



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**IMPLEMENTACIÓN DE MÁQUINA PARA GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE HOJAS**

**DE CORTE, LEAR CORPORATION**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21241097**

**MIGUEL ABRAHAM RIVERA PINEDA**

**ASESOR: ING. DARWIN REYES**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA;**

**ENERO, 2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

Indudablemente y siempre en primer lugar, quiero agradecer a Dios por brindarme todas las oportunidades, sabiduría y energía para alcanzar esta y muchas metas más en mi vida.

Seguidamente a mi amada familia, mi vida no será suficiente para retribuirles todo su amor y paciencia. Estoy inmensamente agradecido, en especial con mis dos padres, por todos sus consejos, apoyo incondicional, paciencia y motivación brindado a lo largo de mi vida. Muchas de mis metas habrían sido imposibles si mis dos padres no formaran parte de mi educación, esculpiendo mi carácter y personalidad, además de ser ejemplos claros de perseverancia y disciplina.

Seguidamente quiero agradecer a UNITEC, por haberme prestado un ecosistema de conocimientos y experiencias necesarias para el éxito profesional, en especial al Ing. José Luis Ordoñez, por haberme impulsado a desarrollar proyectos tecnológicos desafiantes. Además, quiero destacar la gran labor de muchos de mis catedráticos y compañeros de clases, les agradezco por todas las valiosas lecciones no solo en el ámbito académico sino también en el personal.

Un fuerte agradecimiento a mi abuelo Jacinto Pineda, El cual con su ejemplo y carácter me heredo grandes principios de vida.

La presente obra la dedico a mi familia, mi fundamento y apoyo inamovible durante los momentos más difíciles de este camino.

## RESUMEN EJECUTIVO

Es común encontrar en las industrias de países donde la mano de obra tiene un menor valor que varias operaciones complejas que requieren varios grados de libertad sean ejecutadas por operadores humanos. Esto genera una fuente de empleo a una gran población de nuestro país, pero reduce en gran medida la eficiencia de la empresa y contribuye a la probabilidad de encontrar un defecto en el producto elaborado debido al error humano o estadístico.

La finalidad de esta tesis es poder realizar la investigación correspondiente en LEAR Corporation sobre la automatización de un proceso específico, el cual consiste en medir los diferentes circuitos que conforman un arnés automotriz y disponer de estos automáticamente en un formato digital para aumentar la eficiencia y disminuir la probabilidad del error humano.

Al recibir un nuevo modelo de arnés para automóvil o implementar un cambio en uno ya existe es necesario fabricar un arnés según las nuevas especificaciones y medir cada uno de sus circuitos y de esta forma llenar una "Hoja de Corte" con la cual el proceso de corte de los circuitos puede empezar.

La ejecución humana de este proceso genera un proceso extra y de larga duración en el proceso de generación de las Hojas de Corte. Al mismo tiempo este genera una gran dependencia del operario y la calidad de su trabajo lo cual aporta un incremento en la probabilidad de circuitos con longitudes incorrectas; o muy largos o muy cortos.

El trabajo futuro consiste en proponer mejoras para dichos diseños, en base a los resultados de estas simulaciones. De esta forma se optimizarán los modelos aquí propuestos hasta obtener alguno suficientemente viable que permita proseguir con la manufacturación de un prototipo físico cuyo rendimiento pueda ser sometido a posteriores pruebas. Eventualmente, se obtendrá un diseño que permita la construcción de intercambiadores de calor de mayor eficiencia que los actuales.

# ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
2.1.	ANTECEDENTES .....	2
2.2.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	2
2.3.	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	2
2.4.	OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	3
2.5.	JUSTIFICACIÓN .....	4
III.	MARCO TEÓRICO.....	5
3.1.	MANUFACTURA ADITIVA.....	5
3.2.	RASPBERRY PI .....	11
3.3.	CODIFICADORES ROTACIONALES.....	13
3.4.	LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN C .....	16
IV.	METODOLOGÍA.....	19
4.1.	HIPÓTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN .....	19
4.2.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	19
4.3.	ENFOQUE Y MÉTODOS .....	20
4.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	22
4.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTO APLICADOS .....	22
4.6.	UNIDAD DE ANÁLISIS Y RESPUESTA .....	22
4.7.	FUENTES DE INFORMACIÓN .....	22
4.8.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	22
V.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	23
VI.	CONCLUSIONES .....	25

VII.	RECOMENDACIONES.....	26
VIII.	APLICABILIDAD E IMPLEMENTACIÓN.....	27
IX.	TRABAJO FUTURO .....	27
	BIBLIOGRAFÍA.....	28

## **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

ILUSTRACIÓN 1: CATEGORÍAS DE LA MANUFACTURA ADITIVA.....	8
ILUSTRACIÓN 2: PROCESO DE SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER.....	9
ILUSTRACIÓN 3: UN DISEÑO DE CONDUCTOS COMPLEJO Y FUNCIONAL IMPRESO EN NYLON SLS .....	10
ILUSTRACIÓN 4: GUÍA PARA HERRAMIENTAS DENTALES IMPRESA EN RESINA. ....	10
ILUSTRACIÓN 5: COMPUTADOR RASPBERRY PI 2 .....	11
ILUSTRACIÓN 6: EJEMPLO DE DISCO RANURADO Y DE SEÑALES EN CUADRATURA JUNTO CON LA SEÑAL DE REFERENCIA, GENERADAS POR UN CODIFICADOR INCREMENTAL.....	14
ILUSTRACIÓN 7: EJEMPLO DE LAS SEÑALES GENERADAS POR UN CODIFICADOR GIRANDO EN SENTIDO HORARIO, (FIGURA SUPERIOR) Y ANTIHORARIO (FIGURA INFERIOR). ....	15
ILUSTRACIÓN 8: DISEÑO 3D DEL EQUIPO DESARROLLADO. ....	20
ILUSTRACIÓN 9: RODOS RANURADOS FABRICADOS CON PLA. ....	21
ILUSTRACIÓN 10: RODOS LISOS FABRICADOS CON TPU.....	21
ILUSTRACIÓN 11: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	23
ILUSTRACIÓN 12: MAPA CONCEPTUAL DE PROYECTO COMPLETAMENTE DESARROLLADO. ....	27

## **ÍNDICES DE TABLAS**

TABLA 1: LONGITUDES REGISTRADAS CON RODO RANURADO DE PLA.....	24
TABLA 2: LONGITUDES REGISTRADAS CON RODO LISO DE TPU .....	24

## GLOSARIO

**Diseño Asistido por Computadora:** Es el uso de programas informáticos para crear representaciones gráficas de los objetos físicos en dos o tres dimensiones (2D o 3D)

**Impresión 3D:** Tecnología que permite crear objetos físicos, capa por capa, directamente a partir de archivos digitales

**Manufactura Aditiva:** Método definido en la industria de manufactura, como cualquier aplicación de tecnologías para prototipado rápido.

**Modelado por Deposición Fundida:** Técnica de manufactura aditiva que consiste en la succión de filamento de algún material, para la fundición de este por medio en un extrusor, que luego es depositado de forma precisa capa por capa sobre una superficie plana. El proceso se repite capa por capa, hasta conseguir un modelo en tres dimensiones.

**Sinterizado Selectivo por Láser:** Es una técnica de prototipado rápido que fabrica las piezas por capas, en base a la fundición de polvos de materiales como plásticos, cerámicos y metales.

**Ácido poliláctico (PLA):** es un polímero constituido por moléculas de ácido láctico, con propiedades semejantes a las del tereftalato de polietileno (PET) que se utiliza para hacer envases, pero que además es biodegradable. Se degrada fácilmente en agua y óxido de carbono.

**Poliuretano termoplástico (TPU):** Es un polímero elastomérico lineal y, por ello, termoplástico.

**Codificador rotatorio:** Es un dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital, lo que lo convierte en una clase de transductor.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Es de gran interés para cualquier industria poder alcanzar la mayor eficiencia en cualquiera de los procesos involucrados para producir un producto o servicio con la menor cantidad de recursos necesarios.

En las industrias de nuestro país, Honduras, aún es común que varias operaciones complejas que requieran varios grados de libertad sean ejecutadas por operadores humanos. Esto genera una fuente de empleo a una gran población de nuestro país, pero reduce en gran medida la eficiencia de la empresa y contribuye a la probabilidad de encontrar un defecto en el producto elaborado debido al error humano o estadístico.

La finalidad de esta tesis es poder realizar la investigación correspondiente en LEAR Corporation sobre la automatización de un proceso específico, el cual consiste en medir los diferentes circuitos que conforman un arnés automotriz y disponer de estos automáticamente en un formato digital para aumentar la eficiencia y disminuir la probabilidad del error humano.

En la presente investigación se detalla todo el proceso necesario para la implementación de este proyecto, desde las consideraciones técnicas de la máquina necesaria para realizar dicho proceso hasta los resultados obtenidos del mismo. Es de suma importancia evaluar en qué se va a producir, cómo y cuándo se fabricarán los productos, qué cantidad debe fabricarse, así como especificar el tiempo necesario y el lugar en que se llevarán a cabo dichas operaciones. (Velasco, 2007)

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Resulta imprescindible con el desarrollo de la tecnología a nivel global que, en las Industrias de nuestro país, así como en cualquier otro país en vías de desarrollo poder automatizar sus procesos con el objetivo de aumentar la eficiencia y efectividad de sus procesos.

## **2.1. ANTECEDENTES**

Al recibir un nuevo modelo de arnés para automóvil o implementar un cambio en uno ya existe es necesario fabricar un arnés según las nuevas especificaciones y medir cada uno de sus circuitos y de esta forma llenar una "Hoja de Corte" con la cual el proceso de corte de los circuitos puede empezar.

## **2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La ejecución humana de este proceso genera un proceso extra y de larga duración en el proceso de generación de las Hojas de Corte. Al mismo tiempo este genera una gran dependencia del operario y la calidad de su trabajo lo cual aporta un incremento en la probabilidad de circuitos con longitudes incorrectas; o muy largos o muy cortos.

## **2.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

A continuación, estas preguntas serán objeto de análisis e investigación

1. ¿Hasta qué grado de automatización se es factible alcanzar en dicho proceso?
2. ¿Cuáles serán los beneficios cuantificables al automatizar este proceso?
3. ¿Cuál será la flexibilidad del sistema implementado ante nuevos tipos de circuitos, terminales y sellos??



## **2.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

Los objetivos señalan a lo que se aspira en la investigación y deben expresarse con claridad, pues son las guías del estudio (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

### **2.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- 1) Desarrollar un sistema automatizado para el proceso de medición de circuitos y generación de hojas de corte que facilite ahorros de tiempo y disminuya probabilidad de fabricación de partes defectuosas.

### **2.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Analizar formas de automatización del proceso de medición de circuitos y generación de hojas de corte que permita un grado de adaptación a distintos calibres de cable, sellos y terminales.
- 2) Estimar los beneficios de la implementación de un sistema de automatización para el proceso de circuitos y generación de hojas de corte.
- 3) Implementar un prototipo funcional que permita la recolección de resultados cuantificables y comparables con los valores obtenidos actualmente en el proceso no automatizado.

## **2.5. JUSTIFICACIÓN**

Actualmente LEAR Corporation requiere ejecutar el proceso descrito anteriormente cuando sus clientes requieren de nuevos modelos o desean implementar un cambio de ingeniería en unos de los modelos ya existentes de arneses, debido al tiempo necesario por el proveedor de proporcionar los conectores configurados de fábrica. Es un proceso de alta incidencia en imprecisiones lo cual genera grandes pérdidas de tiempo para el inicio del corte de los circuitos.

Debido a esto LEAR Corporation ha decidido automatizar este proceso para incrementar la eficiencia, calidad y reducción de costos operativos.

### **III. MARCO TEÓRICO**

Es de suma importancia poseer el conocimiento de los principios básicos que hacen posible la implementación este proyecto de automatización. Desde la tecnología que permite la fabricación de los componentes mecánicos como los sensores y el sistema de control que hace posible capturar valores análogos de nuestro entorno e interpretarlos a nuestra necesidad. Es por tal motivo que dicho conocimiento es expuesto a continuación.}

#### **3.1. MANUFACTURA ADITIVA**

En general, la manufactura puede dividirse en manufactura substractiva como el fresado y torneado, manufactura formativa como el moldeo y la forja, y la manufactura aditiva. Esta última es relativamente más reciente que las dos anteriores y se compone de un grupo de tecnologías que permite fabricar una pieza capa por capa, directamente desde un modelo digital en tres dimensiones. Aunque la manufactura aditiva nace en 1984 con las patentes presentadas por el inventor Chuck Hull en 1984 primeras técnicas de estereolitografía, no es hasta después de 1980 que se comprende la importancia de la manufactura aditiva (MA). Esto fue gracias al desarrollo de las tecnologías asociadas como computadoras, tarjetas controladoras y láseres (Bandyopadhyay & Bose, 2016).

##### **3.1.1. PROCESO DE DISEÑO EN LA MANUFACTURA ADITIVA**

De forma general se puede resumir el proceso de creación de un modelo mediante manufactura aditiva en los siguientes pasos:

Diseño y conceptualización: Para la creación de cualquier producto físico, primero debe visualizarse y diseñarse. Actualmente existen muchas formas de crear diseños digitales en tres dimensiones, pero los softwares de diseño asistido por computadora (CAD) son preferidos en la creación de prototipos ya que involucran la menor cantidad de errores al momento de procesar y prepara el modelo para su fabricación con MA. Además de que permite la verificación misma del diseño (Gebhardt, 2012).

Creación de Archivo STL: Una vez creado el modelo digital es necesario convertirlo a un formato especial de archivo STL, por sus siglas en inglés que significan STereoLitografía, que fue la primera técnica de MA en ser comercializada. Un archivo STL contiene

solamente la información geométrica de un modelo, es decir la forma de este sin relación a su tamaño, tipo de material, etc. (Gebhardt, 2012).

Slice: Se le llama a sí a la conversión del archivo STL en un modelo dividido en capas junto con código G, que dependiendo del método de MA utilizado, es una serie de comandos que serán analizados y ejecutados por el dispositivo que empleará el respectivo método MA para fabricar el modelo. Este código g es generado mediante software especializado para dicha función, conocidos como "slicers" (Chua, Leong, & Lim, 2010).

Fabricación: Una vez creado el código g, este se ingresa a un equipo que realizará el modelo entre dimensiones, empleando alguno de los métodos de MA.

Pos-procesamiento: En muchas aplicaciones, los modelos creados mediante MA, requieren de un acabado final antes de ser utilizados. Este acabado incluye la remoción de material de soporte en algunos métodos de MA, pulido o lijado de la pieza final, tratamientos químicos o térmicos para alcanzar propiedades necesarios en alguna aplicación especial (Gibson, Rosen, & Stucker, 2015).

### 3.1.2. Ventajas y Desventajas del uso de Manufactura Aditiva

Según Bandyopadhyay y Bose (2016) y Gibson et al. (2015), la manufactura aditiva presenta las siguientes características:

Ventajas sobre otros procesos de manufactura:

- Eficiencia en el uso de material: En oposición a la manufactura aditiva donde el material es removido del modelo final, la manufactura aditiva hace uso óptimo del material al añadirlo solamente donde es necesario. Evitando de esta forma el desperdicio de material.
- Eficiencia en el uso de recursos: A diferencia de la manufactura convencional la manufactura aditiva no requiere recursos auxiliares como fixturas o refrigerantes.
- Flexibilidad en la producción, la manufactura aditiva es económica para la producción de lotes pequeños. Altos niveles de personalización pueden ser alcanzados, debido a que distintas partes pueden ser fabricadas por la misma máquina sin cambios en los ajustes.

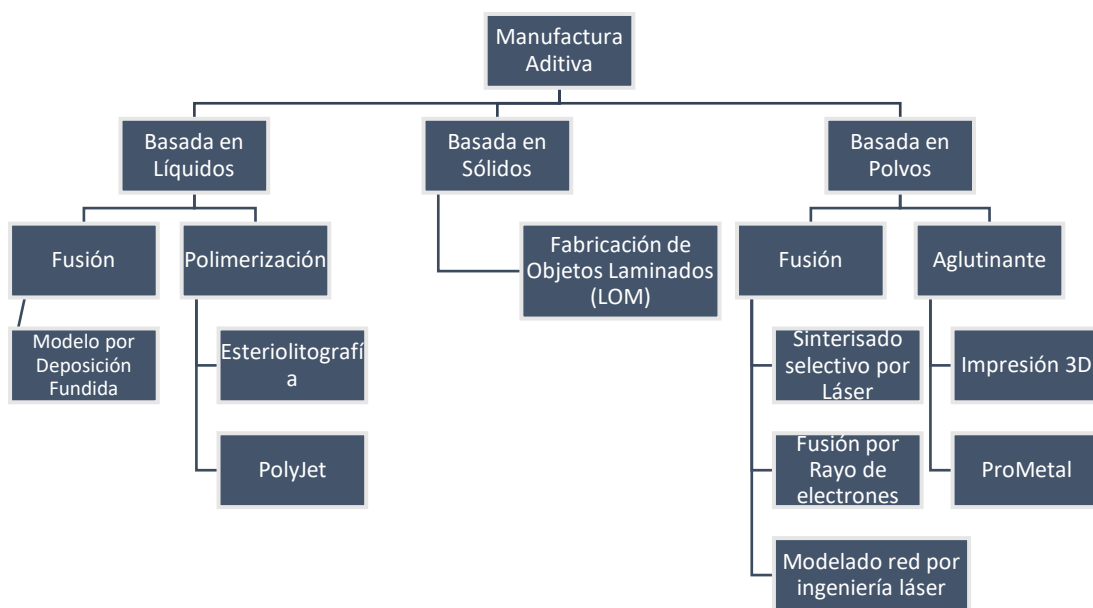
Como tecnología aún desarrollo, tiene las siguientes limitaciones:

- Tamaño: Las dimensiones finales de una pieza diseñada por MA, está restringida a la cámara de fabricación que a su vez depende del método de MA empleado.
- Presencia de imperfecciones: Las piezas producidas mediante MA, suelen tener una capa superficial rugoso. Para que una pieza esté lista para su aplicación, se requieren de procesos de acabado como pulido o revestimiento.
- Costo: Para establecer un laboratorio de manufactura aditiva, se necesitan fuertes recursos económicos. La tecnología con mayor alcance, son las populares impresoras 3D, con costos desde los \$1,000.00 hasta los \$50,000.00. Aunado a esto también es necesario considerar los costos de materiales y demás accesorios auxiliares. Por ello, la manufactura aditiva es más costosa en comparación con la manufactura convencional.

### 3.1.3. MÉTODOS DE MANUFACTURA ADITIVA

Manufactura aditiva (MA) incluye cualquier proceso de construcción de objetos tridimensionales mediante la adición de material por capas. La historia de la MA comprende la creación de diferentes métodos para trabajar con distintos materiales, como cerámicas, metales y plásticos; además del mejoramiento de algunos de los mencionados métodos. A grandes rasgos las categorías actuales de los métodos de manufactura pueden dividirse según el material que utiliza (Srivatsan & Sudarshan, 2016).

La siguiente ilustración es una ayuda visual de esta división.



**Ilustración 1: Categorías de la Manufactura Aditiva**

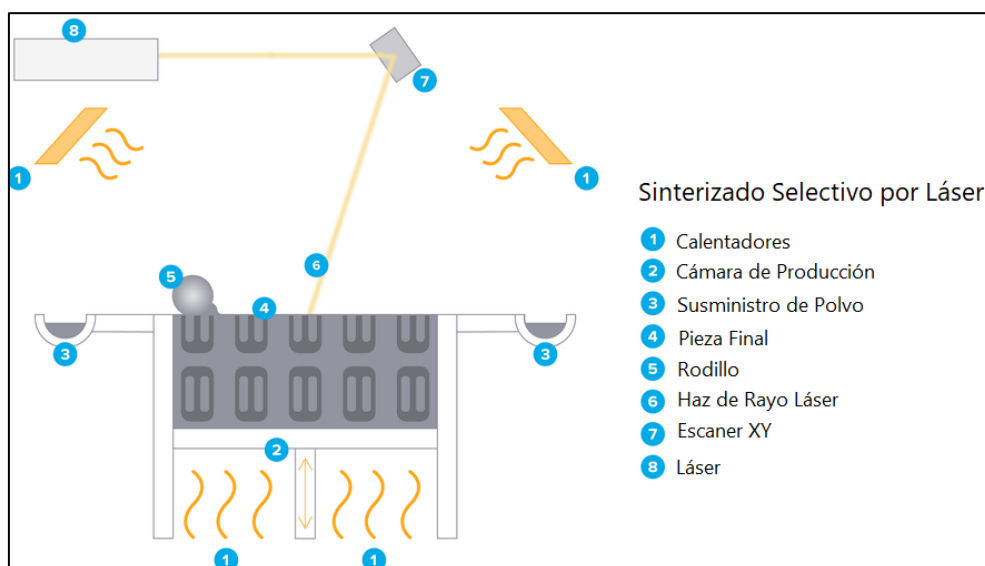
FUENTE: (SRIVATSAN & SUDARSHAN, 2016)

Gracias a la manufactura aditiva, el diseño de modelos en tres dimensiones puede efectuarse sin tener la preocupación sobre si debido a la complejidad geométrica, podrá o no manufacturarse. Para la manufactura de intercambiadores de calor, se prefiere el sinterizado selectivo por láser, ya que permite trabajar con varios tipos de metal, no se requiere de bases ni de soportes si se utiliza esta técnica y permite piezas finales robustas con densidades mayores al 99% (Neugebauer, Müller, Gebauer, & Töppel, 2011; Simchi, 2006).

Esta técnica de la manufactura aditiva fue desarrollada en los años 1980 por los Dr. Carl Deckard y Dr. Joe Beaman de la Universidad de Texas en Austin. Desde entonces el

método ha sido adaptado para trabajar con un gran rango de materiales, incluyendo plásticos, metales y cerámicos (Formlabs, 2017).

En este proceso, polvos de alguno de los materiales mencionados antes, es depositado sobre una cama que los precalienta hasta una temperatura justo un poco menor que su punto de fusión. Esto ocurre dentro de la cámara de construcción. La finalidad de este precalentamiento es que se facilite la fusión de las partículas, cuando se dispara el láser en regiones específicas de la cama. El láser eleva la temperatura hasta el punto de fusión, permitiendo que las partículas se unan físicamente y creen una parte sólida. Luego la cama desciende un poco, típicamente unos 200 micrones, se aplica otra capa de polvo, y se repite el proceso anterior, hasta que se obtenga la pieza final sólida. Este proceso se demuestra en la ilustración 11. La gran ventaja de este método es que los mismos polvos sin fusionarse dentro de la cámara de producción sirven como soporte durante la materialización del modelo. Esto significa que no se requieren estructuras adicionales durante la fabricación de un parte, a diferencia de otros métodos de manufactura aditiva (Formlabs, 2017).



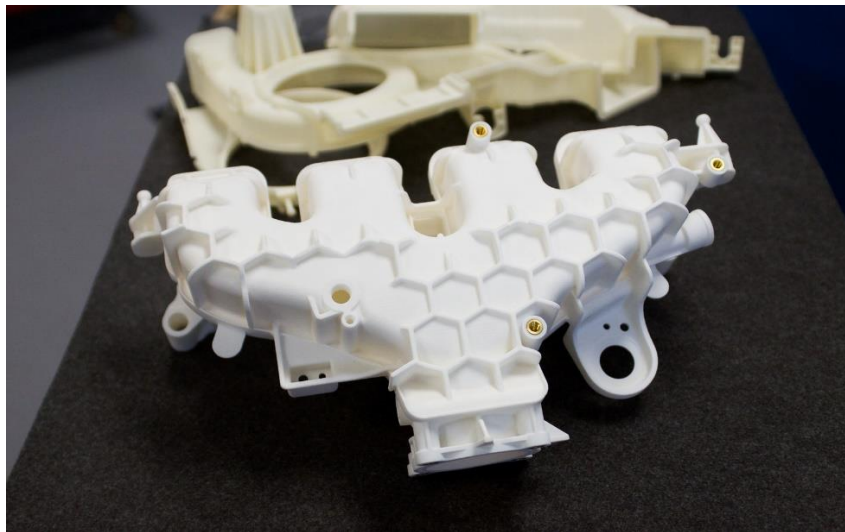
**Ilustración 2: Proceso de Sinterizado Selectivo por Láser**

FUENTE: (FORMLABS, 2017)

Cuando la cámara de producción en sinterizado selectivo por láser, utiliza un método de fusión con cama de metal, entonces se le conoce como "sinterización directa por láser de metal" o "fusión por láser selectivo" (Gebhardt, 2012).

### 3.1.4. APLICACIÓN DE LA MANUFACTURA ADITIVA

Desde áreas como la medicina, para la creación de órganos con fines de trasplante (Melchels, Domingos, Klein, Malda, Bartolo y Hutmacher, 2012), hasta la industria de generación de energía (Wan, 2015), la manufactura aditiva ha tenido diversas aplicaciones. A continuación, se muestran algunas ilustraciones de piezas fabricadas mediante alguna de las técnicas de la manufactura aditiva.



**Ilustración 3: Un diseño de conductos complejo y funcional impreso en nylon SLS**

FUENTE: (JOHN BIEHLER, 2014)



**Ilustración 4: Guía para herramientas dentales impresa en resina.**

FUENTE: (FORMLABS, 2014)

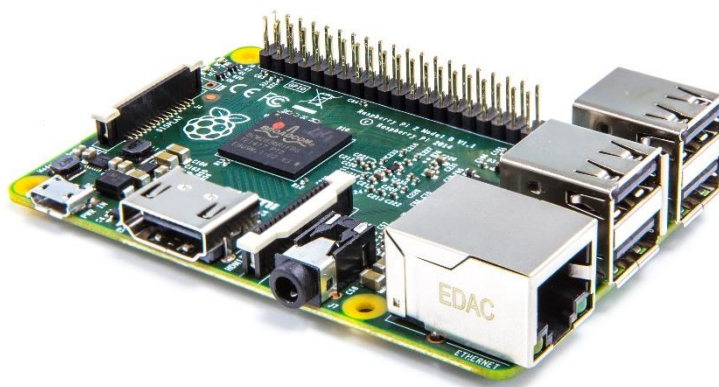


## 3.2. RASPBERRY PI

Es imprescindible en proyectos de automatización el uso de algún tipo de controlador programable u ordenador para ejecutar las lecturas de sensores, análisis de data y accionamiento dependiente de los resultados obtenidos.

### 3.2.1. DESCRIPCIÓN

Para este proyecto he decidido utilizar un raspberry Pi. El Raspberry Pi es un computador de placa reducida, computador de placa única o computador de placa simple (SBC) de bajo costo desarrollado en el Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas. (Fundación Raspberry Pi, 2011).



**Ilustración 5: Computador Raspberry Pi 2**

FUENTE: (FUNDACIÓN RASPBERRY PI, 2016)

Desarrollado por Corn Computer en la década de 1980, la arquitectura de ARM tiene una vista relativamente poco común en el mundo de ordenadores de escritorio. Sin embargo, donde quiera que se encuentren los dispositivos inmóviles: el teléfono en su bolsillo tiene ciertamente al menos una base ARM núcleo de procesamiento escondido adentro. Su combinación de arquitectura de conjunto de instrucción reducida (RISC) y baja potencia es la opción perfecta sobre los chips de escritorio con alta demanda de energía y arquitecturas complejas de conjuntos de instrucciones (CISC). (Eben Upton, 2012).

### 3.2.2. PUERTOS GENERALES DE ENTRADAS Y SALIDAS GPIO

Entrada / salida de propósito general (GPIO) es un tipo de pin genérico en un circuito integrado o tablero de computadora cuyo comportamiento -sin importar si es un pin de entrada o salida- es controlable por el usuario en tiempo de ejecución. (Fundación Raspberry Pi, 2016).

Estos pines serán utilizados para la adquisición de data que posteriormente será analizada por el Raspberry Pi y así realizar la medición de los circuitos. Los pines GPIO no tienen un propósito predefinido y no se usan por defecto. La idea es que, a veces, un integrador de sistemas que está construyendo un sistema completo podría necesitar un puñado de líneas de control digital adicionales, y tenerlas disponibles desde un chip evita tener que organizar circuitos adicionales para proporcionarlas. (Fundación Raspberry Pi, 2016).

El puerto GPIO de la Raspberry Pi se encuentra en la parte superior izquierda de la placa de circuito impreso, etiquetada como P1. Es un puerto de 26 pines, equipado con dos filas de 13 pines de 2.54 mm en la fábrica. El espaciado de estos encabezados es particularmente importante: 2.54 mm pin espaciado (0.1 pulgadas en medidas imperiales) es una vista muy común en electrónica, y es el espaciado estándar para la creación de prototipos plataformas que incluyen paneles y tablas de prueba. (Eben Upton, 2012).

### **3.3. CODIFICADORES ROTACIONALES**

Los codificadores rotatorios son dispositivos electromecánicos que se usan para detectar en innumerables aplicaciones: en motores combinados con variadores y maquinaria automatizada para todo, desde electrónica de consumo, ascensores y monitoreo de velocidad del transportador hasta el control de posición en máquinas industriales automáticas y robótica. Rastrear el giro de los ejes del motor para generar información digital de posición y movimiento. Ya sean incrementales o absolutos, magnéticos u ópticos, los codificadores rotativos rastrear la rotación del eje del motor para generar la posición digital y la información del movimiento. Su uso prolifera en diseños industriales y comerciales. (Elisabeth Eitel,2014).

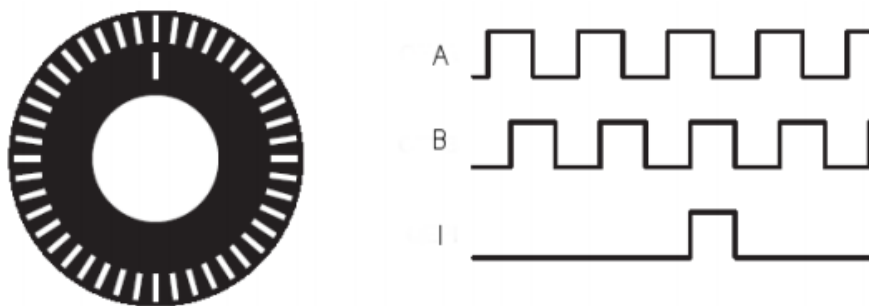
#### **3.3.1. TIPOS DE CODIFICADORES ROTACIONALES**

Los tipos más comunes de codificadores se clasifican en: absolutos y relativos (conocidos también como incrementales). Los codificadores absolutos pueden venir codificados en binario o gray. Dentro de los codificadores incrementales, se encuentran los codificadores en cuadratura, ampliamente utilizados en motores de alta velocidad y en aplicaciones en las que interesa conocer la dirección del movimiento del eje. El tipo común de codificador incremental consiste de un disco solidario al eje del motor que contiene un patrón de marcas o ranuras que son codificados por un interruptor óptico (par led/fotodiodo o led/ fototransistor) generando pulsos eléctricos cada vez que el patrón del disco interrumpe y luego permite el paso de luz hacia el interruptor óptico a medida que el disco gira. La resolución de un codificador típico es del orden de 1000 pulsos por revolución. Desde un codificador incremental no se puede determinar la posición angular absoluta del eje. Para poder determinar la posición relativa a un punto de referencia (cero), el codificador debe incluir una señal adicional que genera un pulso por revolución, denominada índice. (Javier Venegas Requena, 2009).

### 3.3.2. CODIFICADOR EN CUADRATURA

El Codificador en Cuadratura es un tipo de codificador incremental que utiliza dos sensores ópticos posicionados con un desplazamiento de  $\frac{1}{4}$  de ranura el uno del otro, generando dos señales de pulsos digitales desfasada en  $90^\circ$  o en cuadratura. A estas señales de salida, se les llama comúnmente A y B. Mediante ellas es posible suministrar los datos de posición, velocidad y dirección de rotación del eje. Si se incluye la señal de referencia, se le denomina I (índice).

Usualmente, si la señal A adelanta a la señal B (la señal A toma valor lógico "1" antes que la señal B, por ejemplo), se establece el convenio de que el eje está rotando en sentido horario, mientras que, si B adelanta a A, el sentido será antihorario.

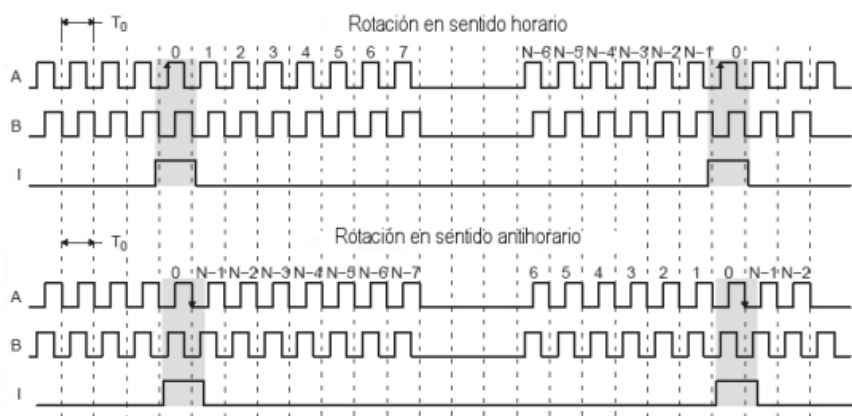


**Ilustración 6: Ejemplo de disco ranurado y de señales en cuadratura junto con la señal de referencia, generadas por un codificador incremental.**

El disco de un codificador generalmente da una vuelta por revolución del motor o eje al cual se encuentra adosado. Pero podría estar acoplado a través de un sistema de transmisión con una proporción conocida de reducción o elevación. De esta manera la frecuencia de la señal A o B variará de manera proporcional a la velocidad del rotor. Así, midiendo la frecuencia de dichas señales y conociendo la manera de cómo se encuentra acoplado, es posible determinar la velocidad de giro del eje.

Dependiendo del fabricante, la señal índice puede estar sincronizada con la señal A o B, y la duración del pulso puede variar entre un cuarto de período a un período completo de una de las señales en cuadratura. (Javier Venegas Requena, 2009).

Para decodificar la información de dirección entregada por un codificador en cuadratura, se puede abordar el problema desde el punto de una máquina secuencial que tiene 4 estados, dados por las combinaciones originadas por los bits de la señal A y B en un período. Es decir, se tendrán los estados 00, 01, 10, 11, con el primer dígito correspondiente a la señal A y el segundo a la señal B (AB). De acuerdo a las transiciones que pudiesen ocurrir, se define una tabla de búsqueda (tabla de verdad) que podría abarcar las siguientes situaciones: giro horario, giro antihorario, error momentáneo (sin cambio), y error (cambios de fase producidos por sobre velocidad u otro factor). Además, es común asociar cada detección de giro a un contador, que se incrementará o decrementará según la dirección sea en sentido horario o antihorario, respectivamente.



**ILUSTRACIÓN 7: EJEMPLO DE LAS SEÑALES GENERADAS POR UN CODIFICADOR GIRANDO EN SENTIDO HORARIO, (FIGURA SUPERIOR) Y ANTIHORARIO (FIGURA INFERIOR).**

### **3.4. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN C.**

Una parte vital de este proyecto está compuesta por la programación que será ejecutada dentro del Raspberry Pi. En estas instancias se seleccionó el lenguaje de programación C por sus altas velocidades en cuanto a lecturas de los pines generales de entradas y salidas y por las librerías existentes en cuanto a la lectura de codificadores rotacionales.

#### **3.4.1. DESCRIPCIÓN**

C es un lenguaje de programación originalmente desarrollado por Dennis Ritchie entre 1969 y 1972 en los Laboratorios Bell,<sup>2</sup> como evolución del anterior lenguaje B, a su vez basado en BCPL

C trabaja con tipos de datos que son directamente tratables por el hardware de la mayoría de computadoras actuales, como son los caracteres, números y direcciones. Estos tipos de datos pueden ser manipulados por las operaciones aritméticas que proporcionan las computadoras. No proporciona mecanismos para tratar tipos de datos que no sean los básicos, debiendo ser el programador el que los desarrolle. Esto permite que el código generado sea muy eficiente y de ahí el éxito que ha tenido como lenguaje de desarrollo de sistemas. No proporciona otros mecanismos de almacenamiento de datos que no sea el estático y no proporciona mecanismos de entrada ni salida. Ello permite que el lenguaje sea reducido y los compiladores de fácil implementación en distintos sistemas. Por contra, estas carencias se compensan mediante la inclusión de funciones de librería para realizar todas estas tareas, que normalmente dependen del sistema operativo. (Pike, Rob, 2012).

### 3.4.2. PROPIEDADES:

- Núcleo del lenguaje simple, con funcionalidades añadidas importantes, como funciones matemáticas y de manejo de archivos, proporcionadas por bibliotecas.
- Es un lenguaje muy flexible que permite programar con múltiples estilos. Uno de los más empleados es el estructurado "no llevado al extremo" (permitiendo ciertas licencias de ruptura).
- Un sistema de tipos que impide operaciones sin sentido.
- Usa un lenguaje de preprocesado, el preprocesador de C, para tareas como definir macros e incluir múltiples archivos de código fuente.
- Acceso a memoria de bajo nivel mediante el uso de punteros.
- Interrupciones al procesador con uniones.
- Un conjunto reducido de palabras clave.
- Por defecto, el paso de parámetros a una función se realiza por valor. El paso por referencia se consigue pasando explícitamente a las funciones las direcciones de memoria de dichos parámetros.
- Punteros a funciones y variables estáticas, que permiten una forma rudimentaria de encapsulado y polimorfismo.
- Tipos de datos agregados (struct) que permiten que datos relacionados (como un empleado, que tiene un id, un nombre y un salario) se combinen y se manipulen como un todo (en una única variable "empleado").

### 3.4.3. CARENCIAS:

- Recolección de basura nativa, sin embargo, se encuentran a tal efecto bibliotecas como la "libgc" desarrollada por Sun Microsystems, o el Recolector de basura de Boehm.
- Soporte para programación orientada a objetos, aunque la implementación original de C++ fue un preprocesador que traducía código fuente de C++ a C. Véase también la librería GObject.
- Funciones anidadas, aunque GCC tiene esta característica como extensión.
- Soporte nativo para programación multihilo. Disponible usando librerías como libpthread.

Aunque la lista de las características útiles de las que carece C es larga, este factor ha sido importante para su aceptación, porque escribir rápidamente nuevos compiladores para nuevas plataformas, mantiene lo que realmente hace el programa bajo el control directo del programador, y permite implementar la solución más natural para cada plataforma. Ésta es la causa de que a menudo C sea más eficiente que otros lenguajes. Típicamente, sólo la programación cuidadosa en lenguaje ensamblador produce un código más rápido, pues da control total sobre la máquina, aunque los avances en los compiladores de C y la complejidad creciente de los microprocesadores modernos han reducido gradualmente esta diferencia. (Kreinin, Yossi, 2009).



## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1. HIPÓTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

#### 4.1.1. HIPÓTESIS

El error instrumental obtenido a través de una máquina para generación automática de hojas de corte es menor al obtenido con método manual de medición actual.

#### 4.1.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Forma, diámetro y material de los rodos en el diseño mecánico de la máquina.

#### 4.1.3. VARIABLES DEPENDIENTES

- Desplazamiento rotacional
- Distancia lineal

### **4.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El término diseño se refiere al plan o estrategia a seguir para obtener la información que desea con el fin de responder al planteamiento del problema de investigación (Wentz, 2014; McLaren, 2014, Creswell, 2013, Hernández-Sampieri et al., 2013 y Kalaian, 2008, citados en Hernández Sampieri et al., 2014).

Para el diseño mecánico de esta aplicación se ha utilizado el software CAD SolidWorks®. Principalmente a la gran variedad de herramientas y operaciones que ofrece para el diseño en tres dimensiones y su compatibilidad con la impresión 3D.



**Ilustración 8: Diseño 3D del equipo desarrollado.**

FUENTE: (M. RIVERA, 2017).

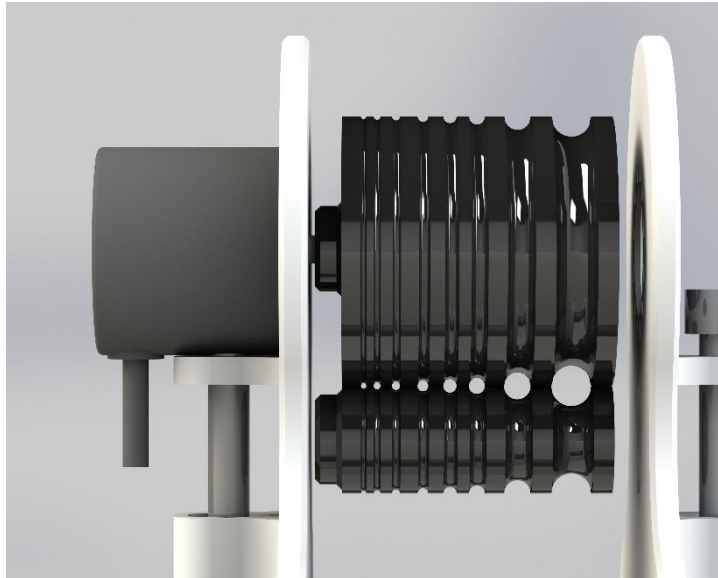
Iniciando con prototipos funcionales, los cuales fueron impresos con tecnología FDM con poliláctico un polímero constituido por moléculas de ácido láctico, con propiedades semejantes a las del tereftalato de polietileno (PET) que se utiliza para hacer envases, pero que además es biodegradable.

Se utilizó un codificador rotacional incremental de 2400 pulsos por rotación con voltaje de operación de 5v -24v y con un eje 6mm debido a la precisión deseada. Esto conectado a las entradas GPIO de un Raspberry Pi 2 y utilizando como lenguaje de programación: C.

#### **4.3. ENFOQUE Y MÉTODOS**

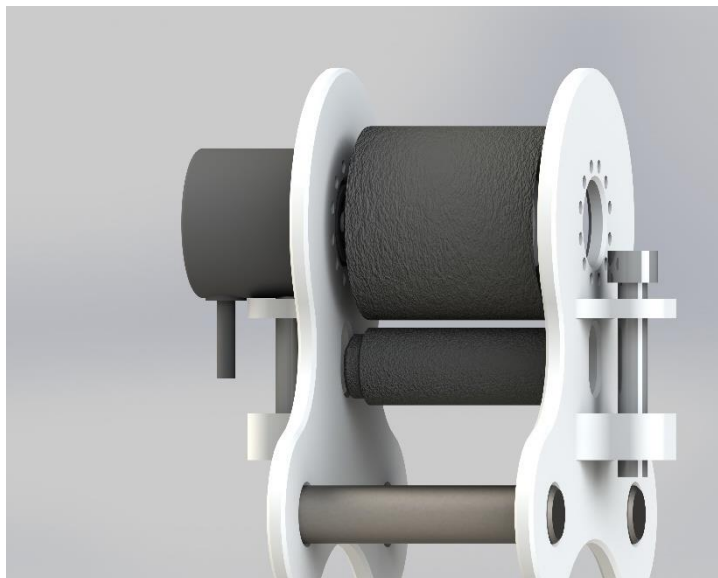
Se utilizaron 2 diseños distintos para los rodos (ambos con un diámetro de 50mm para facilitar los cálculos), uno ranurado impreso en un material rígido (PLA) y otro totalmente liso impreso en un plástico con propiedades similares al caucho (TPU). Ambos sistemas fueron puestos a prueba con 1000 mm de 5 calibres distintos de cable (1, 1.25, 1.5, 1.75 y 2) cuyos valores corresponden según el proveedor a la circunferencia media de los cables compuestos por su núcleo y recubrimiento.

Se realizaron 5 mediciones por calibre de cable y dicho proceso se realizó para ambos diseños de rodos.



**Ilustración 9: Rodos ranurados fabricados con PLA.**

FUENTE: (M. RIVERA, 2017).



**Ilustración 10: Rodos lisos fabricados con TPU.**

FUENTE: (M. RIVERA, 2017).

#### **4.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población para esta investigación, la constituyen los distintos diámetros o calibre de cables utilizados para validar la precisión del equipo desarrollado. Como muestra tenemos 1000 mm de cada calibre utilizado durante el experimento proporcionados por una cortadora industrial con precisión  $\pm 0.01$ mm dentro de las instalaciones de Lear Corporation.

#### **4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTO APLICADOS**

Como instrumento de medición se utilizó una cinta métrica (método actualmente utilizado) y el equipo desarrollado durante este proyecto, el cual consiste de un codificador rotacional que nos proporciona pulsos. Estos pulsos junto el diámetro del rodo principal son utilizados para computar la distancia lineal del cable introducido.

#### **4.6. UNIDAD DE ANÁLISIS Y RESPUESTA**

Se comprobaron los resultados anteriores realizando mediciones con cinta métrica para verificación de los valores obtenidos. Y para asegurar la precisión del experimento todas las porciones de cables fueron cortados con una tolerancia de  $\pm 0.01$ mm.

#### **4.7. FUENTES DE INFORMACIÓN**

Se consulto entre las fuentes citadas en la bibliografía los trabajos de Alex Ellin, Gregor Dolsak, (2008) para tener un mejor entendimiento de las aplicaciones de los codificadores rotacionales en la medición lineal de fibras y filamentos.

#### **4.8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

Con el fin de completar los objetivos de esta investigación se trabajó bajo el siguiente esquema, durante cinco días por semana en horario de 6:00 am a 2:50 pm.



**Ilustración 11: Cronograma de Actividades**

FUENTE: (M. RIVERA, 2017).

## V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados obtenidos fueron muy alentadores en cuanto a precisión se refiere. Es importante mencionar que dicha experimentación se debió repetir debido a que la velocidad con que se introdujo el cable ocasiono falsas lecturas generadas por el codificador. Mayor investigación dio entender que un circuito para filtrar los pulsos del codificador rotacional es necesario para este tipo de aplicaciones. Se repitió la experimentación, disminuyendo la velocidad con se introducía el cable o circuito. Tras esta regulación los valores obtenidos terminaron ser altamente precisos comparados con el valor proporcionado por las máquinas de corte.

A continuación, los resultados obtenidos condensados en tablas.

**Tabla 1: Longitudes registradas con rodo ranurado de PLA**

LONGITUD MEDIDA (mm) RODO RANURADO (PLA)					
MEDICION	CALIBRE				
	1	1.25	1.5	1.75	2
1	1001.7	1004.1	1001.1	1002.3	1004.7
2	1000.8	1002.3	1001.4	1002	1002.6
3	1002.3	1001.4	1002.3	1002.9	1002.9
4	1000.8	1001.7	1001.1	1002.3	1002
5	1002.9	1002.3	1003.5	1004.7	1005
PROMEDIO:	1001.7	1002.36	1001.88	1002.84	1003.44
PROMEDIO VALIDO:	1001.7	1002.3	1002	1002	1003.5

FUENTE: (M. RIVERA, 2017).

**Tabla 2: Longitudes registradas con rodo liso de TPU**

LONGITUD MEDIDA (mm) RODO LISO (TPU)					
MEDICION	CALIBRE				
	1	1.25	1.5	1.75	2
1	998.7	1000.5	999.6	999.9	1000.5
2	999.3	1000.8	999.9	1000.5	1001.1
3	1000.2	999.3	999.3	1000.8	1000.8
4	999.3	1000.2	999.6	1000.8	1000.5
5	999.3	1000.5	999.9	1001.1	1001.4
PROMEDIO:	999.36	1000.26	999.66	1000.62	1000.86
PROMEDIO VALIDO:	999.3	1000.2	999.6	1000.5	1000.8

FUENTE: (M. RIVERA, 2017).

Se puede observar que el segundo diseño obtuvo mejores resultados debido a las adaptaciones que ofrece sus propiedades similares al caucho lo cual le permite adaptarse a las uniones entre retazos de cable los cuales proporcionan una superficie irregular.

## VI. CONCLUSIONES

- Se comprobó que el uso de un rodo liso compuesto de un material con propiedades similares al caucho ofrece mayor adaptación a los distintos calibres, sellos y terminales que poseen los cables utilizados en la industria automotriz.
- En base a los resultados obtenidos, se obtuvo precisión aproximada de  $\pm 1$  mm y sin duda una notable disminución en la probabilidad de incurrir en error humano. No se obtuvo disminución considerable del tiempo necesario para al realizar la medición utilizando el nuevo dispositivo debido a limitaciones en la recepción de los pulsos generados por el codificador utilizado.
- Se implementó un prototipo sencillo pero funcional que permite la recolección de resultados cuantificables y comparables con los valores obtenidos actualmente en el proceso no automatizado.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Se recomienda la implementación de un circuito que filtre los pulsos del codificador rotacional lo cual permitiría mediciones mas rápidas sin el riesgo de obtener valores erróneos.

Es prudente reforzar la clase de microelectrónica la cual nos permite buscar soluciones de bajo costo a grandes necesidades de la industria. Poder recibir la clase en 2 módulos permitiría mayor complejidad de proyectos y mayor diversidad de contenidos.

Motivar más a los alumnos a experimentar con la tecnología de Impresión 3D que viene a abrir muchas posibilidades dentro de la automatización. Considerarlo como una materia optativa traería muchos beneficios.

De igual manera, se aconseja el fortalecimiento del grupo de clases que comprenden los conocimientos de ingeniería mecánica en la carrera. Esto puede lograrse mediante la adición de laboratorios a algunas clases de las ciencias básicas o a través de la adición de electivas de formación en ingeniería mecánica.

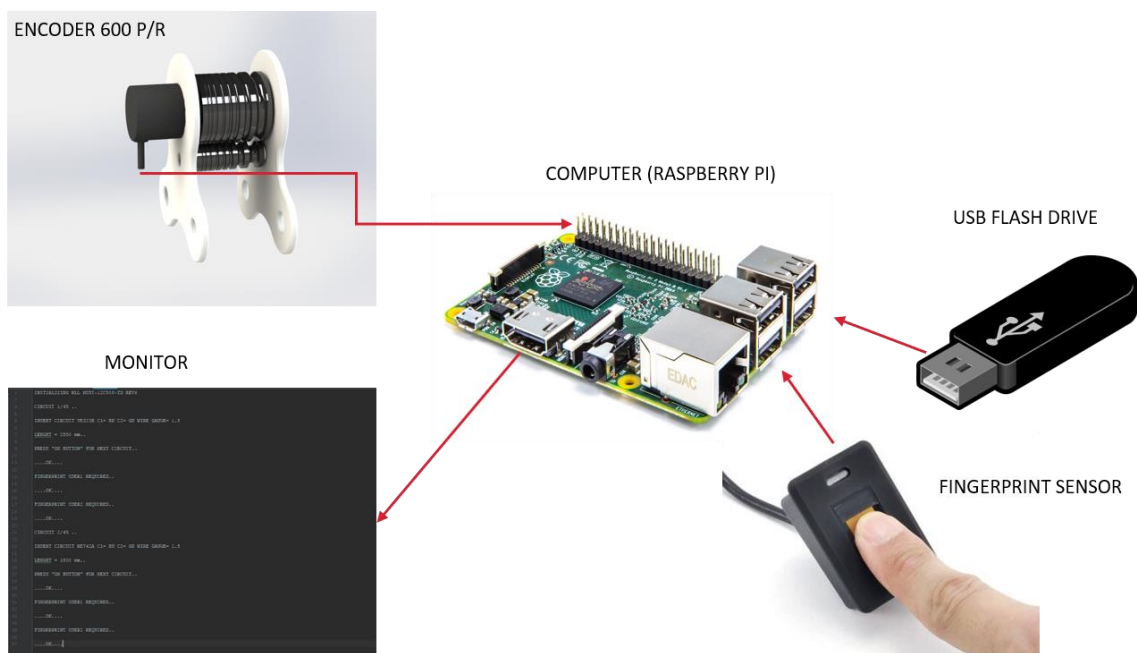


## VIII. APLICABILIDAD E IMPLEMENTACIÓN

La velocidad con que podemos medir el cable es notoriamente menor a la esperada de un proceso automático, aun con esta limitante temporal la aplicabilidad de este equipo desarrollado es alta debido al impacto en precisión obtenido de su implementación.

## IX. TRABAJO FUTURO

A futuro se tiene planeado incorporar un circuito que filtre los pulsos generados por el encoder, la integración de una segunda placa controladora que en conjunto con un stepper y su circuito de control sea capaz de regular la razón de medición del cable. Asi como un script capaz de leer de un formato en txt. La secuencia de los circuitos o cables a medir seguido de una autenticación por huella dactilar. Gran parte de este trabajo futuro se resume en la ilustración ##.



**Ilustración 12: Mapa conceptual de proyecto completamente desarrollado.**

FUENTE: (M. RIVERA, 2017).

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bandyopadhyay, A., & Bose, S. (Eds.). (2016). *Additive manufacturing*. Boca Raton, FL: CRC Press.
2. Chua, C. K., Leong, K. F., & Lim, C. S. (2010). *Rapid prototyping: principles and applications* (3rd ed). New Jersey: World Scientific.
3. Formlabs. (2017). What is Selective Laser Sintering? An Introductory Guide to SLS 3D Printing. Recuperado el 6 de octubre de 2017, a partir de <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/>
4. Gebhardt, A. (2012). *Understanding additive manufacturing: rapid prototyping, rapid tooling, rapid manufacturing*. Munich: Hanser.
5. Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping and direct digital manufacturing* (Second Edition). New York Heidelberg Dodrecht London: Springer.
6. Melchels, F. P. W., Domingos, M. A. N., Klein, T. J., Malda, J., Bartolo, P. J., & Hutmacher, D. W. (2012). Additive manufacturing of tissues and organs. *Progress in Polymer Science*, 37(8), 1079–1104. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.11.007>
7. Simchi, A. (2006). Direct laser sintering of metal powders: Mechanism, kinetics and microstructural features. *Materials Science and Engineering: A*, 428(1–2), 148–158. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.04.117>
8. Srivatsan, T. S., & Sudarshan, T. S. (Eds.). (2016). *Additive manufacturing: innovations, advances, and applications*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group.
9. Bandyopadhyay, A., & Bose, S. (Eds.). (2016). *Additive manufacturing*. Boca Raton, FL: CRC Press.
10. Davis, R. J. (2015). *Arduino servo projects*. United States: The Author.
11. Firoozian, R. (2014). *Servo motors and industrial control theory*. Recuperado a partir de <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-07275-3>

12. Kernighan, B. W., & Ritchie, D. M. (1988). *The C programming language* (2nd ed). Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall.
13. Kloski, L. W. K., Nick. (2016). *Getting started with 3d printing: a hands-on guide to the hardware, software, and services behind the new manufacturing revolution*. O'Reilly & Associates Inc.
14. Kochan, S. G. (2015). *Programming in C* (Fourth edition). Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley.
15. Molloy, D. (2016). *Exploring raspberry Pi*. Indianapolis, IN: John Wiley and Sons.
16. Monk, S. (2016). *Programming the Raspberry Pi: getting started with Python* (Second Edition). New York: McGraw Hill Education.
17. Norbom, H. (2017). *Raspberry Pi Python Projects: Servos, Stepper, DC Motors, Ultra Sonic Sensor, Infrared Detector, H-Bridge, Thumb Joy Stick, Color Sensor, Follow Black Line, Two Wheel Balance Bot and more*. Python3.
18. Scarpino, M. (2015). *Motors for makers: a guide to steppers, servos, and other electrical machines*. Indianapolis, Indiana: Que.
19. Shaw, Z. (2016). *Learn C the hard way: practical exercises on the computational subjects you keep avoiding (like C)*. New York: Addison-Wesley.
20. Srivatsan, T. S., & Sudarshan, T. S. (Eds.). (2016). *Additive manufacturing: innovations, advances, and applications*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group.
21. VanDerLinden, P. (1994). *Expert C programming: deep C secrets*. Mountain View, Calif: SunSoft Press.
22. Voss, W. (2007). *A comprehensible guide to servo motor sizing*. Greenfield [MASS: Copperhill Technologies Corporation.
23. Zhirkov, I. (2017). *Low-level programming: C, assembly, and program execution on Intel 64 architecture*. California: Apress.