

# Diseño de Cortadora para perfil tubular, tendiente a automatizar su proceso.

## Cutter design for tubular profile, tending to automate your process.

Alfonso Campos Vázquez, Master of Science<sup>1</sup>, Alejandro Escamilla Navarro, Master of Science<sup>2</sup>, Antonio González López, Master of Science<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional (IPN) Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA), Av. Instituto Politécnico Nacional 2580, La Laguna Ticomán, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, México, C.P. 07340, e-mail: [ing\\_campos@hotmail.com](mailto:ing_campos@hotmail.com). <sup>2</sup>Instituto Politécnico Nacional (IPN) Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Hidalgo (UPIIH), carretera Pachuca Actopan Km 1+500, Ciudad del Conocimiento y la Cultura, San Agustín Tlaxiaca Hidalgo C.P. 42162, México, [aescamillan@ipn.mx](mailto:aescamillan@ipn.mx)

*Resumen— El presente trabajo muestra el diseño y construcción de un prototipo de cortadora circular semiautomática para perfil tubular redondo, utilizando una sierra perforadora bimetálica (sacabocados) como herramienta de corte. El prototipo corta tubería de 3/4 in a 2 in de diámetro en distintos grados de incidencia, que van desde los 90 a los 60 grados. A través de una interfaz gráfica de usuario (GUI) el operario selecciona el ángulo de incidencia de corte, así como el diámetro de la tubería, de esta forma el prototipo obtiene los parámetros de avance y velocidad de la GUI para realizar el proceso de manufactura. Este prototipo tiene como finalidad apoyar los trabajos que realiza el capítulo estudiantil BAJA-SAE, asociación estudiantil que desarrolla vehículos monoplace todo terreno de acuerdo con lineamientos de la Sociedad de ingeniero Automotrices SAE.*

*Palabras clave— Cortadora circular, sierra de copa, tubería, análisis funcional, metodología de diseño.*

*Abstract— The present work shows the design and construction of a semi-automatic circular cutter prototype for a round tubular profile, using a bimetallic hole saw (punch) as a cutting tool. The prototype cuts 3/4-inch to 2-inch diameter pipe at varying degrees of rake, ranging from 90 to 60 degrees. Through a graphical user interface (GUI) the operator selects the cutting incidence angle, as well as the diameter of the pipe, in this way the prototype obtains the advance and speed parameters of the GUI to carry out the manufacturing process. The purpose of this prototype is to support the work carried out by the BAJA-SAE student chapter, a student association that develops single-seat all-terrain vehicles in accordance with the guidelines of the SAE Automotive Engineering Society.*

*Keywords— Circular cutter, hole saw, pipe, functional analysis, methodology of design.*

### I. INTRODUCCIÓN

“La producción automatizada es una solución integral de punta a punta: transparente, generadora de confianza y eficiente. Ésa es la promesa de la Automatización Industrial

[1]...” En el capítulo estudiantil de la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas, por desgracia aún se realizan algunos procesos de forma artesanal, debido a falta de recursos institucionales que permita que todas las actividades de manufactura se realicen con tecnología avanzadas. Este es el caso del corte circular de perfiles tubulares redondos, dicha actividad se repite con distintas especificaciones (ángulo de incidencia o diámetro del corte), por lo que el uso de maquinaria especializada en las Mipymes [2] resulta en un alto costo para el beneficio que entrega, en comparación a las grandes empresas que requieren grandes volúmenes de piezas con características similares para la elaboración de un producto.

La automatización de este proceso para el ensamble de estructuras tubulares, que permita realizar una gran variedad de cortes, para diferentes diámetros de tubería, donde el operario solo tendrá que colocar el material a cortar y ajustar parámetros en una interfaz gráfica ayudaran a agilizar la tarea en cuestión. Este trabajo presenta la propuesta para el desarrollo de un prototipo de cortadora circular semiautomática para perfil tubular redondo por medio de una sierra perforadora bimetálica conocida como sacabocados, dicha herramienta se sujetará a un cabezal que se desplazará hasta cortar el material (tubería), incidiendo en gran variedad de ángulos (entre 90° y 45°). De esta manera el material tendrá un corte circular de varios diámetros, implica considerar varias herramientas de corte, permitiendo la unión de tubería en distintas posiciones.

La idea de concebir una herramienta cortadora de tubo semiautomático, surge en el capítulo estudiantil BAJA-SAE-UPIITA, formada por un grupo de estudiantes fundamentalmente de la carrera de ingeniería mecatrónica; quienes atienden la convocatoria que la sociedad de ingenieros automotrices (SAE [3], por sus siglas en inglés), la cual propone el diseño y construcción de un prototipo de vehículo monoplace todo terreno, considerando una serie de requerimientos dimensionales, de seguridad, potencia, etc.

Uno de estos requerimientos está relacionado con la unión por soldadura de tubos, los cuales si no están bien cortados conducirá a una unión deficiente por tanto insegura, y dado que este es un requerimiento, el prototipo no sería apto para competir; este sistema de tubos soldados corresponde al denominado chasis del vehículo, formado por tubos que deben ser unidos mediante soldadura, previa conformación en sus extremos para empalmar con superficies cilíndricas, las cuales son realizadas de manera artesanal (ver figura 2). Lo cual consume mucho tiempo y su acabado es de poca calidad con empalmes deficientes; en competencia, entre universidades, esto puede implicar la diferencia entre ser de los equipos sobresalientes o no. También se debe tomar en cuenta las limitaciones económicas que los alumnos enfrentan, dado que, al ser una actividad extracurricular, la atención a este capítulo estudiantil, dependen solo de las aportaciones de los alumnos que pertenecientes al este equipo. Por tanto, se tiene que concebir un dispositivo, funcional, pero a bajo costo. Esto implica que la manufactura debe ser realizada con el uso de las instalaciones del instituto y mediante el uso racional de todo tipo de recurso necesario.

*Remoción de material.* Procesos donde se modifica la forma de un material, se realiza mediante varias técnicas, como se representa en la figura 1.



Fig. 2 Técnica de desbaste de material mediante piedra de esmeril.



Fig. 3 Técnica de corte de material por medio de sierra perforadora bimetálica.

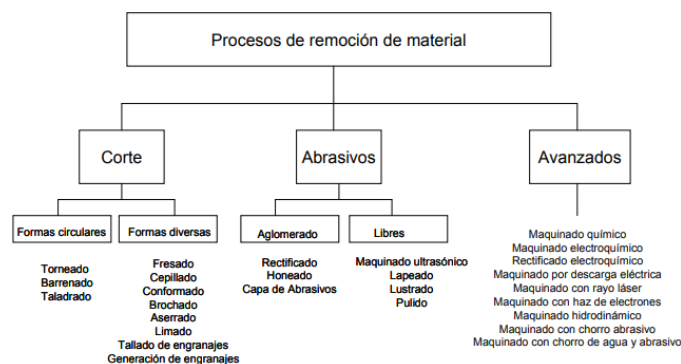


Fig. 1 Cuadro sinóptico de los Procesos de remoción de material [4].

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el capítulo estudiantil, para el desarrollo de su prototipo de vehículo monoplaza todo terreno, utilizan dos técnicas en la preparación del chasis, uno es remoción de material mediante piedra de esmeril tal como se muestra en la figura 2. El cual depende de la habilidad del alumno.

Y corte de material por medio de sierra perforadora bimetálica, mostrado en la figura 3. Dichas técnicas presentan desventajas en el acabado final, dado que son técnicas manuales, dependientes de la destreza del alumno, que normalmente no es mucha.

Para solventar esta situación, se plantea el desarrollo de un prototipo semiautomático, conformado por los siguientes subsistemas:

- Estructura de la cortadora, la cual contempla una base para el prototipo, soportando los elementos que la conforman.
- Sistema de movimiento, el cual será capaz de desplazar y rotar el sacabocados hasta cortar el material, además de girar, en distintos ángulos de incidencia la base que soporta al cabezal portador de la herramienta de corte.
- Sistema de alimentación y potencia para los actuadores del prototipo.
- GUI, la cual contempla una interfaz que despliegue los parámetros requeridos para él corte.
- Sistema de procesamiento, conformado por un dispositivo electrónico, el cual controlará las funciones del prototipo y contempla los circuitos electrónicos.

*Metodología.* Para realizar el diseño de este prototipo de ingeniería, se recurre a un proceso sistemático, donde se siga el método científico, evaluando y detallando dispositivos, sistemas y procesos. Ya que a que el proceso de construcción en la ingeniería debe estar basado en una serie de pasos fundamentados y justificados en los principios físicos y la correcta toma de decisiones, tomando como una guía la metodología desarrollada por Nigel Cross [5], aplicando las etapas descritas a continuación:

- Gestión del proyecto, donde se establecen los requerimientos y necesidades a cubrir.

- Diseño conceptual, el cual contempla la definición del objetivo en metas más específicas, descomponiendo tareas por el sistema al que corresponden.
- Diseño preliminar, aquí se establecen ideas basadas en la heurística y situación actual, como ante sala del diseño detallado.
- Diseño detallado, contempla el desarrollo del proyecto de forma teórica a través de los principios físicos que definen el funcionamiento de este.

En el siguiente apartado, desarrollo, mostramos la concepción a la que se llegó, después de la aplicación de las cuatro fases citadas.

### III. DESARROLLO

#### A. Gestión del proyecto, donde se establecen los requerimientos y necesidades a cubrir.

La idea general para el desarrollo de este proyecto de diseño se concibe en la figura 4. Se parte de perfil tubular el cual será procesado con cortes redondos para la fabricación de un chasis.

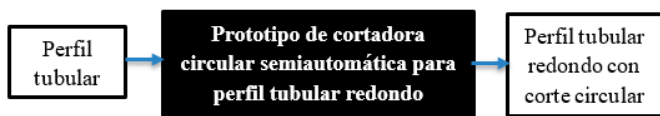


Fig.4 Caja negra del prototipo de cortadora circular semiautomática para perfil tubular redondo

El dispositivo que se propone en este trabajo, consiste en emplear una sierra perforadora bimetálica para lograr una cavidad uniforme y llevar a cabo el proceso de corte en el mínimo de tiempo posible. Al automatizar la parte crítica del proceso (cortar), evita los errores de contorno obtenidos en la operación manual, el operario del prototipo solo deberá ocuparse de seleccionar la herramienta de corte adecuada y establecer los parámetros de corte requeridos para cortar el material, diámetro, calibre y resistencia del tubo.

Para establecer las especificaciones de diseño del dispositivo, se toman las necesidades o deseos del “cliente” (en este caso los usuarios) las cuales son:

- Seguridad para el usuario
- Facilidad de operación
- Cortar perfil tubular de diámetros variados
- Cortar perfil tubular de calibres variados
- Cortar perfil tubular de longitudes variadas
- Cambio de herramienta de corte sencillo
- Conexión eléctrica a toma doméstica
- Cortar perfil tubular en varios grados de incidencia
- Sistema de paro de emergencia
- Dimensión reducida
- Proceso realizado en poco tiempo
- Costeable

- Facilidad de sujeción del perfil tubular
- Mostrar información del corte
- Mantenimiento sencillo
- Estabilidad de la estructura
- Automatización flexible
- Optimización del proceso de emboquillado
- Facilidad de manufactura

A partir de estas necesidades se establece la arquitectura funcional y física:

#### Arquitectura funcional

- Suministrar energía
- Procesar datos
- Sujetar perfil
- Girar perfil
- Cortar perfil

#### Arquitectura física

- Sistema de alimentación
- Sistema de procesamiento
- Sistema de sujeción
- Sistema de giro
- Sistema de corte

Tomando en cuenta lo enlistado, se establece a continuación en la figura 5, el diagrama de las áreas funcionales del proyecto a partir de las cuales se desglosarán las soluciones:

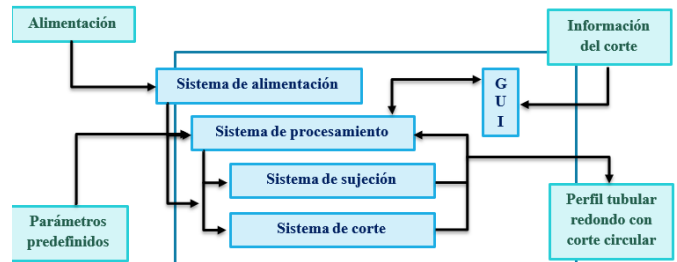


Fig.5 Áreas funcionales del prototipo de cortadora circular

#### B. Diseño mecánico.

El sistema de corte se divide en dos subsistemas, los cuales son el avance de todo el mecanismo para incidir en el material a cortar y el corte mismo, este último contempla la herramienta de corte y su movimiento. Se obtuvo la potencia necesaria para realizar el corte en la tubería, así como las rpm al momento del corte al realizar un ensayo con un motor de C.A. de 3/4 Hp.

La herramienta de corte se sujeta a un taladro con la potencia necesaria, tal como se indica en la figura 6, consiste en la concepción de este subsistema mediante el apoyo de paquete de diseño SolidWorks, dado que es que el instituto tiene permiso de uso.

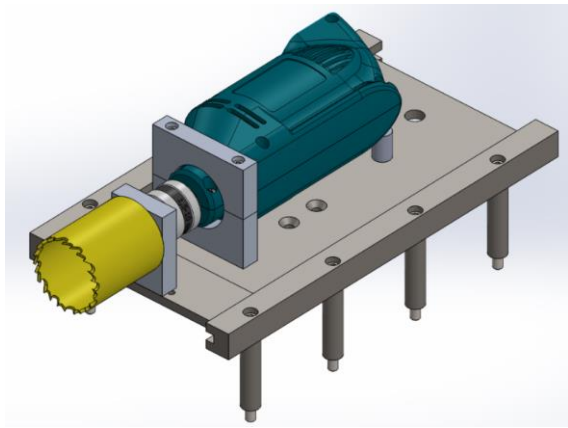


Fig. 6 Vista ortogonal del subsistema de corte en ambiente CAD

Se debe elegir un “broquero” de dimensiones tales que permitan la sujeción del mandril y el sacabocados en sus distintas presentaciones. Para esto primero se elige el sacabocados adecuado para las condiciones de trabajo y los requerimientos del corte, figura 7.



Fig.7 Sacabocados sujetos al mandril porta herramienta [5]

*Sistema de sujeción.* En este ensamble el material a cortar será sujetado por un par de mordazas que no deberán ceder al momento generado por la herramienta de corte al incidir con la tubería, cumpliendo con dos condiciones muy importantes: mantener sujeto el tubo y evitar interferencias al momento de realizar el corte. Para esto último, se trazó la trayectoria final del sacabocados al realizar el corte crítico, donde la herramienta se encuentra más cerca de las mordazas. La figura 8 muestra en ambiente CAD, el diseño del dispositivo de sujeción propuesto. Se debe reducir la separación entre las mordazas y la herramienta de corte, para reducir vibraciones al realizar el corte, pero evitando que la sierra tenga contacto con las mordazas, esto dañaría tanto mordazas como herramienta de corte.

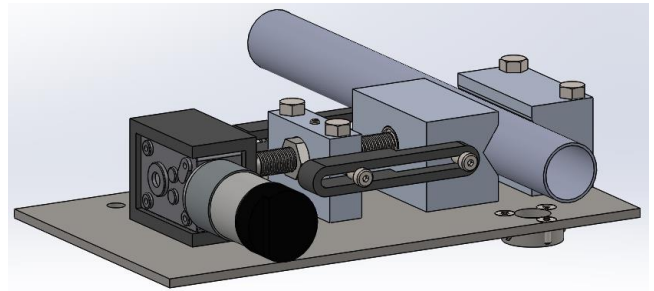


Fig. 8 Vista ortogonal del ensamble del sistema de sujeción, en ambiente CAD.

*Sistema de giro.* Este sistema permite proporcionar el ángulo de corte respecto al eje longitudinal de tubo. Contempla los elementos que posicionan al tubo para su corte, sistema de particular importancia, dado que permitirá unir adecuadamente la partes y obtener un chasis dimensionalmente correcto, lo que a su vez permitirá posicionar los otros sistemas de vehículo monoplaza. Si se concibe con el menor número de elementos posibles redundará en un control simple.

Con un motor unido a la placa inferior del subsistema de avance, y mediante engranes que transmiten la posición del eje del motor a un potenciómetro que funge como indicador del giro al sistema de control, se posicionará a ángulos determinados, la posición relativa entre tubo a cortar y sistema de corte, figura 9.

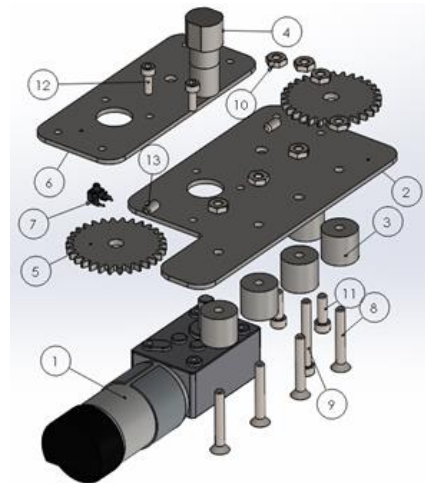


Fig. 9 Sistema para giro de mordaza, posiciona el ángulo de corte.

*Subsistema de avance.* Es un grupo de bloques de aluminio y las guías lineales junto con el tornillo ACME. Se colocan sobre la placa inferior del sistema, posteriormente un motor de CD se acopla al tornillo junto con su base para evitar que gire al momento de iniciar el movimiento. Finalmente, el subsistema de corte es ensamblado, figura 10.

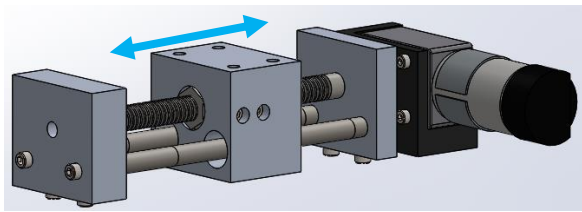


Fig. 10 Vista en perspectiva del subensamble de avance

Este sistema de avance va colocado entre dos placas, una fija y otra móvil, sostenidas mediante 8 postes y dos guías laterales a la placa móvil, lo que muestra en la figura 11.

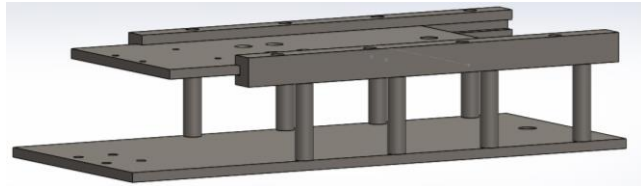


Fig. 11 Vista en perspectiva del subensamble de avance

**Estructura.** Este elemento debe de unir a todos los sistemas y mantenerlos fijos en todo momento sin permitir que cambien de posición, además de resistir los esfuerzos que estos produzcan. Para reducir las vibraciones la estructura ha adoptado nuevas dimensiones, disminuyendo su altura y aumentando la base en que reposa el sistema de sujeción. Se propone un perfil estructural cuadrado hueco de 1 pulgada.

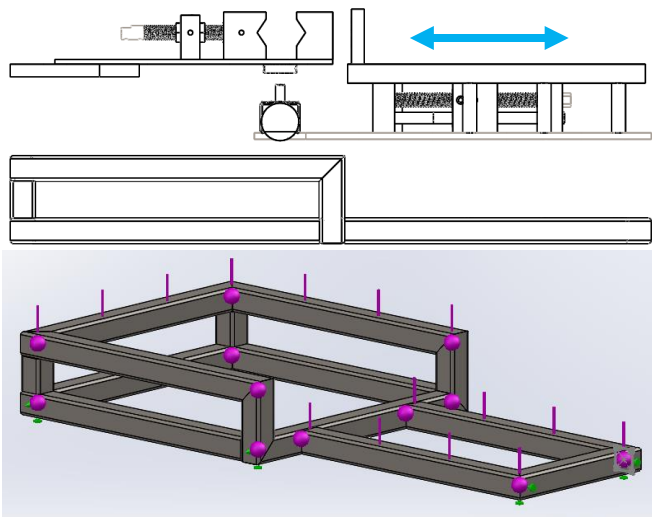


Fig. 12 Vista frontal de la estructura sistemas apriete y avance, y ortogonal

La validación de la estructura se analiza a través de un estudio estático, considerando las cargas a soportar. Colocando sujeción en los nodos de apoyo de la estructura, así mismo en las vigas donde está en contacto el sistema de avance, una carga de 122.6 N, y del lado donde más alto de la estructura, específicamente en las vigas, donde entra en

contacto el sistema de sujeción, una carga de 65.7 N. Los resultados que proporciona el paquete de elementos finitos se muestran en la figura 13.

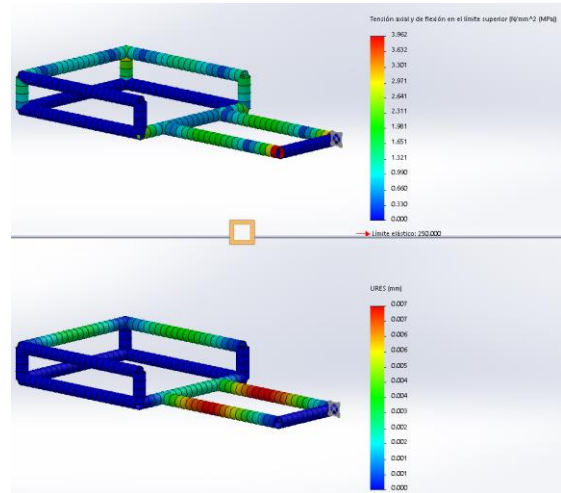


Fig. 13 Resultado de esfuerzos por Von Mises y desplazamiento de la estructura

Los valores obtenidos del análisis de esfuerzos son presentados en la tabla I. Se observa que tanto los esfuerzos como los desplazamientos, para las dimensiones seleccionadas son muy pequeñas, esto puede invitar a pretender reducir el tamaño de los perfiles de la estructura.

TABLA I  
ESFUERZOS Y DEFORMACIONES DE LA ESTRUCTURA

Resultado	Valor mínimo	Valor máximo
Tensiones por Von Mises	-----	3.96 MPa
Desplazamientos	-----	0.007 mm.

Aunque los valores de esfuerzos y desplazamientos son sumamente pequeños, no se reduce el tamaño del perfil porque utilizar un perfil de menor tamaño dificultaría su manufactura, soldar, y pudiera provocar vibraciones mecánicas inadecuadas, debido a diversos factores como la velocidad rotacional de la herramienta de corte y los motores de CD, además de posibles desalineaciones, de ahí se realiza un estudio modal, obteniendo las frecuencias naturales del sistema, mostradas en la siguiente imagen. Posibles modos de vibración simulados, se muestran en la figura 14.

**Ensamble.** Está pensado para montar sistema por sistema, es decir, cada sistema debe estar ensamblado particularmente, para después colocarlo sobre la estructura, con el fin de que estos se encuentren alineados y sea fácil de armar sus componentes. El ensamble fundamental se muestra en la figura 15.

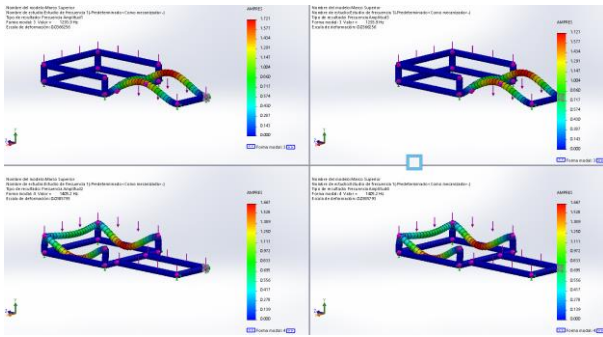


Fig. 14 Modos de vibración posibles.

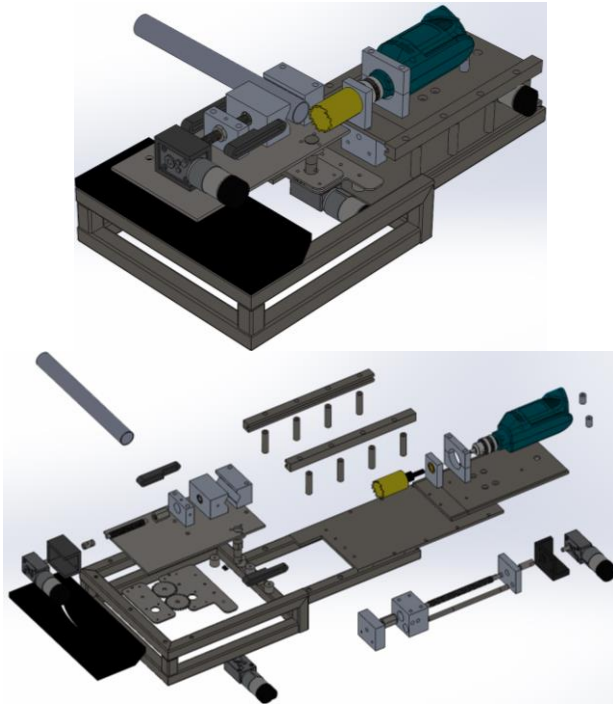


Fig. 15 Sistema mecánico integrado, en ambiente CAD.

### C. Sistema de alimentación.

El sistema de alimentación se divide en dos subsistemas los cuales son:

- Alimentación necesaria para la etapa de control el cual está compuesto en su mayoría de elementos electrónicos los cuales se les suministra un voltaje de 5V.
- Alimentación necesaria para motores de corriente directa encargados de realizar las acciones de los sistemas de corte, sujeción y giro para estos motores se le suministrara un voltaje de 24V.

*Subsistema de alimentación para el sistema de control.* Se estimó un consumo teórico de los elementos que lo conforman consultando la hoja de especificaciones de cada uno, cabe mencionar que todos estos elementos, que a continuación se enlistan en la tabla II, funcionan mediante un voltaje de entrada de 5 V CD.

TABLA II  
CONSUMO DE CORRIENTE POR COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL

	Tensión	Corriente	Potencia
Raspberry PI 3B	5 V	2,500 mA	5 W
LCD touch 3.5"	5 V	130 mA	0.65 W
Arduino uno	5 V	81 mA	0.4 W

*Subsistema de alimentación motores DC.* Para este sistema de alimentación se tomaron en cuenta las características de consumo de los motores, mostrados en la tabla III:

TABLA III  
CONSUMO DE CORRIENTE MOTORES DC

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Motor de sujeción	427 mA Max	769 mA Max	926 mA Max
Motor de avance	267 mA	183 mA	320 mA
Motor de giro	187 mA	174 mA	205 mA

Para la prueba de sujeción se tomaron tubos de diferente diámetro y se midió la corriente máxima necesaria para que estos no se movieran. La primera prueba se realizó con un tubo de 3/4", la segunda prueba se realizó con un tubo de 1 1/2" y la tercera prueba se realizó con un tubo de 2 pulgadas de diámetro, dado que esta última demandaba la mayor cantidad de corriente (aprox. 1 Ampere).

Para las pruebas del motor de avance simplemente se colocó sobre el sistema de avance en construcción y se midió la corriente consumida por el motor, cabe mencionar que esta corriente consumida fue variable ya que al no estar completamente terminado el sistema en algunas partes del trayecto el consumo de la corriente aumentaba, aun así se pudo observar que la corriente máxima consumida por este motor es de 400 mA

Para las pruebas del motor de giro se probaron al mismo tiempo de la contracción del sistema, una ventaja que se obtuvo es el apoyo de la placa de Nylamid, la cual evitaba que todo el peso recaiga sobre el eje del motor, arrojando una corriente máxima de 230 mA

Una vez teniendo la corriente consumida por cada motor se tomó la corriente máxima, en este caso es la corriente de sujeción (1 A), para detallar del sistema de control que solo puede encender un motor a la vez.

Se propone el uso de un sistema básico de rectificación por diodos y filtrado por un elemento de segundo orden (condensador), ya que el voltaje suministrado por este subsistema solo alimenta los motores.

### D. Interface Hombre-Máquina.

La interfaz gráfica de usuario mostrará los parámetros de selección de corte y herramienta del prototipo, en ella el usuario podrá establecer los parámetros de trabajo en las diferentes pantallas de la interfaz gráfica de usuario GUI.

- Facilidad de operación
- Selección del diámetro de tubo

- Selección del calibre del tubo
- Selección de la herramienta
- Selección de los grados de incidencia
- Mostrar información del corte
- Automatización flexible

Como se aprecia en la lista pasada algunas de las características son directas de las necesidades y requerimientos del prototipo, esto para poder cumplir con ello.

Para poder realizar estas acciones se disponen de cuatro ventanas:

- Principal
- Corte
- Herramienta
- Estado del corte

La ventana principal contendrá tres botones, los primeros dos mostrarán las pantallas correspondientes para ajustar los parámetros de corte y de la herramienta, el tercer botón ejecutará el corte y mostrará el proceso. Figura 17.



Fig. 17 Pantalla Principal de interfaz gráfica

En figura 18 se muestra la pestaña de descripción de corte el valor del ángulo de incidencia es cero, ya que será el valor de HOME de la máquina.

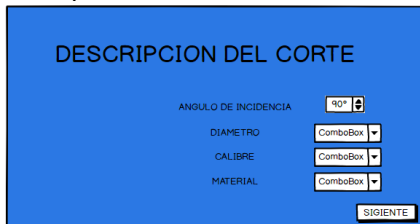


Fig. 18 Descripción del corte en interfaz gráfica

En figura 19 se muestra la pestaña pantalla que solicitará los datos de la herramienta de corte, el alto y en diámetro del cortador.

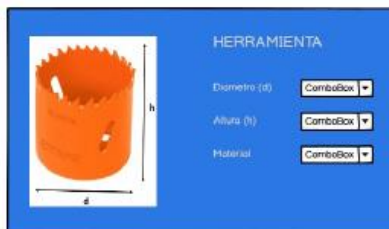


Fig. 19 Descripción de herramienta de corte en interfaz gráfica

Por último, se muestra en la figura 20 el diagrama de flujo base de para la programación del sistema de control.

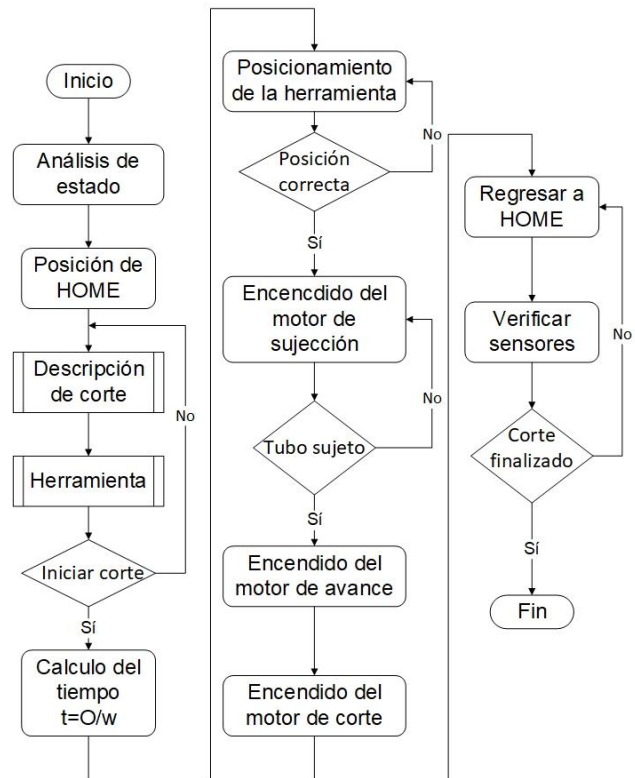


Fig. 20 Diagrama de flujo para el sistema de control

Finalmente se presenta el dispositivo manufacturado y en funcionamiento, figura 21.



Fig. 21 Cortadora para tubo.

### III. CONCLUSIONES

Las pruebas de sujeción, posicionamiento del tubo con el ángulo seleccionado, así como el corte, resultaron exitosas, esto es se obtienen piezas con curvatura bien definida que al

colocarse en el tubo donde se ensamblarán embonan adecuadamente.

La detección correcta de especificaciones y un análisis funcional, una vez más, demuestra ser la mejor ruta para plantear y solucionar problemas en ingeniería. El uso de herramienta de computo como programas de CAD, CAE, facilitan no solo el análisis mecánico, sino fomentan la imaginación de los estudiantes, así como la enseñanza de la ingeniería.

Como trabajo futuro, pero inmediato es la manufactura racional del sistema mecánico propuesto, así como su integralidad con el sistema de control.

#### AGRADECIMIENTOS

Deseamos reconocer el apoyo al Instituto Politécnico Nacional, gracias a su infraestructura humana y física, que permite se lleven a cabo proyectos de desarrollo y aplicación tecnológica para plantear soluciones factibles a sectores específicos como son la pequeñas y medianas industrias en México. A la UPIITA por otorgar las facilidades para el desarrollo de las actividades del capítulo BAJA-SAE-UPIITA. A la sociedad de ingenieros automotrices, SAE México, por fomentar la participación de estudiantes a competencias estudiantiles donde se detectan necesidades no solo de la industria automotriz.

#### REFERENCIAS

- [1] A. Portella, «Industria 4.0, una revolución que se retrasa en México,» Forbes México, 2 mayo 2018.
- [2] Mipymes: Micros y pequeñas empresas, INEGI, «Industrias Manufactureras,» INEGI, Ciudad de México, 2009.
- [3] SAE Society of automotive engineers, <https://www.sae.org/>
- [4] O. Eraso G., «Procesos de Manufactura para ingeniería Industrial,» Bogotá, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2008.
- [5] N. Cross, Engineering Design Methods: Strategies for Product Design, 5th Edition WILEY, 2021.