



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**  
**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE FLUJO DE AIRE EN UN COLECTOR SOLAR”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Electromecánico

**AUTORES:**

Tigse Tigse Alex Leonardo

Chiluisa Toaingá Cristhian Alexander

**TUTOR:**

Ing. M.S.c. Corrales Bastidas Byron Paúl

**LATACUNGA-ECUADOR**

**AGOSTO 2021**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Chiluisa Toainga Cristhian Alexander** y **Tigse Tigse Alex Leonardo** declaramos ser autores de la presente Propuesta Tecnológica:

**“Diseño de un sistema de control de flujo de aire en un colector solar”**, siendo el Ing. M.S.c. Corrales Bastidas Byron Paul tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

.....  
Chiluisa Toainga Cristhian Alexander

CC: 172647779-5

.....  
Tigse Tigse Alex Leonardo

CC: 185020257-1

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“Diseño de un sistema de control de flujo de aire en un colector solar”**, de Chiluisa Toaingá Cristhian Alexander y Tigse Tigse Alex Leonardo, de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto del 2021

-----  
Ing. M.S.c. Corrales Bastidas Byron Paúl

CC: 050234776-8

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Chiluisa Toinga Cristhian Alexander con C.C. 172647779-5 y Tigse Tigse Alex Leonardo C.C. 185020257-1 con el título de Proyecto de titulación:

**“Diseño de un sistema de control de flujo de aire en un colector solar”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Agosto del 2021

Para constancia firman:

-----

Lector 1

Ing. Luis Miguel Navarrete López

CC: 1803747284

-----

Lector 2

Ing. Mauro Darío Albarracín Álvarez

CC: 0503113730

-----

Lector 3

Ing. Luigi Orlando Freire Martínez

CC: 0502529589

## AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por mi formación académica, también por permitirme dar un logro profesional en este momento tan importante en mi vida profesional.

Un agradecimiento especial a mis padres por brindar siempre su apoyo incondicional y velar por mis estudios a lo largo de este trayecto.

A mi tutor de tesis Ing. Byron Paul Corrales Bastidas, por sus conocimientos, disposición, y apoyo incondicional en la presente tesis.

Un agradecimiento especial a los Ing. Mauro Albarracín, Ing. Luigi Freire e Ing. Luis Navarrete, por brindar el tiempo en las correcciones de mi Propuesta Tecnológica para alcanzar mi objetivo.

*ALEX*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco principalmente a Dios, por permitirme haber llegado a este momento tan importante en mi formación profesional. A mis padres por brindarme siempre su apoyo incondicional y velar por mis estudios a lo largo de este trayecto. A la Universidad Técnica de Cotopaxi y su cuerpo de docentes por el conocimiento impartido. A nuestro tutor Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas M.Sc. por habernos guiado en el desarrollo de esta investigación.

*CRISTHIAN*

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado principalmente a mis padres Luz y Fernando por brindarme siempre su apoyo incondicional y guiarme en el trayecto de mis estudios. A mis hermanas y familia que siempre me dieron ese aliento para seguir adelante y poder culminar mi carrera profesional. También quiero dedicar a mis amigos y compañeros que siempre me brindaron su apoyo en diversas ocasiones a lo largo de esta formación.

*CRISTHIAN*

## **DEDICATORIA**

El logro obtenido va dedicado principalmente a Dios por darme la fortaleza de seguir adelante, también como no dedicar a mis padres María y Segundo por darme su gran apoyo siempre y guiarme desde un inicio y llegar hasta el final en el transcurso de mis estudios académicos. A mis hermanas y abuelos, que con su apoyo, consejos y confianza fueron un pilar importante durante toda mi carrera universitaria. A toda mi familia por brindarme la oportunidad de saber el significado de una familia unida, gracias a todos por estar siempre pendientes. Y a mis amigos por darme todo su apoyo incondicional.

*ALEX*



## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	i
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN .....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xix
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1 PROBLEMA .....	2
2.1.1 Situación problemática.....	2
2.1.2 Formulación del problema .....	2
2.2 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	2
2.2.1 Objeto de estudio.....	2
2.2.2 Campo de acción .....	2
2.3 BENEFICIARIOS: .....	2
2.4 JUSTIFICACIÓN .....	2
2.5 HIPÓTESIS .....	3
2.6 OBJETIVOS .....	3
2.6.1 General:.....	3
2.6.2 Específicos:.....	3
2.7 SISTEMAS DE TAREAS .....	3

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	5
3.1 Antecedentes .....	6
3.2 Procesos de flujo de aire .....	7
3.2.1 Sector industrial.....	7
3.2.2 Sector agroalimentario .....	7
3.2.3 Sector automotriz .....	7
3.3 Colector solar.....	8
3.3.1 Placa absorbedora.....	8
3.3.2 Aislante.....	8
3.3.3 Aire Caliente .....	9
3.4 Control de flujo de aire .....	9
3.4.1 Sistemas de control.....	9
3.4.2 Clasificación de los sistemas de control.....	10
3.5 PID (Controlador Proporcional, Integral y Derivativo).....	11
3.5.1 Proporcional .....	11
3.5.2 Integral .....	12
3.5.3 Derivativo.....	13
3.5.4 Ecuación del control PID .....	14
3.6 Sensores para medir flujo de aire .....	15
3.6.1 Sensor MAF .....	16
3.6.2 Sensores de flujo másico integrados de TSI.....	16
3.6.3 Sensor flujostato térmico serie LN 500 / LG 500 .....	17
3.7 Formas de medición de temperatura de flujo de aire.....	17
3.7.1 Termistor NTC 100k .....	18
3.7.2 Termocuplas .....	18
3.7.3 Termocupla tipo J.....	19
3.7.4 Termocupla tipo K .....	19
3.7.5 AIT (termistor).....	19
3.8 Control de fase para cargas monofásicas.....	19
3.8.1 Control de fase con micro controlador Arduino.....	19

3.8.2 Control de fase con circuito integrado 555 .....	20
3.8.3 Control de disparo mediante SBS .....	21
3.8.4 Disparo del Triac mediante Diac.....	22
3.8.5 Control de fase con disparo de control de impulsos.....	23
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
4.1 Modalidad de investigación.....	25
4.1.1 Bibliográfica.....	25
4.1.2. De campo.....	25
4.1.3 Experimental .....	25
4.2 Esquema general del proyecto.....	25
4.3 Diseño de hardware .....	26
4.3.1 Controlador.....	27
4.3.2 Módulo Arduino Nano .....	29
4.3.3 Características del microcontrolador Arduino Nano.....	29
4.3.4 Recepción de información del colector .....	30
4.3.5 Adquisición de información de temperatura .....	30
4.3.6 Adquisición de información de flujo de aire .....	31
4.3.7 Acondicionamiento de variables .....	32
4.3.8 Interpolaciones del flujo de aire .....	32
4.3.9 Acondicionamientos de temperatura.....	33
4.3.10 Diseño del circuito de sistema de control de fase .....	33
4.3.11 Circuito detector cruce por cero .....	36
4.3.12 Circuito de salida PWM con Arduino Nano .....	36
4.3.13 Circuito de comunicación serial entre dos Arduinos .....	37
4.3.14 Circuito de control de potencia .....	38
4.3.15 Transformadores de pulso .....	39
4.3.16 Implementación de Hardware .....	40
4.4 Ensamble del circuito de control .....	41
4.4.1 Unidad de control.....	41
4.5 Procesos que realiza el sistema de control.....	43

4.5.1 Comunicación entre dos Arduinos con el Puerto Serie .....	43
4.5.2 Comunicación por el puerto Serie .....	43
4.5.3 Diseño del controlador PID .....	44
4.5.4 Controlador PID con librería .....	45
4.5.5 Cálculo sobreimpulso .....	45
4.6 Chi cuadrado .....	45
4.6.1 Cálculo estadístico del Chi cuadrado .....	45
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	47
5.1 Pruebas y resultados de medición de flujo y temperatura a la salida del colector solar .....	47
5.1.2 Resultado de medición de la temperatura a la salida del colector solar .....	47
5.1.3 Análisis del comportamiento de la temperatura con diferentes rangos de flujo másico .....	48
5.2 Calculo estadístico del Chi cuadrado .....	52
5.3 Análisis y curvas características del Control PID de flujo de aire .....	53
5.3.1 Análisis del comportamiento del control PID con un porcentaje de voltaje de 60% con un Set Point de 24 g/s .....	54
5.3.2 Análisis del comportamiento del control PID con un porcentaje de voltaje de 40% con un Set Point de 16 g/s .....	55
5.3.3 Análisis del comportamiento del control PID con un porcentaje de voltaje de 40% con un Set point de 20 g/seg. ....	57
5.3.4 Análisis del comportamiento del control PID en descenso con un Set point de 20 g/seg a 4 g/seg .....	58
5.3.5 Análisis del comportamiento del PID con perturbaciones a la entrada del colector .....	59
5.3.6 Análisis del comportamiento del PID con perturbaciones a la salida del colector .....	60
5.3.7 Interpretación de resultados del control PID .....	61
6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO .....	62
6.1 Presupuesto .....	62
6.1.1 Costos ingenieriles .....	63
6.1.2 Costos directos totales .....	63
6.1.3 Costos indirectos totales .....	64
6.1.4 Inversión total .....	64
6.2 Análisis de impactos .....	64

6.2.1 Impacto tecnológico .....	65
6.2.2 Impacto social .....	65
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	66
7.1 Conclusiones.....	66
7.2 Recomendaciones .....	67
8. REFERENCIAS .....	68
9. ANEXOS .....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3.1.</b>	Parámetros del colector solar .....	8
<b>Figura 3.2.</b>	Composición de un sistema de control. ....	9
<b>Figura 3.3.</b>	Sistema de control básico de nivel .....	10
<b>Figura 3.4.</b>	Sistema de control de lazo abierto .....	10
<b>Figura 3.5.</b>	Sistema de control de lazo cerrado .....	11
<b>Figura 3.6.</b>	Respuesta de velocidad de un motor de corriente continua con diferentes valores de ganancia. ....	12
<b>Figura 3.7.</b>	Control Proporcional – Integral (PI).....	13
<b>Figura 3.8.</b>	Control Proporcional – Integral – Derivativo (PID).....	14
<b>Figura 3.9.</b>	Respuesta típica al escalón unitario de un sistema de control .....	15
<b>Figura 3.10.</b>	Circuito eléctrico y señal del osciloscopio del sensor MAF .....	16
<b>Figura 3.11.</b>	OEM MASS FLOW SENSOR 840205 .....	17
<b>Figura 3.12.</b>	Sensor flujostato térmico serie LN 500 / LG 500 .....	17
<b>Figura 3.13.</b>	Termistor NTC – 100K .....	18
<b>Figura 3.14.</b>	Circuito de control de fase con Arduino Uno y disparo de un Triac.....	20
<b>Figura 3.15.</b>	Circuito de control de fase con circuito integrado 555 y disparo de un Triac .....	21
<b>Figura 3.16.</b>	Circuito de control de disparo mediante SBS .....	21
<b>Figura 3.17.</b>	Circuito de disparo del Triac mediante Diac .....	22
<b>Figura 3.18.</b>	Circuito de control de fase con disparo de control de impulsos .....	23
<b>Figura 4.1</b>	Esquema general del sistema de control de flujo de aire.....	26
<b>Figura 4.2</b>	Funcionamiento del hardware .....	26
<b>Figura 4.3</b>	Diagrama de la configuración de pines del Arduino Nano .....	29

<b>Figura 4.4</b>	Curva característica de los valores máximos de flujo de aire (kg/h) y voltaje.....	33
<b>Figura 4.5</b>	Esquema del divisor de voltaje para el acondicionamiento de la temperatura.....	33
<b>Figura 4.6</b>	Diagrama de flujo Control de fase.....	35
<b>Figura 4.7</b>	Circuito cruce por cero .....	36
<b>Figura 4.8</b>	Arduino Nano, pin que entrega la señal para el control .....	37
<b>Figura 4.9</b>	Señal PWM.....	37
<b>Figura 4.10</b>	Comunicación serial entre dos Arduino Nano .....	38
<b>Figura 4.11</b>	Circuito de control de potencia.....	38
<b>Figura 4.12</b>	Forma de onda del circuito de control de potencia .....	39
<b>Figura 4.13</b>	Circuito de aplicación del transformador de pulsos.....	39
<b>Figura 4.14</b>	Ondas del transformador de pulso .....	40
<b>Figura 4.15</b>	Diagrama de flujo lectura de sensores .....	42
<b>Figura 4.16</b>	Comunicación por puerto serie .....	44
<b>Figura 4.17</b>	Diagrama de flujo PID .....	44
<b>Figura 5.1</b>	Sensor de temperatura digital inteligente .....	47
<b>Figura 5.2</b>	Curva característica de la temperatura a la salida sin flujo másico .....	50
<b>Figura 5.3</b>	Curva característica de la temperatura a la salida con flujo másico.....	51
<b>Figura 5.4</b>	Curvas características de la temperatura a la salida con flujo y sin flujo de aire ....	52
<b>Figura 5.5</b>	Curva del PID de flujo con Set Point de 24 g/s .....	54
	<b>Sobreimpulso del PID</b> .....	54
<b>Figura 5.6</b>	Punto de estabilización del sistema .....	55
<b>Figura 5.7</b>	Curva del PID de flujo con Set Point de 16 g/seg .....	55
<b>Figura 5.8</b>	Punto de estabilización del sistema .....	56
<b>Figura 5.9</b>	.....	56
<b>Figura 5.10</b>	Curva del PID de flujo con Set Point de 20 g/s .....	57

<b>Figura 5.11</b>	Punto de estabilización del sistema.....	57
<b>Figura 5.12</b>	Curva del PID de flujo con Set Point en descenso de 20g/s a 4 g/s.....	58
<b>Figura 5.13</b>	Punto de estabilización del sistema.....	59
<b>Figura 5.14</b>	PID con perturbaciones a la entrada del colector con un Set Point de 24g/s.....	60
<b>Figura 5.15</b>	PID con perturbación a la salida del colector con un Set Point de 20g/seg.....	61



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b>	Objetivos y actividades.....	4
<b>Tabla 3.1</b>	Acondicionamiento para una calibración de un control PID.....	14
<b>Tabla 4.1</b>	Tipos de controladores y características.....	27
<b>Tabla 4.2</b>	Características técnicas del microcontrolador .....	30
<b>Tabla 4.3</b>	Sensores de medición de temperatura y características.....	31
<b>Tabla 4.4</b>	Dispositivos y corrientes de consumo .....	41
<b>Tabla 5.1</b>	Estabilidad del flujo másico a la salida del colector.....	48
<b>Tabla 5.2</b>	Análisis del comportamiento de la temperatura con diferentes rangos de flujo másico.....	48
<b>Tabla 5.3</b>	Análisis de la temperatura sin flujo másico.....	49
<b>Tabla 5.4</b>	Análisis de la temperatura con flujo másico.....	50
<b>Tabla 5.5</b>	Temperaturas a la salida con o sin flujo .....	51
<b>Tabla 5.6</b>	Muestras de datos a diferentes rangos de temperatura y flujo de aire .....	52
<b>Tabla 5.7</b>	Comportamiento del PID con diferentes rangos de flujo de aire .....	61
<b>Tabla 5.8</b>	Costos totales.....	64

## RESUMEN

El desarrollo de la presente investigación aporta al estudio del secado de cacao a través de colectores solares, siendo el control de flujo necesario para empujar el calor concentrado dentro del colector, debido a esto nace la importancia de mantener un flujo constante al interior del colector, para con ello realizar un análisis mediante curvas características donde se evidencie el comportamiento de la temperatura y el flujo a la salida del colector. En el proyecto se planificó varios factores como es el hecho de no contar con un Controlador Lógico Programable (PLC) por su alto costo, es por eso que se implementó un microcontrolador más accesible tal y como es la tarjeta Arduino Nano, el cual cumple con las mismas condiciones que cualquier otro controlador, para esto el microcontrolador recibe las señales principales tales como: temperatura y flujo de aire, para así realizar un control PID con la variable de flujo de aire, del mismo modo con la ayuda del sensor MAF, que es un tipo de sensor utilizado en la parte automotriz, específicamente en el sistema de admisión, se realiza las lecturas de flujo de aire y de temperatura las cuales proporcionan señales eléctricas de 0 a 5 Voltios permitiendo ingresar datos al microcontrolador como una entrada analógica que a través de una adecuada programación se podrá visualizar el dato del flujo en un LCD. En la presente investigación se implementa una comunicación serial entre microcontroladores, los cuales realizan el control de potencia a través de un teclado y el control PID para determinar el comportamiento de la temperatura a la salida del colector. El método de sintonización del comportamiento del PID se acondiciona empíricamente dando como resultado una estabilización automáticamente a diferente punto de consigna. Mediante el cálculo estadístico del Chi cuadrado se analiza la relación que existe entre las dos variables, de la tal manera se comprueba que si influye considerablemente el flujo másico de aire a la temperatura de salida del colector solar.

**Palabras claves:** Flujo másico, control, microcontrolador, colector, sensor

## ABSTRACT

The development of this research contributes to the study of cocoa drying through solar collectors, being the flow control necessary to push the concentrated heat inside the collector, due to this the importance of maintaining a constant flow inside the collector is born, To do so, perform an analysis using characteristic curves where the behavior of temperature and flow at the outlet of the collector is evidenced. In the project, several factors were planned, such as the fact of not having a Programmable Logic Controller (PLC) due to its high cost, that is why a more accessible microcontroller was implemented such as the Arduino Nano board, which complies with the same conditions as any other controller, for this the microcontroller receives the main signals such as temperature and airflow, to carry out a PID control with the airflow variable, in the same way with the help of the MAF sensor, which It is a type of sensor used in the automotive part, specifically in the intake system, it performs the airflow and temperature readings which provide electrical signals from 0 to 5 Volts allowing data to be entered to the microcontroller as an analog input that to Through proper programming, the flow data can be displayed on an LCD. In the present investigation, serial communication between microcontrollers is implemented, which performs power control through a keyboard and PID control to determine the behavior of the temperature at the collector outlet. The method of tuning the PID behavior is empirically conditioned resulting in a stabilization automatically at a different set point. Using the statistical calculation of the Chi-square, the relationship between the two variables is analyzed so that it is verified that if the mass flow of air at the outlet temperature of the solar collector influences considerably.

Keywords: Mass flow, control, microcontroller, collector, sensor

## AVAL DE TRADUCCIÓN

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

**Título:** Diseño de un sistema de control de flujo de aire en un colector solar

**Fecha de inicio:** Abril 2021

**Fecha de finalización:** Agosto 2021

**Lugar de ejecución:** Cotopaxi, Latacunga, UTC

**Facultad que auspicia:** Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

**Carrera que auspicia:** Electromecánica

### **Equipo de Trabajo:**

Ing. M.S.c. Corrales Bastidas Byron Paúl (Tutor)

Sr. Tigse Tigse Alex Leonardo

Sr. Chiluisa Toinga Cristhian Alexander

**Área de Conocimiento:** 07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y profesiones a fines / 0714 Electrónica y Automatización.

**Línea de investigación:** Procesos Industriales

**Sublíneas de investigación de la Carrera:** Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

## **2. INTRODUCCIÓN**

### **2.1 PROBLEMA**

#### **2.1.1 Situación problemática**

El colector solar, proyecto elaborado por parte de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, no cuenta con un control de flujo de aire, el mismo que es fundamental para el desarrollo del proceso de investigación. Existen máquinas sopladoras que funcionan a flujos fijos, pero no existe un control en un estándar para disponer el flujo en rangos de 0 al 100%, además no se dispone de una medición del flujo de masa de aire a la salida. En un proceso de investigación es esencial el registro de las variables involucradas en el mismo, bajo esta consideración el proceso de flujo tampoco dispone de dichas mediciones.

#### **2.1.2 Formulación del problema**

La falta de un control estable del flujo másico, así como también la carencia del registro de la temperatura del aire a la salida de un colector solar.

### **2.2 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

#### **2.2.1 Objeto de estudio**

Control de flujo de masa de aire de un colector solar.

#### **2.2.2 Campo de acción**

330000 ciencias Tecnológicas / 3311 Tecnología de la Instrumentación / 3311.01 Tecnología de la Automatización / 3311.02 Ingeniería de Control.

### **2.3 BENEFICIARIOS:**

Directos: Carrera de Ingeniería Electromecánica

Indirectos: Comunidad Científica

### **2.4 JUSTIFICACIÓN**

El propósito de diseñar un control de flujo de aire dentro de un colector solar hoy en día es importante dentro de los procesos de secado, debido a la función que cumple el flujo másico al momento de empujar todo el calor concentrado en el interior del colector, es por ello indispensable mantener un flujo estable al interior del colector, esto permitirá un mayor aprovechamiento del aire caliente a la salida, del mismo modo se pretende generar un registro de la temperatura

disponible al final del colector, para con ello desarrollar un análisis del comportamiento de dicha variable. Para validar los valores de temperatura se realizará una comparación con un sensor digital inteligente, el mismo que tiene un bajo margen de error. De la misma manera para validar los resultados de flujo se realizó un análisis matemático con la información que nos dispone el scanner automotriz de tipo OBD2, lo que se pretende con este proyecto es analizar el comportamiento de la temperatura a la salida con un control de flujo estable.

## **2.5 HIPÓTESIS**

El diseño de un control de flujo másico de aire permitirá el análisis del comportamiento de la temperatura en el colector solar.

## **2.6 OBJETIVOS**

### **2.6.1 General:**

Diseñar un sistema de control de flujo de aire en un colector solar para el análisis de temperatura aplicado a procesos de secado.

### **2.6.2 Específicos:**

- Investigar sobre el sistema de control de flujo de aire de un colector solar.
- Definir variables y materiales para la implementación del sistema de control de flujo de aire en el colector solar.
- Diseñar un sistema de control de flujo de aire para un colector solar.
- Validar los resultados obtenidos del sistema de control de flujo de aire del colector solar.

## **2.7 SISTEMAS DE TAREAS**

Las siguientes actividades se realizan con el fin de dar cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos planteados.

**Tabla 2.1** Objetivos y actividades

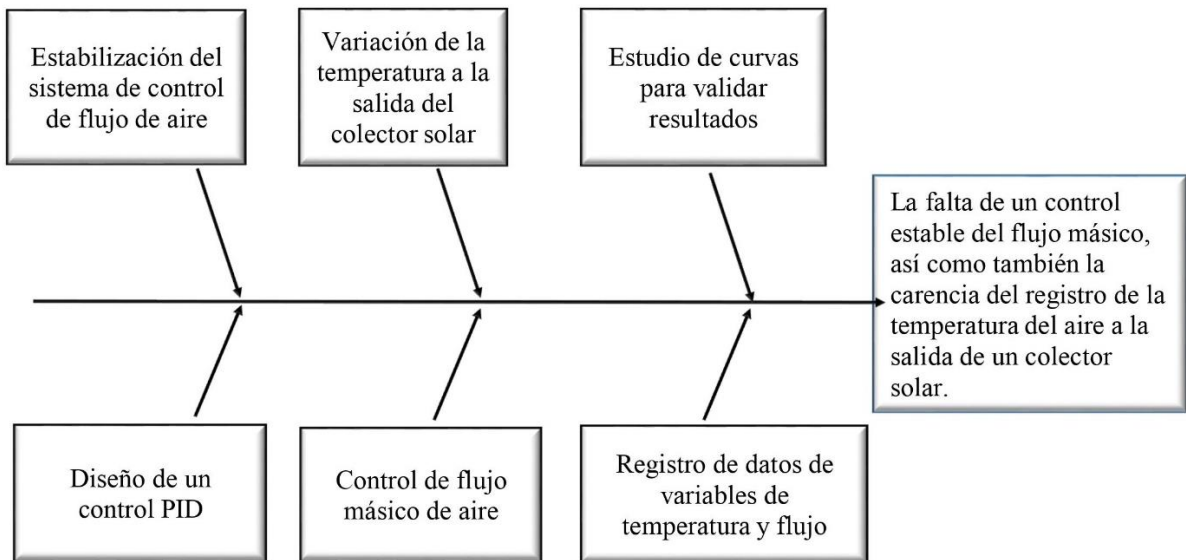
<b>Objetivos específicos</b>	<b>Actividades</b>	<b>Resultados esperados</b>	<b>Medios de verificación</b>
Investigar sobre el sistema de control de flujo de un colector solar.	Revisión bibliográfica. Búsqueda de información relacionada al control de flujo de aire.	Análisis de bibliografías.	Papers, libros, tesis
Definir variables y materiales para la implementación del sistema de control de flujo de aire en el colector solar	Adquisición de sensores para medir las variables.	Visualización de flujo y temperatura en tiempo real.	Microcontroladores, sensores, y elementos electrónicos
Diseñar un sistema de control de flujo de aire para un colector solar.	Implementación de un control de fase para una carga inductiva. Diseño de la programación y comunicación entre dos Arduinos Nano con el Puerto Serie. Instalación de sensores y calibración.	Verificación de la modulación por ancho de pulso (PMW). Corrido de la programación sin inconvenientes. Mediciones puntuales.	Control PID para la visualización del flujo en una pantalla LCD. Verificación de las temperaturas en el monitor serie del software Arduino.



<p>Validar los resultados obtenidos del sistema de control de flujo de aire del colector solar.</p>	<p>Realización de mediciones de flujo de masa de aire, y temperatura a la salida.</p>	<p>Análisis del comportamiento de la temperatura a la salida con diferentes flujos.</p>	<p>Curvas características de la temperatura con flujo y sin flujo másico de aire.</p>
---	---	---	---

## 2.8 Matriz causa efecto

A continuación se presenta las causas y los efectos mediante el Diagrama de Ishikawa



### 3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 3.1 Antecedentes

- En el año 2018 Anzures y Zavala en su simulación y análisis de un control PID clásico y PID difuso, hace referencia al control PID de un motor DC, donde concluye que es uno de los sistemas más completos que existe debido a su lenguaje de alto nivel que facilita su implementación, adicionalmente el buen desempeño del controlador se debe a la buena sintonización de sus parámetros del controlador [1].
- En el año 2011, Reinoso y Rivera en su trabajo de investigación de un análisis de parámetros de información de diagnósticos PID's y ajuste de combustible mediante el uso del escáner en vehículo de la marca Chevrolet D-Max 3.0, analizan la información que transfiere el sensor MAF y concluyen que es un sensor muy calibrado ya que es el encargado de medir el flujo de aire que va al motor, este dato viaja hasta la PCM del vehículo mediante una señal de voltaje que cambia de acuerdo al flujo [2].
- En el año 2007, Paidá en su proyecto de investigación del análisis del sensor MAF en un motor a gasolina, donde concluye y argumenta lo siguiente, el sensor de caudal de aire forma parte del sistema de admisión de aire del vehículo, se encuentra ubicado entre el filtro de aire y el turbo alimentador, utiliza un dispositivo provisto de hilo caliente para determinar la cantidad de aire que entra al motor. Este tipo de sensor se compone de un dispositivo de caudal de aire y de un dispositivo de medición de temperatura del aire aspirado [3].
- En el año 2016, Aguayo en su proyecto de investigación de un control de fase lineal para cargas AC, habla sobre una novedosa forma de controlar la forma lineal de la potencia suministrada a la carga y concluye que un SCR o rectificador controlado de silicio, es muy eficaz para control de carga inductiva, contiene tres conexiones: ánodo, cátodo y gate. Cuando circula una corriente por la gate, permite la conducción de la corriente del ánodo al cátodo hasta que se extingue la corriente del ánodo-cátodo y si colocamos dos SCR en antiparalelo es decir al unir sus terminales gate, obtenemos un Triac con la única ventaja de realizar la conducción en ambos sentidos [4].
- En el año 2018, Moreno en su trabajo de investigación sobre un control de velocidad de un motor AC mediante control de fase con Arduino, concluye que a pesar de haber mucha

información de un control de fase mediante laso abierto, si existe la posibilidad de realizar mediante un control PID con Arduino lo cual es más factible a pesar de las oscilaciones entorno a la consigna, es decir al implementar la parte derivativa se incrementan las oscilaciones en el control del motor [5]

La información de los antecedentes recopilados de acuerdo al presente tema de investigación, serán de mucha ayuda para desarrollarlo de la mejor manera.

### **3.2 Procesos de flujo de aire**

Los procesos de flujo de aire, interviene en varias áreas tal y como es en el sector industrial, agroalimentario, automotriz, entre otros.

#### **3.2.1 Sector industrial**

Dentro de este sector está el secado de madera encino que es caracterizada como una de buena calidad, el proceso se lo realiza mediante estufas de secado industriales, donde se presentan flujos de aire no uniformes, con dicho proceso se busca aprovechar un mayor número de especies de madera [6].

#### **3.2.2 Sector agroalimentario**

El proceso de flujo de aire dentro de este sector es muy común de observar, debido a su gran importancia, se lo puede observar en la industria láctea, frutas, carnes, verduras, cacao, etc. El flujo de aire debe ser constante en su entorno para evitar así los riesgos de contaminación, todo el proceso debe estar dimensionado para controlar su homogeneidad en su entorno y la velocidad del aire alrededor de los productos con el fin de obtener una mayor calidad [7].

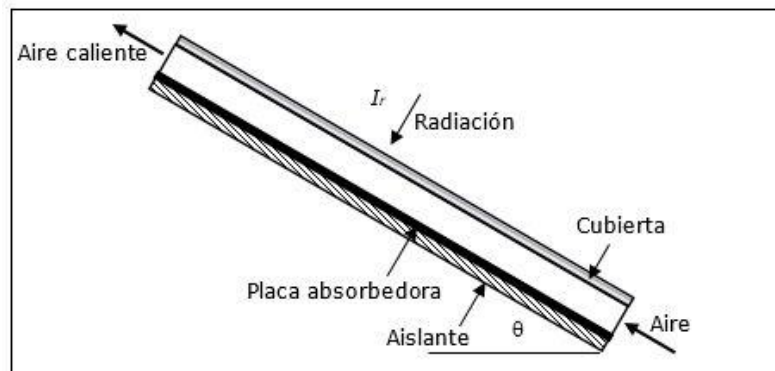
#### **3.2.3 Sector automotriz**

En la parte automotriz, los autos actuales que tienen inyección electrónica contemplan el proceso de flujo de aire, debido a que se debe medir la cantidad de aire que el motor está aspirando en cada momento para comunicárselo mediante una señal eléctrica que recoge todos los parámetros e informaciones del motor [8].

### 3.3 Colector solar

Un colector solar es un captador térmico, encargado de capturar la radiación solar y transformarla en energía térmica, por lo general los colectores solares planos se utilizan para el calentamiento del aire operando por una convección natural.

La placa colectora está cubierta con un vidrio para minimizar las pérdidas convectivas y crear un efecto de “invernadero”. La figura 3.1 muestra el esquema de un colector de placa plana para calentar el aire y los principales parámetros que intervienen en las transferencias de calor: radiación solar incidente ( $I$ ), coeficiente de pérdida de calor de la cubierta, coeficiente de transferencia de calor por convección entre la cubierta y el aire ( $h_c, c_a$ ), coeficiente de transferencia de calor por convección entre la placa y el aire ( $h_c, p_a$ ), coeficiente de transferencia de calor por radiación entre la placa y la cubierta, coeficiente de pérdida de calor del fondo, temperatura ambiente, temperatura de la cubierta ( $T_c$ ), temperatura del aire ( $T_a$ ) y temperatura media de la placa [9].



**Figura 3.1.** Parámetros del colector solar [10].

A continuación, se enlazan los parámetros del colector solar.

#### 3.3.1 Placa absorbedora

Es el elemento encargado de captar la radiación solar en el interior del colector para luego transformarla en energía térmica, se le oscurece con una fina pintura de color negra calórica, que resiste a altas temperaturas de trabajo superior a  $100^{\circ}\text{C}$  [10].

#### 3.3.2 Aislante

El aislamiento de energía solar ayuda a ahorrar y concentrar la energía térmica. De manera que evita pérdidas térmicas por la parte trasera y los lados del colector, el aislamiento de energía solar

optimiza la eficiencia del colector, permitiendo que la máxima cantidad de calor recolectado se transfiera al fluido en circulación. Debe ser capaz de soportar temperaturas muy altas sin deteriorarse, también está expuesto a desprendimiento de vapores esto bajo la acción hace que el aislante desprenda vapores y esto a su vez se condensa sobre la cubierta transparente [10].

### 3.3.3 Aire Caliente

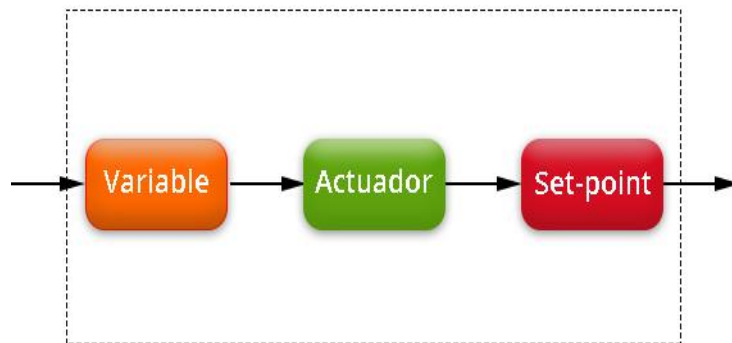
Hay que tomar en cuenta que para tener un calor por radiación solar efectiva hay que lograr la mayor superficie en contacto con el aire. Es muy indispensable este tipo de energía, ya que tiene diferentes aplicaciones dentro del secado, ya sea en el sector industrial, agroalimentario, entre otros.

### 3.4 Control de flujo de aire

Muchos de los sistemas de ventilación tienen un problema en común, el cual es no disponer de un flujo de aire correcto, funcionan con un volumen nominal, es decir las velocidades son de unos reducidos metros por segundo. El control de flujo de aire permite un monitoreo del aire de la manera más adecuada con métodos como los controladores de volumen de aire variable, es decir emplear un sensor que me permita medir el caudal de aire que se requiera disponer [11].

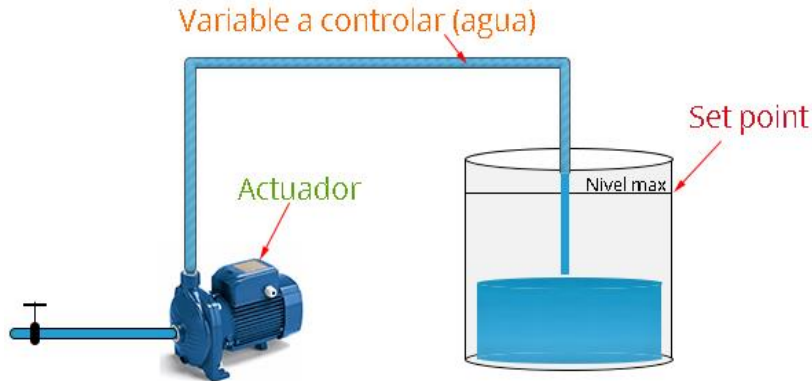
#### 3.4.1 Sistemas de control

Dentro de un sistema de control intervienen varios componentes, ya sean electrónicos, mecánicos, neumáticos, hidráulicos, etc. Son utilizados para cumplir un objetivo deseado. Los elementos principales de un sistema de control son los siguientes: la variable a controlar, el actuador y un punto de referencia o también llamado (set point) [12].



**Figura 3.2.** Composición de un sistema de control [12].

Para tener una idea muy clara sobre el sistema de control, se expondrá un ejemplo en la figura 3.3 a continuación.



**Figura 3.3.** Sistema de control básico de nivel [12].

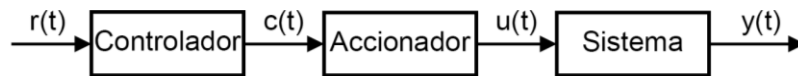
En la figura 3.3 se ilustra un ejemplo de un tanque de 400 litros de agua, la cual viene a ser la variable a controlar al interior del depósito, del mismo modo se necesita un actuador que en este caso es la bomba que va a ser utilizada para el llenado del tanque, por último, está el punto de referencia (Set Point) donde nos indica que tan lleno se requiere el tanque.

### 3.4.2 Clasificación de los sistemas de control

Se clasifican en dos sistemas; lazo abierto y lazo cerrado que se describen a continuación.

#### Lazo abierto

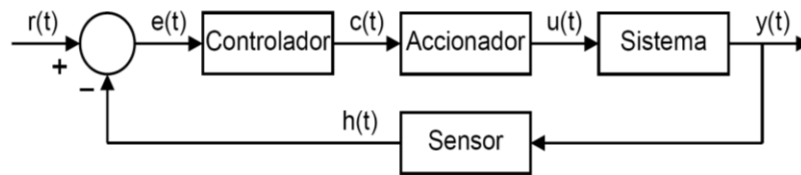
Dentro de este sistema la señal de la salida no afecta al funcionamiento del proceso final es decir no recibe ninguna información o retroalimentación sobre el estado de la variable. Por ejemplo, en un sistema de control donde su acción depende de la señal de entrada y no dependen de la variable de salida, como se muestra en la figura 3.4, [13].



**Figura 3.4.** Sistema de control de lazo abierto [13].

## Lazo cerrado

Este sistema es considerado como uno de los más completos, ya que existe un proceso de retroalimentación, es decir recibe información sobre los estados que va tomando la variable, también es capaz de modificar la señal de entrada en función a la señal de la salida. A diferencia del lazo abierto el cerrado depende de la variable de entrada y salida, como se muestra en la figura 3.5, [13].



**Figura 3.5.** Sistema de control de lazo cerrado [13].

A continuación, se describe uno de los métodos de control de lazo cerrado.

### 3.5 PID (Controlador Proporcional, Integral y Derivativo)

Un control PID es un instrumento de control más utilizado en la actualidad que consiste en un sistema de lazo cerrado, que a través de un lazo de retroalimentación permite regular variables como velocidad, presión, temperatura, flujo de aire, entre otras, para dar como resultado una salida desea de un determinado proceso, este tipo de control se lo considera continuo por que puede la variable a analizar tener números infinitos de posibilidades.

Las características de los controladores PID continuos generalmente son: proporcional, integral y derivativa [14].

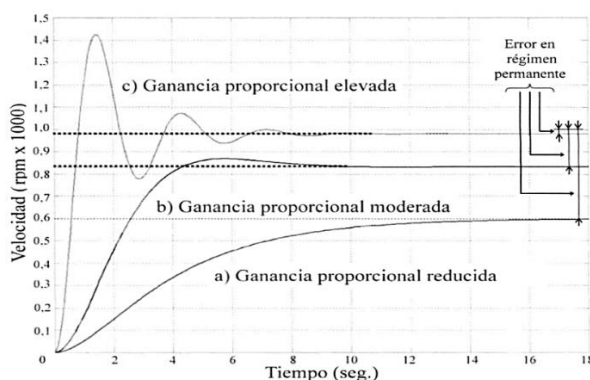
#### 3.5.1 Proporcional

La parte proporcional consiste en que la acción de control es proporcional a la señal de error  $e(t)$ , La parte proporcional no considera el tiempo, por lo tanto, la mejor manera de solucionar el error permanente y hacer que el sistema contenga alguna componente que tenga en cuenta la variación respecto al tiempo, Internamente la acción proporcional multiplica la señal de error por una constante  $K_p$  [15].

$$P \text{ out} = K_p e(t) \quad (3.1)$$

Aumentar la acción proporcional  $K_p$  tiene los siguientes efectos:

- Aumentar la velocidad de respuesta del sistema.
- Disminuye el error del sistema en régimen permanente.
- Aumenta la inestabilidad del sistema



**Figura 3.6.** Respuesta de velocidad de un motor de corriente continua con diferentes valores de ganancia.

### 3.5.2 Integral

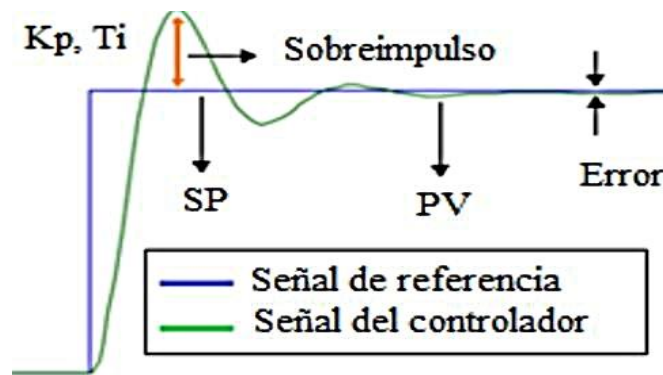
El modo de control Integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, el término integral produce cero errores de estado estable en el seguimiento de un punto de ajuste estable, provocado por perturbaciones exteriores y los cuales no pueden ser corregidos por el control proporcional. La función matemática de la acción integral se representa de la siguiente manera (ecuación 3.2) se cambia el valor de la variable manipulada proporcional a la integral del error  $e$  [15].

$$I_{sal} = K_i \int_0^t e(\tau) dt \quad (3.2)$$

Aumentar la acción integral  $K_i$  tiene los siguientes efectos

- Disminuye el error del sistema en régimen permanente
- Aumenta la inestabilidad del sistema
- Aumenta un poco la velocidad del sistema





**Figura 3.7.** Control Proporcional – Integral (PI)

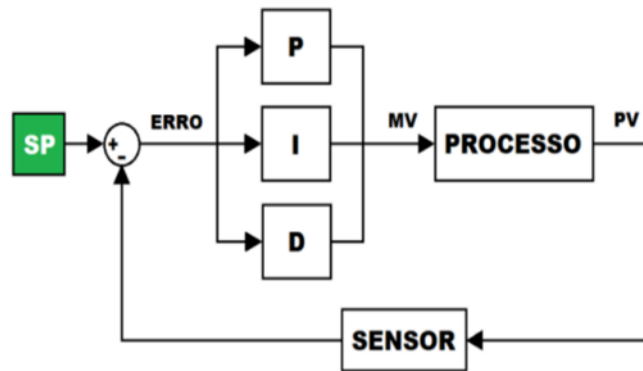
### 3.5.3 Derivativo

El controlador derivado genera la variable manipulada a través de la tasa de cambio del error, de manera diferente a los controladores P, por lo tanto, actúan más rápido que los controladores P: incluso si el error es pequeño los controladores generan anticipaciones. Por lo general los controladores derivados son rara vez empleados en la práctica, en su mayoría se encuentran en combinación con otros controles, a continuación, se presenta su función matemática [15].

$$p(t) = KD \frac{de(t)}{dt} \quad (3.3)$$

Aumentar la acción derivativa  $K_d$  tiene los siguientes efectos:

- Aumenta la estabilidad del sistema controlado
- Disminuye un poco la velocidad del sistema
- El error en régimen permanente permanecerá igual



**Figura 3.8.** Control Proporcional – Integral – Derivativo (PID)

### 3.5.4 Ecuación del control PID

$$p(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t)dt + K_D \frac{de(t)}{dt} + p(0) \quad (3.4)$$

Rapidez – Proporcional

Error = 0 – Integral

Estabilidad – Diferencial

Las constantes deben ubicarse en su valor adecuado dependiendo del proceso, el control PID es uno de los mejores controladores clásicos, pero si su calibración no es la correcta puede ser el peor de los controladores.

**Tabla 3.1** Acondicionamiento para una calibración de un control PID

Respuesta en lazo cerrado	Tiempo de subida	de	Sobreimpulso	Tiempo de establecimiento	Error r-p
$K_p$	Disminuye		Aumenta	Poca variación	Disminuye
$K_i$	Disminuye		Aumenta	Aumenta	Elimina
$K_d$	Poca variación		Disminuye	Disminuye	Poca variación

Ecuaciones del control Proporcional – Integral – Derivativo (PID)

ISA estándar o ecuación de constantes independientes

$$u(t) = Kc \left[ e(t) + \frac{1}{Ti} \int e(t)dt + TD \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (3.5)$$

Ecuación de constantes independientes o ecuación paralela:

$$p(t) = Kp e(t) + KI \int e(t)dt + KD \frac{de(t)}{dt} + p(0) \quad (3.6)$$

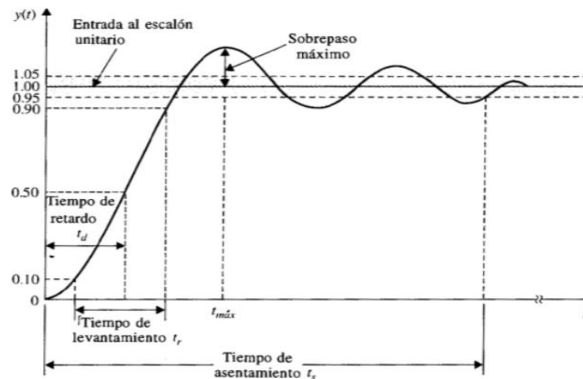
$$Kp = Kc \quad (3.7)$$

$$KI = \frac{Kc}{Ti} \quad (3.8)$$

$$KD = Kc Td \quad (3.9)$$

$$PB = \frac{100}{Kc} \quad (3.10)$$

Los parámetros antes descritos para su comprensión de mejor manera se presentan a continuación en la figura 3.9.



**Figura 3.9.** Respuesta típica al escalón unitario de un sistema de control

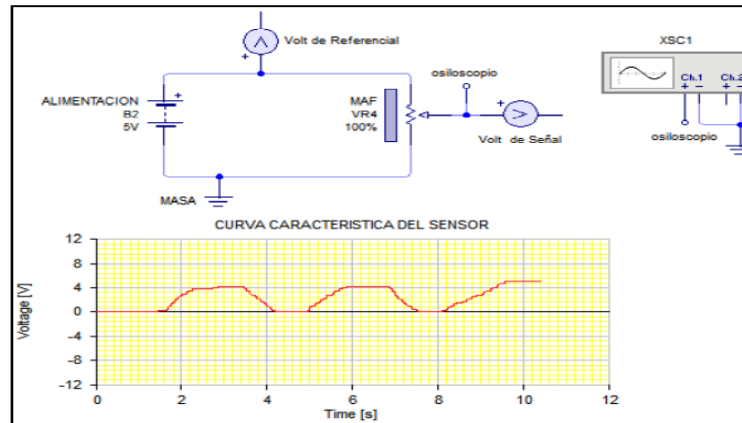
### 3.6 Sensores para medir flujo de aire

Existen diferentes tipos de sensores en la industria que miden la cantidad de flujo másico de aire que pasa por cierta configuración geométrica. A continuación, se describen algunos tipos de sensores que me permiten medir dicha variable.

### 3.6.1 Sensor MAF

El sensor de flujo de masa de aire se lo puede localizar en los vehículos modernos que tiene inyección electrónica, cumple una función muy importante dentro del vehículo, ya que por medio de la información que proporciona, envía señales eléctricas a la computadora, posterior a eso deduce la cantidad necesaria de combustible que debe inyectar a los cilindros.

El sensor de flujo de aire tiene en su interior un fino alambre de platino, conocido también como hilo caliente, el calentamiento se da cuando el motor está en marcha, puede calentarse hasta los 200°C esto depende de la aspiración de aire, mientras más aire aspire la temperatura tenderá a bajar [16]

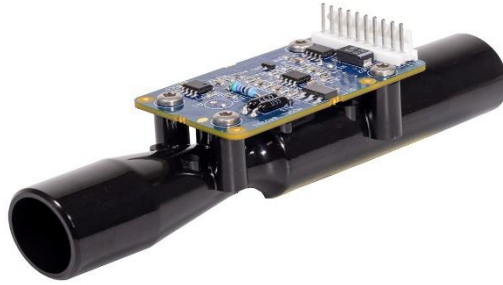


**Figura 3.10.** Circuito eléctrico y señal del osciloscopio del sensor MAF [16].

### 3.6.2 Sensores de flujo másico integrados de TSI

Están diseñados para medir aire, oxígeno y otros gases para aplicaciones integradas, su tamaño compacto y las configuraciones estándar facilitan su diseño en sus productos. Están optimizados para aplicaciones médicas y los productos respiratorios son ideales para la tecnología TSI.

Desde 1983 los sensores de flujo TSI se han utilizado en ventiladores de pacientes en todo el mundo debido a la tecnología y su rendimiento único, los sensores son fiables, precisos y rentables para su uso en aplicaciones de ventilación que van desde adultos hasta recién nacidos [17].



**Figura 3.11.** OEM MASS FLOW SENSOR 840205 [17].

### 3.6.3 Sensor flujostato térmico serie LN 500 / LG 500

Los sensores de flujo de aire EGE Elektronik son parte de la línea de sistemas de solución de flujo de la compañía, son conocidos por sus capacidades de retroalimentación rápida y tasas de funcionalidad de alta calidad. El sistema de funciones utilizado elimina la necesidad de componentes móviles, esto les permite ser utilizados en condiciones ambientales extremas, es decir son robustos y resistentes a la suciedad. Viene en una variedad de configuraciones con caudales que van desde 0.2m<sup>3</sup>/s a 25m<sup>3</sup>/s [17].



**Figura 3.12.** Sensor flujostato térmico serie LN 500 / LG 500 [17].

### 3.7 Formas de medición de temperatura de flujo de aire

Dentro de la industria existen diferentes tipos de sensores de temperatura, los mismos que se describen a continuación.

### 3.7.1 Termistor NTC 100k

Se caracterizan por ser resistencias semiconductoras que miden temperatura en un rango amplio. Los cambios en la resistencia del termistor NTC pueden ser provocados externamente por un cambio en la temperatura ambiente o internamente por auto calentamiento resultante de una corriente que fluye a través del dispositivo, es decir al aumentar la temperatura reduce su resistencia debido al aumento de la concentración de iones portadores [18].

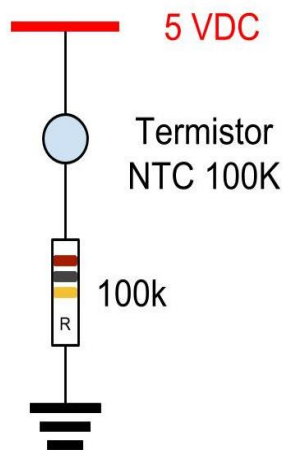
#### Características

Resistencia a 25°C: 100k +/- 1%

Constante térmica de tiempo: <= 15 segundos

Rango de temperaturas: de - 50 a 260°C

Longitud de cable: 1m



**Figura 3.13.** Termistor NTC – 100K [18].

### 3.7.2 Termocuplas

Las termocuplas son sensores de temperatura son muy utilizadas en el sector industrial, está compuesto por dos alambres de distinto material unidos en un extremo, al atribuir temperatura en dicha unión se genera un voltaje en el orden de los milivoltios, el cual aumenta con la temperatura. Generalmente las termocuplas vienen encapsuladas por un tubo de acero inoxidable [19].

Existen una variedad de termocuplas, pero las más utilizadas a nivel industrial son las de tipo J, K y Pt100 ya que son económicas y fáciles de reemplazar que existen.

### **3.7.3 Termocupla tipo J**

Las termocuplas tipo J son utilizadas especialmente en la industria del plástico, goma y fundición de metales a bajas temperaturas, está hecho con un alambre de hierro. Al momento de realizar la unión de estos dos metales a  $750^{\circ}\text{C}$  se genera en los extremos un voltaje de 42.2 milivolts. Este sensor puede medir temperaturas desde los 180 a  $750^{\circ}\text{C}$  [19].

### **3.7.4 Termocupla tipo K**

Este tipo de sensor de temperatura se usa principalmente en fundición y hornos a temperaturas no mayores a  $1300^{\circ}\text{C}$ , sin embargo, trabaja desde un rango de  $-180$  a  $1372^{\circ}\text{C}$  con un voltaje máximo 54.8 mili volts, está compuesto por una aleación de níquel, cromo níquel y aluminio [19].

### **3.7.5 AIT (termistor)**

El sensor de temperatura IAT es un termistor que las variaciones de la temperatura cambian el valor de la resistencia y a su vez el valor del voltaje, este sensor forma parte del sensor MAF ya que una temperatura baja de aire produce una resistencia alta. La computadora del vehículo emite una señal de 5 voltios al sensor IAT a través de los resistores de la computadora y mide el voltaje, la señal del voltaje será alto cuando la temperatura del aire sea baja y será baja cuando la temperatura del aire sea alta [20].

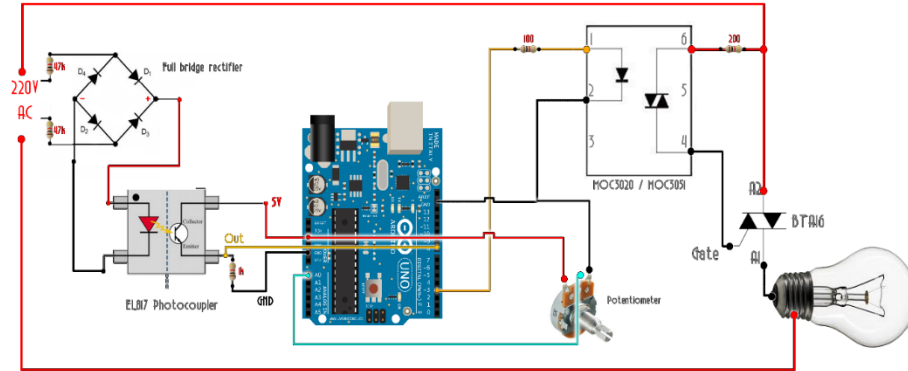
## **3.8 Control de fase para cargas monofásicas**

Existen diferentes tipos de control de fase para dichas cargas, se citarán algunas de ellas a continuación.

### **3.8.1 Control de fase con micro controlador Arduino**

El Arduino a nivel de software genera seguridad, cuya frecuencia se ajusta mediante la aplicación de un potenciómetro. El pulso de control del pin de la salida del Arduino pasa a través del optoacoplador MOC3021 y va al control del Triac. Se habilita y pasa la corriente hasta que la media onda de la tensión de red cruza cero, después de lo cual se cierra. Entonces realiza el siguiente impulso y el ciclo se repite. Debido al desplazamiento de los pulsos de control, la parte de corte de borde de la sinusoide se forma en la carga [21].

Para que el Triac la frecuencia de repetición del pulso debe estar concordado con la tensión de red de 110V o 220V. Es decir, el Arduino debe saber en qué punto la onda sinusoidal de tensión de red pasa por cero.



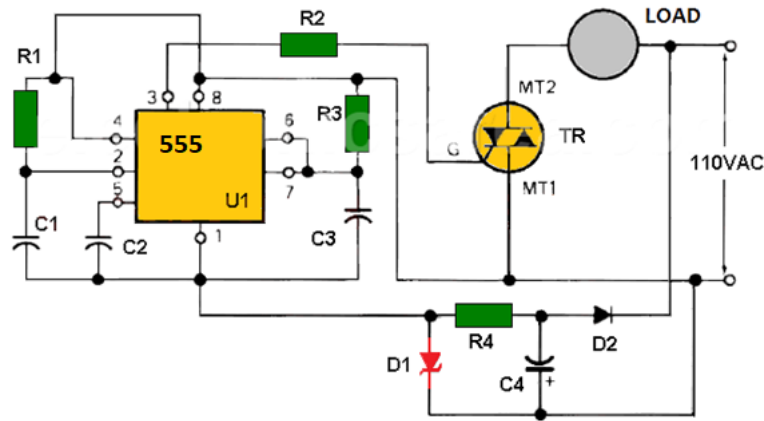
**Figura 3.14.** Circuito de control de fase con Arduino Uno y disparo de un Triac [21].

### 3.8.2 Control de fase con circuito integrado 555

El circuito integrado 555 con el Triac es muy útil cuando se requiere activar o encender aparatos o dispositivos que funcionan con corriente alterna (CA), se utiliza el integrado en la generación de temporizadores, pulsos y oscilaciones después de un tiempo preestablecido.

La función del temporizador es actuar como un relé y puede controlar una variable que pide hasta 4 amperios, cuando está conectado a 110 VAC. El circuito de la figura 3.15 se puede utilizar en aplicaciones donde dos o más operaciones se tienen que realizar en secuencia. [22].

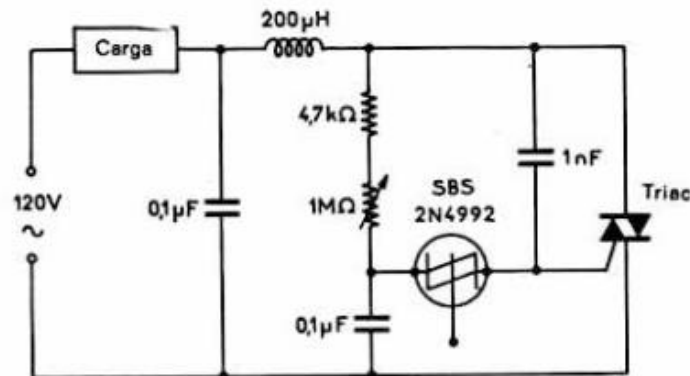




**Figura 3.15.** Circuito de control de fase con circuito integrado 555 y disparo de un Triac [22].

### 3.8.3 Control de disparo mediante SBS

En la siguiente figura se puede observar que el circuito equivalente SBS es similar al circuito equivalente TRIAC. Una de las principales ventajas del circuito SBS, es que permite disparar la compuerta conectada o en desconexión, el terminal solamente proporciona mayor flexibilidad en el disparo y por tanto altera sus características de voltaje-corriente, también se podría decir que la curva característica es similar al diac; sin embargo, el SBS como se observa en la figura 3.16 se da un simple ejemplo de cómo es el montaje, este circuito tiene una región de resistencia negativa más pronunciada, lo que produce una caída de voltaje es mucho más drástica después de llegar a su estado de conducción [23].

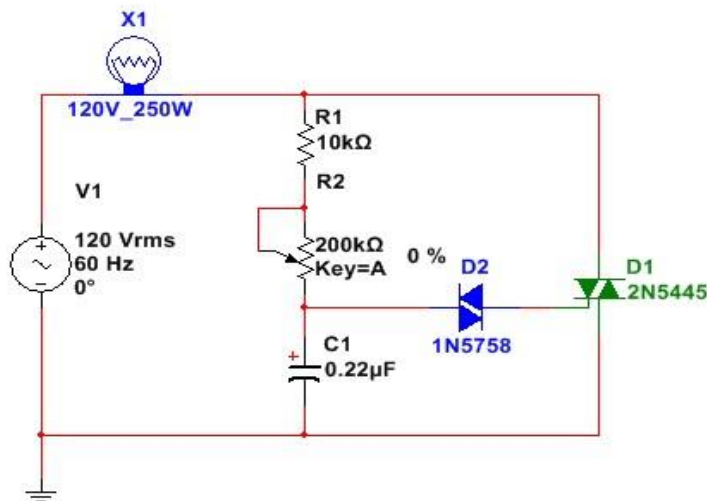


**Figura 3.16.** Circuito de control de disparo mediante SBS [23].

### 3.8.4 Disparo del Triac mediante Diac

En la actualidad los TRIAC son poco empleados en el mercado eléctrica, sin embargo, todavía se utilizan para muchas aplicaciones de conmutación eléctrica, controles de velocidad de ventiladores eléctricos, controles de motores pequeños control de pequeños electrodomésticos alimentados por CA. El TRIAC es fácil de usar y ofrece ventajas de costo sobre el uso de dos tiristores para muchas aplicaciones de energía.

El pulso generado por un Diac se sincroniza con la red de forma automática, si se busca una sincronización manual el Diac no sería necesario [23]. El DIAC es un interruptor semiconductor bidireccional o de onda completa que se puede encender tanto en polaridad directa como inversa. El DIAC se usa ampliamente para ayudar incluso a activar un TRIAC cuando se usa en interruptores de CA. Los DIAC se utilizan principalmente en aplicaciones de atenuación y también en circuitos de arranque. Su comportamiento es bidireccional y por tanto su funcionamiento ocurre en ambas mitades de un ciclo alterno.

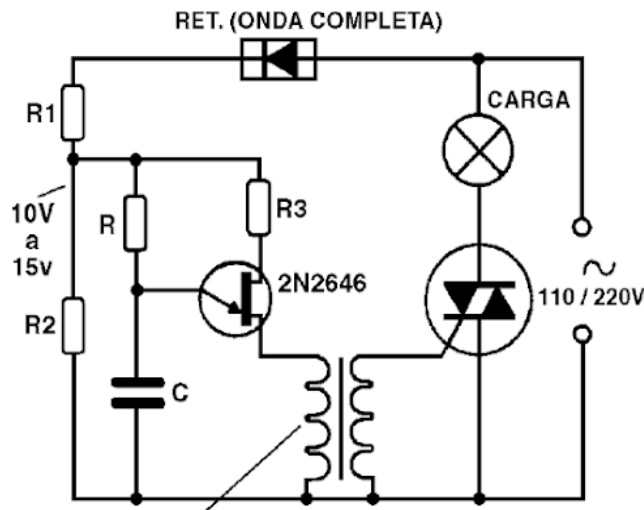


**Figura 3.17.** Circuito de disparo del Triac mediante Diac [23].

### 3.8.5 Control de fase con disparo de control de impulsos

El disparo en este tipo de control es generado a través de un transformador de pulsos que generan pulsos eléctricos a una gran velocidad y a una amplitud constante. El uso es muy importante dentro de la información digital y también para el disparo de tiristores.

El principio de funcionamiento del control de fase en corriente alterna (AC), cargas inductivas y un Triac, por lo general en cargas inductivas es efectivo usar dos SCR en antiparalelo que cumple la misma función de Triac, la corriente en el elemento inductivo persiste algún tiempo después de la vuelta a cero de la primera semionda de la tensión en la que se produjo [23].



**Figura 3.18.** Circuito de control de fase con disparo de control de impulsos [23].

### 3.9 Chi cuadrado

La prueba de Chi cuadrado emplea una aproximación a la distribución Chi cuadrado, para valorar la probabilidad de una discordancia igual o mayor que la que exista entre los datos y las frecuencias esperadas según la hipótesis nula. La exactitud de esta valoración depende de que los valores esperados no sean muy pequeños, y en menor medida de que la comparación entre ellos no sea muy elevada. A continuación, se detalla los pasos para el respectivo análisis.

Primero se plantea la hipótesis que posterior se someterá a prueba.

En esta prueba estadística siempre la hipótesis nula plantea que las variables analizadas son independientes

### **3.9.1 Frecuencias esperadas**

Estas son las frecuencias que debieran darse si las variables fueran independientes, es decir, si fuera cierta la hipótesis nula.

Las frecuencias esperadas se obtendrán de la distribución de frecuencias del total de los casos.

### **3.9.2 Cálculo estadístico del Chi cuadrado**

Compara las frecuencias que entregan los datos de la muestra (frecuencias observadas) con las frecuencias esperadas.

El valor del Chi cuadrado calculado con un valor del Chi cuadrado de la tabla de distribución

Por lo tanto, si el  $X^2$  calculado es mayor que el  $X^2$  de la tabla, se acepta la hipótesis nula

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

En el siguiente apartado se detallarán los tipos de modalidades de investigación que se va a desarrollar para un análisis de manera exacta la cantidad de variables a medir, el tipo de medición, la implementación de distintos dispositivos electrónicos y programas que contienen para el funcionamiento del proyecto.

### **4.1 Modalidad de investigación**

Para el desarrollo de esta propuesta tecnológica se utilizaron las siguientes modalidades: Bibliográfica, de campo, experimental.

#### **4.1.1 Bibliográfica**

En cuanto a la modalidad bibliográfica permite la recopilación de aspectos técnicos y teóricos de los cuales se hace uso para el desarrollo del control de flujo de aire [24].

Para ello nos basamos en fuentes de fácil acceso como son; Libros, papers, revistas científicas, tesis, artículos científicos.

#### **4.1.2. De campo**

En esta parte de la investigación la recopilación de datos en fuentes que tengan vigencia tecnológica es un punto a considerar con el fin de comprender observar e interactuar con las técnicas encontradas [24].

Es necesario realizar una investigación de campo debido al análisis que se debe realizar del comportamiento del flujo y temperatura, las mismas variables que conforman el proyecto.

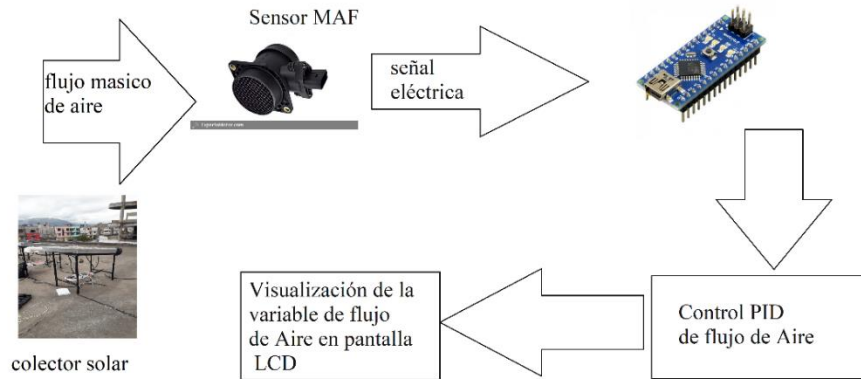
#### **4.1.3 Experimental**

El enfoque experimental permite la aplicación de las técnicas y teorías que fueron recopiladas para llevar a cabo con la metodología propuesta [24].

### **4.2 Esquema general del proyecto**

En el desarrollo de adquisición de datos de temperatura y control de flujo másico de aire que se obtiene por el sensor se realiza mediante métodos de control, con este proceso se requiere analizar el flujo y temperatura dentro del colector, la lectura en el sensor se realiza mediante el microcontrolador. En el cual se efectúa el procesamiento de señales analógicas para luego de esta

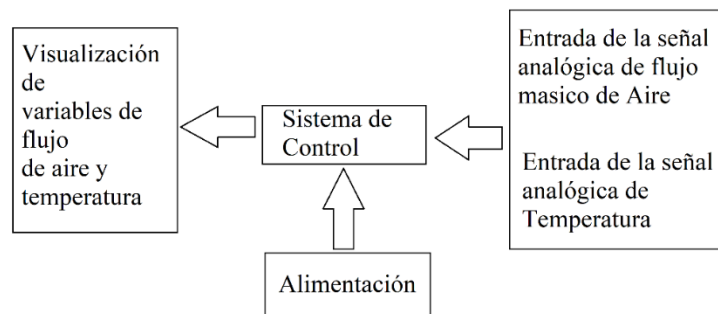
manera dar a conocer los resultados reales y su factibilidad. El esquema general del sistema se puede observar en la figura 4.1



**Figura 4.1** Esquema general del sistema de control de flujo de aire

### 4.3 Diseño de hardware

En el presente proyecto se implementan dispositivos físicos, los mismos que cumplen con una finalidad y asumen un rol específico para cada una de las tareas para el funcionamiento general del sistema.



**Figura 4.2** Funcionamiento del hardware


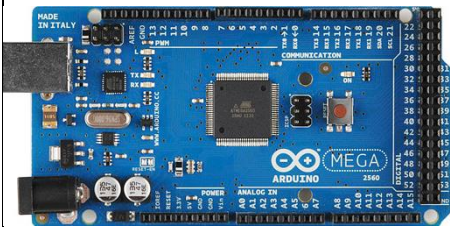
En la figura 4.2, representa en general el funcionamiento del hardware, se presentan las funciones que realiza el sistema control.

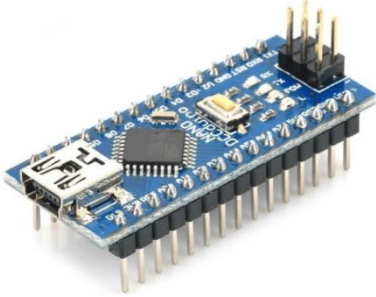


### 4.3.1 Controlador

Un controlador es un dispositivo que emplea un programa que permite al sistema operativo interactuar con los dispositivos externos como entradas y salidas, haciendo separar del hardware y así facilitar una interfaz para usar el dispositivo.

Las alternativas son mencionadas en la tabla 4.1

**Tabla 4.1** Tipos de controladores y características

SOLUCIÓN	DENOMINACIÓN	CARACTERÍSTICAS
A	PLC SIMATIC S7-1200 	Pines de IN Analógica: 2 Memoria interna: 125KB Memoria de carga: 4MB -Voltaje de operación: 110 o 220V -memoria retentiva: 10 KB -Costo USD: \$700
B	Microcontrolador: ATmega2560 	-Voltaje Operativo: 5V. -Voltaje de Entrada: 7-12V. -Voltaje de Entrada (límites): 6-20V. -Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM) -Pines análogos de entrada: 16. -Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA. -Costo USD: \$25

C	<p style="text-align: center;">Arduino Nano</p> 	<p>Pines de IN Analógica: 8</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Memoria Flash:32Kb</li> <li>-Voltaje de operación: 5V</li> <li>-Velocidad Reloj: 16 MHz</li> <li>-RAM:2Kb</li> <li>-Costo USD: \$6.50</li> </ul>
D	<p style="text-align: center;">PIC</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Frecuencia de operación: 0-20MHz</li> <li>- Voltaje operativo: 2-5V</li> <li>-Memoria EEPROM: 256 bytes</li> <li>-Pines de entrada/salida: 35</li> <li>-Puerto Serie: Síncrono Maestro (MSSP)</li> <li>-Costo: 6\$</li> </ul>
E	<p style="text-align: center;">ATmega328P</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Familia AVR: 8 bits</li> <li>-Pines: 23 I/O</li> <li>-Memoria flash: 32 kB</li> <li>-Memoria SRAM de 2 kB</li> <li>-EEPROM: 1 kB</li> <li>Velocidad: 20 MIPS</li> <li>.Oscilador: 20 MHz</li> <li>-Voltaje de operación 1.8 V a 5.5 V</li> <li>-Canales PWM: 6 pines</li> <li>-Costo: 5\$</li> </ul>



### 4.3.2 Módulo Arduino Nano

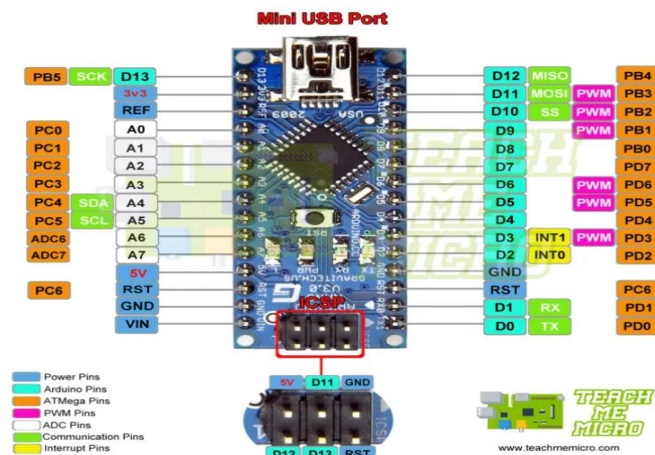
El dispositivo se utiliza por su bajo costo y factibilidad para cumplir los objetivos del proyecto propuesto ya que dentro del sistema de control se esté implementado dos Arduino Nano con comunicación serial, cumpliendo cada uno con sus respectivas funciones dentro del sistema. Lo que permite que el diseño de control de flujo de aire sea didáctico y cómodo para la manipulación del usuario.

El dispositivo Arduino Nano es uno de los microcontroladores más sencillos dentro del mercado también es un muy fácil de usar y es compatible con diversos lapsos de programación. El microcontrolador tiene una interfaz IDE que lo hace más didáctico y ejecuta una serie de códigos de programación, además permite la comunicación serial entre microcontroladores para el procesamiento de datos y un mejor control de sistema.

### 4.3.3 Características del microcontrolador Arduino Nano

Esta pequeña placa dispone de un ATmega328 que es compatible con protoboards principalmente lo que le garantiza para un trabajo útil para el desarrollo del proyecto, es de tamaño normal para este uso el cual consta de 14 pines digitales dentro de estas se encuentran 6 salidas PWM para su uso también cuenta con 6 entradas analógicas y un botón de reseteo.

El microcontrolador tiene el siguiente diseño:



**Figura 4.3** Diagrama de la configuración de pines del Arduino Nano [25]

Esto prueba que el microcontrolador puede ser configurado de diferentes maneras y con esto se puede utilizar sus pines de entradas y salidas para el hardware que se va a implementar, también la comunicación serial entre Arduino Nano da un mejor rendimiento dentro del proyecto. A continuación, en la tabla 4.2 se describen las características técnicas del microcontrolador.

**Tabla 4.2** Características técnicas del microcontrolador

Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de alimentación	7-12V DC
Voltaje I/O	5V
Pines digitales I/O PWM	14 (6 PWM)
Pines analógicos de entrada	8
Corriente DC por I/O	40mA
Flash memory	32 KB (ATmega328P) del cual 2 KB usado para el cargador del arranque
SRAM	2 KB
EEPROM	1KB
Clock Seep	16MHz



#### 4.3.4 Recepción de información del colector

El proceso de obtención de datos a la salida del colector solar se desarrolla a través de un sensor. En primer lugar, se tomó en cuenta el acondicionamiento de la señal de flujo de aire, luego se planificó adquirir los datos de temperatura y flujo de aire estos datos obtenidos se pueden visualizar en un LCD dentro del sistema de control.

#### 4.3.5 Adquisición de información de temperatura

La adquisición de temperatura se puede medir en varios rangos de los cuales existen medidores o sensores que me permiten dar datos en tiempo real. Además, dentro del proyecto se requiere recolectar datos de temperatura para un análisis final se demuestre que el colector ayuda a concentrar el calor en un tiempo determinado con relación con la temperatura ambiente. Dentro de las alternativas en la tabla 4.3 se indican las soluciones para la medición de temperatura tenemos las siguientes.

**Tabla 4.3** Sensores de medición de temperatura y características

SOLUCIÓN	DENOMINACIÓN	CARACTERÍSTICA
A	Termistor 100K NTC 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Termistor NTC 100K 3950</li> <li>– Impedancia: 100 K (25° de Temperatura).</li> <li>– Precisión: 1%</li> <li>– Diámetro Sensor: 1.8 mm</li> <li>– Longitud del Cable: 1 m</li> <li>– Cable: AWM UL 3398 150 ° C 300V</li> </ul>
B	Sensor MAF 	<p>Alimentación: 5-12V</p> <p>Precisión= 1%</p> <p>Diámetro del sensor: 1 ½ “</p> <p>Pines: 5</p> <p>Tipo Señal: eléctrica 0-5V DC</p>

#### 4.3.6 Adquisición de información de flujo de aire

La alternativa considerada dentro de la instrumentación para medir el flujo de aire se tomó en consideración el sensor MAF mismo el cual se utiliza para la medición de temperatura en la salida del colector solar. También el instrumento que se utiliza da la factibilidad al sistema de control al entregar datos analógicos al microcontrolador de 0 a 5V.

#### 4.3.7 Acondicionamiento de variables

Dentro del acondicionamiento de flujo de aire y temperatura se realiza la interpolación mediante la ecuación de tercer grado, además los datos se toman a través del escáner automotriz para el diseño de la gráfica. A continuación, se indicarán las tabulaciones para cada una de las variables.

#### 4.3.8 Interpolaciones del flujo de aire

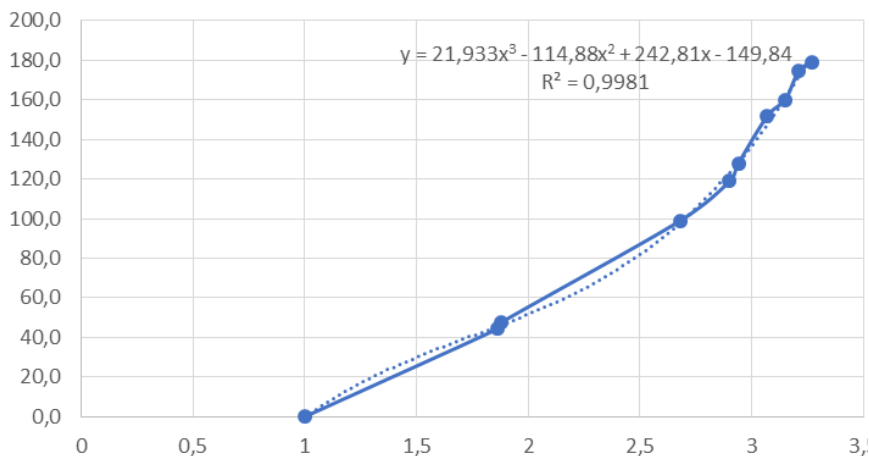
Para la medición del flujo de masa de aire se dispuso del sensor MAF que es de tipo automotriz, la unidad de medida que nos muestra el scanner de tipo OBD2 como se muestra en el Anexo 14 da unidades en mg/stroke dicha unidad es convertida a g/s, con el fin de trabajar con unidades ya conocidas. Para dicha conversión se tomó el siguiente ejemplo; un motor de 4 cilindros de 4 tiempos hace 900 RPM, se plantea la siguiente ecuación.

$$900RPM \cdot \frac{2 \text{ golpes}}{\text{revoluciones} \cdot 60 \text{ minutos}} = 108000 \text{ golpes} \quad (4.1)$$

A continuación, se describe un breve ejemplo de cómo transformar las unidades de media que dispone el scanner OBD2. Como dato tenemos el valor de los 480 mg/stroke, seguido de ese sabemos el número de golpes de un motor de cuatro cilindros que son los 108000 golpes, entonces como parte final se multiplica el valor total de los golpes por el valor que nos da el scanner a la menos seis, la respuesta que nos da al final es ya en kg/hora de flujo de aire como se muestra en la ecuación 4.2

$$\text{Si la ECU lee } 480 \frac{mg}{\text{Stroke}} = 108000 \cdot 480e^{-6} = \frac{52kg}{\text{hora}} \text{ de flujo de aire} \quad (4.2)$$

A continuación, en la figura 4.4 se indica la gráfica y la ecuación de tercer grado que se utiliza dentro del sistema de control de flujo de aire.

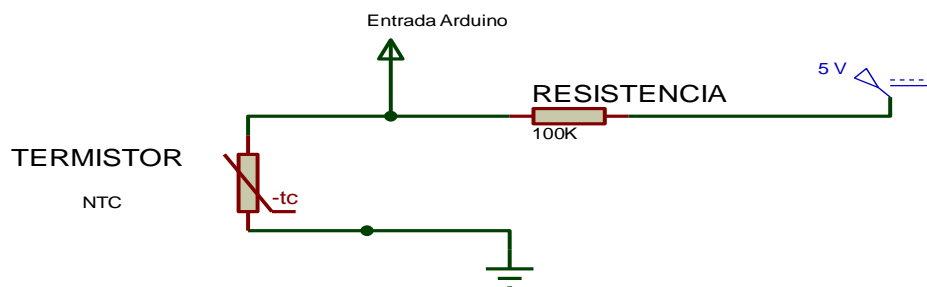


**Figura 4.4** Curva característica de los valores máximos de flujo de aire (kg/h) y voltaje

#### 4.3.9 Acondicionamientos de temperatura

Para el acondicionamiento de temperatura en el sensor MAF se realiza un divisor de voltaje, tomando en consideración que el sensor IAT de temperatura trabaja igual al termistor NTC.

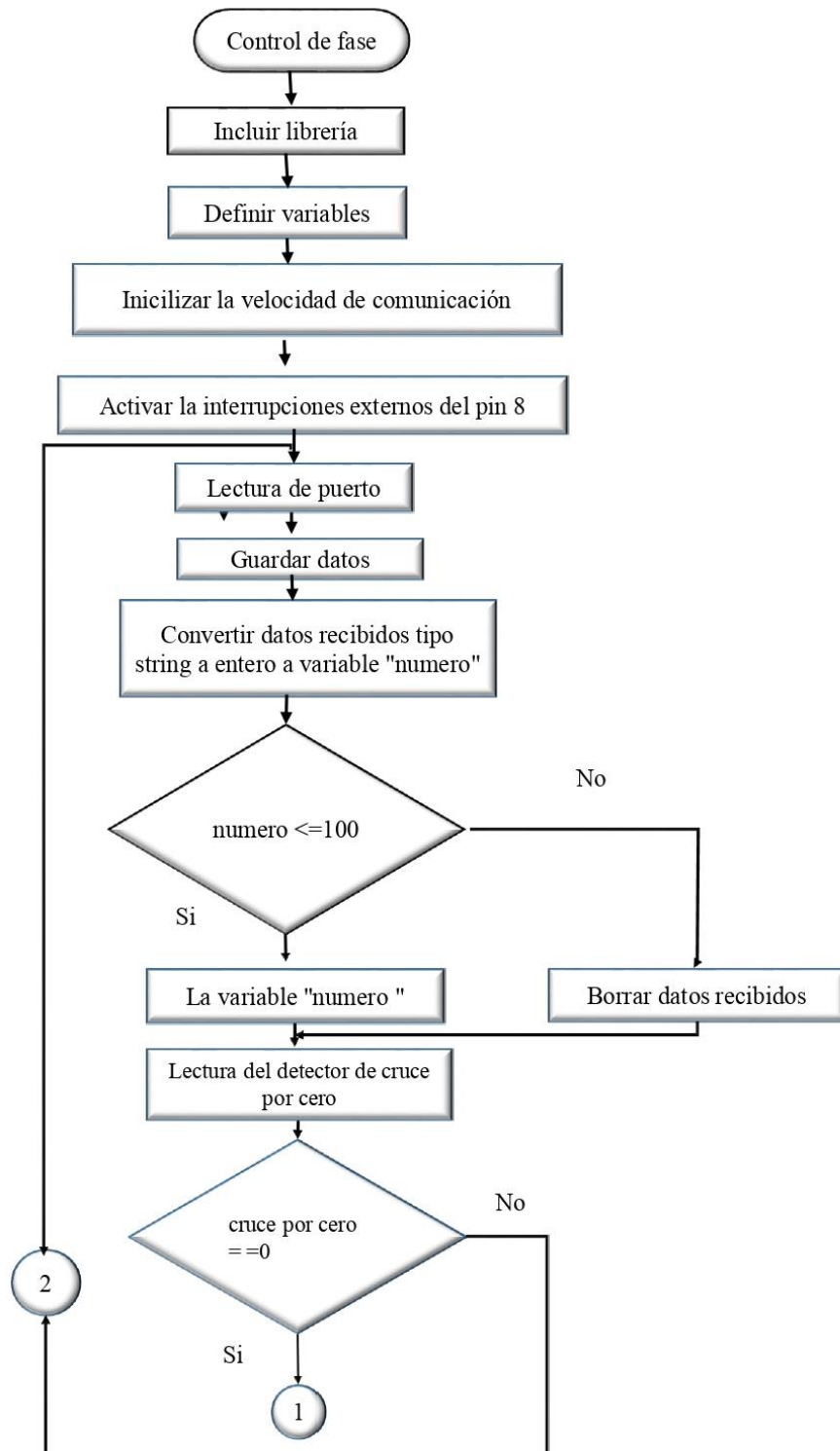
A continuación, en la gráfica 4.5 se gráfica el esquema del divisor de voltaje que se utiliza para el acondicionamiento de la temperatura.

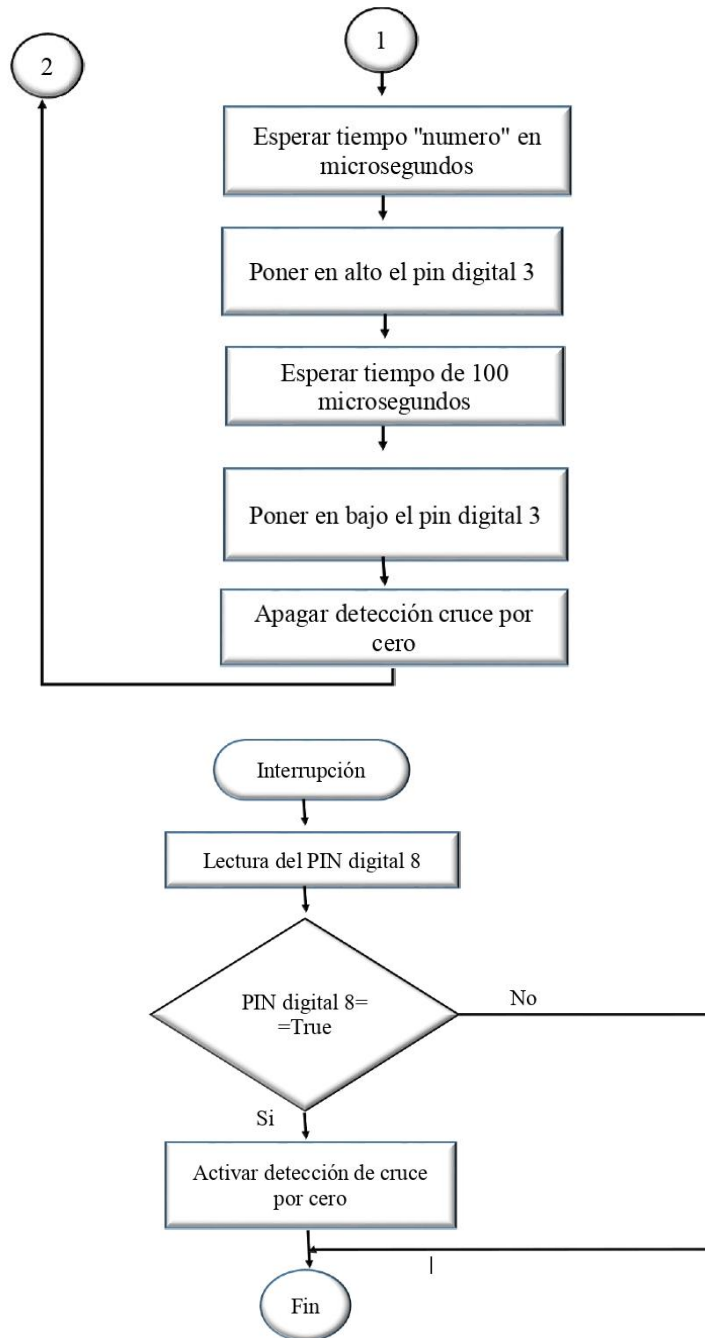


**Figura 4.5** Esquema del divisor de voltaje para el acondicionamiento de la temperatura

#### 4.3.10 Diseño del circuito de sistema de control de fase

Para este diseño se divide en los siguientes bloques; circuito detector de cruce por cero, un circuito PWM con Arduino Nano, circuito de comunicación serial entre dos Arduinos y un circuito de control de potencia. A continuación, se describe mediante un diagrama de flujo todo el sistema de control de fase.



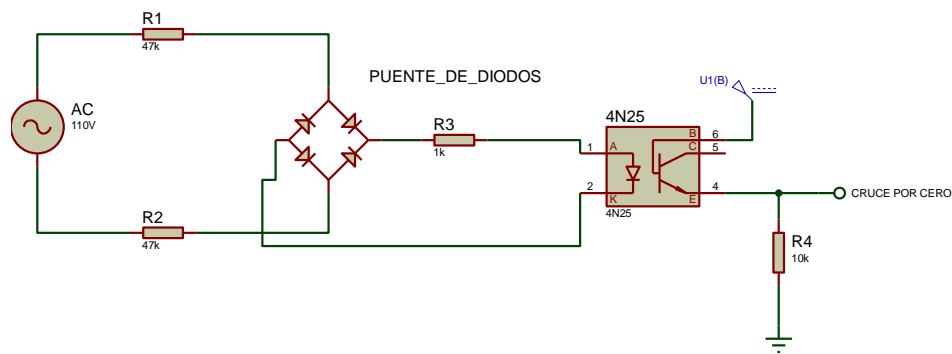


**Figura 4.6** Diagrama de flujo Control de fase

### 4.3.11 Circuito detector cruce por cero

Para este circuito se toma en cuenta un puente rectificador o también llamado puente de diodos, está constituido por cuatro diodos, donde en dos de ellos ingresa la corriente alterna y a su vez en los dos restantes genera una señal de voltaje de corriente continua siendo esta la señal de salida. A continuación, en la figura 4.7 se muestra la conexión de cada uno de los elementos.

La función principal del cruce por cero es controlar la señal de entrada y captar el cruce de la señal alterna con la línea de referencia que este caso es cero, ajustando de esta manera la fase de control y la señal monofásica de alimentación.

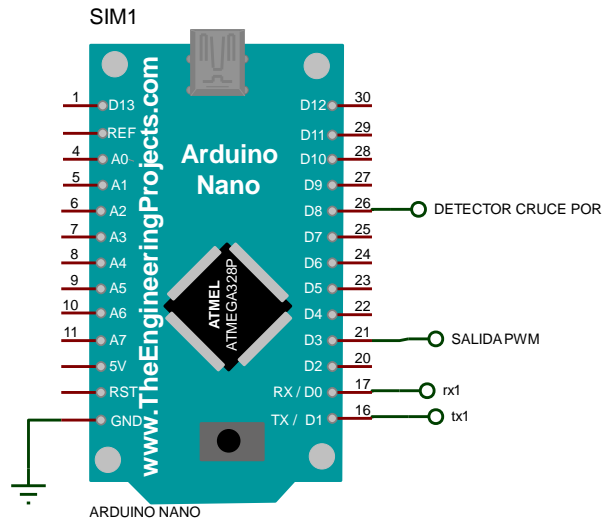


**Figura 4.7** Circuito cruce por cero

### 4.3.12 Circuito de salida PWM con Arduino Nano

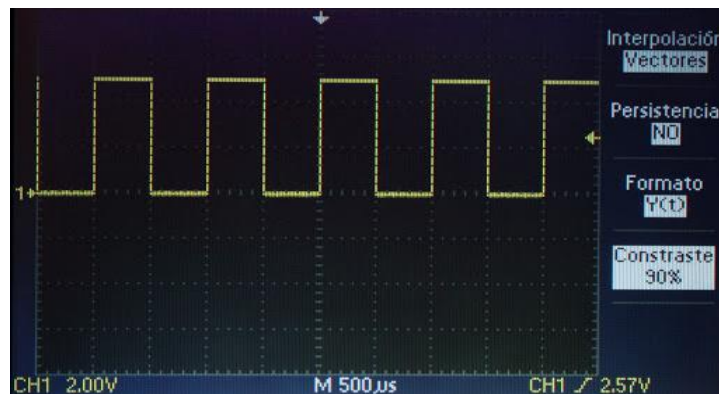
Dentro del diseño del circuito de la salida del PWM también conocida como la modulación del ancho de pulsos es la parte donde se modifica un ciclo de trabajo en una señal periódica. El principal objetivo del PWM es controlar la energía de la salida para que se utilice o sea entregada para una comunicación o para el control de una carga. A continuación, en la Figura 4.8 se detalla el pin que entrega una señal para el proceso de control.





**Figura 4.8** Arduino Nano, pin que entrega la señal para el control

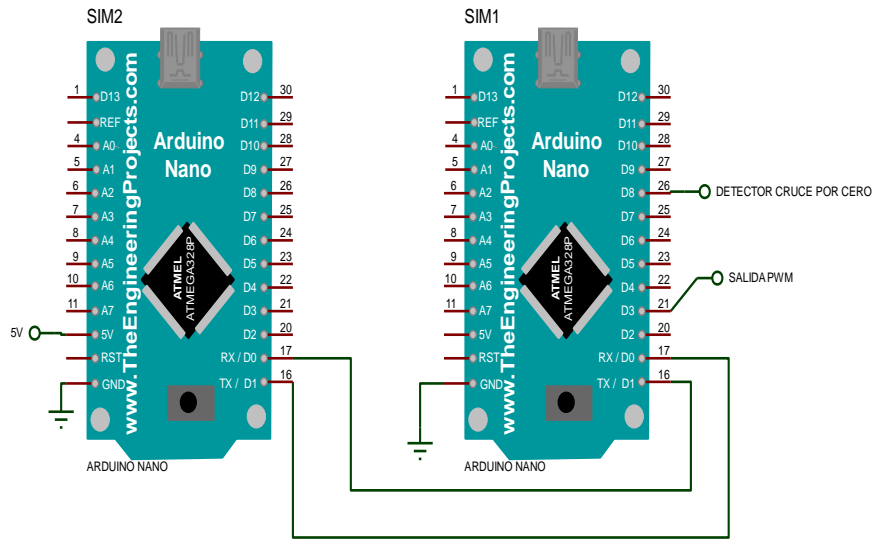
La señal PWM generada en la simulación como se indica en la figura 4.9 se genera por un microcontrolador que da señales digitales, dicha gráfica nos indica una señal cuadrada mediante el cual se puede modificar el ciclo útil y con lo cual se presenta una señal analógica de diferentes amplitudes de voltaje para el control de cargas inductivas o resistivas.



**Figura 4.9** Señal PWM

#### 4.3.13 Circuito de comunicación serial entre dos Arduinos

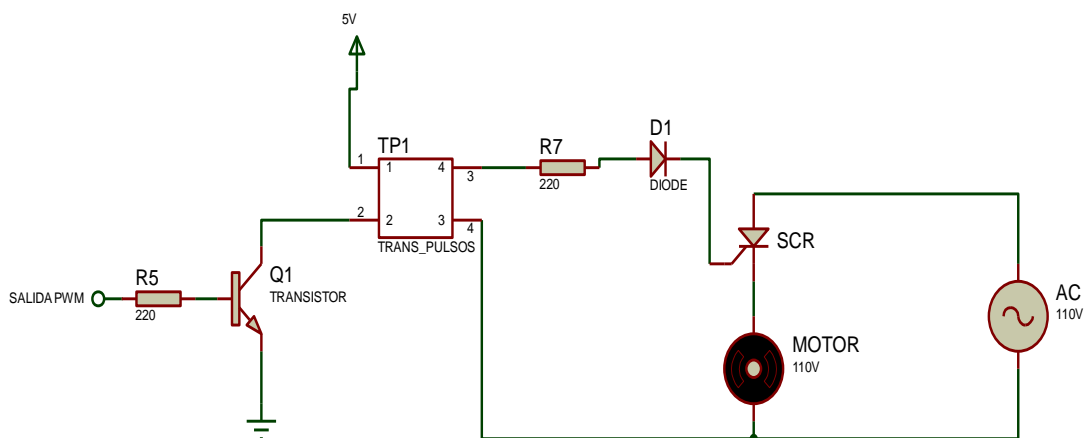
Para el presente proyecto se utiliza dos Arduino Nano para el sistema de control, además se realiza una comunicación serie con la conexión del pin Tx del Arduino UNO con la Rx del Arduino dos y después viceversa mente hay que mencionar que las puestas a tierra son muy importantes para la comunicación. A continuación, se indica en la figura 4.10 la conexión externa del sistema.



**Figura 4.10** Comunicación serial entre dos Arduino Nano

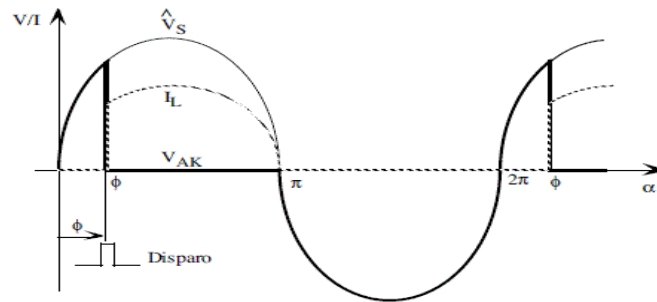
#### 4.3.14 Circuito de control de potencia

Para el diseño del circuito de control de potencia se consideran aspectos que mejoran el control, es decir depende del tipo de carga que se controla, puede ser resistiva o inductiva. El presente diseño es de carga inductiva, por lo cual se utiliza dos SCR's en anti paralelo tal y como se muestra en la figura los mismos que son eficaces para este tipo de carga. A continuación, en la figura 4.11 se indica el diseño de potencia.



**Figura 4.11** Circuito de control de potencia

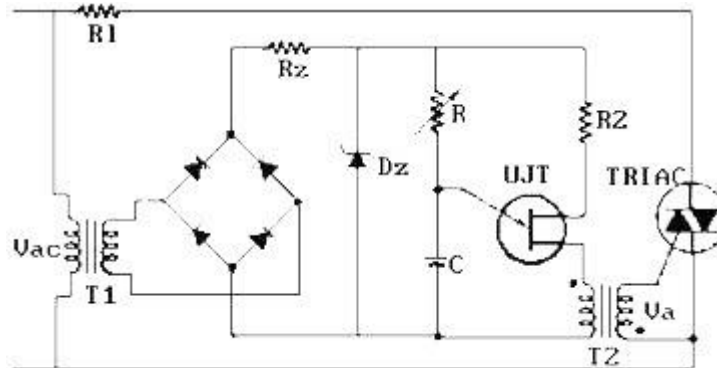
A continuación, se presenta en la figura 4.12 la onda sinusoidal que se genera en un control de potencia.



**Figura 4.12** Forma de onda del circuito de control de potencia

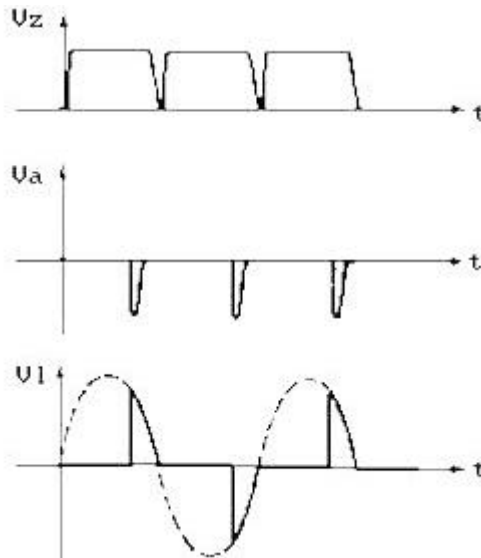
#### 4.3.15 Transformadores de pulso

Estos dispositivos electrónicos cumplen un rol muy importante dentro del diseño, ya que produce pulsos eléctricos de gran velocidad y amplitud constante, su particularidad es transmitir pulsos con un rápido tiempo de caída y subida que se combina con dicha amplitud, dentro de la electrónica a estos pulsos se los conoce como pulsos eléctricos rectangulares. La tolerancia de este dispositivo es mínima por lo que permite reducir la cantidad de distorsión de la forma del pulso. En la figura 4.13 se da un claro ejemplo de la implementación del componente para un circuito de disparo de corriente alterna.



**Figura 4.13** Circuito de aplicación del transformador de pulsos

A continuación en la figura 4.14 se indican las curvas que genera el transformador de pulsos por ser un elemento que genera pulsos eléctricos al ser diseñados para transmitir pulsos con un rápido tiempo de caída y subida, por lo cual es fundamental para el sistema de potencia con cargas inductivas.



**Figura 4.14** Ondas del transformador de pulso

#### 4.3.16 Implementación de Hardware

Dentro de la ejecución del hardware para cumplir la configuración y conexión de los elementos electrónicos implementados en el sistema, una vez seleccionados los elementos que constituyen el hardware que se han hablado anteriormente, se procede al diseño del circuito, además es fundamental el circuito en el proyecto para el proceso de datos y control de flujo de aire dentro del sistema. Los elementos seleccionados son los siguientes:

- Arduino Nano
- Sensor de temperatura y flujo de aire MAF
- SCR
- Transformadores de pulso

#### Alimentación

La implementación del sistema de alimentación del circuito depende de los componentes que integran el sistema de Hardware, esto se selecciona en función de la corriente de consumo de cada uno de los componentes principales del sistema de control.

En la tabla 4.4 se especifican las corrientes de consumo de cada uno de los elementos a utilizar en el sistema con el consumo máximo de la corriente en el momento de su funcionamiento.

**Tabla 4.4** Dispositivos y corrientes de consumo

<b>Función</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Consumo de corriente</b>
Microcontrolador	Arduino Nano	6.75mA
sensor de temperatura	IAT (Termistor NTC)	2mA
sensor de flujo de aire	Fino alambre de platino	2.3mA
	Total consumo	11.05mA

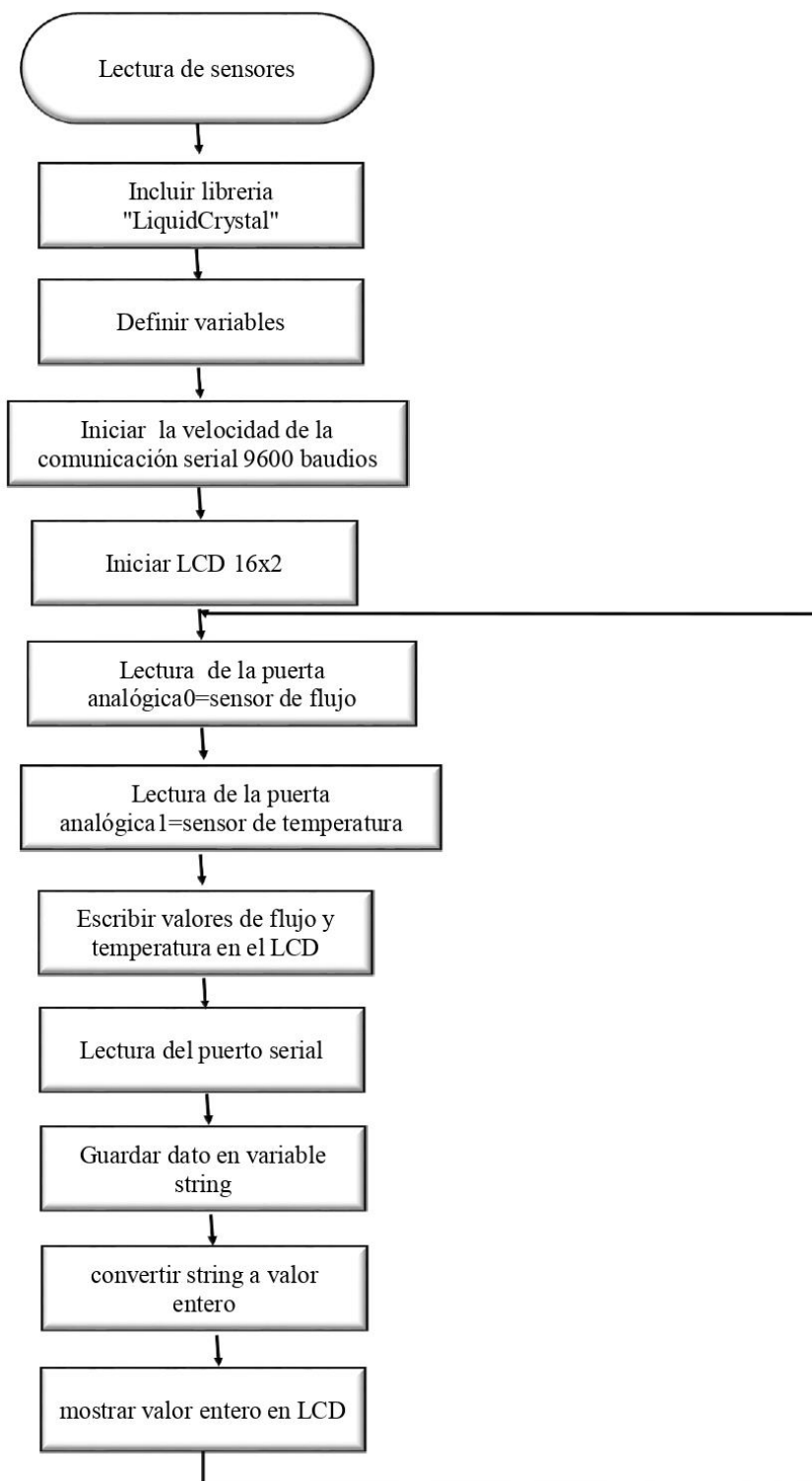
#### **4.4 Ensamble del circuito de control**

Para el diseño del sistema de control de flujo de aire y temperatura se diseña una placa donde se interconectan dos microcontroladores con comunicación serial, también las entradas de los sensores y la alimentación de entrada del sistema de potencia para el control de fase. Se toma en cuenta la reducción de cableado en el sistema.

El circuito de control de flujo de aire y temperatura es el encargado de conectar cada uno de los elementos electrónicos de instrumentación y alimentación del sistema. El ensamble del sistema se muestra en el anexo 10

##### **4.4.1 Unidad de control**

La unidad de control es una placa impresa que se encarga de realizar el control de flujo de aire respectivo en el sistema, también el circuito impreso es el encargado de activar todos los componentes del hardware y la ejecución de todo el proceso a realizar. El circuito de control se compone de un elemento principal el cual es el cerebro del sistema para cumplir el proceso de flujo de aire. El sensor MAF es el encargado de emitir información al microcontrolador de manera analógica, además el código de software se realiza por Arduino IDE. A continuación, se presenta un diagrama de flujo de las lecturas de los sensores.



**Figura 4.15** Diagrama de flujo lectura de sensores

#### **4.5 Procesos que realiza el sistema de control**

El sistema realiza los siguientes procesos: primero la comunicación entre dos Arduinos con el Puerto Serie como segunda parte se diseña el control PID para el flujo de aire.

##### **4.5.1 Comunicación entre dos Arduinos con el Puerto Serie**

Para el presente proyecto se comunican dos Arduinos Nanos mediante el puerto serie, con la finalidad de aplicar el sistema de monitoreo, transmisión de datos y lo más importante dentro del proyecto que es el control.

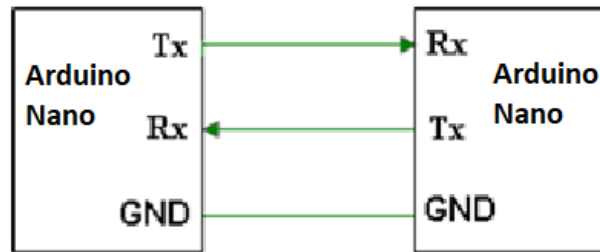
A continuación, se explica la comunicación por puerto serie.

##### **4.5.2 Comunicación por el puerto Serie**

Para el conocimiento del tema el Arduino tiene una comunicación serie esto depende mucho de las serie de microcontroladores Arduinos que existen en el mercado, tomando en cuenta para este proyecto se utiliza el Arduino nano que consta de una sola comunicación serie, en la parte externa del Arduino consta de dos pines un Tx que es de transmisión y un RX que es de recepción, adicionalmente el puerto está conectado al puerto USB por tal motivo se puede visualizarlo en un monitor de puerto Serie en el ordenador.

Para el presente control de flujo de aire se realiza la comunicación serial entre dos dispositivos y para esto se utiliza 3 líneas las cuales detallaremos a continuación.

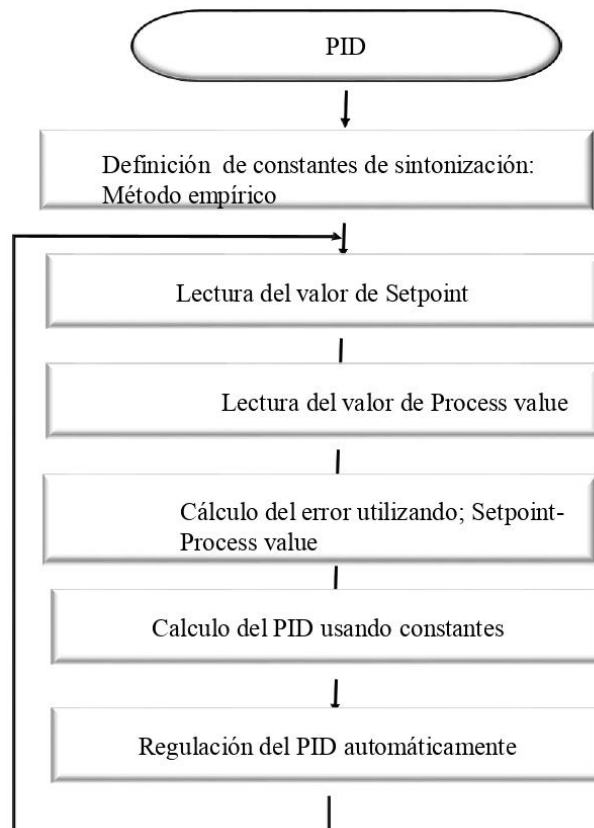
1. Línea de recepción de datos (RX)
2. Línea de transmisión de datos (TX)
3. Línea común (GND)



**Figura 4.16** Comunicación por puerto serie

### 4.5.3 Diseño del controlador PID

Un controlador PID puede considerarse como una forma extrema de un compensador de adelanto o retraso de fase con un polo en el origen y el otro en el infinito. De manera similar, sus primos, los controladores PI y PD, también pueden considerarse formas extremas de compensadores de fase-larga y fase-adelanto, respectivamente. Un controlador PID estándar también se conoce como el controlador de tres términos, Proporcional, Integral y Derivado.



**Figura 4.17** Diagrama de flujo PID



#### 4.5.4 Controlador PID con librería

La librería PID empieza comparando la variable de salida con la variable de entrada. La diferencia se denomina la señal de error. Si usa solo esta señal de error para impulsar la salida, tiene un controlador. Al monitorear la velocidad a la que cambia la señal de error, reducimos el tiempo para alcanzar el valor objetivo, las principales librerías para ejecutar el control PID en Arduino son: entrada, salida, punto de ajuste, (Kp, Ki, Kd) como se muestra en el ANEXO 13.

#### 4.5.5 Cálculo sobreimpulso

A continuación, se realiza el cálculo del pico máximo de sobreimpulso mediante la siguiente ecuación planteada.

$$M_p = \frac{y(tp) - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

Mp = Máximo sobreimpulso

Pmaximo = Pico mayor

Pvalor = Estado estable (Set Point)

#### 4.6 Chi cuadrado

La prueba del Chi cuadrado es una de las más utilizadas para el análisis de variables nominales o cualitativas con el fin de determinar la existencia o no de dependencia entre dos variables. A continuación se explica los pasos a realizar para el análisis estadístico.

##### 4.6.1 Cálculo estadístico del Chi cuadrado

Como primer punto se analiza la tabla de variables con un margen de error de 0.1, de la misma manera se plantea primero una hipótesis, la misma que se describe a continuación.

¿Influye el porcentaje de flujo de aire en la temperatura a la salida del colector solar?

Como segundo punto se calcula la frecuencia teórica

$$F_t = \frac{N^\circ \text{ total de su columna} \cdot N^\circ \text{ total de su fila}}{N^\circ \text{ total de datos}} \quad (4.4)$$

Como tercer punto se realiza el cálculo de grado de libertad, para ello se toma en cuenta el número de filas y columnas aplicando la siguiente ecuación.

$$v = (N^{\circ} \text{ filas} - 1) \cdot (N^{\circ} \text{ columnas} - 1) \quad (4.5)$$

Posteriormente como último paso se realiza el Chi cuadrado mediante la siguiente ecuación.

$$X^2 = \sum \frac{(\text{Muestra} - Ft)^2}{Ft} \quad (4.6)$$

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para verificar el funcionamiento del sistema de control de flujo en un colector solar, las pruebas se establecen en la parte experimental, del mismo modo las comparaciones de las medidas de los sensores son comparadas con dispositivos inteligentes.

### 5.1 Pruebas y resultados de medición de flujo y temperatura a la salida del colector solar.

Para validar los resultados de flujo se realizó un análisis matemático con la información que se dispone el scanner automotriz de tipo OBD2, del mismo modo para validar los valores de temperatura se comparó con un sensor digital inteligente tal y como se muestra en la figura 5.1, el cual tiene una exactitud de medición  $\pm 0.5$  grados Celsius también en el Anexo 13 se detalla las características del medidor de temperatura.



**Figura 5.1** Sensor de temperatura digital inteligente

Resultados de medición del flujo de masa de aire a la salida del colector solar. Para mantener una medición de flujo constante al interior del colector solar, se realizó un control PID, de tal manera permite la corrección del error del sistema estableciendo una estabilidad de dicha variable tal y como se muestra en la tabla 5.1.

#### 5.1.2 Resultado de medición de la temperatura a la salida del colector solar

El levantamiento de información se realizó el día jueves 28 de mayo del presente año, se estableció ir en una escala de 10% de voltaje, del mismo modo se realizaron pausas de 10 minutos para que exista una concentración de calor al interior del colector, para posterior digitalizar el siguiente porcentaje de voltaje.

**Tabla 5.1** Estabilidad del flujo másico a la salida del colector

% de Voltaje	Flujo másico (g/s)
10	4.01
20	7.09
30	12.02
40	16.04
50	19.60
60	23.98
70	28.01
80	31.97
90	36.03
100	39.96

### 5.1.3 Análisis del comportamiento de la temperatura con diferentes rangos de flujo másico

Para el análisis del comportamiento de la temperatura de salida del colector solar se dispuso de datos de temperatura ambiente, temperatura a la salida sin flujo y la temperatura a la salida con flujo másico tal y como se indica en la tabla 5.2.

**Tabla 5.2** Análisis del comportamiento de la temperatura con diferentes rangos de flujo másico

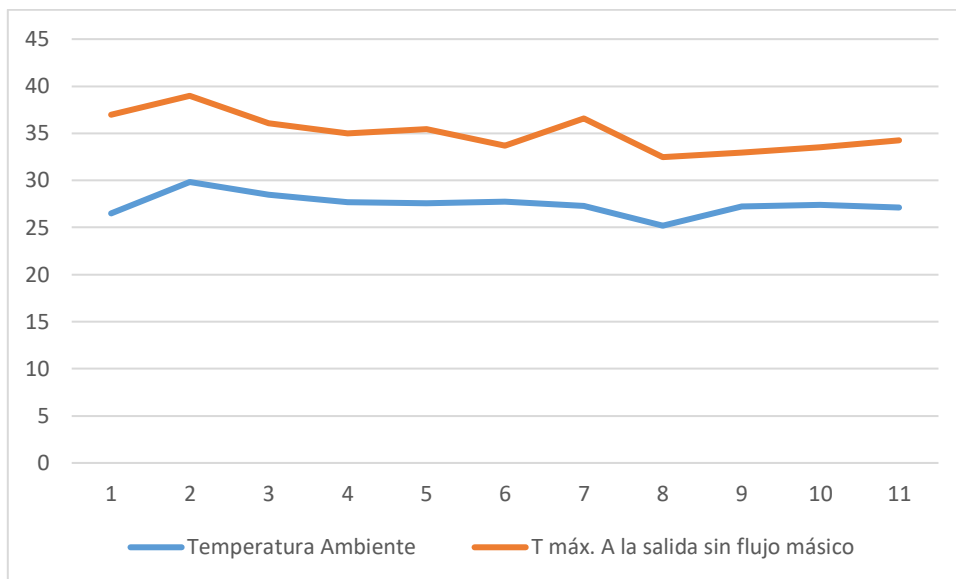
% de voltaje	Tiempo	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura a la salida del colector sin flujo de aire (°C) máx.	Temperatura a la salida del colector con flujo de aire (°C) máx.
Concentración de 10 minutos	11:40 – 11:50 am	26.52	36.11	
10%	11:50 – 12:00 pm			39.02
Concentración de 10 minutos	12:00 – 12:10 pm	29.83	38.98	
20%	12:10 – 12:20 pm			42.21
Concentración de 10 minutos	12:20 – 12:30 pm	28.5	36.07	
30%	12:30 – 12:40 pm			35.07
Concentración de 10 minutos	12:40 – 12:50 pm	27.67	34.97	
40%	12:50 – 13:00 pm			34.65
Concentración de 10 minutos	13:00 – 13:10 pm	27.56	35.46	
50%	13:10 – 13:20 pm			34.86

Concentración de 10 minutos	13:20 – 13:30 pm	27.72	33.7	
60%	13:30 – 13:40 pm			34.36
Concentración de 10 minutos	13:40 – 13:50 pm	27.31	36.56	
70%	13:50 – 14:00 pm			37.68
Concentración de 10 minutos	14:00 – 14:10 pm	25.19	32.47	
80%	14:10 – 14:20 pm			31.84
Concentración de 10 minutos	14:20 – 14:30 pm	27.21	32.97	
90%	14:30 – 14:40 pm			33.46
Concentración de 10 minutos	14:40 – 14:50 pm	27.38	33.54	
100%	14:50 – 15:00 pm			32.99
Concentración de 10 minutos	15:00 – 15:10 pm	27.12	34.27	

A continuación, se hace una comparación de la temperatura a la salida sin flujo y con flujo másico, del mismo modo se realizará su curva característica.

**Tabla 5.3** Análisis de la temperatura sin flujo másico

Temperatura Ambiente (°C)	T máx. A la salida sin flujo másico (°C)
26.52	36.98
29.83	38.98
28.5	36.07
27.67	34.97
27.56	35.46
27.72	33.7
27.31	36.56
25.19	32.47
27.21	32.97
27.38	33.54
27.12	34.27

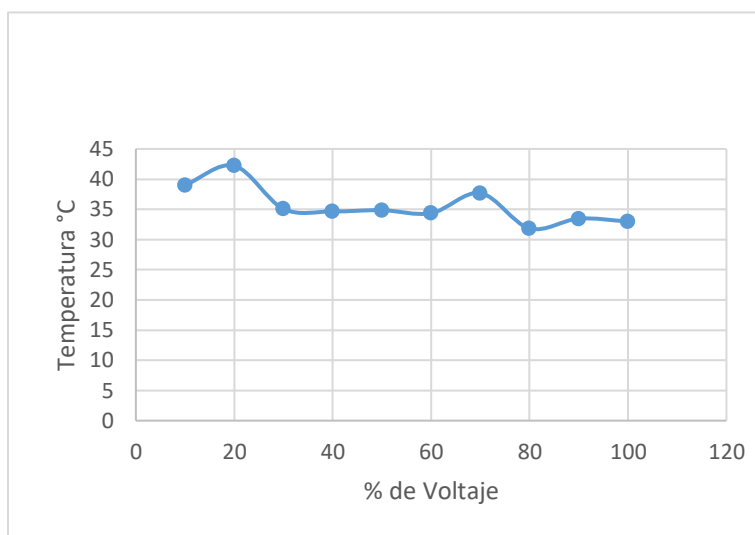


**Figura 5.2** Curva característica de la temperatura a la salida sin flujo másico

Se puede decir que la temperatura al interior del colector solar sin flujo es poco estable, sin embargo, necesita de otro tipo de energía para aprovechar dicha concentración. A continuación, se realiza el análisis de la temperatura con flujo de aire.

**Tabla 5.4** Análisis de la temperatura con flujo másico

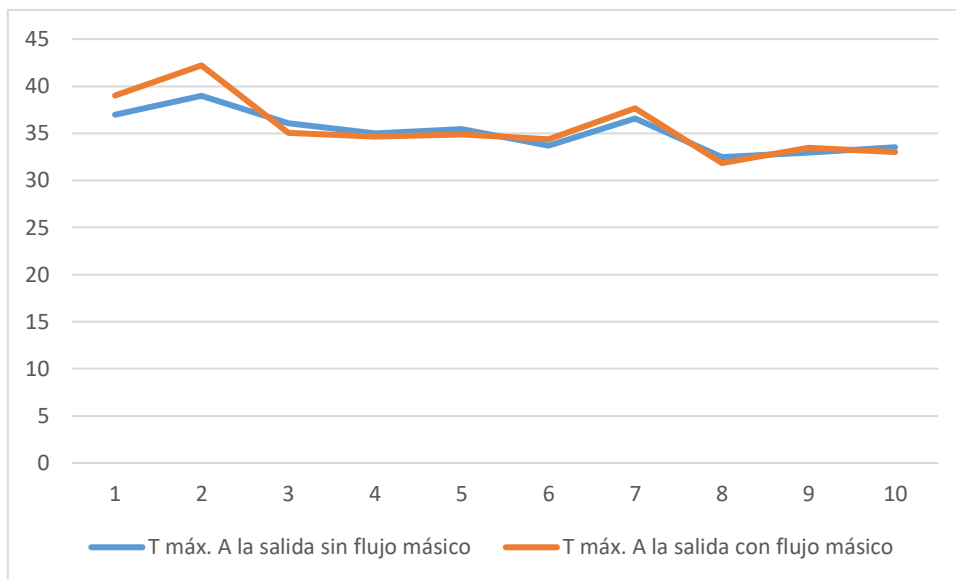
% Voltaje	T máx. A la salida °C
10	39,02
20	42,21
30	35,07
40	34,65
50	34,86
60	34,36
70	37,68
80	31,84
90	33,46
100	32,99



**Figura 5.3** Curva característica de la temperatura a la salida con flujo másico

**Tabla 5.5** Temperaturas a la salida con o sin flujo

T máx. A la salida sin flujo másico (°C)	T máx. A la salida con flujo másico (°C)
36.98	39,02
38.98	42,21
36.07	35,07
34.97	34,65
35.46	34,86
33.7	34,36
36.56	37,68
32.47	31,84
32.97	33,46
33.54	32,99



**Figura 5.4** Curvas características de la temperatura a la salida con flujo y sin flujo de aire. Con ello podemos establecer que con menor porcentaje de flujo de aire al interior del colector solar la temperatura a la salida aumenta y viceversa.

## 5.2 Cálculo estadístico del Chi cuadrado

La siguiente tabla refleja la cantidad de datos recopilados, según parámetros de temperatura establecidos con porcentajes de voltaje del 10% a 100%.

**Tabla 5.6** Muestras de datos a diferentes rangos de temperatura y flujo de aire

Cálculo estadístico Chi cuadrado				
	Rangos de temperatura			
Rango/flujo	< 30	30-32	>32	Total
10	23	22	50	95
20	4	47	51	102
30	30	20	48	98
40	32	19	30	81
50	42	8	15	65
60	38	11	29	78
70	27	16	29	72
80	51	28	3	82
90	45	6	19	70
100	42	9	21	72
Total	334	186	295	815



Para analizar dicha tabla se tomó como margen de error de 0.1, de la misma manera se plantea primero una hipótesis, la misma que se describe a continuación.

¿Influye el porcentaje de flujo de aire en la temperatura a la salida del colector solar?

El grado de libertad es de 18

Al realizar la respectiva suma total nos da un valor de  $X^2 = 167.97$ , dichos cálculos se muestran en el ANEXO 11.

Como paso final se realiza el siguiente análisis con la ayuda de la tabla de distribución de Chi cuadrado  $X^2$  evidenciada en ANEXO 12.

Mediante el valor calculado del grado de libertad y el margen de error establecido, se puede observar que nos da un valor de 25.9894, con el cual se procede hacer la comparación y su respectiva conclusión con el Chi cuadrado calculado.

Si el Chi cuadrado calculado es mayor que el de la tabla, se rechaza la hipótesis, de ser caso contrario se acepta la hipótesis.

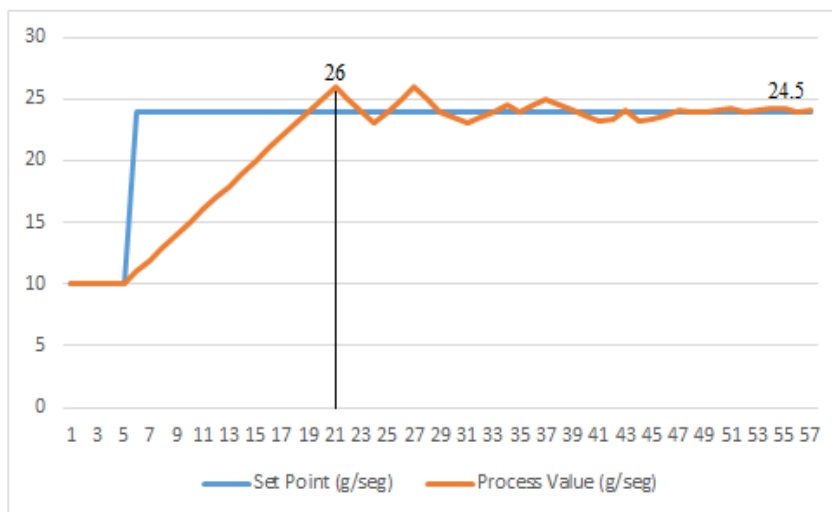
$$X^2 \text{ Calculado} = 167.97 > X^2 \text{ Tabla} = 25,9894$$

Se puede concluir que el porcentaje de flujo de aire a través del colector si afecta considerablemente a la temperatura de salida.

### **5.3 Análisis y curvas características del Control PID de flujo de aire**

Para realizar dicho análisis se determinan dos parámetros, uno de ellos es el sobreimpulso es decir el pico mayor distorsionado de la curva, el segundo es el tiempo de establecimiento es decir calcular el tiempo en que tarda en PID en establecer el proceso de acuerdo al Set Point configurado como se muestra a continuación en la figura 5.5.

### 5.3.1 Análisis del comportamiento del control PID con un porcentaje de voltaje de 60% con un Set Point de 24 g/s.



**Figura 5.5** Curva del PID de flujo con Set Point de 24 g/s

#### Sobreimpulso del PID

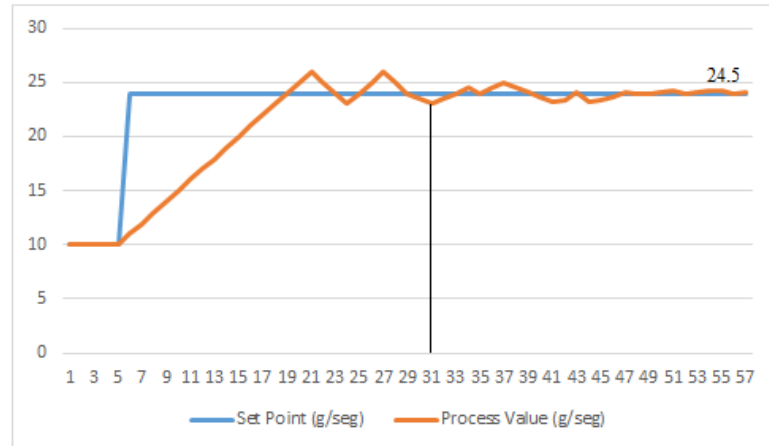
Como se puede observar en la gráfica 5.5 en el punto 21 se genera el pico más alto de sobreimpulso con un valor de 26 g/s.

A continuación con la ecuación del 4.3 se realiza el cálculo del pico máximo de sobreimpulso que da como resultado un valor de:

$$M_p = 6.12\% \text{ de sobreimpulso}$$

#### Tiempo de establecimiento

Para el análisis del establecimiento del sistema se designó un tiempo máximo de 500milisegundos que se ocupara para cálculos posteriores. En la figura 5.6 se muestra el punto donde inicia su estabilización.



**Figura 5.6** Punto de estabilización del sistema

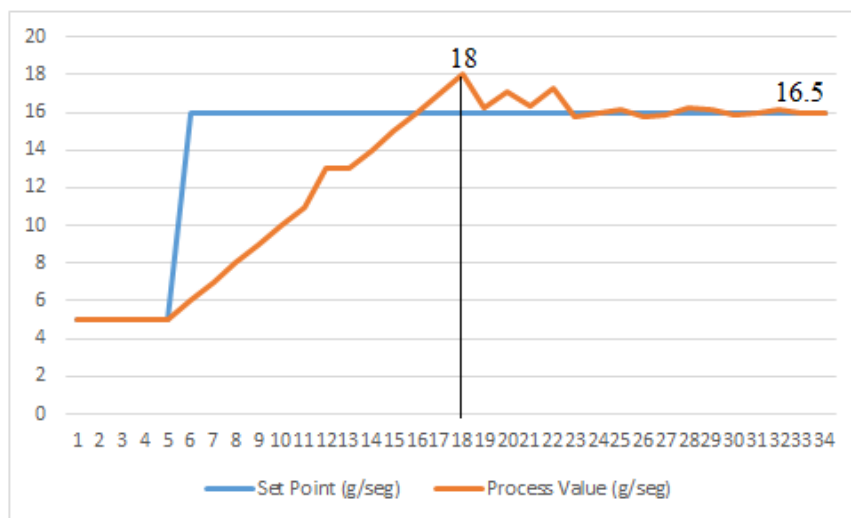
A continuación, se procede hacer el cálculo del tiempo que se demora en establecer el sistema, tomando en cuenta el punto donde empieza a estabilizarse.

$$31 \rightarrow 500ms$$

$$0.5 \cdot 31 = 15.5 s$$

Se puede concluir que en el punto 31 el flujo comienza el proceso de estabilización con un tiempo estimado de 15,5 segundos.

### 5.3.2 Análisis del comportamiento del control PID con un porcentaje de voltaje de 40% con un Set Point de 16 g/s.



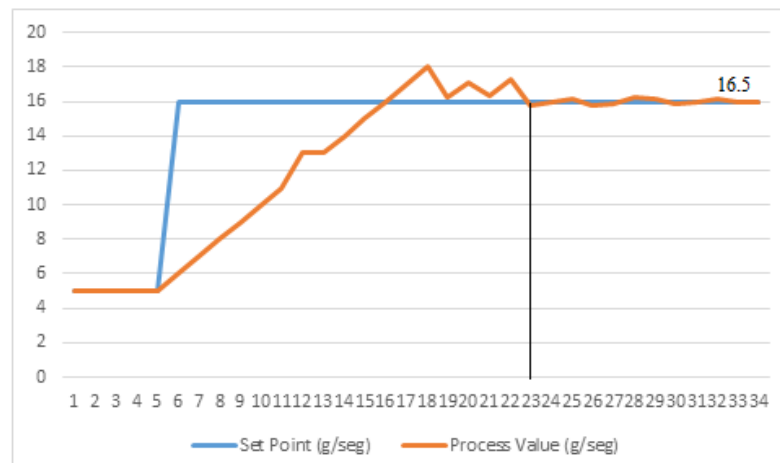
**Figura 5.7** Curva del PID de flujo con Set Point de 16 g/seg

### Sobreimpulso del PID

Como se puede observar en la gráfica 5.7 en el punto 18 se genera el pico más alto de sobreimpulso de un valor de 18 g/s.

$$M_p = 9.09 \% \text{ de sobreimpulso}$$

### Tiempo de establecimiento



**Figura 5.8** Punto de estabilización del sistema

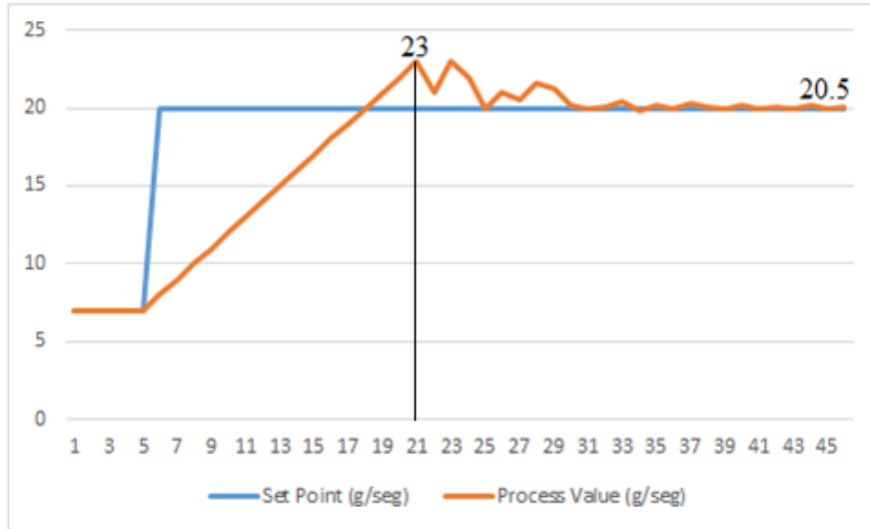
**Figura 5.9**

$$23 \rightarrow 500ms$$

$$0.5 \cdot 23 = 11.5 s$$

Se puede concluir que en el punto 23 el flujo comienza el proceso de estabilización con un tiempo estimado de 11,5 segundos.

### 5.3.3 Análisis del comportamiento del control PID con un porcentaje de voltaje de 40% con un Set Point de 20 g/s.



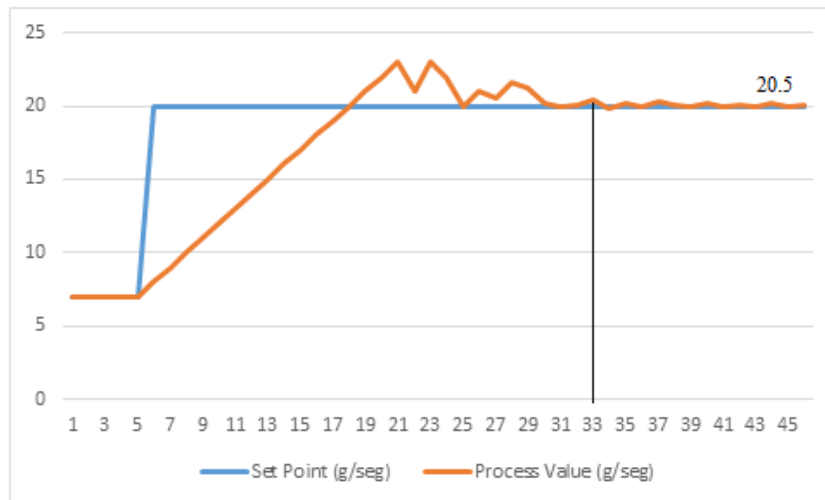
**Figura 5.10** Curva del PID de flujo con Set Point de 20 g/s

#### Sobreimpulso del PID

Como se puede observar en la gráfica 5.10 en el punto 21 se genera el pico más alto de sobreimpulso de un valor de 23 g/s.

$$M_p = 12.19 \% \text{ de sobreimpulso}$$

#### Tiempo de establecimiento



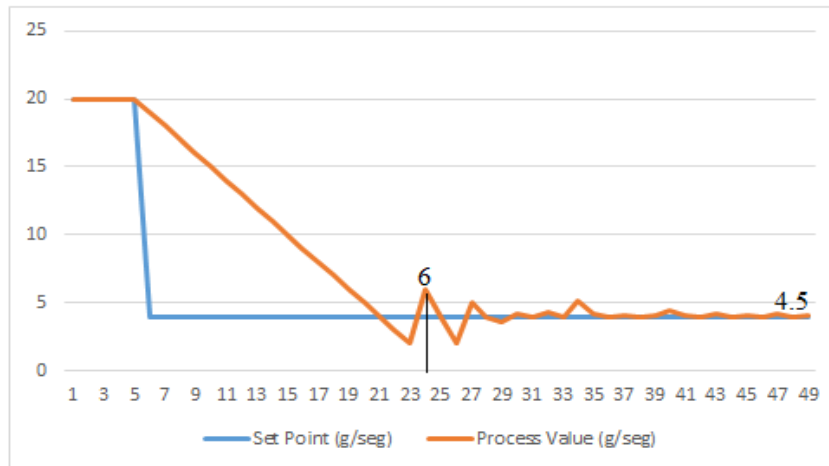
**Figura 5.11** Punto de estabilización del sistema

33 → 500mseg

$$0.5 \cdot 33 = 16.5 \text{ s}$$

Se puede concluir que en el punto 33 el flujo comienza el proceso de estabilización con un tiempo estimado de 16,5 segundos.

### 5.3.4 Análisis del comportamiento del control PID en descenso con un Set Point de 20 g/s a 4 g/s



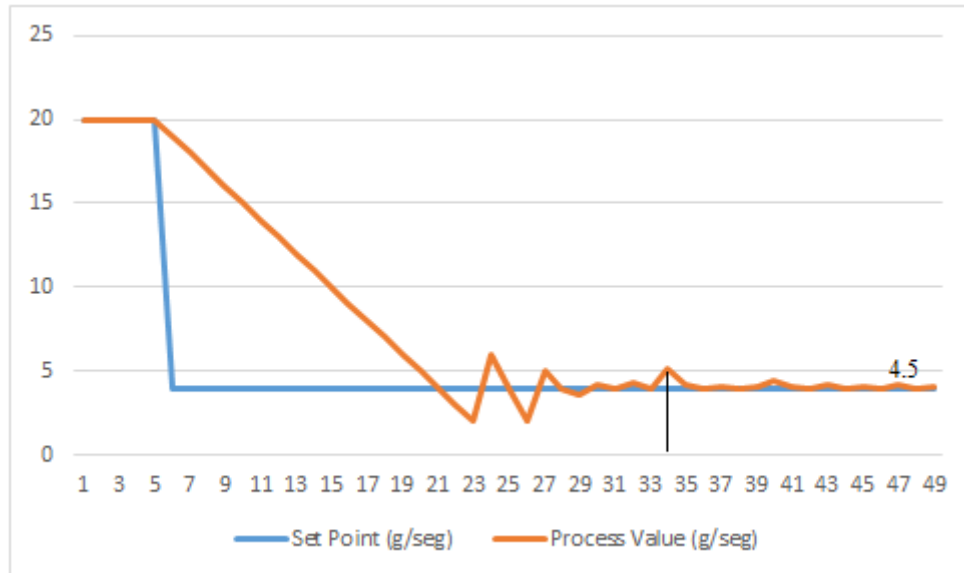
**Figura 5.12** Curva del PID de flujo con Set Point en descenso de 20g/s a 4 g/s

#### Sobreimpulso del PID

Como se puede observar en la gráfica 5.12 en el punto 24 se genera el pico más alto de sobreimpulso de un valor de 6 g/s.

$$M_p = 33.33 \% \text{ de sobreimpulso}$$

### Tiempo de establecimiento



**Figura 5.13** Punto de estabilización del sistema

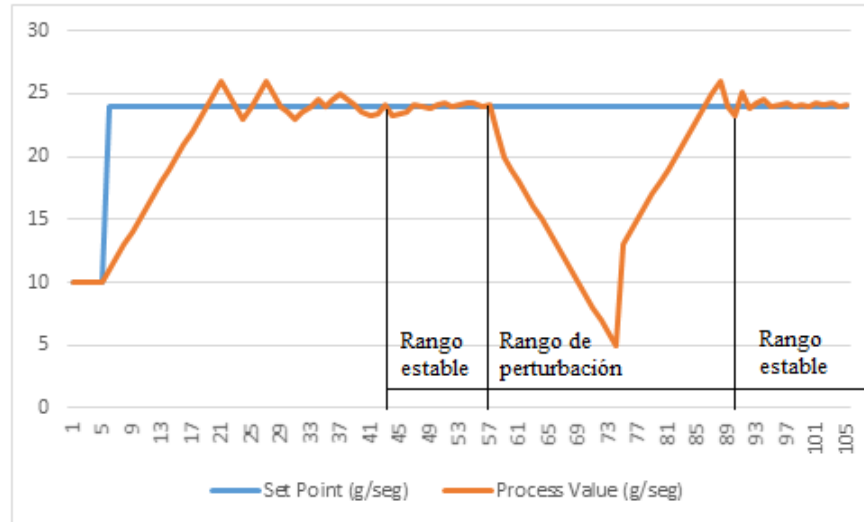
34 → 500mseg

$$0.5 \cdot 34 = 17 \text{ se}$$

Se puede concluir que en el punto 34 el flujo comienza el proceso de estabilización con un tiempo estimado de 17 segundos.

#### 5.3.5 Análisis del comportamiento del PID con perturbaciones a la entrada del colector

Para el desarrollo de este análisis se estableció un porcentaje de voltaje de 60% con un Set Point de 24g/s, para dicha perturbación lo que se hizo es ya una vez que el flujo se mantuviera estable, se sacó del colector el soplador provocando una caída de flujo e inestable como se muestra en las tablas del Anexo 15, debido a que no está presente el sensor, posterior a eso se colocó nuevamente el soplador dentro del colector para que vuelva a estabilizarse nuevamente tal y como se muestra en la figura 5.14 a continuación.

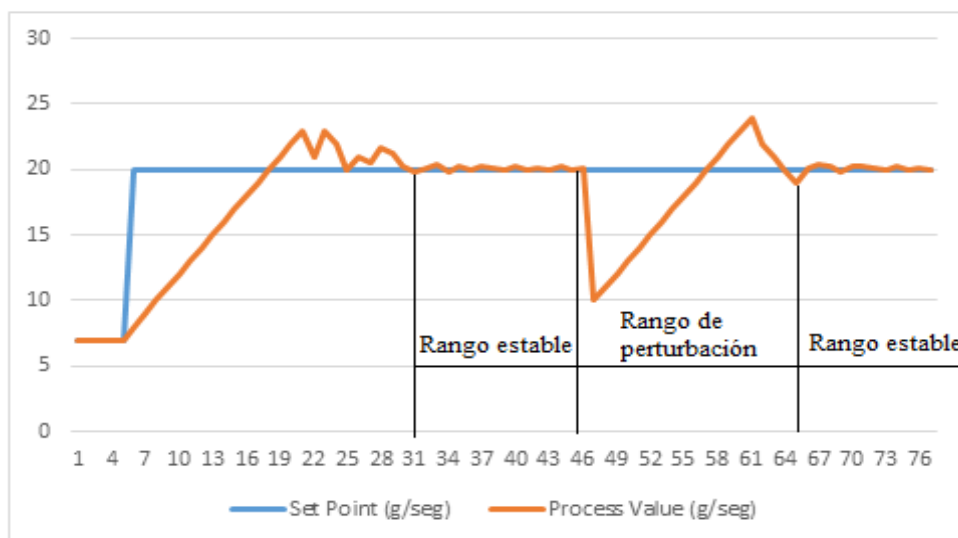


**Figura 5.14** PID con perturbaciones a la entrada del colector con un Set Point de 24g/s

### 5.3.6 Análisis del comportamiento del PID con perturbaciones a la salida del colector

Para el presente análisis en el Anexo 15 se puede ver los datos de la curva lo que se realizó es obstaculizar una menor cantidad de flujo de aire al sensor a la salida, esto hace que se provoque una distorsión no tan considerada como el de la entrada, debido a que el flujo se mantiene al interior del colector, pero no llega todo el flujo establecido tal y como se muestra en la figura 5.15 a continuación.





**Figura 5.15** PID con perturbación a la salida del colector con un Set Point de 20g/seg

### 5.3.7 Interpretación de resultados del control PID

Para realizar el análisis correspondiente se tomó en consideración el porcentaje de voltaje, el Set point, el porcentaje de sobreimpulso y el tiempo que demora en establecerse tal y como se muestra en la tabla 5.7 a continuación.

**Tabla 5.7** Comportamiento del PID con diferentes rangos de flujo de aire

% de voltaje	Set Point	% Sobreimpulso	Tiempo de establecimiento (segundos)
60	24	6.12	15.5
40	16	9.09	11.5
50	20	12.19	16.5
10	4	33.33	17

Como se puede evidenciar el control PID utilizado es constante, debido a que compensa automáticamente al sistema de manera eficaz a diferente punto de consigna.

## 6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO

### 6.1 Presupuesto

El proyecto de investigación tiene un enfoque de bajo costo, sin embargo, existe la posibilidad de que cualquier otro investigador lo haga más robusto elevando su valor como tal, se dispuso de un software libre en el mercado capaz de cumplir con los requerimientos del sistema. A continuación, en la tabla 6.1 se describen los elementos que constituyen el proyecto.

**Tabla 6.1.** Elementos que constituyen el sistema de control de flujo

Cantidad	Elemento	Costo (\$)
1	Sensor Maf CHEVROLET D-MAX	30.00
2	SCR - BT152-800R 20A 800V TO 220	7.00
2	Microcontrolador Arduino Nano	13.00
1	Caja de Paso 255x200x80	9.00
2	Diodo Rectificador	0.50
1	Puente de diodos	0.50
2	Transistor 3904	0.50
2	Resistencia de 1k	0.10
2	Resistencia de 330 $\Omega$	0.10
2	Resistencia de 220 $\Omega$	0.10
2	Resistencia de 47k	0.10
3	Resistencia de 10k	0.10
2	Optoplador 4N25	1.00
2	Transformador de pulso	7.00
1	Display LCD 16x2	2.80
1	Teclado Key Arduino	1.80
1	Potenciómetro lineal de 5k	0.50
1	Impresión PCB placa baquelita del circuito de control de flujo	8.00
1	Impresión PCB placa baquelita de fuentes de 12 y 5 Voltios.	8.00
Total		90.10

### 6.1.1 Costos ingenieriles

Para el diseño final del sistema de control de flujo, se han dedicado varias horas de trabajo tanto en diseño, programación, calibración y correcciones de errores, se detalla a continuación en las siguientes tablas. Para determinar el costo de la hora de trabajo según el salario mínimo publicado en noviembre del 2020 es de \$400,00 (cuatrocientos dólares con cero centavos americanos), posterior a ello se realizó el cálculo tomando en cuenta al Código de Trabajo, donde menciona que durante la semana deben cumplirse las 40 horas.

$$\#horas = 8 \text{ horas} \times 20 \text{ días}$$

$$\#horas = 160 \text{ horas}$$

$$\text{Costo} = \frac{400}{160} = 2.5\$ \text{ la hora}$$

**Tabla 6.2.** Costo de diseño de ingeniería

N.- DE HORAS	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
60	Diseño del sistema de control	2.5	150.00
20	Montaje del diseño	2.5	50.00
30	Implementación y depuración del Software	2.5	75.00
50	Pruebas funcionales	2.5	125.00
	<b>Total</b>		400.00

### 6.1.2 Costos directos totales

**Tabla 6.3.** Costos directos totales

GASTOS DIRECTOS	COSTO (\$)
Elementos	90.10
<b>TOTAL</b>	90.10

### 6.1.3 Costos indirectos totales

**Tabla 6.4.** Costos indirectos totales

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	<b>COSTO (\$)</b>
Diseño de ingeniería	400.00
<b>TOTAL</b>	400.00

### 6.1.4 Inversión total

En la tabla 6.5 se detalla la inversión inicial para el desarrollo de la propuesta tecnológica.

**Tabla 6.5.** Costos totales

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO (\$)</b>
Gastos directos	90.10
Gastos indirectos	400.00
<b>TOTAL</b>	490.10

La inversión total para la presente propuesta tecnológica es aproximadamente de 490.10 dólares, debido a que es el primer diseño de un sistema de control de flujo de aire en un colector solar con dichos elementos ya detallados.

## 6.2 Análisis de impactos

El desarrollo de la presente propuesta, está enfocada en dos impactos; tecnológico y social.

### **6.2.1 Impacto tecnológico**

Los procesos y diseños tecnológicos acerca de un sistema de control de flujo en la industria son mucho más básicos y robustos. La propuesta tecnológica de un diseño de un sistema de control de flujo en un colector solar es más sofisticada tanto en su control y su diseño, ya que está constituido por la electrónica dentro de ella la utilización de un software convencional y del mismo modo la ciencia de la instrumentación como tal.

### **6.2.2 Impacto social**

Luego de haber realizado una investigación acerca del diseño de un sistema de control de flujo de masa de aire en un colector solar, la información fue muy escasa debido a que no existe un control con dichos parámetros establecidos como es un registro de datos de la temperatura y el flujo de aire.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

- Cuando se refiere al flujo de aire en un colector solar claramente se debe realizar un sistema de control para extraer el calor absorbido en el interior del colector, motivo por el cual el flujo de aire debe ser constante en un intervalo de tiempo.
- Para un sistema de control de flujo de aire que conlleva un proceso real uno de los problemas más difíciles en el área de materiales es adquirir un sensor con un grado mínimo de error para la toma de datos sin embargo con la tecnología y la investigación en la actualidad han proporcionado en gran tamaño esta tarea, es así que con la ayuda de un sensor automatizado se obtiene valores reales del sistema y así mismo se puede analizar los datos y convertir las unidades del flujo másico de aire a los valores deseados.
- El diseño de un control de flujo de Aire utilizando microcontroladores fue posible mediante el empleo de la comunicación serial el cual nos brinda la suficiente velocidad para la adquisición y transferencia de variables para el control PID programado dentro del sistema. Sin embargo, si se desea diseñar este sistema en el sector industrial es mejor contar con controladores capaces de ejecutar este control desde la parte del software sin la necesidad de un control físico.
- El diseño de un control de fase con cargas inductivas y controlador PID adaptados a un proceso de flujo de aire da como resultado un mejor manejo de variables. Sin embargo, para el diseño de control de fase es considerable el uso de transformadores de pulso para un mejor rendimiento de control por teclado.
- Al realizar el análisis de comportamiento de temperatura a la salida del colector solar se determina que la salida máxima de flujo de aire en un colector es de 40 g/s. Entonces si en un intervalo de tiempo el colector absorbe calor y se controla a un flujo variable menor que 20g/s la temperatura aumenta con referencia a la temperatura ambiente. Sin embargo, cuando el flujo másico es mayor que 20 g/s la temperatura a la salida viene a enfriar con referencia a la temperatura ambiente.

## 7.2 Recomendaciones

- Con la finalidad de avanzar en la investigación y adquirir buenos resultados para el diseño de un sistema de control PID se recomienda usar un controlador que ejecute este tipo de controles con flujo de aire de manera que esta trabaje de forma autónoma como es el PLC el cual cuenta con librerías internas para este tipo de procesos.
- Para la adquisición y compra del sensor MAF se recomienda a los diseñadores considerar la correcta operatividad, debido a que hay muchas marcas de vehículos de estos sensores que puede dificultar para la toma de datos.
- Para que el sensor MAF tenga un rendimiento bueno es necesario implementarlo en una parte fija así no se puede poner en riesgo al sistema al momento de realizar el control PID no tener muchas perturbaciones para estabilizar el sistema a un rango requerido para el estudio requerido.
- Con la finalidad de obtener mejores resultados en el control PID se recomienda utilizar otro controlador con mayor capacidad como es el PLC de la serie 1500 en adelante, debido a que este dispositivo cuenta con librerías especialmente para este tipo de control.
- Antes de poner en funcionamiento el módulo de control de flujo, se debe conocer cada uno de los elementos y dispositivos electrónicos que lo conforman, esto evitará realizar malas maniobras en su conexión y permitirá alargar la vida útil de los componentes del módulo.

## 8. REFERENCIAS

- [1] A. y. Zavala, «Simulación y análisis de un control PID clásico y PID difuso,» *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation* vol. 68, pp. 1 - 6, 2018.
- [2] R. Reinoso, «Análisis de parámetros de información de diagnóstico PID's y ajuste de combustible,» p. 152, 2011.
- [3] Paida, «Análisis del sensor MAF en un motor a gasolina,» p. 105, 2007.
- [4] Aguayo, «Control de fase lineal para cargas AC,» p. 67, 2012.
- [5] Moreno, «Control de velocidad de un motor AC mediante control de fase con Arduino,» p. 61, 2018.
- [6] S. Sanches, «Construcción Y Validación De Un Secador Solar Para Madera Aserrada,» *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. 9, nº 2, pp. 171-176, 2003.
- [7] R. P. Parra, «SECADO DE CACAO UTILIZANDO UNA CÁMARA ROTATORIA CILÍNDRICA Y FLUJO DE AIRE CALIENTE,» 2017.
- [8] Carrera, «Medición de flujo de aire de admisión de un motor a combustión interna,» vol. 8, nº 5, p. 55, 2019.
- [9] B. Santos, M. Queiroz y T. Borges, «A solar collector design procedure for crop drying,» *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 22, nº 02, pp. 277 - 284, 2005.
- [10] B. Koulibale, «Modelación de un colector solar para calentamiento de aire,» *Ingeniería Energetica*, 2015.
- [11] Peñafiel, «Control de flujo de aire partiendo del sensor tipo térmico de Thomas,» p. 145, 1991.
- [12] Pizarro, «Introducción a los sistemas de control y modelo matemático,» p. 70, 2008.



- [13] Montenegro, «Identificación en lazo cerrado y abierto de sistemas dinámicos Closed Loop Identification of Dynamical Systems,» *Revista Colombiana de Física*, vol. 45, n° 1, p. 52, 2013.
- [14] W. Tan, «Unified tuning of PID load frequency controller for power systems via IMC,» *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, n° 1, pp. 341-350, 2010.
- [15] C. Xue, «Fractional order PID control of A DC-motor with elastic shaft: A case study,» *Proceedings of the American Control Conference*, vol. 2006, n° 7, pp. 3182-3187, 2006.
- [16] Castellanos, «Sensor MAF en vehículos utilitarios,» pp. 1-12, 2017.
- [17] M. Montellano, «Implementación de un sensor de presión diferencial en el sistema de turbina didáctica labjet 50 para determinar el flujo másico mediante el uso de parámetros de densidad y velocidad,» *Culcyt*, vol. 0, n° 51, p. 19, 2016.
- [18] Ferreira, «Projeto de um Anemômetro Térmico Baseado em Termistor NTC com Modelo Linearizado por Realimentação,» p. 73, 2018.
- [19] V. Erazo, «DISEÑO DE UN INSTRUMENTO DE ADQUISICIÓN DE TEMPERATURA A TRAVÉS DE TERMOCUPLAS,» *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, n° 9, pp. 1689-1699, 2013.
- [20] I. Fernández, «Análisis de modos de falla del sistema de inyección electrónica,» 2017.
- [21] M. Chacon, «USO DE MOBILE LEARNING EN LA ENSEÑANZA DE ELECTRONICA DIGITAL: CASO DE ESTUDIO CONTROLADOR CON ARDUINO,» pp. 83-97, 2020.
- [22] García, «Manual de prácticas de laboratorio de osciladores sinusoidales y aplicaciones del circuito integrado 555,» *Cenida.Una.Edu.Ni*, p. 71, 2017.
- [23] H. Lilien, *Tiristores y Triacs*, España: Marcombo, 2005.
- [24] A. O. y. C. Bacci, «Metodología de la investigación,» *Memoria Académica*, vol. 1, pp. 1-14, 2016.

[25] J. M. Ruiz, «Sistema Basado En Microcontrolador Para La Automatización De Un Acuario,»  
p. 64, 2017.

## 9. ANEXOS

<b>ANEXO</b>	<b>Diagrama del sistema de control de flujo</b>	<b>1 de 1</b>
1		

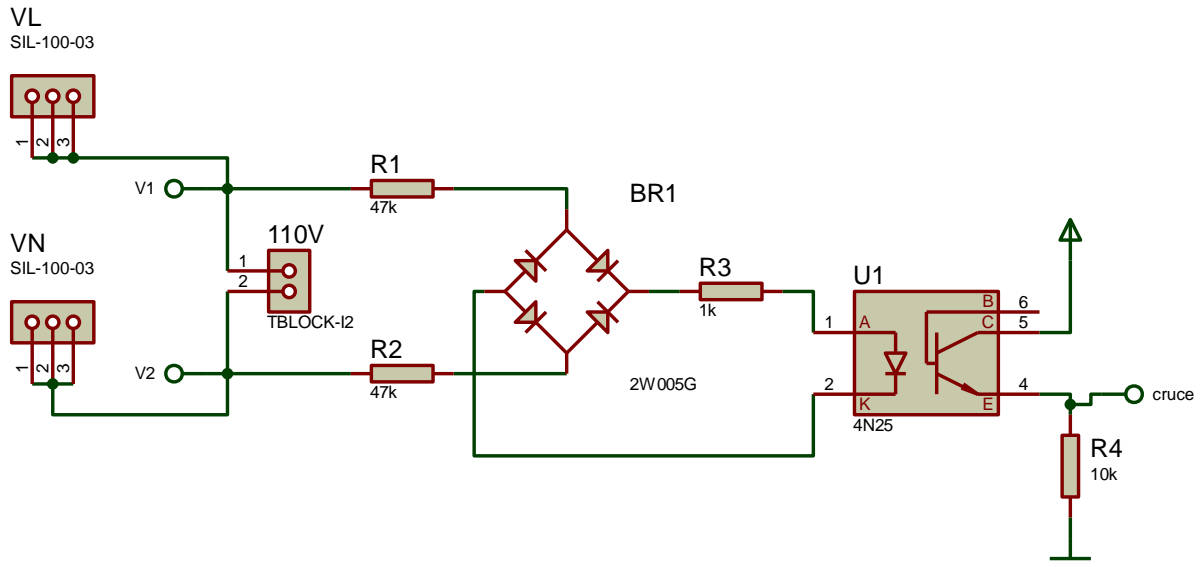
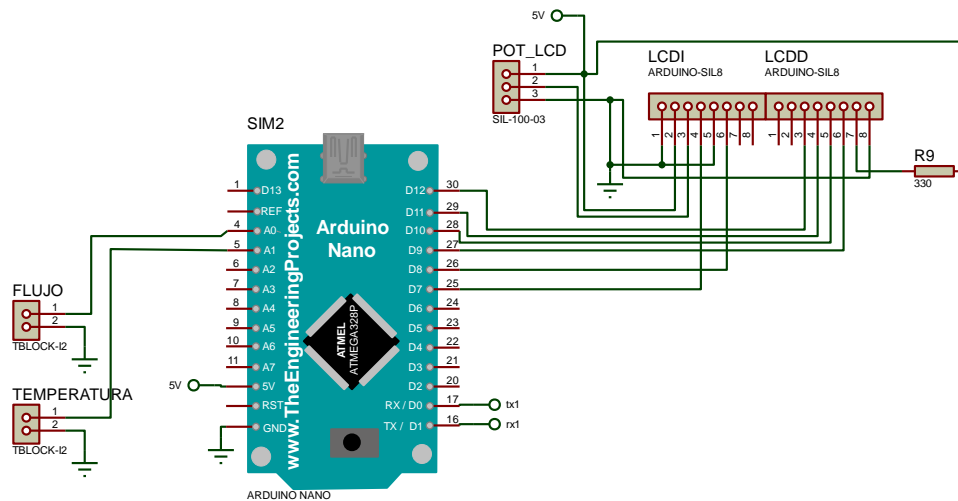
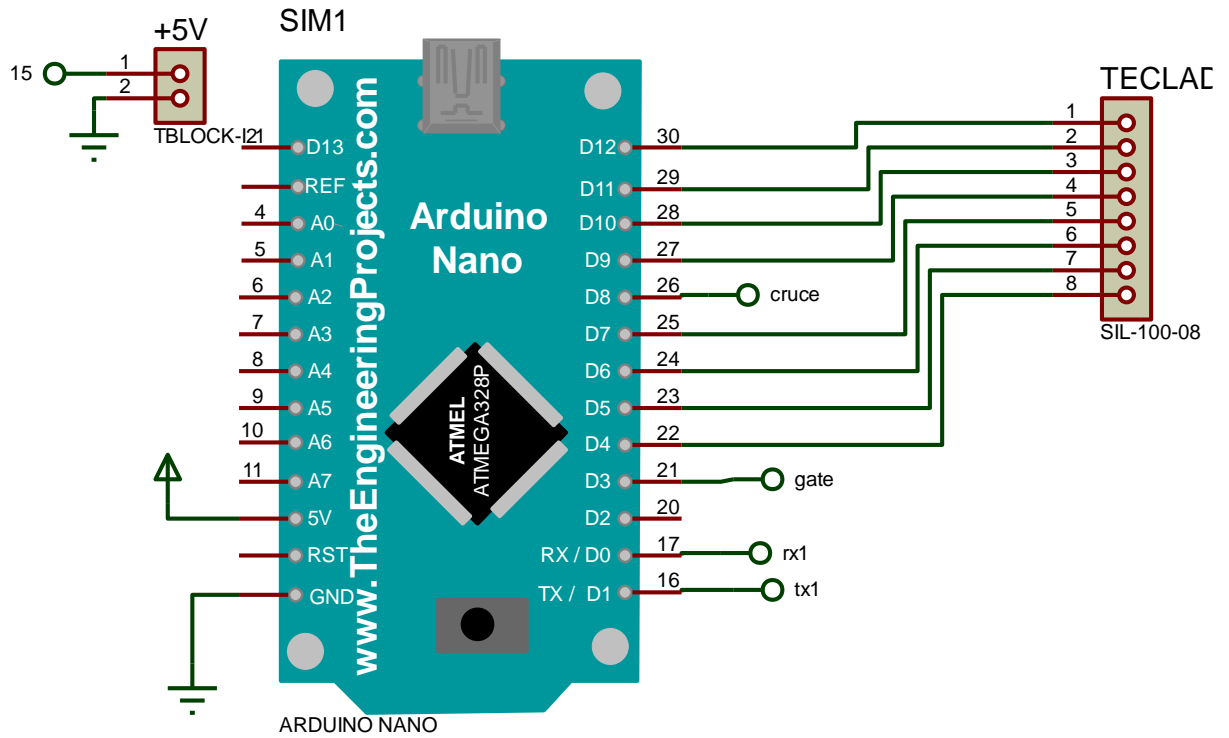


Diagrama del circuito cruce por cero

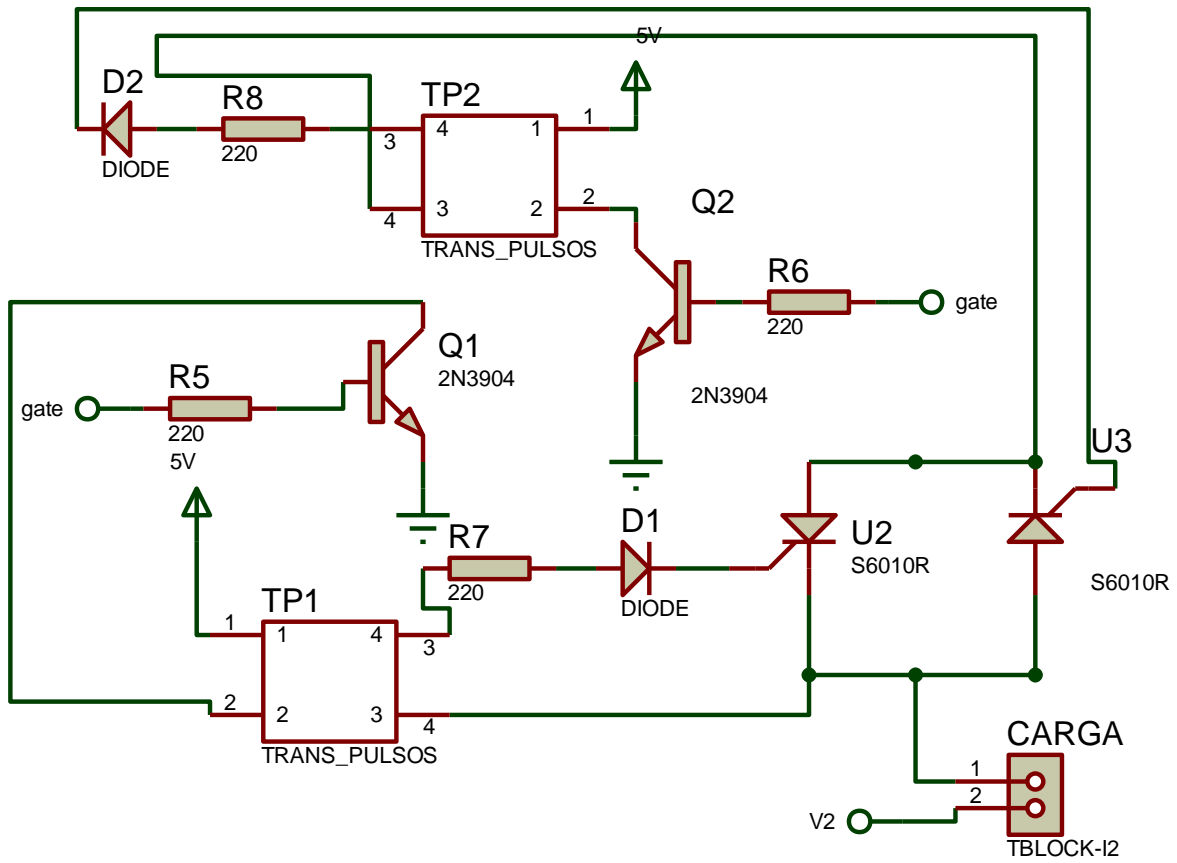


Diseño de un circuito de visualización de variables en pantalla LCD

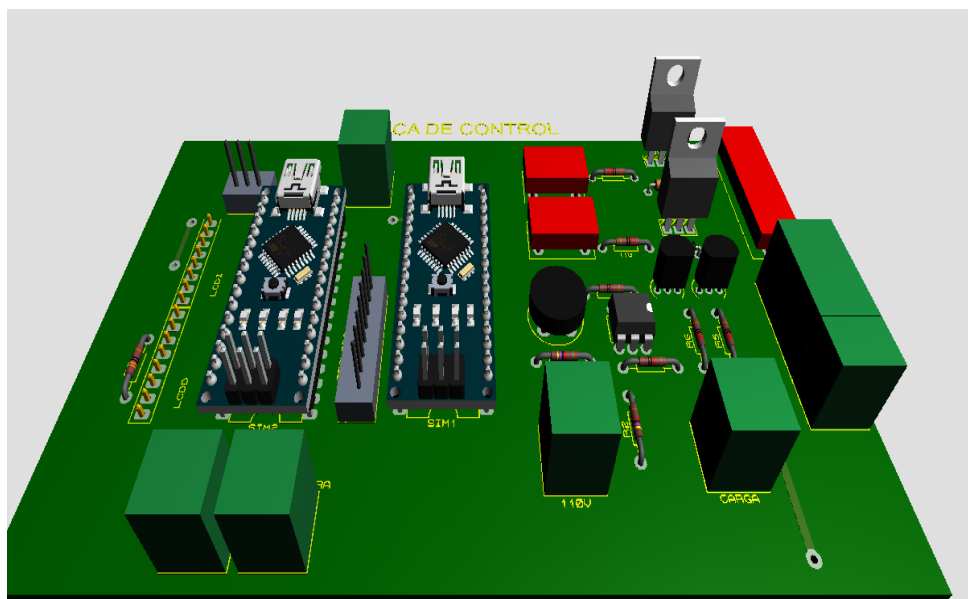


Circuito de control de fase por teclado con Arduino Nano

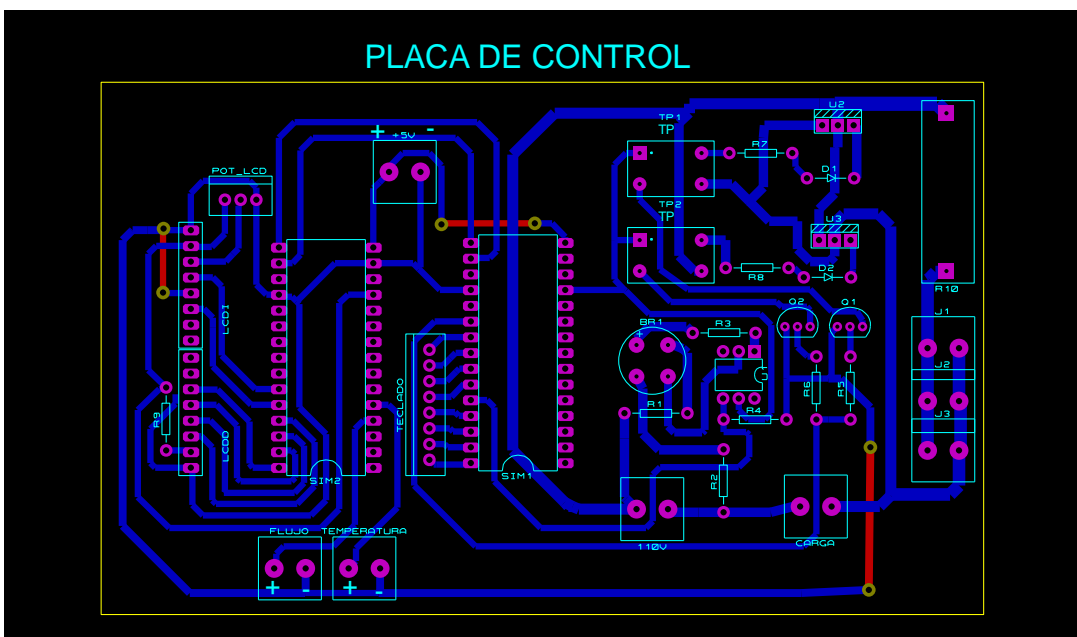
Circuito de control de potencia con transformador de pulso



ANEXO	<b>Diseño de la placa en Proteus</b>	<b>1 de 1</b>
<b>2</b>		



Diseño en 3D



Modelamiento de pistas

<b>ANEXO</b> <b>3</b>	<b>Comunicación serial para Arduino</b>	<b>1 de 1</b>
--------------------------	---	---------------

## Pasos para trabajar con la comunicación serial con Arduino

Definir dentro del void setup del Arduino la comunicación serial mediante la siguiente instrucción

```
Serial.begin (velocidad);
```

Donde **velocidad** puede tomar los siguientes valores: 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600 o 115200.

La unidad de medida de las velocidades son el **Baudio** correspondiente al número de cambios en una señal por segundo.

Cuando realizamos una comunicación serial con Arduino será necesario establecer los Baudios del Arduino y los Baudios del dispositivo al que nos vamos a comunicar (Ambos dispositivos deben tener la misma velocidad en baudios).

1. Dentro del void loop, se pueden imprimir o mostrar los datos en el Monitor Serial mediante la instrucción:

```
Serial.print(dato);
```

2. También puede mostrar el dato con un enter al final

```
Serial.println(dato);
```

3. Para leer datos desde el puerto serial se usa:

```
Dato = Serial.read();
```

4. Para escribir en el puerto serie de Arduino, datos en forma de bytes se usa:

```
Serial.write(dato);
```

5. Para conocer si existen datos pendientes en el bus

de comunicación serial usamos:

```
Serial.available ()
```

Esta instrucción retorna un TRUE si es verdad o un FALSE si es falso.

6. Para deshabilitar el puerto serial y de esa forma poder usar los pines TX y RX como pines digitales, usamos:

```
Serial.end ()
```

7. Si deseamos preguntar si el puerto serial está listo para efectuar la comunicación:

```
if (Serial)
```

Devuelve true si el puerto serial el cual se ha especificado está disponible.

8. Para leer los datos del buffer y buscar un string específico usamos el comando:

```
Serial.find(string);
```

9. Si se desea configurar el máximo de milisegundos que desea esperarse mientras llega un dato por el puerto serial (por defecto es 1000ms), se usa:

```
Serial.setTimeout(time);
```

10. Para saber cuándo los datos están disponibles y poder utilizar Serial.read() para capturar estos datos usamos la siguiente instrucción que actualmente no es compatible con Esplora, Leonardo o Micro

```
serialEvent();
```

11. Para esperar a que se complete la transmisión de los datos seriales salientes.

```
Serial.flush();
```



12. Para devolver el siguiente byte (carácter) de los datos en serie entrantes sin eliminarlos del búfer interno se usa:

```
Serial.peek();
```

13. Para leer caracteres del buffer serie y guardarlos en un string hasta que se produzca un timeout usamos:

```
Serial.readString();
```

ANEXO	Datasheet sensor MAF	1 de 1
4		

54 Air-mass meters



# Hot-film air-mass meter, type HFM 2

Measurement of air-mass throughflow up to 1080 kg/h

$$\frac{Q_m}{U}$$

- Measurement of air mass (gas mass) throughflow per unit of time, independent of density and temperature.
- Extensive measuring range.
- Highly sensitive, particularly for small changes in flow rate.
- Wear-free since there are no moving parts.
- Insensitive to dirt and contamination.



**Application**

Measurement of air-mass flow rate to provide data needed for clean combustion. Air-mass meters are suitable for use with other gaseous mediums.

**Design and function**

The sensor element comprises a ceramic substrate containing the following thick-film resistors which have been applied using silk-screen printing techniques: Air-temperature-sensor resistor  $R_A$ , heater resistor  $R_H$ , sensor resistor  $R_S$ , and trimmer resistor  $R_T$ .

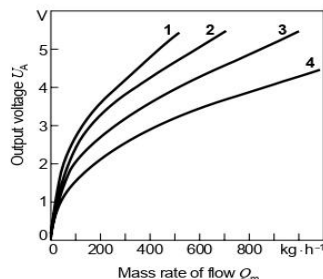
The heater resistor  $R_H$  maintains the platinum metallic-film resistor  $R_S$  at a constant temperature above that of the incoming air. The two resistors are in close thermal contact.

The temperature of the incoming air influences the resistor  $R_A$  with which the trimmer resistor  $R_T$  is connected in series. Throughout the complete operating-temperature range it compensates for the bridge circuit's temperature sensitivity. Together with  $R_2$  and  $R_1$ ,  $R_T$  forms one arm of the bridge circuit, while the auxiliary resistor  $R_3$  and sensor resistor  $R_S$  form the other arm. The difference in voltage between the two arms is tapped off at the bridge diagonal and used as the measurement signal.

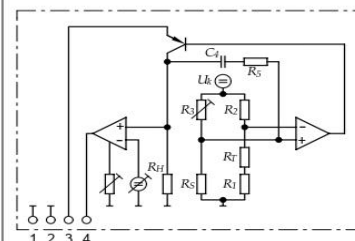
The evaluation circuit is contained on a second thick-film substrate. Both hybrids are integrated in the plastic housing of the plug-in sensor.

The hot-film air-mass meter is a thermal flowmeter. The film resistors on the ceramic substrate are exposed to the air mass under measurement. For reasons associated with flow, this sensor is far less sensitive to contamination than, for example, a hot-wire air-mass meter, and there is no need for the ECU to incorporate a self-cleaning burn-off function.

Characteristic curves.



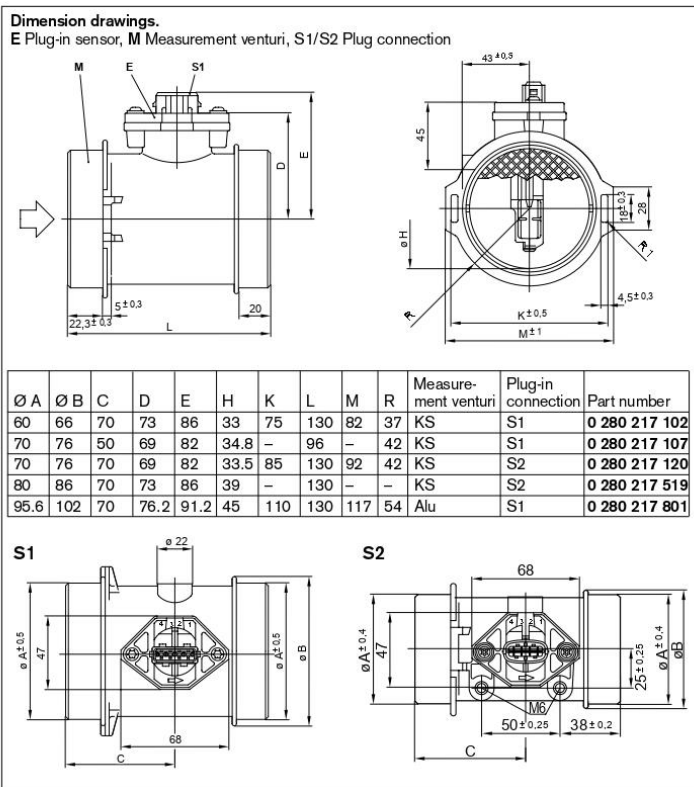
Operating principle.



**Technical data / Range**

Part number	0 280 217 102	0 280 217 120	0 280 217 519	0 280 217 801
Characteristic curve	1	2	3	4
Installation length L	mm 130	130	130	130
		96		
Air-flow measuring range	kg · h <sup>-1</sup> 10...350	10...480	12...640	20...1080
Accuracy referred to measured value	% ±4	±4	±4	±4
Supply voltage	V 14	14	14	14
Input current				
at 0 kg · h <sup>-1</sup>	A ≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25
at Q <sub>m,nom</sub>	A ≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 0,8
Time constant <sup>1)</sup>	ms ≤20	≤20	≤20	≤20
Temperature range				
Sustained	°C -30...+110	-30...+110	-30...+110	-30...+110
Short-term	°C -40...+125	-40...+125	-40...+125	-40...+125
Pressure drop at nominal air mass	hPa mbar <15	<15	<15	<15
Vibration acceleration max.	m · s <sup>-2</sup> 150	150	150	150

<sup>1)</sup> In case of sudden increase of the air-mass flow from 10 kg · h<sup>-1</sup> auf 0.7 Q<sub>m,nominal</sub>, time required to reach 63% of the final value of the air-mass signal.



**Installation instructions**

Water and other liquids must not collect in the measurement venturi. The measurement venturi must therefore be inclined by at least 5° relative to the horizontal. Since care must be taken that the intake air is free of dust, it is imperative that an air filter is fitted.

**Explanation of symbols:**

- $R_1$  Trimmer resistor
- $R_2, R_3$  Auxiliary resistors
- $R_5, C_4$  RC element
- $R_H$  Heater resistor
- $R_S$  Platinum metal-film resistor
- $R_T$  Resistance of the air-temperature-sensor resistor
- $U_K$  Bridge supply voltage
- $U_A$  Output voltage
- $U_V$  Supply voltage

**Connector-pin assignment**

- Pin 1 Ground
- Pin 2  $U_A$  (-)
- Pin 3  $U_V$
- Pin 4  $U_A$  (+)

**Accessories**

**For 0 280 217 102, .. 107, .. 801**

Plug housing	1 284 485 118
Receptacle	1 284 477 121 <sup>1)</sup>
Protective cap	1 280 703 023 <sup>1)</sup>

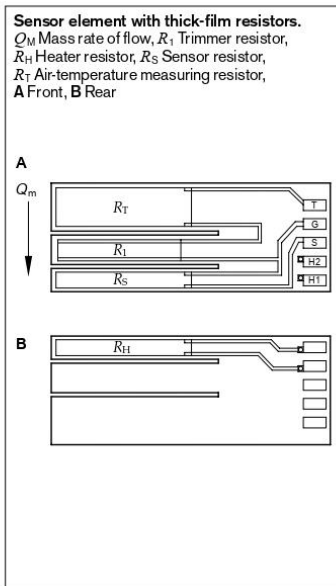
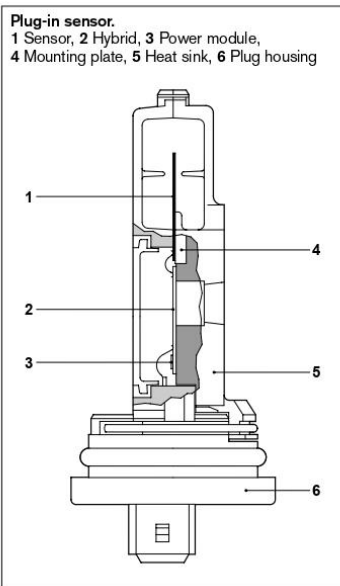
Each 4-pole plug requires 1 plug housing, 4 receptacles, and 1 protective cap.  
<sup>1)</sup> Quantity 5 per package

**For 0 280 217 120, .. 519**

Designation	For conductor cross-section	Part number
Plug housing	-	1 928 403 112
Contact pin	0.5...1.0 mm <sup>2</sup>	1 987 280 103
Individual gasket	1.5...2.5 mm <sup>2</sup>	1 987 280 105
Individual gasket	0.5...1.0 mm <sup>2</sup>	1 987 280 106
Individual gasket	1.5...2.5 mm <sup>2</sup>	1 987 280 107

Each 4-pole plug requires 1 plug housing, 4 contact pins, and 4 individual gaskets.

**Note**  
For automotive applications, original AMP crimping tools must be used.



<b>ANEXO</b>	<b>Datasheet SCR BT152-800R</b>	<b>1 de 1</b>
<b>5</b>		

Philips Semiconductors

Product specification

**Thyristors**

**BT152 series**

**GENERAL DESCRIPTION**

Glass passivated thyristors in a plastic envelope, intended for use in applications requiring high bidirectional blocking voltage capability and high thermal cycling performance. Typical applications include motor control, industrial and domestic lighting, heating and static switching.

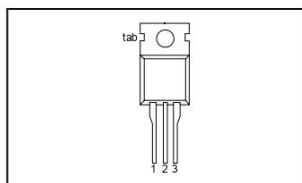
**QUICK REFERENCE DATA**

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	MAX.	MAX.	UNIT
$V_{DRM}$	Repetitive peak off-state voltages	<b>400R</b>	<b>600R</b>	<b>800R</b>	V
$V_{RRM}$		450	650	800	
$I_{T(AV)}$	Average on-state current	13	13	13	A
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	20	20	20	A
$I_{TSM}$	Non-repetitive peak on-state current	200	200	200	A

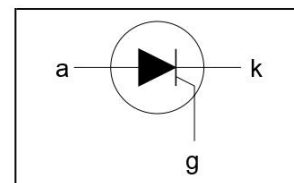
**PINNING - TO220AB**

PIN	DESCRIPTION
1	cathode
2	anode
3	gate
tab	anode

**PIN CONFIGURATION**



**SYMBOL**



**LIMITING VALUES**

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.			UNIT
$V_{DRM}$	Repetitive peak off-state voltages		-	<b>-400R</b> 450 <sup>1</sup>	<b>-600R</b> 650 <sup>1</sup>	<b>-800R</b> 800	V
$I_{T(AV)}$	Average on-state current	half sine wave; $T_{mt} \leq 103$ °C	-	13			A
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	all conduction angles	-	20			A
$I_{TSM}$	Non-repetitive peak on-state current	half sine wave; $T_j = 25$ °C prior to surge	-	200			A
		$t = 10$ ms	-	200			A
		$t = 8.3$ ms	-	220			A
		$t = 10$ ms	-	200			A <sup>2</sup> s
$I^2t$	$I^2t$ for fusing		-	200			A <sup>2</sup> s
$di_T/dt$	Repetitive rate of rise of on-state current after triggering	$I_{TM} = 50$ A; $I_G = 0.2$ A; $di_G/dt = 0.2$ A/ $\mu$ s	-	200			A/ $\mu$ s
$I_{GM}$	Peak gate current		-	5			A
$V_{GM}$	Peak gate voltage		-	5			V
$V_{RCM}$	Peak reverse gate voltage		-	5			V
$P_{GM}$	Peak gate power		-	20			W
$P_{G(AV)}$	Average gate power	over any 20 ms period	-	0.5			W
$T_{stg}$	Storage temperature		-40	150			°C
$T_j$	Operating junction temperature		-	125			°C

<sup>1</sup> Although not recommended, off-state voltages up to 800V may be applied without damage, but the thyristor may switch to the on-state. The rate of rise of current should not exceed 15 A/ $\mu$ s.

## Thyristors

## BT152 series

**THERMAL RESISTANCES**

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{thj-mb}$	Thermal resistance junction to mounting base	in free air	-	-	1.1	K/W
$R_{thj-a}$	Thermal resistance junction to ambient		-	60	-	K/W

**STATIC CHARACTERISTICS** $T_j = 25\text{ °C}$  unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$I_{GT}$	Gate trigger current	$V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}$	-	3	32	mA
$I_L$	Latching current	$V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$	-	25	80	mA
$I_H$	Holding current	$V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$	-	15	60	mA
$V_T$	On-state voltage	$I_T = 40\text{ A}$	-	1.4	1.75	V
$V_{GT}$	Gate trigger voltage	$V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}$	-	0.6	1.5	V
$I_D, I_R$	Off-state leakage current	$V_D = V_{DRM(max)}; I_T = 0.1\text{ A}; T_j = 125\text{ °C}$	0.25	0.4	-	V
		$V_D = V_{DRM(max)}; V_R = V_{RRM(max)}; T_j = 125\text{ °C}$	-	0.2	1.0	mA

**DYNAMIC CHARACTERISTICS** $T_j = 25\text{ °C}$  unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$dV_D/dt$	Critical rate of rise of off-state voltage	$V_{DM} = 67\% V_{DRM(max)}; T_j = 125\text{ °C};$ exponential waveform gate open circuit	200	300	-	V/ $\mu$ s
$t_{gt}$	Gate controlled turn-on time	$V_D = V_{DRM(max)}; I_G = 0.1\text{ A}; dI_G/dt = 5\text{ A}/\mu\text{s};$ $I_{TM} = 40\text{ A}$	-	2	-	$\mu$ s
$t_q$	Circuit commutated turn-off time	$V_D = 67\% V_{DRM(max)}; T_j = 125\text{ °C};$ $I_{TM} = 50\text{ A}; V_R = 25\text{ V}; dI_{TM}/dt = 30\text{ A}/\mu\text{s};$ $dV_D/dt = 50\text{ V}/\mu\text{s}; R_{CK} = 100\ \Omega$	-	70	-	$\mu$ s



ANEXO	<b>Datasheet Transformador de pulso 78601/9C</b>	<b>1 de 1</b>
6		



#### FEATURES

- RoHS compliant
- 4 Configurations
- Primary inductance to 10mH
- 1kVrms isolation
- Industry standard pinout
- Surface mount option
- UL 94 V-0 package materials
- Low profile
- Toroidal construction
- Fully encapsulated

#### DESCRIPTION

The 786 series is a comprehensive range of general purpose pulse transformers. Common applications include line coupling, matching or isolating. The devices can also be used in small isolated power supplies and also as common-mode chokes in filtering applications.

## 786 Series

General Purpose Pulse Transformers

#### SELECTION GUIDE

Order Code	Turns Ratio ±2%	Min. Primary Inductance	Primary Min. Volt-time Product, Et	Typ. Leakage Inductance	Typ. Interwinding Capacitance	Max. DC Resistance	Isolation Voltage Vrms	Winding Configuration
		µH	Vµs	µH	pF	Ω		
78601/4C	1:1	100	4	0.19	8	0.17	1000	1
78601/3C	1:1	200	6	0.20	14	0.25		
78601/2C	1:1	500	10	0.25	22	0.34		
78601/8C	1:1	1000	15	0.29	35	0.45		
78601/1C	1:1	2000	20	0.47	49	0.60	1000	2
78601/16C	1:1	4000	28	0.47	78	0.84		
78601/9C	1:1	10000	56	0.86	121	1.30		
78602/4C	1:1:1	100	4	0.11	12	0.18		
78602/3C	1:1:1	200	6	0.17	19	0.24		
78602/2C	1:1:1	500	10	0.27	32	0.34		
78602/8C	1:1:1	1000	15	0.35	47	0.46		
78602/1C	1:1:1	2000	20	0.60	72	0.66		
78602/16C	1:1:1	4000	28	0.71	116	0.92		
78602/9C	1:1:1	10000	56	0.71	167	1.34		
78604/4C	2:1	100	4	0.41	4	0.18	1000	1
78604/3C	2:1	200	6	0.49	9	0.25		
78604/2C	2:1	500	10	0.65	13	0.34		
78604/8C	2:1	1000	15	0.76	20	0.46		
78604/1C	2:1	2000	20	0.99	29	0.60		
78604/16C	2:1	4000	28	1.61	50	0.85		
78604/9C	2:1	10000	56	1.64	72	1.23		
78613/4C	1CT:1	100	4	0.30	7	0.20	1000	3
78613/3C	1CT:1	200	6	0.65	12	0.25		
78613/2C	1CT:1	500	10	1.07	20	0.36		
78613/8C	1CT:1	1000	15	1.13	35	0.48		
78613/1C	1CT:1	2000	20	1.53	47	0.63		
78613/16C	1CT:1	4000	28	1.98	64	0.88		
78613/9C	1CT:1	10000	56	3.83	72	1.33		
78615/4C	1CT:1CT	100	4	1.21	3	0.17	1000	4
78615/3C	1CT:1CT	200	6	3.64	5	0.24		
78615/2C	1CT:1CT	500	10	6.86	7	0.34		
78615/8C	1CT:1CT	1000	15	11.9	10	0.45		
78615/1C	1CT:1CT	2000	20	16.0	16	0.60		
78615/16C	1CT:1CT	4000	28	37.7	20	0.87		
78615/9C	1CT:1CT	10000	56	44.5	19	1.33		

#### ORDER CODE DETAILS

Order Code	Package Type	Packaging Type	Quantity
786XX/XC	6 Pin DIL	Tube	50
786XX/XMC	6 Pin SM	Tube	50
786XX/XMC-R	6 Pin SM	Tape & Reel	500

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Operating free air temperature range	0°C to 70°C
Storage temperature range	-60°C to 125°C

#### SOLDERING INFORMATION<sup>1</sup>

Pin finish	Matte tin
Peak wave solder temperature	300°C for 10 seconds
Peak reflow temperature	220°C

All specifications typical at T<sub>a</sub>=25°C

<sup>1</sup> For further information, please visit [www.murata-ps.com/rohs](http://www.murata-ps.com/rohs)



For full details go to  
[www.murata-ps.com/rohs](http://www.murata-ps.com/rohs)

<b>ANEXO</b>  7	<b>Datasheet soplador Stanley</b>	<b>1 de 1</b>
-----------------------	-----------------------------------	---------------



**STPT600-B3**

**SOPLADORA / ASPIRADORA**

**Motor de 600W.**  
**Velocidad variable.**  
**Interruptor con bloqueo para uso continuo.**  
**Función de soplado y aspirado.**

**STANLEY®**



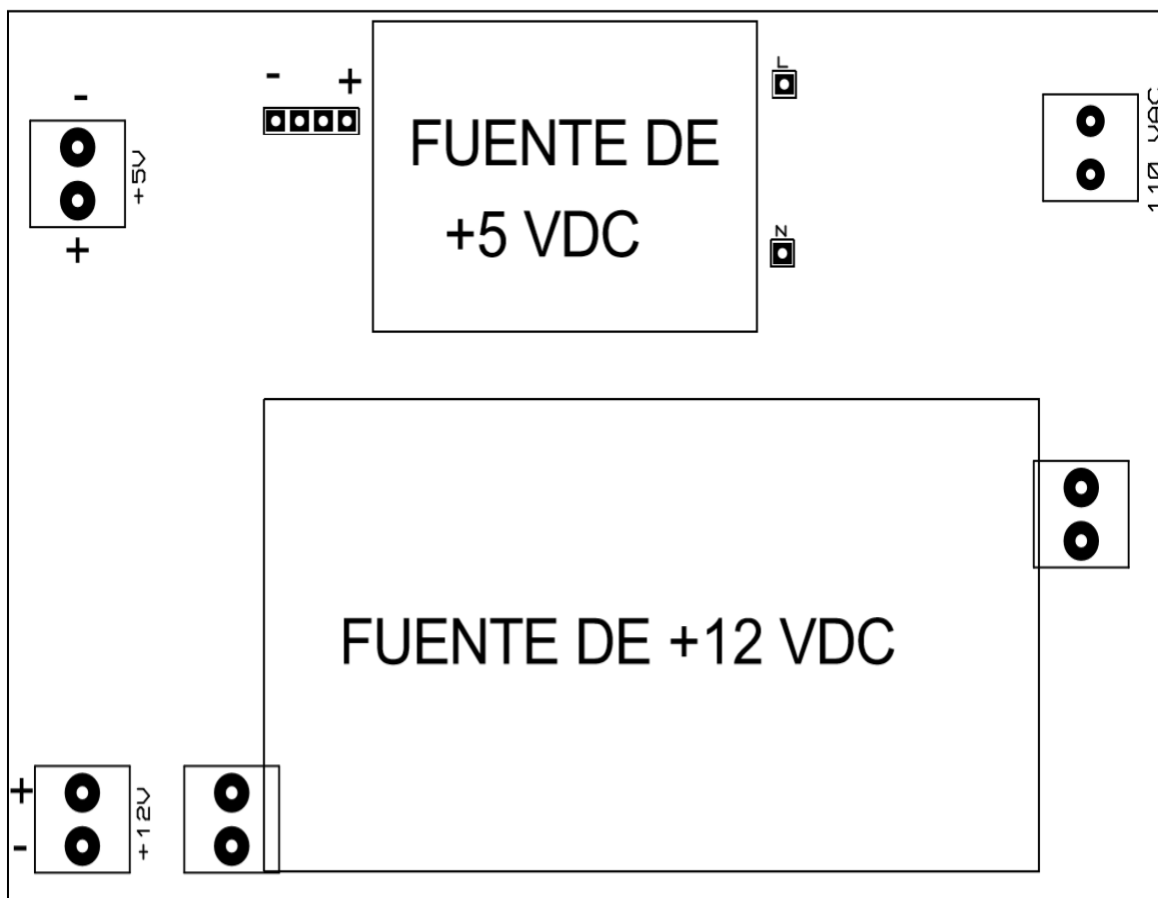
Especificaciones / Specifications	
Potencia / Power	600W
Velocidad Variable	Si
RPM	0 - 16000
Frecuencia / Frequency	50/60Hz
Flujo de Aire Air Flow	3.5m³/min

**INCLUYE  
(1) Bolsa Recolectora.**



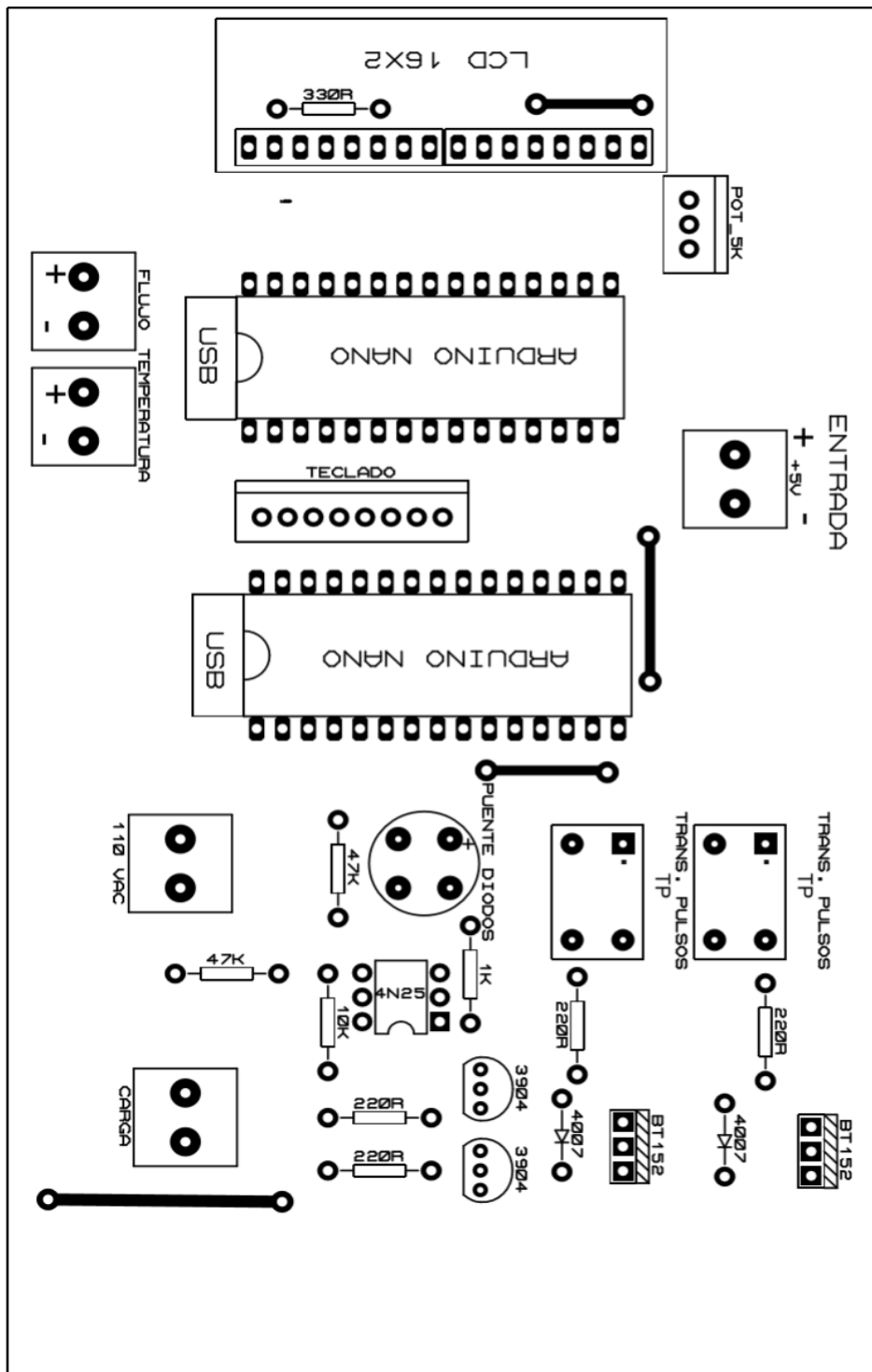
<b>ANEXO</b>	<b>PBC de fuente</b>	<b>1 de 1</b>
<b>8</b>		

Para el diseño de fuentes el circuito se imprime tal y como se ve en la gráfica, las borneras son los puntos negros donde integrar las fuentes de 12V y 5V para cerrar el circuito individualmente, también tener mucho cuidado con las polaridades ya que se puede producir un cortocircuito.

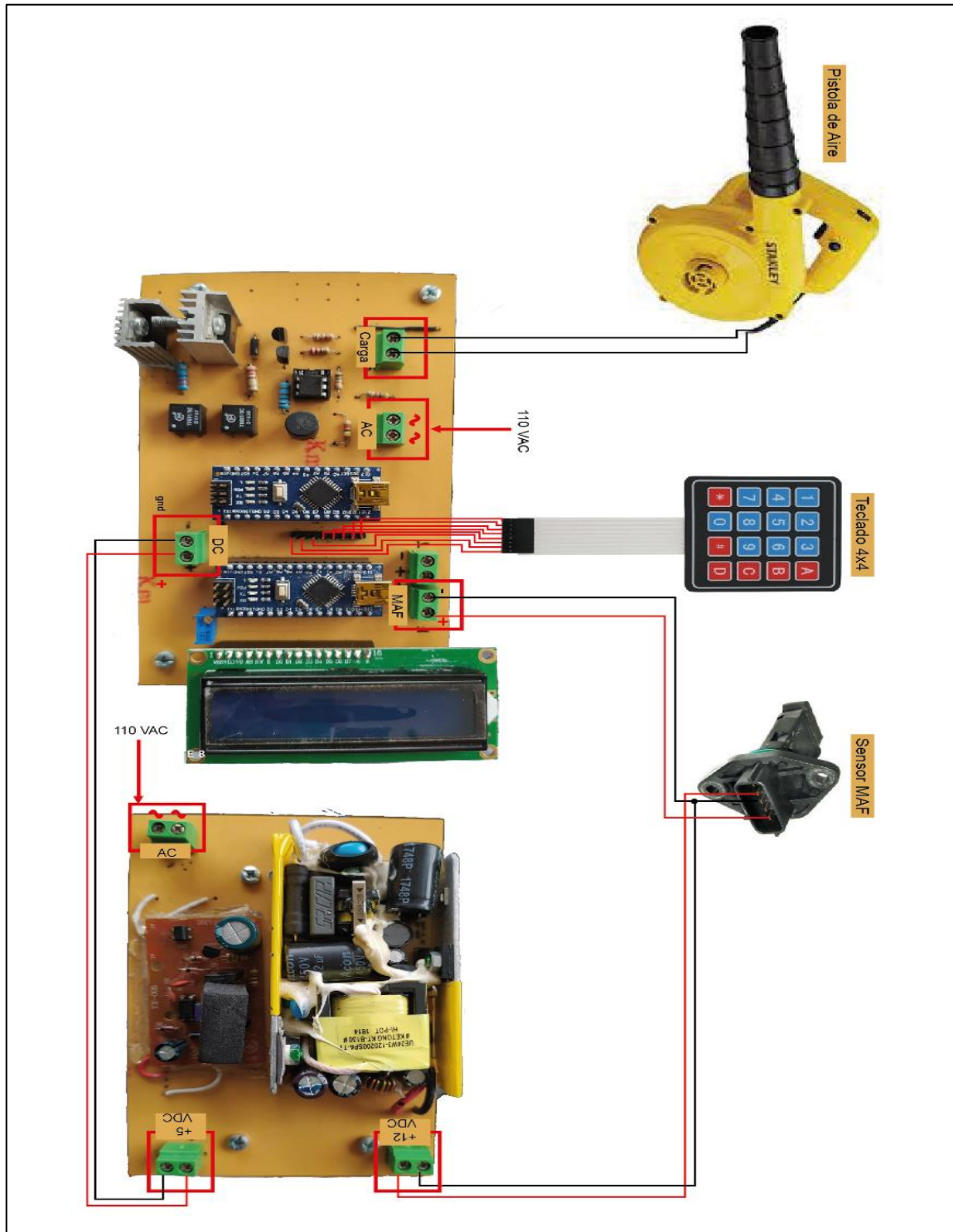




<b>ANEXO</b>  <b>9</b>	<b>Vista de disposición de elementos</b>	<b>1 de 1</b>
------------------------------	--	---------------



<b>ANEXO 10</b>	<b>Diagrama de conexión circuito de control de flujo 3D</b>	<b>1 de 1</b>
---------------------	---	---------------



<b>ANEXO</b>  <b>11</b>	<b>Calculo estadístico del Chi cuadrado</b>	<b>1 de 1</b>
-------------------------------	---	---------------

**Calculo estadístico Chi cuadrado**

Rango/flujo	< 30	30-32	>32	Total
10	23	22	50	95
20	4	47	51	102
30	30	20	48	98
40	32	19	30	81
50	42	8	15	65
60	38	11	29	78
70	27	16	29	72
80	51	28	3	82
90	45	6	19	70
100	42	9	21	72
<b>Total</b>	<b>334</b>	<b>186</b>	<b>295</b>	<b>815</b>

$$\chi^2 = \sum \frac{(fo - fi)^2}{fi}$$

Grados de libertad  
v=(N°filas-1).(N° columnas  
-1

N° FILAS            10  
Columnas            3

18

25,9894

167,97 >

25,9894

23	38,93251534	6,520129583
22	21,6809816	0,004694102
50	34,38650307	7,089446868
4	41,80122699	34,18399088
47	23,27852761	24,17284555
51	36,9202454	5,369397941
30	40,16196319	2,571226297
20	22,36564417	0,250217356
48	35,47239264	4,424312389
32	33,19509202	0,043025787
19	18,48588957	0,014297907
30	29,3190184	0,015816898
42	26,63803681	8,859133079
8	14,83435583	3,148665175
15	23,52760736	3,090840739
38	31,96564417	1,139143327
11	17,80122699	2,598511251
29	28,23312883	0,020829834
27	29,50674847	0,212961041
16	16,43190184	0,011352259
29	26,06134969	0,331359109
51	33,604907	9,004316476
98		
28	18,71411043	4,60763259
3	29,6809816	23,98420607
45	29,50674847	8,13511673
6	16,43190184	6,622762056
19	26,06134969	1,913280013
42	29,50674847	5,289682598
9	16,43190184	3,361337324
21	26,06134969	0,002050962

<b>ANEXO 12</b>	<b>Tabla de distribución de Chi cuadrado <math>X^2</math></b>	<b>1 de 1</b>
---------------------	---	---------------

P = Probabilidad de encontrar un valor mayor o igual que el chi cuadrado tabulado, v = Grados de Libertad

$\alpha/p$	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055	2,0722	1,6424	1,3233
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052	3,7942	3,2189	2,7726
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8147	6,2514	5,3170	4,6416	4,1083
4	18,4662	16,4238	14,8602	13,2767	11,1433	9,4877	7,7794	6,7449	5,9886	5,3853
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705	9,2363	8,1152	7,2893	6,6257
6	22,4575	20,2491	18,5475	16,8119	14,4494	12,5916	10,6446	9,4461	8,5581	7,8408
7	24,3213	22,0402	20,2777	18,4753	16,0128	14,0671	12,0170	10,7479	9,8032	9,0371
8	26,1239	23,7742	21,9549	20,0902	17,5345	15,5073	13,3616	12,0271	11,0301	10,2189
9	27,8767	25,4625	23,5893	21,6660	19,0228	16,9190	14,6837	13,2880	12,2421	11,3887
10	29,5879	27,1119	25,1881	23,2093	20,4832	18,3070	15,9872	14,5339	13,4420	12,5489
11	31,2635	28,7291	26,7569	24,7250	21,9200	19,6752	17,2750	15,7671	14,6314	13,7007
12	32,9092	30,3182	28,2997	26,2170	23,3367	21,0261	18,5493	16,9893	15,8120	14,8454
13	34,5274	31,8830	29,8193	27,6882	24,7356	22,3620	19,8119	18,2020	16,9848	15,9839
14	36,1239	33,4262	31,3194	29,1412	26,1189	23,6848	21,0641	19,4062	18,1508	17,1169
15	37,6978	34,9494	32,8015	30,5780	27,4884	24,9958	22,3071	20,6030	19,3107	18,2451
16	39,2518	36,4555	34,2671	31,9999	28,8453	26,2962	23,5418	21,7931	20,4651	19,3689
17	40,7911	37,9462	35,7184	33,4087	30,1910	27,5871	24,7690	22,9770	21,6146	20,4887
18	42,3119	39,4220	37,1564	34,8052	31,5264	28,8693	25,9894	24,1555	22,7595	21,6049
19	43,8194	40,8847	38,5821	36,1908	32,8523	30,1435	27,2036	25,3289	23,9004	22,7178

<b>ANEXO</b>  <b>13</b>	<b>Librería PID</b>	<b>1 de 1</b>
-------------------------------	---------------------	---------------

```
// Asignaciones pins
const int PIN_INPUT = A0;
const int PIN_OUTPUT = 3;

// Constantes del controlador
double Kp=2, Ki=5, Kd=1;

// variables externas del controlador
double Input, Output, Setpoint;

// variables internas del controlador
unsigned long currentTime, previousTime;
double elapsedTime;
double error, lastError, cumError, rateError;

void setup()
{
  Input = analogRead(PIN_INPUT);
  Setpoint = 100;
}

void loop(){

  pidController.Compute();

  Input = analogRead(PIN_INPUT);          // leer una entrada del controlador
  Output = computePID(Input);             // calcular el controlador
  delay(100);
  analogWrite(PIN_OUTPUT, Output);        // escribir la salida del controlador
}

double computePID(double inp){
  currentTime = millis();                 // obtener el
tiempo actual
  elapsedTime = (double)(currentTime - previousTime); // calcular el
tiempo transcurrido

  error = Setpoint - Input;               // determinar el
error entre la consigna y la medición
  cumError += error * elapsedTime;        // calcular la
integral del error
  rateError = (error - lastError) / elapsedTime; // calcular la
derivada del error
```

ANEXO  13	Sensor inteligente Datasheet	1 de 1
-----------------	------------------------------	--------



### 1. DESCRIPCIÓN

Para congelados, vuelve automático los procesos de deshielo según la necesidad de la instalación (deshielo inteligente). El control de temperatura ambiente cuenta con un setpoint normal y un setpoint económico, además de la funcionalidad de congelamiento rápido (fast freezing) y funciones de alarma indicando puerta abierta. Su salida de relé comanda directamente compresores de hasta 1 HP y su salida para deshielo tiene capacidad de corriente de 10A.

Posee también filtro digital, el cual tiene la finalidad de simular un aumento de masa en el sensor del ambiente (S1), aumentando así su tiempo de respuesta (inercia térmica) y evitando accionamientos sin necesidad del compresor; incluye aun un sistema inteligente de bloqueo de teclas y un modo de desactivación de las funciones de control.

Para accionar cargas inductivas (motores y bombas) de hasta 2HP, utilice el modelo **TC-900E 2HP** Producto en conformidad UL Inc. (Estados Unidos y Canadá) y NSF (Estados Unidos).

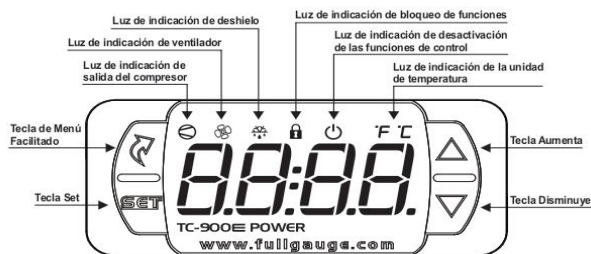
### 2. APLICACIONES

- Cámaras
- Mostradores de congelados

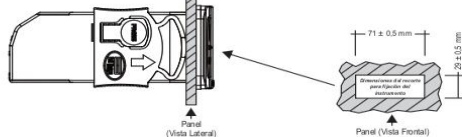
### 3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Aimentación directa	TC-900E POWER: 115 o 230Vac ±10% (50/60Hz) TC-900EL POWER: 12 o 24Vdc ±10%
Temperatura de control	-50°C a 105°C / -58°F a 221°F
Temperatura de operación	0 a 50°C / 32 a 122°F
Corriente máxima por salida	COMP: 12(8)A / 240Vac 1HP DEFR: 10A / 240Vac 2400W FANS: 5(3)A / 240Vac
Humedad de operación	10 a 85 %UR (sin condensación)
Dimensiones (mm)	76 x 34 x 77 mm (AxAxP)
Dimensiones del recorte para fijación del instrumento	71 ± 0,5 x 29 ± 0,5 mm (vide ítem 5)

### 4. INDICACIONES Y TECLAS



### 5. INSTALACIÓN - PANEL

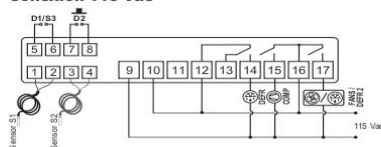


**ATENCIÓN**  
PARA INSTALACIONES QUE NECESITEN DE VEDACIÓN CONTRA LÍQUIDOS, EL RECORTE PARA INSTALACIÓN DEL CONTROLADOR DEBE TENER UN MÁXIMO DE 70.5 x 29 mm. LAS TRABAS LATERALES DEBEN SER FLUJADAS DE MANERA QUE PRESIONEN LA GOMA DE VEDACIÓN, EVITANDO INFILTRACIÓN ENTRE EL RECORTE Y EL CONTROLADOR.

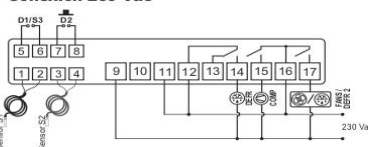
**¡IMPORTANTE!**  
PARA EVITAR DAÑOS A LOS BORNES DE CONEXIÓN DEL INSTRUMENTO EL USO DE HERRAMIENTAS APROPIADAS ES IMPRESCINDIBLE:  
 DESTORNILLADOR PLANO 3/32" (2.4mm) PARA AJUSTE DE LOS BORNES DE SEÑAL.  
 DESTORNILLADOR PHILLIPS #1 PARA AJUSTE DE LOS BORNES DE POTENCIA.

### 5.1 INSTALACIÓN - CONEXIONES ELÉCTRICAS

#### Conexión 115 Vac



#### Conexión 230 Vac

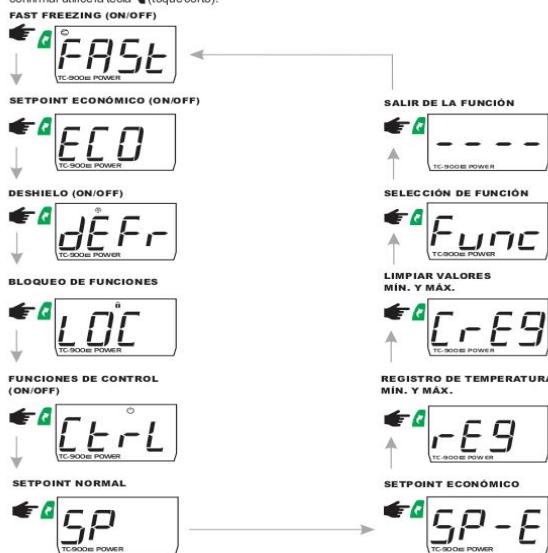


El sensor S1 debe quedar en el ambiente (negro). El sensor S2 debe quedar fijado en el evaporador a través de abrazadera metálica (gris).

### 6. OPERACIONES

#### 6.1 Mapa del Menú Facilitado

Para acceder o navegar a través del menú facilitado, utilice la tecla (toque corto) mientras el controlador esté mostrando la temperatura. A cada toque aparece la próxima función de la lista, para confirmar utilice la tecla (toque corto).



#### 6.2 Mapa de teclas facilitadas

Cuando el controlador esté mostrando la temperatura, las siguientes teclas sirven de acceso rápido para las siguientes funciones:

	Presionada por 5 segundos: activa/desactiva las funciones de control.
	Presionada por 2 segundos: ajuste del setpoint.
	Toque corto: muestra el proceso.
	Presionada 2 segundos: inhibe el buzzer.
	Toque corto: muestra los datos de medidas mínimas y máximas.
	Presionada 2 segundos: al exhibir datos, borra el histórico.
	Presionada 4 segundos: realiza el deshielo manual.
	Accede al menú facilitado.
	Entra en la selección de funciones.

#### 6.3 Operaciones básicas

##### 6.3.1 Ajustando la temperatura deseada

Para acceder al menú de ajuste de los setpoints pulse por 2 segundos. Será mostrado el mensaje en la pantalla y a continuación el valor para ajuste del setpoint normal. Utilice las teclas o para modificar el valor y confirme pulsando . A seguir será mostrado el mensaje indicando el ajuste del setpoint económico. Nuevamente utilice las teclas o para modificar el valor y confirme pulsando . Por fin la indicación informa que la configuración está lista. Los setpoints también se pueden ajustar individualmente en el menú facilitado.



<b>ANEXO</b>  <b>14</b>	<b>Launch scanner automotriz</b>	<b>1 de 1</b>
-------------------------------	----------------------------------	---------------



## Características principales

Pantalla de 3.5 y resolución de 320\*480

Autovolt entre 9 y 18 V

Conexión de 16 pines OBD para comunicación con el vehículo

Su temperatura de trabajo es entre 0 y 50 °C

Alto: 136mm, ancho: 73mm y grosor: 22mm

Peso: 350 g

Cable conector OBD de 16 pines

Cable conector usb para el computador

<b>ANEXO 15</b>	<b>Datos para el análisis de las curvas PID</b>	<b>1 de 1</b>
---------------------	---	---------------

%	Set Point (g/seg)	Process Value (g/seg)
25	10	10
25	10	10
25	10	10
25	10	10
25	10	10
60	24	11
60	24	12
60	24	13
60	24	14
60	24	15
60	24	16
60	24	17
60	24	18
60	24	19
60	24	20
60	24	21
60	24	22
60	24	23
60	24	24
60	24	25
60	24	26
60	24	25
60	24	24
60	24	23
60	24	24
60	24	25
60	24	26
60	24	25
60	24	24
60	24	23,5
60	24	23
60	24	23,5
60	24	24
60	24	24,5
60	24	24
60	24	24,5
60	24	25
60	24	24,5
60	24	24,1



60	24	24,1
60	24	24
60	24	23,9
60	24	24,1
60	24	24,2
60	24	23,99
60	24	24,1
60	24	24,3
60	24	24,2
60	24	24
60	24	24,1

%	Set Point (g/seg)	Process Value (g/seg)
15	5	5
15	5	5
15	5	5
15	5	5
15	5	5
40	16	6
40	16	7
40	16	8
40	16	9
40	16	10
40	16	11
40	16	13
40	16	13
40	16	14
40	16	15
40	16	16
40	16	17
40	16	18
40	16	16,2
40	16	17,1
40	16	16,3
40	16	17,3
40	16	15,8
40	16	16
40	16	16,1
40	16	15,8
40	16	15,9
40	16	16,2
40	16	16,1
40	16	15,9
40	16	16

%	Set Point (g/seg)	Process Value (g/seg)
20	7	7
20	7	7
20	7	7
20	7	7
20	7	7
50	20	8
50	20	9
50	20	10
50	20	11
50	20	12
50	20	13
50	20	14
50	20	15
50	20	16
50	20	17
50	20	18
50	20	19
50	20	20
50	20	21
50	20	22
50	20	23
50	20	21
50	20	23
50	20	22
50	20	20
50	20	21
50	20	20,5
50	20	21,6
50	20	21,2
50	20	20,2
50	20	19,9
50	20	20,1
50	20	20,4
50	20	19,8
50	20	20,2
50	20	20
50	20	20,3
50	20	20,1
50	20	20
50	20	20,2

%	Set Point (g/seg)	Process Value (g/seg)
2	20	20
2	20	20
2	20	20
2	20	20
2	20	20
10	4	19
10	4	18
10	4	17
10	4	16
10	4	15
10	4	14
10	4	13
10	4	12
10	4	11
10	4	10
10	4	9
10	4	8
10	4	7
10	4	6
10	4	5
10	4	4
10	4	3
10	4	2
10	4	6
10	4	4
10	4	2
10	4	5
10	4	4
10	4	3,6
10	4	4,2
10	4	3,9
10	4	4,3
10	4	4
10	4	5,1
10	4	4,2
10	4	3,9
10	4	4,1
10	4	4
10	4	4,1
10	4	4,4
10	4	4,1

10	4	4
10	4	4,2
10	4	3,99
10	4	4,1
10	4	4
10	4	4,2
10	4	4
10	4	4,1

%	Set Point (g/seg)	Process Value (g/seg)
25	10	10
25	10	10
25	10	10
25	10	10
25	10	10
60	24	11
60	24	12
60	24	13
60	24	14
60	24	15
60	24	16
60	24	17
60	24	18
60	24	19
60	24	20
60	24	21
60	24	22
60	24	23
60	24	24
60	24	25
60	24	26
60	24	25
60	24	24
60	24	23
60	24	24
60	24	25
60	24	26
60	24	25
60	24	24
60	24	23,5
60	24	23
60	24	23,5
60	24	24

60	24	25
60	24	24,5
60	24	24,1
60	24	23,6
60	24	23,2
60	24	23,4
60	24	24,1
60	24	23,2
60	24	23,4
60	24	23,6
60	24	24,1
60	24	24
60	24	23,9
60	24	24,1
60	24	24,2
60	24	23,99
60	24	24,1
60	24	24,3
60	24	24,2
60	24	24
60	24	24,1
60	24	22
60	24	20
60	24	19
60	24	18
60	24	17
60	24	16
60	24	15
60	24	14
60	24	13
60	24	12
60	24	11
60	24	10
60	24	9
60	24	8
60	24	7
60	24	6
60	24	5
60	24	13
60	24	14
60	24	15
60	24	16
60	24	17
60	24	18

60	24	22
60	24	23
60	24	24
60	24	25
60	24	26
60	24	24
60	24	23,2
60	24	25,1
60	24	23,9
60	24	24,2
60	24	24,5
60	24	24
60	24	24,1
60	24	24,2
60	24	24
60	24	24,1
60	24	23,99
60	24	24,3
60	24	24,1
60	24	24,2
60	24	24
60	24	24,1

%	Set Point (g/seg)	Process Value (g/seg)
20	7	7
20	7	7
20	7	7
20	7	7
20	7	7
50	20	8
50	20	9
50	20	10
50	20	11
50	20	12
50	20	13
50	20	14
50	20	15
50	20	16
50	20	17
50	20	18
50	20	19
50	20	20

50	20	21
50	20	23
50	20	22
50	20	20
50	20	21
50	20	20,5
50	20	21,6
50	20	21,2
50	20	20,2
50	20	19,9
50	20	20,1
50	20	20,4
50	20	19,8
50	20	20,2
50	20	20
50	20	20,3
50	20	20,1
50	20	20
50	20	20,2
50	20	19,99
50	20	20,1
50	20	20
50	20	20,2
50	20	20
50	20	20,1
50	20	10
50	20	11
50	20	12
50	20	13
50	20	14
50	20	15
50	20	16
50	20	17
50	20	18
50	20	19
50	20	20
50	20	21
50	20	22
50	20	23
50	20	24
50	20	22
50	20	21
50	20	20
50	20	19

<b>ANEXO</b>  <b>16</b>	<b>Manual de mantenimiento, uso y conservación</b>	<b>1 de 1</b>
-------------------------------	--	---------------

## **Manual de Mantenimiento, uso y conservación**

### **Universidad Técnica de Cotopaxi**

#### **Ingeniería Electromecánica**



#### **1. Introducción**

Dentro del manual a continuación se explica el uso, conservación y mantenimiento a proceder en el sistema de control el cual nos garantice la durabilidad y su correcto funcionamiento.

Esta propuesta tecnológica dentro del manual integra el mantenimiento preventivo y correctivo que se pueda dar dentro del sistema y también el correcto uso de los elementos que lo integran. En los ítems que se va a presentar a continuación se analiza, para cada uno de los elementos que componen, también las recomendaciones de uso y mantenimiento a contemplar por los usuarios que lo van a utilizar.

#### **2. Instalación de la alimentación alterna del sistema de control**



## **Uso y conservación**

Una instalación de alimentación de corriente alterna se realizará a través de conexiones específicas. El caso de sistema de flujo de aire se necesita una corriente alterna de 120V con una potencia de consumo de 3600W entonces se tiene un sistema de protección de 32 Amperios.

Las reparaciones y reposiciones serán realizadas por un usuario que tenga conocimientos en Electricidad o Electromecánica.

## **Mantenimiento**

Anualmente:

- Inspección de las líneas de fuerza de 120V.
- Inspeccione el área de conducción y sus conexiones para encontrar cualquier fuga de agua o humedad acumulada dentro de la caja el cual pueda producir un cortocircuito.
- Refuerce las conexiones según se requiera.
- Limpie cualquier acumulación de polvo y suciedad. Intente sellar la fuente de entrada del polvo

Se realizará una inspección general de la instalación cada 4 años para comprobar:

- Mecanismos de protección.
- Sección de conductos y aislamientos. – Continuidad de las conexiones entre masa, conductores.

## **Precaución**

El mantenimiento y reparaciones deben realizarse por una persona calificada

### **2.1 Fuente de alimentación de corriente continua**

#### **Uso y conservación**

El uso de alimentación en corriente continua es de vital importancia dentro del sistema ya que la mayor parte de elementos funcionan con la alimentación mencionada, entonces para el diseño y elección de las fuentes se toma como referencia la cantidad de corriente que consume el sistema dicho esto se utiliza dos fuentes de alimentación de 5V con una corriente de 1A y 12V con una corriente de 2A. Se debe conservar las fuentes alejados del sistema de potencia y un circuito individual para no tener perturbaciones o interferencias en el sistema.

### **Mantenimiento preventivo**

Mensual:

- Desconectar todos los cables de alimentación que entran al sistema.
- Realizar una limpieza superficial de las fuentes.
- Retirar el polvo que se acumula dentro de la caja el cual evita el correcto funcionamiento.
- Con un paño húmedo limpiar los cables y demás componentes para eliminar el polvo en exceso.

### **Mantenimiento correctivo**

En el caso que las fuentes de alimentación no realicen ningún cambio después de realizar el mantenimiento preventivo se debe cambiar las fuentes con las mismas características anteriormente mencionadas para que el sistema funcione correctamente.

### **Precaución**

El mantenimiento y reparaciones deben realizarse por una persona calificada

## **2.2 Microcontroladores**

### **Uso y conservaciones**

El uso de los microcontroladores va ser de manera permanente en el sistema para la recopilación de datos. Es por eso que se debe conservar en un lugar seco y fuera de contactos con líquidos o gases.

### **Mantenimiento mensual**

- Limpieza de polvo acumulado
- resetear el microcontrolador para su correcto funcionamiento
- Revisar el cable de alimentación al microcontrolador

## **2.3 Optocolador 4N25**

### **Uso y conservaciones**

El uso de este elemento es fundamental dentro del sistema ya que consiste en realizar el cruce por cero del sistema para ingresar al microcontrolador. El elemento electrónico se conserva al estar colocado encima de un zócalo de 4 pines el cual facilita su cambio cuando esta sea necesario.

### **Mantenimiento anual**

-Limpieza del optocoplador 4N25

### **Precaución**

En caso que el elemento tenga algún tipo de problemas para su funcionamiento es necesario cambiarlo. Entonces se debe tomar en cuenta la posición al momento de colocar en el zócalo dentro del sistema ya que en los diagramas de operación se encuentra la posición correcta como se lo debe implementar.

### **3. Conclusiones**

El presente manual de mantenimiento da la facilidad que cualquier usuario cuando use la presente propuesta tecnológica verifique y realice primero las indicaciones dadas para luego proceder a remplazar algún componente.

### **4. Recomendaciones**

Como precaución y tomando medidas estrictas solo personal calificado en el área de eléctrica, electromecánica o que tenga experiencia en el tema puede realizar algún cambio en el sistema ya que se trabaja con corriente alterna y eso puede perjudicar la salud del usuario.

<b>ANEXO</b> <b>17</b>	<b>Manual de operación del usuario</b>	<b>1 de 1</b>
---------------------------	--	---------------

## **Diseño de un sistema de control de flujo de aire en un colector solar**

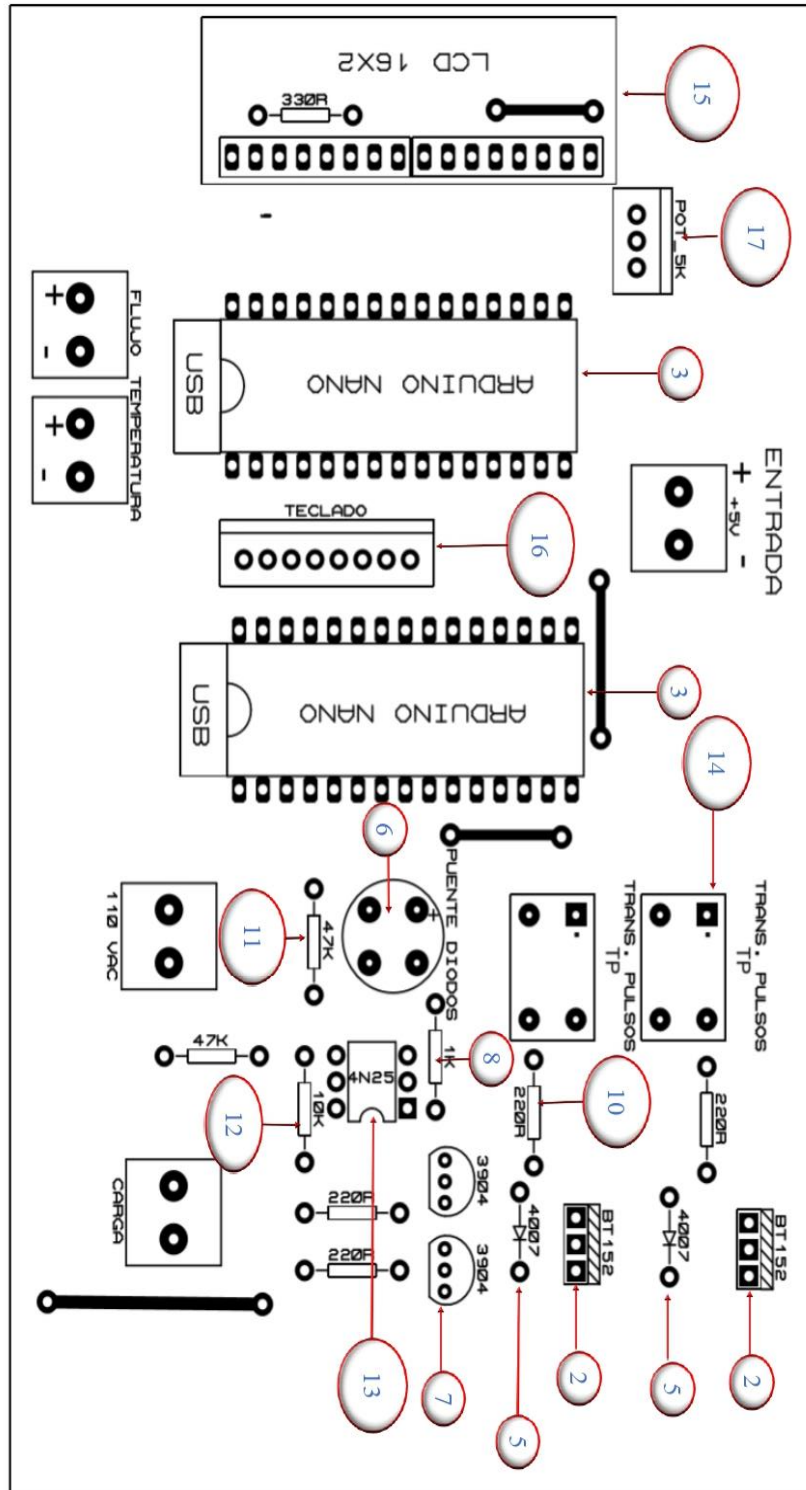
### **Manual de Operación del usuario**



#### **Materiales utilizados para este diseño**

<b>N°</b>	<b>Materiales</b>
1	Sensor Maf CHEVROLET D-MAX
2	SCR - BT152-800R 20A 800V TO 220
3	Microcontrolador Arduino Nano

4	Caja de Paso 255x200x80
5	Diodo Rectificador
6	Puente de diodo
7	Transistor 3904
8	Resistencia de 1k
9	Resistencia de 230Ω
10	Resistencia de 330Ω
11	Resistencia de 47k
12	Resistencia de 10k
13	4N25
14	Transformador de pulso
15	Display LCD 16x2
16	Teclado Key Arduino
17	Potenciometro lineal de 5k



**Indicaciones**

## 1.- Sensor Maf

La conexión del sensor Maf tiene que realizarse de la manera más cuidadosa debido a su bajo consumo de voltaje, el menor error posible causara daños en el sensor, generando la medición errónea del flujo másico y temperatura.

<p>Sensor Maf</p> 	<p>Alimentación: 5-12V</p> <p>Precisión= +/- 1%</p> <p>Diámetro del sensor: 1 ½ “</p> <p>Pines: 5</p> <p>Tipo Señal: eléctrica 0-5V DC</p>
---	--

Dicho sensor consta de cinco pines, cada uno de ellos está marcado con señaléticas que se describen a continuación

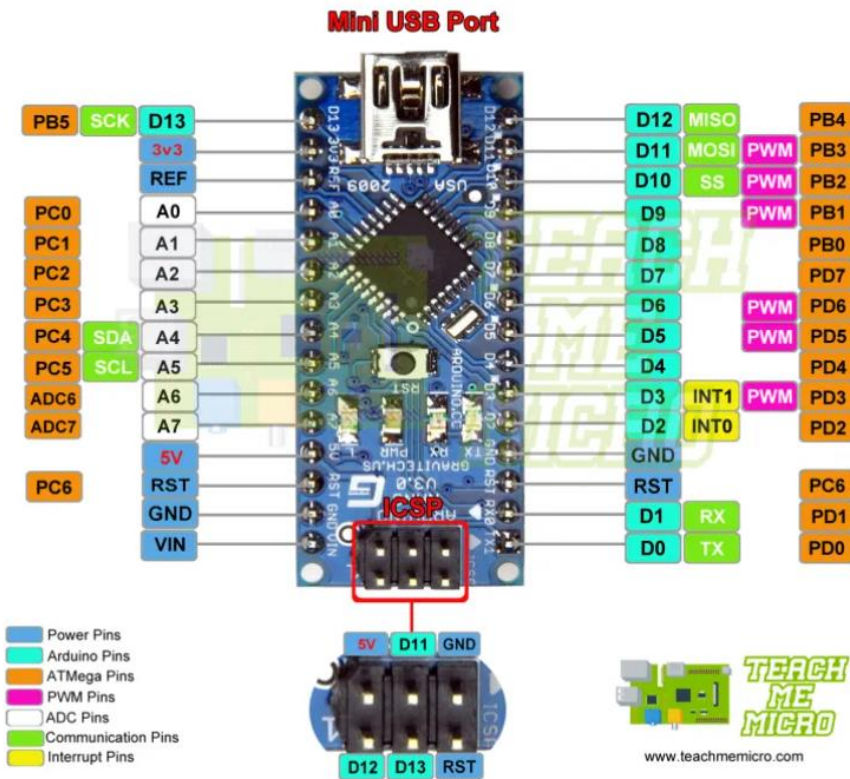
N °	Señalética	Color	Función
Pin 1	T	Amarillo	Señal del sensor de temperatura (IAT)
Pin 2	+	Rojo	Entrada de voltaje (12Voltios)
Pin 3	-	Negro	Tierra
Pin 4	+	Azul	Entrada de volatje (5 Voltios)
Pin 5	A	Tomate	Señal del sensor de flujo de aire

## 2.- Microcontrolador Arduino Nano

Consta de 14 pines digitales dentro de estas se encuentran 6 salidas PWM para su uso también cuenta con 6 entradas analógicas y un botón de reseteo.



Contiene el siguiente diseño



### Características técnicas del Microcontrolador

Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de alimentación	7-12V DC
Voltaje I/O	5V
Pines digitales I/O PWM	14 (6 PWM)
Pines analógicos de entrada	8
Corriente DC por I/O	40mA
Flash memory	32 KB (ATmega328P) del cual 2 KB usado para el cargador del arranque
SRAM	2 KB
EEPROM	1KB



Clock Seep	16MHz
------------	-------

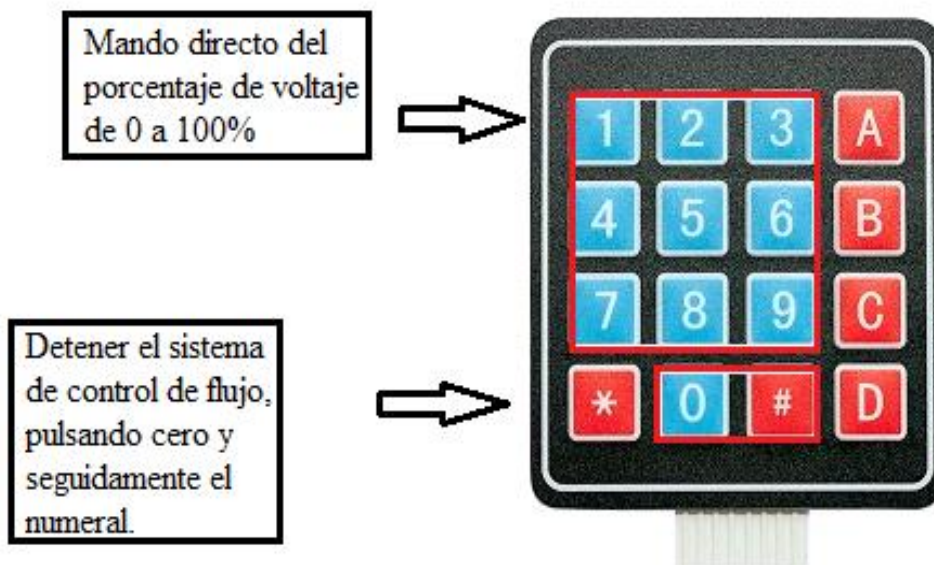
El sobrevoltaje aplicado al pin analógico/ digital es el problema más común que puede dañar al Arduino. El microcontrolador soporta entre 3.3 y 5 Voltios dependiendo del modelo.

### Fuentes AC Y DC

**Fuente AC:** Los cables de dicha fuente están señalizados con la letra F de fase y N de neutro.

**Fuentes DC:** El proyecto consta de dos fuentes una de 5 y otra de 12 Voltios, del mismo modo están señalizados con la simbología de (+) y (-) para cada uno.

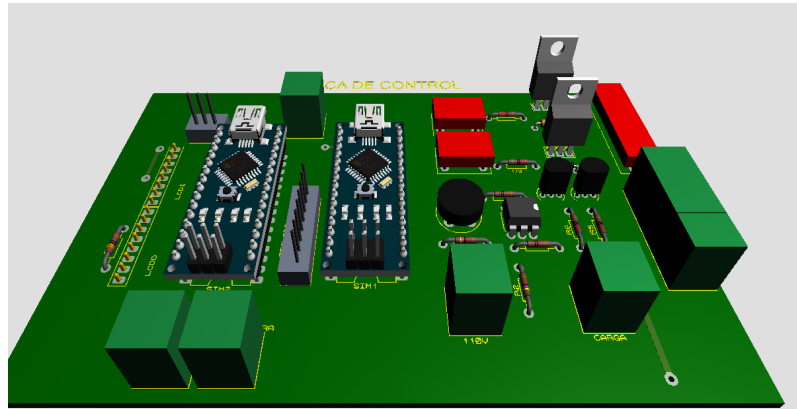
### Mandos del teclado matricial 4x4



### Pasos para poner en marcha el proyecto

1. Energizar el modulo a una fuente de 120 Voltios.
2. Encender el soplador ubicado en la entrada del colector solar

3. Verificar si en la pantalla LCD se visualiza los ítems de porcentaje de voltaje y flujo de aire, de no ser el caso pulsar el botón reset por dos segundos de los dos Arduinos.
4. Digitalizar en el teclado el porcentaje de voltaje deseado, para cambiar de valor solo lo digitan, y para detener pulsan 0 y #.



### Diagrama de Conexión

