tiene un 0%, la opción 3 tiene un 41,93%, un 54,83% escoge la opción 4 y el 3,22% elige 5 como su mejor opción obteniendo así un 100% de las personas encuestadas.

De las 31 personas encuestadas nadie califico el corte con 1 ni con 2, 13 personas escogieron la calificaron con un 3 lo que equivale a un 41,93%, esta opción es la segunda más elegida ya el corte está calificado ente 3 y 4, este último con un porcentaje de 54,83 de aceptación se convierte en la respuesta más elegida ya que el corte no es perfecto pero tiene un grado de precisión alto y solo 1 persona lo califica con un 5 de un corte perfecto, ya que no hay sistemas que realice el corte con tanta precisión.

El prototipo que se realizará tiene como objetivo principal el mejoramiento del corte de lámina usando oxicorte, haciendo el corte con mayor precisión y rapidez aprovechando el tiempo y la materia prima.

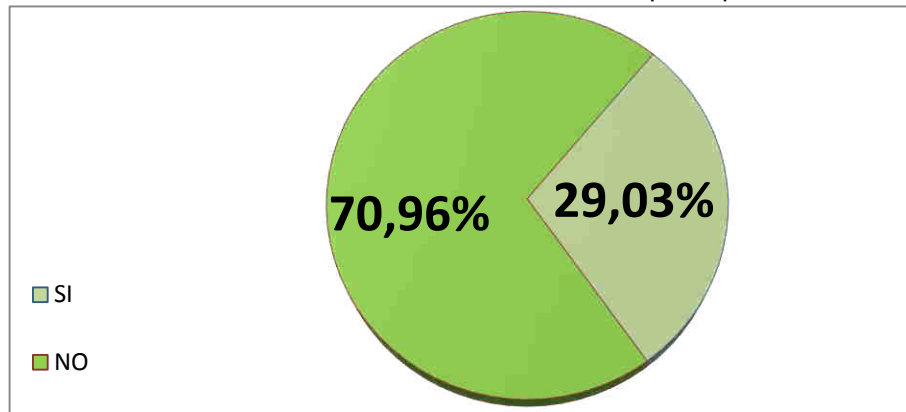
2. ¿Sabe usted si la maquina cortadora que usa tiene control de velocidad?

Tabla 14. Tiene control de velocidad la máquina que usa

Opciones	Frecuencias	Porcentaje	total
SI	9	29,03%	9
NO	22	70,96%	22
Total	31	99,99%	31

Fuente: Esta investigación.

Gráfica 6: Tiene control de velocidad la máquina que usa



Fuente: Esta investigación.

De acuerdo con anterior pregunta ¿Sabe usted si la maquina cortadora que usa tiene control de velocidad? Se puede observar que del total de 31 personas encuestadas, el 70.96% que corresponde a numero de 22 frecuencias manifestaron que no saben si su cortadora tiene control de velocidad, mientras que el 29.03%, que correspondiente a 9 frecuencias respondieron que si sabían de la existencia de dicho control. Cabe decir que en algunos las personas que conocen de dicho control no tienen la capacitación suficiente e ideal en el manejo correcto de los procesos, para así mantener los niveles de eficiencia y eficacia que requiere la planta de producción.

Lo anterior permite establecer la importancia que posee el desarrollo de la presente investigación por cuanto permite ofrecer una mayor precisión en los diferentes cortes que se realicen, por otro lado esto permitirá a su vez que se minimicen los costos y se aproveche de manera efectiva los recursos y la materia prima dando como resultado mayores utilidades y rentabilidad a sus propietario.

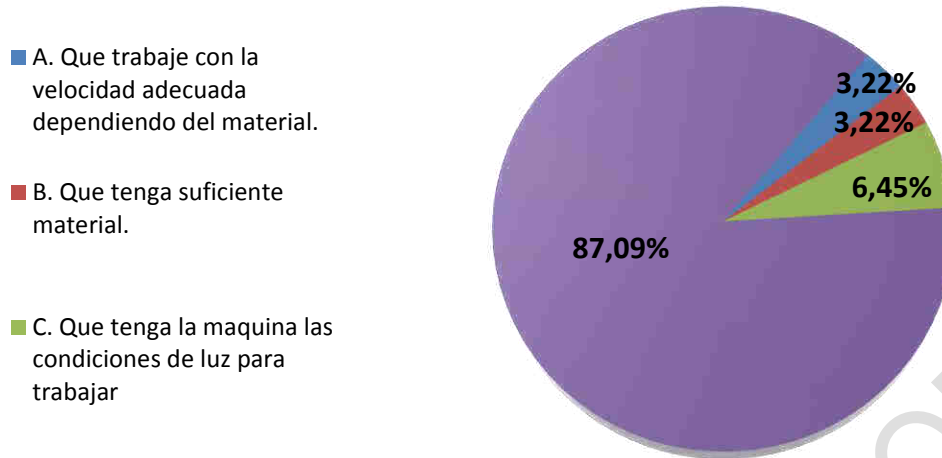
3. Si fuera operario encargado de una máquina cortadora de lámina debe estar pendiente de:

Tabla 15. Pertinencias al operar una cortadora

Opciones	Frecuencia	Porcentaje	Total
A. Que trabaje con la velocidad adecuada dependiendo del material.	1	3,22%	1
B. Que tenga suficiente material.	1	3,22%	1
C. Que tenga la maquina las condiciones de luz para trabajar	2	6,45%	2
D. Todas las anteriores	27	87,09%	27
Total.	31	99,98%	31

Fuente: Esta investigación.

Gráfica 7: Pertinencias al operar una cortadora



Fuente: Esta investigación.

Un 3,22% elige la primera opción, igual porcentaje de personas escogen la opción: que tenga suficiente material, 6,45% de personas apoyan la tercera opción y la opción Todas las anteriores es la más escogida por los obreros en este campo.

Los datos arrojados en esa pregunta son fundamentales para determinar características necesarias para que los operarios realicen un trabajo óptimo y que tengan las mejores condiciones.

La última opción abarca las anteriores que a su vez son características importantes y fundamentales del prototipo, tales como: que la máquina de corte trabaje con la velocidad adecuada dependiendo del material, que tenga suficiente material y que tenga la maquina las condiciones de luz apropiadas para trabajar, por esto es las más completa y la más elegida por los encuestados.

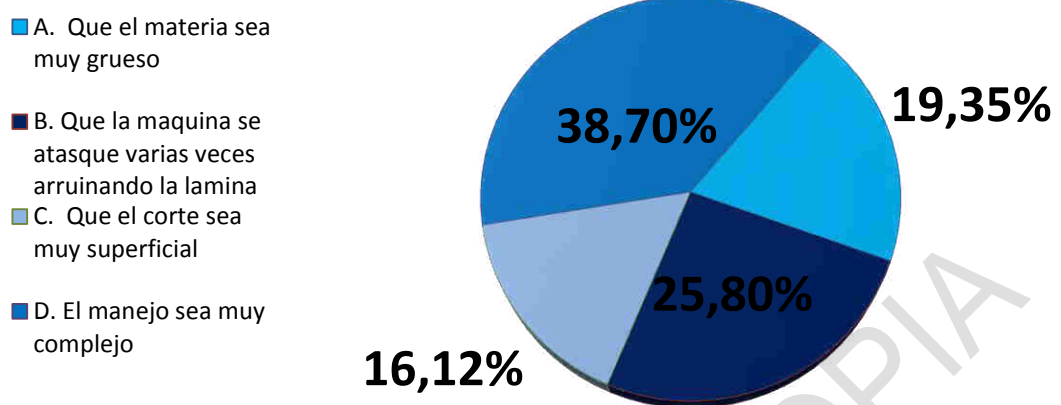
4. Una de las principales dificultades que se puede presentar con la máquina cortadora es:

Tabla 16. Dificultades en la maquina cortadora

Opciones	Frecuencia	Porcentaje	Total
A. Que el materia sea muy grueso	6	19,35%	6
B. Que la maquina se atasque varias veces arruinando la lamina	8	25,80%	8
C. Que el corte sea muy superficial	5	16,12%	5
D. El manejo sea muy complejo	12	38,70%	12
Total.	31	99,97%	31

Fuente: Esta investigación.

Gráfica 8: Dificultades en la maquina cortadora



Fuente: Esta investigación.

Un 19,35% de las personas encuestadas manifiestan que el material sea muy grueso, que la maquina se atasque varias veces arruinando la lámina por un 25,80%, 16,12% eligen que el corte sea superficial y el 38,70% es la última opción: el manejo sea complejo.

Que el manejo de la maquina sea complejo es la dificultad que más se presenta dentro de los trabajadores en el campo de corte de lámina de aluminio, ya que afirman que falta capacitación para el manejo de ciertas maquinas; esto arrastra la segunda opción más elegida ya que si no se puede manejar bien la maquina puede dañar la lámina de aluminio.

Con el desarrollo de esta investigación se pretende la disminución o eliminación de algunas dificultades, ya que el prototipo tiene un fácil manejo y los operarios contarán con capacitaciones para el buen uso de la maquina obteniendo eficiencia en cada trabajo realizado, con seguridad y ahorro de tiempo.

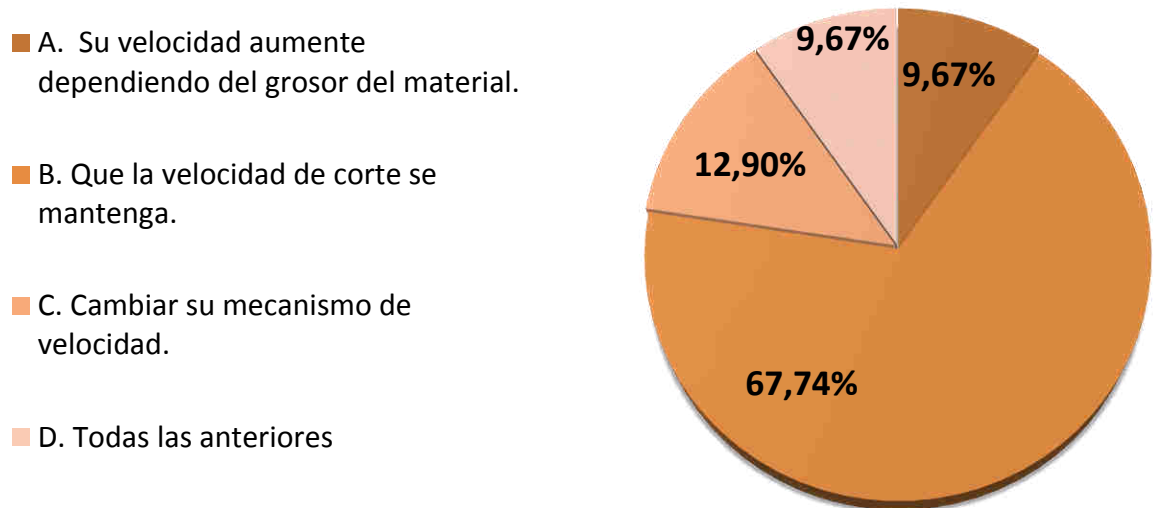
5. Para que la máquina cortadora de lámina funcione exitosamente es necesario que:

Tabla 17. Necesidades de la maquina cortadora de lamina

Opciones	Frecuencia	Porcentaje	Total
A. Su velocidad aumente dependiendo del grosor del material.	3	9,67%	3
B. Que la velocidad de corte se mantenga.	21	67,74%	21
C. Cambiar su mecanismo de velocidad.	4	12,90%	4
D. Todas las anteriores	3	9,67%	3
Total.	31	99,98%	31

Fuente: Esta investigación.

Gráfica 9: Necesidades de la maquina cortadora de lamina



Fuente: Esta investigación.

En la encuesta realizada la primera opción: Su velocidad aumente dependiendo del grosor del material fue elegida 9,67%, que la velocidad de corte se mantenga es la segunda opción elegida por 67,74%, la última opción es elegida por 12,90% y la opción elegida por 9,67% de las personas es todas las anteriores.

Que su velocidad aumente dependiendo del grosor del material, que la velocidad de corte se mantenga, cambiar su mecanismo de velocidad son factores muy importantes y complementarios entre sí que permiten el tan necesario y deseado corte exacto; por esto la última opción es la más elegida por los encuestados que contiene todas las opciones .

Como resultado de esta pregunta se obtienen factores que permiten que la máquina cortadora de lámina funcione exitosamente, brindando así el mejor aprovechamiento de la materia prima.

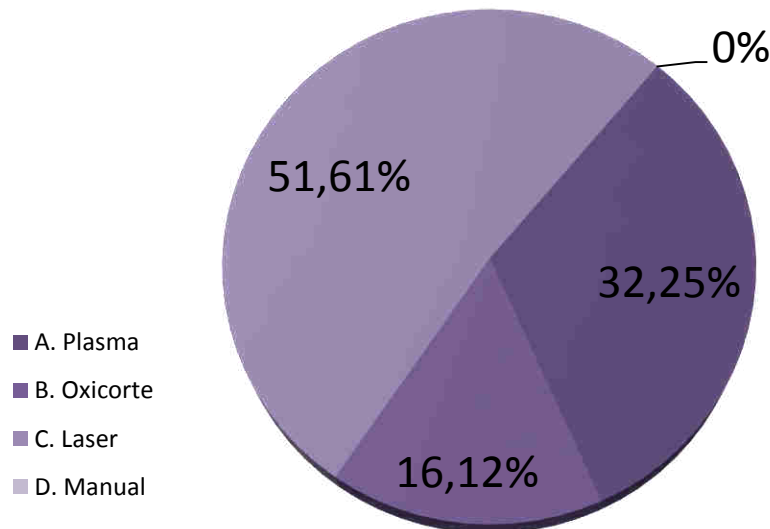
6. ¿Cuál cree usted que es el mejor sistema de corte?

Tabla 18. El mejor sistema de oxicorte

Opciones	Frecuencia	Porcentaje	Total
A. Plasma	10	32,25%	10
B. Oxicorte	5	16,12%	5
C. Laser	16	51,61%	16
D. Manual	0	0%	0
Total.	31	99,98%	31

Fuente: Esta investigación.

Gráfica 10: El mejor sistema de oxicorte



Fuente: Esta investigación.

En la pregunta: Cuál cree usted que es el mejor sistema de corte? La opción más elegida es Laser con un 51,61%, seguida por el 32,35% que eligen plasma, la opción de oxicorte tiene 16,52% a su favor y por su parte la opción Manual no tuvo ninguna elección por parte de los encuestados.

Se considera el mejor sistema de corte de lámina de aluminio según los encuestados el plasma con la opción C, es el sistema más rápido y preciso pero de la misma forma el costo aumenta considerablemente con respecto a otros sistemas simples y efectivos como el oxicorte que será implementado en este prototipo, brindando la rapidez y precisión que se necesita.

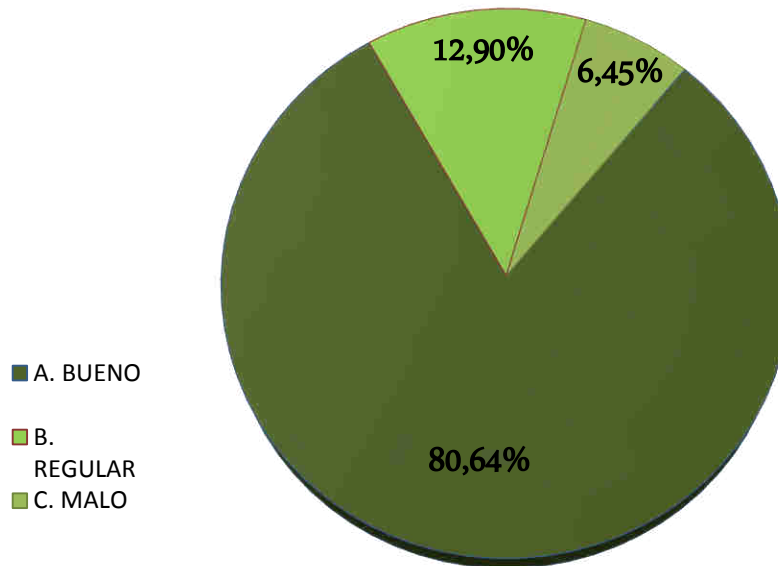
7. Que concepto tendría si la maquina reduce el trabajo del operario

Tabla 19. La máquina reduce el trabajo

Opciones	Frecuencia	Porcentaje	Total
A. BUENO	25	80,64%	25
B. REULAR	4	12,90%	4
C. MALO	2	6,45%	2
Total	31	99,99%	31

Fuente: Esta investigación.

Gráfica 11: La máquina reduce el trabajo



Fuente: Esta investigación.

80,64% de los encuestados optan por: bueno, 12,90% eligen la opción B, regular y 6,45% escogen Malo.

Si la máquina que usan para el corte de lámina reduce el trabajo del operario, como lo va hacer el prototipo es Bueno según 25 de las 31 personas encuestados, obteniendo más del 80% a favor de esta opción ya que el prototipo tiene características que lo permiten se realice un trabajo más óptimo y se reduce el riesgo del operario

Algunas personas piensan que es malo porque se desplaza al operario pero esto no sucede ya que este prototipo necesita de la intervención humana, así trabajan de la mano hombre y máquina para un propósito común.

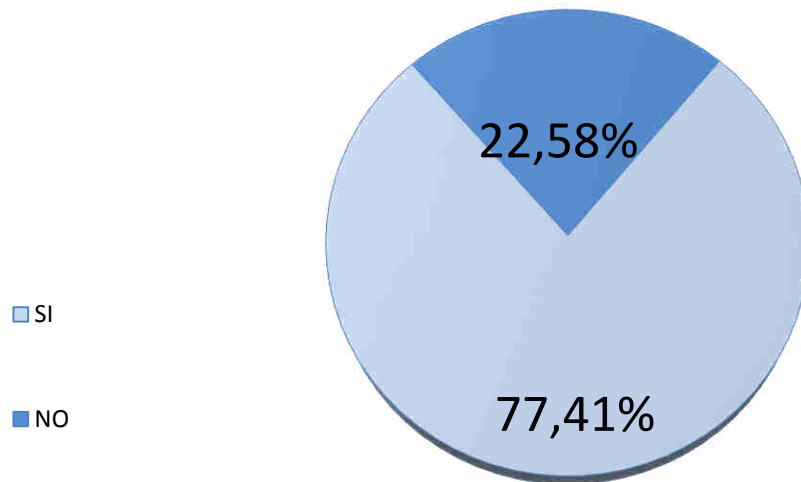
8. Piensa usted que la maquina reduce el riesgo del operario

Tabla 20. Riesgo del operario

Opciones	Frecuencia	Porcentaje	Total
SI	24	77,41%	24
NO	7	22,58%	7
Total.	31	99,99%	31

Fuente: Esta investigación.

Gráfica 12: Riesgo del operario



Fuente: Esta investigación.

Del 100% de las personas encuestadas 77,41% piensas en SI como la mejor opción, mientras que el 22,58% opinan lo contrario.

A la pregunta: piensa usted que la maquina reduce el riesgo del operario? La opción Si ubicada en el opción A es la más elegida ya que el operario tiene un contacto mínimo con el oxicorte reduciendo el riesgo, ahí encuestados que piensan que el riesgo se aumenta ya que es otro tipo de maquina donde se deben tener más cuidados y eso no es, la maquina se hace para facilitar y optimizar el trabajo de operario, garantizando su seguridad.

9. Qué proceso de los siguientes prefiere en el momento de realizar un corte de lámina

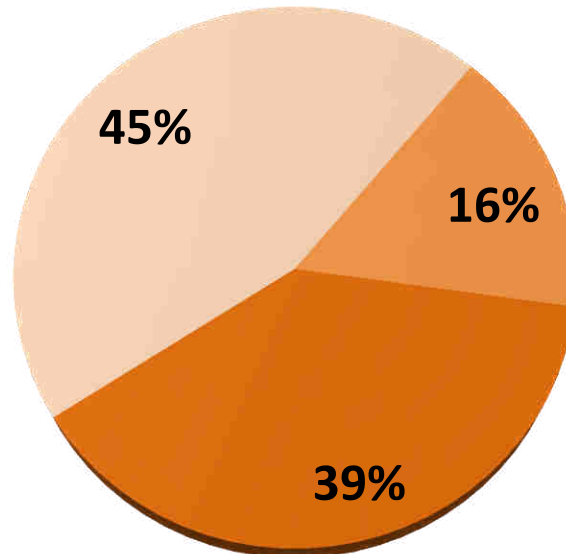
Tabla. 21. Proceso para corte de lámina

Opciones	Frecuencia	Porcentaje	Total
A. Maquina asistida	14	45%	5
B. Maquina automática	12	38,70%	12
C Maquina sin interrupción humana	5	16,12%	14
Total.	31	99,98%	31

Fuente: Esta investigación.

Gráfica 13: Proceso para corte de lámina

■ A. Maquina asistida ■ B. Maquina automática ■ C. Maquina sin interrupción humana



Fuente: Esta investigación.

La opción más elegida fue maquina sin interrupción humana con un 45%, seguida por el 39% de las personas que escogen la maquina automática y por último la opción de la maquina asistida que fue la menos elegida por un 16%.

Las personas dedicadas a esta labor prefieren un sistema semiautomático como el que se desarrolló en esta investigación, ya que con este puede supervisar y estar pendientes del trabajo que se realiza, los operarios son parte del proceso a diferencia de sistemas automatizados donde no hay intervención humana y la maquina puede dañar materia prima.

La ventaja de este prototipo es que los operarios están pendientes de la maquinas sin que ocupe todo su tiempo, ellos son parte del proceso que necesita de una asistencia parcial mas no total por parte de la persona encargada de este campo.

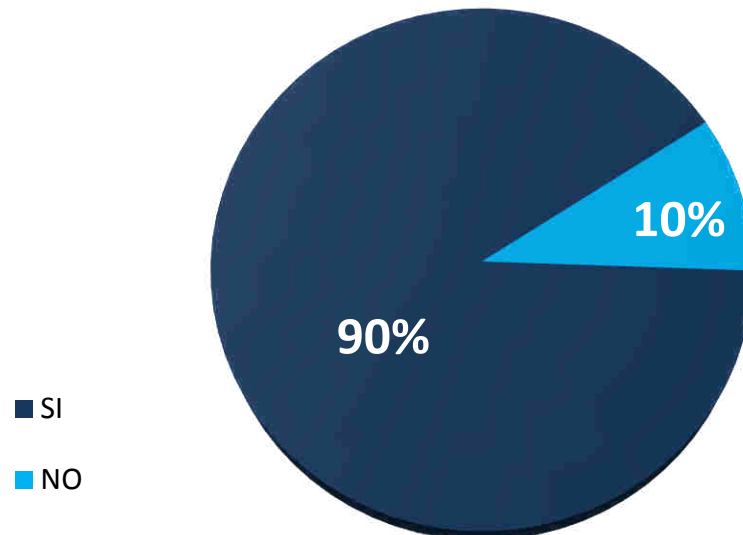
10. Piensa que ¿implementando nuevas tecnologías se reduciría el riesgo del operario?

Tabla 22. Reducción de riesgo con implementación de nuevas tecnologías

Opciones	Frecuencia	Porcentaje	Total
SI	28	90,32%	28
NO	3	9,67%	3
Total.	31	99,99%	31

Fuente: Esta investigación.

Gráfica 14: Reducción de riesgo con implementación de nuevas tecnologías



Fuente: Esta investigación.

Un 90% está de acuerdo que implementando nuevas tecnologías se reduciría el riesgo del operario y un 10% está en desacuerdo.

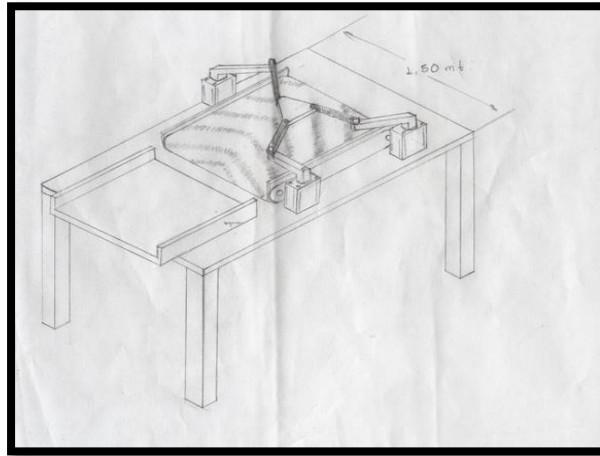
De los 31 encuestados únicamente 3 que equivalen al 10% no están de acuerdo con esta pregunta, ya que piensan que la tecnología desplazara a los operarios, pero el 90% de las personas optan por la opción Sí, como una opción para mejorar y optimizar su trabajo, lo cual es el objetivo fundamental al desarrollar este prototipo.

Al implementar nuevas tecnologías se reduce el riesgo y aumenta la productividad del operario que es lo que se pretende al desarrollar este prototipo, esto es lo que los encuestados argumentar por esto se interesan en las nuevas tecnologías como lo es este prototipo y su implementación dentro de su oficio.

7.2 ANÁLISIS DE BOSQUEJOS PLANOS Y FICHAS TECNICAS

Bosquejo inicial de la investigación diseño y construcción de un prototipo de robot paralelo orientado a procesos siderúrgicos de corte de lámina, a través del acondicionamiento de equipo de oxicorte, desarrollado en la ciudad de san juan de pasto 2014 con la participación de Angie Zambrano, Juan Botina y Heyder Belalcazar.

Figura 4: Bosquejo inicial



Fuente: Esta Investigación

La estructura física de una máquina industrial va definida desde su parte mecánica hasta los componentes electrónicos que se utilizan para su movimiento ya que esta clase de productos representan un trabajo complejo, su parte estructural debe ser construida bajo normas y pruebas que garanticen un buen funcionamiento y además la seguridad del operario por lo que es definitivo manejar los materiales correctos para su elaboración.

Para el desarrollo del proyecto planteo un primer boceto donde se muestra el diseño de la estructura mecánica y sus posibles dimensiones que en un momento dado van a ser definitivas para la escoger el tipo de material debido a que la variación del tamaño va de la mano con la resistencia de éste.

7.3 ANALISIS DE DISEÑOS

Figura 5: Prototipo en madera

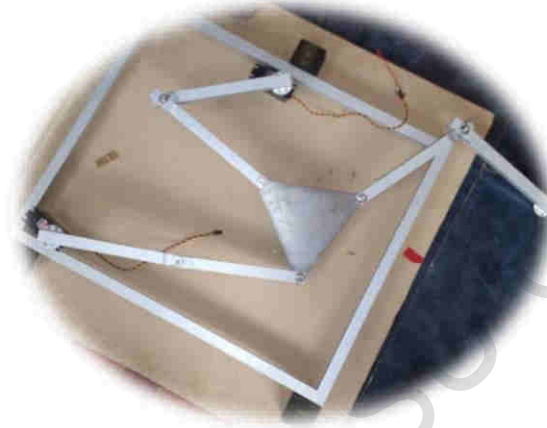


Fuente: Esta investigación

En esta etapa se diseñó un prototipo similar al original, pero de materiales diferentes, en este caso particular, cada eslabón mide 20cm de largo y en triángulo tiene un diámetro de 45cm en total obteniendo así 15cm por cada uno de los lados de este.

Posteriormente se calcula el triángulo inferior de este esquema y se asegura cada eslabón para realizar las pruebas en cuanto a dimensiones, área, diseño, entre otras.

Figura 6: Prototipo en aluminio



Fuente: Esta investigación

En este diseño ya definido por los cálculos exactos de lo que se necesita, cada eslabón mide 21 cm de largo y el triángulo tiene 17.5 cm de cada lado, así se obtiene el área necesaria para realizar variedad de cortes en lámina.

El triángulo externo del prototipo debe medir 50 cm de eje a eje de cada motor, en este prototipo, por diseño, la base se estructuró de forma rectangular, ya que el área que cubre el robot sobrepasa los límites del área del triángulo; realizando la base de forma rectangular con 50,3cm por 60,5cm.

Al realizar el prototipo de madera se realizaron varios análisis en cuanto a fricción, área que alcanza el prototipo y análisis de diseño con el objetivo de mejorar el prototipo final.

Se realiza el prototipo de aluminio el cual se le hacen los cambios respectivos para mejorar la dinámica del sistema, llegando a un prototipo final con buen funcionamiento y cumpliendo con los objetivos que debe cumplir el prototipo. (Revisar anexo 15)

7.4 ANALISIS DE ENSAMBLES Y GRAFICOS DE PROTOTIPO

Figura 7: Ensamble inicial

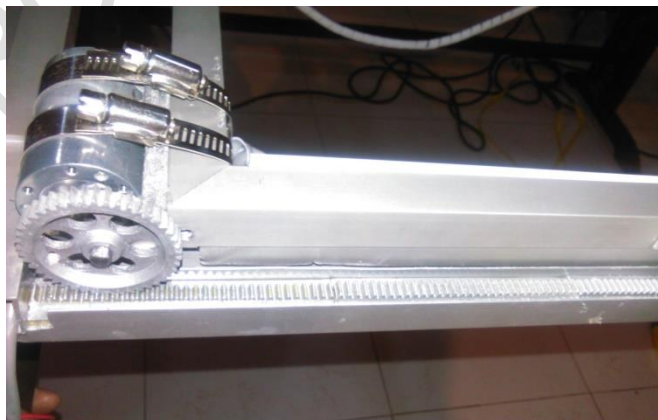


Fuente: Esta investigación

Ya teniendo el robot paralelo, con su triángulo externo previamente calculado, se continúa con la estructura de la mesa de trabajo de tal forma que en esta alcance una lámina entera de aluminio con las siguientes dimensiones: 120 cm x 240cm, que es el tamaño universal de una lámina completa de aluminio.

La mesa consta de dos carriles un horizontal y otro vertical con el fin de que se realice un movimiento preciso para realizar los cortes deseados, así el robot puede moverse en cualquier dirección alcanzando toda el área de la lámina en su totalidad.

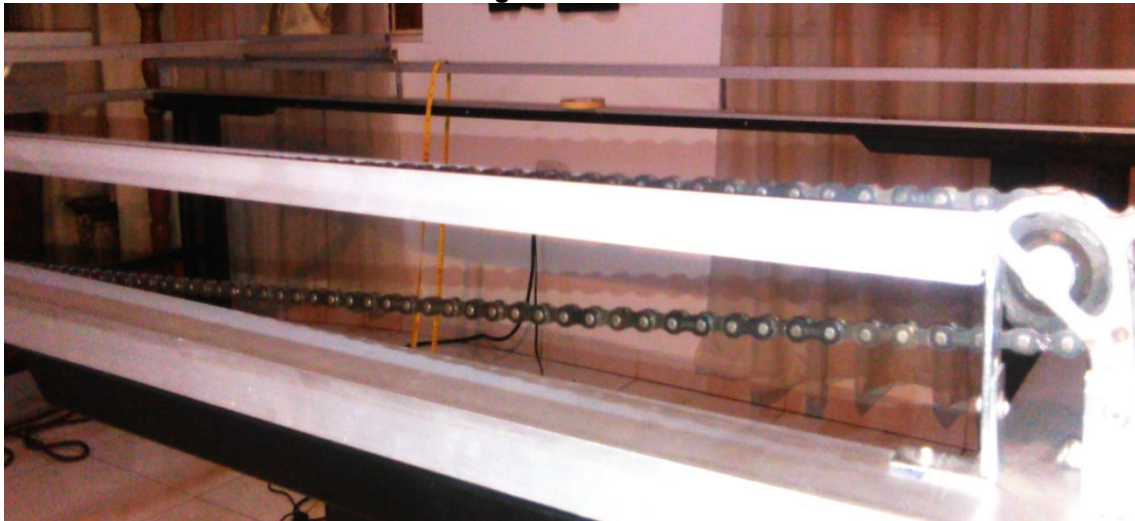
Figura 8: Sistema de riel



Fuente: Esta investigación

Este sistema se base en un motor D.C. el cual tiene en su eje un piñón que se desplaza sobre un riel o una cremallera para realizar el desplazamiento horizontal del robot. Obteniendo así un buen desplazamiento sin errores, resbalones o fallas por parte de este sistema.

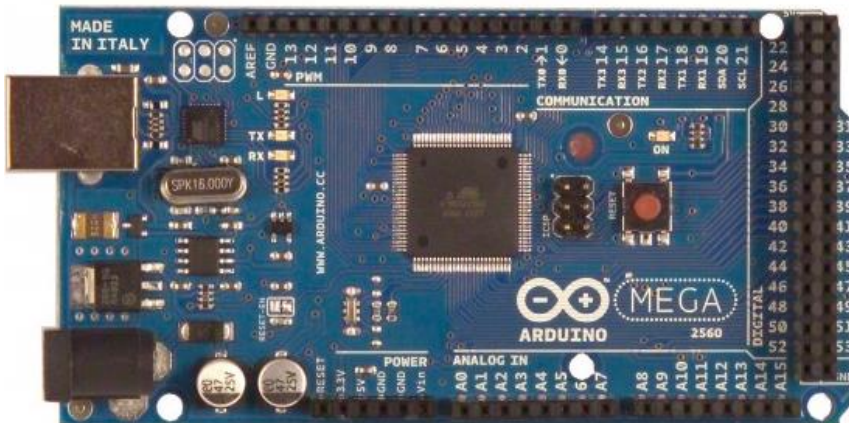
Figura 9: Sistema de cadena



Fuente: Esta investigación

Este sistema se basa en una cadenilla ajustada previamente al sistema, la cual gira con la ayuda de un motor D.C. de 12 voltios ubicado en la parte inferior del prototipo, el cual tiene en su eje un piñón que al girar permite el desplazamiento vertical del robot, en el otro extremo el prototipo cuenta con un piñón diseñado y ubicado para el fluido y normal desplazamiento de la cadenilla permitiendo así el correcto movimiento del robo paralelo.

Figura 10: Arduino Mega



Fuente: Esta investigación



El Arduino Mega es probablemente el microcontrolador más capaz de la familia Arduino. Posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un reset y una entrada para la alimentación de la placa.

La comunicación entre la computadora y Arduino se produce a través del puerto serial, sin embargo posee un convertidor usb-serie, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB como el que utilizan las impresoras.

7.5 PROCESOS DE EXPERIMENTACIÓN

En el desarrollo de todo el proceso se empezó realizando prototipos de prueba del robot paralelo como se observa anteriormente. El primer prototipo se diseñó en madera con el cual se detalló y analizó el movimiento de las articulaciones y la base móvil, es decir se estudió la dinámica de las articulaciones y el área de trabajo en la que se desplazaba la base móvil.

Posteriormente a este se realizó un prototipo hecho en tubo cuadrado de aluminio y su base móvil en platina de 1/8 de pulgada con el cual se tenía planeado trabajar, pero después de varias pruebas no se obtuvieron buenos resultados en su dinámica ya que en las articulaciones el tubo cuadrado se encontraba recortado y modificado para que en su interior se localizara la unión con el otro tubo, el error fue que al hacer esto no se obtuvo los grados de giro deseados ya que se dieron bloqueos en el movimiento de los eslabones por la misma configuración, los cortes en el tubo se realizaron de tal manera que la estructura no perdiera estabilidad pero con las comprobaciones realizadas este prototipo fue descartado por no cumplir con las expectativas deseadas.

Figura 11: Prototipo en tubo cuadrado de aluminio



Fuente: Esta investigación

EL prototipo final se concibió con varilla plana de aluminio como eslabones las cuales eliminaron el anterior problema ya que cumplen con el giro deseado y su resistencia es la adecuada para el trabajo que se pretende. En las articulaciones se usaron tornillos pasadores con tuercas y lubricados para reducir al máximo la fricción y su base móvil se creó en platina de 1/8 de pulgada la cual es lo suficientemente sólida para soportar el peso necesario sin tener deformaciones.

Los actuadores que se escogieron al principio fueron motores D.C. a 12 voltios para realizar pruebas pero no se obtuvo ni la fuerza ni la precisión necesaria para el robot, luego se tomó como opciones motores paso a paso con los cuales se tenía una gran respuesta en fuerza y un control de posición considerable, la resolución que se obtenía era dependiendo de los pasos del motor y lo que se busca con el robot paralelo es alta precisión por lo cual se optó por servomotores de alto torque, la referencia utilizada es HS-805BB Hitec el cual tiene un torque casi de 20kg*cm en su forma eficiente y cuenta con una velocidad de 0,14seg/60° que resulta más que suficiente para el dispositivo, además de dar la facilidad de controlar su ángulo de giro.

Figura 12: Servomotor



Fuente: <http://hitecrd.com/>



La estructura del robot paralelo se encuentra encima de una base móvil que tiene dos grados de libertad ya sea en el eje Y como en el X.

Para el plano X se realizó un diseño que contaba con un moto reductor que tenía una banda en goma en su eje la cual hacía fricción en un canal para así poder mover la estructura del robot, el gran problema que se presentó fue que la fricción no era la suficiente y existían momentos en que la banda resbalaba y la estructura dejaba de moverse, por lo cual se diseñó una cremallera mecánica donde estaba el canal y en el eje del motor se cambió la banda por un piñón que se moverá en la cremallera, este sistema ya no presentó ninguna falla ni retraso en el movimiento de la estructura.

En el plano Y ya que la distancia es grande la transmisión de potencia se complica, para este punto se tomó también un moto reductor pero a diferencia del anterior este ve incrementada su fuerza, en su eje se diseñó una parte específica en torno para que resista la fuerza que se va a ejercer en ese punto y un piñón pequeño al final del eje, a la estructura del robot se le colocaron unos tensores al que se asegura la cadena que va a ser el medio de transmisión de potencia y rodeará todo el plano en el que se moverá, en un extremo encontrará el piñón del motor y en el otro un piño de sostenimiento los que le permitieran su desplazamiento.

El cableado estructurado se realizó en los bordes de la mesa con sus respectivos recubrimientos y espacios de movimiento para no tener complicaciones en momentos de desplazamientos en la estructura. El cableado llega a una tarjeta Arduino Mega que es la que envía toda la información que recibe del computador a los actuadores y también recibe y procesa los datos de censo respectivos.

7.6 CALCULOS ESTRUCTURALES

➤ CRITERIO DE KUTZBACH

$$F = \lambda(n - j - 1) + \sum_i f_i$$

Donde:

F= Grados de libertad del mecanismo

λ = Grados de libertad donde se desea que se desempeñe el mecanismo

n = número de eslabones incluyendo la base

j = número de juntas cinemáticas

f = grados de libertad permitidos por juntas cinemáticas

Mecanismo planar paralelo:

$$\lambda = 3$$

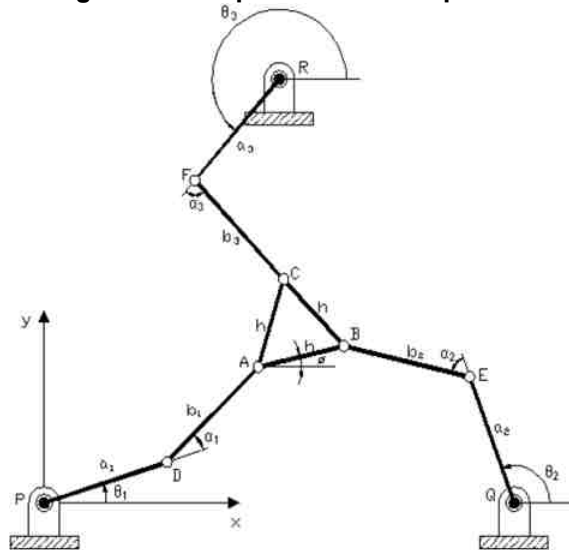
$$n = 8$$

$$j = 9$$

$$F = 3(8 - 9 - 1) + 9 \times 1 = 3$$

➤ CINEMATECA DIRECTA DEL MECANISMO

Figura 13 : Esquemático robot paralelo



Fuente: Esta investigación

Geometría del mecanismo: Las coordenadas de los puntos B y C pueden ser escritas en términos del punto A y θ

➤ Punto B:

$$x_B = x_A + h \cos \theta$$

$$y_B = y_A + h \sin \theta$$

➤ Punto C:

$$x_C = x_A + h \cos \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right)$$

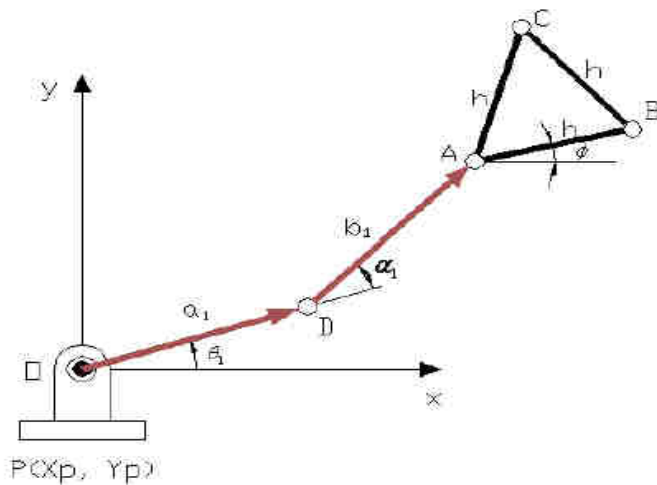
$$y_C = y_A + h \sin \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right)$$

➤ Punto A:

$$\vec{OA} = \vec{OP} + \vec{PD} + \vec{DA}$$

➤ CIEMATICA DIRECTA PRIMERA CADENA

Figura 14: Cinemática primera cadena



Fuente: Esta investigación

Vector PD

$$\begin{aligned} // X \langle \cos\theta = \frac{a1x}{a1} & \rightarrow a1x = \cos\theta * a1 \rangle \\ y \langle \sin\theta = \frac{a1y}{a1} & \rightarrow a1y = \sin\theta * a1 \rangle // \end{aligned}$$

Vector DA

$$\begin{aligned} // X \langle \cos(\theta + \frac{\pi}{3}) = \frac{b1x}{b1} & \rightarrow b1x = \cos(\theta + \frac{\pi}{3}) * b1 \rangle \\ y \langle \sin(\theta + \frac{\pi}{3}) = \frac{b1y}{b1} & \rightarrow b1y = \sin(\theta + \frac{\pi}{3}) * b1 \rangle // \end{aligned}$$

Es decir:

$$\begin{aligned} x_A &= x_P + a_1 \cos \theta_1 + b_1 \cos(\theta_1 + \alpha_1) \\ y_A &= y_P + a_1 \sin \theta_1 + b_1 \sin(\theta_1 + \alpha_1) \end{aligned}$$

Con: $y_P = x_P = 0 \rightarrow$ coinciden con el origen x, y para la cadena uno

$$\begin{aligned} x_A - a_1 \cos \theta_1 &= b_1 \cos(\theta_1 + \alpha_1) \\ y_A - a_1 \sin \theta_1 &= b_1 \sin(\theta_1 + \alpha_1) \end{aligned}$$

Para el desarrollo de este sistema de ecuaciones se procedió a utilizar MatLab como programa de resolución haciendo un cambio de variables de la siguiente manera

Donde:

$$\begin{aligned} f1 &= x_A - a_1 \cos \theta_1 \\ f2 &= y_A - a_1 \sin \theta_1 \end{aligned}$$

$$b_1 = b_1 \text{ sen}(\theta_1 + \alpha_1)$$

f = sistema resuelto

ECUACION 1 (f)

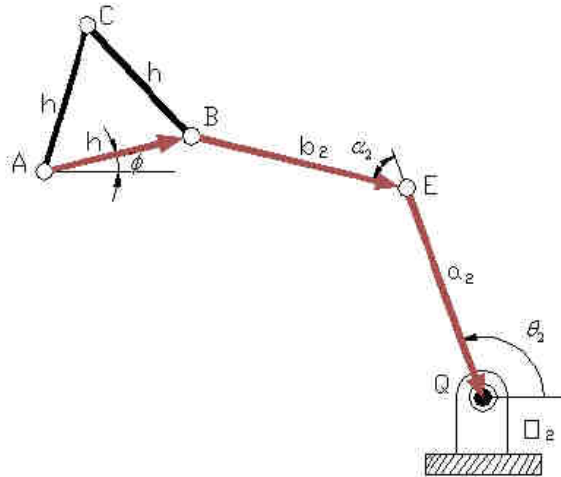
$$x_A^2 + Y_A^2 - 2x_A a_1 \cos\theta_1 - 2y_A a_1 \text{sen}\theta_1 + a_1^2 - b_1^2 = 0$$

Revisar anexo 2 para observar la programación.

➤ CINEMATICA DIRECTA SEGUNDA CADENA

$$AO_2 = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{EQ} + Q$$

Figura 15: Cinemática segunda cadena



Fuente: Esta investigación

Se realizó el mismo proceso de la cadena uno obteniendo:

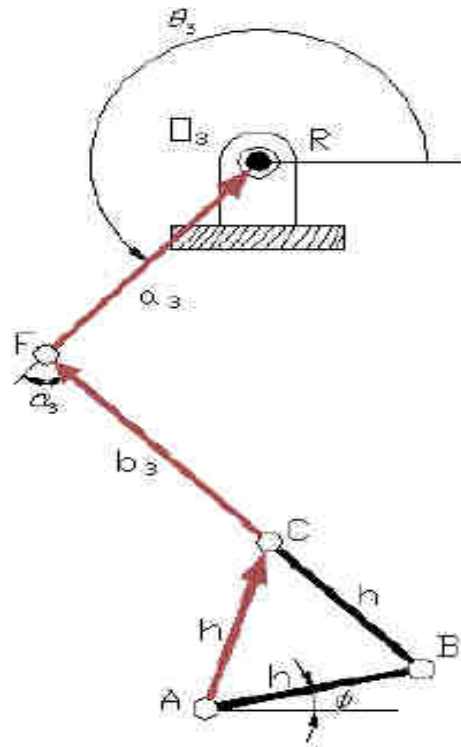
$$X_A^2 + Y_A^2 - 2x_A x_Q - 2y_A y_Q + X_Q^2 + Y_Q^2 + h^2 + a_2^2 + b_2^2 + 2x_A h * \cos\phi + 2y_A h * \text{sen}\phi - 2x_A a_2 * \cos\theta_2 - 2y_A a_2 * \text{sen}\theta_2 - 2a_2 h * \cos\phi \cos\theta_2 - 2x_Q h * \cos\phi - 2Y_Q h * \text{sen}\phi + 2x_Q a_2 * \cos\theta_2 + 2y_Q a_2 * \text{sen}\theta_2 - 2a_2 h * \text{sen}\phi \text{sen}\theta_2 = 0$$

Desarrollo del proceso encontrado en la programación anexo 3

➤ CINEMATICA DIRECTA TERCERA CADENA

$$AO_3 = \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FR} + R$$

Figura 16: Cinemática tercera cadena



Fuente: Esta investigación

Se procede de igual forma a las anteriores cadenas uno, obteniendo:

$$X_A^2 + Y_A^2 - 2x_A x_R - 2y_A y_R + X_R^2 + Y_R^2 + h^2 + a_3^2 - b_3^2 + 2x_A h * \cos(\varnothing + \frac{\pi}{3}) + 2y_A h * \text{sen}(\varnothing + \frac{\pi}{3}) - 2x_A a_3 * \cos \theta_3 - 2y_A a_3 * \text{sen} \theta_3 - 2a_3 h * \cos(\varnothing + \frac{\pi}{3}) \cos \theta_3 - 2x_R h * \cos(\varnothing + \frac{\pi}{3}) - 2Y_R h * \text{sen}(\varnothing + \frac{\pi}{3}) + 2x_R a_3 * \cos \theta_3 + 2y_R a_3 * \text{sen} \theta_3 - 2a_3 h * \text{sen}(\varnothing + \frac{\pi}{3}) \text{sen} \theta_3 = 0$$

Revisar cálculos en la programación Anexo 4.

❖ CINEMÁTICA INVERSA DEL MECANISMO

- Primera cadena:

$$e_1 \text{sen} \theta_1 + e_2 \cos \theta_1 + e_3 = 0 \tag{A.1}$$

Con:

$$\begin{aligned} e_1 &= -2y_A a_1 \\ e_2 &= -2x_A a_1 \\ e_3 &= x_A^2 + y_A^2 + a_A^2 - b_A^2 \end{aligned}$$

Usando identidades trigonométrica;

$$s\theta_i = \frac{2t_i}{1+t_i^2} \quad \text{y} \quad c\theta_i = \frac{1-t_i^2}{1+t_i^2}; \quad t_i = \tan \frac{\theta_i}{2}$$

Desarrollando obtenemos:

$$e_1 \left(\frac{2t_i}{1+t_i^2} \right) + e_2 \left(\frac{1-t_i^2}{1+t_i^2} \right) + e_3 = 0$$

Resolviéndolo para θ_1 :

$$\theta_1 = 2 \tan^{-1} \left[\frac{-e_1 \pm \sqrt{e_1^2 + e_2^2 - e_3^2}}{e_3 - e_2} \right]$$

- Segunda cadena:

$$e_4 \sin \theta_2 + e_5 \cos \theta_2 + e_6 = 0 \quad (A.2)$$

Con:

$$e_4 = -2y_A a_2 s \theta_2 + 2y_O a_2 s \theta_2 - 2a_2 h s \phi s \theta_2$$

$$e_5 = -2x_A a_2 c \theta_2 - 2a_2 h c \phi c \theta_2 + 2x_O a_2 c \theta_2$$

$$e_6 = x_A^2 + y_A^2 - 2x_A x_O + x_O^2 + h^2 + a_2^2 - b_2^2 + 2x_A h c \phi + 2y_A h s \phi - 2x_O h c \phi$$

Resolviéndolo para θ_2 :

$$\theta_2 = 2 \tan^{-1} \left[\frac{-e_4 \pm \sqrt{e_4^2 + e_5^2 - e_6^2}}{e_6 - e_5} \right]$$

- Tercera cadena:

$$e_7 \sin \theta_2 + e_8 \cos \theta_2 + e_9 = 0 \quad (A.3)$$

Con:

$$e_7 = -2y_A a_3 s\theta_3 + 2y_R a_3 s\theta_3 - 2a_3 h s\left(\phi + \frac{\pi}{3}\right) s\theta_3$$

$$e_8 = -2x_A a_3 c\theta_3 - 2a_3 h c\left(\phi + \frac{\pi}{3}\right) c\theta_3 + 2x_R a_3 c\theta_3$$

$$e_9 = x_A^2 + y_A^2 - 2x_A x_R - 2y_A y_R + x_R^2 + y_R^2 + h^2 + a_3^2 - b_3^2 + 2x_A h c\left(\phi + \frac{\pi}{3}\right) + 2y_A h s\left(\phi + \frac{\pi}{3}\right) - 2x_R h c\left(\phi + \frac{\pi}{3}\right) - 2y_R h s\left(\phi + \frac{\pi}{3}\right)$$

Resolviendo para θ_3 :

$$\theta_3 = 2 \tan^{-1} \left[\frac{-e_7 \pm \sqrt{e_7^2 + e_8^2 - e_9^2}}{e_9 - e_8} \right]$$

- SOLUCIÓN DEL MECANISMO.

Este prototipo consta de una base ajustada para las dimensiones del tamaño de la lámina industrial, consta de dos plataformas que permiten el movimiento tanto en el eje Y como en el X; en esta segunda plataforma móvil se encuentra el robot paralelo el cual lleva el oxicorte que nos permite realizar los trazos que se desea. El robot cartesiano solo será usado para realizar cortes rectos de larga extensión ya sea de manera horizontal o vertical. Este consta de dos motores:

En el eje X tiene un sensor de ultrasonido el cual nos permite posicionar exactamente el robot paralelo, trabajando en conjunto con un motoreductor que se desplaza por medio de una cremallera que le da alta fricción para que se realice el corte deseado. El motoreductor se mueve de acuerdo a lo establecido por el sensor de ultrasonido, el cual está programado en Mat Lab y se conecta al sistema por medio de un Arduino, el cual ha sido usado como un traductor de lenguaje, ya que toda la programación se hace en Mat Lab, Arduino es usado como una interfaz de comunicación. (Revisar anexo 11)

En el eje Y encontramos un sistema por cadena también conectado a otro motoreductor, este es de un alto torque y fuerza, lo que permite la fácil movilidad de la estructura, la posición se determina por medio de un encoder, que se realizó con un sensor que nos brinda un control de pulsos. Este se conectara con Mat Lab permitiendo así controlar la posición y la distancia que recorre en Y. (Revisar anexo 12)

Los dos motoreductores se conectan a dos relevos cada uno; cada relevo se conecta a 12 voltios, pero su activación se realiza desde Mat Lab por medio del Arduino. Este proceso nos permite controlar la dirección de giro de cada motoreductor enviando desde Mat Lab un 1 o un 0. (Revisar circuito anexo 13)

La estructura del robot paralelo se basa en los tres servomotores que nos permiten darle un ángulo de giro al motor y también nos permite leer el ángulo en el cual se encuentra; de esta manera se censa la posición inicial para poder moverlo a una posición final.



Los servidores se manejan desde Mat Lab, este envía los ángulos de movimiento que se determinan por medio de la programación y cálculos realizados y de igual manera se usa Arduino como interfaz de comunicación.

Todo el proceso de modelado del robot paralelo se desarrolló en Mat Lab, al igual que la determinación de sus trayectorias, obtenidas basándose en los resultados del modelado matemático.

Para realizar una trayectoria, el robot paralelo al igual que el cartesiano se ubican en una posición inicial preestablecida y se determina la trayectoria que se desea, en este momento las ecuaciones de cinemática inversa y directa se recalculan en Mat Lab, permitiendo realizar una trayectoria; para la cual necesitamos la posición inicial y final el trazo, obteniendo un algoritmo desarrollado por la programación que permite el movimiento del robot en la resolución que se le determine para que realice el corte. (Revisar programación en anexo 10)

Para la realización de trazos retos únicamente se necesita la posición inicial y final, pero para la realización de otras formas como por ejemplo circunferencias o curvas, se realizó otra programación predeterminada para que el robot cumpla con estos cortes.

Mat Lab determina cada movimiento y parámetros tanto del robot paralelo como del cartesiano, por medio de las ecuaciones y la programación realizada en Mat Lab, se usa una tarjeta Arduino que en este caso sirve como interfaz; permitiendo la comunicación entre Mat Lab y el circuito. (Revisar anexo 7)

Ya con la maquina en función se realizan alguna pruebas con oxicorte. (Revisar Anexo 14)

7.7 COSTOS Y PRESUPUESTO

Tabla 23. Inversión

INVERSION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Aluminio natural 326 NT	9 Metros	3.000 C/M	27.000
U – 74 en aluminio	3Mts	1.433 C/M	4.300
rodachines ducha con soporte	4	800	3.200
Servomotores	3	159.000	477.000
Arduino Mega - combo	1	127.000	127.000
Envio- materiales		20.000	20.000
Platina	1	8.000	8.000
Tornillos pasador hexagonal con tuerca de precisión + arandela	6	1.216	7.300
Tornillos con cuerca 3mm diametro	12	127	1.500
Motor 12v DC de alta potencia	1	32.000	32.000
fuelle regulada dual	1	50.000	50.000
fuelle de computador	1	15.000	15.000
Sensores Optico	1	40.000	40.000



Sensor ultrasónico	1	80.000	80.000
Aluminio 67/y	6 mts	41.000	41.000
Motoreductor 12v DC de alta potencia	1	45.000	45.000
Soportes mesa	4	45.000	180.000
Cadenilla	4	4.500	18.000
Fuente variable	1	25.000	25.000
Piñonera		18.000	18.000
Acrilico	1	15.000	15.000
Recubrimiento para cables	5mts	6.000	6.000
Balinas	6	2.500	15.000
Pasador para balinera	3	1.000	3.000
Tornilleria			40.000
TOTAL			1'298.300

Fuente: Esta investigación

PROHIBIDA SU COPIA



Conclusiones

Al realizar el estudio de las teorías se puede observar que la información sobre robots paralelos es muy limitada y solo se encuentran en regiones tales como Estados Unidos, Alemania, Francia, Corea y regiones aledañas a estas.

Una vez realizado el modelado matemático del sistema que consiste en el desarrollo de la simétrica tanto directa como inversa, con las cuales se logra la orientación y control del robot a través del área de trabajo, solventando las singularidades del robot.

El cálculo estructural se realiza basado en el área de desarrollo del robot y de las necesidades técnicas de los talleres de metalmecánica, tales como el tamaño de la lámina.

La construcción de la parte electromecánica del prototipo se realiza paso a paso, tomando en cuenta el desarrollo evolutivo del proyecto, alcanzando así en su totalidad el desarrollo de cada etapa necesaria para que el robot cumpla con sus objetivos.

Para el óptimo funcionamiento del prototipo se debe tener una buena etapa de potencia, estudiar y analizar las corrientes necesarias para cada componente electrónico, filtrando las señales y acondicionando protección para los mismos.

Finalmente se acoplan todos los mecanismos que comprende el prototipo y se realizan las pruebas pertinentes para determinar el buen funcionamiento del sistema, se rectifican medidas censadas y especificaciones con las cuales debe cumplir el prototipo



Recomendaciones

Se recomienda que el operario del prototipo revise el conexionado antes de encender la máquina y que determine una distancia pertinente para no sufrir daños colaterales a causa de las esquirlas provocadas en el momento del corte con oxicorte.

Se debe evitar los trabajos con oxicorte, en áreas donde se almacenen materiales inflamables, combustibles, donde el riesgo de explosión sea latente, asimismo evitar cortar recipientes o tanques que hayan contenido previamente sustancias inflamables.

Lubricar constantemente el sistema de cadena, así como los piñones, rieles y rodamientos del prototipo para obtener un buen funcionamiento del mismo.
Usar equipo de protección adecuado para el uso del oxicorte.

PROHIBIDA SU COPIA



BIBLIOGRAFIA

COORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DE NARIÑO centro de investigación desarrollo y asesoría empresarial CIDAIE. Líneas de investigación 2009

CÁMARA DE COMERCIO SAN JUAN DE PASTO, empresas metalmeccánicas 2014

LERMA Héctor Daniel. Metodología de la investigación: Propuesta, anteproyecto y proyecto. ECOE EDICIONES

CIBERGRAFIAS

UNIVERSIDAD MARIANA, Municipios de Nariño. Geografía. Disponible en: <http://www.umariana.edu.co/sanjuandepasto.htm>

LEGISLACIÓN SEGURIDAD INDUSTRIAL NACIONAL - Referido a: www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/legislacionnacional.aspx

COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL, disponible en: www.iec.ch/about/brochures/pdf/about_iec/welcome_to_the_iec-s

INSTITUTO NACIONAL ESTADOUNIDENSE DE ESTÁNDARES, definición, referido a: http://www.ansi.org/about_ansi/overview/overview.aspx?menuid=1

INSTITUTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRONICA, definición, Referido a: www.ieee.org

MARGARET ROUSE, EIA referido a: <http://whatis.techtarget.com/definition/EIA-Electronic-Industries-Association-or-Electronics-Industries-Alliance>

Definición de método inductivo - Qué es, Significado y Concepto, referido a: <http://definicion.de/método-inductivo/#ixzz3EgN1MDng>

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp_153.pdf



ANEXOS

Anexo 1: formato de encuesta

**CORPORACION UNIVERSITARIA
AUTONOMA DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA**

Objetivo: evaluar la satisfacción e impacto del proyecto “DISEÑO DE PROTOTIPO DE ROBOT PARALELO IMPLEMENTADO EN PROCESOS SIDERURGICOS DE CORTE DE LAMINA, A TRAVEZ DEL ACONDICIONAMIENTO DE EQUIPO DE OXICORTE, EN LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO 2014”.

Dirigida: Obreros de los talleres metalmecánicos

Nombre _____ Sexo: _____ Edad: _____
Fecha de encuesta _____

ENCUESTA:

1. Califique la precisión del corte de lámina de calibre 10 en un rango de 0 a 5, tomando 0 como totalmente inexacta y 5 como perfecta
 - A.1
 - B.2
 - C.3
 - D.4
 - E.5

2. ¿Sabe usted si la maquina cortadora que usa tiene control de velocidad?
 - A. SI
 - B. NO

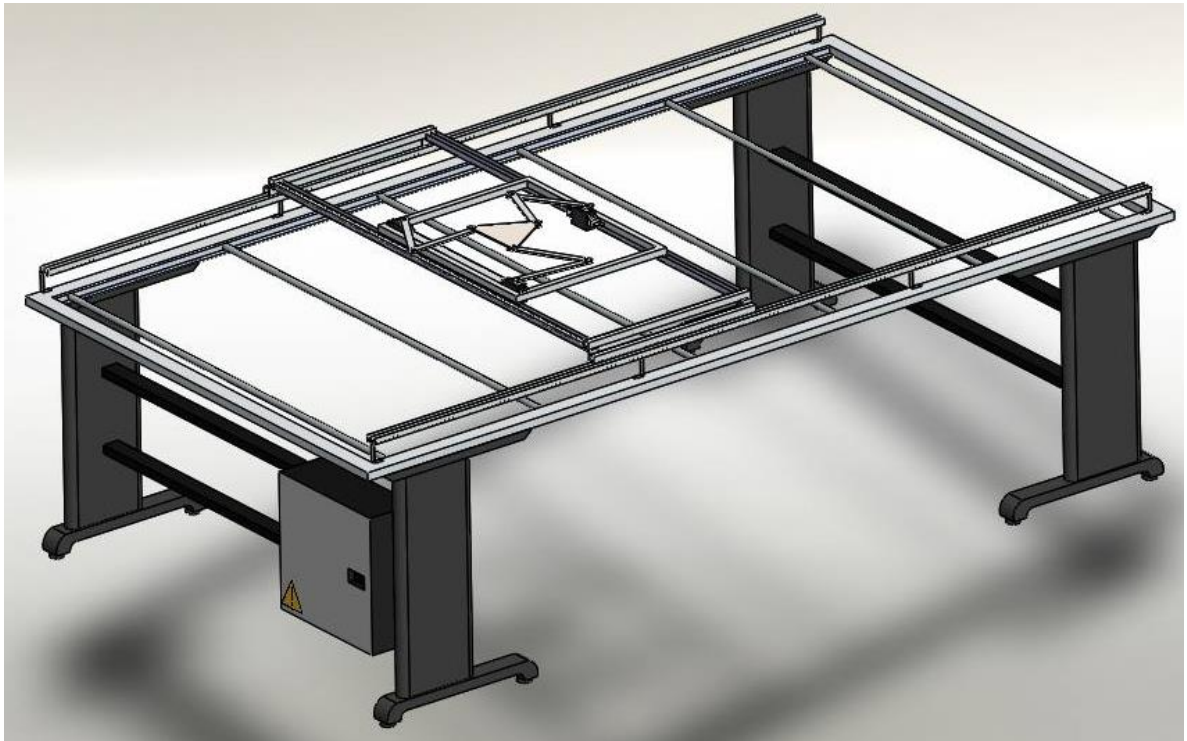
3. Si fuera operario encargado de una máquina cortadora de lámina debe estar pendiente de :
 - A. Que trabaje con la velocidad adecuada dependiendo del material.
 - B. Que tenga suficiente material.
 - C. Que tenga la maquina las condiciones de luz para trabajar
 - D. Todas las anteriores

4. Una de las principales dificultades que se puede presentar con la máquina cortadora es:
 - A. Que el materia sea muy grueso



- B. Que la maquina se atasque varias veces arruinando la lamina
 - C. Que el corte sea muy superficial
 - D. El manejo sea muy complejo
5. Para que la máquina cortadora de lamian funcione exitosamente es necesario que:
- A. Su velocidad aumente dependiendo del grosor del material.
 - B. Que la velocidad de corte se mantenga.
 - C. Cambiar su mecanismo de velocidad.
6. ¿Cuál cree usted que es el mejor sistema de corte?
- A. Plasma
 - B. Oxicorte
 - C. Laser
 - D. Manual
7. Que concepto tendría si la maquina reduce el trabajo del operario
- A. bueno
 - B. regular
 - C. malo
8. Piensa usted que la maquina reduce el riesgo del operario
- A. Si
 - B. No
9. Qué proceso de los siguientes prefiere en el momento de realizar un corte de lámina:
- A. Maquina asistida
 - B. Maquina automática
 - C. Maquina sin interrupción humana
10. Piensa que ¿implementando nuevas tecnologías se reduciría el riesgo del operario?
- A. Si
 - B. No

Anexo 2: Diseño prototipo



Fuente: Esta investigación.

Anexo 3: programación cinemática directa primera cadena

```
clear all  
syms h Xp Yp Xa Ya b1 a1 theta1 alfa1 fi
```

```
C1 = cos(theta1)  
S1 = sin(theta1)  
C12 = cos(theta1 + alfa1)  
S12 = sin(theta1 + alfa1)  
C3 = cos(fi)  
S3 = sin(fi)
```

```
f1 = Xa - a1*C1 - Xp;  
f2 = Ya - a1*S1 - Yp;
```

```
f = f1^2 + f2^2 - b1^2 ;  
f = expand(f);  
f = collect(f);  
f = simple(f);
```



Anexo 4: programación cinemática directa segunda cadena

```
clear all
syms h Xq Yq Xa Ya b2 a2 theta2 alfa2 fi
```

```
C1 = cos(theta2)
S1 = sin(theta2)
C12 = cos(theta2 + alfa2)
S12 = sin(theta2 + alfa2)
C3 = cos(fi)
S3 = sin(fi)
```

```
f1 = h*C3-a2*C1+Xq-Xa;
f2 = -h*S3-a2*S1-Yq+Ya;
```

```
f = f1^2 + f2^2 - b2^2;
f = expand(f);
f = collect(f);
f = simple(f);
```

Anexo 5: programación cinemática directa tercera cadena

```
clear all
syms h Xr Yr Xa Ya b3 a3 theta3 alfa3 fi
```

```
C1 = cos(theta3)
S1 = sin(theta3)
C12 = cos(theta3 + alfa3)
S12 = sin(theta3 + alfa3)
C3 = cos(fi)
S3 = sin(fi)
```

```
f1 =h*C3-a3*C1+Xr-Xa ;
f2 =h*S3-a3*S1+Yr-Ya ;
```

```
f = f1^2 + f2^2 - b3^2 ;
f = expand(f);
f = collect(f)
f = simple(f)
```

Anexo 6: Modelado inverso

```
close all;
clear all;
```

```
ar=arduino('COM4')
%Constantes del robot
global a b h Xq Yq Xr Yr fi xa ya X0 Y0
a = 0.21;
```



```
b = 0.21;
h = 0.18;
%%%%%%%%%%
X0 = 0.1;
Y0 = 0;
%%%%%%%%%%
xa = 0.2;
ya = 0.1;
%%%%%%%%%%
xp = 0;
yp = 0;
Xq = xp + 0.5;
Yq = yp;
Xr = xp + 0.25;
Yr = yp + 0.465;
%fi = 0;
Xbase = [ xp yp];
Xin = [xa ya];
q = MGI_P(Xbase,Xin);
grafica(q)
```

Anexo 7: Main

```
clc;
close all;
clear all;
Circular;
ar=arduino('COM4')
ar.servoAttach(3)
ar.servoAttach(4)
ar.servoAttach(6)
%Constantes del robot
global a b h Xq Yq Xr Yr fi X0 Y0 xa ya
a = 0.21;
b = 0.21;
h = 0.18;
%%%%%%%%%%
X0 = 0;
Y0 = 0;
%%%%%%%%%%
xa = 0.16;
ya = 0.26;
%%%%%%%%%%
xp = 0;
yp = 0;
Xq = xp + 0.5;
Yq = yp;
Xr = xp + 0.25;
Yr = yp + 0.465;
fi = 0;
Xbase = [ xp yp];
```



```
for i=1:1:length(cons1),
    xa = cons1(i);
    ya = cons2(i);
    Xin = [xa ya];
    q(i,:) = MGI_P(Xbase,Xin);

    ang1=(q(i,2)*180)/pi;
    ang1=roundn(ang1,0);
    ang2=(q(i,4)*180)/pi;
    ang2=roundn(ang2,0);
    ang3=(q(i,6)*180)/pi;
    ang3=roundn(ang3,0);

    %%%%%%%%% ang 1 %%%%%%%%%

    if(ang1>0)
        ang1=98-ang1;
    else
        ang1=98-ang1;
    end
    ar.servoWrite(3,ang1)

    %%%%%%%%% ang 2 %%%%%%%%%

    if(ang2>0)
        ang2=140-ang2;
    else
        ang2=140-ang2;
    end
    ar.servoWrite(4,ang2)

    %%%%%%%%% ang 3 %%%%%%%%%
    if(ang3<0)
        ang3=360+ang3;
    end

    if(ang3>180)
        ang3=130-(ang3-180);
    else
        ang3=(180-ang3)+130;
    end
    ar.servoWrite(6,ang3)
    pause(0.01)

end
```



Anexo 8: Ecuacion cuadratica

```
function x = eCuadratica(a,b,c)

    x(1) = 2*atan((-a + sqrt(a^2 + b^2 - c^2))/(c - b));
    x(2) = 2*atan((-a - sqrt(a^2 + b^2 - c^2))/(c - b));

end
```

Anexo 9: Grafica

```
function f = grafica(q)
global a X0 Y0 h xa ya fi Xq Yq Xr Yr
Xb = xa + h*cos(fi);
Yb = ya + h*sin(fi);
Xc = xa + h*cos(fi + pi/3);
Yc = ya + h*sin(fi + pi/3);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
xt = [xa Xb;Xb Xc;Xc xa];
yt = [ya Yb;Yb Yc;Yc ya];
line(xt,yt)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Cadena 1
x1 = a*cos(q(1,2));
y1 = a*sin(q(1,2));
dis1 = sqrt((x1 - xa)^2+(y1 - ya)^2)
x1 = [X0 x1;x1 xa];
y1 = [Y0 y1;y1 ya];
line(x1,y1)

% Cadena 2
x1 = Xq + a*cos(q(1,4));
y1 = Yq + a*sin(q(1,4));
dis2 = sqrt((x1 - Xb)^2+(y1 - Yb)^2)
x1 = [Xq x1;x1 Xb];
y1 = [Yq y1;y1 Yb];
line(x1,y1)

% Cadena 3
x1 = Xr + a*cos(q(1,6));
y1 = Yr + a*sin(q(1,6));
dis3 = sqrt((x1 - Xc)^2+(y1 - Yc)^2)
x1 = [Xr x1;x1 Xc];
y1 = [Yr y1;y1 Yc];
line(x1,y1)
end
```




Anexo 10: Trayectoria Circunferencia

```
Tfinal=3.0;
Tem=0.001;

% Ciclo del número de muestras:

nbech=(Tfinal/Tem)+1;
if ((round(nbech)-nbech) == 0)
    instant=[0:Tem:Tfinal]';
else
    nbech=nbech+1;
    instant=[0:Tem:Tfinal+Tem]';
end
t=0;

for h=1:1:nbech
    t=t+Tem;
    x1(h)=0.08*sin(2*pi*1/Tfinal*t);
    y1(h)=0.08*cos(2*pi*1/Tfinal*t);
end
x1=x1';
y1=y1';
cons1 = 0.16 + x1;
cons2= 0.1+ y1;
```

Anexo 11: Programación motor eje X con sensor de ultrasonido

```
%ar = arduino('COM4')
posx=50; %%posicion a la que debe llegar
ar.pinMode(32,'Output')
ar.pinMode(33,'Output')

%pause(2);
%if(s1<posx)
while(s1~=posx)
r1=((ar.analogRead(11)*5)/1024);
s1 = 101.78*r1 - 2.8182
while(s1<posx)
    ar.digitalWrite(33,1)
    ar.digitalWrite(32,0)

    r1=((ar.analogRead(11)*5)/1024);
    s1 = 101.78*r1 - 2.8182;

    pause(0.05)
end

ar.digitalWrite(33,0)
```



```
while(s1>posx)
  ar.digitalWrite(33,0)
  ar.digitalWrite(32,1)

  r1=((ar.analogRead(11)*5)/1024);
  s1 = 101.78*r1 - 2.8182;

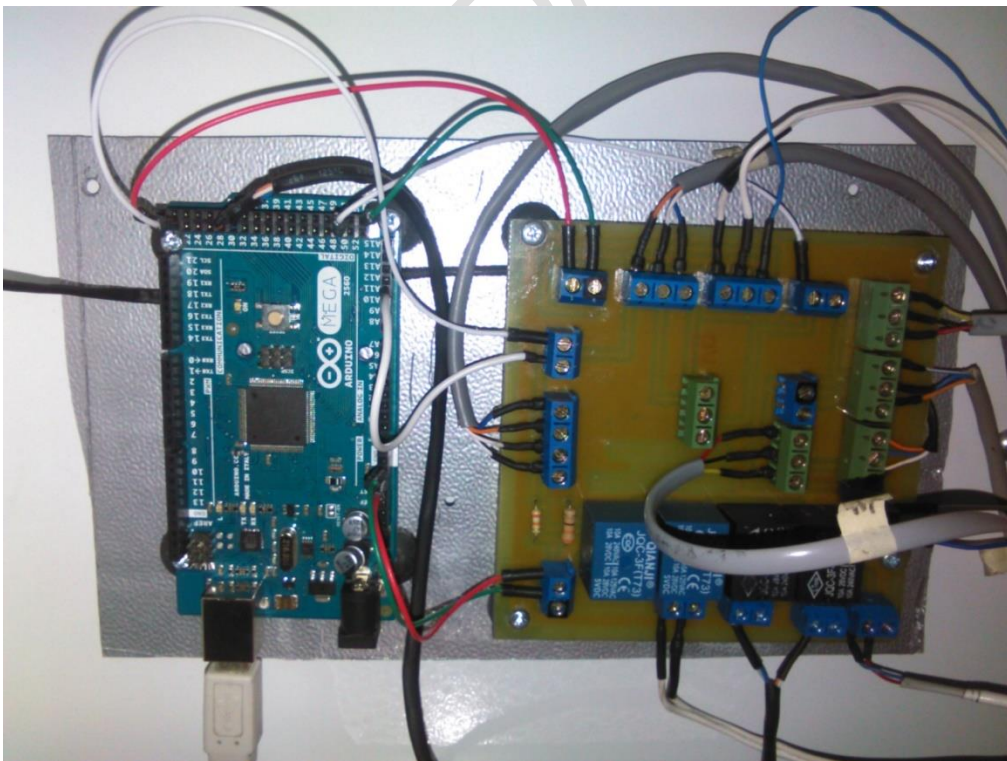
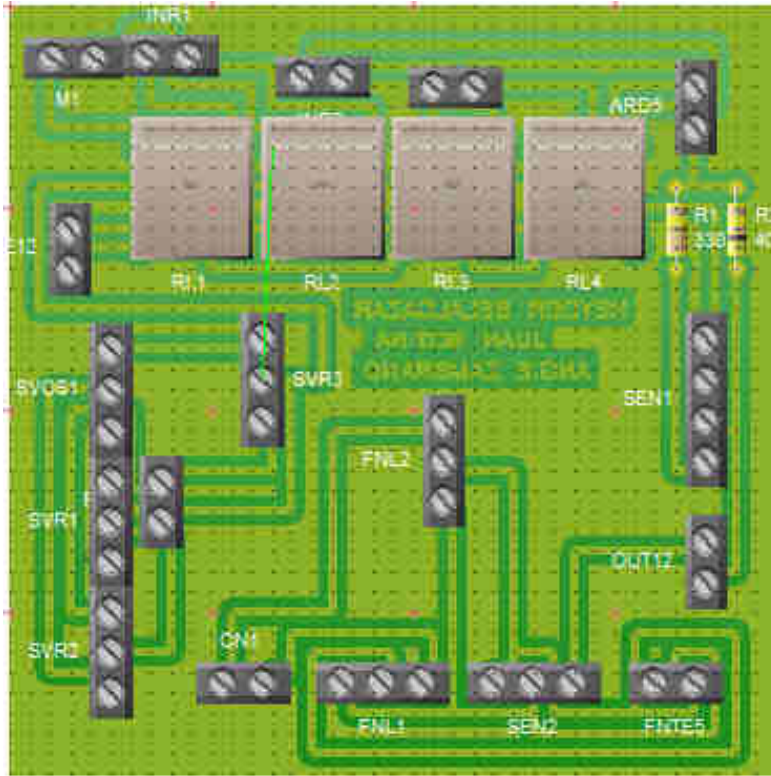
  pause(0.05)
end

ar.digitalWrite(32,0)
end
disp('Gracias')
```

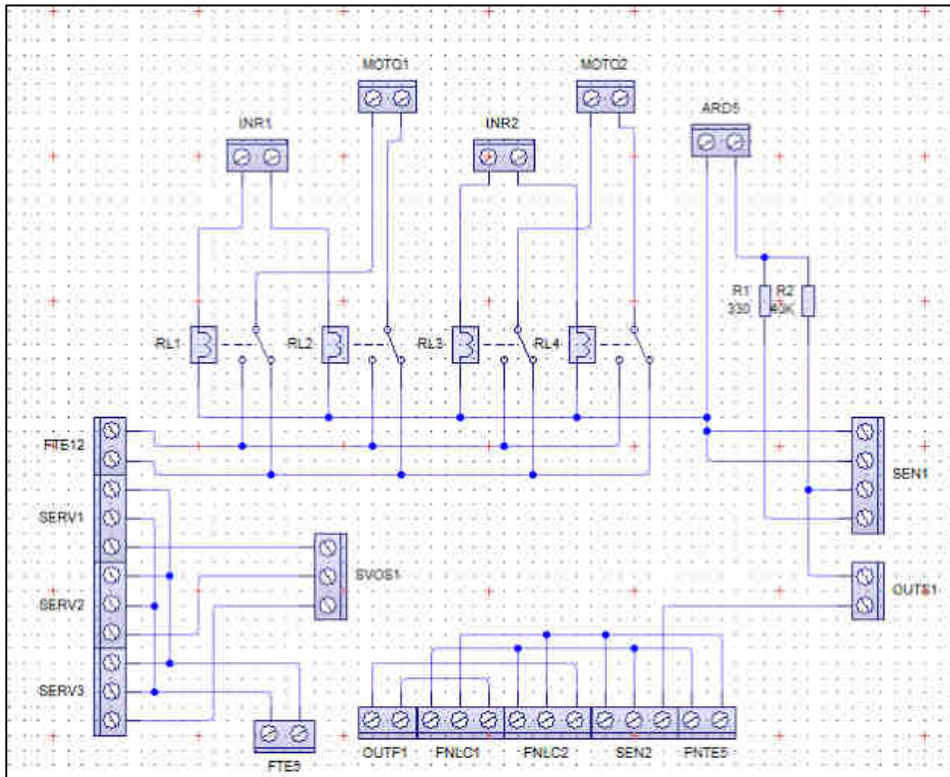
Anexo 12: Programación motor eje Y con sensor de herradura.

```
a=0;
b=0;
ar.pinMode(22,'Input')
ar.pinMode(50,'Input')
ar.pinMode(51,'Input')
ar.pinMode(31,'Output')
ar.pinMode(30,'Output')
while(ar.digitalRead(50)==0)
  ar.digitalWrite(30,0)
  ar.digitalWrite(31,1)
  pause(0.1)
end
ar.digitalWrite(31,0)
while(1)
  posy=input('Ingrese el valor de la variable: ');
  if(posy<226)
    if(posy>0)
      a=0;
      %b=0;
      while(posy<b)
        ar.digitalWrite(30,0)
        ar.digitalWrite(31,1)
        a=ar.digitalRead(22);
        a=a*-1.65;
        b=b+a;
        pause(0.079)
      end
      ar.digitalWrite(31,0)
      while(posy>b)
        ar.digitalWrite(30,1)
        ar.digitalWrite(31,0)
        a=ar.digitalRead(22);
        a=a*1.65;
        b=b+a;
        pause(0.079)
      end
      ar.digitalWrite(30,0)
    end
  end
end
```

Anexo 13: Circuito Electrónico

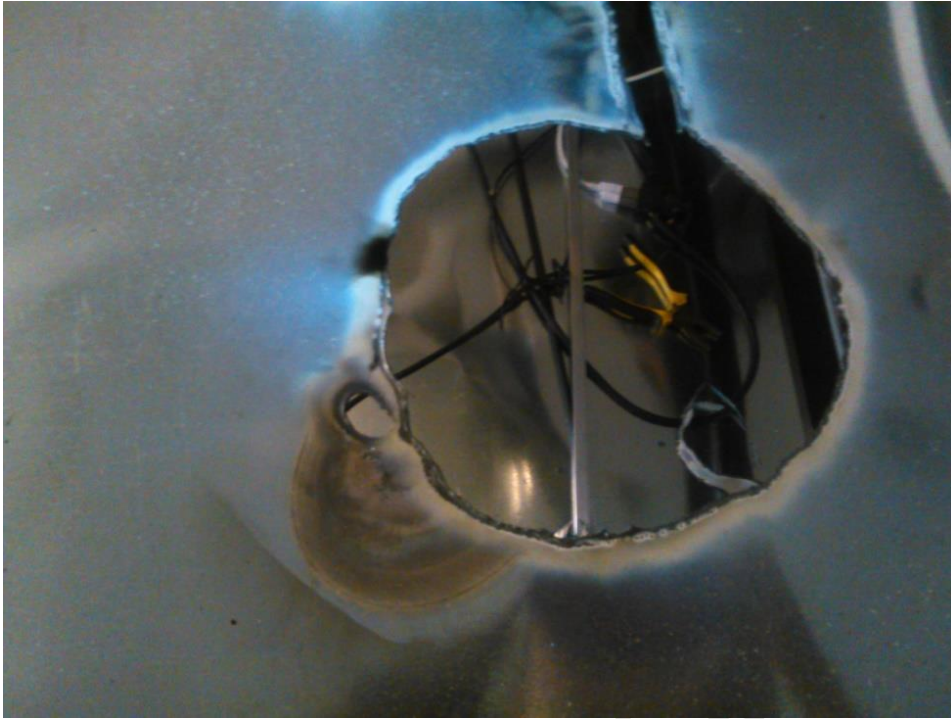


Anexo 14: Plano Electrónico – Circuito de control y potencia.

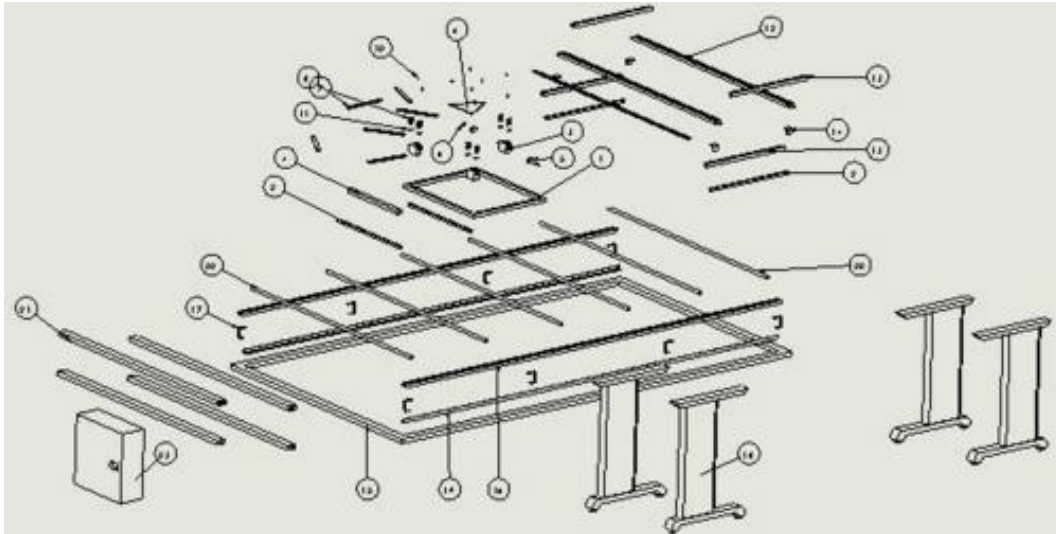


Anexo 15: Corte realizados con el prototipo usando oxicorte.





Anexo 16: Planos estructura mecánica de prototipo.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	base_sobol	1
2	rel.L1	4
3	servomotor	3
4	perfil_sujeta_motores	1
5	sujección_motor	2
6	angulo_motor	2
7	familo_motor	12
8	eslabon	6
9	frangulo	1
10	eje_eslabon	9
11	tuerca_familo	12
12	Canilera_lateral1	2
13	Perfil_base1	4
14	angulo_base1	4
15	base_mesa	1
16	Canilera	2
17	angulo_de_soporte	8
18	Pata_de_soporte	4
19	angulo_tubo	2
20	tubo_soporte	6
21	tubo_centro_negro	4
22	Inch - Rack & pinion rectangular 16DP 30PA - 0.25IN 0.3PH 53.54L-2A1	1
23	caja	1

Anexo 17: Manual del prototipo.