



UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA

Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas
Proyecto Final de Ingeniería

Alejandro Ramírez Gómez

Legajo 1021096

Diseño y proyecto de un dispositivo mecatrónico destinado al corte de
tubos metálicos

Tutor

Daniel Zambrano

Julio 2015

Agradecimientos:

Quiero agradecer a mis padres ya que son mi fuerza y mi apoyo en todos los momentos. A mis hermanos y a mi novia que siempre están presentes para mí, supieron escucharme y brindarme sus opiniones

Agradezco al ingeniero Daniel Zambrano que con su conocimiento impartido, logró guiarme en los momentos de incertidumbre, sus lecciones fueron de gran importancia en el desarrollo y culminación de mi carrera profesional.

A mis amigos y compañeros que con su presencia y apoyo hicieron que esta experiencia de estudios en el extranjero sea muy enriquecedora y a la vez divertida.

A la Universidad Argentina de la Empresa que a través de sus docentes lograron formarme como Ingeniero Electromecánico.

Resumen:

En el presente Proyecto Final de Ingeniería se desarrolló el diseño y prototipo de una máquina automatizada para el corte de tubos de acero, en forma de paquetes de 4 tubos para la empresa ecuatoriana Ragó.

En el desarrollo se aplican conocimientos de mecánica, electrónica, electricidad, neumática, diseño con computadora, entre otros. Estos ámbitos no son aplicados únicamente en forma teórica si no en un prototipo físico que demuestra todas las funcionalidades de la máquina para los límites establecidos.

Se realizan los cálculos para determinar las fuerzas que experimentarán algunos de los componentes mecánicos que integran el dispositivo con la utilización de conocimientos de física y matemáticas.

Se presenta los diseños desarrollados en computadora de las piezas de la máquina real, que están dentro de los márgenes de estudio, elaborados en la plataforma *SolidWorks*.

Para la automatización de la máquina se utilizó un microcontrolador PIC en conjunto con circuitos de potencia para poder manejar los motores que la máquina requiere. En el prototipo se manejó un motor paso a paso y 4 pistones eléctricos como actuadores de la máquina, además de varios identificadores de accionamiento con la ayuda visual que proveen los diodos emisores de luz. Se presentan adicionalmente, los planos eléctricos que conforman las placas electrónicas que sirven para el funcionamiento de cada uno de los actuadores y Leds.

En conjunto con el desarrollo electrónico se desarrolla un algoritmo de programación que permite el funcionamiento del microcontrolador en relación a cada una de las acciones establecidas para la máquina mecatrónica.

Se detalla información sobre los planos electro neumáticos que permiten la automatización de los actuadores de la máquina real utilizando electroválvulas para direccionar el flujo de aire comprimido.

Con la utilización de todas las herramientas adquiridas durante años de estudios universitarios se desarrolla un prototipo completamente funcional dentro de los límites establecidos para el proyecto final. El dispositivo fue creado en base de madera con actuadores eléctricos, en vez de neumáticos, debido a las limitaciones económicas con las que se trabaja pero esto no demuestra un cambio significativo en los conocimientos para el desarrollo de la máquina real.

Abstract

This Final Engineering Project was developed to improve the benefits of the company Ragó by using an automated machine for cutting steel pipe shaped in packs of 4 tubes. The Ecuadorian company manufactures tents with metal structure. This project had developed knowledge of mechanics, electronics, electrical, pneumatic and computer design applied not only in theory but with a prototype device that demonstrates all the features of the machine.

Calculations are performed to determine the forces that some of the mechanical components that are in the device will experience. Knowledge of physics and mathematics are applied

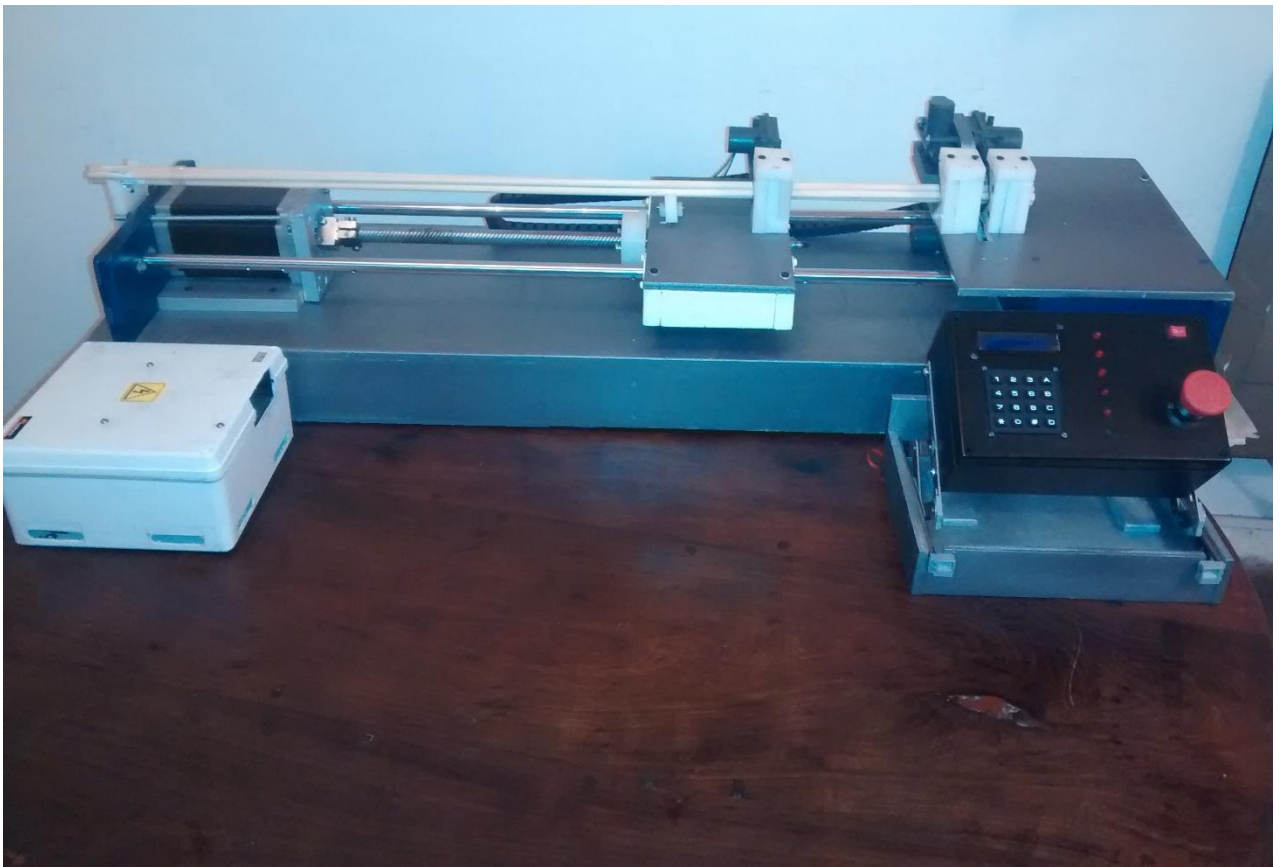
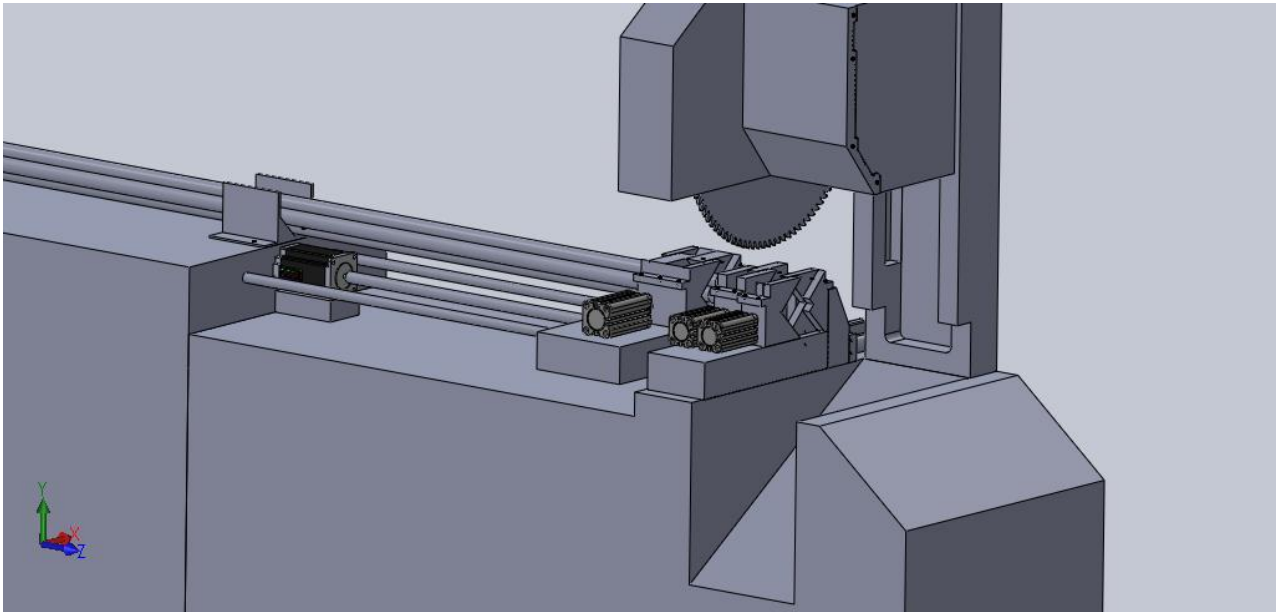
The parts of the machine that has been analyzed are developed in a design platform called SolidWorks.

PIC microcontroller is used in conjunction with power circuits for automation of the machine to handle high power engines that the machine requires. They handled a stepper motor and 4 electric pistons that are the actuators of the machine and several visual identifiers using light emitting diodes. In addition, electrical drafts of the electronic boards that serve the operation of each of the actuators and LEDs is presented.

In conjunction with the electronic development, programming algorithm that allows microcontroller operation in relation to each of the actions set for the mechatronic machine it is developed.

This project has electrical and pneumatic information that allow the automation of the real machine actuators using solenoid valves to direct the flow of compressed air.

By using all the tools acquired during years of college a fully functional prototype is developed within the limits for the final project. The device was created of wood with electric actuators instead of pneumatic due to the economic restriction, but this does not show a significant change in knowledge for the development of the real machine.



Índice

1. Antecedentes	Pág. 8
2. Introducción	Pág. 9
3. Descripción del funcionamiento	Pág. 10
4. Desarrollo	Pág. 14
4.2 Determinación del material a trabajar	Pág. 14
4.3 Geometría del paquete	Pág. 15
4.4 Determinación de fuerzas	Pág. 17
4.4.1 Fuerza de las mordazas	Pág. 17
4.4.2 Fuerza del carro sujetador	Pág. 25
4.5 Cálculo y dimensionamiento de elementos de máquina	
4.5.1 Mecánica	Pág. 29
4.5.2 Neumática	Pág. 35
4.5.3 Eléctrica	Pág. 43
4.5.4 Electrónica	Pág. 48
5. Diseño de piezas en plataforma virtual	Pág. 56
6. Cotización de piezas a construir	Pág. 60
7. Desarrollo de algoritmos de programación	Pág. 62
7.2 Desarrollo de método en serie	Pág. 64
7.3 Desarrollo de método por lotes	Pág. 66
7.3.1 Algoritmo de minimización de desperdicio	Pág. 68
8. Construcción de prototipo	Pág. 72
8.2 Elaboración de piezas mecánicas	Pág. 73
8.3 Construcción de circuitos electrónicos	Pág. 81
8.3.1 Circuito de control	Pág. 81

8.3.2	Circuito de potencia	Pág. 81
8.4	Prototipo completo	Pág. 81
9.	Análisis y Evaluación	Pág. 83
10.	Posibles mejoras	Pág. 84
11.	Conclusiones	Pág. 84
12.	Fuentes bibliográficas	Pág. 86

1. Antecedentes

La empresa *Ragó*, se dedica al diseño, construcción y venta de productos producidos principalmente con tubos redondos de acero negro.

Se detallará a continuación los procesos que realiza la empresa relacionados con los tubos de acero para la producción de carpas livianas.

El proceso de fabricación inicia cuando los tubos arriban a *Ragó* provenientes de la empresa proveedora *Dipac*. En este momento, los tubos se agrupan por las dimensiones con las que trabajan. Luego se cortan manualmente a la medida necesaria según el pedido de carpa a fabricar. Se limpian las rebabas producidas por el corte, esto se realiza con un esmeril de mesa. Los tubos cortados son sumergidos en un líquido desengrasante que ayuda a eliminar las impurezas y grasa de los tubos. Seguidamente son sumergidos en un líquido fosfatizante cuyo fin es mejorar la adherencia de la pintura electrostática que se le aplicará. Los tubos ingresan a la cámara de pintura electrostática donde se impregna la pintura en polvo. Luego ingresan a un horno cuya temperatura es alrededor de 200 grados centígrados para que la pintura se adhiera permanentemente a los tubos. Finalmente, se retiran los tubos y se empaican con los demás componentes de la carpa.

2. Introducción

El proyecto y desarrollo de un dispositivo mecatrónico destinado para el corte automático de tubos de acero, surge de la necesidad de mejorar la productividad de la empresa en el área de corte de tubos, para así poder aumentar su rentabilidad. La necesidad del dueño de la empresa se centra en esta área específicamente ya que luego de haber realizado estudios de niveles de productividad, concluyó que este proceso es el que genera el mayor cuello de botella en la línea productiva.

Se optó por un sistema mecatrónico comandado por microcontroladores con un algoritmo que pueda realizar el corte de manera más eficiente y que su funcionamiento sea automático. De esta manera, los tiempos que se generan en el corte serán menores, reduciendo el costo de fabricación de las carpas de estructura metálicas livianas.

Este dispositivo también beneficiará a la empresa reduciendo la generación de *slack* o residuos, ya que poseerá un algoritmo de programación, que permita maximizar la utilización de la pieza cuando se tenga más un lote de producción por realizar.

El presente proyecto desarrolla los planos eléctricos, electrónicos y neumáticos para la construcción de un dispositivo que permita mejorar las condiciones con la que la empresa trabaja. Además, se realizarán los cálculos pertinentes para la toma de decisiones mecánicas y neumáticas. Finalmente, se desarrollará un prototipo que permita visualizar las funciones automatizadas del corte.

3. Descripción del funcionamiento de la máquina

Este sistema mecatrónico será capaz de recibir los tubos provenientes la zona de stock de tubos, luego mediante un sistema de separación se dividirá en paquetes de 4 tubos para su apilación. Esta apilación agrupará paquetes de tubos de forma romboidal para que se puedan cortar los tubos en forma conjunta y se mejore aún más el rendimiento de este proceso.

La formación del paquete de tubos tendrá 4 tubos formando una geometría que permita encajar perfectamente en las mordazas que los sostendrán. Además, tendrá otro par de mordazas móviles que serán las que desplacen longitudinalmente el paquete de tubos desde el punto de sujeción hasta el punto de corte. Cabe recalcar, que debido a que la empresa trabaja con una mínima cantidad con tubos cuadrados se diseñará una mordaza sustituible pero como su utilización no es de gran importancia para la producción no se detallará e investigará de la misma manera que los tubos redondos.

Luego de haber separado y conformado el paquete de 4 tubos, el proceso continúa para una etapa de alineamiento frontal. En esta etapa, se acciona un actuador posterior que empujará el paquete de tubos para alinearlos mediante un tope mecánico. Este tope mecánico debe estar posicionado de tal forma que no interrumpa ningún movimiento de las piezas. Se analizará con mayor detenimiento el posicionamiento del tope mecánico respecto al movimiento del paquete y descenso de sierra.

Después haber alineado los tubos frontalmente, se desactiva el actuador posterior y se activa las mordazas fijas de tal forma que los tubos no tengan movimientos relativos entre ellos para que el corte tenga menos error. A partir de esta sujeción, el paquete de tubos deberá tener siempre alguna mordaza que los apriete para cada una de las etapas posteriores.

El proceso continúa con una etapa de recopilación de datos. En esta etapa se recibe la información del tipo de corte que se desea realizar, ya sea *Corte en Serie*, con una cantidad y medida única de tubo o *Corte por lotes*, con cantidades y medidas distintas. Este proceso se lo realiza con la utilización de un teclado matricial de 4 filas por 4 columnas. Se podrá corroborar la información ingresada mediante una pantalla de cristal líquido de 16 caracteres y dos filas.

Luego del ingreso de datos, el microcontrolador realizará cálculos de las variables intervinientes en el proceso dependiendo del método de corte seleccionado.

Cabe recalcar que para el método por lotes se desarrolló un algoritmo para minimizar el desperdicio producido por el paquete de tubos. La base de este desarrollo es el cálculo y la selección de la pieza de tubo a cortar en cada momento del proceso de corte, es decir irá combinando cortes de cada uno de los lotes establecidos para que al final del paquete se obtenga el menor desperdicio posible.

Luego de haber hallado la combinación idónea de cortes el proceso continúa con el desplazamiento del carro sujetador, asociado con un motor paso a paso, se moverá hasta el punto de sujeción por medio de una secuencia de pulsos que energizan las bobinas del motor bipolar. En este punto de sujeción, se activará el actuador que hace que la *mordaza móvil* sujete el paquete de tubos. El paquete en este momento tiene dos elementos que lo sujetan, es por eso que se desactiva las mordazas fijas para que el carro sujetador realice el retorno hasta el punto del que partió.

Al llegar al punto de corte se vuelven a accionar las mordazas fijas para que la mordaza móvil vuelva a desactivarse manteniendo el apriete general del paquete.

En ese momento se acciona la sierra que procederá a realizar el corte sobre un plano que se encuentra entre las dos mordazas fijas. Este es un tipo de proceso

que desprende energía en forma de calor por eso necesitará un sistema de refrigeración para mantener la temperatura dentro de los rangos de trabajo.

Al terminar el corte la sierra vuelve a subir para abrir únicamente la *Mordaza fija 1* que permitirá la caída o el retiro del paquete de tubos cortados. Cabe recalcar que la *Mordaza fija 2* sigue apretando el paquete de tubos y por esta razón el paquete restante no pierde la forma romboidal.

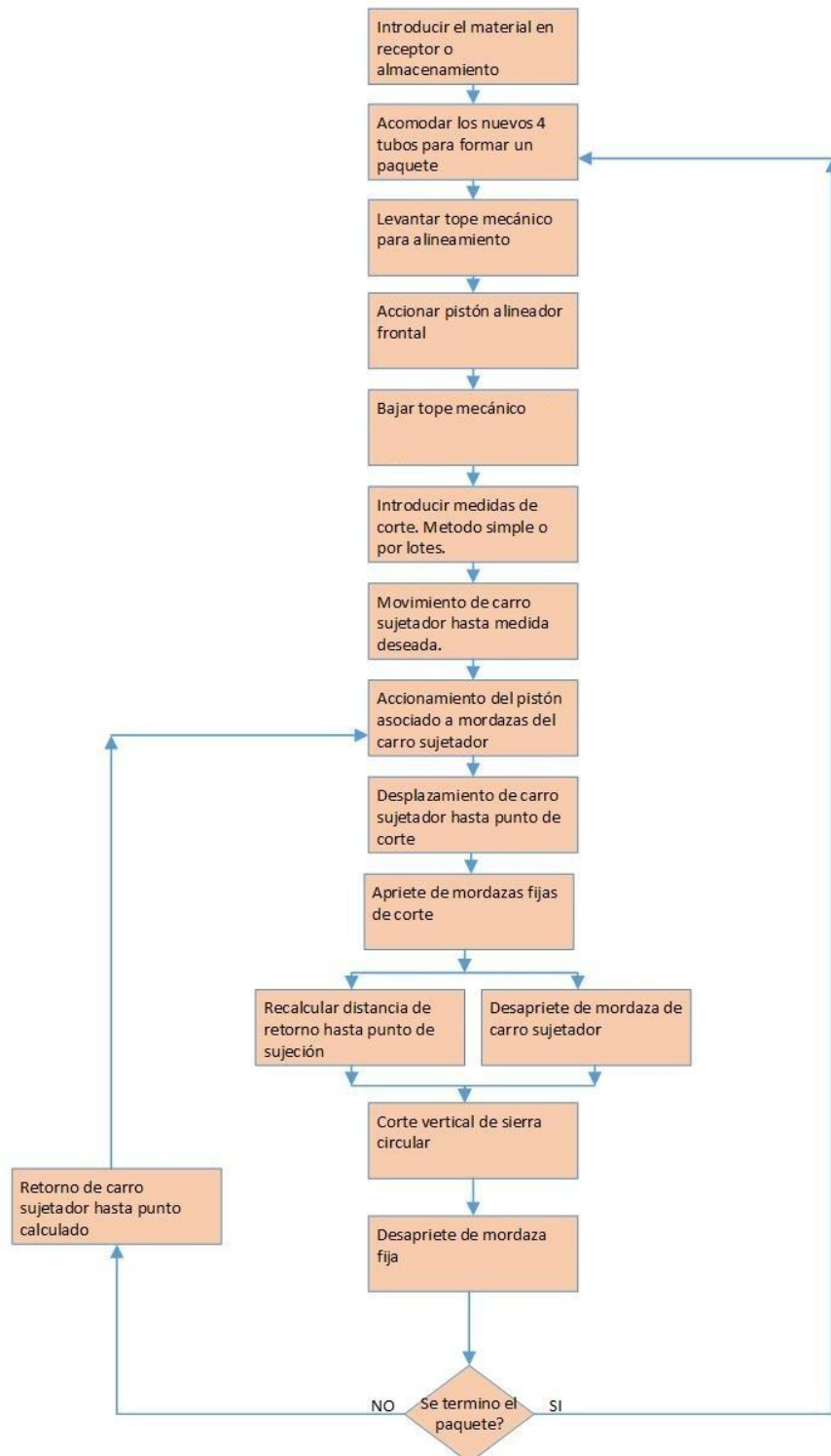
Luego de esta etapa el carro sujetador se desplazará al siguiente punto de sujeción. Cabe aclarar, que para el método en serie el recorrido del carro sujetador será siempre el mismo y para el método por lotes puede ser la medida de alguno de los otros lotes.

Si el proceso de cortes llega la medida de los tubos de fábrica, que son 6 metros, se procederá a realizar la realimentación de los tubos para que el proceso pueda realizarse nuevamente garantizando la continuidad de la actividad productiva.

El dispositivo será accionado mediante un microcontrolador PIC que seguirá un algoritmo de programación que permita realizar todas las acciones mencionadas y se ocupará de minimizar la utilización de material cuando la producción se genera por lotes.

A continuación se detalla gráficamente el diagrama de flujo que deberá cubrir la maquina mecatrónica para que su funcionamiento sea correcto.

Diagrama de flujo del proceso de corte automatizado



4. Desarrollo

A fin de lograr el diseño de la maquina real y la construcción del prototipo funcional, se necesitó analizar e investigar varios ámbitos para lograr la elección de las piezas que puedan mejorar el rendimiento actual de la empresa.

Las acciones que se realizaron fueron:

- Investigar los materiales de los tubos con los que la empresa trabaja.
- Investigar dimensiones de los tubos a y formas geométricas que conforman
- Determinar fuerza necesaria para lograr movimiento de los tubos.
- Realizar planos virtuales en 3D de los elementos que formarán parte de la estación de corte.
- Elección de sistema de actuadores.
- Diagrama de funcionamiento de actuadores
- Investigación de métodos de control.
- Diagrama de construcción de placa de control
- Escritura de algoritmo que satisfaga todas las acciones.
- Determinar tipo de sierra a utilizar.
- Realizar cotizaciones.
- Construcción de prototipo.

4.2 Determinación del material de los tubos

La empresa actualmente trabaja en su mayoría con tubos redondos. Tras una investigación con la empresa DIPAC, proveedora de tubos para la empresa Ragó, se determinó que los tubos utilizados son de acero negro y siguen la norma ASTM A513. Esta es una información útil a la hora de diseñar la mordaza

que va a sujetar los tubos ya que se requiere que las mismas aprieten los tubos para ser cortados pero no le apliquen fuerzas los lleven a la zona de fluencia del material. Este mismo material tiene un nombre diferente según la norma SAE.

El material de los tubos según esta norma es SAE 1010. Es decir que es un acero al carbono que presenta 10% de carbono en promedio.

4.3 Geometría y dimensiones de los tubos

La empresa *Ragó* trabaja casi en su totalidad con tubos de una pulgada con espesor de 0.75 mm o 0.95mm pero también desarrolla productos con tubos de 7/8 de pulgada. En base a este dato se parte el diseño de piezas mecánicas para la formación de la máquina mecatrónica.

Todos los tubos arriban de la empresa proveedora con longitudes de 6 metros. Esta información es de vital importancia en el desarrollo del algoritmo de funcionamiento ya que la secuencia de accionamiento de los distintos elementos electromecánicos depende del momento en que se acabe de cortar el paquete completo.

A continuación se detalla la información utilizada para dimensionar las piezas mecánicas y poder calcular los esfuerzos necesarios para mover y sujetar el paquete de 4 tubos. Se señala con recuadros amarillos los espesores utilizados por la empresa.

DIAMETRO EXTERIOR (D)		ESPESOR		PESO		PROPIEDADES	
Pulg	mm	e	P	A	I	W	i
		mm	kg/6m	cm	cm4	cm3	cm
7/8	22.22	0.60	2.04	0.41	0.24	0.21	0.76
		0.75	2.52	0.50	0.29	0.26	0.76
		0.95	3.18	0.63	0.36	0.32	0.75
		1.10	3.66	0.73	0.41	0.37	0.75
		1.50	4.92	0.98	0.53	0.47	0.74

DIAMETRO EXTERIOR (D)		ESPESOR		PESO		PROPIEDADES	
Pulg	mm	e	P	A	I	W	i
		mm	kg/6m	cm	cm4	cm3	cm
1	25.40	0.60	2.28	0.47	0.36	0.28	0.88
		0.75	2.88	0.58	0.44	0.35	0.87
		0.95	3.60	0.73	0.55	0.43	0.87
		1.10	4.20	0.84	0.62	0.49	0.86
		1.50	5.64	1.13	0.81	0.64	0.85

(www.dipacmanta.com)

La máquina real poseerá un sistema de mordazas intercambiables para lograr abarcar una gama más amplia de dimensiones de tubos para así poder fabricar a futuro nuevos productos con la misma máquina. En el prototipo desarrollado solo se utilizó un juego de mordazas para demostrar el funcionamiento en conjunto y la secuencia del accionamiento de sus componentes.

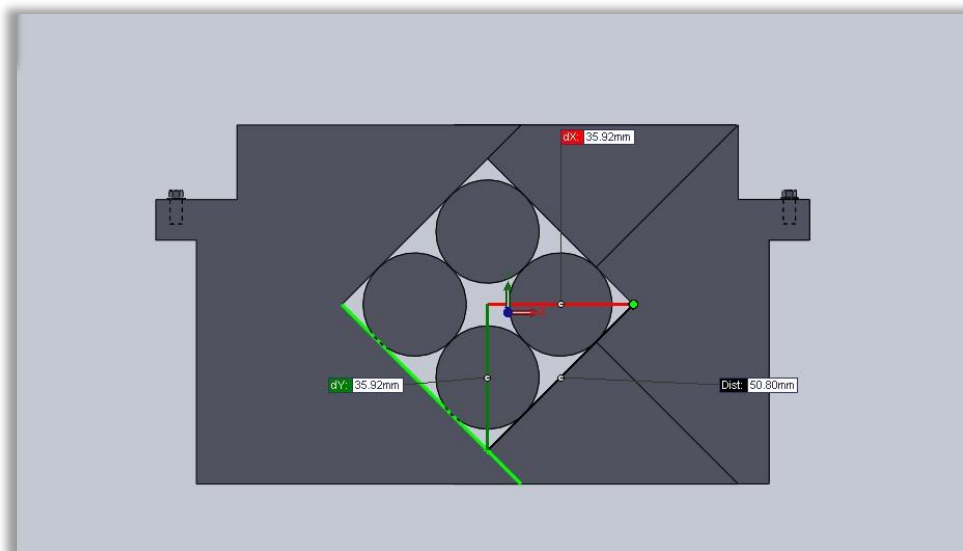
4.4 Determinación de fuerzas

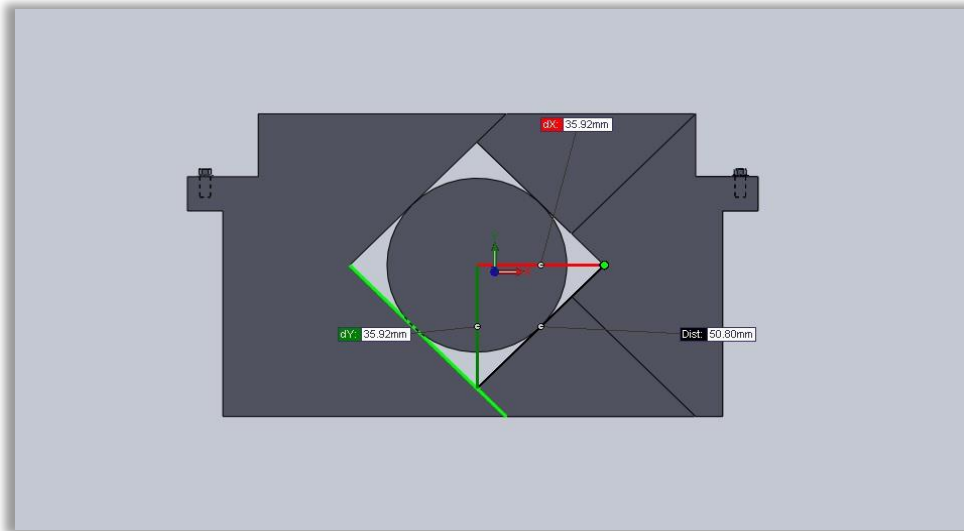
4.4.1 Fuerza de las mordazas

La fuerza que debe aplicar la mordaza sobre el paquete de tubos deberá ser la suficiente para que el tubo no rote debido a la fuerza producida por la sierra de corte. Este cálculo ayudará a decidir que método de accionamiento se utilizará en la máquina real.

Para facilitar el cálculo se procedió a representar el paquete de tubos circulares como un solo objeto sólido que tenga la misma masa y que su centro de masas se encuentre en la misma posición, para que los cálculos no estén muy alejados de la realidad. Haciendo esta aproximación se evita calcular las fuerzas de rozamiento entre los tubos que forman el paquete.

A continuación se muestra de forma gráfica esta aproximación.



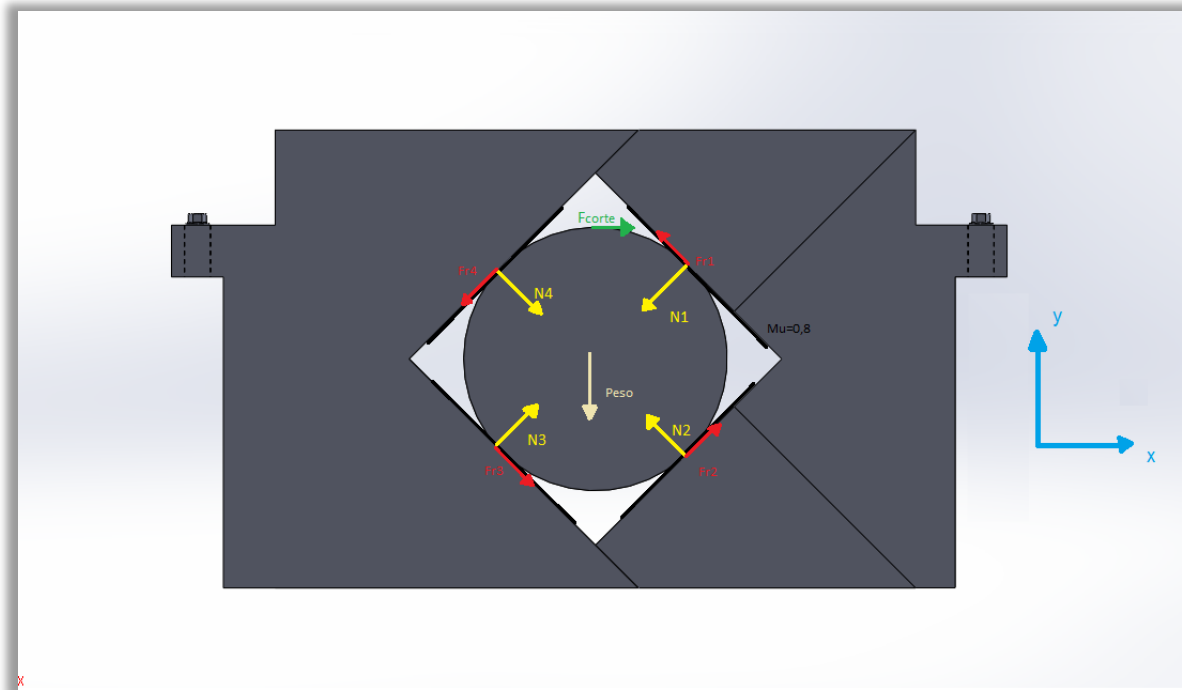


La sierra producirá una fuerza tangencial al cuerpo circular produciendo un momento angular que tiende a rotar el objeto. Las fuerzas producidas por las mordazas deberán ser las suficientes para compensar esta rotación haciendo que el objeto se quede estático durante el corte.

Con estas definiciones cualitativas se procede a hacer el análisis matemático.

Análisis de cuerpo libre.

En el siguiente diagrama de cuerpo libre podemos observar las fuerzas que actúan sobre el paquete de tubos aproximado, debido a la interacción de las mordazas y la sierra con los tubos



Cabe recalcar que en la superficie de contacto entre las mordazas y los tubos tiene que existir un elemento que ayude a alargar la vida de los materiales, ya que si interactúan directamente entre si habrá mucho desgaste. Entre la mordaza y los tubos se optó por colocar un segmento de caucho que amortiguará el impacto y evitará esta decadencia de las herramientas. Además, con la utilización de este material intermedio, el coeficiente de rozamiento aumenta significativamente haciendo que la fuerza de accionamiento de los pistones sea inferior al que sería si no existiesen estos elementos auxiliares.

Se inicia el análisis con el motor de la sierra de corte. Cuya potencia máxima estará definida de la siguiente manera.

$$Potencia_{max} = Torque * Velocidad_{angular}_{max} \quad (1)$$

Adicionalmente el torque está dado por la siguiente expresión.

$$\text{Torque} = \text{Fuerza tangencial}_{max} * \text{Radio}_{sierra} \quad (2)$$

Reemplazando (1) en (2) y reordenando las variables podemos llegar a la siguiente ecuación.

$$\text{Fuerza Corte}_{max} = \frac{\text{Potencia}_{max}}{\text{Velocidad angular}_{max} * \text{Radio}_{sierra}} \quad (3)$$

Por investigación en el rubro adoptamos un valor de 4HP para la potencia de la sierra lo que equivaldría a 2983 Watt con velocidad angular de 3200Rpm que equivale a 335,1 rad/s. Se utiliza un radio de 0.2 m ya que el diámetro elegido para el diseño según la geometría de las piezas, se lo realizó de 40 cm. Con los datos investigados se concluye.

$$\text{Fuerza Corte}_{max} = \frac{2983 \text{ Watt}}{335.1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 0.2 \text{ m}}$$

$$\text{Fuerza Corte}_{max} = 44.51 \text{ N}$$

Como es requerimiento que el paquete de tubos que mantenga estático para realizar el corte, aplicamos la segunda ley de Newton

$$\sum \text{Fuerzas}_y = 0$$

$$\text{Fr1. Sen}\theta - \text{N1. Sen}\theta + \text{Fr2. Sen}\theta + \text{N2. Sen}\theta + \text{N3. Sen}\theta - \text{Fr3. Sen}\theta - \text{N4. Sen}\theta - \text{Fr4. Sen}\theta - \text{Peso} = 0 \quad (4)$$

Utilizando la ecuación de la fuerza de rozamiento y reemplazando en (4)

$$\text{Fr} = \mu * \text{N}$$

$$\mu \cdot N1 \cdot \text{Sen}\theta - N1 \cdot \text{Sen}\theta + \mu \cdot N2 \cdot \text{Sen}\theta + N2 \cdot \text{Sen}\theta + N3 \cdot \text{Sen}\theta - \mu \cdot N3 \cdot \text{Sen}\theta - N4 \cdot \text{Sen}\theta - \mu \cdot N4 \cdot \text{Sen}\theta - \text{Peso} = 0$$

Sacando factor común

$$\mu \cdot N1 - N1 + \mu \cdot N2 + N2 + N3 - \mu \cdot N3 - N4 - \mu \cdot N4 - \frac{\text{Peso}}{\text{Sen}\theta} = 0$$

Se toma la aproximación de que las fuerzas Normales N1 y N4 son iguales y N2 y N3 también lo son. Se realiza esta suposición debido a la simetría de la pieza. Agregando estas nuevas ecuaciones la ecuación principal resulta.

$$\mu \cdot N1 - N1 + \mu \cdot N2 + N2 + N2 - \mu \cdot N2 - N1 - \mu \cdot N1 - \frac{\text{Peso}}{\text{Sen}\theta} = 0$$

$$-2N1 + 2N2 - \frac{\text{Peso}}{\text{Sen}\theta} = 0$$

$$N2 = \frac{\text{Peso}}{2 \cdot \text{Sen}\theta} + N1 \quad (5)$$

Al suponer que el cuerpo se mantiene estático también se aplica la ecuación que representa esta premisa respecto a los momentos.

$$\sum \text{Momentos}_{\text{Centro de masas}} = 0$$

$$\text{Fuerza}_{\text{Corte}} \cdot \text{Radio} - Fr1 \cdot \text{Radio} - Fr2 \cdot \text{Radio} - Fr3 \cdot \text{Radio} - Fr4 \cdot \text{Radio} = 0$$

$$Fr = \mu * N$$

$$\text{Fuerza}_{\text{Corte}} - \mu \cdot N1 - \mu \cdot N2 - \mu \cdot N3 - \mu \cdot N4 = 0$$

Utilizando la aproximación de las fuerzas normales

$$Fuerza_{Corte} - 2\mu \cdot N1 - 2\mu \cdot N2 = 0 \quad (6)$$

Reemplazando la ecuación (5) en la (6)

$$Fuerza_{Corte} - 2\mu \cdot N1 - 2\mu \cdot \left(\frac{Peso}{2 \cdot \text{Sen}\theta} + N1 \right) = 0$$

$$Fuerza_{Corte} - 2\mu \cdot N1 - \mu \cdot \frac{Peso}{\text{Sen}\theta} + 2 \cdot \mu \cdot N1 = 0$$

$$4 \cdot \mu \cdot N1 = Fuerza_{Corte} - \mu \cdot \frac{Peso}{\text{Sen}\theta}$$

Obteniendo las dos ecuaciones finales para las normales que intervienen.

$$N1 = \frac{Fuerza_{Corte} - \mu \cdot \frac{Peso}{\text{Sen}\theta}}{4 \cdot \mu}$$

$$N2 = \frac{Peso}{2 \cdot \text{Cos}\theta} + \frac{Fuerza_{Corte} - \mu \cdot \frac{Peso}{\text{Sen}\theta}}{4 \cdot \mu}$$

El coeficiente de fricción es un valor que no tiene dimensión y que indica la oposición al movimiento que genera un material sobre otro al estar en contacto. Este coeficiente de fricción depende de los materiales en contacto y no es una propiedad intrínseca de cada uno.

Se realizaron investigaciones del dato necesitado y se trabajó con la siguiente información.

Examples		
Material	Static friction	Sliding friction
Brakes	~0.3	0.3 - 0.7
Clutches	0.3 - 0.4	0.3 - 0.7
Earth - Earth	0.25 - 1.0	
Lignum vitae - Steel		0.1
Metal - Metal (dry)	0.15 - 0.6	0.1 - 0.5
Nylon - Steel		0.3 - 0.5
Perspex - Steel	~0.5	
PTFE - Steel		0.05 - 0.2
Rubber - Steel	0.6 - 0.9	0.3 - 0.6
Rubber - Asphalt	0.7 - 0.9	0.5 - 0.8
Wood - Wood	0.25 - 0.5	0.25 - 0.5

(www.diracdelta.co.uk)

Para los cálculos de las fuerzas suponemos el siguiente valor.

$$\mu = 0.9$$

Se reemplazó el dato investigado junto con la decisión de tomar el ángulo θ de la pieza como 45 grados debido a su simetría.

$$N1 = \frac{44.51 N - 0.9 * \frac{14.4 Kg}{0.707}}{4 * 0.9}$$

$$N1 = 7.27 N$$

$$N2 = \frac{14.4 Kg}{2 * 0.707} + 7.27 N$$

$$N2 = 17.45 N$$

Analizando de las fuerzas aplicadas a la mordaza podemos observar que la fuerza que necesitará realizar el actuador será la suma de las normales N_4 y N_3 proyectada en el eje horizontal x . Como $N_4=N_1$ y $N_2=N_3$

$$\begin{aligned}Fuerza_{Actuador} &= N_1 * \cos 45 + N_2 * \cos 45 \\Fuerza_{Actuador} &= 7.27N * 0.707 + 17.45 * 0.707 \\Fuerza_{Actuador} &= 17.48 N\end{aligned}$$

Para este tipo de fuerza que tiene una magnitud relativamente pequeña a nivel industrial se opta por utilizar un accionamiento neumático en vez del hidráulico ya que la hidráulica al poder soportar mayores presiones puede manejar mayores fuerzas de accionamiento en sus actuadores, característica que sería desperdiciada para este tipo de procesos.

Cabe recalcar que la fuerza determinada sirve para saber el orden del valor a trabajar ya que realmente las máquinas no trabajan con el valor exacto de la fuerza que teóricamente deben realizar ya que esto acarrearía varios errores y en muchos de los casos fallaría debido a agentes externos, por ejemplo, variaciones en la temperatura, variaciones en la humedad del ambiente, introducción de fluidos en la máquina, entre otros. Por esta razón, se trabaja siempre con un valor de fuerza superior al teórico para tener un margen de seguridad.

Para el caso de utilizar la neumática como fuente de energía para realizar esa fuerza, se puede regular el valor de esa fuerza en el regulador de presión que se encuentra en el dispositivo de mantenimiento, que se compone de filtro, regulador y lubricador y que todos los circuitos neumáticos deberían poseer.

4.4.2 Fuerza del carro sujetador

Como referencia para el análisis, se parte de que el carro sujetador se desplaza sobre dos ejes de acero cromado con la utilización de dos bujes de bronce para minimizar el desgaste sobre las piezas y mejorar el coeficiente de rozamiento.

La fuerza del carro móvil es la fuerza que necesitará el carro sujetador para poder mover el paquete de tubos longitudinalmente contemplando la fuerza de rozamiento ejercida por el mismo y la velocidad con la que se lo desea desplazar, para que procedan a ser cortados.

Aplicando la segunda ley de newton se puede establecer.

$$\sum \mathbf{Fuerzas} = \mathbf{Masa} * \mathbf{Aceleracion}$$
$$\mathbf{F}_{carro} - \mathbf{F}_{roce} = \mathbf{m} * \mathbf{a}$$

Utilizando la ecuación de la fuerza de rozamiento se establece.

$$\mathbf{F}_{roce} = \mu (\mathbf{coef. de rozamiento}) * \mathbf{N}(\mathbf{fuerza normal})$$

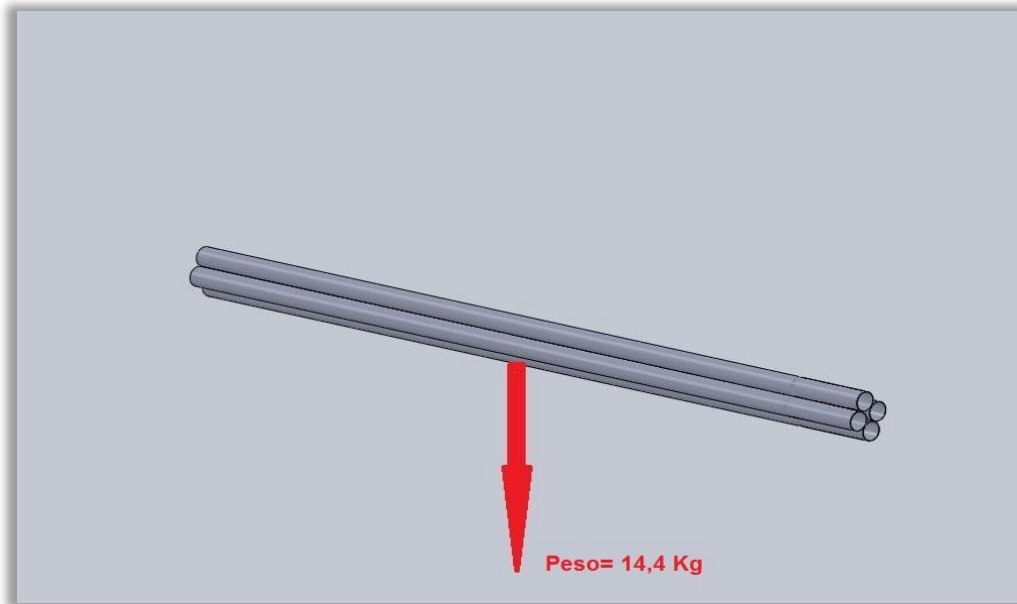
Al aplicar la segunda ley de newton en un eje vertical perpendicular al paquete de tubos se determina que el peso del paquete es igual al vector Normal.

Según el análisis, para la determinación de la fuerza del carro, se requiere encontrar la fuerza de rozamiento. Para determinar este valor utilizamos el peso del objeto. Como el peso del objeto va variando a lo largo del proceso de corte y por ende el coeficiente de rozamiento también, se calcula la fuerza del carro al inicio del proceso de corte. De esta manera se utiliza la mayor fuerza que debe hacer el carro sujetador y se contemplan todas las demás fuerzas ya que son inferiores a la inicial.

Con la información de la tabla proporcionada por la empresa provedora *Dipac* se buscó el peso máximo que la máquina requerirá mover. Se toma el valor máximo

ya que al realizar los cálculos con este valor, los valores inferiores de peso estarán contemplados. Los tubos con los que la empresa trabaja, poseen un peso máximo por tubo de 3,60 Kg. Como se planea utilizar paquetes de 4 tubos para mejorar la productividad del proceso, el carro deberá poder desplazar 14,4Kg como peso máximo.





Determinación de fuerza de rozamiento:

$$F_{roce} = \mu * N$$

$$Peso = m * g = \rho(\text{densidad lineal}) * l(\text{longitud}) = N(\text{Normal})$$

$$N(\text{fuerza normal}) = 14,4 \text{ Kg} * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$N(\text{fuerza normal}) = 141,12 \text{ N}$$

Otro de los valores a determinar para encontrar la fuerza es el coeficiente de rozamiento. Este valor es afectado por los dos materiales en contacto cuando se produce el desplazamiento. Como los materiales en contacto son el acero de las

guías y el bronce del buje que está en contacto con las mismas, se determina el valor con ayuda de la siguiente tabla:

Superficies en contacto	μ_k
Acero sobre acero	0.18
Acero sobre hielo (patines)	0.02-0.03
Acero sobre hierro	0.19
Hielo sobre hielo	0.028
Patines de madera sobre hielo y nieve	0.035
Goma (neumático) sobre terreno firme	0.4-0.6
Correa de cuero (seca) sobre metal	0.56
Bronce sobre bronce	0.2
Bronce sobre acero	0.18
Roble sobre roble en la dirección de la fibra	0.48

(www.sc.ehu.es)

Según la tabla investigada el coeficiente de rozamiento entre el bronce y el acero es de 0.18. Por motivos de seguridad, se toma un valor de utilización superior en un 80% al investigado, obteniendo un margen de confianza para el coeficiente de rozamiento ante posibles variaciones en el valor teórico.

$$\mu \text{ (coeficiente de rozamiento)} = 0,32$$

Por lo tanto la fuerza de rozamiento sería:

$$F_{roce} = 45,16 \text{ N}$$

Para la determinación de la aceleración se toma como referencia la velocidad experimental que se obtuvo del motor de pasos con la energización de las bobinas seleccionada.

$$V = 3\text{cm}/10\text{s}$$

$$V = 0,003\text{m/s}$$

Se desea llegar a esa velocidad en un segundo por lo tanto

$$a = 0.003\text{m/s}^2$$

$$F_{\text{carro}} = F_{\text{roce}} + m * \text{aceleracion}$$

$$F_{\text{carro}} = 45,16 + 14.4 \text{ Kg} * (0.003) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{\text{carro}} = 45,2 \text{ N}$$

4.5 Cálculo y dimensionamiento de elementos de máquina

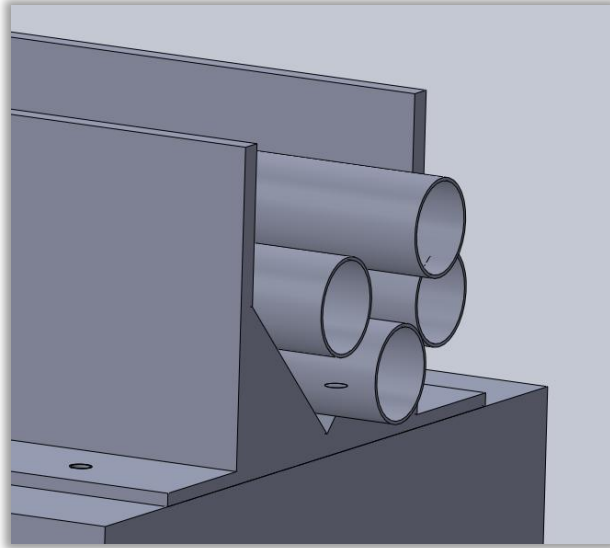
En el siguiente apartado se da una descripción detallada de los elementos más significativos que componen la maquina mecatrónica. Cada uno de estos elementos logra en conjunto y de forma secuenciada el corte de las piezas a la medida deseada. Se dará explicación detallada de las piezas que requirieron análisis y cálculos.

4.5.1 Mecánica

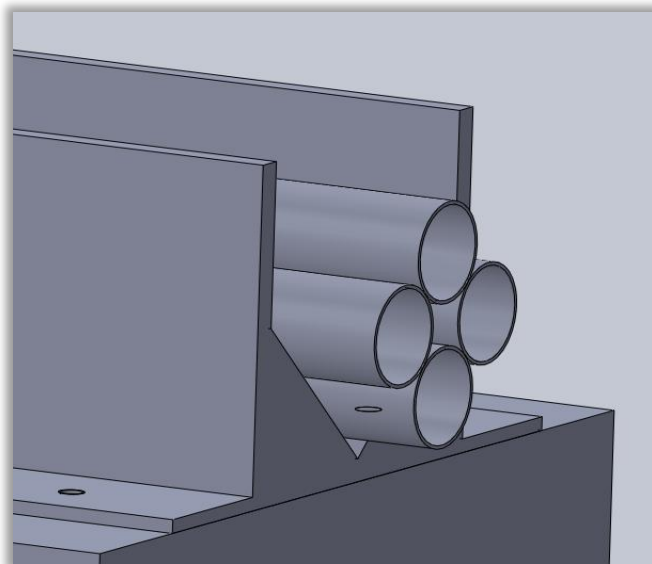
Topes mecánicos

Cuando los tubos son colocados en las guías para formar la geometría ideal para que encaje en la mordaza los tubos pueden no alinearse correctamente de

forma frontal, es por eso que necesitan alinearse con ayuda de un actuador asociado a una placa plana, de manera tal que los empuje desde la parte trasera. A continuación se muestra una representación del des alineamiento frontal.



Con realización de esta acción podemos asegurar que las piezas que componen el paquete no tengan desplazamientos en los bordes ya que esto corresponderá finalmente en un error en el producto final.



Como se está utilizando un sistema neumático para el movimiento de las mordazas se opta por seguir este sistema agregando otro actuador neumático. La fuerza que necesitará realizar este actuador será superior a los demás actuadores neumáticos ya que debe lograr desplazar todo el paquete de tubos inicialmente. Este cálculo ya fue realizado para determinar la fuerza del motor por lo tanto la fuerza que debe realizar ese cilindro neumático será.

$$\text{Fuerza (Cilindro alineador)} = 45,2 N$$

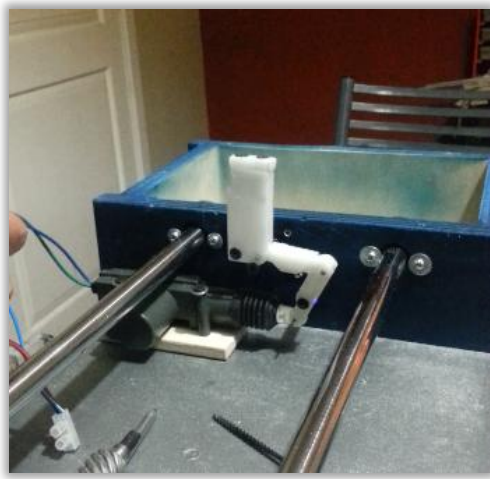
El tope mecánico solo se lo utilizará una vez dentro de toda la secuencia de pasos que componen el corte, ya que suponemos que las mordazas tienen programada una secuencia para desplazar el paquete de tubos de forma tal, que los tubos no tienen movimientos relativos entre sí.

El posicionamiento del tope mecánico debe permitir el paso del carro sujetador que agarrará el paquete de tubos. Con esta información, se determinó que el tope mecánico se deberá colocar entre las dos mordazas fijas ya que de esta manera no interrumpe el movimiento del carro sujetador y se puede aprovechar la proximidad de los tubos al punto de corte luego de ser alineados. Se debe tomar en cuenta que cuando el tope mecánico está levantado puede interferir en el movimiento de la sierra por lo tanto se desarrolló un sistema de eslabones que permite levantar y acostar el tope mecánico cuando se lo requiera.

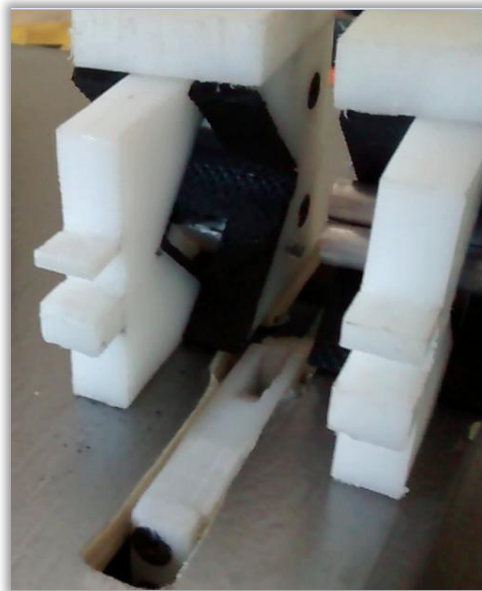
A continuación se muestra una imagen del tope mecánico colocado en el prototipo según la información analizada.



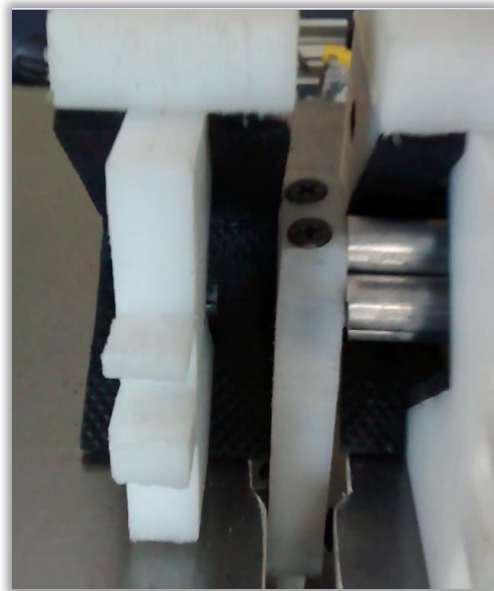
(Tope: Desactivado)



(Tope: Activado)



(Tope: Desactivado)



(Tope: Activado)

Guías formadoras

Las guías formadoras se utilizaron para poder mantener la geometría propuesta para el paquete durante el movimiento del mismo. Para la máquina real estas guías son hechas de acero para poder soportar el peso y desgaste propuesto por los tubos de acero pero en el prototipo se utilizó Grilon un material más económico y con excelentes propiedades mecánicas.

Este material es un termoplástico fabricado a base de poliamida 6 que además de poseer muy buenas propiedades mecánicas tiene buenas propiedades eléctricas y térmicas (www.nth.com.ar)

Se muestran imágenes de estas piezas en el apartado 8, construcción del prototipo.

Sierra Circular

Se realizaron investigaciones de las opciones utilizadas por empresas que trabajan en el mismo rubro y se determinó usar una sierra con carburo de tungsteno especial para el corte rápido de acero. Esta sierra utilizará conjuntamente una pequeña bomba que circulará líquido refrigerante para mantener la temperatura de trabajo estable.

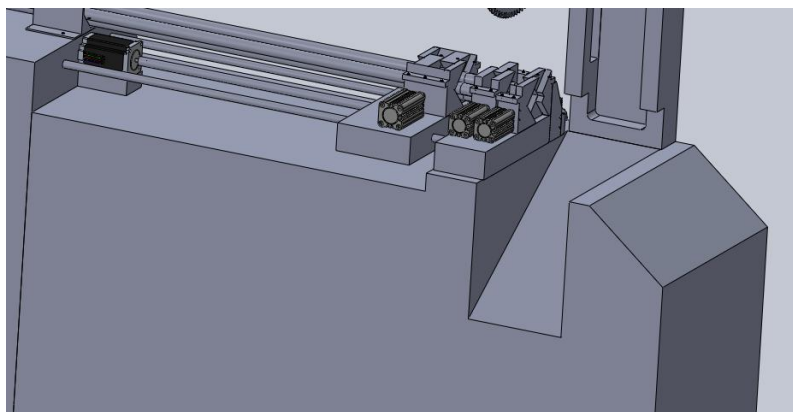
TCT Tungsten Carbide steel saw blade																
Saw blade Tooth Quantity	40			50	60	72	80	90	100	120	130	140	150	160		
Saw blade Thickness	1.75	2.0	2.25	2.5	2.6	2.7	3.0	3.8								
鋸片 外徑 φ mm	φ 250mm	●	●		●	●	●		●	●						
	φ 280mm		●		●		●									
	φ 285mm		●		●		●	●	●	●		●				
	φ 315mm			●	●		●									
	φ 330mm			●	●		●	●	●	●			●	●		
	φ 360mm				●	●	●			●		●			●	
	φ 425mm			●	●		●	●		●	●		●	●		
	φ 460mm	●			●		●	●		●						
	φ 480mm			●	●		●	●		●						
	φ 560mm				●		●	●	●	●						
	φ 750mm				●		●		●	●						

Con la utilización de la tabla provista, se determinó que en función al diámetro de la sierra, de aproximadamente 0.4 metros, se utilizarán 60 dientes en la periferia de la sierra.

Bancada

La bancada propuesta en la máquina real se compone de una estructura básica de tubos cuadrados de acero, cubiertos por planchas de acero para lograr protección y estética para el dispositivo.

Para lograr otra mejora en el proceso productivo se diseñó para la máquina real un sistema de división de tubos de tamaño pequeño y otro para medianos y grandes, de esta manera después de ser cortados los tubos caerán en *racks* o elementos de almacenamiento para proseguir al siguiente proceso productivo.



En el prototipo desarrollado se utilizó la madera ya que esta tiene más facilidad en el manejo y es más favorable económicamente. Se diseñó el modelo en función a las dimensiones de los elementos de electrónica, electricidad y las guías disponibles para el desplazamiento del carro sujetador. Luego de ser ensamblada se le dio una capa de pintura para mejorar la estética y su protección.

2.3.2 Neumática

Para poder lograr una buena sujeción del paquete de tubos se necesita de la fuerza suficiente para que no haya un desplazamiento de las piezas que componen el paquete. Esta fuerza es provista por la tecnología que emplea la transmisión de energía por medio del aire comprimido, la neumática.

Existen diversas empresas que optan por sistemas hidráulicos en vez de neumáticos debido a su precisión y fuerza, pero según el análisis realizado para este proyecto la neumática cumple con todos los requerimientos. Algunas ventajas y desventajas del sistema elegido se presentan a continuación.

Ventajas:

- Alta velocidad de trabajo
- Bajo costo
- Buena Limpieza
- Las sobrecargas no constituyen situaciones peligrosas o que dañen los equipos en forma permanente.
- Los cambios de temperatura no afectan en forma significativa.

Desventajas:

- En circuitos muy extensos se producen pérdidas de cargas.
- Tienen límites de fuerza bajos en comparación con la hidráulica por los límites de presión. Presión máxima 10 Bar.
- Altos niveles de ruido generado por la descarga del aire hacia la atmósfera.
(www.tecnicamaritima.com)

Las desventajas del sistema neumático no son de gran importancia para el trabajo puntual que van a realizar, de igual manera, la fuerza necesaria no es grande ya que únicamente sostendrá los tubos y los mantendrá fijos para que se efectúe el corte.

No tendrá problemas por pérdida de carga porque el circuito neumático no será extenso y estarán cerca del compresor.

Como ya fue mencionado en tratados anteriores, la maquina real utilizará actuadores neumáticos en distintas zonas. La primera zona en analizar es el sistema de alimentación. Este estará compuesto por un sistema mecánico asociado a dos cilindros neumáticos que nombramos como *cilindro soportador* y *cilindro divisor*.

Estos dos cilindros estarán destinados a soportar la pila de tubos en un plano inclinado y dividirlos en paquetes de 4 tubos para que luego sean llevados a la forma romboidal. Se establece la siguiente secuencia neumática de los cilindros.

Secuencia:

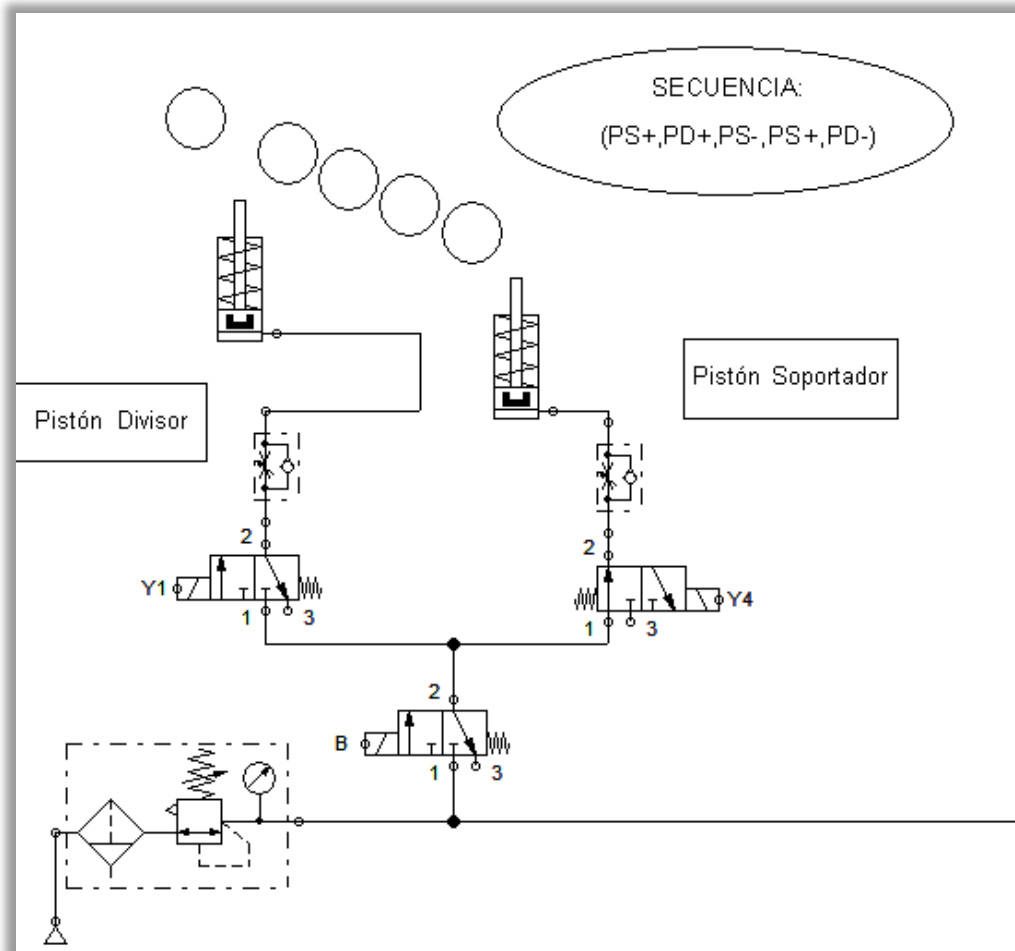
PS+, PD+, PS-, PS+, PD -

Donde:

PS es el piston soportador

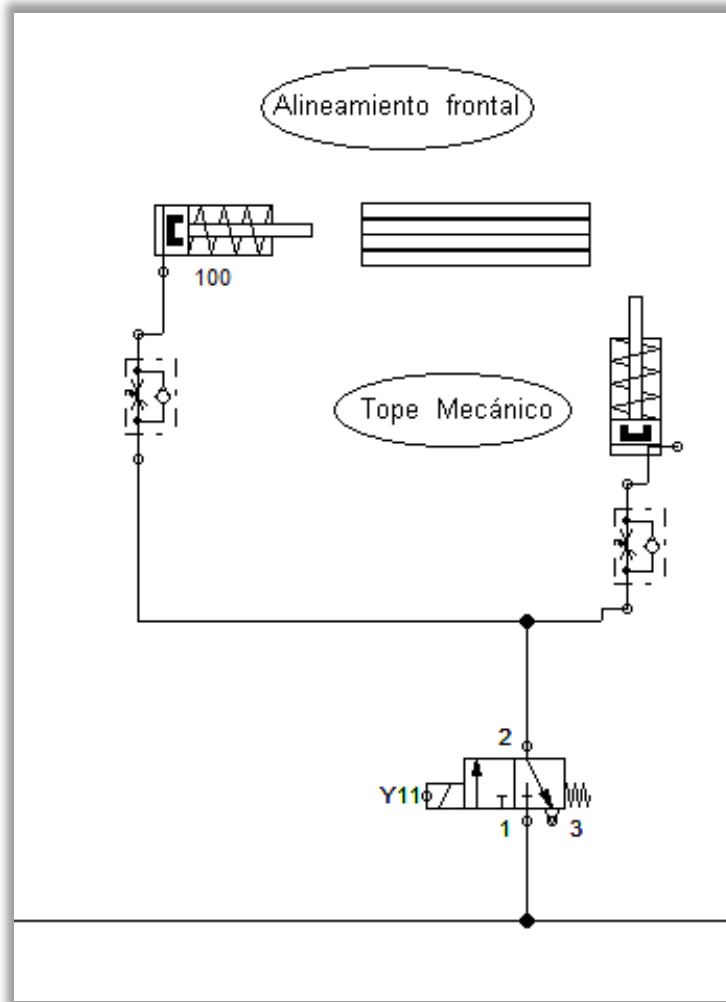
PD es el piston divisor

A continuación se muestra una gráfica de la secuencia estudiada en relación al proceso productivo que realiza.



Cabe recalcar que los vástagos de los actuadores no son los que retiene los tubos, estos vástagos están asociados a un sistema mecánico que realiza este trabajo, ya que si actuarán directamente, los vástagos sufrirían esfuerzos que comprometen su funcionamiento recortando su vida útil sustancialmente.

La siguiente área en analizar es el proceso de alineamiento frontal se utilizan dos cilindros neumáticos para la realización de este proceso en el que se accionan de manera paralela para que uno empuje los tubos y el otro únicamente este en una posición vertical para realizar una contra fuerza.



Secuencia:

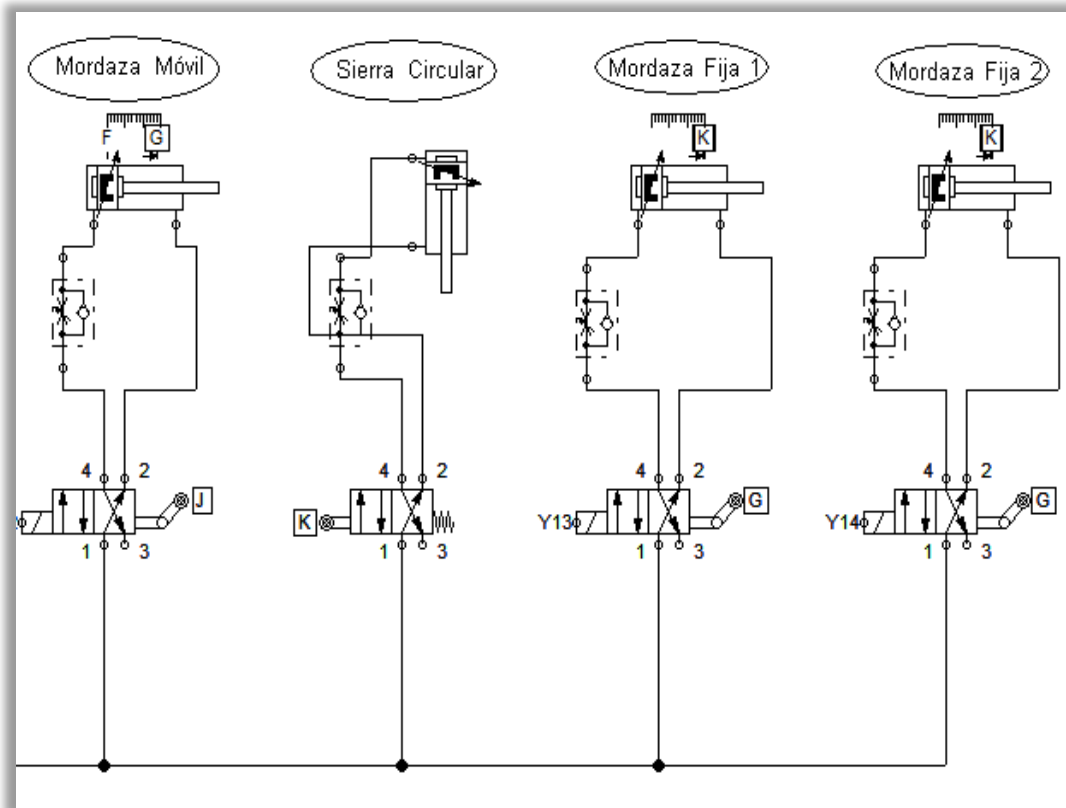
$$AF + TM+, \quad AF - TM -$$

Donde:

AF es el piston de alineamiento frontal

TM es el piston del tope mecanico

Otra área en el que se utiliza la neumática es en el proceso de sujeción y corte



Secuencia:

$MM+, MF2-, MF2+, MM-, MF1+, S+, S-, MF1 -$

Donde:

MM es el pistón de mordaza móvil

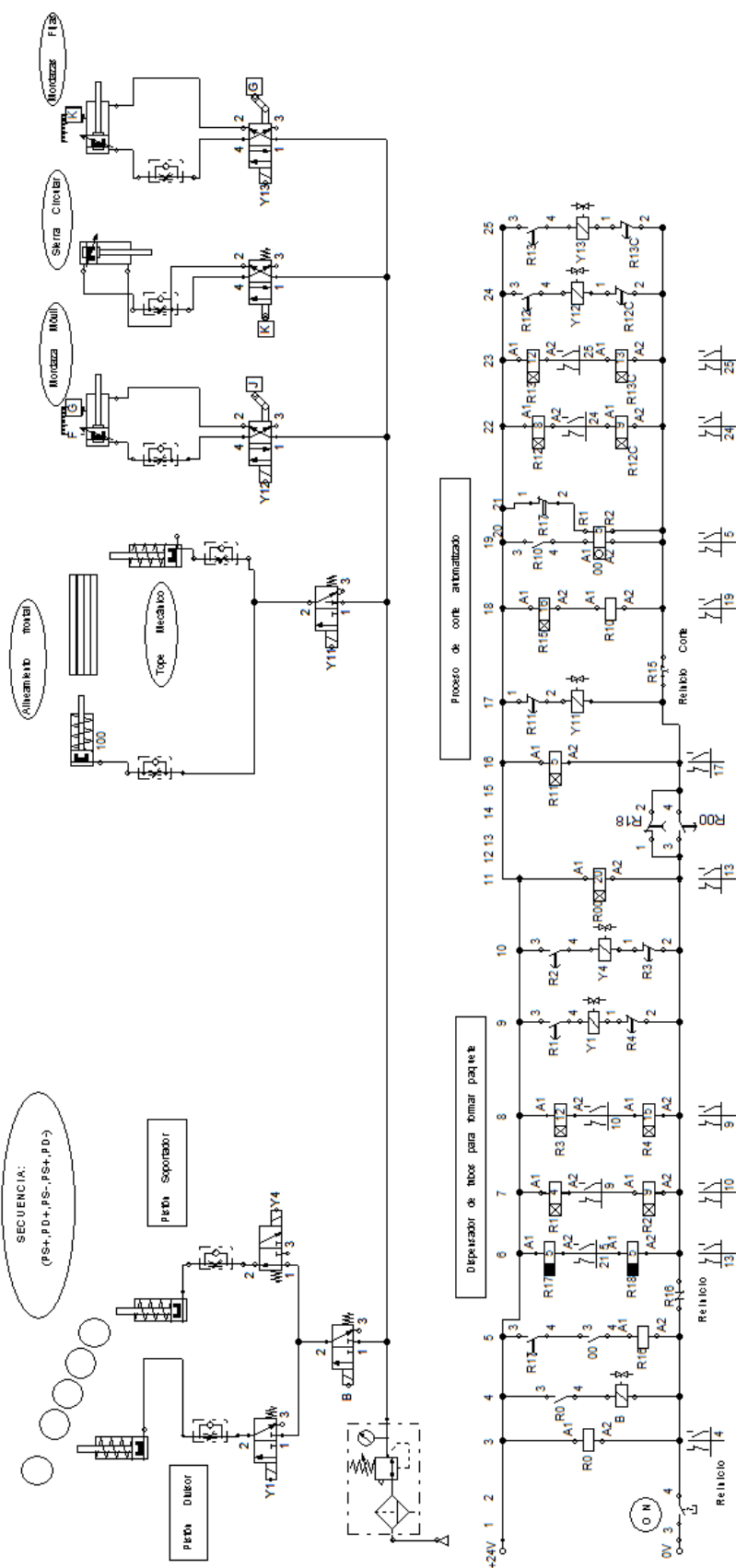
S es el pistón de sierra

MF es el pistón de mordaza fija

Cabe recalcar que la secuencia de los pistones neumáticos se establece con la utilización de fines de carrera que comprueban que los pistones hayan llegado a

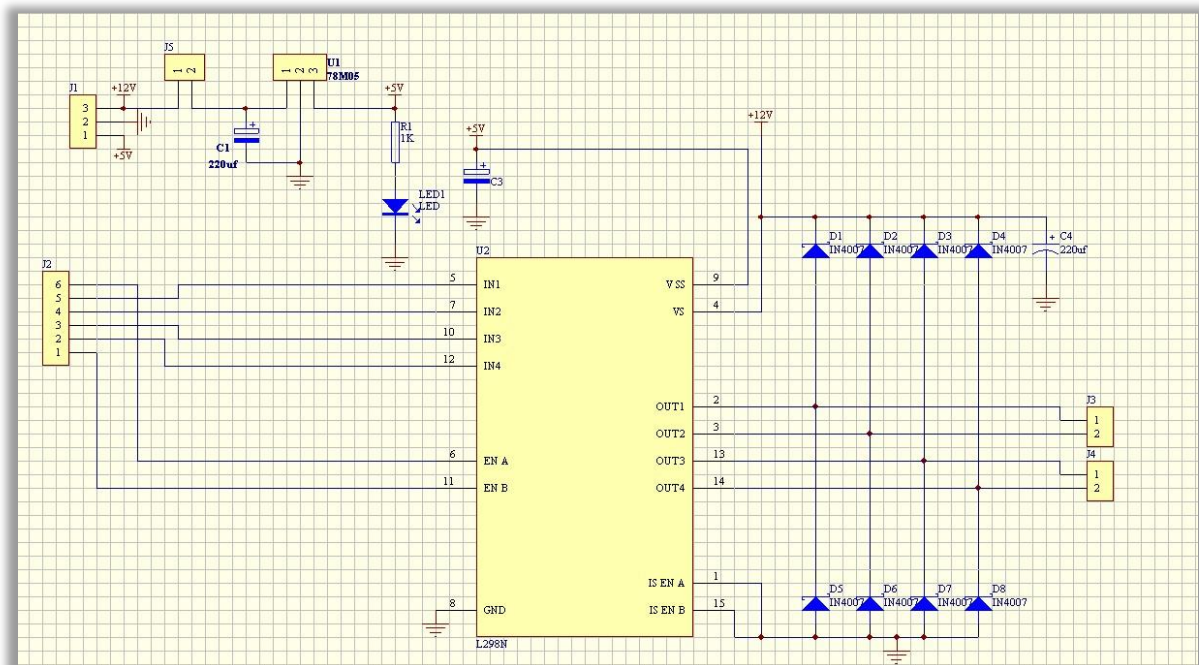
las posiciones finales, pero para motivos visuales se desarrolla un sistema electro neumático con timers para poder analizar la secuencia completa del proceso con cada uno de los pasos involucrados.

A continuación se muestra el esquema completo con el circuito eléctrico.



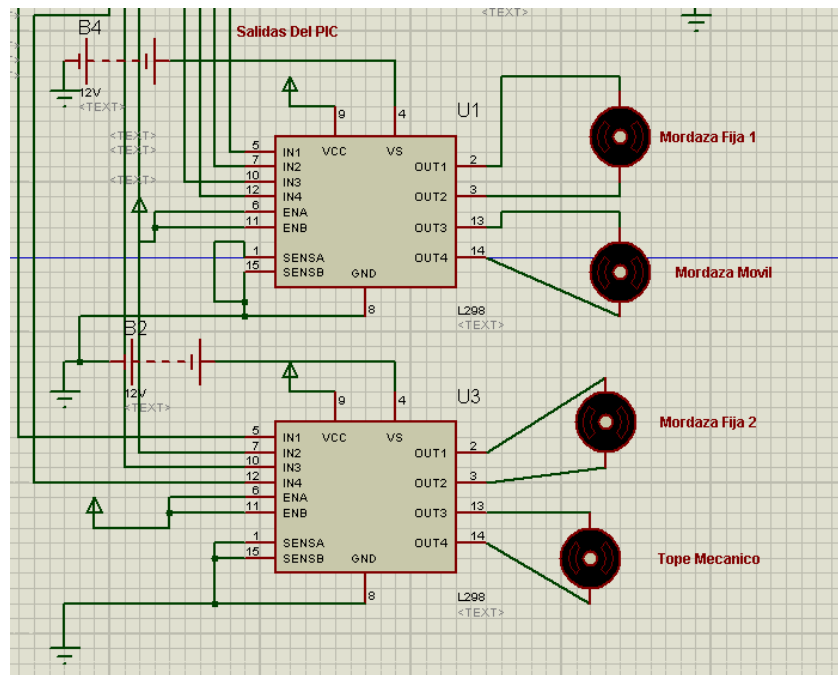
Después de realizar un análisis se concluyó que se utilizarán cilindros iguales para realizar las acciones que componen todo el proceso de corte, ya que de esta manera el área de compras de la empresa obtiene mayores beneficios al no tener que adquirir un stock de repuestos para cada uno de los cilindros, sino que se adquieren una menor cantidad para todos los actuadores neumáticos. Se concluye que con esta decisión disminuye el capital inmovilizado de la empresa y aumentan los beneficios.

En el prototipo desarrollado se colocó como elemento sustituto de los pistones neumáticos, cuatro pistones eléctricos normalmente utilizados en el rubro automotriz. Estos pistones eléctricos trabajan con 12 Volts de tensión continua y son accionados mediante dos drivers que utiliza un puente H comandado por el integrado L298. Su esquema equivalente es el siguiente.



El integrado L298 trabaja en conjunto con el microcontrolador y acciona cada una de sus 4 salidas obteniendo los 12 voltios deseados mediante accionamientos

realizados desde el PIC con tensiones de 5 voltios. Se utilizaron dos drivers ya que cada uno controla la entrada y salida de los pistones eléctricos. A continuación se muestra imágenes del conexionado creado.

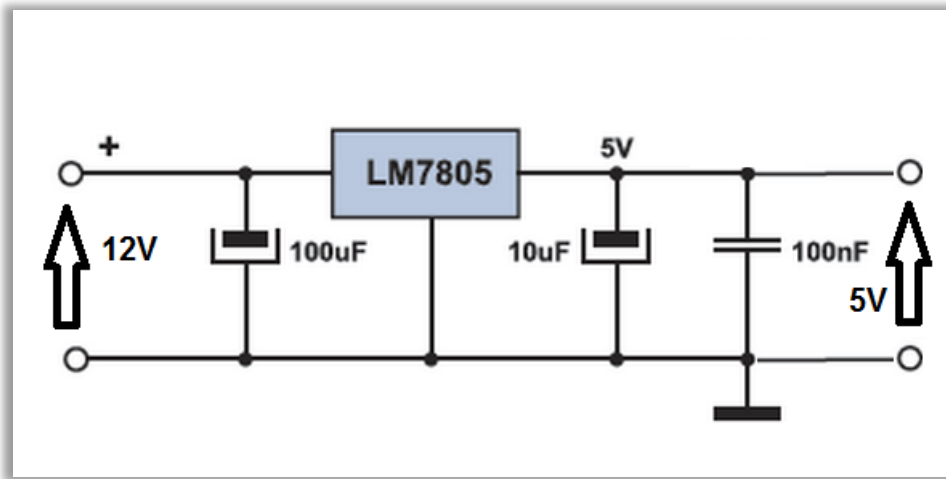


2.3.3 Eléctrica

La fuente que provee de energía a cada uno de los elementos electrónicos y eléctricos es una fuente de 12 voltios y 17 amperios. Esta fuente es capaz de satisfacer las necesidades de cada uno de los componentes. El elemento que consumirá mayor energía en el momento de ser accionado es el motor paso a paso que se encarga de mover el carro sujetador.

Otro de los elementos que necesitan de una fuente de energía estable es el microcontrolador PIC, este necesita una tensión de 5 voltios para su correcto funcionamiento. Con este fin, se utilizó una regulación de tensión con el integrado

LM7805. A continuación se muestra un esquema de la regulación para la alimentación de energía eléctrica del PIC.



Motor Paso a Paso

Para convertir la energía eléctrica en energía mecánica se utilizó un motor de pasos bipolar ya que este produce un mayor torque que un unipolar. El motor utilizado en el prototipo es un motor de 12Nm de momento torsor un valor sobredimensionado para el necesario para poder mover las piezas involucradas ya que este es el único elemento que se adquirió para la maquina real. El motor posee un desplazamiento angular de 1.8 grados por pulso para asegurar la precisión.




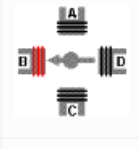
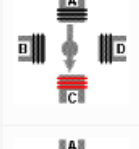

Los motores paso a paso funcionan con pulsos eléctricos dirigidos a sus bobinas de forma secuenciada de forma tal que se produzcan desplazamientos angulares por las fuerzas electromagnéticas generadas. Estos motores están constituidos por un rotor sobre el que van aplicados imanes permanentes y bobinas excitadoras en su estator. La conmutación para lograr el movimiento la proporciona el microcontrolador PIC, enviando los pulsos necesarios para llegar a la distancia necesaria para realizar el corte.

Una de las ventajas más grandes de este tipo de motores es su gran precisión y repetitividad, es por eso que este dispositivo fue el utilizado en este proyecto.

Las secuencias que puede utilizar este tipo de motores son de paso completo o medio paso.







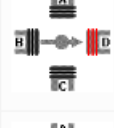

Paso Completo:

En este tipo de secuencia se energiza solo una bobina a la vez permitiendo avanzar un paso entero , para el caso del proyecto este paso angular será de 1,8 grados.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	OFF	ON	OFF	OFF	
3	OFF	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	OFF	ON	

Medio Paso:

En esta secuencia se energizan 2 bobinas a la vez para logran un paso más sutil y se compone de 8 pasos para energizar todas las bobinas en una vuelta. El paso angular para este caso será de 0.9 grados por pulso.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	ON	ON	OFF	OFF	
3	OFF	ON	OFF	OFF	
4	OFF	ON	ON	OFF	
5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	
8	ON	OFF	OFF	ON	

(www.todorobot.com.ar)

Cabe recalcar que otro método de desplazamiento posible para el carro sujetador es a través de un sistema hidráulico. Este tipo de métodos es altamente preciso debido a que se pueden llegar a una posición y mantenerse en ese lugar sin variaciones debido a que el fluido que utiliza es incompresible. El método de control para este caso se realiza con un controlador PID para lograr la posición deseada variando la válvula proporcional. Claramente este método es mucho más complejo

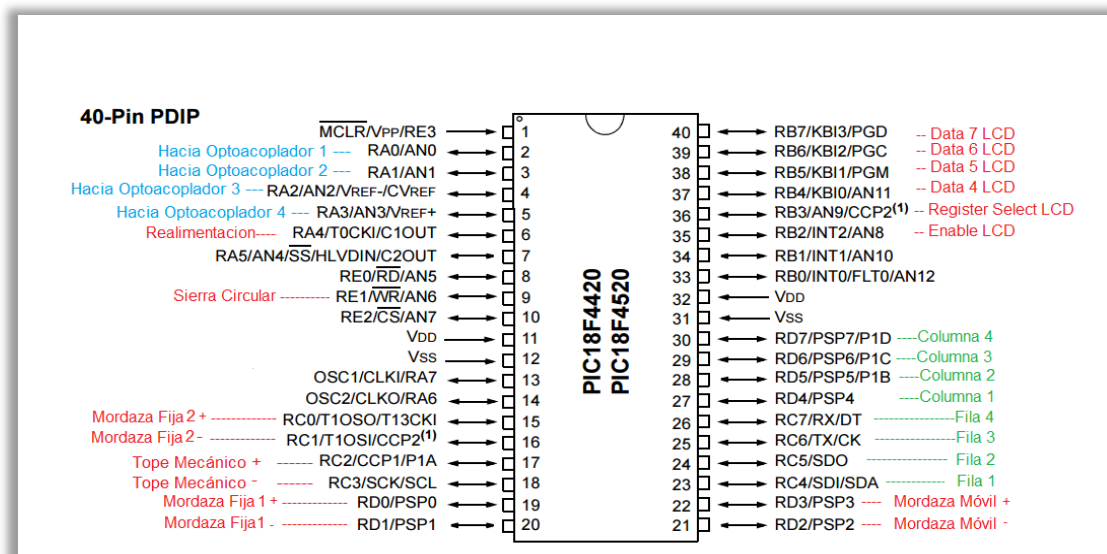
y costoso por ese motivo se optó por el eléctrico con el motor paso a paso asociado al eje helicoidal.

2.3.4 Electrónica

El desarrollo de la parte electrónica fue uno de los pilares más importantes y complejos en el proceso de investigación y construcción de la máquina electromecánica. La necesidad de utilizar un elemento que logre ejecutar cada una de las acciones necesarias para completar la secuencia de cortes conlleva a la utilización de microcontroladores.

Para este proyecto se utilizó un microcontrolador PIC 18F4520 debido a que posee una gran memoria para programación. Se seleccionó este microcontrolador debido a la gran extensión del algoritmo de programación, ya que ningún PIC de la familia 16F era capaz de soportarlo y compilarlo.

Otra ventaja de la utilización de este microcontrolador es el gran número de entradas y salidas ya que el prototipo debe controlar 4 pistones, 1 motor paso a paso, 2 leds que indican el accionamientos de sierra y realimentación, una pantalla LCD y las entradas correspondientes al teclado para el ingreso de información. Se muestra un gráfico sobre la utilización de los pines del PIC.



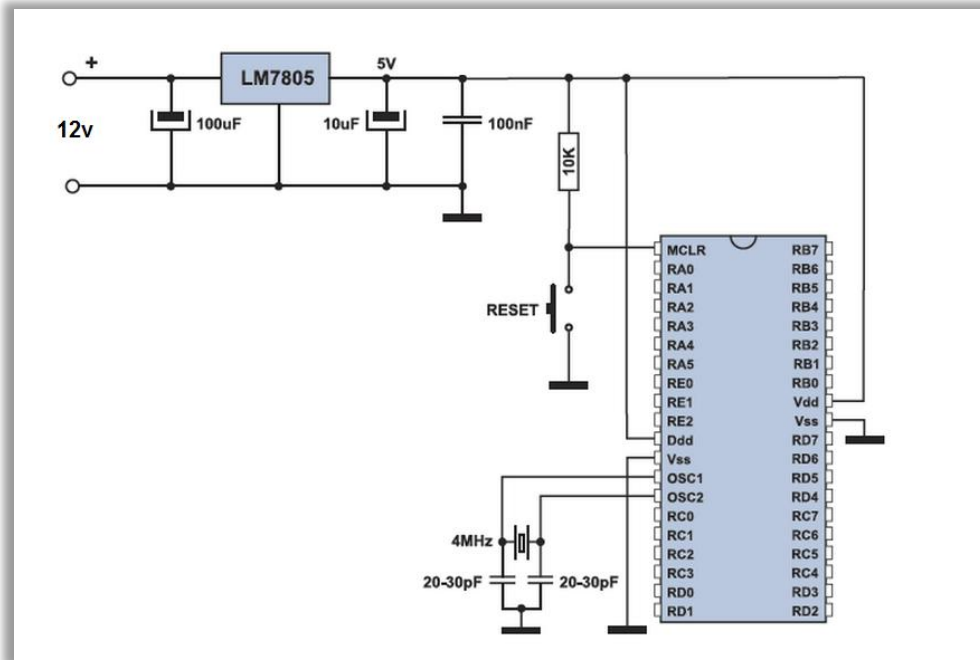
Para lograr desarrollar un sistema automatizado industrial es necesario que se utilicen elementos de electrónica para poder secuenciar cada uno de los procesos generados conforme al requerimiento del operario sin que el mismo forme parte del proceso de corte propiamente dicho.

Los circuitos necesarios para la máquina de corte automatizado fueron de control que se encarga de encontrar una secuencia entre cada uno de los actuadores y un circuito de potencia ya que la placa de control no puede manejar las altas corrientes que necesitan el motor de pasos y los pistones eléctricos.

Circuito de control

Como fue mencionado en tratados anteriores, la base del circuito de control es el microcontrolador PIC pero este necesita de elementos secundarios para su correcto funcionamiento.

El principal elemento para su funcionamiento es el cristal de cuarzo que va conectador entre los pines 13 y 14. El cristal utilizado es de 4MHz cada una de sus entradas y a su vez a un capacitor de 22 pico faradios para lograr la frecuencia de oscilación necesaria para que el procesador del microcontrolador funcione de manera correcta. Este conexionado es indispensable para que los tiempos de accionamiento de los actuadores sean los correctos.



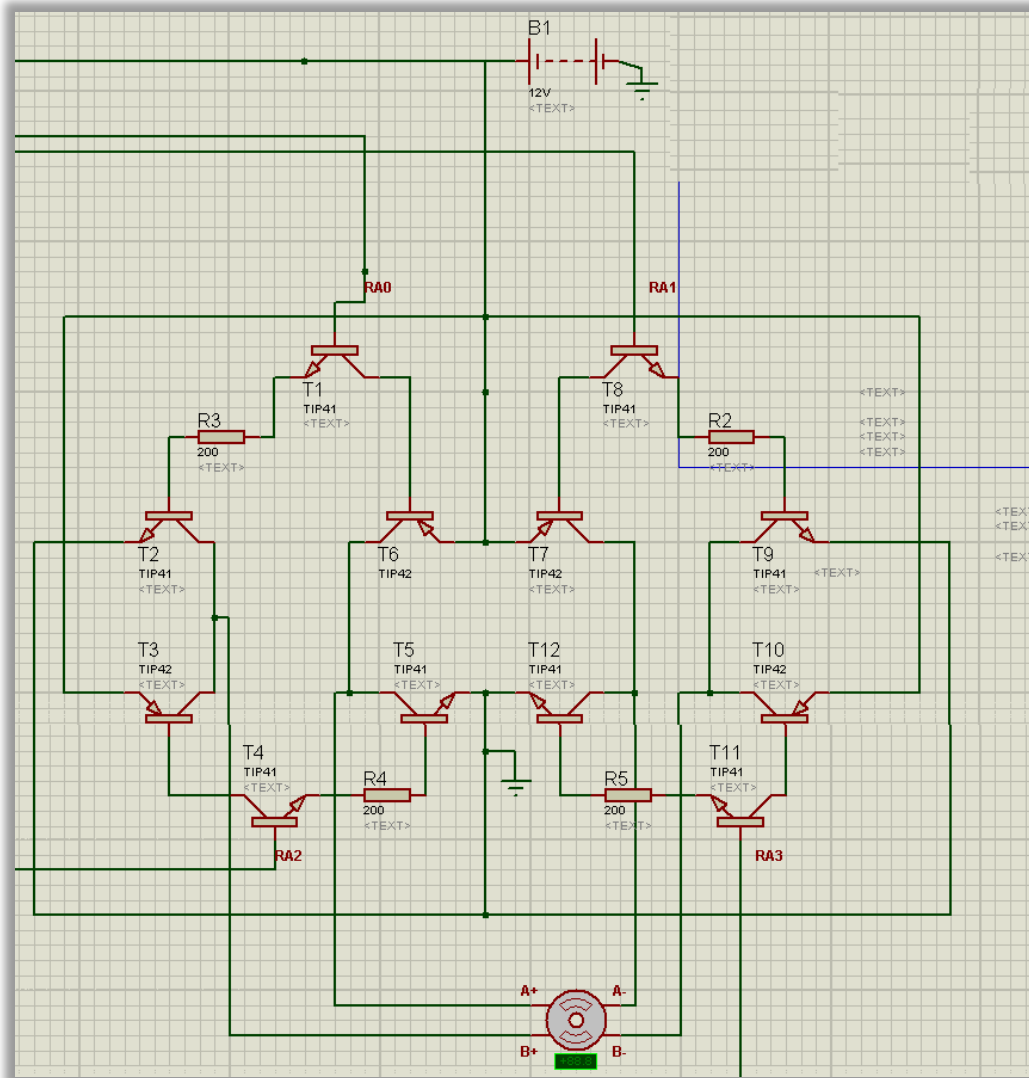
Circuito de potencia

El circuito de potencia es el elemento que comunica las salidas del PIC mediante la utilización de optoacopladores para asegurar la integridad del microcontrolador. El circuito base utiliza 4 transistores PNP y 8 transistores NPN para lograr manejar altas corrientes y lograr invertir la polaridad de las salidas para poder energizar las bobinas del motor bipolar. Se utilizaron los integrados TIP 41 como transistores NPN y los TIP 42 como transistores PNP, debido a que la corriente máxima que soportan este tipo de integrados es de 6 amperios. Los 8 transistores de potencia que se componen de 4 NPN y 4 PNP son polarizados por 4 transistores NPN que manejarán bajas corrientes. Es por este motivo que no se colocó disipadores a estos 4 transistores. Se utilizó 4 resistencias de 200 ohmios para polarizar los transistores de potencia.

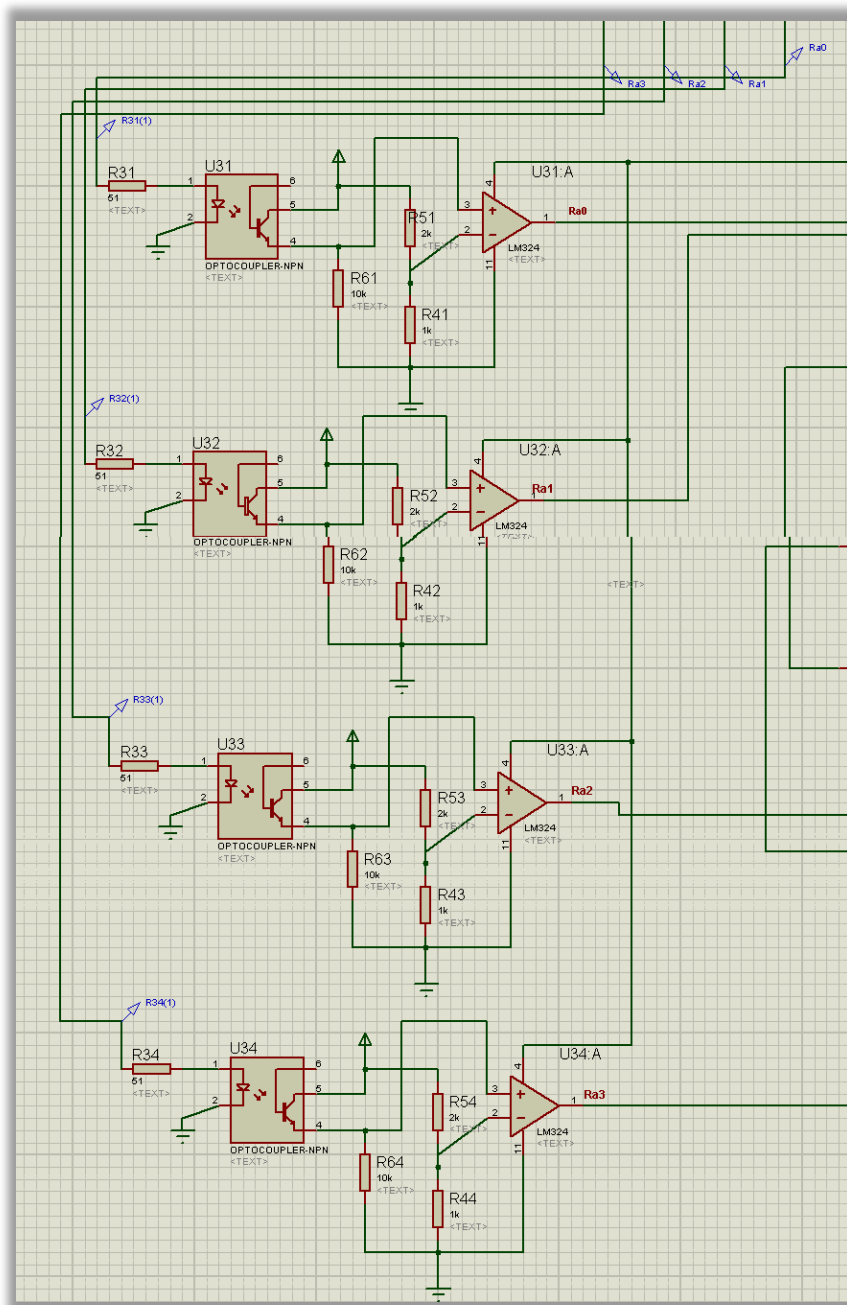
En el circuito de optoacopladores se colocó una resistencia de 50 ohm para lograr encender el led interno del integrado que polarizara el transistor NPN interno. De esta manera se obtienen una salida inferior a los 5 voltios por la caída de tensión

que genera el transistor. Esta salida se conecta a la entrada no inversora de un amplificador operacional que al actuar con una referencia de tensión generada con un divisor resistivo genera los pulsos de 5 voltios de la salida del PIC a 12 voltios de la salida del amplificador operacional LM324.

A continuación se muestra el circuito de potencia y el diagrama del circuito de optoacopladores que irán conectados a las 4 salidas del microcontrolador PIC.

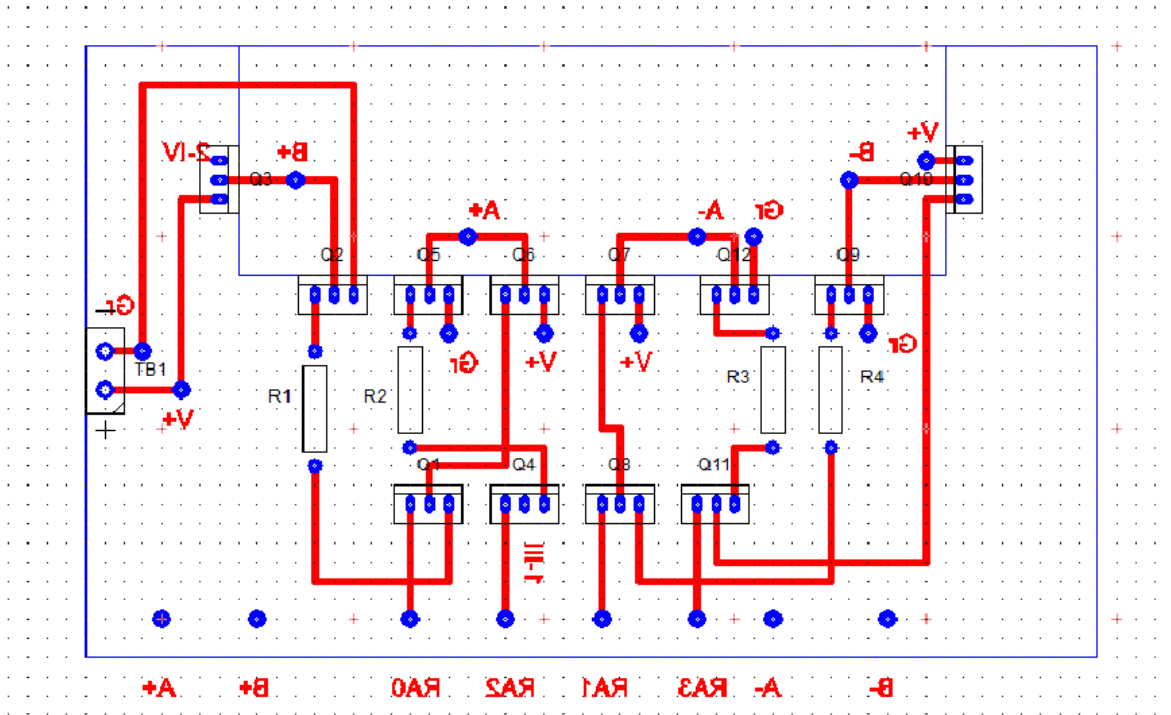


(Circuito de Potencia)



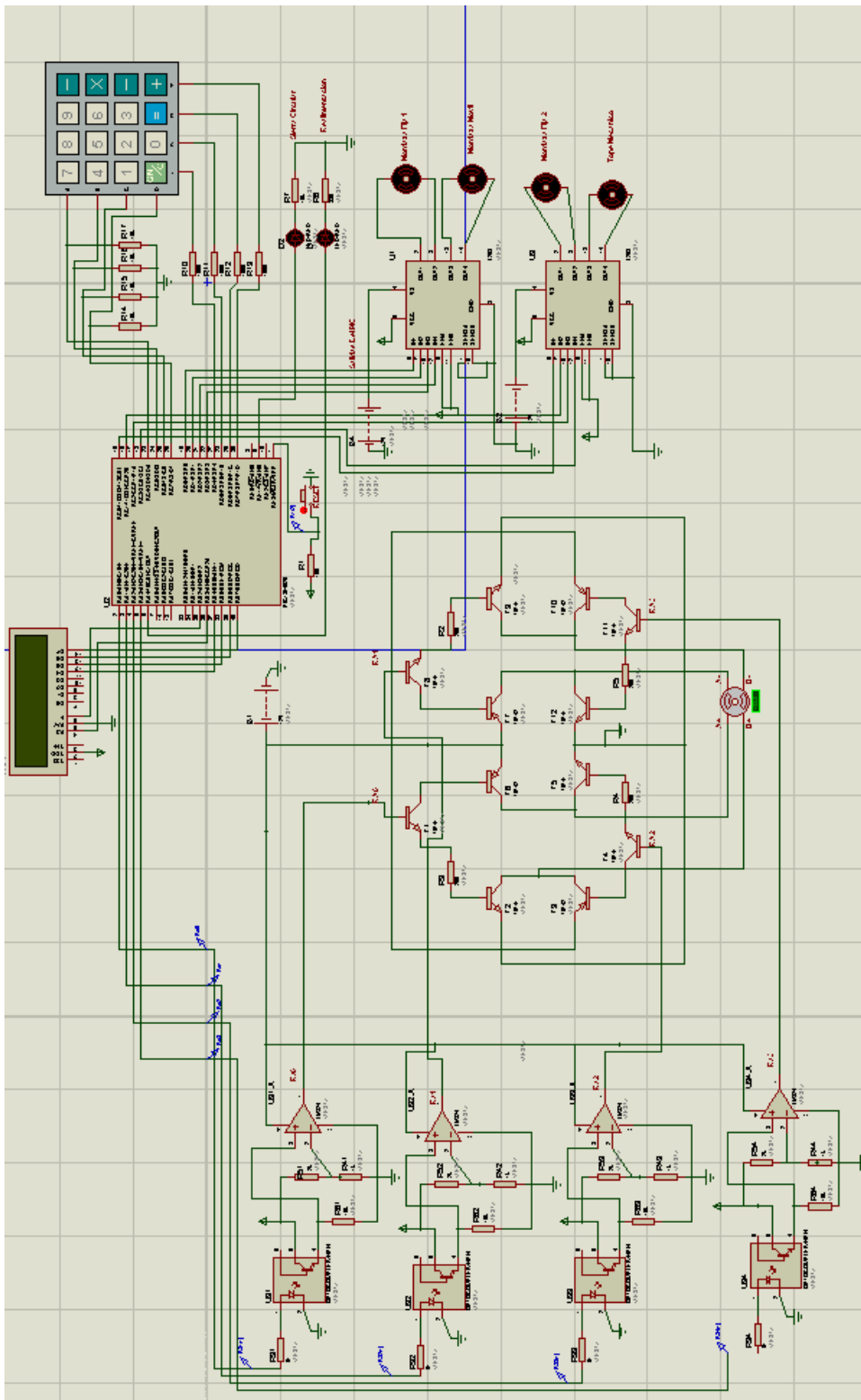
(Entrada Optoacoplada)

Para la construcción de la placa electrónica real se procedió a hacer un circuito digital que sirvió de referencia para la construcción real. Se introdujeron los elementos que lo componen en una placa experimental de electrónica y se unieron con pistas de estaño de la siguiente manera.



Se muestran las imágenes del desarrollo real en el apartado 8, desarrollo del prototipo.

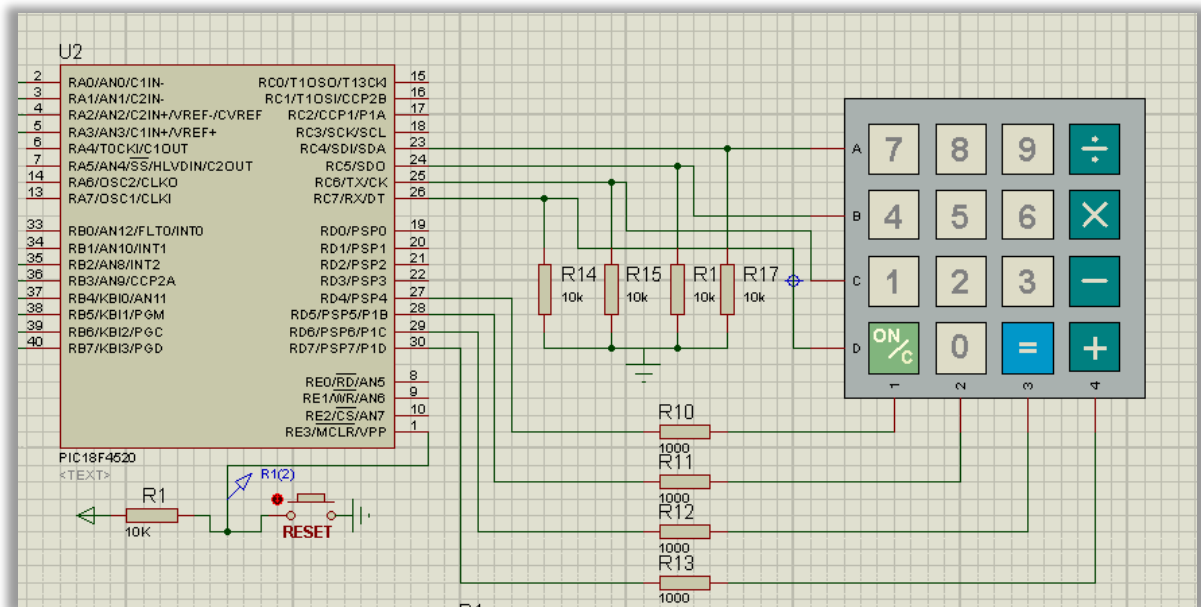
Con todas las etapas de control se realiza un diagrama del circuito electrónico para el control de la máquina electromecánica.



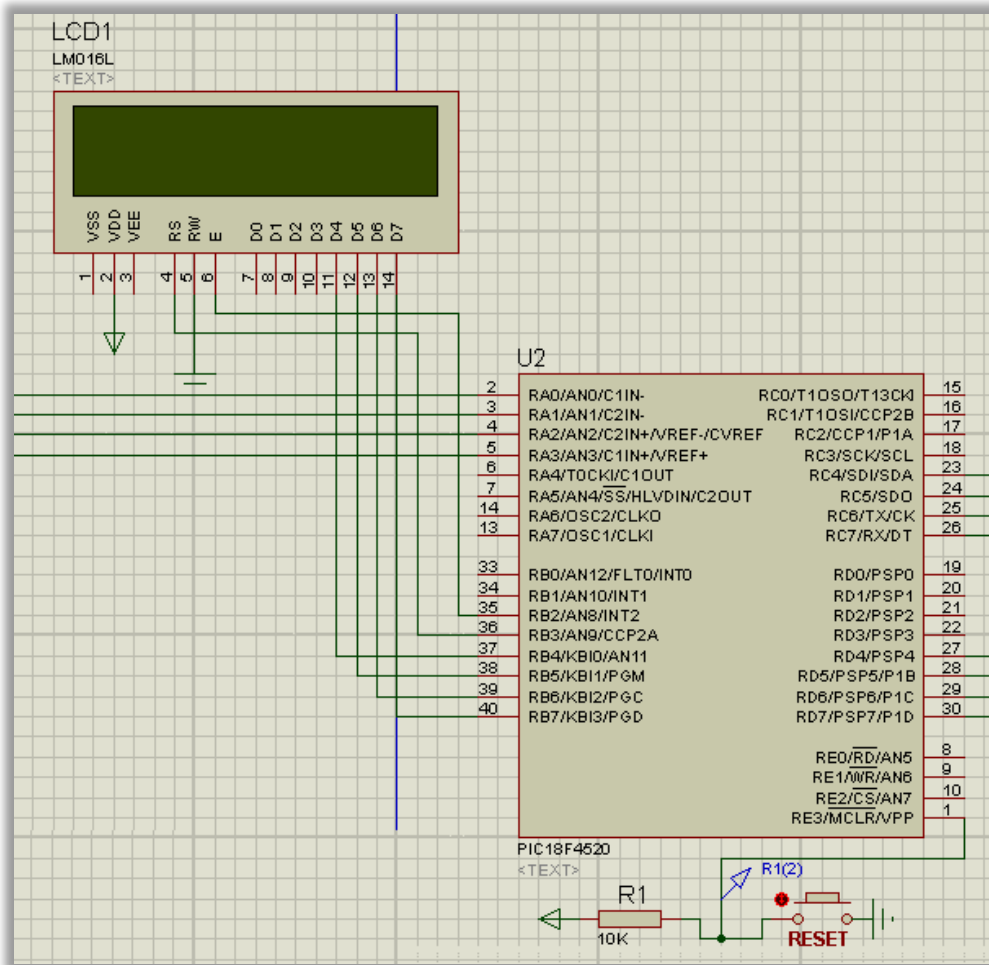
Teclado y LCD (Pantalla de cristal líquido)

La comunicación entre el operario y el microcontrolador se la realiza con la ayuda del teclado como elemento de entrada de datos y el LCD que permite corroborar la información introducida, así como como diversos datos mostrados en el proceso de corte.

Para el funcionamiento entre el microcontrolador y el teclado, las filas del teclado matricial se conectan a los bits más significativos que funcionan como salidas, mientras que las columnas se conectan a los bits menos significativos del puerto que funcionan como entradas con resistencias pull-down. Cualquier tecla que se oprima en una columna causará que uno de los bits menos significativos del puerto cambie de un estado lógico bajo a un estado alto. A continuación se muestra una imagen de la conexión entre PIC y teclado.

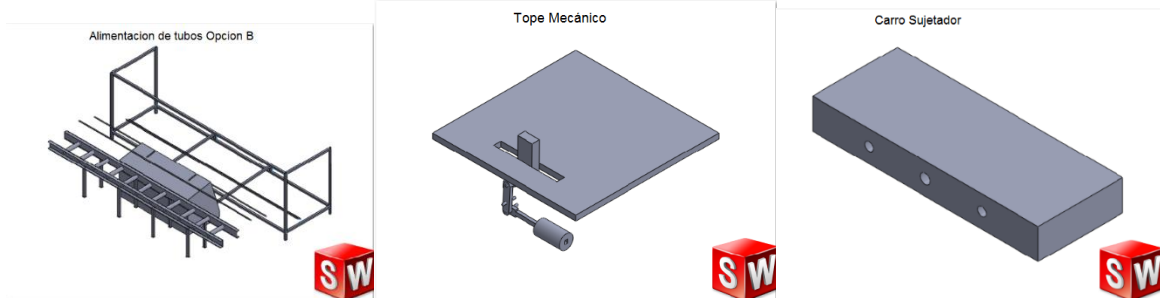
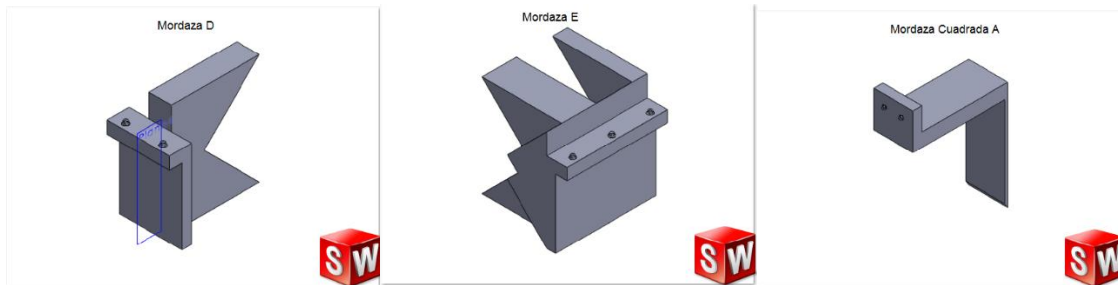
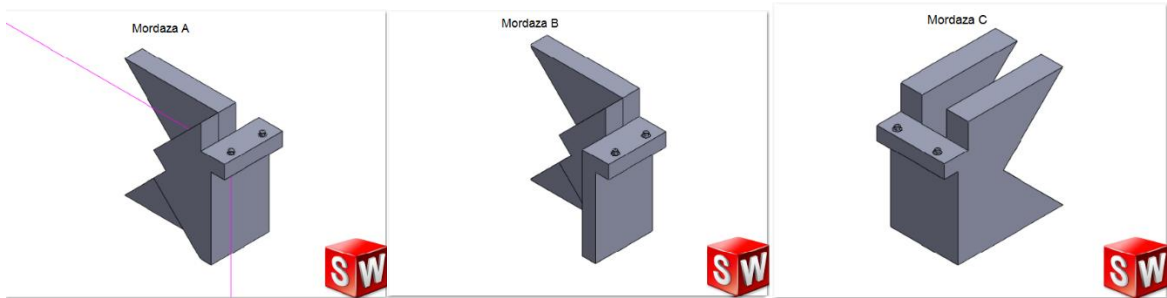


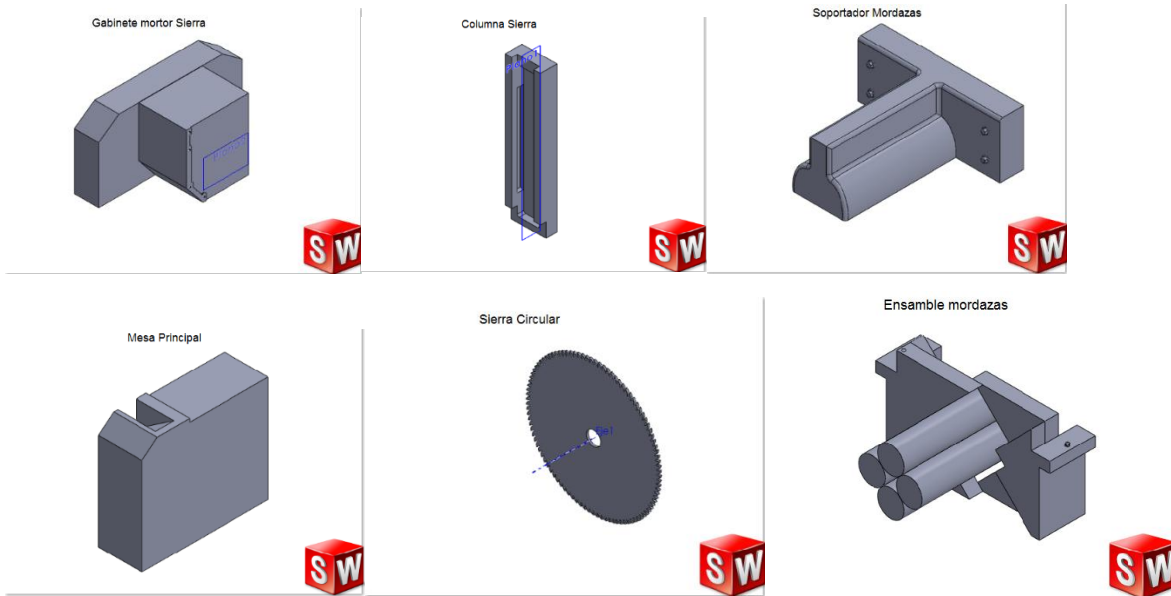
Para lograr el correcto funcionamiento de la pantalla de cristal líquido se debe definir los puertos a los que está relacionado con el microcontrolador. Esta definición se la realiza en la plataforma de programación.

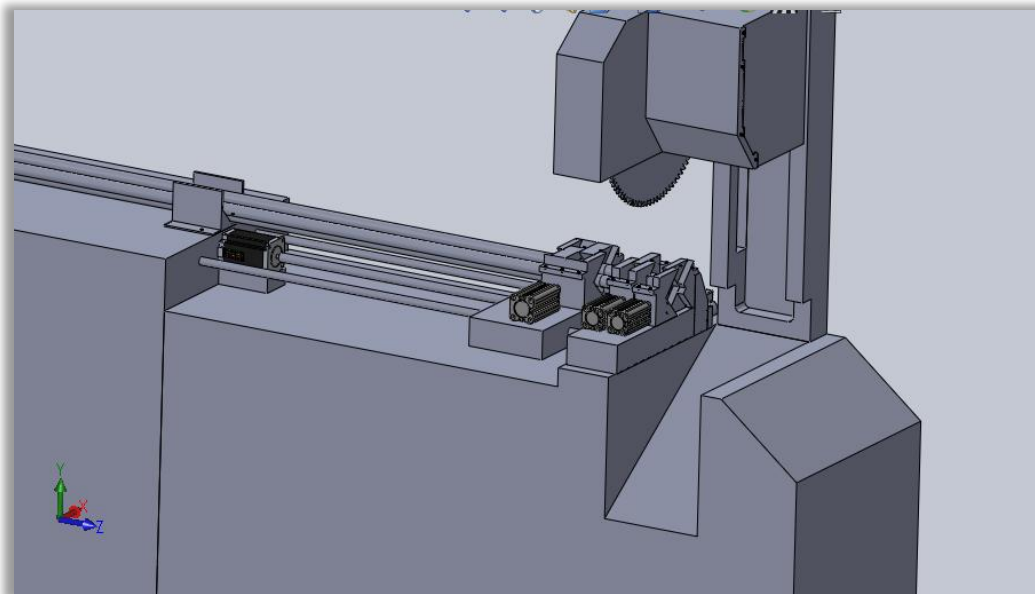
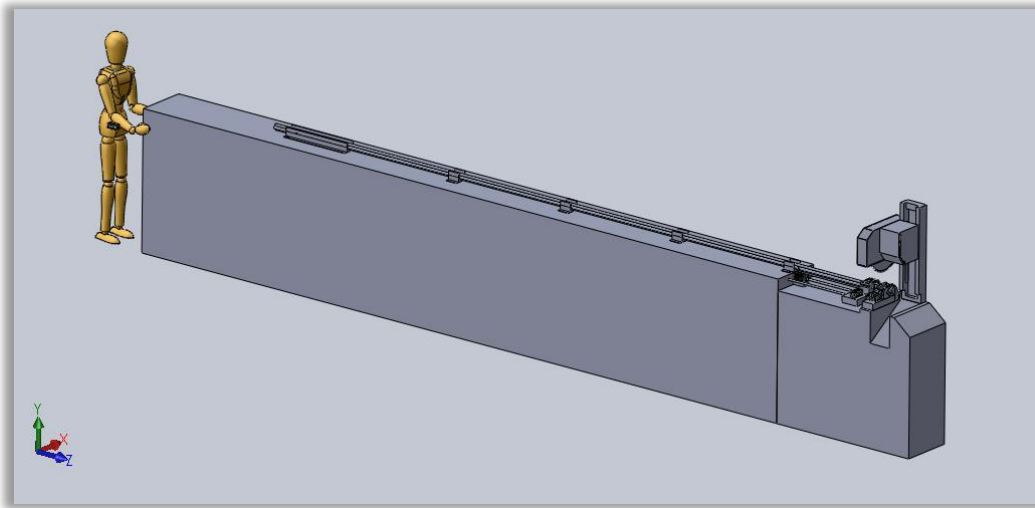


5. Diseño de piezas en plataforma virtual

Para el diseño de la máquina real se utilizó la plataforma *Solidworks*. Se realizaron diseños de la bancada, sierra, mordazas fijas y móviles, carro sujetador, guías conformadoras y de deslizamiento. A continuación se muestran los diseños propuestos.







6. Costos de la máquina

En el presente tratado se da a conocer los costos de los materiales y los costos de mano de obra del proyecto desarrollado para poder tener un valor aproximado del costo de la máquina real. Se tomó en cuenta valores pagados en Ecuador y se hace un estimado teniendo en cuenta un cambio de 8 Pesos/Dólar ya que en el año 2014 no tuvo oscilaciones muy grandes alrededor de este valor.

6.1 Costo de los materiales

		Cambio	8	Pesos/Dólar	
Costo de materiales					
		Precio Unitario			
Ítem	Cantidad	Dólares	Pesos	Total	
Pistones eléctricos	4	\$ 10,00	\$ 80,00	\$ 320,00	
Caja proyectos	1	\$ 13,00	\$ 104,00	\$ 104,00	
Motor de pasos	1	\$ 270,00	\$ 2.160,00	\$ 2.160,00	
Madera	2	\$ 19,00	\$ 152,00	\$ 304,00	
Pintura	2	\$ 5,00	\$ 40,00	\$ 80,00	
Grilon	1	\$ 15,00	\$ 120,00	\$ 120,00	
Tornillos	1	\$ 5,00	\$ 40,00	\$ 40,00	
Clavos	1	\$ 5,00	\$ 40,00	\$ 40,00	
Eje helicoidal	1	\$ 80,00	\$ 640,00	\$ 640,00	
Botón de emergencia	1	\$ 4,00	\$ 32,00	\$ 32,00	
Ejes de acero cromado	2	\$ 40,00	\$ 320,00	\$ 640,00	
Bujes de cobre	2	\$ 5,00	\$ 40,00	\$ 80,00	
Fuente	1	\$ 65,00	\$ 520,00	\$ 520,00	
Cable	1	\$ 10,00	\$ 80,00	\$ 80,00	
Borneras	15	\$ 0,25	\$ 2,00	\$ 30,00	
PIC 18F4520	1	\$ 8,00	\$ 64,00	\$ 64,00	
Optoacoplador	4	\$ 1,50	\$ 12,00	\$ 48,00	
Resistencia 500hm	10	\$ 0,05	\$ 0,40	\$ 4,00	
Resistencia 2000hm	5	\$ 0,05	\$ 0,40	\$ 2,00	
Resistencia 10000hm	10	\$ 0,05	\$ 0,40	\$ 4,00	
Resistencia 20000hm	10	\$ 0,05	\$ 0,40	\$ 4,00	
Tip 41	8	\$ 0,50	\$ 4,00	\$ 32,00	
Tip 42	4	\$ 0,50	\$ 4,00	\$ 16,00	
LM 324	1	\$ 3,00	\$ 24,00	\$ 24,00	
Capacitores 22pf	2	\$ 0,10	\$ 0,80	\$ 1,60	
Cristal 4Mhz	1	\$ 1,00	\$ 8,00	\$ 8,00	
LM7805	1	\$ 0,75	\$ 6,00	\$ 6,00	
Disipadores	4	\$ 5,00	\$ 40,00	\$ 160,00	
LCD	1	\$ 4,00	\$ 32,00	\$ 32,00	
Teclado	1	\$ 3,00	\$ 24,00	\$ 24,00	
L298	2	\$ 13,00	\$ 104,00	\$ 208,00	
Led	10	\$ 0,20	\$ 1,60	\$ 16,00	
Resistencia 330 Ohm	10	\$ 0,05	\$ 0,40	\$ 4,00	
Sócalo PIC	1	\$ 0,15	\$ 1,20	\$ 1,20	

Potenciómetro	1	\$ 0,50	\$ 4,00	\$ 4,00
Baquelita	3	\$ 3,50	\$ 28,00	\$ 84,00
Interruptor	1	\$ 1,00	\$ 8,00	\$ 8,00
Fusible	1	\$ 0,50	\$ 4,00	\$ 4,00
			\$ -	\$ 5948,80

6.2 Costo de la mano de obra

		Cambio	8	Pesos/Dólar
		Costo por hora		
Tarea	Total Horas	Dólares	Pesos	Total Pesos
Diseño de Piezas mecánicas	16	\$ 30,00	\$ 240,00	\$ 3.840,00
Diseño de placas electrónicas	30	\$ 30,00	\$ 240,00	\$ 7.200,00
Desarrollo de algoritmo de programación	96	\$ 30,00	\$ 240,00	\$ 23.040,00
Cálculos de esfuerzos y análisis general	5	\$ 30,00	\$ 240,00	\$ 1.200,00
Adquisición de materiales estruct.	7	\$ 15,00	\$ 120,00	\$ 840,00
Adquisición de materiales electro.	9	\$ 15,00	\$ 120,00	\$ 1.080,00
Construcción de piezas mecánicas	180	\$ 15,00	\$ 120,00	\$ 21.600,00
Construcción de piezas electrónicas	88	\$ 15,00	\$ 120,00	\$ 10.560,00
Montaje de piezas mecánicas	80	\$ 15,00	\$ 120,00	\$ 9.600,00
Montaje de piezas electrónicas	80	\$ 15,00	\$ 120,00	\$ 9.600,00
Pruebas de funcionamiento electrónico	24	\$ 15,00	\$ 120,00	\$ 2.880,00
Alineación y pruebas mecánicas	16	\$ 15,00	\$ 120,00	\$ 1.920,00
Ensamble general Puesta a punto	40	\$ 15,00	\$ 120,00	\$ 4.800,00
				\$ 98.160,00

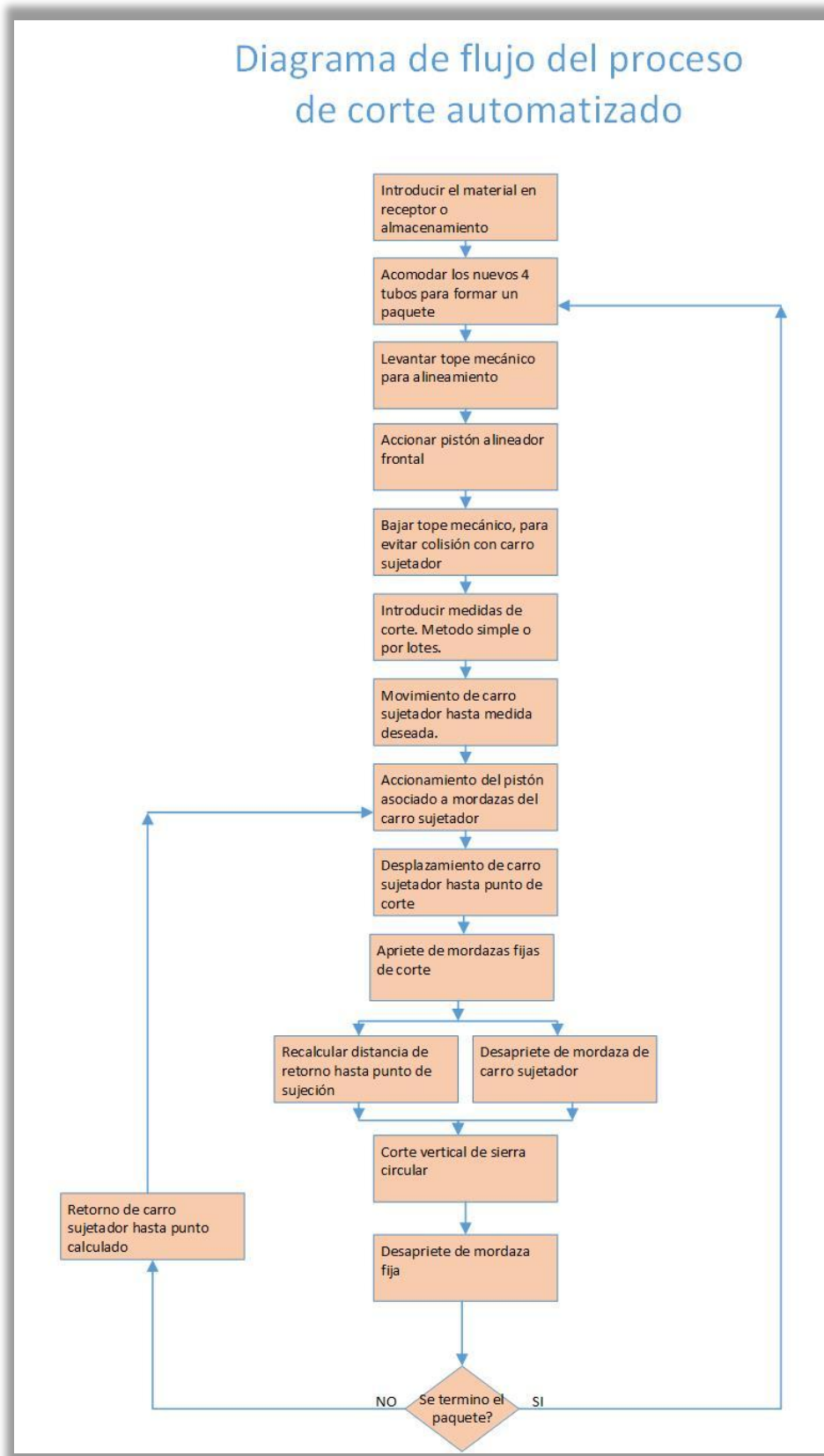
Se concluye que el valor total del proyecto es de \$104.108,80 pesos argentinos. Para encontrar una aproximación del costo total de la máquina real es un 50% superior al costo del proyecto ya que se mantiene el circuito eléctrico y electrónico cambiando los actuadores de eléctricos a neumáticos y la estructura total de la máquina 156.163,2 pesos argentinos

7. Desarrollo de algoritmos de programación

Para la programación del algoritmo que controla el funcionamiento de la máquina se utilizó la plataforma *MicroCode Studio Plus* en donde se escribió los comandos de las funciones principales del programa. Con ayuda del programa *PicKit*, programador de microcontroladores PIC creada por la empresa *Microchip*, se introdujo el archivo de 2000 líneas de programación de formato hexadecimal de en el microcontrolador.

Se desarrolló dos métodos que se encargan de la recopilación de datos iniciales, cálculo de las variables intervinientes en el algoritmo, movimiento de los elementos físicos, así como de su secuencia y accionamiento justo en cada uno de los pasos del corte.

Para poder realizar la programación de la máquina se utilizó un diagrama de flujo de los procesos que realizará para poder tenerlos de guía a la hora de desarrollar la programación.



7.1 Desarrollo de método en serie

A continuación, se muestra con comentarios, un extracto del algoritmo del método en serie que realiza el corte de los tubos sin optimización de los desperdicio en los cortes. Los dos métodos utilizan funciones en común con variaciones en las variables internas de las mismas. Debido a la extensión del algoritmo completo, el mismo se presenta como anexo 1.

```
Lcdout $FE, 1, " Elegir el corte"
Lcdout $FE, $C0, " a utilizar"
PAUSE TiempoMedio*2

Lcdout $FE, 1, " A) En SERIE "
Lcdout $FE, $C0, " B) Por LOTES "
'PAUSE TiempoMedio*2

BanderaTecla=0 ' UNICA VEZ QUE SE LA LLEVA A CERO PARA PODER ELEGIR EL METODO DE
CORTE

GOSUB VUELVE_VARIABLES_0          'Setea las variables en cero

gosub TECLAS          ' ABILITA LA ENTRADA DE NUMEROS EN TECLADO 4x4

IF (Tecla=12) THEN

    BanderaSerie=1

    Lcdout $fe, 1          ' Clear LCD
    Lcdout " Selecciono cor-" ' Mensaje en LCD
    Lcdout $fe, $C0          ' Posicionar en segunda linea de LCD
    Lcdout " te EN SERIE" ' Mensaje en segunda linea LCD
    PAUSE TiempoMedio*2

    GOSUB TOMA_DATOS_SERIE
```

Realimenta=0

```
gosub corrigerebanadas      ' Corrige la cantidad de cortes en funcion de que si hay o no desperdicio
gosub REBANADAS_SERIE      ' Proceso de corte en serie. TIENE REALIMENTACION INCLUIDA
```

```
low MordazaFija            ' Apaga mordazas fijas
j=j-1
```

```
'IF E1==0 THEN              ' Escritura final es diferente! Si no sobra no es igual el total cortado
    'Total=total+(paq-1)*medi
'ENDIF
```

```
'IF E1!=0 THEN              'Si no sobra no es igual el total cortado
    ' total=total
' ENDIF
```

```
GOSUB LOOPFINAL
```

```
ENDIF ***** END if de el metodo en serie*****
```

El extracto de la programación no posee las funciones internas que hacen posible su funcionamiento, es por eso que se opta por añadir una explicación verbal del proceso. Se puede consultar el algoritmo completo en el Anexo 1.

El método en serie tiene únicamente la recopilación de los datos de un lote. Se toman datos respecto a la cantidad y medida de tubos necesaria. Con esta información y debido a las características de la máquina se procede a realizar cálculos de la cantidad de cortes que se realizará en el paquete, cantidad de paquetes necesarios y los sobrantes de cada paquete si la medida requerida no encaja perfectamente en la longitud total de los tubos, que son 6 metros.

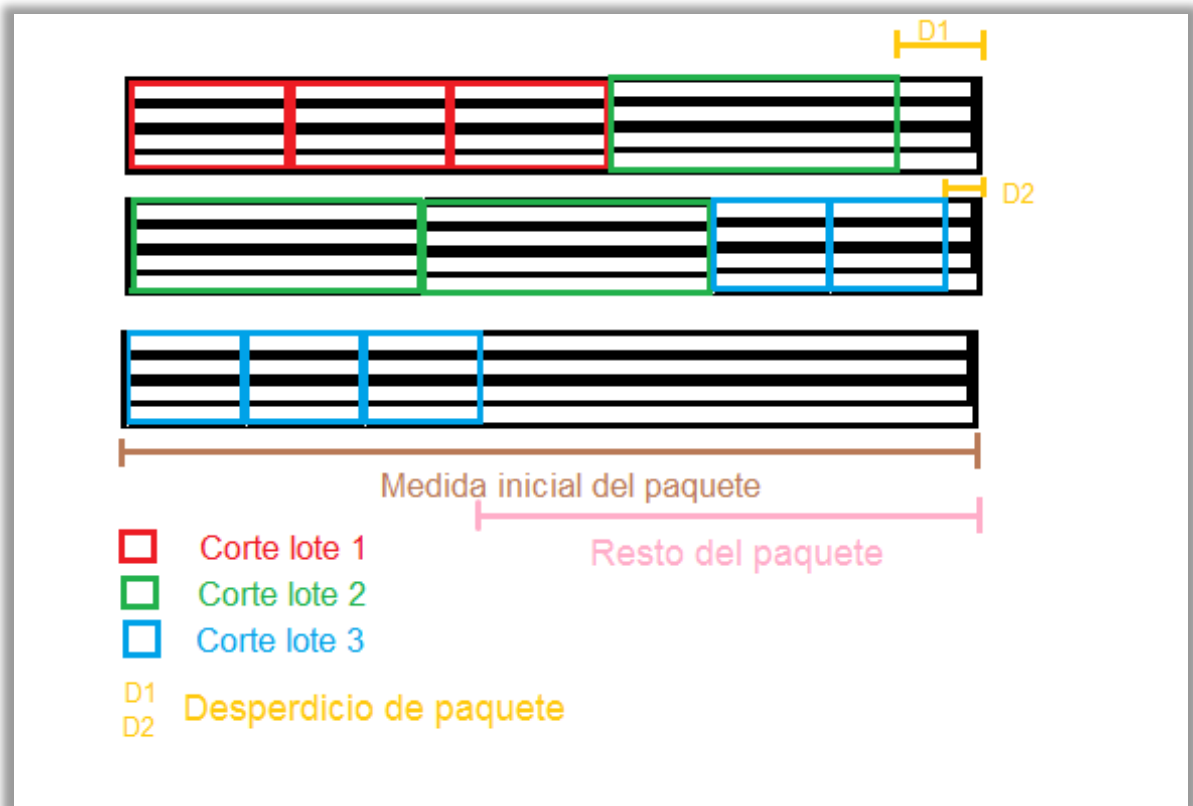
El método continúa con el proceso de corte y realiza la secuencia necesaria entre el movimiento del carro sujetador, el accionamiento de los pistones eléctricos móviles y fijos, accionamiento del pistón del tope mecánico, activación del led asociado a la sierra circular y el led asociado a la realimentación de paquetes.

La pantalla LCD brinda la información necesaria sobre cada uno de los pasos siendo realizados para que el operario pueda verificar su correcto funcionamiento.

Cabe recalcar que la programación de la maquina real es muy similar a la del prototipo con la salvedad que el prototipo no podrá cortar medidas superiores a 55 cm debido a las restricciones físicas la varilla roscada helicoidal. En la maquina real existirá otro tipo de restricción de acuerdo al tamaño de la varilla roscada disponible.

7.2 Desarrollo de método por lotes

Las necesidades de la empresa Ragó no solo se centran en el corte de una medida de tubo, ya que necesita varias medidas longitudinales de tubos para poder ensamblar las carpas. Con esta primicia, se desarrolló un método que pueda recopilar información de varios lotes para proceder a hacer el corte. Al utilizar más de una medida de tubos surge la necesidad de decidir que lote realizar primero para buscar obtener un menor desperdicio, ya que al finalizar la cantidad de cortes del primer lote se procederá a cortar el segundo lote con la pieza restante que dejó la primer serie de cortes. Se acota la explicación con el siguiente gráfico.



Con esta necesidad se desarrolló un algoritmo que busque cuál de esas dos medidas deja un menor desperdicio luego de realizar la serie de cortes. Esta nueva programación produce una mejora sobre el método en serie aplicado sobre cada uno de los lotes pero sigue teniendo un desperdicio grande que significaría en una pérdida significativa de capital para la empresa, es por eso que se buscó nuevas alternativas para minimizar estas pérdidas de material.

Cabe recalcar que existen 2 elementos catalogados como desperdicios. El primero está relacionado con la pieza o piezas del paquete de 4 tubos que no se utilizaron por requerimiento del operario, es decir, si el operario requiere una

cantidad de tubos que no es múltiplo de 4, habrá un desperdicio por no utilizar ese elemento individual. A este tipo de desperdicio se cataloga como *Desperdicio de Pieza*.

El otro desperdicio está relacionado con la parte del paquete que no se utilizó debido a que no se podía realizar otro corte más con la medida requerida. A este tipo de desperdicio se lo llama *Desperdicio de Paquete*.

Este es claramente el desperdicio más dañino a la hora de realizar el proceso de corte porque es un paquete de 4 tubos que posiblemente no pueda ser reutilizado en algún otro proceso, debido a su longitud. El *Desperdicio de Pieza* no tiene un impacto tan significativo ya que la empresa lo puede reutilizar en otros pedidos para otros clientes, ya que, al fabricar una cantidad de medidas limitadas, se puede guardar en stock para hacer uso de estas piezas cuando sea necesario.

7.2.1 Algoritmo de minimización de desperdicios

Este método opcional se desarrolló a partir del método por lotes con la ayuda de un algoritmo que simule cortes virtuales con cantidades variables de cada uno de los lotes. En definitiva, es un método que busca todas las posibles combinaciones entre las medidas de los lotes para encontrar el mínimo *Desperdicio de Paquete*, siempre teniendo en cuenta las cantidades de tubos pedidas por el operario.

A continuación se muestra en la ecuación que representa el método.

$$Valor\ temporal = \sum_{i=1}^3 Cant.(i) + Medida(i)$$

$$Valor\ temporal = Cant.1 * Medida1 + Cant.2 * Medida2 + Cant.3 * Medida3$$

Donde

Cant. (i) = Cantidad de cortes maxima de tubos a ser realizada del lote i

Medida(i) = Medida de los tubos a ser cortados en el lote i

El método inicialmente recopila la información de tres lotes para realizar los cálculos en función a estos parámetros. Con esta información, determinará los valores máximos para cada uno de los lotes.

Al reemplazar los valores en la ecuación genera un valor temporal que será comparado con un valor futuro para saber si la siguiente combinación se acerca más al valor de la longitud total del paquete.

Para lograr encontrar la mejor combinación de los lotes que genere el menor desperdicio, se utilizaron 6 funciones FOR. El primer grupo se compone de 3 FOR que actúan uno tras del otro. Se va variando el valor de las cantidades a utilizar del tercer lote hasta que llegue al máximo valor que se acerca más a los 6 metros. Al llegar a ese valor máximo, el microcontrolador guarda en una variable llamada *Máximo Absoluto* y que será comparado con otros máximos temporales posteriores. Luego reestablece la cantidad del tercer lote e incrementa en una unidad la cantidad del lote 2 rehaciendo la prueba hasta que se llegue a un desperdicio cero o se terminen las cantidades de los lotes a fabricar.

El segundo grupo de FOR actúa de forma similar al primero con la diferencia de que este puede iniciar las cantidades con valor igual a cero, es decir que no se utiliza una medida de lote para esa combinación. Cada vez que se termina un FOR se compara con el valor de *Máximo absoluto* llevando al valor *Máximo absoluto real* al finalizar todas las posibles combinaciones.

A continuación se muestra un extracto del algoritmo para demostrar la función de minimización de desperdicio para un problema de 3 lotes.

*****INICIA FUNCION PRINCIPAL POR LOTES*****

PRINCIPAL:

***** PRIMER FOR *****

FOR A=Ainicial to CC1

' CC1= Cantidad de cortes máxima del lote 1

Temp=0

B=Binicial

C=Cinicial

for B=Binicial to CC2

' CC2= Cantidad de cortes máxima del lote 2

Temp=0

C=Cinicial

for C=Cinicial to CC3

' CC3= Cantidad de cortes máxima del lote 3

GOSUB DENTRODELFOR

next C

Next B

Next A

A=A-1

' Resto uno ya que al salir del FOR Van sumandose una unidad en cada NEXT

B=B-1

C=C-1

GOSUB GUARDA_MIN1

Lcdout \$fe, 1

'Muestro el valor en el LCD

Lcdout " Prueba sin usar"

Lcdout \$fe, \$C0

Lcdout " los 3 LOTES "

PAUSE TiempoMedio*3

if bandera20=1 then
en todos los for)

' SI todavía habían mas cortes por hacer(NO llegaron al máximo

```
if CC1==0 or CC2==0 or CC3==0 then
```

```
    Lcdout $fe, 1                                ' Clear LCD  
    Lcdout " Valores 1er FOR"  
    Lcdout $fe, $C0  
    Lcdout " A=",dec AmaxTemp," B=",dec BmaxTemp," C=", dec CmaxTemp  
    PAUSE TiempoMedio*4
```

```
endif
```

```
endif
```

```
if bandera20=0 then                            ' SI NO hay más cortes por hacer(Ilegaron al máximo en todos los for)
```

```
if CC1==0 or CC2==0 or CC3==0 then
```

```
    Lcdout $fe, 1                                ' Clear LCD  
    Lcdout " Valores 1er FOR"  
    Lcdout $fe, $C0  
    Lcdout " A=",dec A1erFor," B=",dec B1erFor," C=", dec C1erFor  
    PAUSE TiempoMedio*4
```

```
endif
```

```
endif
```

```
***** SEGUNDO FOR *****
```

```
FOR A=0 to CC1
```

```
    Temp=0  
    B=0  
    C=0
```

```
    for B=0 to CC2
```

```
        Temp=0  
        C=0
```

```
        for C=0 to CC3
```



```
GOSUB DENTRODELFOR
```

```
    next C
```

```
  Next B
```

```
Next A
```

```
A=A-1          ' Resto uno ya que al salir del FOR Van sumandose una unidad en cada NEXT  
B=B-1  
C=C-1
```

```
GOSUB COMPARAR_MIN
```

```
GOSUB REALIZAR_CORTE
```

```
End          ' FIN DE FUNCION PRINCIPAL
```

8. Construcción del prototipo

El fin de este prototipo es poder mostrar en forma visual el funcionamiento de todas las piezas siendo analizadas y evaluadas. Además el diseño y construcción del prototipo sirven para poder realizar la máquina real con mucha más precisión y teniendo en cuenta los errores y defectos que se produjeron en el prototipo. A continuación se nombran los elementos que conforman el prototipo con sus respectivas imágenes y comentarios del desarrollo.

8.2 Elaboración de piezas mecánicas

- Bancada

La bancada del prototipo fue realizada en madera con y ensamblada con clavos y tornillos. Posee un recubrimiento de pintura para mejorar la estética y la protección externa. Se eligió este material ya que es fácil de ensamblar y trabajar. A continuación se muestran imágenes del proceso de fabricación.



- Guías de acero cromado, para desplazamiento del carro sujetador

Las guías metálicas utilizadas en el prototipo fueron reutilizadas de una impresora industrial para gigantografías. Poseen una terminación superficial especial para mejorar las condiciones de deslizamiento. Se compone de

acero cromado con superficie auto lubricante. La instalación de estas piezas en la bancada requirió de alta precisión en el momento de la toma de medidas.



- Bujes de bronce

Los bujes fueron mecanizados por un experto a partir del eje de acero cromado. Estos bujes se introdujeron en el interior del carro sujetador de tal

forma que las guías pasen a través del mismo y que rocen únicamente con el buje de cobre.

- Guías de Grilon, para el desplazamiento del paquete de tubos



- Mordazas fijas y móvil

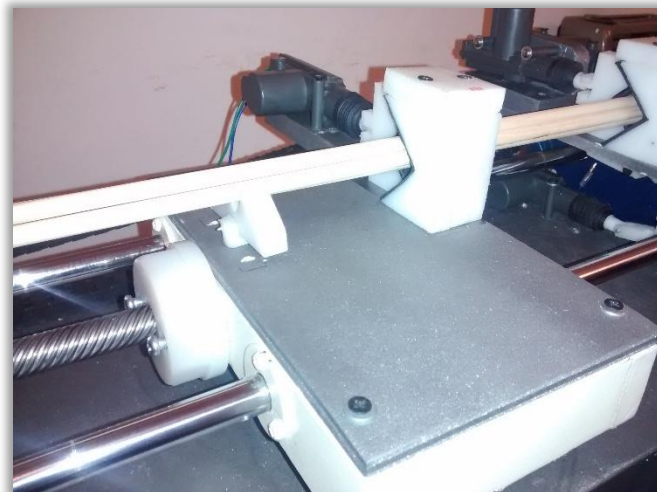
En el desarrollo de las mordazas del prototipo se optó por realizar un patrón estándar para todas las mordazas debido a que las mismas no están sometidas a grandes esfuerzos. Se realizaron de Grilon caladas de una pieza plana inicial.





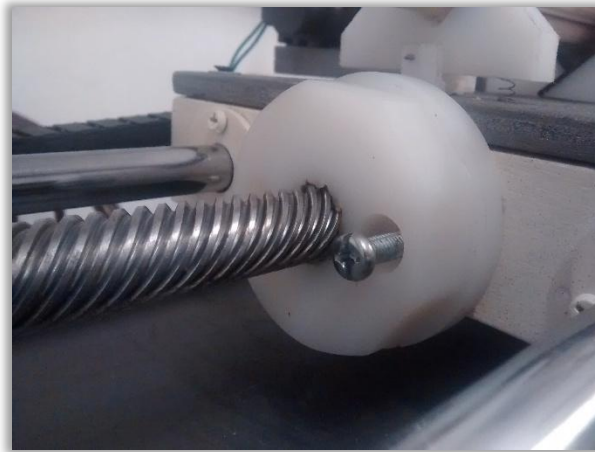
- Carro sujetador

El carro sujetador se desliza sobre las guías pulidas, la posición longitudinal es controlada con una varilla roscada helicoidal de 8 entradas. Estas 8 entradas mejoran sustancialmente el contacto que tiene con la rosca que está asociada al carrito sujetador.



- Tuerca de Grilon

Se mecanizó una tuerca de Grilon con un torno con control numérico computarizado en base a la varilla helicoidal obtenida. La misma poseía 8 entradas para mejorar el contacto entre flancos del helicoide y por esta razón aumenta sustancialmente la velocidad de desplazamiento de la tuerca. Se puede observar que por cada vuelta de la varilla la tuerca avanzara 3 centímetros lineales.



- Sistema de tope mecánico

La necesidad de realizar un alineamiento frontal antes de realizar el corte creo el desarrollo de un sistema de dos eslabones que están asociados a la punta del vástago del pistón eléctrico y la punta de la pieza de Grilon que hace la función de tope mecánico.



- Caja de control

La caja de control fue realizada a partir de una caja para proyectos con las entradas para teclado, pantalla LCD, salidas de los leds que muestran el accionamiento de los actuadores, realimentación, sierra, tope mecánico, mordazas fijas y móviles. Dentro de la caja de control están los apoyos de madera para las placas electrónicas de control general y control de los pistones eléctricos. Otra característica de la caja de control, es la presencia de un botón de emergencia para parar por completo el funcionamiento de la máquina ante posibles accidentes o desperfectos.



- Gabinete para circuito de potencia

El gabinete para el circuito de potencia alberga la placa que controla el motor paso a paso. Este gabinete fue modificado de su forma inicial para adecuarse a las

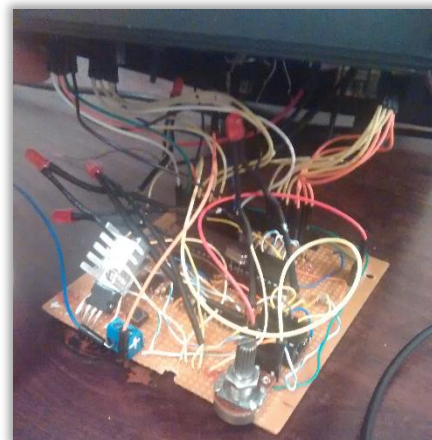
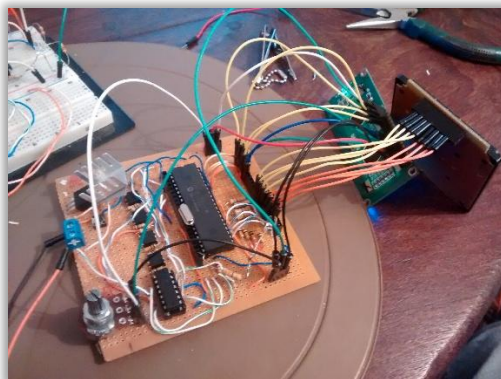
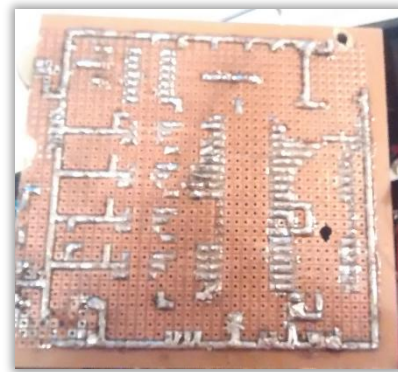
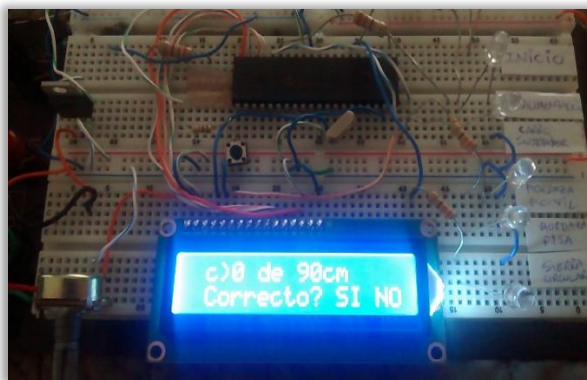
condiciones térmicas que requiere. Se le realizó 8 entradas de aire para refrigerar la placa en el inferior del gabinete. En la parte superior se le realizó un agujero exactamente de la medida del ventilador. El área de succión del ventilador es aproximadamente el área total de todas las entradas inferiores caladas.



8.3 Construcción de circuitos electrónicos

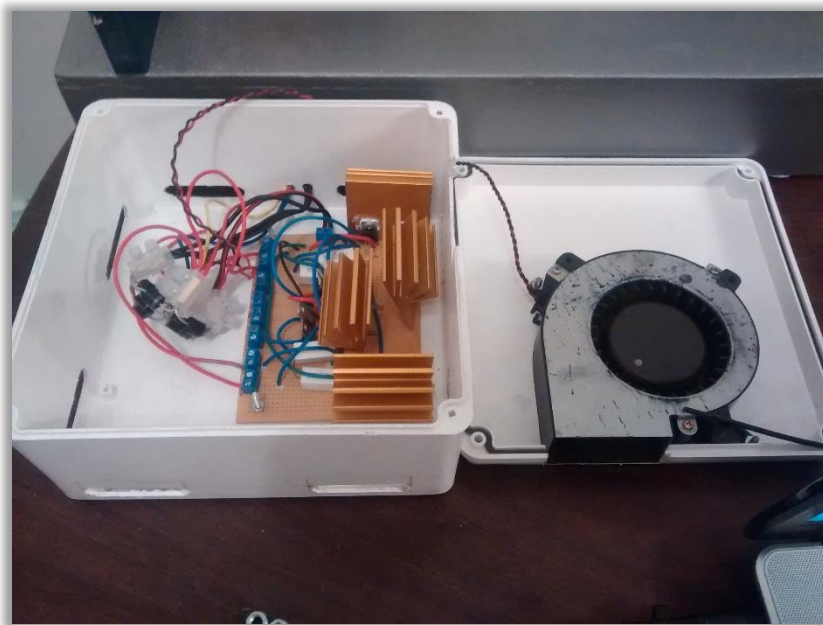
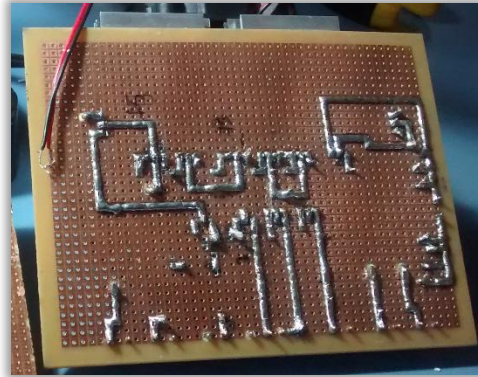
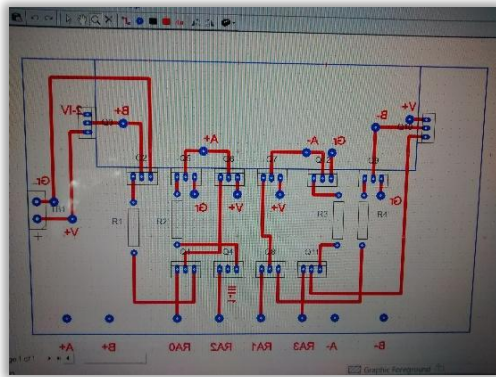
Circuito de control

A continuación se muestra el proceso de construcción de los circuitos de control con la experimentación previa en el *Protoboard*.



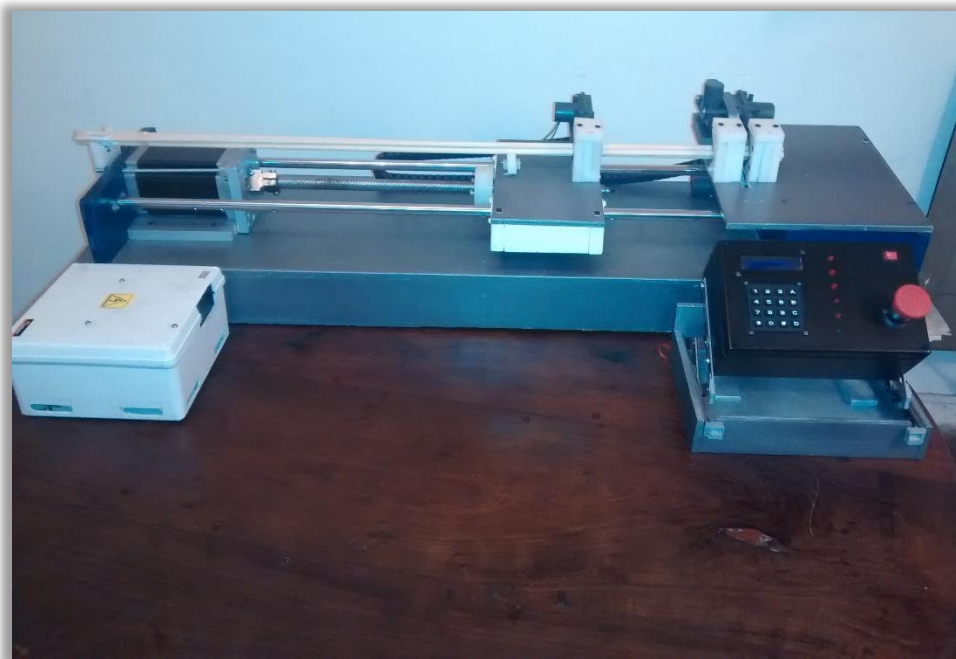
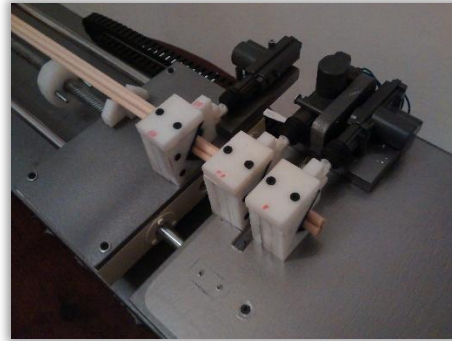
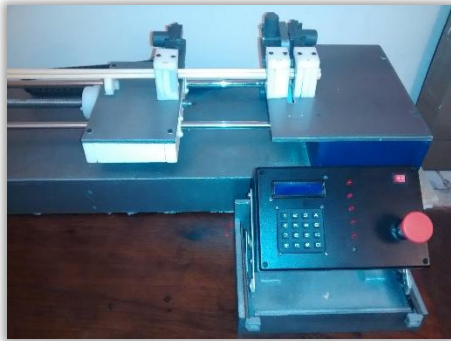
Circuito de potencia

Se muestran imágenes del proceso de construcción y disposición final en el gabinete de protección y refrigeración.



8.4 Prototipo completo

A continuación se muestran las imágenes que componen el prototipo final con los elementos de accionamiento, caja de control y gabinete de potencia que en conjunto logran el fin requerido por este proyecto final de ingeniería.



9. Análisis y evaluación

Se pudo corroborar el funcionamiento de todas las piezas en conjunto de acuerdo con lo planificado y con las limitaciones con las que se partió inicialmente. El prototipo funcional logró utilizar la energía eléctrica provista de la fuente para direccionar su utilización hacia cada uno de los actuadores establecidos en el prototipo en el momento preciso para su uso.

Se pudo evidenciar que la utilización de madera no es la ideal para la construcción de maquinaria pesada ya que requiere soportar el desgaste y los esfuerzos del montaje y desmontaje de piezas en la puesta a punto de la máquina pero se concluye que por fines de demostración de funcionamiento de los elementos eléctricos y electrónicos satisfizo todos los requerimientos.

La puesta a punto de la máquina requirió mucha precisión al momento de alinear las guías de acero ya que un leve desalineamiento ocasionaba un aumento significativo de la fuerza de rozamiento que experimentaba el carro sujetador al desplazarse. Para este proceso se utilizó un calibre o pie de rey para obtener la precisión necesaria.

Se pudo evidenciar el excelente rendimiento del Grilon que se concluye que se puede utilizar en proyectos simples hasta exigencias industriales. Tiene una gran facilidad para conformar las piezas deseadas con herramientas de potencia limitada.

El proceso de funcionamiento del motor de pasos requirió una considerable cantidad de tiempo debido a que se debía experimentar con el tiempo entre pulsos de tal manera que se aumente la velocidad de giro del motor pero sin llegar a perder

una significativa cantidad de torque que provocara que el motor no logre rotar el eje helicoidal que genera el desplazamiento longitudinal del carro sujetador.

10. Posibles Mejoras

Uno de los propósitos de la creación del prototipo funcional de la máquina automática para el corte de tubos es lograr identificar los elementos para mejoras futuras en la máquina real que trabajará en la empresa *Ragó*. En el presente tratado se mencionan los elementos que se podrían cambiar para mejorar la eficiencia, estética y funcionalidad de la máquina

Para obtener una estructura más resistente a las exigencias que tiene una empresa industrial, se debe utilizar acero para su bancada y soportes.

El desarrollo de la programación por lotes es un método muy efectivo para lograr minimizar las perdidas pero se puede mejorar el algoritmo de programación adjuntando un método que analice las combinaciones que logran un desperdicio nulo y determine cuál de esas opciones conviene más en el caso de que haya más de una opción.

11. Conclusiones

Con la presente tesis se pudo consolidar los conocimientos aprendidos en la universidad en conjunto con una ardua investigación para lograr resultados que beneficiarán en productividad a la empresa *Ragó*. Se pudo aplicar conocimientos de física, costos industriales, electrónica, programación por computadora, mecánica, diseño asistido por computadora, entre otros.

Se desarrolló un algoritmo que pudiese reducir los desperdicios producidos por el proceso productivo para beneficiar económicamente a la empresa. En este ámbito se utilizó varios métodos para encontrar el más efectivo. Se probaron métodos en los que se busca cuál de las medidas de los lotes era la que producía mínimo desperdicio del paquete pero esta forma tiene muchas falencias ya que no se toman todas las posibilidades. Luego se utilizó los principios de cálculo numérico para desarrollar un método que combina todas las medidas llegando a la conclusión de que el método combinatorio, en el que se prueban todas las distintas posibilidades de corte es el más efectivo para tener la mínima pérdida

Se decidió lograr un proyecto que se aproxime de una mejor manera a la realidad al desarrollar un prototipo funcional en los límites establecidos, logrando conocer todas las acciones para la construcción de una máquina automática. De esta manera se puede corroborar las investigaciones teóricas aplicándolas a la práctica.

Se realizó decisiones logísticas al utilizar un mismo modelo de cilindros neumáticos para que la empresa no destine capital a repuestos diferentes para asegurarse que la máquina este en continuo funcionamiento. De esta manera se reduce el capital inmovilizado de la empresa, derivando en otros beneficios monetarios para Ragó.

Se aplicaron diversos métodos de análisis aprendidos en la universidad para lograr concretar un objetivo planteado inicialmente y de esta forma conseguir beneficios a nivel de satisfacción personal y a nivel de productividad para la empresa Ragó.

Se puede concluir que la utilización de la presente máquina beneficia económicamente al mejorar la velocidad de producción de los cortes, eliminando el inicial cuello de botella y reduciendo el tiempo total de la producción. Al ser una

máquina automática, el tiempo que anteriormente se destinaba para realizar el proceso de corte fue reemplazado por un mínimo tiempo que el operario destinará para la supervisión del proceso.

12. Fuentes bibliográficas:

- Tubos redondos Dipac”. Internet.
http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=1003#. Acceso 07/06/2014
- “Ventajas y desventajas de la neumática”. Internet.
www.tecnicamaritima.com/servicios-navales/132-ventajas-y-desventajas-de-la-neumatica.html . Acceso 30/05/2014
- <http://www.industrialtube.com/client/images/A513.pdf>. Acceso 25/8/14
- “Coeficientes de rozamiento”. Internet.
http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htmhttp://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm. Acceso 30/08/14
- “Friction coefficient rubber-steel”. Internet.
http://www.diracdelta.co.uk/science/source/f/r/friction/source.html#.VBG_PPmSypo. Acceso 11/09/14
- “Coeficientes de rozamiento”. Internet.
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/general/rozamiento.htm>. Acceso 07/07/2015
- “Grilon”. Internet. <http://www.nth.com.ar/es/60/aplicacion/barra-cuadrada-grilon-natural-10-mm-x-1000-mm-de-largo.aspx>. Acceso 04/07/15
- “Motores paso a paso”. Internet. <http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors/>. Acceso 04/07/15

10. Anexos

Anexo 1: Algoritmo de programación completo