

**[Ago-Dic,  
2019]**



**Juan Manuel Aguiñaga Martínez**

**REPORTE FINAL PARA ACREDITAR  
RESIDENCIA PROFESIONAL DE LA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN  
MECATRÓNICA**

**[CÁMARA DE CONTROL DE TEMPERATURA  
DE UNA REACCIÓN POLIMÉRICA A TRAVÉS DE  
UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO  
AUTOMATIZADO]**

**LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA**

**ING. RAÚL LLAMAS ESPARZA**  
Asesor externo

**DR. JOSÉ ALONSO DENA AGUILAR**  
Asesor interno

Diciembre de 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradezco al Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas para poder estudiar mi carrera, así como mis formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar a este punto en el que me encuentro.

Agradezco a la personas que me dieron la vida a mis padres quien me han brindado su apoyo en todo momento de manera incondicional, quienes me han impulsado el seguir adelante sin importar las adversidades que se interpongan. Agradezco notablemente al Dr. José Alonso Dena Aguilar por a verme aceptado, el ser parte de este gran equipo de trabajo con el cual de la mano se llevó a cabo la realización proyecto de cámara de control de temperatura de una reacción polimérica a través de un sistema de enfriamiento automatizado.

Agradezco a mis amigos quienes han sido mi mano derecha durante todo este tiempo; les agradezco por su desinteresada ayuda, por el conocimiento extra aportado, por haberme tendido la mano siempre cuando la necesito, por aportar considerablemente en mi proyecto. Les Agradezco no solamente por la ayuda brindada, si no por los buenos momentos en los que convivimos.

A todos ustedes ¡Muchas Gracias!

## RESUMEN

### “CÁMARA DE CONTROL DE TEMPERATURA DE UNA REACCIÓN POLIMÉRICA A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO AUTOMATIZADO”

Por: **JUAN MANUEL AGUIÑAGA MARTÍNEZ**

El Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga es una institución de educación superior que se localiza en el Municipio de Pabellón de Arteaga al norte del Estado de Aguascalientes y es perteneciente al Tecnológico Nacional de México (TecNM). Actualmente cuenta con una oferta educativa de 5 programas de Licenciatura y 1 programa de Posgrado con una matrícula superior a los 1200 estudiantes.

Dentro de sus instalaciones se encuentra el laboratorio de Conversión de la Energía adscrito al programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica donde se desarrollan proyectos de posgrado, investigación e innovación relativos a la línea de generación y aplicación del conocimiento “conversión de la energía”. Uno de estos proyectos se refiere al control y automatización de una cámara de control de temperatura de una reacción de síntesis de poliacrilonitrilo para producir películas acrílicas de soporte de cristales de silicio monocristalino. El efecto de la temperatura ( $>60^{\circ}\text{C}$ ) incide directamente en el porcentaje de rendimiento de conversión (%E) de la reacción polimérica, el cual puede llegar a resultar con rendimientos por debajo del 80%, esto significa que se tiene una gran pérdida de reactivos por efecto principalmente de la evaporación o que no reaccionan y que no pueden recuperarse por su naturaleza química.

En este trabajo se aplicaron técnicas y metodologías de la Mecatrónica para diseñar y construir un sistema mecatrónico para el control de la temperatura de una síntesis polimérica de poliacrilonitrilo mediante una cámara prevista con un sensor de temperatura, agitador mecánico, de una plataforma elevadiza y un sistema de enfriamiento a base de ventiladores, todos controlados por un lenguaje programable en *Arduino*. La propuesta de solución consistió en desarrollar un equipo de control de temperatura de una síntesis polimérica de reacción exotérmica durante todo su tiempo

de reacción de manera controlada y automatizada para mantenerla en un rango de temperatura entre 50 y 60°C.

Se logró desarrollar la cámara propuesta.

Dirigido por:

**Ing. Raúl Llamas Esparza**

**Dr. José Alonso Dena Aguilar**

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo del residente.....	2
1.2 Problema(s) a resolver.....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Justificación.....	6
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1 Polímeros.....	8
2.2 Reacciones exotérmicas.....	9
2.3 Tipos de reacciones.....	9
2.4 Poliacrilonitrilo.....	12
2.5 Microcontroladores.....	12
2.6 Arduino.....	14
2.7 Cámaras de control de temperatura.....	17
2.8 Sistema de enfriamiento por aire forzado.....	18
2.9 Proteus.....	19
2.10 Solid Works.....	20
2.11 Sensores.....	21
<b>III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....</b>	<b>26</b>
3.1 Diseño de la cámara de control de temperatura.....	26
3.2 Construcción de la cámara de control de temperatura.....	28
3.3 Sistema de control.....	28
3.4 Cronograma de actividades.....	29

	Pág.
<b>IV. RESULTADOS</b> .....	30
4.1 Diseño y construcción de la cámara de control de temperatura.....	30
4.2 Construcción de la cámara de control de temperatura.....	35
4.3 Sistema de control.....	40
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	47
<b>VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS</b> .....	48
<b>VII. FUENTES DE INFORMACIÓN</b> .....	49
<b>Anexo 1.</b> Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	51
<b>Anexo 2.</b> Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Organigrama de la empresa y del área de residencia.....	4
<b>Figura 2.</b> Polimerización por radicales libres del poliacrilonitrilo.....	9
<b>Figura 3.</b> Polimerización de adición (En cadena por radicales libres).....	11
<b>Figura 4.</b> La iniciación consiste entonces en la ruptura del iniciado, para formar radicales libres por efecto térmico.....	11
<b>Figura 5.</b> Desactivación de las especies activas, por reacción, por reacción mutua o con otras moléculas.....	11
<b>Figura 6.</b> Partes de un Microcontrolador .....	13
<b>Figura 7.</b> Esquema general de un Microcontrolador.....	14
<b>Figura 8.</b> Arduino plataforma de creación de código abierto.....	15
<b>Figura 9.</b> Estructura Física básica de Arduino.....	16
<b>Figura 10.</b> Incubadora Neonatal.....	17
<b>Figura 11.</b> Los termostatos KP son interruptores eléctricos controlados por temperatura.....	18
<b>Figura 12.</b> Equipos con aire forzado de enfriamiento.....	19
<b>Figura 13.</b> Diagrama electrónico por Proteus.....	20

	Pág.
<b>Figura 14.</b> Sensor de humedad y temperatura.....	22
<b>Figura 15.</b> Sensores de flujo liquido o gaseoso.....	25
<b>Figura 16.</b> Diseño general de cámara de control de temperatura secundaria.....	32
<b>Figura 17.</b> Acercamiento de la plataforma porta-reactor.....	32
<b>Figura 18.</b> Diseño con algunas cotas.....	33
<b>Figura 19.</b> Vistas del diseño elaborado en diversas perspectivas.....	34
<b>Figura 20.</b> Estructura de soporte.....	35
<b>Figura 21.</b> Trabajos de construcción: Paneles de aislamiento.....	36
<b>Figura 22.</b> Trabajos de construcción: caja de control.....	36
<b>Figura 23.</b> Trabajos de construcción: montaje carcasa.....	37
<b>Figura 24.</b> Trabajos de construcción: sistemas de enfriamiento.....	37
<b>Figura 25.</b> Montaje de sistema embebido: ventiladores.....	38
<b>Figura 26.</b> Montaje de sistema embebido: motores de plataforma elevadiza.....	38
<b>Figura 27.</b> Montaje de sistema embebido: caja de interfaz.....	39
<b>Figura 28.</b> Programación en Arduino sistema embebido.....	39

	Pág.
<b>Figura 29.</b> Parte de circuito eléctrico elaborado en Proteus.....	40

**ÍNDICE DE TABLAS**

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Listado de piezas para la construcción de la estructura secundaria.....	31

## I. INTRODUCCIÓN

El INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA es una institución de educación superior ubicada en el Municipio de Pabellón de Arteaga del Estado de Aguascalientes y como parte de sus objetivos se encuentra el desarrollo de proyectos de innovación e investigación a través de residencias profesionales que den soluciones a problemas de la industria, de ciencia aplicada o de desarrollo tecnológico. Su laboratorio de Conversión de la Energía inicio operaciones en enero de 2019 dentro del programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica que se oferta en el plantel y donde se promueven proyectos de posgrado, investigación e innovación acordes a la línea de investigación de conversión de la energía. Esta línea de investigación se enfoca a la aplicación de metodologías de la Mecatrónica en procesos de conversión de la energía y energías renovables mediante el diseño e integración de dispositivos, sistemas programables y procesos orientados para la generación, almacenamiento y uso eficiente de la energía.

Uno de estos proyectos se refiere al control y automatización de una cámara de control de temperatura de una reacción polimérica acrílica para producir películas de poliacrilonitrilo como soporte de cristales de silicio monocristalino para la fabricación de células fotovoltaicas. Una reacción de polimerización se lleva a cabo empleando temperatura y/o son reacciones exotérmicas por lo que el efecto de la temperatura incide directamente en el peso molecular del polímero obtenido y en la velocidad a la que se lleva el proceso. Por lo que es importante mantener la reacción de polimerización dentro de un rango de temperatura acorde para optimizar en lo más posible la conversión de reactivos a productos y entre otros factores evitar la volatilización de los reactivos.

Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar de un sistema mecatrónico para el control de la temperatura de una síntesis polimérica exotérmica a través de un equipo de síntesis. Para el cumplimiento de esta meta se desarrolló una cámara de control de temperatura automatizada.

En particular se diseñó una cámara vertical automatizada y controlada por medio de un sistema embebido integrado por (i) un sensor de temperatura para regular el calor suministrado en la reacción y la propia que emite, (ii) un sistema de enfriamiento por aire

forzado a través de ventiladores, (iii) un mecanismo de agitación regulado en su velocidad de rotación de eje y (iv) prevista de una plataforma elevadiza para el reactor polimérico con desplazamientos verticales. Todos los elementos mecatrónicos fueron controlados por un lenguaje programable para microcontroladores *Arduino* para mantener la temperatura de reacción entre 50 y 60°C. La presente propuesta logrará controlar la temperatura de reacción de forma automatizada.

Este proyecto es la etapa 1 de 3 de un proyecto global denominado “desarrollo de un sistema mecatrónico de hilatura de fibras poliméricas acrílicas textiles para aplicaciones en sistemas de fuentes alternas de energía” (etapa 2 y 3 no presentados en este trabajo).

### **1.1 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo del residente**

El ramo económico de la institución es la educación, específicamente la educación superior, así como el desarrollo de proyectos de innovación e investigación con la industria (desarrollo tecnológico) o académicos (ciencia aplicada).

Sus políticas de misión, visión, objetivos (retos) y valores de la institución son:

#### *Misión*

Brindar un servicio de educación superior de calidad comprometido con la generación, difusión y conservación del conocimiento científico, tecnológico y humanista, a través de programas educativos que permitan un desarrollo sustentable, conservando los principios universales en beneficio de la humanidad.

#### *Visión*

Ser una institución de educación superior reconocida a nivel nacional e internacional, líder en la formación integral de profesionistas de calidad y excelencia, que promueve el desarrollo armónico del entorno.

#### *Objetivos de la empresa*

Asegurar la calidad de todos los procesos académicos, entre los que se encuentran:

- El diseño de especialidades
- Asesoría de residencias profesionales
- Desarrollo de proyectos de innovación
- Servicios de educación continua
- Investigación educativa
- Acreditaciones de planes de estudio

### *Valores*

A fin de guiar y orientar las acciones cotidianas de todo su personal, la institución define los siguientes valores institucionales:

- Compromiso. - lograr propósitos comunes mediante el trabajo responsable y en equipo, mejorando permanentemente el ser, hacer y tener mediante la participación activa y el liderazgo compartido.
- Responsabilidad. - decidir y actuar conforme al análisis previo de las consecuencias inmediatas o mediatas de las acciones.
- Respeto. - actitud personal y colectiva hacia la conservación, mejoramiento y protección de las diversas formas de vida, además de la aceptación de la diversidad propia de lo humano.
- Cooperación. - facilitar condiciones que allanen el trabajo de los demás, y capacitar a toda la gente para propiciar su desarrollo personal y profesional dentro y fuera de la institución.
- Honestidad. - liderazgo que toma decisiones con base en una información completa, retroalimentando directamente con resultados e impacto mutuo, dando transparencia a cada una de las acciones personales e institucionales.
- Equidad. - crear un ambiente que permita establecer un sistema de reconocimiento al esfuerzo individual y de grupo en la institución.

En la Figura 1 se presenta el organigrama de la institución, así como el área de trabajo del residente. Las funciones del residente son propias del proyecto de residencia

y se enfocan al diseño, construcción, control y automatización de una cámara vertical de control de temperatura para una reacción polimérica exotérmica.



**Figura 1.** Organigrama de la institución y del área de residencia.

## 1.2 Problema(s) a resolver

El poliacrilonitrilo es un polímero que se obtiene a partir de reacciones de adición de su monómero de acrilonitrilo, el cual tiene un punto de ebullición de 77°C. Aunado a lo anterior, requiere de aplicación de temperatura para facilitar la generación de radicales libres y es una reacción exotérmica súbita, por lo que se debe regular su temperatura de reacción para evitar pérdidas por evaporación del monómero. Estas mermas de reactivo inciden directamente en el porcentaje de rendimiento de conversión de reactivos a productos, pudiendo ser por debajo del 80% de rendimiento.

Derivado de lo anterior, se han detectado las siguientes áreas de oportunidad:

- 1.- Control de la temperatura de reacción.

- Eliminar el control manual de temperatura de reacción. Actualmente se realiza a través de la colocación del reactor en baño maría (estabilización de temperatura inicial) y baño de agua fría (reducir la temperatura de proceso que súbitamente se presenta) de manera alternada cada que se detecta un incremento de temperatura.
- Mantener la temperatura de operación durante todo el tiempo de reacción en un rango entre 50 y 60°C.

## 2. Automatización y control

- Disponer de un equipo mecatrónico que automáticamente regule la temperatura de reacción a través de un mecanismo que realice de forma alternada la puesta del reactor a baño maría (ganancia de calor) y a enfriamiento (perdida de calor) sin supervisión ni manipulación manual.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

1. Diseñar y construir una cámara de control de temperatura mediante un sistema mecatrónico automatizado para mantener la temperatura constante de una reacción polimérica exotérmica.
2. Construir un sistema embebido mediante la integración de sensores de temperatura, agitación, enfriamiento y elementos mecánicos de desplazamiento para mantener la temperatura de una reacción polimérica dentro de un rango determinado.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar el diagrama grafico de la cámara de control de temperatura mediante software de diseño Solid Works para definir dimensiones, componentes y funcionamiento del sistema.

- Construir la estructura de soporte de la cámara de control de temperatura mediante el uso de materiales de fácil adquisición para la integración de componentes de control y automatización del sistema de enfriamiento.
- Construir el sistema embebido de *open source* en *Arduino* mediante la integración de elementos de hardware y electrónica modular para desarrollar el sistema de control de enfriamiento del equipo.
- Elaborar el software embebido (código de programación) mediante lenguaje de programación aplicable para *Arduino* para la ejecución de funciones en tiempo real para controlar la temperatura de una reacción polimérica exotérmica.

#### 1.4 Justificación

En la industria textil las fibras acrílicas son fibras sintéticas que en forma de hilo son empleadas en un gran número de productos textiles como colchas, tapetes, guantes, entre otros. Por lo que se considera que estas fibras tienen posibilidades de aplicación en sistemas de fuentes alternas de energía debido a que su aspecto es similar a la lana natural, pero son de mayor suavidad y de mantenimiento más simple. La síntesis de fibras acrílicas se realiza empleando monómero de acrilonitrilo en soluciones acuosas con empleo de temperatura para facilitar la reacción de polimerización. Sin embargo, el rango de temperatura debe ser controlado y no ser mayor a 60 °C debido a que el punto de ebullición del acrilonitrilo es de 77 °C (perdidas por evaporación). Una reacción de polimerización se lleva a cabo empleando temperatura y/o son reacciones exotérmicas. El efecto de la temperatura incide directamente en el peso molecular del polímero obtenido y en la velocidad a la que se lleva el proceso. Por lo que es importante mantener la reacción de polimerización dentro de un rango de temperatura acorde para optimizar en lo más posible la conversión de reactivos a productos y entre otros factores evitar la volatilización de los reactivos.

Los rendimientos de reacción de una síntesis de poliacrilonitrilo pueden ser menores al 80% por acción de la temperatura. En particular, temperaturas mayores a 60°C propician alta pérdida del reactivo de acrilonitrilo por evaporación (valor no cuantificado). Siendo este problema de difícil control de forma manual. Lo anterior propicia que durante todo el tiempo de operación se esté supervisando el proceso sin

garantizar un control estricto por la súbita elevación de la temperatura de la reacción, la cual es exotérmica.

Por lo que resulta necesario el poder implementar acciones de control a través de mecanismos automatizados mecatrónicos para controlar la temperatura de reacción en un rango adecuado de operación entre 50 y 60°C. En este proyecto se contempla como una de estas acciones el diseño y construcción una cámara vertical automatizada y controlada por medio de un sistema embebido controlados por software y hardware de acceso libre *Arduino*.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 POLÍMEROS

Los polímeros son un tipo particular de macromolécula, que se caracteriza por tener una unidad que se repite a lo largo de la molécula. Las pequeñas moléculas que se combinan entre sí mediante un proceso químico, llamado reacción de polimerización, para formar el polímero se denominan monómeros. La unión de todas estas pequeñas moléculas da lugar a una estructura de constitución repetitiva en el polímero y la unidad que se repite regularmente a lo largo de toda la molécula, se conoce con el nombre de unidad constitucional repetitiva (ucr) o unidad monomérica. Estas moléculas orgánicas son las que constituyen los materiales plásticos que conocemos y también los tejidos de los seres vivos (piel, músculos, tela de araña, seda, etc.).

La longitud de la cadena del polímero viene determinada por el número de unidades que se repiten en la cadena. Esto se llama grado de polimerización ( $X$ ), y su peso molecular viene dado por el peso de la unidad constitucional repetitiva multiplicado por el grado de polimerización. En un determinado polímero, si todas las unidades estructurales son idénticas este se llama homopolímero, pero si este procede de dos o más monómeros recibe el nombre de copolímero.<sup>1</sup>

Las reacciones de polimerización son muy variadas y sus mecanismos de reacción obedecen a la estructura química de los monómeros que les dan origen. Por lo tanto, la mayoría de estos mecanismos, son los mismos que se observan en las reacciones químicas de moléculas orgánicas sencillas. Existen dos tipos de polimerización: de adición o crecimiento de cadena y de condensación o crecimiento por pasos.

La polimerización por crecimiento de cadena se caracteriza porque los intermediarios del proceso (radicales libres, iones o complejos metálicos) son transitorios y no pueden aislarse. En la Figura 2 se presenta una reacción de polimerización por radicales libres.<sup>2</sup>

La polimerización por pasos se produce por reacciones entre moléculas que tienen grupos funcionales. A los compuestos intermediarios de peso molecular bajo se les llama oligómeros, y se pueden aislar. Se le puede describir como una reacción química sencilla que se efectúa repetidamente.



**Figura 2.** Polimerización por radicales libres del poliacrilonitrilo.

## 2.2 REACCIONES EXOTÉRMICAS

En las industrias de proceso, los reactivos químicos se convierten en otros productos de manera bien definida y controlada. El descontrol de las reacciones químicas ocurre bajo condiciones anormales, por ejemplo, por un mal funcionamiento del sistema de refrigeración o por una carga incorrecta de reactivos.<sup>3</sup>

Temperatura, presión, catálisis y contaminantes tales como el agua, oxígeno del aire y lubricantes de equipos pueden modificar las condiciones bajo las cuales las reacciones tienen lugar. Casi todas las reacciones químicas muestran un efecto térmico.

Cuando se produce calor durante una reacción (exotérmica), puede tener lugar una situación peligrosa dependiendo de la velocidad de la reacción, la cantidad de calor generada, la capacidad del equipo para eliminar el calor y la posible generación de gases.

En un proceso exotérmico, la energía se transfiere en forma de calor desde el sistema hacia los alrededores.<sup>4</sup>

## 2.3 TIPOS DE REACCIONES POLIMÉRICAS

Los procesos de polimerización fueron clasificados originalmente por Carothers en 1929 como polimerización por condensación y adición, basándose en la comparación de la fórmula molecular de los polímeros obtenidos con la de los monómeros de los cuales fueron formados. Posteriormente Flory en 1953 proporcionó una nueva base para la clasificación, de acuerdo al mecanismo de la polimerización, definiéndolos como polimerización en etapas y polimerización en cadena.<sup>5</sup>

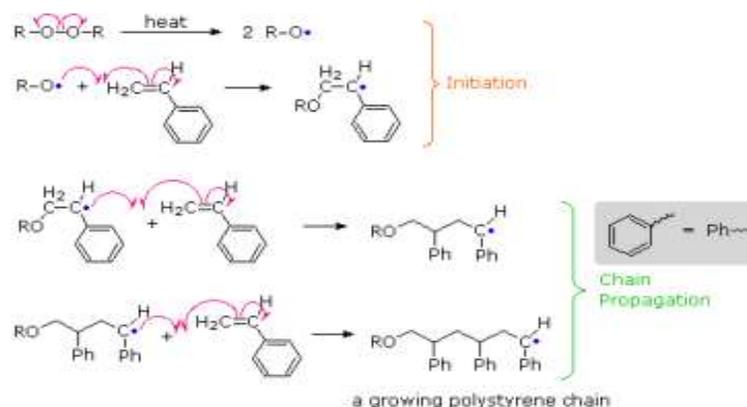
La polimerización por adición puede transcurrir a través de un mecanismo, en el que se formen radicales libres como especies intermedias en el curso de la reacción. En otros casos, la polimerización por adición tiene lugar mediante la formación de iones: carbocationes o carbaniones. En ambos casos, polimerización por adición radical y polimerización por adición iónica, la reacción transcurre a través de tres etapas:

- Iniciación: En esta etapa se forman los monómeros activados.
- Propagación: En esta etapa de la reacción se forma la cadena activada.
- Terminación: Esta fase se caracteriza por la pérdida de actividad y producción del polímero.<sup>6</sup>

La polimerización por adición radical transcurre a través de tres etapas: Iniciación, propagación y terminación, perfectamente diferenciadas, siendo la etapa de iniciación la que necesita mayor energía de activación. La etapa de iniciación es la etapa en la que se van a crear los radicales libres. La formación de dichos radicales puede producirse de varias formas: -Por acción del calor, -Por acción fotoquímica, -Por acción de compuestos productores de radicales libres. Por acción de compuestos productores de radicales libres es la más utilizada. Los iniciadores deben ser compuestos relativamente inestables que fácilmente puedan dar lugar a radicales libres.<sup>7</sup>

En las Figuras 3 a la 5 se presentan reacciones de polimerización, activación de radicales libres y crecimiento de cadenas respectivamente.

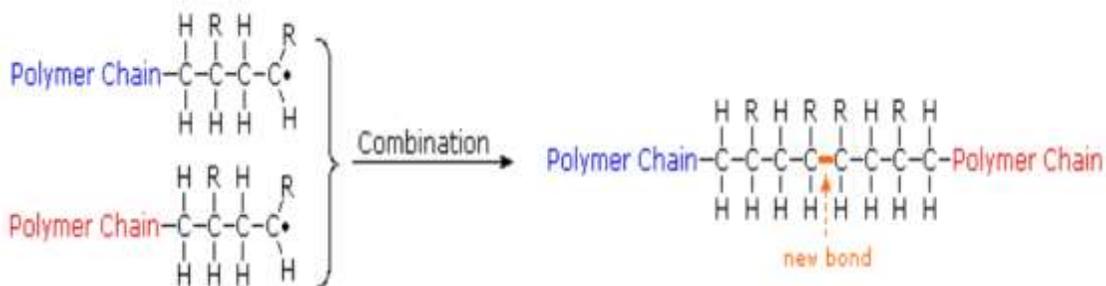
## POLIMERIZACIÓN DE ADICIÓN EN CADENA POR RADICALES LIBRES



**Figura 3.** Polimerización de adición (En cadena por radicales libres).



**Figura 4.** La iniciación consiste entonces en la ruptura del iniciador, para formar radicales libres por efecto térmico.



**Figura 5.** Desactivación de las especies activas, por reacción mutua o con otras moléculas.

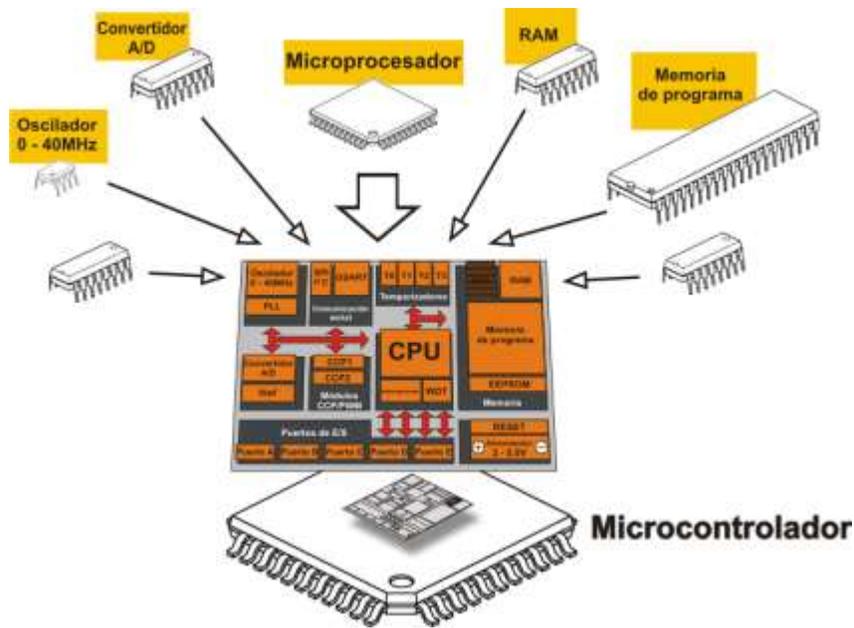
## **2.4 POLIACRILONITRILO**

El poliacrilonitrilo (PAN) es una resina polimérica sintética, semicristalina, con la fórmula lineal  $(C_3H_3N)_n$  ver Figura 2. Aunque es termoplástico, no se funde en condiciones normales. Se degrada antes de la fusión. Casi todas las resinas de poliacrilonitrilo son copolímeros fabricados a partir de mezclas de monómeros con acrilonitrilo como componente principal. Es un polímero versátil utilizado para producir gran variedad de productos incluyendo membranas de ultra filtración, fibras huecas para ósmosis inversa, fibras para textiles. Las fibras del PAN son el precursor químico de la fibra de carbono de alta calidad. El poliacrilonitrilo (PAN) por sí solo no presenta muchas aplicaciones, pero si se emplea para sintetizar otro polímero, la fibra de carbono, y también interviene en la fabricación de otros copolímeros.<sup>8</sup>

El PAN no tiene ninguna de las propiedades peligrosas del monómero, el cual es tóxico y carcinógeno. Debido a la formación de fuertes enlaces químicos entre los grupos de nitrilo (CN), las moléculas de polímero resisten la mayoría de los solventes orgánicos y no se funden sin descomponerse. En la mayoría de los casos, el polímero se disuelve en solventes especiales y se hila en fibras acrílicas, que se definen como fibras que contienen 85 por ciento o más de PAN. Debido a que el PAN es difícil de disolver y es altamente resistente a la tinción, se produce muy poca fibra que contenga solo PAN.<sup>9</sup>

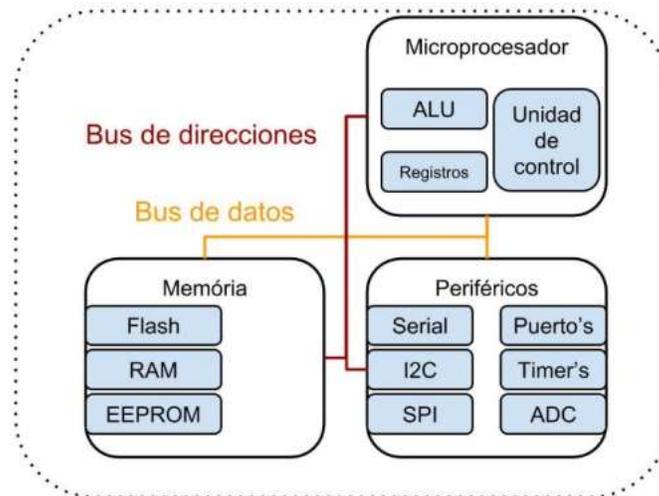
## **2.5 MICROCONTROLADORES**

El microcontrolador fue inventado por Texas Instruments en la década de 1970, casi al mismo tiempo que el primer microprocesador que estaba siendo inventado en Intel. Los primeros microcontroladores eran simplemente microprocesadores con una función de memoria, como la memoria RAM y ROM. Más tarde, los microcontroladores se desarrollaron en una amplia gama de dispositivos diseñados para aplicaciones de sistemas integrados específicos en dispositivos tales como automóviles, teléfonos móviles y electrodomésticos.<sup>10</sup> En la Figura 6 se presentan las partes típicas de un microcontrolador convencional.



**Figura 6.** Partes de un microcontrolador.

El Microcontrolador es un circuito integrado que es el componente principal de una aplicación embebida. Es como una pequeña computadora que incluye sistemas para controlar elementos de entrada/salida. También incluye a un procesador y por supuesto memoria que puede guardar el programa y sus variables (flash y RAM). Funciona como una mini PC. Su función es la de automatizar procesos y procesar información. El microcontrolador se aplica en toda clase de inventos y productos donde se requiere seguir un proceso automático dependiendo de las condiciones de distintas entradas.<sup>11</sup> En la Figura 7 se presenta el esquema de un microcontrolador.



**Figura 7.** Esquema general de un Microcontrolador.

El propósito fundamental de los microcontroladores es el de leer y ejecutar los programas que el usuario le escribe, es por esto que la programación es una actividad básica e indispensable cuando se diseñan circuitos y sistemas que los incluyan. El carácter programable de los microcontroladores simplifica el diseño de circuitos electrónicos. Permiten modularidad y flexibilidad, ya que un mismo circuito se puede utilizar para que realice diferentes funciones con solo cambiar el programa del microcontrolador. Los microcontroladores están diseñados para interpretar y procesar datos e instrucciones en forma binaria. <sup>12</sup>

## 2.6 ARDUINO

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. La estructura básica del lenguaje de programación de Arduino es bastante simple y se compone de al menos dos partes. Estas dos partes necesarias, o funciones, encierran bloques que contienen declaraciones, estamentos o instrucciones. En la Figura 8 se presenta una placa Arduino. <sup>13</sup>

La primera parte corresponde a la función `setup()`, que es la parte encargada de recoger la configuración. La función de configuración debe contener la declaración de las variables. Es la primera función a ejecutar en el programa, se ejecuta sólo una vez, y se

utiliza para configurar o inicializar pinMode (modo de trabajo de las E/S), configuración de la comunicación en serie y otras.

La segunda parte corresponde a la función *loop()*, la cual es la que contiene el programa que se ejecutará cíclicamente (de ahí el termino loop –bucle-). Ambas funciones son necesarias para que el programa trabaje. La función *loop()* hace precisamente lo que sugiere su nombre, se ejecuta de forma cíclica, lo que posibilita que el programa este respondiendo continuamente ante los eventos que se produzcan en la tarjeta. La función bucle (loop) siguiente contiene el código que se ejecutara continuamente (lectura de entradas, activación de salidas, etc.) Esta función es el núcleo de todos los programas de Arduino y la que realiza la mayor parte del trabajo.<sup>14</sup>



**Figura 8.** Arduino plataforma de creación de código abierto.

En la Figura 9 se describe los componentes de una tabla Arduino. Datos directamente tomados del fabricante.

# LA PLACA ARDUINO

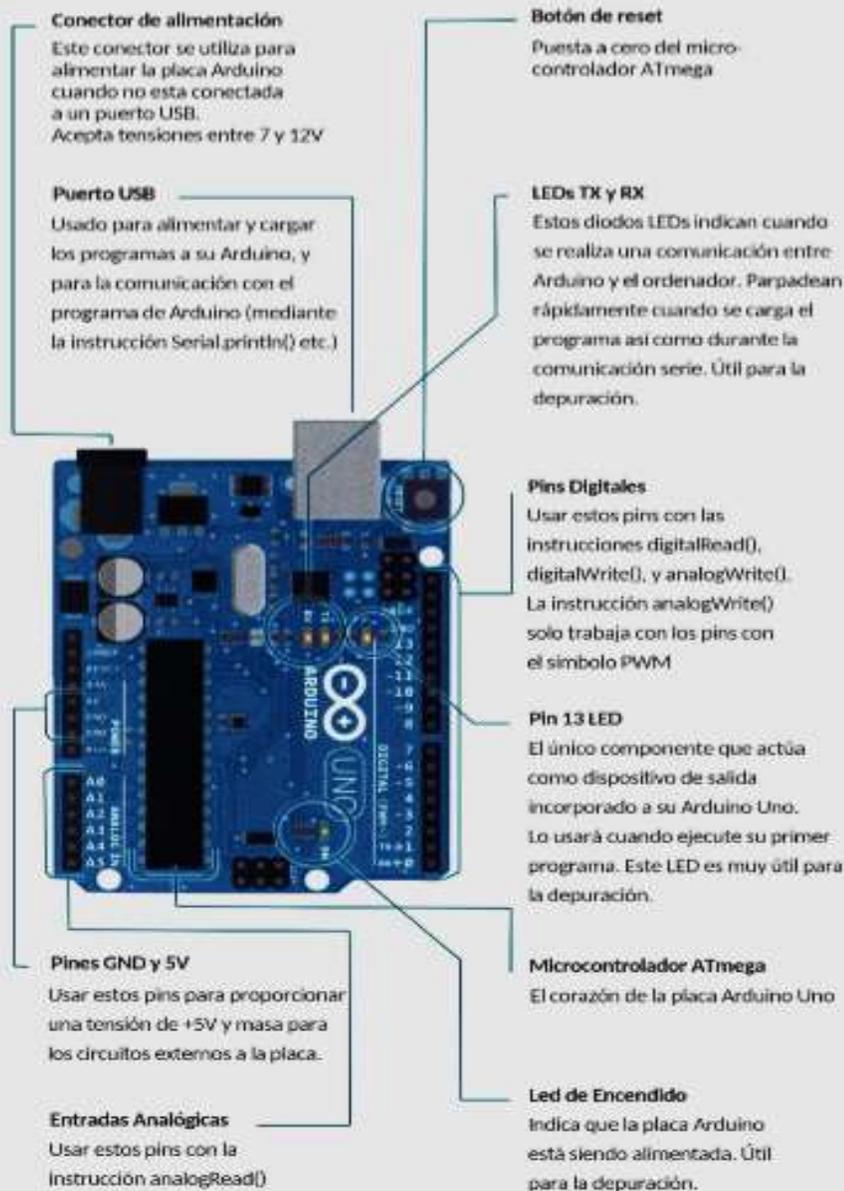


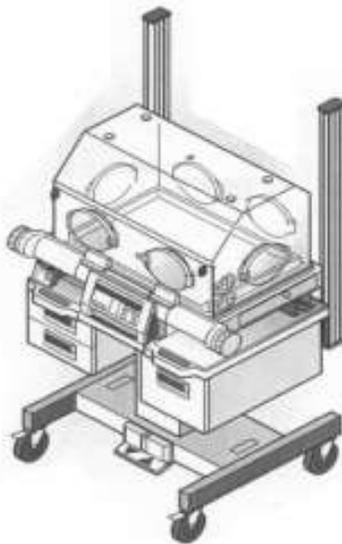
Figura 9. Estructura Física básica de Arduino.

## 2.7 CÁMARAS DE CONTROL DE TEMPERATURA

Un controlador de temperatura es un instrumento usado para el control de la temperatura. El controlador de temperatura tiene una entrada procedente de un sensor de temperatura y tiene una salida que está conectada a un elemento de control tal como un calentador o ventilador.

Una incubadora para recién nacidos en hospitales es un ejemplo típico de una cámara de control de temperatura donde se puede controlar la temperatura, humedad y oxigenación. La energía calorífica puede ser transferida de tres maneras: conducción, convección y radiación. La incubadora transfiere calor al paciente principalmente por convección, es decir, la transferencia de calor se realiza por medio de un fluido (aire) en movimiento. La circulación del aire se logra gracias a un ventilador o a una turbina que lo toma del exterior y lo pasa a través de un elemento calefactor antes de impulsarlo hacia el interior de la cámara donde se encuentra el paciente.<sup>15</sup>

El principio de funcionamiento de la incubadora antes descrita puede ser replicada en otras aplicaciones específicas. En la Figura 10 se muestra un esquema de una incubadora neonatal.

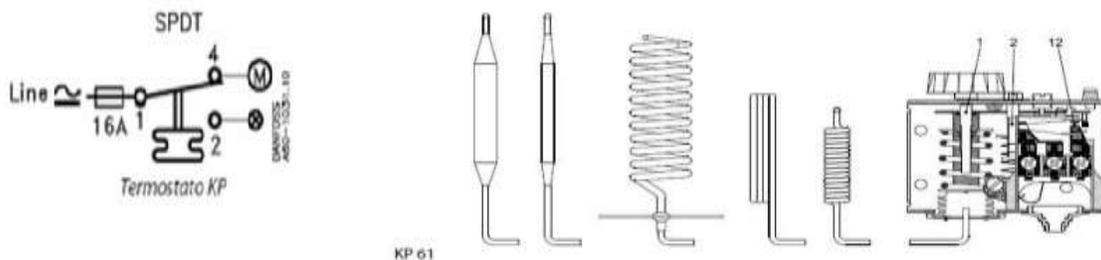


**Figura 10.** Incubadora Neonatal

Por otro lado, un termostato es un dispositivo de control que actúa abriendo o cerrando un contacto de un circuito eléctrico en función de las variaciones de temperatura del lugar dónde se encuentre su elemento sensor o bulbo. Los termostatos se clasifican en tres categorías principales:

- Los termostatos de ambiente.
- Los termostatos de evaporadores.
- Los termostatos para líquidos.

Su construcción se diferencia por el sistema del elemento motor: a) deformación de un elemento bimetálico; b) tensión de vapor de un fluido; c) dilatación de un líquido; d) presión de un gas liberado por un adsorbente.<sup>16</sup> En la Figura 11 se presentan formas de termostatos.



**Figura 11.** Los termostatos KP son interruptores eléctricos controlados por temperatura.

## 2.8 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AIRE FORZADO

Hay tres métodos principales de enfriamiento rápido disponibles en el mercado: refrigeración por aire forzado, refrigeración hidráulica y refrigeración por vacío. Estos métodos son ampliamente utilizados en el sector de alimentos.

### *Sistema de enfriamiento por aire forzado*

Requiere de un gradiente de presión para provocar el flujo de aire a través de las rejillas de ventilación del contenedor. Este método de enfriamiento logra un enfriamiento rápido como resultado del contacto íntimo entre el aire frío y el producto caliente. Solo

con una alineación de ventilación adecuada se puede lograr un enfriamiento rápido y uniforme en el pre-enfriador. El enfriamiento por aire forzado es uno de los pocos métodos de enfriamiento rápido que se utiliza con una amplia gama de mercancías

Para el enfriamiento por aire forzado, el tiempo de enfriamiento en enfriadores de aire forzado es controlado por caudal volumétrico y diámetro del producto.<sup>17</sup> En la Figura 12 se muestran cámaras de enfriamiento que emplean un sistema de enfriamiento por aire forzado.



**Figura 12.** Equipos con aire forzado de enfriamiento.

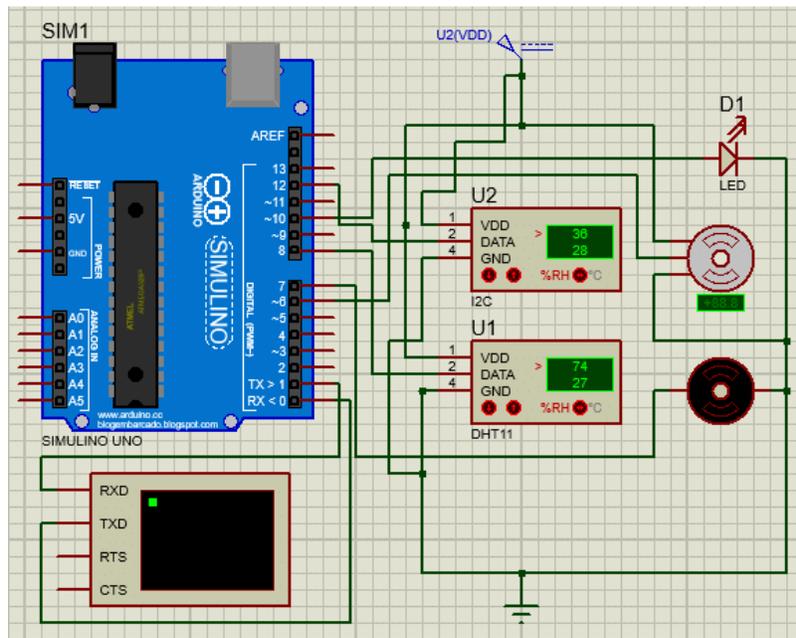
## 2.9 PROTEUS

El programa Proteus está conformado por dos aplicaciones llamadas Ares e Isis. En la Figura 13 se muestra un diagrama electrónico general obtenido por Proteus.

Isis está diseñado para realizar esquemas de circuitos con casi todos los componentes electrónicos que se encuentran actualmente disponibles en el mercado de los circuitos integrados y los componentes pasivos y activos utilizados en las aplicaciones electrónicas, además posee una aplicación de simulación que permite comprobar la efectividad de un circuito determinado ante una alimentación de voltaje. Puede simularse desde el encendido de un led hasta una serie una gran board con un sin número integrados digitales o micros.

Ares es una aplicación que se usa para situar los componentes utilizados en el esquema realizado en Isis sobre una board virtual que luego puede ser impresa en una impresora láser sobre papel propalcote o papel de fax. Los componentes pueden

encontrarse en la librería de la aplicación con los nominales de la clase de encapsulado en el caso de los integrados y con respecto a la denominación técnica referente a la forma física de los componentes. Esta aplicación cuenta con una serie de procesos automatizados que generan acciones de auto ruteo y auto posicionamiento cuando el proyecto se carga desde Isis, de lo contrario el posicionamiento y el ruteo debe hacerse manualmente.<sup>18</sup>



*Figura 13. Diagrama electrónico por Proteus.*

## 2.10 SOLID WORKS

SOLIDWORKS es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño. SOLIDWORKS emplea un procedimiento de diseño en 3D. Al diseñar una pieza, desde el croquis inicial hasta el resultado final, está creando un modelo en 3D. A partir de este modelo, puede crear dibujos en 2D o componentes de relaciones de posición que consten de piezas o

subensamblajes para crear ensamblajes en 3D. También puede crear dibujos en 2D a partir de los ensamblajes en 3D. Cuando diseñe un modelo con SOLIDWORKS, puede visualizarlo en tres dimensiones para ver su aspecto una vez fabricado. La aplicación SOLIDWORKS contiene funciones conocidas de Windows, como la de arrastrar y cambiar el tamaño de las ventanas, etc. Muchos de los iconos, como el de impresión, el de abrir, guardar, cortar y el de pegar, etc., también son parte de la aplicación SOLIDWORKS.<sup>19</sup> Las piezas son los bloques de construcción básicos en SOLIDWORKS. Los ensamblajes contienen piezas u otros ensamblajes, denominados subensamblajes. Un modelo de SOLIDWORKS consta de geometría en 3D que define sus aristas, caras y superficies.

## 2.11 SENSORES

Los sensores son dispositivos con propiedad sensible de detectar alteraciones del mundo que los rodea, variando una de sus propiedades para dar medida de la intensidad de la magnitud de dicha alteración. Los sensores pueden detectar las alteraciones, planificarlas, filtrarlas o modificarlas, cómo en el caso de la transformación de una magnitud física a una magnitud eléctrica.

Los sensores se pueden clasificar bajo varios criterios.<sup>20</sup>

Según aporte de energía

- Moduladores: precisan una fuente externa de alimentación.
- Generadores: toman únicamente la energía del medio donde miden.

Según la señal de salida

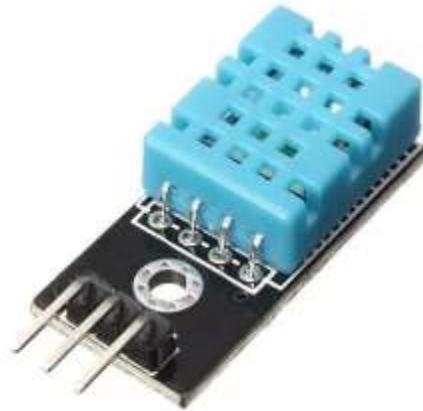
- Analógicos: la salida varía de forma continua. Normalmente la información está en la amplitud. Cuando la información está en la frecuencia se denominan “cuasi-digitales”.
- Digitales: la salida varía en pasos discretos

Un sensor es un convertidor técnico, que convierte una variable física (por ejemplo, temperatura, distancia, presión) en otra variable diferente, más fácil de evaluar

(generalmente una señal eléctrica).<sup>21</sup> Dentro de un proceso controlado, los sensores representan los “perceptores” que supervisan un proceso, indicando los errores, recogiendo los estados y transmitiendo esta información a los demás componentes del proceso.

Un sistema sensor consiste en varios componentes de medida y evaluación, a menudo con una parte significativa de funciones de procesamiento de señales. Los componentes son a menudo modulares y pueden ser intercambiados dentro de la misma familia de productos. Además de los sensores, también se dispone de procesadores de señales, microordenadores e interfaces de datos compatibles para el acondicionamiento de las señales dado que se precisa un procesamiento de la señal y un pre-montaje (caja, conexiones).

Un sistema multi-sensor es un sistema sensor con varios tipos de sensores similares o diferentes.<sup>22</sup> En la Figura 14 se observa un multisensor que tiene integrado sensores de temperatura y de humedad de suelos.



**Figura 14.-** Sensor de humedad y temperatura.

A continuación, se mencionan varios tipos de sensores disponibles en el mercado.

#### *Sensores de posición*

- Potenciómetros

Se usan para la determinación de desplazamiento lineal o angular. Este potencial puede medirse y disponer de un sistema de calibrado de manera que por cada potencial se obtenga proporcionalmente una distancia de desplazamiento.

- ENCODERS (codificadores angulares de posición)

Constan de un disco transparente con una serie de marcas opacas colocadas radialmente y equidistantes entre sí, de un sistema de iluminación y de un elemento fotorreceptor. El eje cuya posición se quiere medir va acoplado al disco, a medida que el eje gira se van generando pulsos en el receptor cada vez que la luz atraviese las marcas, llevando una cuenta de estos pulsos es posible conocer la posición del eje. La resolución depende del número de marcas que se pueden poner físicamente en el disco.

#### *Sensores de velocidad*

- Taco-generador: proporciona una tensión proporcional a la velocidad de giro del eje.
- Sensores de proximidad Detección de objetos próximos, antes del contacto para agarrar o evitar un objeto.

#### *Sensores Inductivos*

Modificación de un campo magnético por presencia de objetos metálicos. Consiste en una bobina situada junto a un imán permanente.

#### *Sensores de efecto Hall*

Modificación de un campo magnético por presencia de objetos metálicos. El efecto Hall relaciona la tensión entre dos puntos de un material conductor o semiconductor con un campo magnético a través de un material.

#### *Sensores Capacitivos*

Modificación de la capacidad de un condensador por presencia de objetos sólidos.

### *Sensores de Ultrasonidos*

Modificación de la distancia de objetos mediante la detección de ecos de ultrasonidos.

### *Sensores ópticos de proximidad*

Un sensor óptico o también llamado fotoeléctrico es capaz de detectar una presencia o algún objeto a distancia, a travez del cambio de intensidad de luz.

### *Termocupla*

Es un par de alambres de distinto material o composición, unidos en un extremo. En donde al aplicar temperatura en la unión se genera una tensión en milivolts, tensión que aumenta proporcionalmente con el aumento de la temperatura.<sup>23</sup> Existen varios tipos de termocupla, puesto que cualquier par de metales conformaría un tipo determinado. Sin embargo, la empírica ha llevado al uso de ciertos tipos estandarizados, a los que se les cita por una letra (las más típicas son las tipo J, K ). Cada tipo difiere en el material de los metales A y B. Al diferir los materiales de construcción difieren los rangos de trabajo, el voltaje generado por unidad de grado y la máxima temperatura útil (antes que se funda).

### *Sensores de flujo*

- Turbina: Los medidores de tipo turbina se basan en el uso de piezas rotantes que son impulsadas por el flujo del fluido, (tales como hélices empujadas por el fluido) y giran a una velocidad proporcional al caudal del fluido circulante.
- Los anemómetros miden la velocidad instantánea del viento, pero las ráfagas de viento desvirtúan la medida, de manera que la medida más acertada es el valor medio de medidas que se tomen a intervalos de 10 minutos.<sup>24</sup>

En la Figura 15 se observa un sensor de flujo gaseoso.



**Figura 15.** Sensores de flujo líquido o gaseoso.

### **III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS**

Durante el presente proyecto se realizó el diseño y construcción de dos estructuras propuesta de cámaras de control de temperatura.

La primera estructura (estructura primaria) se desarrolló con materiales de baja calidad, pero de resistencia comprobada que permitieron integrar al proyecto un sistema embebido de control para validar el funcionamiento de un sistema de elevación y activación de un sistema de ventilación.

La segunda estructura (estructura secundaria) se establece como propuesta para manejar materiales de mejor calidad y con un sistema embebido que permita el control de un sistema de enfriamiento forzado. Además, se contempla el sistema de sujeción de un reactor específico para llevar a cabo la síntesis donde las dimensiones del reactor permitieron establecer un nuevo diseño para asegurar que el reactor tenga también desplazamientos verticales y se someta a corrientes de aire frío para regular la temperatura de la reacción.

En este reporte se presenta la estructura primaria construida, así como el sistema embebido integrado a la misma. También se presenta el diseño de la estructura secundaria. Demás información por disposiciones de la dependencia se reserva para generar productos académicos de alto valor académico.

#### **3.1 Diseño de la cámara de control de temperatura**

Mediante software de diseño Solid Works se elaboró el diseño de la cámara primaria y secundaria previa a su construcción para validar dimensiones, materiales y funcionamiento.

En este trabajo se presentan únicamente los diseños de la estructura secundaria.

Los diseños desarrollados permiten establecer la forma de integración de los componentes mecatrónicos en el equipo de tal manera que se facilite la movilidad y operatividad de las cámaras.

El diseño en ambas cámaras contempla las siguientes funciones básicas:

- 1) Una estructura de soporte a base de herrería de acero al carbón comercial con recubrimientos en madera (estructura primaria) o de acero en forma de láminas (estructura secundaria). El objetivo de esta cámara es crear un ambiente semiabierto para mantener temperaturas semi-controladas.
- 2) Un sistema de sujeción de reactor de síntesis. En el caso de la estructura primaria se contempla una canastilla elaborada en impresora 3D para sostener un vaso de precipitado de 250 mL. En la estructura secundaria se contempla una plataforma hecha a la medida para la soportería de un reactor redondo de 3 bocas de 500 mL de capacidad.
- 3) Sistema elevador vertical. En ambas estructuras se desarrolla un sistema de elevación vertical que permite llevar al reactor de una placa de calentamiento (baño maría) a – al que es sometido para inicialmente llegar a la temperatura de operación – hacia la zona de enfriamiento por aire forzado (ventilación).
- 4) Sistema de enfriamiento. En ambas estructuras se desarrolla un sistema de ventilación que funge como refrigerante. El sistema se basa en ventiladores de 9x9 cm de equipo de cómputo convencional que inciden sobre el reactor (una vez en posición) aire a circulación forzada.
- 5) Sistema embebido de control. En ambas estructuras se integra un sistema mecatrónico a base de Arduino para el control del sistema de elevación (por medio de barras roscadas) y la activación del sistema de los ventiladores del sistema de enfriamiento. El principio de funcionamiento en ambas estructuras se basa en: (i) inicio de la reacción polimérica exotérmica, (ii) dado un periodo determinado se detecta que la temperatura excede el rango establecido, (iii) se activa el sistema de elevación para llevar el reactor de un punto A a un punto B, (iv) activar el sistema de ventilación para disminuir por convección la temperatura del reactor al rango deseado y (v) una vez alcanzado la temperatura de operación deseada se regresa el reactor al punto de inicio.

Este procedimiento se repite las  $n$  veces necesarias hasta concluir el tiempo de reacción.

### 3.2 Construcción de la cámara de control de temperatura

En este trabajo se presentan únicamente las evidencias de la construcción de la estructura primaria.

#### *Estructura primaria*

Construcción de la cámara empleando materiales de fácil adquisición, pero de resistencia comprobada. La estructura de soporte permitirá integrar el sistema de enfriamiento en un solo paso (*one step*). Se emplean equipos especializados de manufactura para su construcción.

Los materiales que se emplearon fueron:

- Acero al carbón comercial de  $\frac{1}{8} \times \frac{1}{2}$ .
- Tapas aislantes de madera.
- Canastilla porta reactor elaborada en impresora 3D.
- Componentes electrónicos de Arduino: protoboard, cables jumper, componentes varios CNC, shields, motoreductores

#### *Estructura secundaria*

En este proyecto no se describe los materiales a emplear por disposición de la dependencia debido a que la información generada serán empleados para desarrollar un producto académico de alto impacto académico.

### 3.3 Sistema de control

En ambas estructuras se diseñó y construyó el diagrama electrónico y el sistema embebido de *open source* en Arduino mediante la integración de elementos de hardware y electrónica modular para desarrollar el sistema de control de enfriamiento del equipo. Se elaboró el código de programación aplicable. El sistema de control por Arduino permite detectar la temperatura del reactor y activar el elevador vertical y el sistema de enfriamiento tantas veces sea necesario durante todo el tiempo de reacción para mantener la temperatura en el rango de operación determinado.

En este proyecto se presenta el código de la estructura primaria. No se describe el sistema de control de la estructura secundaria por disposición de la dependencia debido a que la información generada serán empleados para desarrollar un producto académico de alto impacto académico

### 3.4 Cronograma de actividades

Actividades	Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31
Diseño de la cámara de control de temperatura										
Construcción de la cámara de control de temperatura										
Diseño del sistema de control										
Construcción del sistema de control										
Asesorías										
Evaluación y seguimiento de asesorías										
Evaluación de reporte										
Informe semestral										
Elaboración reporte técnico (productos entregables)										

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Diseño de la cámara de control de temperatura

Como se describió en la sección anterior, en este apartado se presentan los diseños de la estructura secundaria en diferentes vistas. Esta estructura es la mejora de reingeniería de la estructura primaria en donde se pretenden utilizar materiales de mejor calidad y de mejor resistencia comprobada.

Se contempla emplear materiales como:

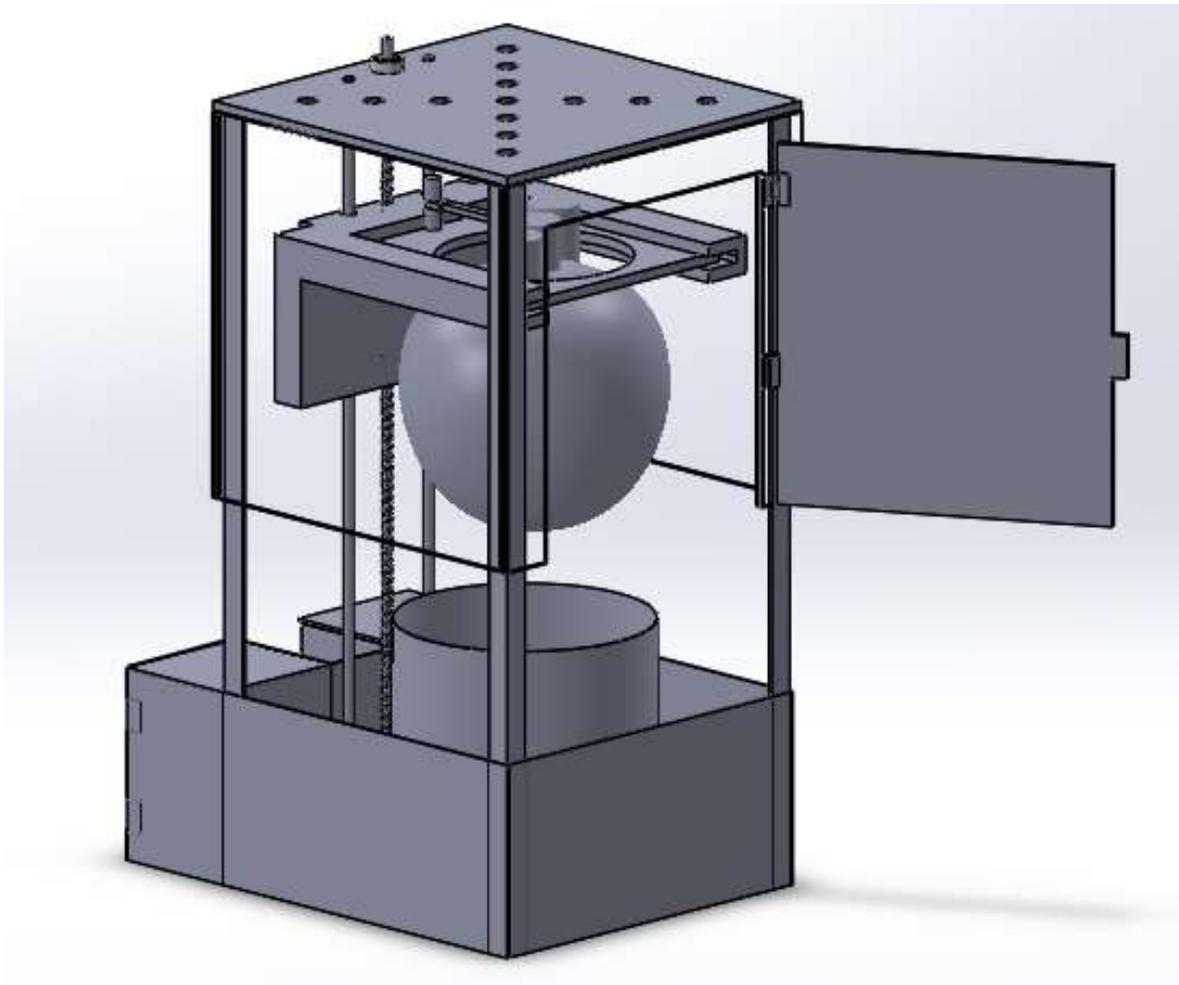
- Acero al carbón de 1/8 por 1/2 pulg.
- Láminas de acero como protectores.
- Acrílico.
- Varillas lisas y roscadas.
- Diversos componentes CNC como coples, poleas dentadas, motor a pasos NEMA, chumaceras, soportes de piso, tuercas husillo, entre otros.

En la Tabla 1 se presenta un listado más preciso de los materiales a emplear.

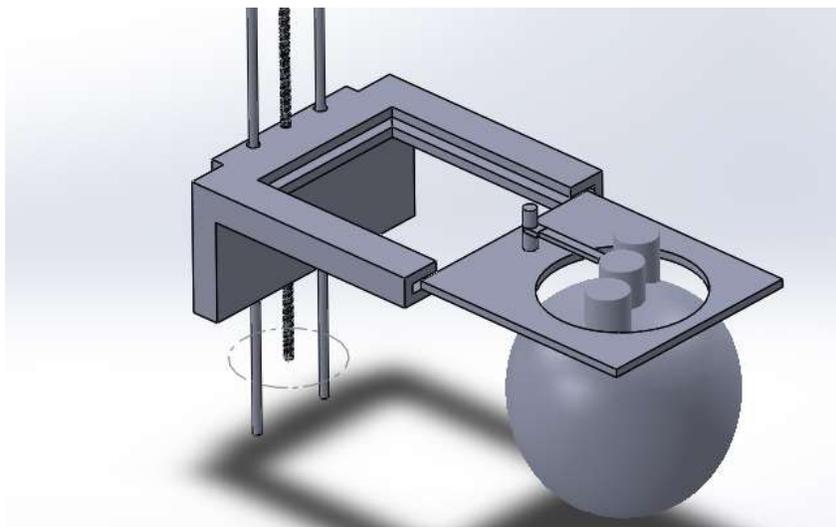
En las Figuras 16 a la 19 se presentan vistas del diseño de la estructura secundaria en su acabado final.

**Tabla 1.** Listado de piezas para la construcción de la estructura secundaria.

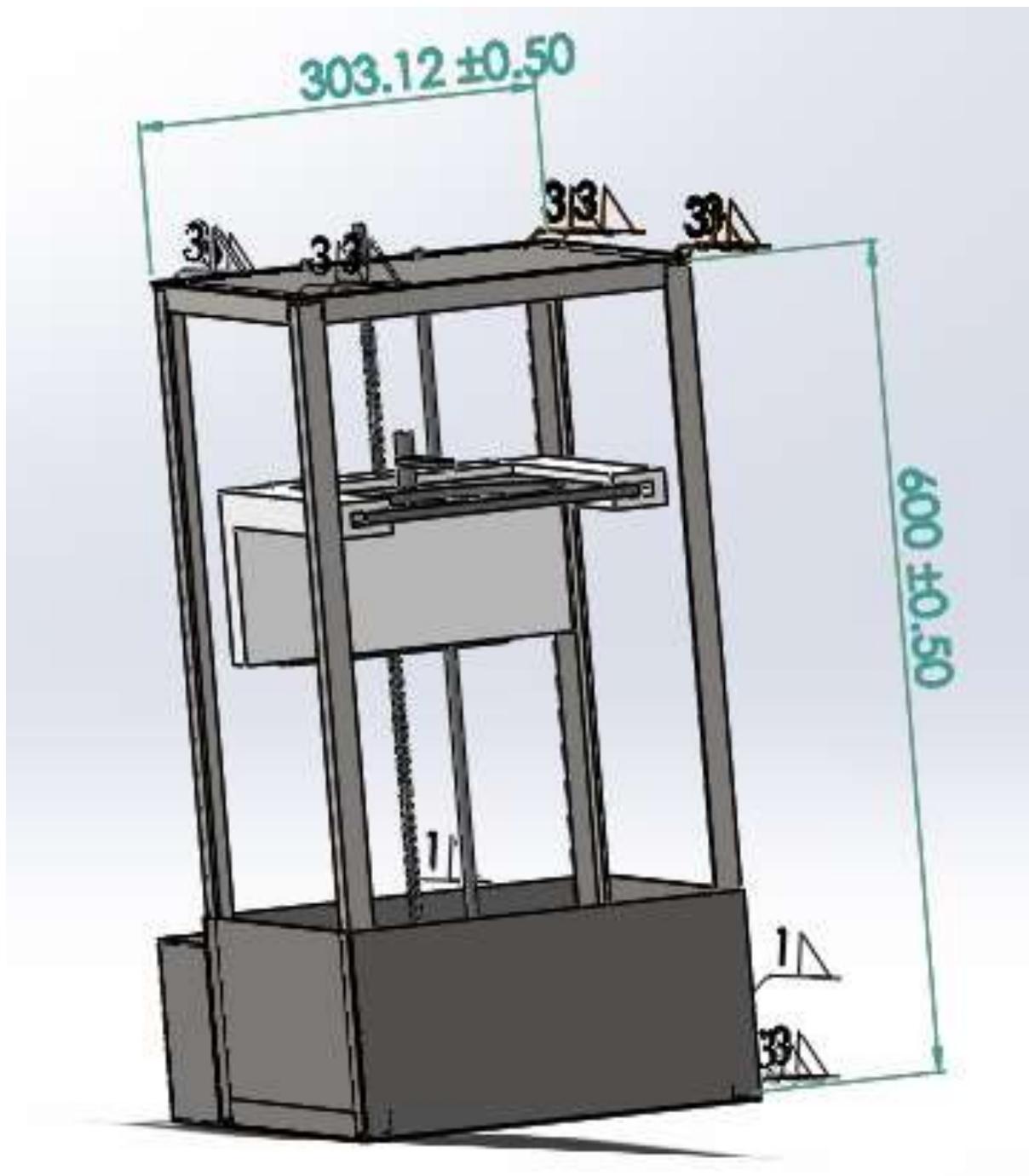
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Lamina frontal	4
2	Varilla roscada	1
3	Cople flexible	1
4	Plataforma elevadiza	1
5	Pedazo de varilla liza	1
6	Angulo 3,4 in	4
7	Angulo para unir estructura	4
8	Angulo sin corte extra	4
9	Tapa de la camara	2
10	Varilla liza	2
11	Plataforma elevadiza	1
12	Base de motor incluida en el motor	1
13	Base 2 del motor incluida en el motor	1
14	Cuerpo del motor, incluido en el motor	1
15	Tapa del motor incluida en el motor	1
16	Eje del motor	1
17	Corte de solera	2
18	Estructura extra para el circuito electrico y la camara de refrigeracion	1
19	Corte de lamina para la caja de circuitos electricos	1
20	Tapa A	1
21	Tapa B	1
22	Tapa C	1
23	Rodamiento lineal	2



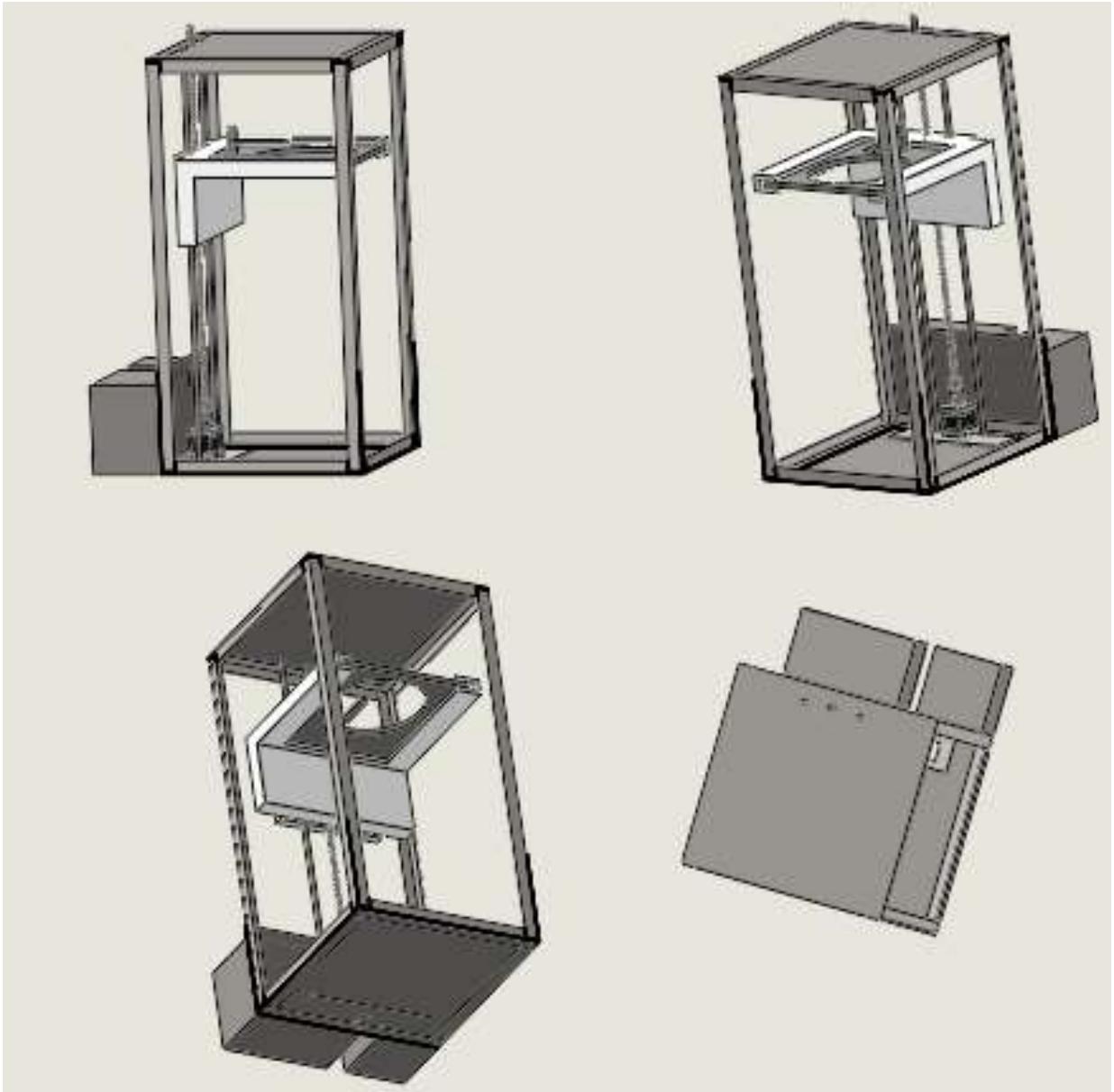
**Figura 16.** *Diseño general de cámara de control de temperatura secundaria.*



**Figura 17.** *Acercamiento de la plataforma porta-reactor.*



*Figura 18. Diseño con algunas cotas.*



**Figura 19.** *Vistas del diseño elaborado en diversas perspectivas.*

## 4.2 Construcción de la cámara de control de temperatura

Como se describió en la sección anterior, en este apartado se presentan los trabajos realizados para construir la estructura primaria. Esta estructura es la antesala de la estructura secundaria como una mejora de reingeniería en donde se pretenden utilizar materiales de mejor calidad y de mejor resistencia comprobada. La estructura primaria se elaboró para determinar la viabilidad de diseño. Ante los resultados de operatividad se decidió mejorar por lo que los elementos que integraron la estructura primaria fueron aprovechados para iniciar los trabajos de construcción de la estructura secundaria (resultados no mostrados en este proyecto).

En el apartado 3.2 se describen los materiales empleados. Todos fueron integrados en la estructura y se probó su operatividad en conjunto.

En las Figuras 20 a la 28 se presentan etapas de construcción del equipo.



**Figura 20.** Estructura de soporte.



**Figura 21.** Trabajos de construcción: paneles de aislamiento.



**Figura 22.** Trabajos de construcción: caja de control.



**Figura 23.** Trabajos de construcción: montaje de carcasa.



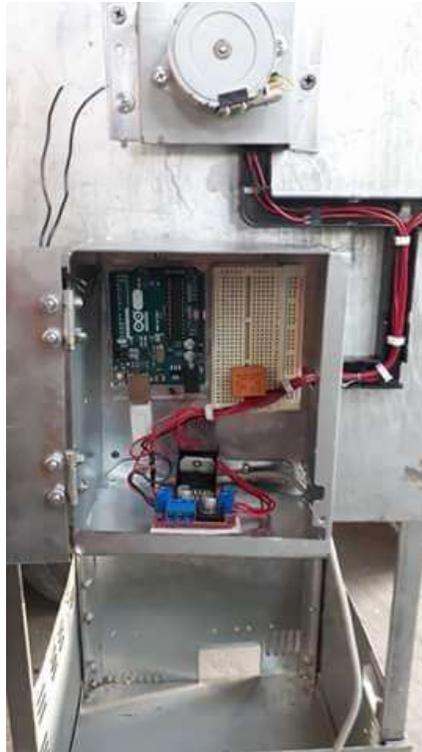
**Figura 24.** Trabajos de construcción: sistema de enfriamiento.



**Figura 25.** Montaje de sistema embebido: ventiladores.



**Figura 26.** Montaje de sistema embebido: motores de plataforma elevadiza.



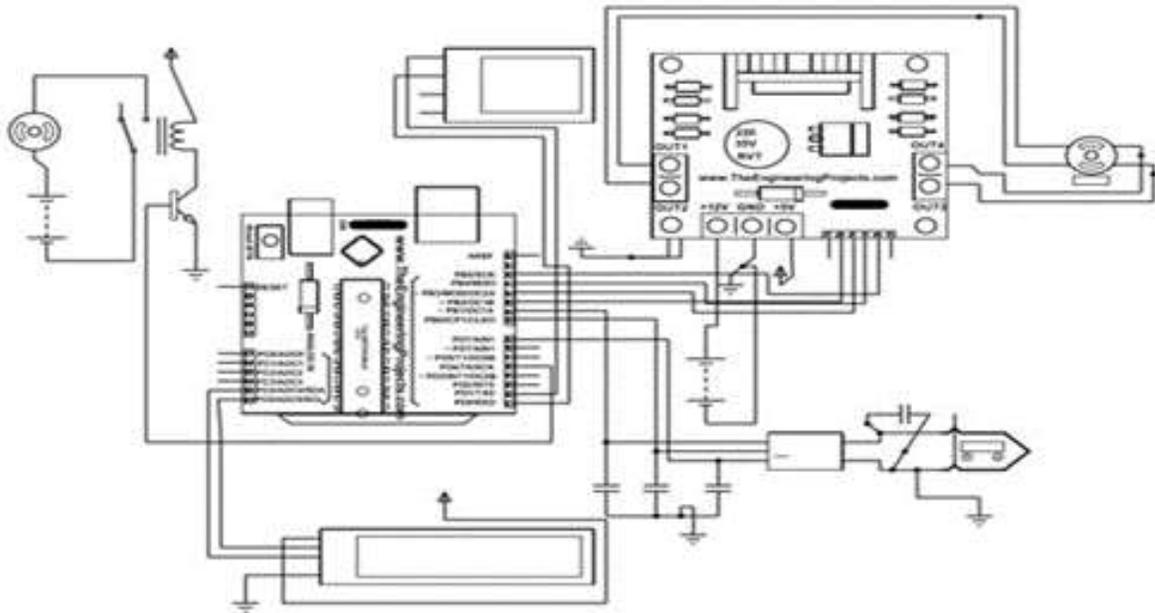
**Figura 27.** Montaje de sistema embebido: caja de interfaz.



**Figura 28.** Programación en Arduino sistema embebido.

### 4.3. Sistema de control.

Empleando programa Proteus se elabora un diagrama electrónico del sistema embebido empleado en la estructura primaria. En la Figura 29 se presenta el diagrama electrónico desarrollado en Arduino. Este diagrama permitió realizar las simulaciones de interfaz para la conexión en físico de los elementos.



**Figura 29.** Parte de circuito eléctrico elaborado en Proteus.

A continuación, se presenta el código Arduino empleado para el control de los motores y ventiladores integrados a la cámara de control de temperatura.

```

1. #include "max6675.h"
2. #include <Wire.h>
3. #include <LiquidCrystal_I2C.h>
4. #include<TimerOne.h>
5. int ventilador=2;
6. int numero_pasos = 0;
7. int motorv = 3;
8. int i=0;
9. int m=A1;
10. int t;
11. int v;
12. int vpasos=5;
13. long senal_motor;
14. int pinmotor[] = {13, 12, 11, 10};
15. float temperatura;
16. LiquidCrystal_I2C lcd(0X3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
17. int ktcSO = 6;
18. int ktcCS = 4; // copia
19. int ktcCLK = 5;
20. MAX6675 ktc(ktcCLK, ktcCS, ktcSO);
21. void setup() {
22. for (int motor = 0; motor < 4; motor++) {
23. pinMode(pinmotor[motor], OUTPUT);
24. }
25. /*Timer1.initialize(900000); //300 ms
26. Timer1.attachInterrupt(tempe);*/
27. pinMode(ventilador,OUTPUT);
28. pinMode(motorv,OUTPUT);
29. lcd.begin(16, 2);
30. Serial.begin(9600);
31. lcd.clear();
32. lcd.setCursor(0, 0);

```

```
33. lcd.print(" BIENVENIDOS");
34. Serial.print("BIENVENIDOS ");
35. lcd.setCursor(3, 1);
36. lcd.print(" DJJ-MACK ");
37. Serial.print("DJJ-MACK ");
38. delay(500);
39. lcd.clear();
40. }
41. void loop() {
42. //Mostrar dato de temperatura en LCD.
43. lcd.setCursor(9,0);
44. lcd.print(temperatura);
45. lcd.setCursor(0,0);
46. lcd.print("Tempe: ");
47. lcd.setCursor(14,0);
48. lcd.print("C");
49. motor1();
50. senal_motor=analogRead(m);
51. vpasos=t*4;
52. v = map(senal_motor,0,1023,0,255);
53. analogWrite(motorv,255);
54. comparar();
55. pantalla();
56. tempe();
57. delay(200);
58. }
59. void pantalla(){ //Mostrar dato de temperatura en LCD.
60. lcd.setCursor(9,0);
61. lcd.print(temperatura);
62. lcd.setCursor(0,0);
63. lcd.print("Tempe: ");
64. lcd.setCursor(14,0);
```

```

65. lcd.print("C");
66. }
67. void tempe(){
68. temperatura=ktc.readCelsius();
69. Serial.println("Temperatura = "); //Enviar dato de temperatura por el puerto serial.
70. Serial.print(ktc.readCelsius()); // impresion en el serial de la variable temperatura
71. Serial.println(" C");
72. }
73. void motor1(){
74. senal_motor=analogRead(m);
75. v = map(senal_motor,0,1023,0,255);
76. analogWrite(motorv,v);}
77. void comparar(){ // condicionamiento de las señales basandose en la variable temperatura
78. if(temperatura>35){ // si la temperatura es mayor a la establecida
79. digitalWrite(ventilador, 1); // encendido del ventilador
80. if(numero_pasos<8 ){ // limita las revoluciones a dar
81. for(i=1;i<48;i++){ // hace que el motor de una revolucion completa
82. vueltas_z(); // manada a lla mar el subprograma que hace que gire hacia un lado
83. }
84. numero_pasos=(numero_pasos+1); // cuenta las revoluciones en total dadas
85. //Serial.println(numero_pasos); // sirve para establecer en un principio cuantos pasos son
necesarios paara llegar al punto limite superior
86. lcd.setCursor(0, 1);
87. lcd.print("temp alta");
88. }
89. else
90. apagado();
91. lcd.setCursor(0, 1);
92. lcd.print("temp alta");
93. }
94. else{
95. digitalWrite(ventilador, 0);

```

```

96. if(numero_pasos>0 ){
97. for(i=1;i<48;i++){
98. vueltas_d();
99. }
100.     numero_pasos=(numero_pasos-1);
101.     //Serial.println(numero_pasos);
102.     lcd.setCursor(0, 1);
103.     lcd.print("temp baja");
104.     }
105.     else
106.     apagado();
107.     lcd.setCursor(0, 1);
108.     lcd.print("temp baja");
109.     }
110.     }
111.     void apagado(){
112.     digitalWrite(13, LOW); // apagado de los pines del motor a pasos
113.     digitalWrite(12, LOW);
114.     digitalWrite(11, LOW);
115.     digitalWrite(10, LOW);
116.     }
117.     void vueltas_d(){ //ciclo de pines para el giro a la derecha
118.     digitalWrite(13,1);
119.     digitalWrite(12,0);
120.     digitalWrite(11,0);
121.     digitalWrite(10,0);
122.     delay(t);
123.     digitalWrite(13,0);
124.     digitalWrite(12,1);
125.     digitalWrite(11,0);
126.     digitalWrite(10,0);
127.     delay(t);

```

```
128.    digitalWrite(13,0);
129.    digitalWrite(12,0);
130.    digitalWrite(11,1);
131.    digitalWrite(10,0);
132.    delay(t);
133.    digitalWrite(13,0);
134.    digitalWrite(12,0);
135.    digitalWrite(11,0);
136.    digitalWrite(10,1);
137.    delay(t);
138.    }
139.    void vueltas_z(){ //ciclo de pines para el giro a la izquierda
140.    digitalWrite(13,0);
141.    digitalWrite(12,0);
142.    digitalWrite(11,0);
143.    digitalWrite(10,1);
144.    delay(t);
145.    digitalWrite(13,0);
146.    digitalWrite(12,0);
147.    digitalWrite(11,1);
148.    digitalWrite(10,0);
149.    delay(t);
150.    digitalWrite(13,0);
151.    digitalWrite(12,1);
152.    digitalWrite(11,0);
153.    digitalWrite(10,0);
154.    delay(t);
155.    digitalWrite(13,1);
156.    digitalWrite(12,0);
157.    digitalWrite(11,0);
158.    digitalWrite(10,0);
159.    }
```

## V. CONCLUSIONES

La aplicación de las estrategias académicas seleccionadas en conjunto con las actividades relacionadas con el presente proyecto permitió alcanzar los objetivos planteados. Se logró el diseño y construcción de dos estructuras, llamadas primaria y secundaria, de la cámara de control de temperatura. La primaria permitió establecer áreas de mejora para depurar la estructura secundaria tanto en calidad de materiales, sistema de programación y arquitectura de la estructura de soporte, carcasa y código de programación. Se logró realizar pruebas de síntesis de polímeros donde la temperatura se lograba controlar y mantener dentro del rango de temperatura deseado (menor a 70 °C).

El proyecto de residencia me permitió validar los conceptos teóricos y prácticos aprendidos durante mi estadía como estudiante de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica dentro de la Industria en situaciones reales.

Para llevar a cabo este proyecto se pusieron en práctica los conocimientos y habilidades a lo largo de la carrera, programación, control, resistencia de los materiales, química, análisis de fluidos, entre otras materias importantes. También se aplicó la investigación y redacción, ya que, al ser un proyecto de esta índole, se necesitan las herramientas básicas para tener un proyecto de calidad, eficiente y eficaz a su vez.

En particular aprendí a adaptarme a trabajos por objetivos. Además de siempre buscar la solución más factible mediante la aplicación de un método analítico y científico para eliminar los problemas desde raíz.

Mi tiempo de residencia profesional interactuando con temas de ciencia aplicada, investigación e innovación tecnológica fue una de las mejores experiencias profesionales que he vivido y donde aprendí lo importante que es llegar a establecer soluciones viables y resolver el problema raíz de la manera más factible.

## **VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS**

1. Diseñé e innové sistemas mecatrónicos, con base en las necesidades del proyecto de investigación de la institución para incrementar sus indicadores diversos de operación.
2. Aplique métodos cuantitativos y cualitativos en el análisis e interpretación de datos e información para diseñar y construir el sistema mecatrónico requerido.
3. Implementé métodos innovadores de solución de problemas de ciencia, los cuales pueden ser replicados a escala industrial.
4. Gestioné la generación del conocimiento específico para evidenciar la capacidad de acción de la Mecatrónica, ejerciendo un liderazgo estratégico y un compromiso ético.
5. Coadyuve a cumplir los retos de la institución en torno al fomento de proyectos de investigación.
7. Utilice las nuevas tecnologías de información y comunicación de la institución, para el estado del arte del proyecto y contar con información actualizada para la mejora de los diseños y la construcción del equipo del proyecto.
8. Promoví el desarrollo de la ciencia e investigación, con el fortalecimiento de las líneas de investigación del Posgrado de la institución.
9. Aplique métodos de investigación para desarrollar e innovar sistemas mecatrónicos.
10. Actúe como agente de cambio para facilitar la mejora continua en los procesos de aprendizaje de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la institución.
11. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas presentados durante la fase de construcción del proyecto.

## VII. FUENTES DE INFORMACIÓN

- (1) Hermida, É. (2011). Macromoléculas. En Polímeros (págs. 14-16). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Colección Encuentro Inet.
- (2) Carrasquero, F. L. (2005). FUNDAMENTOS DE POLÍMEROS. Venezuela.
- (3) Saíz, J. M. (2005). Energía, termoquímica y espontaneidad. En J. M. Saíz, Manifestaciones de la materia (págs. 320-322). Espejo de urania.
- (4) FIBRAS DE CARBONO SINTETIZADAS DESDE FIBRAS DE POLIACRILONITRILO (PAN). (s.f.). Zolotucho H. y González O.C, Bariloch, Argentina.
- (6) Morgan, P. (2005). CARBON FIBERS and their Composites. United States of America: CRC press.
- (5) Romero, F. J. (Junio de 2017). SEMINARIO DE ACTUALIZACIÓN PROFESIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA LA INDUSTRIA DE LOS POLÍMEROS. Obtenido de <https://tecnologiadelospolimeros.files.wordpress.com/2017/06/polimerizacic3b3n-por-adicic3b3n.pdf>
- (7) Francisco López Serrano Ramos, E. M. (2015). EDITORIAL CUCE. Obtenido de <https://ecupei.com/polimeros/>
- (8) Mariano. (16 de Junio de 2011). Tecnología de los Plásticos. Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/poliacrilonitrilo.html>
- (9) Hosch, W. L. (23 de Julio de 2009). Enciclopedia Británica. Obtenido de <https://www.britannica.com/science/matter>
- (10) Aycock, S. (Recuperado 2019). Techlandia.com. Obtenido de [https://techlandia.com/historia-del-microcontrolador-info\\_516984/](https://techlandia.com/historia-del-microcontrolador-info_516984/)
- (11) E-Marmolejo, D. R. (2017). HETPRO. Obtenido de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>
- (12) Mecafenix, F. (6 de Abril de 2017). Ingeniería Mecafenix. Obtenido de <https://www.ingmecafenix.com/electronica/microcontrolador-pic-partes-aplicaciones/>
- (13) FM, Y. (3 de Agosto de 2018). Xataka. Obtenido de <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>

- (14) Gutiérrez, J. M. (Agosto de 2007). ArduinoBot. Obtenido de <https://arduinoobot.pbworks.com/f/Manual+Programacion+Arduino.pdf>
- (15) calidad, S. d. (Agosto de 2004). Secretaría de Salud. Obtenido de <http://www.cdi.salud.gob.mx:8080/BasesCDI/Archivos/Equipomedico/incubadora.pdf>
- (16) Marketing/MWA), D. A. (Junio de 2007). Danfoss. Recuperado el 13 de Noviembre de 2019, de [http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/01/PF000G105\\_Cap%C3%ADtulo\\_04.pdf](http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/01/PF000G105_Cap%C3%ADtulo_04.pdf)
- (17) Elansari, A. (Junio de 1998). <https://www.researchgate.net/>. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/277009327\\_Fast\\_Cooling\\_Technical\\_manual](https://www.researchgate.net/publication/277009327_Fast_Cooling_Technical_manual)
- (18) Rojas, P. A. (2008). <http://www.tecnica1lomas.com.ar/>. Recuperado el 13 de Noviembre de 2019, de <http://www.tecnica1lomas.com.ar/>
- (19) My.solidworks.com. (n.d.). [online] Available at: [https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS\\_Introduction\\_ES.pdf](https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_ES.pdf) [Accessed 13 Nov. 2019].
- (20) Pelaz, L. (2012). Departamento de ELECTRICIDAD y ELECTRÓNICA. Recuperado el 26 de Noviembre de 2019, de [https://www.ele.uva.es/~lourdes/docencia/Master\\_IE/Sensores.pdf](https://www.ele.uva.es/~lourdes/docencia/Master_IE/Sensores.pdf)
- (21) F. Ebel, S. N. (1993). Festo Didactic. Recuperado el 26 de Noviembre de 2019, de F. Ebel, S. Nestel: [https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/094342\\_leseprobe\\_es.pdf](https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/094342_leseprobe_es.pdf)
- (22) De la Fuente, M. J. (s.f.). Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Recuperado el 26 de Noviembre de 2019, de <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>
- (23) Garrido, P. (s.f.). Asociación de la Industria. Electrónica Chile. Recuperado el 26 de Noviembre de 2019, de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/sensores-de-temperatura.pdf>
- (24) Torres, S. (s.f.). Asociación de la Industria. Electrónica Chile. Recuperado el 26 de Noviembre de 2019, de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/sensores-de-flujo.pdf>

# ANEXO 1

## Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional

 **EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

 **TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga  
Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Pabellón de Arteaga, Ags., 19/agosto/2019  
No. de Oficio: D 041-b/2019  
Asunto: Carta aceptación residencias profesionales

**MA. MAGDALENA CUEVAS MARTÍNEZ**  
**JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN**  
**PRESENTE**

Por medio del presente se notifica que el C. JUAN MANUEL AGUIÑAGA MARTÍNEZ, estudiante de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, con número de control 151050137, ha sido aceptado para realizar en esta institución su proyecto de Residencia Profesional denominado "Cámara de control de temperatura de una reacción polimérica a través de un sistema de enfriamiento automatizado" durante el periodo de agosto-diciembre 2019, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 10:00 a 17:00 hrs. de lunes viernes, bajo la supervisión de los docentes Raúl Llamas Esparza (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto será realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo y quedo de Usted.

**ATENTAMENTE**  
Excelencia en Educación Tecnológica  
Tierra Siempre fértil



**HUMBERTO AMBRIZ DELGADILLO**  
**DIRECTOR**

C.p. Edgar Zacarias Moreno. - Subdirector Académico. I. T. Pabellón de Arteaga.  
Archivo.  
HAD/jada



Carretera a la Estación de Rincón Km 1, C.P. 20670 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes  
Tel. 01 (465) 9582730 y 9582482 ext. 100 e-mail: acad\_parteaga@tecnm.mx  
www.tecnm.mx | https://pabellon.tecnm.mx

 **TEC**



## ANEXO 2

### Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga  
Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Pabellón de Arteaga, Ags.,  
No. de Oficio:  
Asunto:

6/diciembre/2019  
D 067/2019  
Carta conclusión  
residencias  
profesionales

**MA. MAGDALENA CUEVAS MARTÍNEZ**  
**JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN**  
**PRESENTE**

Por medio del presente se notifica que el C. JUAN MANUEL AGUIÑAGA MARTÍNEZ, estudiante de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, con número de control 151050137, concluyó satisfactoriamente en esta Institución su proyecto de Residencia Profesional denominado "Cámara de control de temperatura de una reacción polimérica a través de un sistema de enfriamiento automatizado" durante el periodo de agosto-diciembre 2019, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 10:00 a 17:00 hrs. de lunes viernes, bajo la supervisión de los docentes Raúl Llamas Esparza (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto fue realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo y quedo de Usted.

**ATENTAMENTE**  
Excelencia en Educación Tecnológica  
Tierra Siempre fértil

**HUMBERTO AMBRIZ DELGADILLO**  
**DIRECTOR**



C.p. Edgar Zacarías Moreno. - Subdirector Académico. I. T. Pabellón de Arteaga.  
Archivo.

HAD/jada

Carretera a la Estación de Rincón Km 1, C.P. 20670 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes

Tel. 01 (465) 9582730 y 9582482 ext. 100 e-mail: acad\_parteaga@tecnm.mx

www.tecnm.mx | https://pabellon.tecnm.mx

