

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**ESTUDIO Y MEJORA DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE UN  
HORNO DE SECADO A GAS PARA TRANSFORMADORES**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Electrónico**, que presenta el bachiller:

**Renzo Omar Jácome Gamboa**

Asesor: Mg. Willy Eduardo Carrera Soria

**Lima, enero 2019**

## **RESUMEN**

Los transformadores son elementos ampliamente utilizados en el sector industrial y energético. Para la puesta en servicio de los mismos o como parte del mantenimiento preventivo o correctivo, resulta necesario aplicar un procedimiento de secado para reducir la humedad presente en el aislamiento. Actualmente, uno de los métodos utilizados para transformadores de baja o mediana potencia es el de secado por circulación de aire caliente, que se realiza principalmente en hornos eléctricos. Al ser el tiempo de secado superior a 8 horas, se tiene un consumo de energía bastante elevado. Además, durante el secado no se dispone de información sobre la humedad del proceso, por lo que es solo al final del mismo que se puede evaluar si el secado fue exitoso.

Entonces, para generar un mayor ahorro de energía surgió la iniciativa por parte de la universidad de desarrollar un horno de secado para transformadores que utilice gas como fuente de calor, además de incorporar en este el monitoreo de la humedad para obtener mayor información del proceso.

La investigación realizada en este trabajo de tesis tuvo como objetivo principal, analizar el sistema electrónico del equipo inicial desarrollado en el documento "Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura y monitoreo de humedad para un horno de secado de transformadores" (Li, J, 2015), el mismo que no se encontraba operativo por falta de mantenimiento. Para ello se evalúan los sensores y actuadores presentes en el sistema, así como sus respectivos circuitos de acondicionamiento y control, además de la interfaz de usuario propuesta y el sistema de control para una temperatura entre 90°C y 120°C. En base a esto se diseñan e implementan mejoras para que el horno funcione como prototipo final.

Una vez implementado el sistema electrónico y validado su funcionamiento, se realizaron pruebas para analizar el comportamiento del horno ante diferentes condiciones de ventilación y presión del gas de suministro. Esta evaluación permitió asegurar que el horno de secado reduzca efectivamente la humedad en el ambiente interno. Posterior a este análisis se obtiene como resultado final un control de temperatura con tiempo de establecimiento máximo de 12 minutos y con una estabilidad de +/- 3.5 °C.



## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Estudio y mejora del sistema electrónico de un horno de secado a gas para transformadores.  
Área : Circuitos y Sistemas Electrónicos # 1372  
Asesor : Willy Eduardo Carrera Soria  
Alumno : Renzo Omar Jácome Gamboa  
Código : 20121562  
Fecha : 22/06/2017



### Descripción y Objetivos

Los transformadores son elementos ampliamente utilizados en el sector industrial y energético. Para la puesta en servicio de los mismos o como parte del mantenimiento preventivo o correctivo, resulta necesario aplicar un procedimiento de secado para reducir la humedad presente en el aislamiento. Actualmente, uno de los métodos utilizados para transformadores de baja o mediana potencia es el de secado por circulación de aire caliente, que se realiza principalmente en hornos eléctricos. Al ser el tiempo de secado superior a 8 horas, se tiene un consumo energético bastante elevado. Además, durante el secado no se dispone de información sobre la humedad del proceso, por lo que es solo al final del mismo que se puede evaluar si el secado fue exitoso.

Entonces, para generar un mayor ahorro energético surgió la iniciativa por parte de la universidad de desarrollar un horno de secado para transformadores que utilice gas como fuente de calor, además de incorporar en este el monitoreo de humedad para obtener mayor información del proceso.

Para el siguiente trabajo de tesis se recibió el prototipo desarrollado en el documento "Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura y monitoreo de humedad para un horno de secado de transformadores" (Li, J, 2015). Por lo que se tiene como objetivo de esta tesis el de analizar la totalidad del sistema electrónico y en base a esto diseñar e implementar mejoras para que el horno funcione como prototipo final. Para ello se evalúan los sensores y actuadores presentes en el sistema, así como sus respectivos circuitos de acondicionamiento y control, además de la interfaz de usuario propuesta y el sistema de control para una temperatura entre 90°C y 120°C. Finalmente, se realizan pruebas para observar cómo se comporta el sistema implementado ante diferentes condiciones de ventilación y presión del gas de suministro.

  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
M. Sc. Ing. MIGUEL ÁNGEL CATANO SÁNCHEZ  
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA  
  
Ing. WILLY CARRERA SORIA  
PROFESOR ASOCIADO

50  
MÁXIMO PÁGINAS



## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Estudio y mejora del sistema electrónico de un horno de secado a gas para transformadores.

### Índice

#### Introducción

1. Problemática actual en los hornos de secado de transformadores.
2. Secado del aislamiento de los transformadores
3. Análisis del sistema electrónico e implementación de mejoras
4. Pruebas y resultados del sistema implementado

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

M. Sc. Ing. MIGUEL ANGEL CATANO SANCHEZ  
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

Ing. WILLY CARREPA SORIA  
PROFESOR ASOCIADO

# Índice General

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA ACTUAL EN LOS HORNOS DE SECADO DE TRANSFORMADORES .....	2
1.1. Presentación del asunto de estudio .....	2
1.2. Marco problemático .....	3
1.3. Justificación de la tesis .....	4
CAPÍTULO 2: SECADO DEL AISLAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES .....	5
2.1. Estado del arte .....	5
2.1.1. Aspectos teóricos de interés .....	5
2.1.2. Tecnología usada en el secado de transformadores.....	10
2.2. Objetivos .....	15
2.2.1. Objetivos generales.....	15
2.2.2. Objetivos específicos.....	15
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO E IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS .....	16
3.1. Resumen del sistema electrónico inicial .....	16
3.2. Subsistema de medición de temperatura.....	17
3.2.1. Evaluación de la selección del sensor .....	17
3.2.2. Análisis del circuito de acondicionamiento.....	19
3.2.3. Modificaciones al circuito de acondicionamiento.....	21
3.3. Subsistema de medición de humedad .....	24
3.3.1. Evaluación de la selección del sensor .....	24
3.3.2. Diseño del circuito de acondicionamiento.....	24
3.4. Subsistema de generación y detección de flama .....	26
3.4.1. Subsistema de generación de flama.....	26
3.4.1.1. Análisis del circuito de control .....	27
3.4.1.2. Modificaciones al circuito de control .....	27
3.4.2. Subsistema de detección de flama .....	30
3.4.2.1. Evaluación de la selección del sensor .....	30
3.4.2.1. Análisis del circuito de acondicionamiento.....	30
3.5. Subsistema de control de gas y ventilación .....	31
3.5.1. Evaluación de la selección de las válvulas de control.....	31
3.5.2. Análisis del circuito de control.....	31
3.5.3. Modificaciones al circuito de control .....	34
3.6. Otras consideraciones .....	36

3.6.1.	Evaluación de la interfaz de usuario .....	36
3.6.2.	Evaluación del controlador del sistema.....	37
3.6.3.	Lógica del programa .....	37
3.6.4.	Evaluación del consumo de energía .....	39
CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO .....		42
4.1.	Calibración del sensor de temperatura .....	42
4.2.	Calibración del sensor de humedad.....	45
4.3.	Pruebas de detección de flama.....	47
4.4.	Respuesta inicial del sistema.....	48
4.5.	Evaluación de la ventilación del horno .....	49
4.5.1.	Desempeño del sistema con rejilla de ventilación .....	50
4.5.2.	Efectos sobre regulación de flujo de gas .....	50
4.5.3.	Efectos sobre la humedad interna del horno.....	52
4.6.	Ensayos del sistema en lazo abierto.....	52
4.6.1.	Efectos de la presión en el sistema de lazo abierto .....	53
4.6.2.	Análisis de resultados.....	55
4.7.	Ensayos del sistema de control .....	55
4.7.1.	Efectos de la presión en el sistema de control .....	56
4.7.2.	Análisis de resultados.....	58
CONCLUSIONES .....		60
RECOMENDACIONES.....		61
BIBLIOGRAFÍA.....		62
ANEXOS.....		66
ANEXO A: REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL SISTEMA RECIBIDO.....		66
ANEXO B: REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL SISTEMA IMPLEMENTADO .....		69
ANEXO C: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT100.....		72
ANEXO D: CALIBRACIÓN DE SENSORES (TOMA DE DATOS).....		74
ANEXO E: TOMA DE DATOS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO .....		97
ANEXO F: CÓDIGOS DESARROLLADOS .....		184
ANEXO G: MODELAMIENTO MATEMÁTICO DEL SISTEMA .....		191

## Índice de Figuras

Figura 1.1: Prototipo Inicial del Horno de Secado PUCP .....	4
Figura 2.1: Papel Kraft En Hilo Conductor .....	5
Figura 2.2: Porcentaje Biodegradación Vs Tiempo en Aislantes Líquidos.....	6
Figura 2.3: Rigidez Dieléctrica Vs %Humedad del Aislamiento.....	7
Figura 2.4: Análisis de la Humedad y Temperatura en la Vida de los Transformadores	9
Figura 2.4: Filtro Absorbente.....	10
Figura 2.5: Sistemas de Secado Por Circulación de Aceite.....	12
Figura 2.6: Rociador de Solvente.....	13
Figura 2.7: Comparación entre Agua, Kerosene y Aceite Mineral .....	13
Figura 2.8: Sistema de Secado por LFH .....	14
Figura 2.9: Composición de un Horno de Secado Eléctrico .....	15
Figura 3.1: Diagrama de Bloques del Sistema Electrónico.....	16
Figura 3.2: Circuito Inicial Acondicionamiento Temperatura.....	19
Figura 3.3: Circuito Final de Acondicionamiento de Temperatura .....	22
Figura 3.4: Tarjeta Impresa Medición de Temperatura.....	23
Figura 3.5: Sensor HS1101LF .....	24
Figura 3.6: Acondicionamiento Propuesto por el Fabricante .....	25
Figura 3.7: Circuito de Acondicionamiento de Humedad.....	26
Figura 3.8: Tarjeta Impresa Medición de Humedad .....	26
Figura 3.9: Generador de Chispa 220 VAC.....	27
Figura 3.10: Circuito Inicial Para Control de Chispa .....	27
Figura 3.11: Circuito Final Para Control de Chispa .....	28
Figura 3.12: Error en Puerto Serial .....	28
Figura 3.13: Transformador de Aislamiento Adquirido .....	29
Figura 3.14: Tarjeta Impresa para Control de Chispa.....	29
Figura 3.15: Circuito Acondicionamiento Para Sensor de Flama .....	30
Figura 3.16: Válvula Solenoide (izquierda) y Válvula Proporcional (derecha) .....	31
Figura 3.17: Circuito Inicial de Accionamiento de Válvula Solenoide .....	32
Figura 3.18: Circuito de Control de Válvula Proporcional .....	32
Figura 3.19: Diagrama de Simulación del Filtro en Matlab .....	33
Figura 3.20: Efecto de la Frecuencia en el Rizado del Filtro .....	33
Figura 3.21: Circuito Final de Accionamiento de Válvula y Ventilador.....	34
Figura 3.22: Tarjeta Impresa para Control de Válvula y Ventilador .....	36
Figura 3.23: Módulo I2C .....	36
Figura 3.24: Circuito de control Led .....	37
Figura 3.25: Arduino Uno .....	37
Figura 3.26: Diagrama de Flujo.....	38
Figura 4.1: Resultado de Calibración de Humedad .....	46
Figura 4.2: Lectura Sensor de Flama.....	47
Figura 4.3: Lazo Abierto, P = directo, Válvula = 20% .....	48
Figura 4.4: Regulador de Presión (izquierda) y Manómetro (derecha) .....	49
Figura 4.5: Humedad, Lazo Abierto, P = directo .....	49
Figura 4.6: Rejilla de Ventilación (Izquierda) y Tapa Hermética (Derecha) .....	50
Figura 4.7: Evaluación de Velocidad de Calentamiento .....	50
Figura 4.8: Regulación de Flujo con Tapa Hermética.....	51
Figura 4.9: Regulación de Flujo con Rejilla de Ventilación .....	51
Figura 4.10: Evaluación de la Humedad y el Sistema de Ventilación .....	52
Figura 4.11: Prueba de Lazo Abierto con Presión de 4 psi .....	53
Figura 4.12: Prueba de Lazo Abierto con Presión de 8 psi .....	54

Figura 4.13: Prueba de Lazo Abierto con Presión de 10 psi.....	54
Figura 4.14: Sistema de Control Para 7 psi.....	56
Figura 4.15: Sistema de Control Para 8 psi.....	57
Figura 4.16: Sistema de Control para 9 psi .....	58
Figura A.1: Tablero Inicial – Puerta Abierta.....	68
Figura G1: Respuesta a Señal PBRS .....	212
Figura G2: Parámetros de Toolbox Matlab1 .....	213
Figura G3: Parámetros de Toolbox Matlab2 .....	213
Figura G4: Modelo Obtenido en Espacio Estado .....	214
Figura G5: Modelo Obtenido en Función de Transferencia.....	214
Figura G6: Precisión de Modelamiento para ensayo de control a 8psi.....	215
Figura G7: Precisión de Modelamiento para ensayo a lazo abierto con 4psi .....	215
Figura G8: Precisión de Modelamiento para ensayo a lazo abierto con 10psi.....	216
Figura G9: Respuesta del Modelo en lazo abierto con 8psi .....	216





## Índice De Tablas

Tabla 2.1: Funciones de Aislamientos .....	5
Tabla 2.2: Efectos de la Humedad para un bajo grado de Polimerización (DP) .....	8
Tabla 2.3: Clases Térmicas de Aislamientos .....	9
Tabla 2.4: Relación entre Presión y Temperatura Ebullición del Agua .....	11
Tabla 3.1: Evaluación Sensor Temperatura .....	17
Tabla 3.2: Relación de Humedad y Frecuencia.....	25
Tabla 3.3: Precisión Válvula Proporcional.....	34
Tabla 3.4: Evaluación del consumo de energía de fuentes de alimentación .....	39
Tabla 3.5: Consumo de energía en la línea principal .....	40
Tabla 4.1: Análisis de Ganancias.....	42
Tabla 4.2: Calibración PT100.....	43
Tabla 4.3: Error Por Ajuste de Curva .....	44
Tabla 4.4: Error Con Simulación de Temperatura .....	44
Tabla 4.5: Precisión Final Sensor de Temperatura .....	45
Tabla 4.6: Análisis Inicial Sensor Humedad .....	45
Tabla 4.7: Precisión Sensor de Humedad.....	46
Tabla 4.8: Resultados de Lazo Abierto .....	55
Tabla 4.9: Resultados de Control Para 7 psi.....	56
Tabla 4.10: Resultados de Control Para 8 psi.....	57
Tabla 4.11: Resultados de Control para 9 psi .....	58
Tabla A.1: Sistema Inicial .....	66
Tabla B.1: Horno de Secado Final .....	69
Tabla B.2: Tablero de Control Implementado.....	70
Tabla B.3: Interfaz de Usuario Implementada .....	71
Tabla D.1: Calibración con resistencias de prueba .....	74
Tabla D.2: Mediciones de Temperatura con Resistencias de Prueba .....	76
Tabla D.3: Resultados de Calibración.....	82
Tabla D.4: Mediciones de Sensor de Humedad .....	82
Tabla D.5: Fotografías de Calibración.....	83
Tabla D.6: Mediciones de Termocupla.....	84
Tabla E1: Respuesta Lazo Abierto, Presión Directa, Temperatura .....	97
Tabla E2: Respuesta Lazo Abierto, Presión Directa, Humedad .....	98
Tabla E3: Respuesta Lazo Abierto, Presión 8psi, Temperatura .....	99
Tabla E5: Respuesta Lazo Abierto, Presión 8psi, Sistema Cerrado.....	109
Tabla E6: Respuesta Lazo Abierto, Presión 8psi, Temperatura, Con Ventilación .....	114
Tabla E7: Respuesta Lazo Abierto, Presión 8psi, Humedad .....	124
Tabla E8: Efectos de la Presión en el Horno de Secado.....	131
Tabla E8: Ensayos de Control a 7 psi.....	144
Tabla E9: Ensayos de Control a 8 psi.....	158
Tabla E10: Ensayos de Control a 9 psi .....	172
Tabla G1: Toma de Datos Para Modelamiento Matemático .....	195

# INTRODUCCIÓN

Para garantizar las características dieléctricas de los transformadores, así como para prolongar su tiempo de vida útil resulta necesario realizar procedimientos de secado, inicialmente para la puesta en servicio y luego como parte de un mantenimiento preventivo y correctivo. Actualmente, este procedimiento se realiza con hornos eléctricos, en los cuales el consumo de energía es mayor debido al largo tiempo que demanda este proceso. Es así como la PUCP tiene la iniciativa de desarrollar un horno de secado a gas que permita reducir el gasto de energía, además incorpora en este un monitoreo de humedad para tener mayor información del proceso.

Este prototipo desarrollado no se encontraba operativo, por lo que durante este trabajo de tesis no solo se realizarán cambios para garantizar el funcionamiento del equipo, sino también para mejorar el sistema electrónico encontrado previamente.

En el primer capítulo se da un contexto general sobre los hornos de secado para transformadores, mencionando la importancia de su uso, y presentando las dificultades que actualmente enfrentan para mejorar el proceso.

En el segundo capítulo, se brinda teoría relacionada a los transformadores que permitirá entender con mayor claridad los valores de control en este proceso. Luego, como parte del estado del arte se explicará el principio de funcionamiento de los diferentes métodos de secado que se han desarrollado a lo largo del tiempo. Este capítulo concluye en el planteamiento de los objetivos específicos a trabajar en los capítulos siguientes.

En el tercer capítulo se presenta el prototipo inicial de horno de secado que se trabaja en esta investigación, se analiza cada subsistema que lo compone. Se analiza el funcionamiento de los componentes del horno, para luego evaluar si es necesario implementar mejoras. Estas mejoras se realizan con el propósito de que el horno funcione como prototipo final cumpliendo los requerimientos planteados en el capítulo dos.

En el cuarto capítulo se realiza pruebas al sistema implementado. En estas se contempla la calibración de los sensores de humedad, temperatura y flama. Se realiza un estudio sobre las condiciones iniciales de ventilación y la regulación de presión de gas, y finalmente los ensayos de control de temperatura que permiten determinar la operatividad final del equipo.

# CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA ACTUAL EN LOS HORNOS DE SECADO DE TRANSFORMADORES

## 1.1. Presentación del asunto de estudio

Los transformadores son elementos importantes en los sistemas de distribución y potencia, debido a que permiten modificar los valores de tensión alterna mediante una relación de transformación. El tiempo de vida útil de estos equipos normalmente es de 20 a 30 años; sin embargo, mediante un buen mantenimiento y condiciones de temperatura de trabajo adecuadas, el transformador puede lograr un tiempo de vida superior a los 35 años e incluso llegar a los 60 años de funcionamiento [3].

Tanto la calidad como el tiempo de vida del transformador están muy relacionados con el estado de su sistema de aislamiento. Por este motivo, en la industria es común decir que “la vida del transformador, es la vida del sistema aislante”.

En el sistema aislante se consideran principalmente materiales sólidos y/o líquidos. En el caso del aislante sólido se usa principalmente papel Kraft [2], mientras que el aislante líquido es un fluido dieléctrico, comúnmente aceite mineral o en algunos casos aceite de siliconas [1]. Con el paso del tiempo este sistema papel – aceite sufre deterioros. Algunas situaciones como fallas debido a malas conexiones o deficientes condiciones de oxígeno afectan negativamente al sistema aislante [3]; pero son la temperatura y la humedad los principales factores que influyen en el desgaste del aislamiento. Mientras que la temperatura afecta principalmente al aislamiento sólido, los excesos de humedad pueden dañar tanto el aislamiento sólido como el líquido.

Los valores de humedad permitidos según normas dependen principalmente de los niveles de voltaje de los transformadores, normalmente estos valores de humedad no deben superar el 3% o 4% [7]. Es por este motivo que a lo largo del tiempo se han desarrollado diversos métodos de secado para eliminar eficazmente la humedad del sistema de aislamiento.

El proceso de secado del aislamiento de los transformadores se realiza inicialmente para la puesta en servicio de estos equipos, posteriormente será necesario repetir este proceso como parte del mantenimiento preventivo y correctivo de los transformadores. Todo esto no solo para que el transformador funcione correctamente durante su uso, sino también para prolongar su tiempo de vida.

Entre los métodos de secado más usados se encuentran los siguientes:

- Secado por filtro absorbente.
- Secado por alto vacío.
- Secado por circulación de aceite caliente.
- Secado por método de vapor fase.
- Secado por corriente de baja frecuencia.
- Secado por circulación de aire caliente.

En la mayoría de los métodos anteriormente expuestos se utilizan hornos para acelerar el proceso de secado, ya que sin estos el tiempo de secado podría tomar varios días e incluso meses como en el caso de los filtros absorbentes [9].

## 1.2. Marco problemático

La temperatura utilizada en el proceso depende principalmente del método de secado, en el caso de aplicar vacío será suficiente utilizar una temperatura de 70 °C o 80 °C; mientras que en el secado únicamente por circulación de aire caliente, temperaturas más elevadas serán necesarias; siendo estas entre 100 °C y 110 °C [8]. Aun así, comercialmente existen hornos de secado de propósito general que pueden alcanzar fácilmente temperaturas superiores a los 200 °C [15]; sin embargo, para la aplicación específica a considerar, la temperatura máxima de secado no deberá exceder los 120 °C. Esto debido a los posibles daños que puede sufrir el aislamiento debido a las altas temperaturas.

Para lograr cumplir los requerimientos de temperatura necesarios en el proceso de secado, principalmente son utilizadas una serie de resistencias calefactoras que mediante el uso de energía eléctrica logran calentar el ambiente del horno a las temperaturas deseadas.

El consumo energético en los hornos de secado es bastante elevado debido al uso de estas resistencias, a lo que se suma el largo tiempo necesario para el proceso de secado, que en estos casos puede ser de 8 a 14 horas [1].

Otro factor a considerar es el tiempo de establecimiento para llegar a la temperatura deseada para el secado. Este tiempo se adiciona al del secado haciendo más largo el proceso. En el caso de las resistencias eléctricas, el tiempo de establecimiento mínimo es de 30 minutos y en algunos casos puede llegar incluso a superar los 60 minutos [15]. Esto depende principalmente del volumen del espacio a calentar, el valor de temperatura a alcanzar y el algoritmo de control utilizado.

Para conocer si el proceso de secado ha sido efectivo; es decir, si la humedad residual del aislamiento está dentro de los límites admisibles, es obligatorio esperar a que termine el tiempo de secado. Solo después de esta espera se podrá medir la humedad del aislamiento, ya que las condiciones de secado dificultan realizar la medición durante el proceso. Esto debido a que comercialmente los sensores de humedad no suelen soportar altas temperaturas; y en los casos de alto vacío donde la temperatura a alcanzar puede ser mucho menor, existe riesgo de daño debido a la fragilidad del sensor.

Es por este motivo que al secado de los transformadores se le considera como un proceso cíclico, ya que será necesario realizarlo cuantas veces sea necesario hasta lograr que el aislamiento obtenga un valor de humedad menor al 4%. Esto implica que en algunos casos se detiene el proceso cuando todavía no se alcanza el valor de humedad necesario; mientras que en otros casos se alarga innecesariamente el tiempo de secado, cuando se continúa el proceso ya habiendo logrado el valor de humedad residual deseado. En ambas situaciones existe un consumo de energía eléctrica innecesario, en el primer caso debido a que se espera nuevamente un tiempo de establecimiento para que la temperatura llegue al valor deseado. En el segundo caso debido al exceso de tiempo de operación del horno.

### 1.3. Justificación de la tesis

Como se mencionó anteriormente, el método de calefacción clásico de un horno de secado es por medio de resistencias eléctricas. Esto sumado a la larga duración del secado en los transformadores hace que el consumo de energía sea muy elevado. Por este motivo, se desarrolló en la PUCP un prototipo de horno de secado (ver figura 1.1) que utiliza gas como fuente de calor, lo que supone un gran ahorro en la energía utilizada.



**Figura 1.1: Prototipo Inicial del Horno de Secado PUCP**

Fuentes: Elaboración Propia

En el sistema electrónico del prototipo desarrollado se considera el monitoreo y control de temperatura, uso de actuadores para regular la cantidad de gas suministrado, un sensor de flama como método de seguridad y el monitoreo de humedad. Este último punto, es una ventaja competitiva frente a otros sistemas, ya que servirá como un indicador de la eficiencia del proceso, que nos permitirá supervisar que la humedad en el ambiente interno se mantenga en los valores deseados e incluso realizar evaluaciones a futuro sobre la duración del proceso de secado.

Por diversos motivos que se explicarán con detalle en las siguientes secciones, el horno de secado no se encuentra operativo. Por lo que el propósito de este trabajo de tesis será analizar la totalidad del sistema electrónico presente en el prototipo, verificar la correcta selección de componentes, proponer cambios o mejoras donde se considere necesario, implementar dichas mejoras y realizar una serie de pruebas o ensayos que permitan validar el funcionamiento del horno de secado como prototipo final.

## CAPÍTULO 2: SECADO DEL AISLAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES

### 2.1. Estado del arte

#### 2.1.1. Aspectos teóricos de interés

##### a) El aislamiento del transformador

Los transformadores, como otras máquinas eléctricas, utilizan un sistema de aislamiento con el propósito de [1] [4]:

- Aislar los devanados del transformador entre ellos.
- Aislar los devanados del transformador de tierra o masa.
- Aislar las bobinas entre las diferentes fases.
- Aislar las bobinas de las partes cercanas al núcleo y las partes de acero cercanas a la estructura.
- Transferir calor hacia el exterior.

Los materiales utilizados como aislante se pueden clasificar en sólidos (ver figura 2.1) o líquidos. Los materiales sólidos se utilizan para envolver directamente los hilos conductores del transformador y proveen una protección limitada contra las altas temperaturas. Por otro lado, los materiales líquidos recubren a los sólidos y además de tener una característica aislante; también sirven como refrigerante [2].

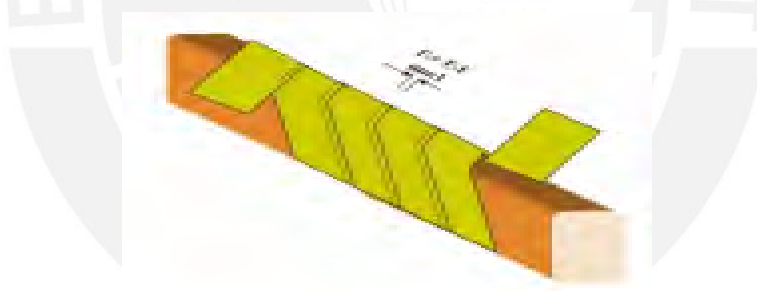


Figura 2.1: Papel Kraft En Hilo Conductor

Fuente: [6]

A continuación, se mostrará en la tabla 2.1 las principales funciones de los dos tipos de aislante y algunos ejemplos de los materiales usados en este sistema:

Tabla 2.1: Funciones de Aislamientos

	Funciones	Ejemplos
Aislantes Sólidos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Soportar tensiones altas, ondas de impulso y transitorios.</li><li>• Soportar esfuerzos mecánicos y térmicos (producto de un cortocircuito).</li><li>• Prevenir acumulación de calor.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cartón prensado.</li><li>• Papel Kraft.</li><li>• Papel manila y corrugado.</li><li>• Fibra vulcanizada.</li><li>• Madera de maple.</li><li>• Cintas de fibra de vidrio.</li><li>• Recubrimiento de polvo epóxico.</li></ul>

- Actuar como elemento refrigerante.
- Proveer rigidez dieléctrica.
- Reducir la absorción de agua del aislante sólido
- Proteger a la totalidad del sistema aislante.
- Esmaltes y barnices.
- Aceite mineral.
- Aceite de siliconas.
- Fluidos esterres.

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a los materiales sólidos, el papel Kraft es el más utilizado como aislante debido a su bajo costo y accesibilidad. En el caso de los aislantes líquidos, por años el aceite mineral ha sido el de mayor uso, ya que durante este tiempo se ha demostrado su eficiencia para estos servicios, además de poseer bajo costo en comparación con las otras opciones. Sin embargo, recientemente se ha incrementado el uso de aceite de siliconas o fluidos esterres por su elevado punto de inflamación que ayuda a prevenir incendios en los transformadores [2]. Además, en el caso de fluidos esterres se tiene una gran capacidad biodegradable que reduce el impacto ambiental en el caso de derrame del aceite [6]. Esta característica se puede apreciar con mayor detalle en la figura 2.2.

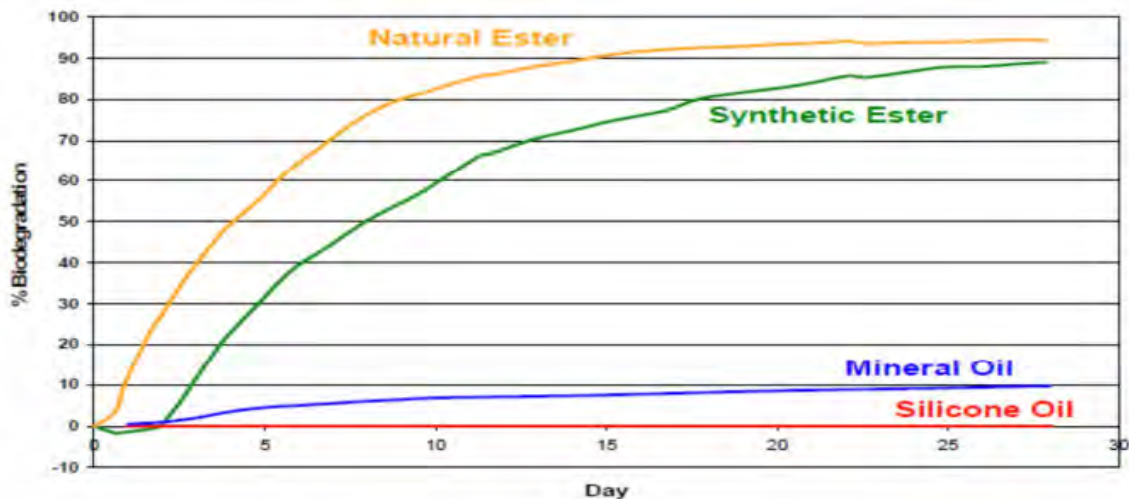


Figura 2.2: Porcentaje Biodegradación Vs Tiempo en Aislantes Líquidos

Fuente: [6]

#### b) La humedad y sus efectos

Los materiales sólidos utilizados en el sistema aislante del transformador, como el papel y el cartón, son altamente higroscópicos. Por este motivo, el papel aislante siempre absorberá una mayor cantidad de agua en lugar del aceite aislante [8]. Esta presencia de humedad en el papel aislante afecta la rigidez dieléctrica y aumenta la rapidez con la que se deteriora el sistema aislante.

Existen 3 principales motivos que generan la presencia de humedad en el sistema aislante. A continuación, se mencionará cada uno de ellos y se dará una breve explicación [7]:

- Humedad residual generada en la fabricación.

Durante la fabricación del aislamiento sólido, es necesaria la presencia de humedad para lograr las formas complejas necesarias en este sistema. Generalmente, para este proceso la humedad presente en el sistema llega del 6% al 8%, motivo por el cual se hace un procedimiento de secado antes de la puesta en servicio del transformador.

- Humedad presente en el ambiente.

Como se mencionó anteriormente, el papel aislante es un material higroscópico por lo que absorberá con facilidad el agua que esté presente en el ambiente, ya sea durante su funcionamiento o en el proceso de mantenimiento.

- Humedad debido al envejecimiento del papel.

El papel aislante está formado en gran parte por polímeros de celulosa. Al inicio la cadena de celulosa tiene cerca de 1200 anillos de glucosa, pero con el paso del tiempo ocurre un proceso de despolimerización que acorta esta cadena. Esto genera moléculas de agua que influyen en el contenido de humedad del aislamiento.

La rigidez dieléctrica del sistema aislante determina las condiciones de voltaje para que este sistema no conduzca energía eléctrica. La humedad entonces al afectar el nivel de rigidez eléctrica que tiene el transformador, afectará también las condiciones de trabajo admisibles de este equipo.

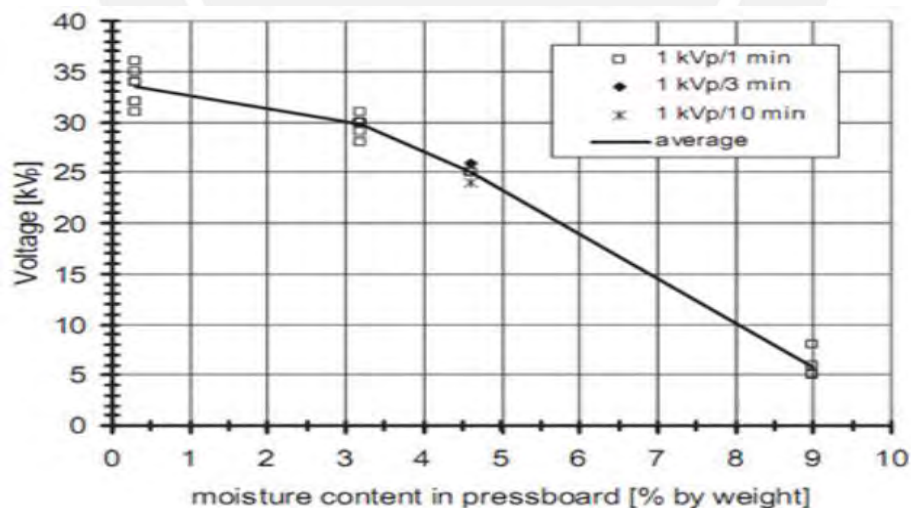


Figura 2.3: Rigidez Dieléctrica Vs %Humedad del Aislamiento

Fuente: [7]

Como se puede apreciar en la figura 2.3, el porcentaje de humedad en el aislamiento sólido afecta notablemente la rigidez dieléctrica del transformador, motivo por el cual se realizan trabajos de mantenimiento para una humedad mayor al 4%.

En el caso del aislamiento líquido el nivel de humedad puede llegar alrededor del 20% sin afectar considerablemente la rigidez dieléctrica, por esta razón se supervisa



principalmente la humedad presente en el aislamiento sólido en lugar del aislamiento líquido [7].

Conocer con precisión el tiempo de vida que le queda a un transformador es algo muy difícil, ya que este tiempo depende de una gran cantidad de factores como temperatura, tiempo de operación, nivel de oxígeno, humedad, rigidez dieléctrica, etc., además de asumir situaciones aleatorias de sobretensiones, mantenimientos periódicos u otras posibles fallas inesperadas. Sin embargo, se han realizado estudios que permiten conocer con cierto grado de precisión el tiempo restante de vida del papel aislante (que a su vez se relaciona con el tiempo de vida del transformador) bajo ciertas condiciones como la humedad y el grado de polimerización de la celulosa del aislante.

Como se explicó anteriormente, la celulosa del papel aislante tiene inicialmente una cadena de 1200 anillos de glucosa (o 1200 DP), con el tiempo este número disminuye. En el intervalo de 500 y 950 DP se considera la rigidez mecánica del papel como constante. Pero en valores inferiores, la rigidez decrece en proporción al grado de polimerización (DP) del aislante. Cuando el valor DP baja de 200, se considera que el papel pierde propiedades mecánicas y el transformador puede sufrir daños con mayor facilidad [3].

**Tabla 2.2: Efectos de la Humedad para un bajo grado de Polimerización (DP)**

Condición	Humedad Aislamiento (%)	Tiempo Restante Vida (horas)
200 DP	0.5	158 000
	1	79 000
	2	39 500
20% Rigidez Mecánica o 150 DP	0.5	152 000
	1	76 000
	2	38 000

Fuente: Adaptado de [3]

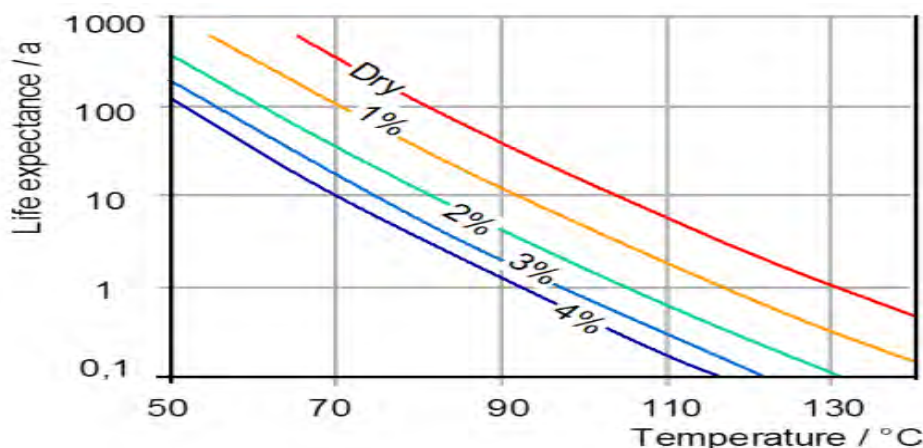
La tabla 2.2 muestra el tiempo de vida restante en función de la humedad y el valor DP, además considerando un ambiente con baja o media proporción de oxígeno (el tiempo disminuye para mayores niveles de oxígeno). En esta se muestra que para un valor de 200 DP se tiene un tiempo restante de vida de 158, 000 horas (18 años aproximadamente). Esto considerando que se logre mantener la humedad en un valor menor al 0.5% (algo muy difícil a largo plazo). También se observa que, para estos niveles bajos de grado de polimerización, el tiempo de vida puede disminuir rápidamente con aumentos de humedad, ya que en estas situaciones ya se ha perdido gran parte de las propiedades mecánicas del papel aislante.

### c) Consideraciones de temperatura

Como se explicó en las secciones pasadas, la temperatura también juega un rol importante en el estado del aislamiento del transformador. Cuando la temperatura es lo suficientemente elevada, las fibras de celulosa presentes en el aislamiento sólido pueden carbonizarse dejando zonas expuestas sin aislante. Esto a su vez genera burbujas de gas que están formadas por vapor de agua, lo que contamina el aislante líquido [2].

Para que esto ocurra se considera principalmente la humedad del sistema aislante y la temperatura del punto más caliente. Aun así, otros factores como la presión estática y el nivel de oxígeno también influyen en este deterioro. Por ejemplo, cuando la humedad es del 2%, se formarán las burbujas de gas a una temperatura de 145 °C en el punto caliente; mientras que si la humedad es inferior a 0.5% (muy seco) la temperatura para que esto suceda tendría que ser mayor a 200 °C [7].

A continuación, la figura 2.4 resume los resultados de un estudio que relaciona el tiempo de vida esperado del papel aislante en función tanto de la humedad como de la temperatura.



**Figura 2.4: Análisis de la Humedad y Temperatura en la Vida de los Transformadores**

Fuente: [7]

Además de las consideraciones mencionadas, también cabe resaltar que existen diferentes clases de aislamiento que determinan la temperatura máxima a la que puede trabajar el transformador sin que sus características dieléctricas sean considerablemente afectadas.

De acuerdo a normas, son 4 las clases de aislamiento más usadas en los transformadores. Las mismas se presentarán en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3: Clases Térmicas de Aislamientos**

Clase De Aislamiento	Elevación Máxima De Temperatura	Temperatura Máxima Alcanzada	Aplicación En Transformador
A	55 °C	105 °C	Transformador tipo seco.
B	80 °C	130 °C	Transformadores tipo seco más pequeños.
F	115 °C	155 °C	Transformadores pequeños de distribución.
H	150 °C	180 °C	Para la mayoría de transformadores tipo seco.

Fuente: Elaboración Propia

## 2.1.2. Tecnología usada en el secado de transformadores

### a) Secado por filtro absorbente

Este tipo de secado es utilizado para hacer un mantenimiento en línea del transformador; es decir, que se utiliza mientras está en pleno funcionamiento.

Los cartuchos de filtro absorbente tienen la propiedad de eliminar toda el agua libre o emulsionada del aceite aislante, además estos dejan todo gas intacto en el proceso para que no interfiera en el diagnóstico de fallas por cromatografía [9].



**Figura 2.4: Filtro Absorbente**

Fuente: [17]

Para el proceso de secado, se coloca uno o más cartuchos de filtro absorbente (ver figura 2.4) dentro del transformador y se conecta una bomba de aceite. Los filtros a utilizar tienen una capacidad máxima de retención de agua, por lo que es necesario monitorear la humedad del aceite, antes y después de usar el sistema para verificar que haya variaciones significativas; lo contrario es indicio de que el filtro se ha saturado y necesita ser reemplazado para continuar con el secado [9]. Sin embargo, actualmente existen filtros que mediante una variación de presión pueden indicar que el cartucho ha alcanzado su límite de retención [17].

La principal ventaja de este método es que se puede realizar mientras el transformador está en operación, además los cartuchos tienen un costo bajo. Aun así, este método no es muy utilizado, debido a que el tiempo de secado puede ser de uno a tres meses [9], durante los cuales el uso de varios cartuchos es necesario. A esto se suma el hecho de que no se puede monitorear ni controlar eficientemente el proceso de secado.

### b) Secado por alto vacío

En este método de secado se coloca el transformador dentro de un tanque donde es sometido a un nivel de vacío muy elevado en un periodo que puede durar varios días. En este proceso no se utiliza fuentes de calor como en otros casos, por lo que la temperatura es la del ambiente.

Para alcanzar el nivel de vacío necesario, se utilizan bombas mecánicas de alto vacío capaces de lograr una presión menor a 1 kPa [10]. También existe la posibilidad de utilizar adicionalmente una bomba booster que permite lograr una presión de vacío diez veces más baja [8], con lo que se puede reducir el tiempo total de secado.

La aplicación del vacío tiene como función reducir el punto de ebullición del agua con el propósito de que esta se evapore de manera más sencilla y poder eliminar la humedad. Cuando el vacío deseado se alcanza, la presión dentro del transformador será menor que la presión del vapor de agua. Esto permite que el punto de ebullición del agua se

logre a una temperatura menor a la ambiental [9]. Este efecto se podrá apreciar mejor en la tabla 2.4:

**Tabla 2.4: Relación entre Presión y Temperatura Ebullición del Agua**

Presión Absoluta (mBar)	Temperatura de Ebullición del Agua (°C)
10	6.7
15	12.7
20	17.2
25	20.8
30	23.8
40	28.6
50	32.5
60	35.8
80	41.2
100	45.4
120	49.1
150	53.6
200	59.7
250	64.6
300	68.7
350	72.2
400	75.4
500	80.9
600	85.5
700	89.5
800	92.9
900	96.2
1000	99.1

Fuente: Adaptado de [9]

Se recomienda que este proceso no se realice en un ambiente muy frío, ya que esto aumentaría la presión de vacío que sería necesaria para lograr la evaporación del agua. Cabe resaltar que el vacío al ser un excelente aislante térmico no afecta la temperatura interna del transformador [9].

Este método tiene un tiempo de secado relativamente bajo en comparación con otros métodos lo que supone una ventaja. Sin embargo, no es muy recomendado para niveles de humedad iniciales mayores a 2.5% [9]. Además, se debe considerar que el vacío a aplicar es elevado por lo que es necesario asegurarse de que los compartimientos internos del transformador soporten la presión a recibir.

c) Secado por circulación de aceite caliente

Uno de los métodos que más se ha utilizado para este procedimiento es el secado por circulación de aceite caliente. De forma resumida este método consiste en la aplicación

de calor en la parte activa del transformador para posteriormente utilizar el método de alto vacío.

Primeramente, se hace circular aceite aislante caliente, seco y libre de gas a la parte activa del transformador hasta cubrir el 70% o 80% del volumen total. La temperatura a la que llega el aceite está entre 60 ° C y 80 ° C [9], ya que, calentar el aceite a una mayor temperatura podría hacer que se degrade y el secado no sea efectivo.

Debido a la baja humedad relativa del aceite seco, parte del agua que inicialmente estaba en el papel aislante se dirige hacia el aceite. Esto reduce el contenido de humedad que tendrá el sistema aislante. El aceite luego pasa por el filtro que extrae la humedad absorbida y vuelve a recircular por el sistema repitiendo este proceso [14].

Aproximadamente un día después de realizar esta etapa, se retira el aceite que se roció en el transformador y se aplica el procedimiento usado en alto vacío [9], solo que en este caso se tiene la posibilidad de usar una presión intermedia, más fácil de lograr, para extraer la humedad del sistema aislante.

Este método reduce en parte el tiempo de secado con respecto a los métodos expuestos anteriormente. También hay que considerar que a diferencia del secado únicamente por aplicación de vacío, permite realizar un secado con mayor eficiencia; logrando reducir niveles de humedad mayores a 2.5% [9]. Sin embargo, existe riesgo de daño en elementos internos del transformador debido a la aplicación de vacío, además de existir la posibilidad de degradación del aceite debido a la temperatura utilizada [10]. Lo último sucede especialmente cuando la humedad en el transformador es muy alta, en estos casos, si se degradase el aceite, sería necesario retirarlo y rociar nuevamente aceite a la temperatura necesaria (ver figura 2.5).



**Figura 2.5: Sistemas de Secado Por Circulación de Aceite**

Fuente: [13]

d) Secado por método de vapor fase

Este método es actualmente uno de los más utilizados en el secado de transformadores debido a su alta eficiencia para eliminar la humedad del sistema aislante. Su alta eficiencia se debe a que permite elevar la temperatura del aislante en simultáneo con la aplicación de vacío [12]. Esto acelera el proceso y se logra secar el transformador en varios días menos que el método de circulación de aceite caliente, e incluso podría realizarse el secado en menos de un día dependiendo de las características del transformador.

Para elevar la temperatura del interior se rocía vapor o líquido caliente, comúnmente solvente o kerosene. En el pasado se aplicaba vapor, sin embargo, ahora se utiliza el elemento en forma líquida [12] para que no se mezcle con la humedad extraída del aislamiento (ver figura 2.6).

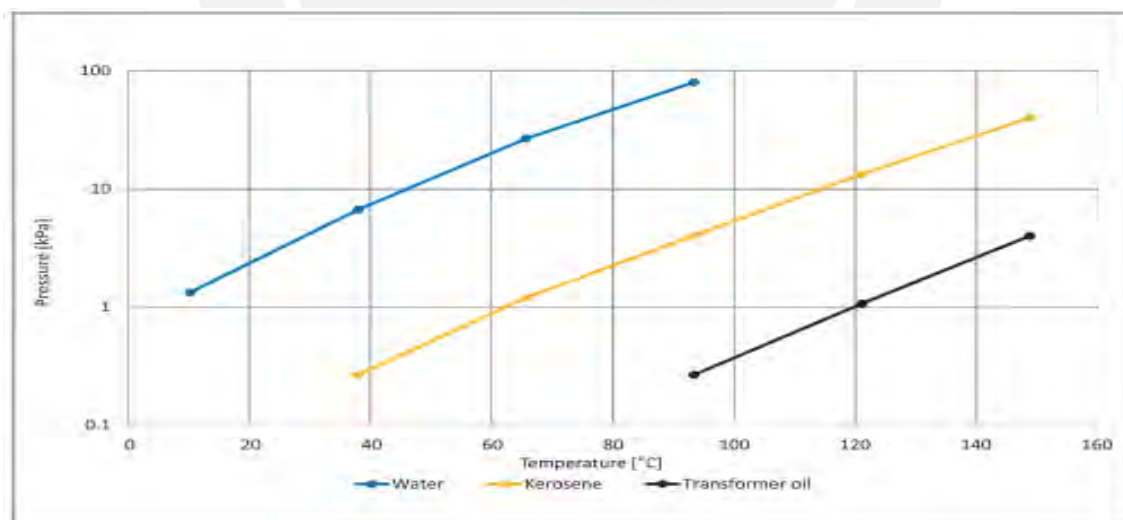


**Figura 2.6: Rociador de Solvente**

Fuente: [12]

El líquido es aplicado al aislamiento sólido a una temperatura aproximada de 130 °C. Al hacer esto, el papel Kraft podría llegar a una temperatura máxima de 115 °C [9]. Por esta razón, se tiene que monitorear la temperatura con el propósito de que no se dañe el papel aislante.

Para evaporar la humedad del aislamiento se aplica vacío en simultáneo con el calor. Con esto en consideración, el líquido utilizado no debe evaporarse, ya que será recirculado durante todo el proceso. De evaporarse, se mezclaría con la humedad extraída del aislamiento por lo que no se podría utilizar en el resto del proceso. Por este motivo, la selección del líquido a rociar se realiza considerando la temperatura de ebullición en función a la presión de vacío que se desea aplicar. Este efecto se explicará mejor en la figura 2.7:



**Figura 2.7: Comparación entre Agua, Kerosene y Aceite Mineral**

Fuente: [12]

Se puede demostrar que, mediante un control simultáneo de presión y temperatura, se puede lograr que se evapore la humedad del aislamiento, mientras se mantiene el kerosene en estado líquido [12]. En la gráfica también se ve que el control sería más sencillo con aceite mineral, pero esto no es posible porque se degrada con facilidad a temperaturas mayores de 80 °C.

Las principales ventajas de este método son el ahorro en tiempo de secado (en comparación a los métodos anteriores) que lleva consigo un ahorro energético. Además de reducir los posibles daños debido al vacío, ya que gracias a la aplicación de calor se reduce la presión necesaria en el proceso. Por su eficiencia, este método puede lograr una humedad residual menor al 0.3% [13]. Probablemente su mayor desventaja estaría en la necesidad de aplicar kerosene, lo que supone un riesgo en varias situaciones debido a la aplicación de calor [13].

e) Secado por corriente de baja frecuencia (LFH)

Este método es una de las soluciones más recientes que se ha desarrollado para el problema del secado de transformadores. Sigue el principio de aplicar vacío en combinación con calor para acelerar el proceso. Solo que en este caso se logra elevar la temperatura de la parte activa del transformador usando una corriente de baja frecuencia entre 1 mHz y 5 Hz en los devanados del equipo [14].

El secado por corriente de baja frecuencia (ver figura 2.8) permite calentar el aislamiento a una temperatura hasta de 120 °C como en los métodos anteriores, y al igual que en esos métodos es necesario que se supervise la temperatura para evitar la formación de puntos calientes que dañan el aislamiento [11].

Se logra obtener una mejor calidad de secado, ya que el calor se genera directamente en los devanados y los materiales aislantes que es considerado el lugar perfecto para retirar la humedad del sistema. Al hacer esto se logra obtener tiempos de secado menores, un ahorro de energía y espacio considerables y disminuye el riesgo de incendio, además de que genera menos despolimerización del papel aislante [11]. A pesar de estas ventajas, este método solo puede secar el papel cerca de las bobinas por lo que si existiese otra parte del transformador que presente humedad, esta no podrá ser retirada.



**Figura 2.8: Sistema de Secado por LFH**

Fuente: [13]

f) Secado por circulación de aire caliente

Este método se puede aplicar en cualquier tipo de transformador, pero se utiliza especialmente en transformadores de baja o mediana potencia donde no es posible utilizar los métodos que someten al equipo a una presión de vacío, debido al daño que esta supone para la estructura interna del transformador [8].

El tiempo de secado para este método es menor a un día y generalmente va de 8 a 14 horas en el caso particular de transformadores de baja potencia [1]. Si este método se

aplicase en un transformador de mayor potencia el tiempo de secado sería considerablemente mayor al de los métodos de secado por corriente de baja frecuencia o por aplicación de vacío.

El principio de funcionamiento de este método es simple (ver figura 2.9). Básicamente consiste en la aplicación directa de calor por medio de aire a altas temperaturas, normalmente entre 100 °C y 110 °C [8]. Para cumplir los requerimientos de temperatura se utiliza un grupo de resistencias eléctricas y un ventilador en el horno.

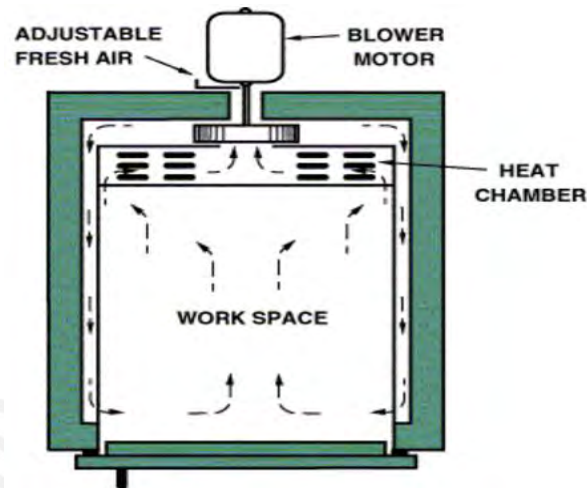


Figura 2.9: Composición de un Horno de Secado Eléctrico

Fuente: [15]

## 2.2. Objetivos

### 2.2.1. Objetivos generales

Analizar el sistema electrónico del horno de secado a gas presente en la universidad y en base a esto, diseñar e implementar las mejoras necesarias para que funcione como prototipo final.

### 2.2.2. Objetivos específicos

Para lograr lo anteriormente mencionado, será necesario cumplir los siguientes objetivos:

- Revisión del sistema electrónico del horno de secado PUCP, además del diseño e implementación de las mejoras necesarias.
- Lograr un monitoreo eficiente de temperatura con un error de medición máximo de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  en el intervalo de  $20^{\circ}\text{C}$  a  $130^{\circ}\text{C}$ .
- Validar el control de temperatura en el rango de interés para el secado de transformadores ( $90^{\circ}\text{C}$  a  $120^{\circ}\text{C}$ ).
- Lograr un control de temperatura con un tiempo de establecimiento menor a 30 minutos y con una estabilidad de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Realizar un monitoreo de humedad en el rango 10% a 90%.
- Integrar la interfaz de usuario al prototipo de horno de secado, con los cambios necesarios.



# CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO E IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS

## 3.1. Resumen del sistema electrónico inicial

El horno de secado para transformadores motivo de este trabajo de tesis describe su funcionamiento de acuerdo al siguiente diagrama de bloques:

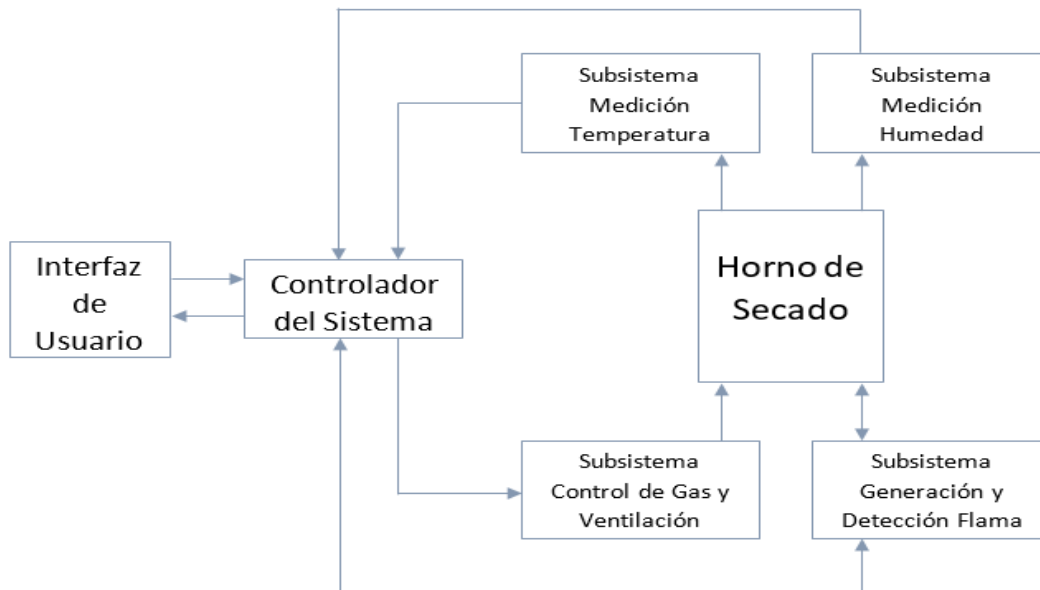


Figura 3.1: Diagrama de Bloques del Sistema Electrónico

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se explicará brevemente la función que cumple cada elemento detallado en el diagrama de bloques:

- **Subsistema de Medición de Temperatura**  
Se encargará de la medición de la variable de control (temperatura). Al ser el rango de control deseado un valor de temperatura entre 90 °C y 120 °C, se determina un rango de medición entre 20 °C y 130 °C.
- **Subsistema de Medición de Humedad**  
Se encargará del monitoreo de humedad, esta variable se usará como indicador de la eficiencia del proceso. Esto se logrará verificando que el valor de humedad medida no tienda a crecer durante el secado.
- **Subsistema de Control de Gas y Ventilación**  
Activa, corta o regula el flujo de gas para tomar una acción de control sobre el sistema. También se incluye un control para activar o desactivar el sistema de ventilación cuando se necesite.
- **Subsistema de Generación y Detección de Flama**  
Se encarga de encender el gas que llega al quemador del horno. Además, detecta la presencia de flama para evitar fugas de gas.

- **Interfaz de Usuario**  
En esta se selecciona los valores de temperatura y tiempo de secado deseados en el proceso. Además, muestra en una pantalla los valores de temperatura y humedad que se obtienen durante el secado.
- **Controlador del Sistema**  
Realiza la lectura de los datos ingresados en la interfaz de usuario y las variables de medición. En base a estas se toman acciones de control sobre el horno de secado para cumplir con los requisitos deseados.

Al recibir el prototipo de horno de secado, se encontraron fallas en diferentes partes del sistema electrónico. Se tuvo información correspondiente al diseño de los diversos componentes [18]; sin embargo, en algunos casos se observaron diferencias con los circuitos implementados. Por lo que para motivos de esta tesis se analizará directamente a los circuitos implementados y en base a las observaciones realizadas se diseñarán e implementarán mejoras de ser necesario.

### 3.2. Subsistema de medición de temperatura

#### 3.2.1. Evaluación de la selección del sensor

El sensor de temperatura que se encontraba en el horno de secado era un PT100 de 3 hilos. Este tipo de sensor posee la particularidad de que varía su resistencia de acuerdo a la temperatura medida; siendo esta resistencia igual a 100 ohm para una temperatura de 0 °C.

Para verificar si el sensor se encontraba en buen estado para su uso en el horno, se procedió a medir el valor de resistencia entre dos de sus terminales no comunes; sin embargo, la lectura del multímetro indicaba que el sensor se comportaba como un circuito abierto en lugar de una resistencia variable. De esta forma se determinó que el sensor utilizado no se encontraba operativo.

Antes de adquirir un nuevo sensor de temperatura, fue necesario realizar una evaluación técnica entre las diferentes opciones o métodos de medición, la misma que se detalla en la siguiente tabla 3.1.

**Tabla 3.1: Evaluación Sensor Temperatura**

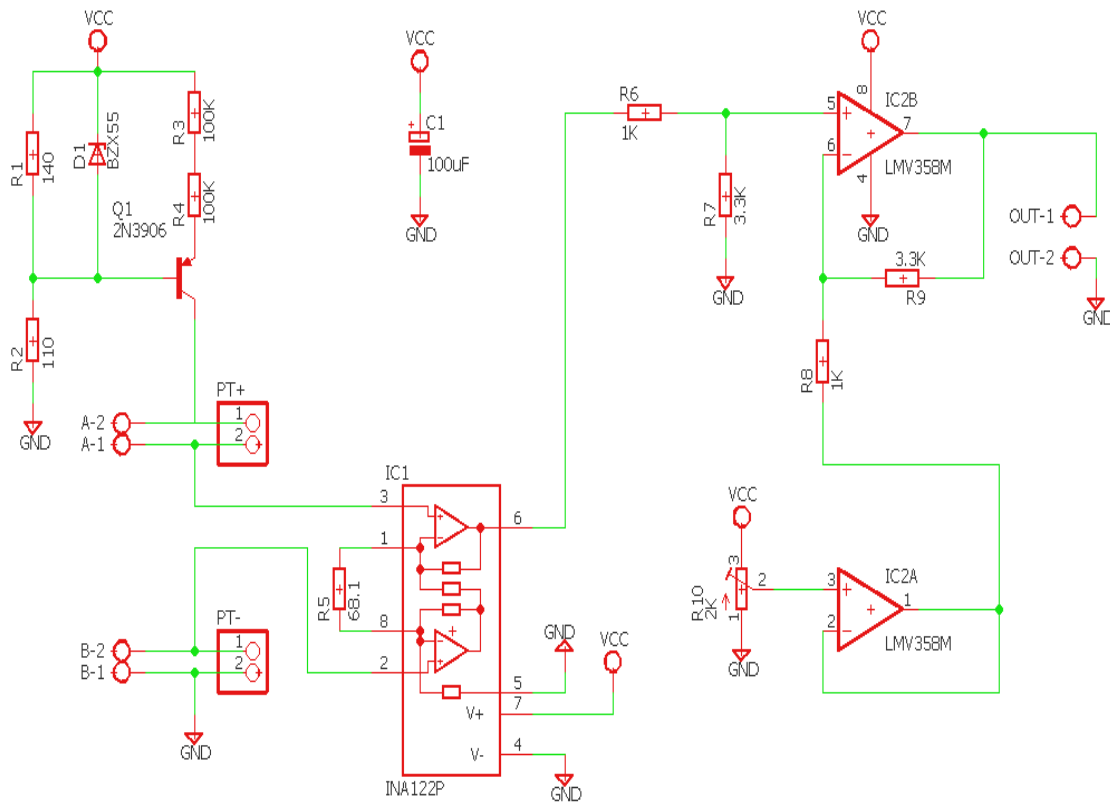
Tipo de Sensor	Termocupla	RTD (PT100)	Termistor	Circuito Integrado
Rango Medición (más amplio)	-270 a 1800 °C	-260 a 850 °C	-80 a 150 °C	-55 a 150 °C
Variable Sensible a	Voltaje	Resistencia	Resistencia	Voltaje

Temperatura				
Linealidad	No Lineal	Aproximadamente Lineal	Altamente NO Lineal	Altamente Lineal
Precisión (En el mejor caso)	1 °C	0.03 °C	0.02 °C	0.5 °C
Sensibilidad	Muy Baja 0.039 mV/°C	Baja 0.00385 ohm/°C	Alta 100 ohm/°C	Moderada 10 mV/°C
Costo	En rango lineal. Bajo Costo.	Aproximadamente en todo su rango de operación. Costo Elevado.	En su mejor rango lineal. Bajo Costo.	En todo su rango de operación. Bajo Costo

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede ver en la tabla anterior, tanto el sensor tipo RTD como el de circuito integrado presentan las mejores características de linealidad, además de una precisión aceptable. Entre estas dos opciones de sensor se escogió nuevamente el RTD PT100 ya que, a pesar de su costo elevado y baja sensibilidad, en términos de precisión supera en gran medida al sensor de tipo circuito integrado, además se pueden adquirir con varilla de protección lo que los hace más robustos. A esto se suma el hecho de que, en el mercado local los modelos de sensor de circuito integrado disponibles tienen una temperatura límite de 110 °C como en el caso del LM35DZ [19], valor que es inferior a la temperatura máxima que se desea medir (130 °C).

### 3.2.2. Análisis del circuito de acondicionamiento



**Figura 3.2: Circuito Inicial Acondicionamiento Temperatura**

Fuente: Adaptado de [18]

El circuito que se expone en la figura 3.2 describe su funcionamiento en tres etapas. La primera, es una fuente de corriente de 0.01 mA formada por un diodo zener (2.7 V) y un transistor PNP 2N3906. Esta fuente convierte el valor de resistencia del PT100 a un nivel de voltaje del orden de los mV, por este motivo pasa a una segunda etapa donde se encuentra un amplificador de instrumentación (INA 122P) de ganancia 2942 que permite realizar lecturas de voltaje con mayor facilidad. Finalmente, en la tercera etapa se tiene un amplificador restador (elaborado con LMV358) que escala el nivel de tensión a un valor entre 0 y 5 voltios para realizar lecturas con un ADC.

#### Cálculos:

##### I. Fuente de Corriente

$$I_{fuente} = \frac{V_{cc} - [(V_{cc} - V_{zener}) + V_{be}]}{R3 + R4} = \frac{V_{zener} - V_{be}}{R3 + R4} \quad (3.1)$$

$$I_{fuente} = \frac{2.7 - 0.7}{100K + 100K} = 0.01 \text{ mA} \quad (3.2)$$

Observación: Las resistencias R1 y R2 determinan la corriente que pasa por el diodo zener. De acuerdo a los datos de fabricante [20] esta debe ser cercana a alguno de los puntos de prueba (5 mA o 1 mA) para su buen funcionamiento.

$$I_{zener} = \frac{V_{cc} - V_{zener}}{R2} - \frac{V_{zener}}{R1} \quad (3.3)$$

$$I_{zener} = \frac{5 - 2.7}{110} - \frac{2.7}{140} = 1.623 \text{ mA} \quad (3.4)$$

## II. Amplificador de Instrumentación (Ganancia)

De acuerdo a la hoja de datos [21]:

$$G_{amp} = 5 + \frac{200K}{R5} \quad (3.5)$$

$$G_{amp} = 5 + \frac{200K}{68.1} = 2941.86 \quad (3.6)$$

## III. Amplificador Restador

Ganancia: Con  $R7 = R9$  y  $R6 = R8$ .

$$G_{rest} = \frac{R7}{R6} = \frac{R9}{R8} = \frac{3.3K}{1K} = 3.3 \quad (3.7)$$

Ecuación resta:

$$V_{out} = (V_{amp} - V_{ref}) * G_{rest} \quad (3.8)$$

Observación:  $V_{ref}$  es un valor de referencia de temperatura, puede ser  $V_{amp}$  para  $R_{pt100} = 100 \text{ ohm}$  ( $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) u otro valor. Esto se hace para limitar el rango de medición de temperatura al que se desee.

## IV. Ecuación Final

Tomando en consideración las ecuaciones anteriores se tiene el siguiente resultado:

$$V_{out} = G_{rest} * ((I_{fuente} * R_{sensor}) * G_{amp} - V_{ref}) \quad (3.9)$$

Al medir temperaturas entre los  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ , el sensor PT100 toma valores entre  $100 \text{ ohm}$  y  $150 \text{ ohm}$  de acuerdo a la tabla referenciada [22]. Entonces tomando como referencia  $V_{ref} = V_{amp}(R_{sensor}=100\text{ohm})$ :

$$V_{ref} = G_{amp} * I_{fuente} * R_{sensor}_{(0^\circ\text{C})} \quad (3.10)$$

$$V_{ref} = 2941.86 * 0.01\text{mA} * 100\text{ohm} = 2.94 \text{ V} \quad (3.11)$$

Finalmente:

$$V_{out} = 3.3 * (0.01\text{mA} * R_{sensor} * 2941.86 - 2.94 \text{ V}) \quad (3.12)$$

$$\text{Para } R = 100 \text{ ohm: } V_{out} \approx 0 \text{ V} \quad (3.13)$$

$$\text{Para } R = 150 \text{ ohm: } V_{out} \approx 4.86 \text{ V} \quad (3.14)$$

### Estado del circuito previo:

Al colocarse una resistencia de prueba ( $100 \text{ ohm}$ ) en la bornera de entrada del circuito se detectó una falla en la etapa final de amplificado, este se debía a un problema con el integrado LMV358 que a su salida entregaba siempre un valor cercano a 5 voltios. Si bien el problema podría haber sido solucionado reemplazando el integrado mencionado,

no se pudo porque este elemento de montaje superficial, junto a otros, se encontraban soldados en la cara opuesta de donde se consideraba en el diseño; es decir, la tarjeta implementada previamente, tenía componentes soldados en ambas caras. Además, como se logró identificar algunas mejoras al diseño previo, se optó por implementar una nueva tarjeta.

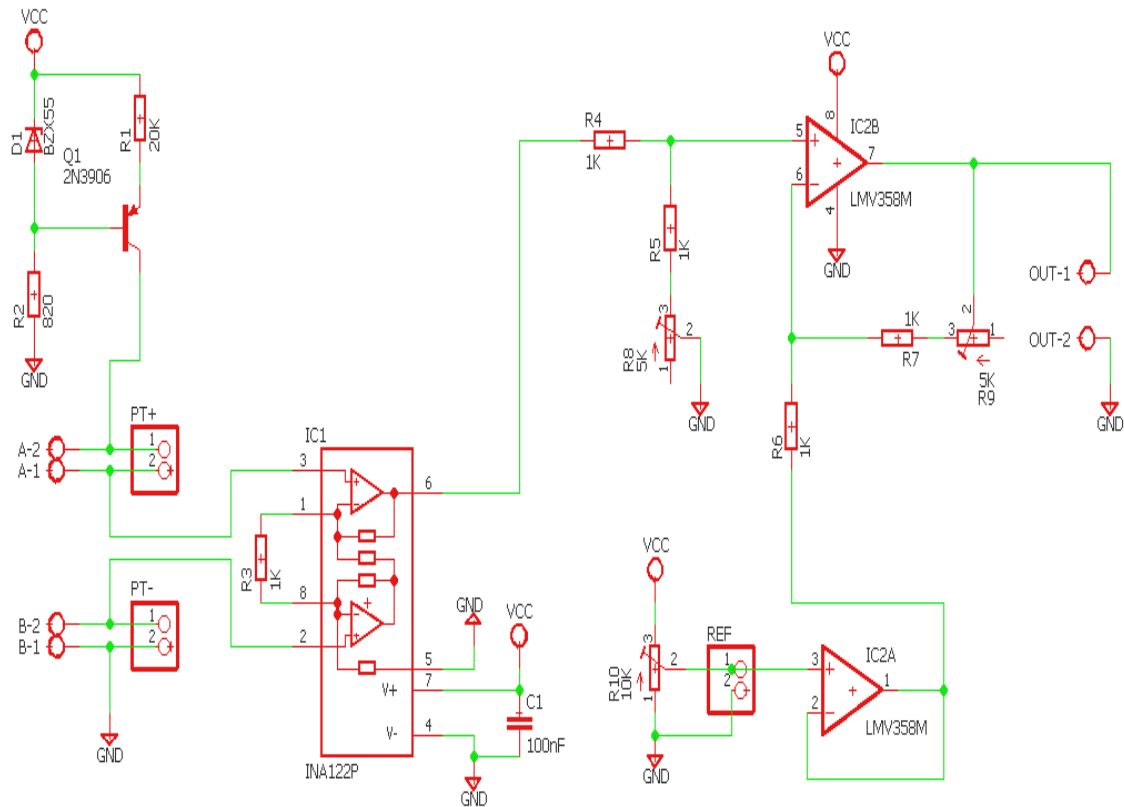
Los detalles de las mejoras identificadas junto al resultado final del circuito impreso implementado se presentarán en la subsección siguiente.

### 3.2.3. Modificaciones al circuito de acondicionamiento

De acuerdo a la bibliografía revisada sobre sensores PT100 [22] la corriente de excitación normalmente debería tomar valores entre 0.1 mA y 2 mA, esto se debe a que corrientes superiores inducen un error considerable por calentamiento del sensor; por otro lado, una corriente menor dificulta las lecturas de la señal y exigen ganancias de amplificador más elevadas lo que, de acuerdo a los datos disponibles en la hoja de datos del integrado INA 122P [21], incrementa el error de ganancia.

La fuente de corriente que se tenía inicialmente era de 0.01 mA la cual es 10 veces menor al valor mínimo recomendado. Como esta corriente era muy pequeña, la ganancia del amplificador INA 122P era elevada (2941.86), además los valores de tensión obtenidos a la salida de la fuente eran muy bajos (entre 1 y 1.5 mV) para poder distinguir cambios con el multímetro.

Con esto en consideración se modificó el diseño inicial para que la fuente de corriente sea de 0.1 mA (el valor mínimo recomendado), con esto se mantiene en un nivel bastante bajo el error por corriente de excitación y a la vez se disminuye la ganancia del amplificador de instrumentación a 205. Adicionalmente se utilizaron potenciómetros en el amplificador restador para poder escalar con mayor precisión el nivel final de voltaje, el valor que finalmente se usó para los potenciómetros fue de 4.62 Kohm (valor no comercial). El circuito esquemático que contempla las modificaciones mencionadas se muestra a continuación en la figura 3.3:



**Figura 3.3: Circuito Final de Acondicionamiento de Temperatura**

Fuentes: Elaboración Propia

### Cálculos:

#### I. Fuente de Corriente

El valor de R2 se obtuvo experimentalmente (mediante calibración con potenciómetro), de tal forma que se obtenga 2 voltios entre los terminales de R1; esto a su vez permitió lograr con mayor exactitud el valor deseado en la fuente de corriente.

Corriente en diodo zener:

$$I_{zener} = \frac{V_{cc} - V_{zener}}{R2} \quad (3.15)$$

$$I_{zener} = \frac{5 - 2.54}{820} = 3 \text{ mA} \quad (3.16)$$

Observación: Se obtuvo  $V_{zener} = 2.54 \text{ V}$  con el ajuste de la corriente en el diodo. Este valor de tensión se encuentra dentro de los límites propuestos por el fabricante [20].

Corriente de la fuente:

$$I_{fuente} = \frac{V_{zener} - V_{be}}{R1} \quad (3.17)$$

$$I_{fuente} = \frac{2.54 - 0.54}{20K} = 0.1 \text{ mA} \quad (3.18)$$

## II. Amplificador de Instrumentación (Ganancia)

De acuerdo a la hoja de datos [21]:

$$G_{amp} = 5 + \frac{200K}{R3} \quad (3.19)$$

$$G_{amp} = 5 + \frac{200K}{1K} = 205 \quad (3.20)$$

## III. Amplificador Restador

Ganancia: Con  $R4 = R6$  y  $R5 + R8 = R7 + R9$ .

$$G_{rest} = \frac{R5 + R8}{R4} = \frac{R7 + R9}{R6} = \frac{4.62K}{1K} = 4.62 \quad (3.21)$$

Ecuación resta:

$$V_{out} = (V_{amp} - V_{ref}) * G_{rest} \quad (3.22)$$

## IV. Ecuación Final

$$V_{out} = G_{rest} * ((I_{fuente} * R_{sensor}) * G_{amp} - V_{ref}) \quad (3.23)$$

Considerando como referencia la temperatura a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :  $V_{ref} = V_{amp}(R_{sensor}=100\text{ohm})$ .

$$V_{ref} = G_{amp} * I_{fuente} * R_{sensor}(0\text{ }^{\circ}\text{C}) \quad (3.24)$$

$$V_{ref} = 205 * 0.1\text{mA} * 100\text{ohm} = 2.05\text{ V} \quad (3.25)$$

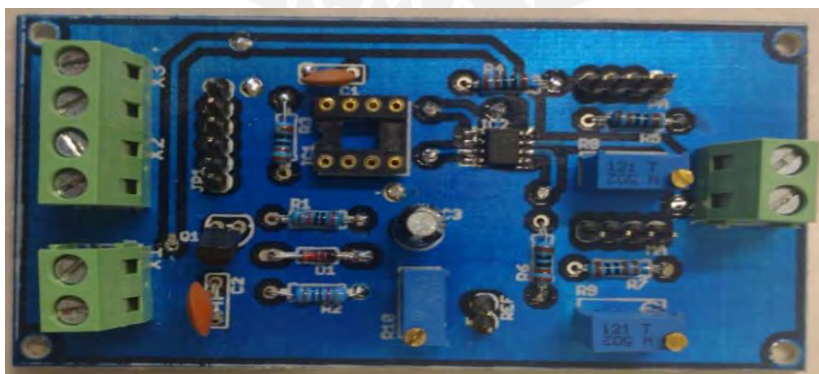
Finalmente:

$$V_{out} = 4.62 * (0.1\text{mA} * R_{sensor} * 205 - 2.05\text{ V}) \quad (3.26)$$

$$\text{Para } R = 100\text{ ohm: } V_{out} \approx 0\text{V} \quad (3.27)$$

$$\text{Para } R = 150\text{ ohm: } V_{out} \approx 4.74\text{V} \quad (3.28)$$

Circuito implementado (ver figura 3.4):



**Figura 3.4: Tarjeta Impresa Medición de Temperatura**  
Fuente: Elaboración Propia



### 3.3. Subsistema de medición de humedad

#### 3.3.1. Evaluación de la selección del sensor

El sensor de humedad que se escogió previamente para el horno de secado fue el HS1101LF, un sensor del tipo capacitivo con un rango de medición de 0 a 100% HR y una temperatura de trabajo que admite desde -60 °C hasta 140 °C. La capacitancia del sensor varía en el rango de 161.6 pF (0% HR) y 193.1 pF (100% HR).



**Figura 3.5: Sensor HS1101LF**

Fuente: [23]

Para verificar que este sensor se encuentre operativo solo fue necesario medir la capacitancia entre sus terminales y verificar que esta se encuentre dentro de los límites aceptables en su hoja de datos [23]. Al hacer esta prueba se obtuvo una capacitancia de 182 pF, lo que corresponde a una humedad relativa entre 60 y 65%. Además, al hacer algunas pruebas con vapor de agua se pudo ver que el valor subía hasta alrededor de 190 pF, que representa una humedad cercana al 90%. Esta prueba determinó el correcto funcionamiento del sensor.

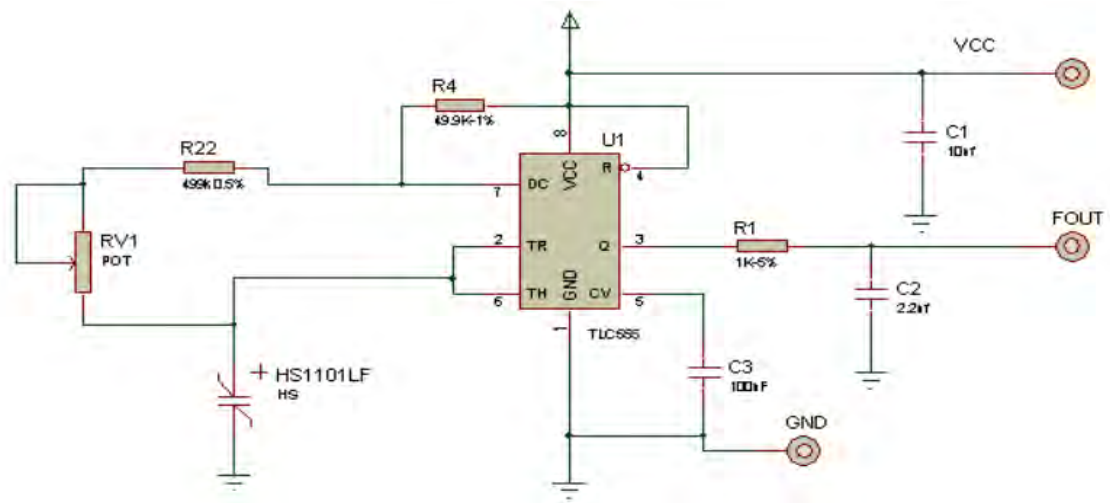
El motivo principal que valida la correcta selección del sensor es la temperatura a la que este puede trabajar. Ya que, este puede trabajar en un ambiente de hasta 140 °C; lo que lo hace compatible para el proceso de secado donde se trabajará a una temperatura máxima de 120 °C. Cabe resaltar que este sensor fue importado debido a que en el mercado local los sensores de humedad no soportan temperaturas muy elevadas.

#### 3.3.2. Diseño del circuito de acondicionamiento

##### Estado del circuito previo:

En el caso del circuito de acondicionamiento del sensor de humedad, desafortunadamente, no se pudo analizar el diseño previo; debido a que, este circuito impreso no se encontraba dentro del tablero de control al recibir este proyecto.

Aun así, al disponer del modelo del sensor (HS1101LF) se pudo investigar que en los datos del fabricante [23] se proponía un diseño para acondicionar la señal recibida por el sensor. El diseño se muestra en la figura 3.6:



**Figura 3.6: Acondicionamiento Propuesto por el Fabricante**

Fuente: [23]

El circuito de la imagen anterior consiste en un oscilador astable con el temporizador TLC555. Este modifica la frecuencia de la señal de salida de acuerdo al valor del sensor, que es visto como una capacitancia variable. Lo mencionado se expresa en la ecuación 3.29:

$$F_{salida} = \frac{1}{C * (R4 + 2 * (R22 + RV1)) * Ln(2)} \quad (3.29)$$

En esta ecuación 'C' es la capacitancia obtenida por el sensor. Ensayos realizados por el fabricante permiten determinar los valores de frecuencia esperados de acuerdo al valor de humedad:

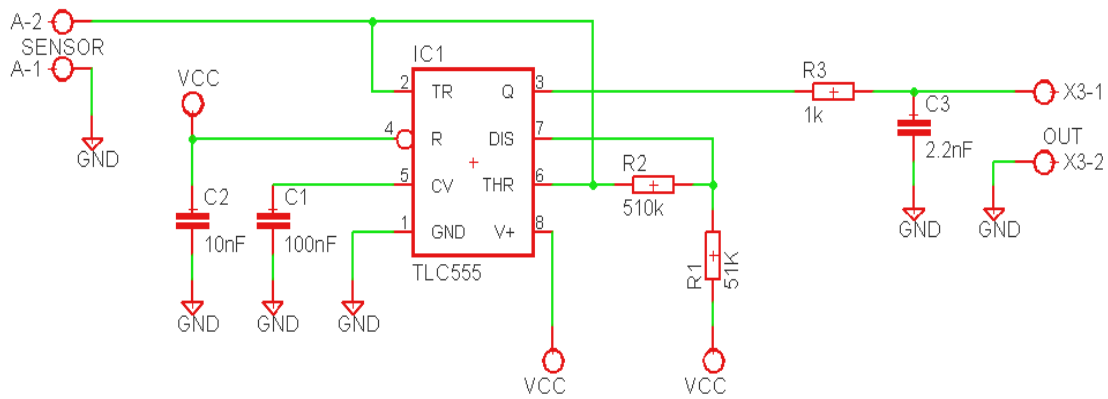
**Tabla 3.2: Relación de Humedad y Frecuencia**

<b>RH (%)</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>45</b>	<b>50</b>
<b>Fout (Hz)</b>	-	-	7155	7080	7010	6945	6880	6820	6760	6705	6650
<b>RH (%)</b>	<b>55</b>	<b>60</b>	<b>65</b>	<b>70</b>	<b>75</b>	<b>80</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	
<b>Fout (Hz)</b>	6600	6550	6500	6450	6400	6355	6305	6260	6210	-	

Fuente: [23]

Es importante mencionar que de acuerdo a lo ilustrado en la tabla 3.2 y lo expuesto en la hoja de datos del sensor [23], la respuesta del sensor y por tanto también la del circuito de acondicionamiento no es lineal.

Diseño realizado:



**Figura 3.7: Circuito de Acondicionamiento de Humedad**

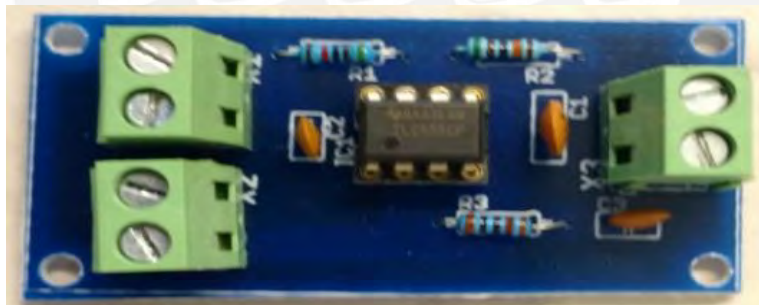
Fuente: Elaboración Propia

El diseño expuesto en esta imagen corresponde al mismo que propone el fabricante, con la única variante de que se usan valores comerciales para las resistencias del oscilador.

Reemplazando los valores de la ecuación (3.29):

$$F_{salida} = \frac{1}{C * (R1 + 2 * R2) * Ln(2)} \quad (3.30)$$
$$= \frac{1}{C * (51K + 2 * 510K) * Ln(2)}$$

Circuito implementado (ver figura 3.8):



**Figura 3.8: Tarjeta Impresa Medición de Humedad**

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4. Subsistema de generación y detección de flama

#### 3.4.1. Subsistema de generación de flama

Para la generación de la flama en el horno de secado, se requiere la ignición del gas que ingresa al quemador. Por este motivo, el sistema inicial contaba con un generador de chispa de cocina que funcionaba con una entrada de 220 VAC y a su salida tenía electrodos de alta tensión que al acercarse a un material metálico generaban la chispa o arco eléctrico que a su vez encendía la flama del quemador de gas.

Este generador de chispa presentaba fallas, debido a que al momento de generar el arco eléctrico, se generaba una tensión momentánea mayor a 1500 V (medido con

multímetro) en la entrada de 220 VAC, esta falla en la línea de alimentación no solo afectaba al circuito de acondicionamiento, sino también a todo el sistema electrónico en general.

Por esta razón, se adquirió un nuevo generador de chispa con las siguientes características: 4 salidas, entrada 220 VAC, 1.2 W. Como se muestra en la figura 3.9.



Figura 3.9: Generador de Chispa 220 VAC

Fuente: [24]

#### 3.4.1.1. Análisis del circuito de control

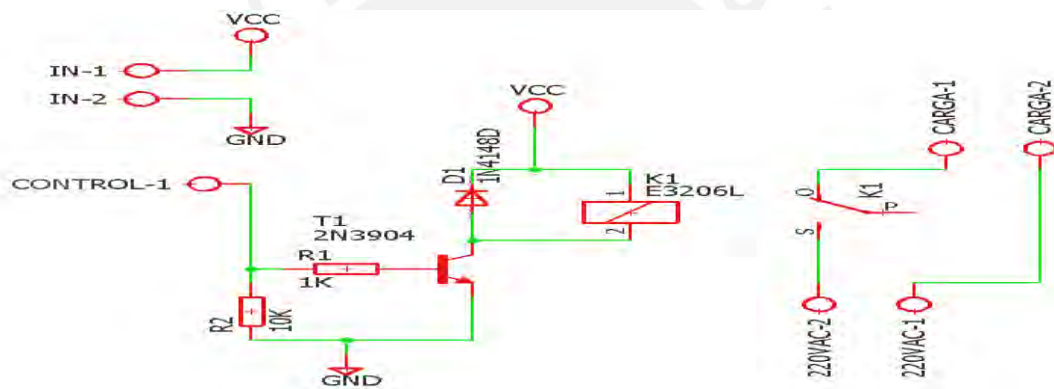


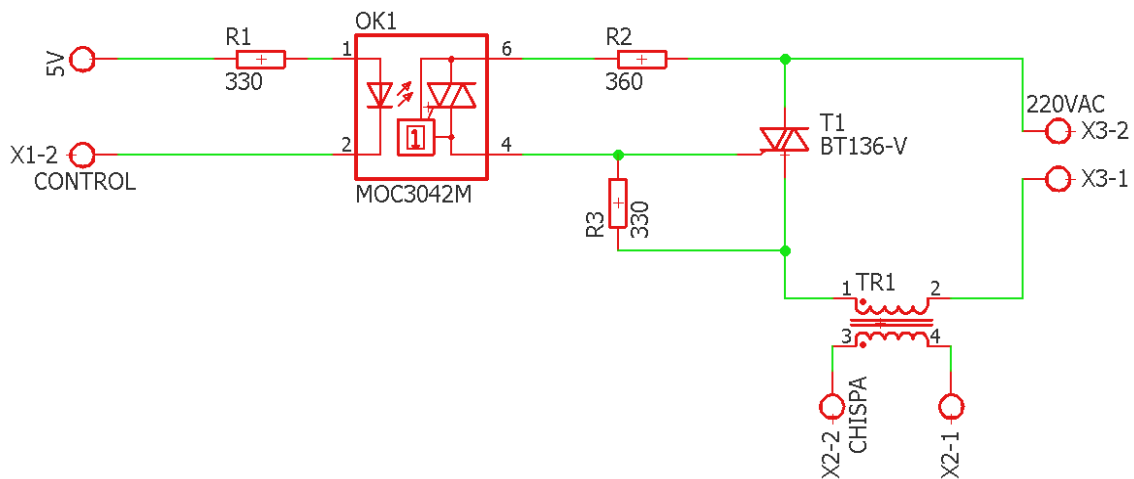
Figura 3.10: Circuito Inicial Para Control de Chispa

Fuente: Elaboración Propia.

El circuito presentado en la figura 3.10 acciona al generador de chispa mediante la conmutación de un relé. Primeramente, la señal de control cambia el estado de conducción del transistor T1, esta etapa es necesaria para limitar la corriente que entrega el microcontrolador. Este transistor es el que conmuta los terminales del relé para que la tensión alterna alimente al generador de chispa. El diodo D1 se utiliza para proteger al transistor.

#### 3.4.1.2. Modificaciones al circuito de control

El relé es un dispositivo electromagnético que realiza conmutaciones mecánicas para permitir o no el paso de energía hacia la carga. La frecuencia de estas conmutaciones genera chispas que acortan en gran medida el tiempo de vida de este dispositivo; lo que no sucede en el caso del triac, que es un dispositivo semiconductor y posee un tiempo de vida mucho mayor. Debido a esto, se prefirió realizar un diseño con triac que se detalla en la figura 3.11:

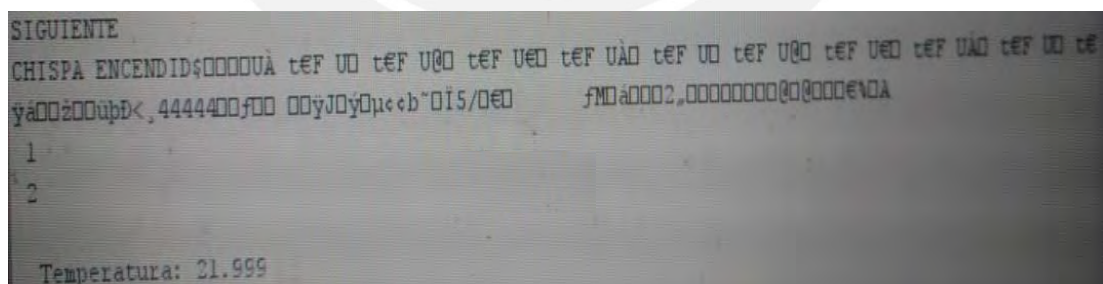


**Figura 3.11: Circuito Final Para Control de Chispa**

Fuente: Elaboración Propia

El diseño de este circuito se basa en el propuesto en la hoja de datos del fabricante [25]. En este, una señal lógica acciona el led del optotriac MOC3042 cuya luz infrarroja inicia la conducción del triac interno en el momento de cruce por cero para no generar ruido en la línea, lo que a su vez permite que la carga reciba la tensión alterna de 220 VAC a través del triac BT136. Para esta aplicación se seleccionó un optotriac con detección de cruce por cero, ya que solo se necesita para aplicaciones de encendido o apagado del sistema.

En este circuito fue importante añadir un transformador de aislamiento antes del generador de chispa, ya que experimentalmente hubo fallas aleatorias al momento de generar el arco eléctrico. Al ser el nivel de tensión muy elevado a la salida del generador surgía una corriente parásita que afectaba a otros componentes del tablero de control, si bien la falla en algunos casos era momentánea, en otros se llegaba al punto de que el microcontrolador se reiniciaba o se manifestaba el ruido eléctrico en el puerto serial o la pantalla LCD. Un ejemplo de la falla mencionada se muestra en la siguiente figura 3.12:



**Figura 3.12: Error en Puerto Serial**

Fuente: Elaboración Propia

Una vez colocado el transformador de aislamiento entre el circuito de control y el generador de chispa, ya no se tuvo más inconvenientes al generar el arco eléctrico.

Cálculos:

- I. Microcontrolador (Arduino Uno): Por pin digital.

$$I_{max}(absoluto) = 40 \text{ mA} \quad (3.31)$$

$$I_{max(recomendado)} = 20 \text{ mA} \quad (3.32)$$

II. Optotriac:

Para MOC3042:  $10 \text{ mA} \leq I_{led} \leq 60 \text{ mA}$ , según fabricante [25]. Entonces:

$$10 \text{ mA} \leq I_{led} = \frac{5V - V_{led}}{R1} \leq 20 \text{ mA} \quad (3.33)$$

$$\text{Con } R1 = 330 \text{ ohm: } I_{led} = \frac{5 - 1.3}{330} = 11.2 \text{ mA} \quad (3.34)$$

III. Transformador:

Corriente medida en el generador de chispa:

$$I_{chispa} = 5.8 \text{ mA} \quad (3.35)$$

Al seleccionar el transformador, el de menor dimensión que se pudo obtener fue de una potencia de 50W, este se puede ver en la figura 3.13.

$$I_{max(transformador)} = \frac{P(transformador)}{V} \quad (3.36)$$

$$I_{max(transformador)} = \frac{50W}{220V} = 227.27 \text{ mA} \quad (3.37)$$

$> I_{chispa}$



**Figura 3.13: Transformador de Aislamiento Adquirido**

Fuente: Elaboración Propia

Circuito implementado (ver figura 3.14):



**Figura 3.14: Tarjeta Impresa para Control de Chispa**

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2. Subsistema de detección de flama

#### 3.4.2.1. Evaluación de la selección del sensor

El sensor que se encontró en el prototipo de horno de secado fue una termocupla tipo J, este se ubicaba a 5 cm del quemador de gas por lo que durante las pruebas anteriores este sensor estuvo en contacto directo con el fuego generado. Se pudo observar que en los ensayos anteriores fueron utilizadas al menos 2 termocuplas más, las mismas que ya se encontraban dañadas debido a la exposición al fuego.

Con esta observación realizada, se decidió cambiar la termocupla tipo J por una termocupla tipo K, debido a que esta última puede soportar temperaturas superiores a los 1000 °C beneficiando la durabilidad del sensor para los ensayos.

#### 3.4.2.1. Análisis del circuito de acondicionamiento

El circuito que se muestra a continuación es el mismo que se tenía en el sistema previo, este se encontraba operativo por lo que solo fue necesario cambiar el valor de ganancia de amplificador para que poder hacer las mediciones con la termocupla tipo K.

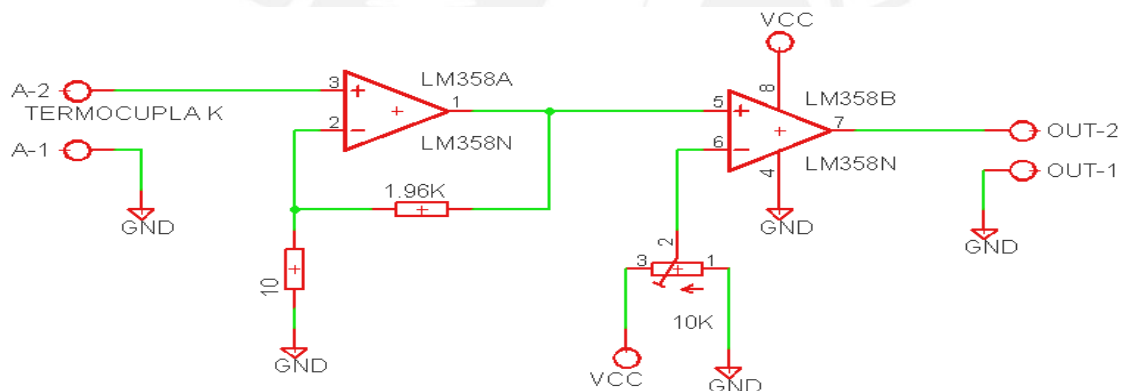


Figura 3.15: Circuito Acondicionamiento Para Sensor de Flama

Fuente: Adaptado de [18]

El circuito expuesto tiene dos etapas. Como la termocupla nos da una señal de entrada de tensión en mV se tiene en una primera etapa a un amplificador no inversor de ganancia 197. La segunda etapa es un circuito que compara la señal amplificada con un nivel de referencia calibrado con potenciómetro. El nivel de referencia corresponde a la temperatura en la cual se considera que la flama está encendida. Finalmente, se tiene a la salida un nivel lógico que es leído por el microcontrolador para determinar si la flama está encendida o no.

Como se demostrará en el capítulo 4 del presente documento de tesis, de este circuito solo se usó la señal amplificada en lugar del nivel lógico final, esto se debe a que la termocupla obtuvo un tiempo de respuesta lento y los cambios entre el encendido y apagado de flama se pudieron detectar con mayor facilidad en el conversor análogo – digital del arduino.

### 3.5. Subsistema de control de gas y ventilación

#### 3.5.1. Evaluación de la selección de las válvulas de control

Para este proyecto fueron seleccionadas previamente 2 válvulas para el control de gas. La primera es una válvula solenoide genérica para activar o cortar el flujo de gas en la línea principal. La segunda válvula es una del tipo proporcional, modelo Danfoss EB260B. Dicha válvula controla el suministro de gas hacia el quemador para aumentar o disminuir la intensidad de la flama dentro del horno (ver figura 3.16).



**Figura 3.16: Válvula Solenoide (izquierda) y Válvula Proporcional (derecha)**

Fuente: Elaboración Propia

Como requisito para su correcto funcionamiento se considera la presión máxima que pueden soportar ambas válvulas, estos valores deben ser superiores a la presión de salida en el balón de gas.

$$\text{Presión de suministro: } 60 \text{ psi} \leq P_{(gas)} \leq 80 \text{ psi} \quad (3.38)$$

$$P_{max(valv prop)} = 145 \text{ psi} > P_{gas} \quad (3.39)$$

$$P_{max(valv on off)} = 290 \text{ psi} > P_{gas} \quad (3.40)$$

Al cumplir los requisitos necesarios para el proyecto y encontrarse en buen estado, se decidió seguir usándolas para los ensayos realizados.

Una observación que se realizó en este punto es que el ventilador que permitía recircular el aire dentro del horno se encontraba siempre conectado a la línea de 220 VAC, independientemente de si se estaba realizando el secado, o de si este había terminado, o de si simplemente se esperaba instrucciones.

De acuerdo a los datos de placa del ventilador este consume 1.2 A y es el elemento de mayor consumo energético que se considera dentro del sistema electrónico, por lo que su uso debería limitarse sólo a los momentos donde realmente se considere necesario, esto es únicamente cuando se realiza el secado.

Por este motivo se buscará que el diseño del circuito de control del encendido o apagado de la válvula principal incluya también el control sobre el ventilador.

#### 3.5.2. Análisis del circuito de control

##### Circuito de control de la válvula principal y el ventilador



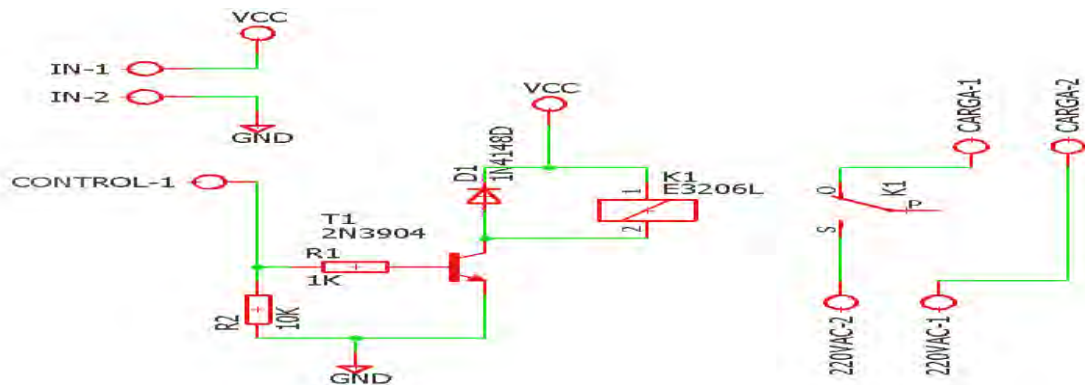


Figura 3.17: Circuito Inicial de Accionamiento de Válvula Solenoide

Fuente: Elaboración Propia

Este circuito es idéntico al que se utilizó anteriormente para accionar el generador de chispa, y basa su funcionamiento en el control de un relé. Igualmente, que en el caso anterior se preferirá utilizar un circuito basado en Triac. Además, se colocará en paralelo al ventilador y la válvula de encendido/apagado para que funcionen en simultáneo de acuerdo a las necesidades del sistema.

#### Circuito de control de la válvula proporcional

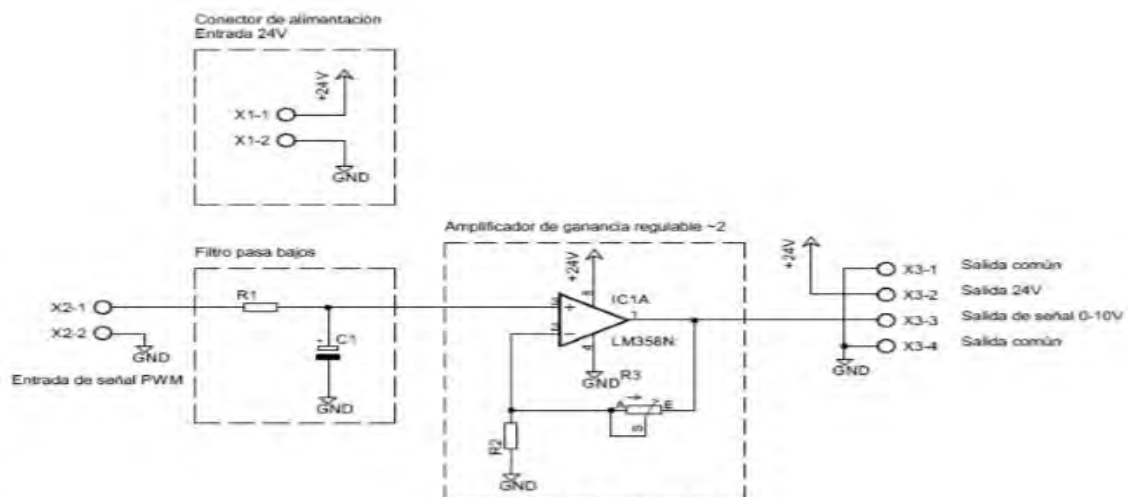


Figura 3.18: Circuito de Control de Válvula Proporcional

Fuente: [18]

El circuito de la figura 3.18 es el mismo que se encontraba en el prototipo inicial. En este se recibe como entrada una señal PWM que proviene del microcontrolador. Al pasar por el filtro pasa bajos, se obtiene una señal DC proporcional al ancho de pulso que se tenía al inicio. La señal DC tiene un rizado que depende tanto del filtro como de la frecuencia de la señal PWM. Finalmente, se amplifica el valor de tensión para que esté escalado entre 0 y 10 V y pueda ser usada para controlar la válvula proporcional.

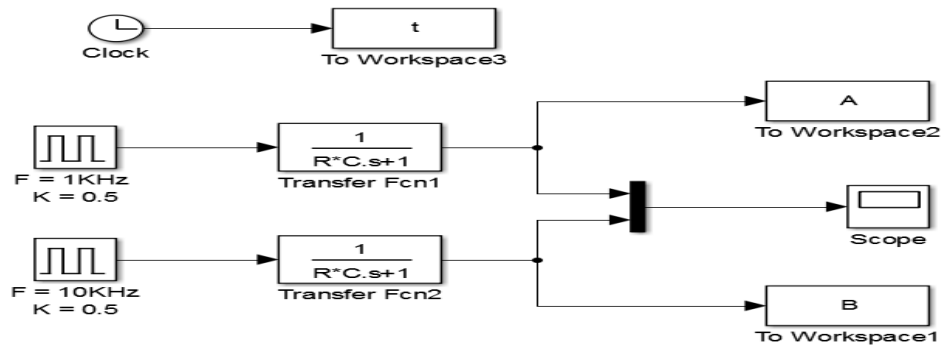
Como el circuito implementado previamente se encontraba operativo, se decidió continuar con su uso, pero se optó por incrementar la frecuencia de la señal PWM para reducir el rizado de la señal final. Inicialmente se había considerado un diseño con una frecuencia de 1KHz y una resolución de 8 bits [18]. Mediante cambios en los registros del temporizador del arduino se obtuvo una señal PWM de 10 KHz y una resolución mayor a 10 bits.

Cálculos:

- I. Se tiene la siguiente función de transferencia para el voltaje a la salida del filtro pasa bajos:

$$H(s) = \frac{1}{RCs + 1} \quad (3.41)$$

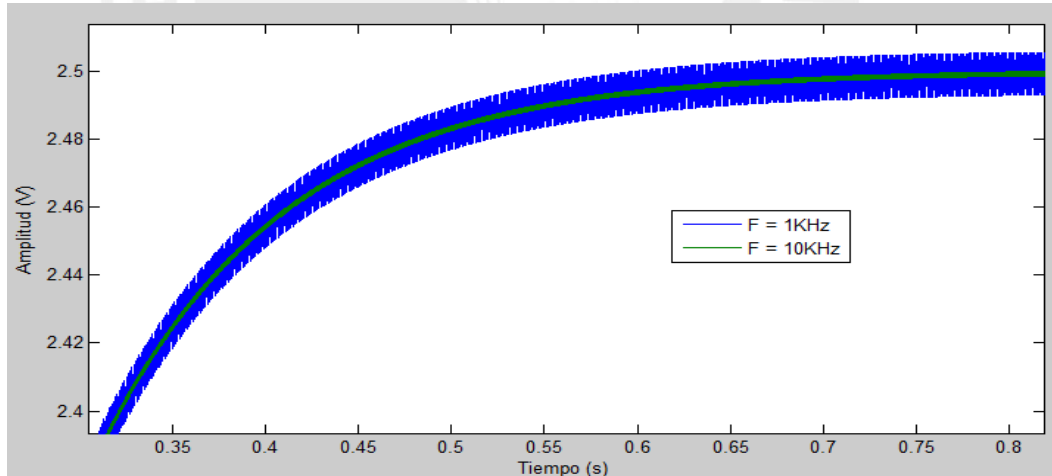
Para este caso  $R = 1 \text{ Kohm}$ ,  $C = 100 \text{ uF}$ , además la amplitud de la señal PWM es de 5V. Con esos datos se realizó una simulación en Matlab para verificar los efectos de la frecuencia de la señal de entrada en el rizado de la señal de salida.



**Figura 3.19: Diagrama de Simulación del Filtro en Matlab**

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los datos de la figura 3.19 se simuló la respuesta del filtro para las frecuencias de 1KHz y 10 KHz, amplitud de 5V y un ciclo de trabajo del 50%, por lo que se espera que la señal se estabilice en 2.5 V.



**Figura 3.20: Efecto de la Frecuencia en el Rizado del Filtro**

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica 3.20 muestra el resultado de la simulación, en este se ve que el rizado para la frecuencia de 10 KHz es mucho menor que para una frecuencia de 1KHz

- II. Cálculo de la señal PWM:

$$\text{Microcontrolador: } F_{reloj} = 16\text{MHz} \quad (3.42)$$

$$\text{Valor Preescalador: } N = 1 \quad (3.43)$$

$$\text{Se desea: } F_{PWM} = 10 \text{ KHz} \quad (3.44)$$

Se calcula valor máximo de cuenta

$$TOP = \left( \frac{F_{reloj}}{N * F_{PWM}} \right) - 1 = 1599 \quad (3.45)$$

$$\text{Resolución: } R = \text{Log}_2(TOP) = 10.64 \text{ bits} \quad (3.46)$$

### III. Pruebas de precisión:

La salida del circuito de control tiene un valor entre 0 y 10 V para un porcentaje de apertura entre 0 y 100%. Para verificar que circuito funcione correctamente, se ingresó la señal PWM al mismo y se midió el voltaje de salida en la válvula proporcional. El resultado de este ensayo se muestra en la tabla 3.3:

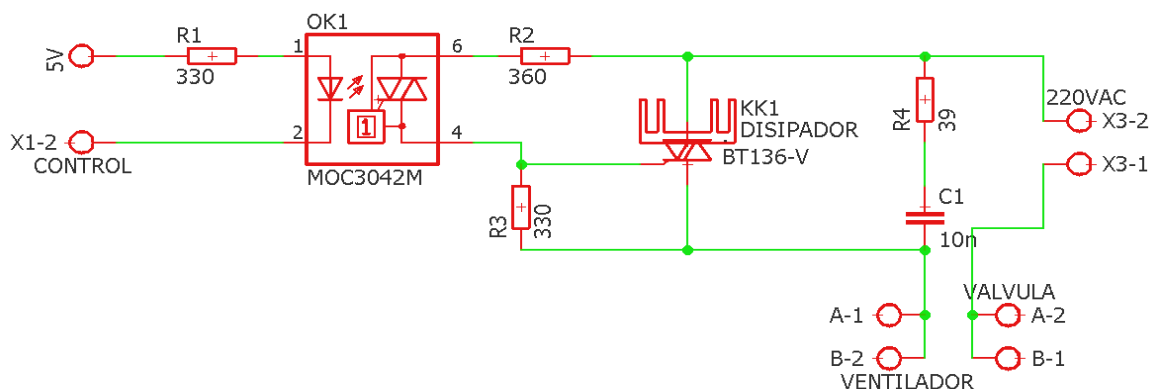
**Tabla 3.3: Precisión Válvula Proporcional**

% Apertura	Voltaje Ideal (V)	Voltaje Real (V)	Error (V)	Error (%)
9.944	0.994	1.001	-0.007	-0.066%
19.950	1.995	1.997	-0.002	-0.020%
29.956	2.996	2.993	0.003	0.026%
39.962	3.996	3.991	0.005	0.052%
49.969	4.997	4.989	0.008	0.079%
59.975	5.997	5.988	0.009	0.095%
69.981	6.998	6.990	0.008	0.081%
79.987	7.999	7.990	0.009	0.087%
89.994	8.999	8.990	0.009	0.094%
100.000	10.000	10.000	0.000	0.000%

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se concluye que se tiene un error máximo de 0.1% para la regulación de flujo de gas.

### 3.5.3. Modificaciones al circuito de control



**Figura 3.21: Circuito Final de Accionamiento de Válvula y Ventilador**

Fuente: Elaboración Propia

El circuito de la figura 3.21 tiene el mismo principio de funcionamiento que el utilizado para el generador de chispa (figura 3.10). Se decidió añadir una red snubber formada por R4 y C1 debido a que el ventilador posee propiedades inductivas. También fue necesario seleccionar un disipador de tal forma que no se genere calentamiento en el Triac BT136.

Cálculos:

I. Optotriac:

Cálculos idénticos a los del generador de chispa. De las ecuaciones 3.31 a 3.34.

II. Disipador:

Datos BT136 [29]:

$$T_{j(max)} = 125\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.47)$$

$$R_{jc} = 3\text{ }^{\circ}\text{C/W}, V_t = 1.4\text{ V} \quad (3.48)$$

Consideraciones:

$$\text{Tem Ambiente: } T_a = 28\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.49)$$

$$\text{Contacto directo sin mica: } R_{cd} = 0.8\text{ }^{\circ}\text{C/W} \quad (3.50)$$

Selección de disipador:

$$I_{max} = I_{vent} + I_{valv} = 1.2 + 0.11 = 1.31\text{ A} \quad (3.51)$$

$$R_{total} = \frac{T_{j(max)} - T_a}{V_t * I_{max}} = \frac{125 - 28}{1.4 * 1.31} = 52.89\text{ }^{\circ}\text{C/W} \quad (3.52)$$

Resistencia disipador – ambiente:  $R_{da}$

$$R_{da(max)} = R_{total} - R_{jc} - R_{cd} = 49.09\text{ }^{\circ}\text{C/W} \quad (3.53)$$

$$\text{Se seleccionó un disipador con } R_{da} = 10\text{ }^{\circ}\text{C/W} \quad (3.54)$$

$$\text{Finalmente: } T_j = T_a + (V_t * I_{max}) * (R_{jc} + R_{cd} + R_{da}) \quad (3.55)$$

$$T_j = 28 + (1.4 * 1.31) * (3 + 0.8 + 10) = 53.3\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.56)$$

Circuito implementado (ver figura 3.22):



### Figura 3.22: Tarjeta Impresa para Control de Válvula y Ventilador

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.6. Otras consideraciones

##### 3.6.1. Evaluación de la interfaz de usuario

La interfaz de usuario que se obtuvo en el prototipo inicial de horno de secado estaba formada por los siguientes elementos:

- 1 Led 220V como indicador de sistema energizado.
- 1 Pulsador de parada de emergencia.
- 1 LCD 16x2 para la visualización de datos.
- 4 Pulsadores para selección de valores del proceso.
- 2 Pulsadores para confirmación o rechazo de valores.
- El controlador principal se comunicaba por SPI a un atmega8 que controlaba el LCD.

Se pudo realizar observaciones al diseño de la interfaz y se consideraron las siguientes modificaciones:

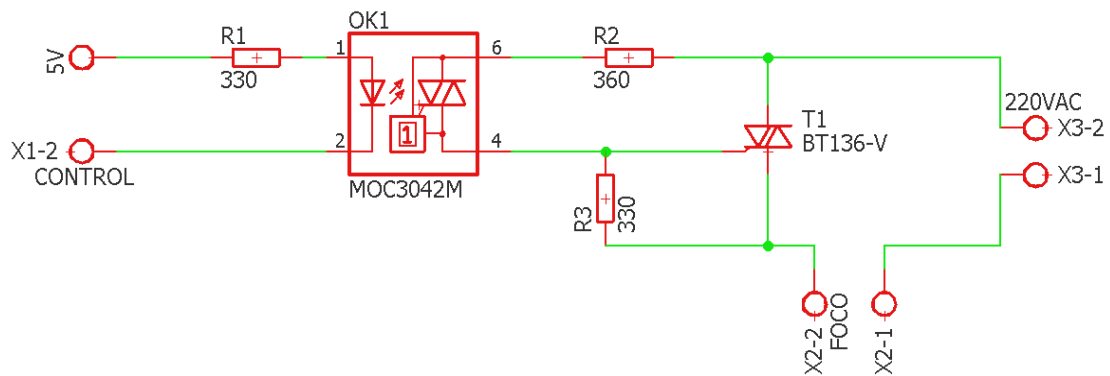
- Se cambió la pantalla inicial por un LCD 20x4, ya que la cantidad de datos a mostrar no alcanzaban en las dos líneas del LCD inicial. Además, mejora la visibilidad de los datos.
- Solo fue necesario usar 2 pulsadores para seleccionar los valores del proceso. Con estos se incrementaba o disminuía el valor base mostrado en el LCD y para continuar al siguiente valor se presionaba el pulsador de confirmación.
- Se utilizaron dos leds de 220V, uno amarillo que se mantenía encendido desde que se enciende el sistema hasta que la temperatura se establece en el valor ingresado en la interfaz. Luego se apaga el amarillo y se enciende uno verde durante todo el tiempo de secado. Al finalizar el proceso se enciende el amarillo nuevamente.
- En lugar de utilizar un atmega8 para controlar el LCD, se prefirió utilizar un módulo i2c (ver figura 3.23) para que el controlador principal use solo dos pines para la transmisión de datos (con SPI son 4). Además, este módulo es de menor dimensión que la tarjeta del atmega8 encontrada y es de más fácil adquisición.
- Adicional a la interfaz de usuario, se utilizó el puerto serial para exportar los datos medidos en el microcontrolador hacia una interfaz de Matlab y almacenarlos para su posterior análisis.



Figura 3.23: Módulo I2C

Fuente: [26]

Observación: Para controlar los leds de 220 VAC se utilizó el mismo diseño de circuito de control que en el caso del generador de chispa (figura 3.10). Pero en este caso no fue necesario el uso de un transformador de aislamiento. El circuito de control se puede ver en la figura 3.27.



**Figura 3.24: Circuito de control Led**  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.6.2. Evaluación del controlador del sistema

La tarjeta de control que se tenía en el sistema inicial estaba basada en un atmega88, esta tarjeta fue implementada con un diseño a una sola cara, por lo que la tarjeta final tenía una dimensión mayor a 14cm x 12cm, además resultó muy complicado identificar que bornes correspondía a entradas y salidas del sistema. Una vez realizada esta observación se prefirió seleccionar un nuevo controlador para el sistema.

Teniendo en consideración que el atmega88 cumplía con los requisitos de entradas y salidas digitales, se optó por usar un arduino uno (ver figura 3.25) como controlador del sistema. Esta tarjeta de desarrollo funciona utilizando un atmega328, el cual tiene características similares con respecto a los pines de entrada y salida, pero mejores características de memoria, tiene una dimensión reducida en comparación a la tarjeta anterior, es fácil de reemplazar en caso de fallas y tiene una interfaz sencilla; lo que facilita la programación.

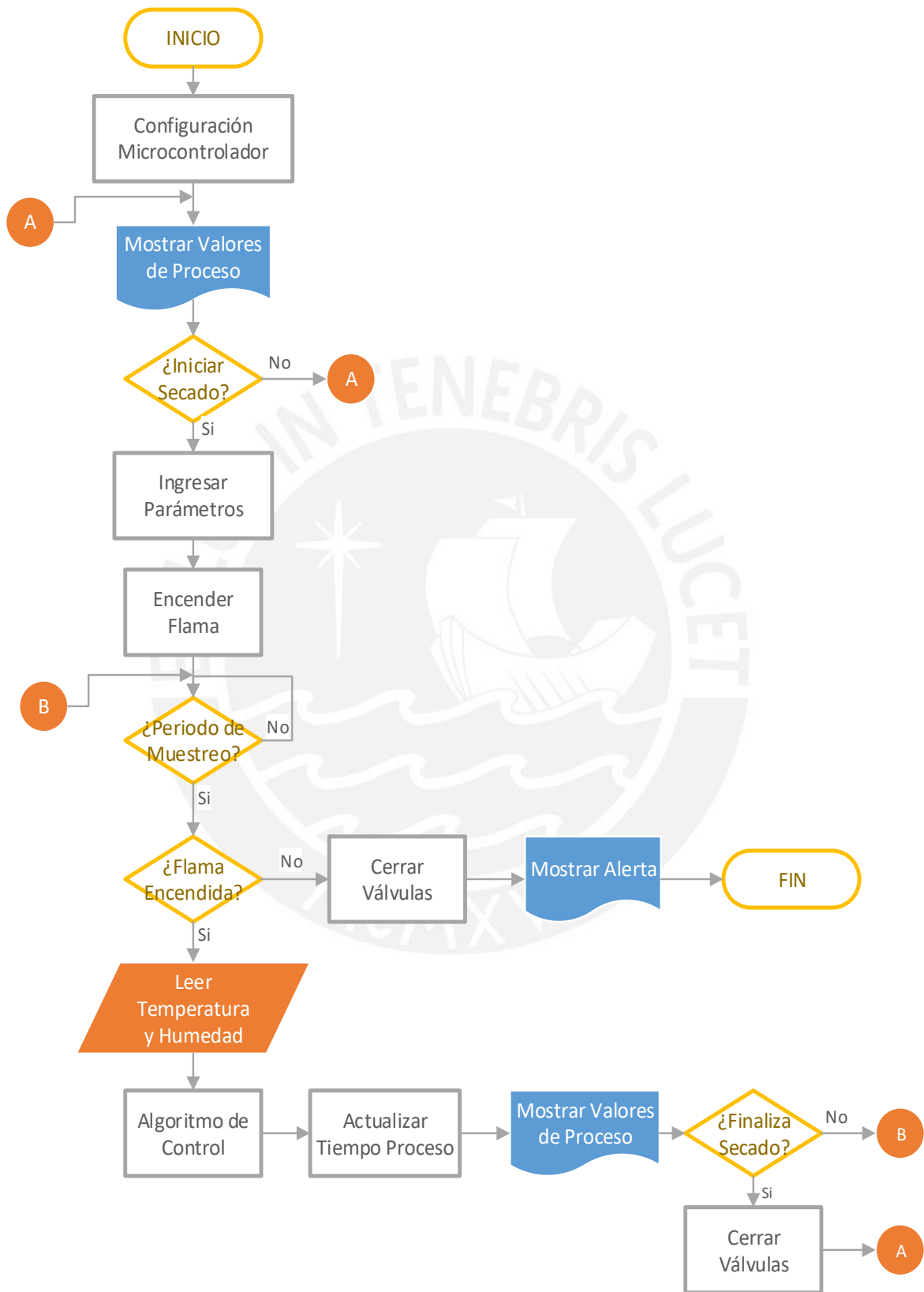


**Figura 3.25: Arduino Uno**

Fuente: [27]

### 3.6.3. Lógica del programa

A continuación, se mostrará en la figura 3.26 el diagrama de flujo principal del proceso de secado programado en el microcontrolador.



**Figura 3.26: Diagrama de Flujo**  
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede ver en la figura 3.26 el programa principal inicia con la configuración de entradas y salidas del controlador, junto con estos se configura el temporizador 2 del atmega328 para realizar las cuentas de tiempo de secado y periodo de muestreo, y el temporizador 1 para generar la señal PWM y medir la frecuencia de la señal que da el sensor de humedad.

Posterior a esto, se muestra los valores de temperatura y humedad dentro del horno hasta que se presione el botón de avance. Esto da inicio al ingreso de datos en la interfaz de usuario. Los datos son ingresados en el siguiente orden: Temperatura, tiempo (horas) y tiempo (minutos).

Una vez ingresados los datos se presiona nuevamente el botón de avance para iniciar el secado. Para esto se activa el flujo de gas y el generador de chispa hasta que el microcontrolador detecte la flama, después se apaga el generador de chispa, pero se mantienen activadas las válvulas.

A partir de este momento se realiza el control de temperatura sobre el sistema, en cada periodo de muestreo se hace una medición de la presencia de flama para asegurar que no haya fuga de gas. Si no se detecta la flama se procede a cerrar las válvulas de forma automática, se muestra un mensaje de alerta en el LCD, se enciende el led naranja y se da por finalizado el proceso a fin de que se haga una revisión del sistema.

Si la flama es detectada se continúa el proceso midiendo los valores de temperatura y humedad para tomar una acción de control. El algoritmo de control utilizado es el de encendido/apagado (on/off), en este se enciende el sistema cuando se está por debajo de la temperatura deseada y se apaga al superar este valor.

Para la actualización del tiempo de secado, se considera solo desde que se alcanzó estabilidad para el valor de temperatura ingresada. Finalmente, se muestra los valores medidos en la pantalla LCD para que sean vistos por el usuario. El proceso seguirá hasta que se cumpla el tiempo determinado por el usuario, después se cierran las válvulas y el sistema queda nuevamente en espera de instrucciones.

Observación: El código programado en el microcontrolador se encuentra disponible en el Anexo F.

#### 3.6.4. Evaluación del consumo de energía

En el horno de secado se tenían dos fuentes de alimentación. Una fuente de 24V – 1.2A para el funcionamiento de la válvula proporcional y una de 5V – 3A para los demás circuitos de general. Ambas fuentes eran energizadas desde un tomacorriente con 220 VAC.

Para verificar que estas fuentes de alimentación puedan darse abasto para energizar todo el sistema electrónico se realizó la medición de corriente que consume cada circuito implementado, los datos obtenidos se presentan en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4: Evaluación del consumo de energía de fuentes de alimentación**

Elemento	Consumo de Corriente (mA)	
	En 24V	En 5V
Microcontrolador	0	56
LCD 24x2	0	24.5



Tarjeta de Control Válvula Proporcional	0.9	0
Válvula Proporcional	600	0
Tarjeta de Control Válvula Solenoide y Ventilador	0	11.2
Tarjeta de Control Generador de Chispa	0	11.2
Tarjeta de Medición de Temperatura	0	4.58
Tarjeta de Medición de Humedad	0	0.217
Tarjeta de Detección de Flama	0	6.24
Tarjeta de Control Led 1	0	11.2
Tarjeta de Control Led 2	0	11.2
<b>Consumo Máximo (mA)</b>	<b>600.9</b>	<b>136.337</b>

Fuente: Elaboración Propia

En el resultado final de la tabla 3.4 se puede ver que ambas fuentes de 24V y 5V respectivamente exceden los requerimientos de corriente necesaria. Por lo que en el presente proyecto se continuó con su uso.

En la línea de 220 VAC se evalúa el consumo de energía de las siguientes cargas (ver tabla 3.5):

**Tabla 3.5: Consumo de energía en la línea principal**

Elemento	Consumo de corriente (A)
Fuente 24V	0.601
Fuente 5V	0.136
Válvula Solenoide	0.11
Generador de Chispa	0.006
Led 1	0.02
Led 2	0.02
Ventilador	1.2
<b>Consumo Máximo (A)</b>	<b>2.093</b>

Fuente: Elaboración Propia

Al inicio se tenía también un filtro de línea o filtro EMI que evita o degrada la interferencia electromagnética que puede venir de otros dispositivos. En los datos de este filtro se tiene una corriente máxima de 3A, este valor excede al obtenido en la tabla 3.4 por lo que se puede continuar con su uso.



## CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

### 4.1. Calibración del sensor de temperatura

Como se explicó en el capítulo 3 de este documento de tesis, el comportamiento del circuito de medición de temperatura obedece a la siguiente ecuación (3.9):

$$V_{out} = G_{rest} * ((I_{fuente} * R_{sensor}) * G_{amp} - V_{ref})$$

Para verificar si se puede utilizar esta ecuación para determinar la resistencia que marca el sensor ( $R_{sensor}$ ) en base a la tensión de salida ( $V_{out}$ ) resulta necesario determinar la linealidad de las ganancias  $G_{rest}$  y  $G_{amp}$ . La tabla 4.1 mostrará el resultado de una serie de ensayos que permitirá analizar estos valores.

**Tabla 4.1: Análisis de Ganancias**

Valores De Diseño	Ganancia Amp. de Instrumentación		205	
	Ganancia Amp. Restador		4.62	
	Tensión de Referencia (Restador)		2.05	
Información Sobre Ensayos	Número De Valores Simulados		6	
	Ensayos Por Valor Simulado		3	
	Muestras Por Ensayo		5	
Resultados (Promedio)				
Resistencia Deseada	Resistencia Medida	Amp. Instrument	Amp. Restador	Voltaje de Salida
100	100.17	208.39	4.522	0.1505
110	109.86	208.00	4.536	1.0497
120	120.44	207.65	4.574	2.0438
130	129.70	207.45	4.581	2.9235
140	139.58	207.25	4.590	3.8505
150	150.08	207.02	4.600	4.8467

Fuente: Elaboración Propia

Para el ensayo anterior se modeló el comportamiento del sensor utilizando resistencias de precisión 1%, las mismas que fueron medidas con multímetro para obtener su valor exacto. Las resistencias están en el rango de 100 a 150 ohm que corresponden a temperaturas teóricas de 0 °C y 130 °C respectivamente.

En los resultados que se muestran en la tabla 4.1 se puede observar que el comportamiento de las ganancias no es estrictamente lineal. Por lo que realizar una aproximación lineal acrecentaría el error en uno de los extremos de medición. Por este motivo se decidió realizar una aproximación de mínimos cuadrados a un polinomio de orden  $n = 3$  (donde experimentalmente se tuvo el menor error), dicha aproximación se logró utilizando los comandos 'polyfit' y 'polyval' de Matlab. Se obtuvo el siguiente resultado:

$$R_{sensor} = 98.5473 + V_{out} * 10.839 - V_{out}^2 * 0.0805 + V_{out}^3 * 0.0079 \quad (4.1)$$

Una vez realizada la calibración para medir resistencia utilizando el circuito de acondicionamiento, se procedió a realizar la calibración del sensor PT100 adquirido. Como los sensores patrón disponibles en la universidad tenían una precisión de +/- 2 °C (fluke 88pk), lo que se puede considerar como baja precisión para este proyecto. Se

realizó la calibración con la ayuda de una empresa externa (J.LI Representaciones eirl). El sensor patrón utilizado fue 'TH07 9140 Dry Well Calibrator' que posee una precisión de +/- 0.25 °C. Los resultados de la calibración se presentarán en la tabla 4.2. El certificado de calibración está disponible en el Anexo C.

**Tabla 4.2: Calibración PT100**

Temperatura (°C)	Resistencia (Ohm)	Incertidumbre (Ohm)
20.0	107.891	0.012
30.0	111.825	0.013
40.0	115.873	0.013
50.0	119.747	0.014
60.0	123.622	0.014
70.0	127.512	0.015
80.0	131.359	0.015
90.0	135.208	0.016
100.0	139.015	0.016
110.0	142.796	0.016
120.0	146.628	0.017
130.0	150.460	0.017

Fuente: Elaboración Propia

Si bien el sensor PT100 se caracteriza por tener una buena linealidad, este sensor no es 100% lineal por lo que se modela mejor con una aproximación polinómica de orden  $n = 3$  [28]. Entonces, al tener los valores de calibración se decidió realizar una aproximación por mínimos cuadrados como en el caso anterior y se obtuvo el resultado de la ecuación 4.2:

$$T(^{\circ}C) = -161.6379 + 0.4846 * R_{sensor} + 0.0148 * R_{sensor}^2 - 3.414 * 10^{-5} * R_{sensor}^3 \quad (4.2)$$

Con los resultados obtenidos en la ecuación 4.1 y 4.2 ya se puede obtener una medición de temperatura a partir del valor de voltaje medido por el microcontrolador. Sin embargo, aun realizando los ajustes de curva correspondientes va a existir un error de medición debido a la aproximación.

Por este motivo, se va a calcular el error esperado en la ecuación 4.2. Para ello se ingresó los valores de resistencia de la tabla 4.2 en la ecuación 4.2 y se comparará el valor calculado en el ajuste con el valor de temperatura real. Además, se considerará el efecto de la incertidumbre en las mediciones, para obtener el error máximo.

**Tabla 4.3: Error Por Ajuste de Curva**

Temperatura (°C)	Ajuste Sin Incertidumbre (°C)	Ajuste Considerando Incertidumbre (°C)		Error Máximo (°C)
		(+)	(-)	
20.0	20.049	20.078	20.019	0.078
30.0	29.884	29.917	29.852	0.148
40.0	40.113	40.146	40.080	0.146
50.0	49.992	50.028	49.956	0.044
60.0	59.950	59.986	59.914	0.086
70.0	70.011	70.050	69.972	0.050
80.0	80.013	80.052	79.974	0.052
90.0	90.060	90.101	90.018	0.101
100.0	100.025	100.066	99.983	0.066
110.0	109.938	109.980	109.896	0.104
120.0	119.989	120.034	119.945	0.055
130.0	130.035	130.079	129.990	0.079
			Máximo	0.148
			Promedio	0.089

Fuente: Elaboración Propia

Lo siguiente fue utilizar las resistencias de prueba para modelar el sensor y obtener el error de medición de la ecuación 4.1. Los valores de resistencia utilizados fueron evaluados en la ecuación 4.2 para obtener la temperatura simulada. Luego, en el microcontrolador se hizo la medición de tensión y con el uso de las ecuaciones 4.1 y 4.2 se obtuvo el valor de temperatura medida (cálculo realizado en el microcontrolador). Finalmente se comparan el valor real y calculado para obtener el error final. El resumen de estos resultados se presentará en la tabla 4.4:

**Tabla 4.4: Error Con Simulación de Temperatura**

Información Sobre Ensayos		Número De Valores Simulados		6		
		Ensayos Por Valor Simulado		5		
		Muestras Por Ensayo		8		
Resistencia Medida	Temperatura Simulada °C (Eq 4.2)	Temperatura Calculada (°C)			Resultados (°C)	
		Valor Mínimo	Valor Promedio	Valor Máximo	Error Promedio	Error Máximo
100.17	1.0937	0.8755	1.1714	1.3982	0.1832	0.3045
109.86	24.9576	24.5299	25.0001	25.3637	0.1834	0.4277
120.44	51.7678	51.3931	51.8041	52.2073	0.2040	0.4395
129.70	75.6941	75.2682	75.7600	76.1253	0.1854	0.4312
139.58	101.5051	101.1545	101.5168	101.9664	0.1975	0.4613
150.08	129.0392	128.6303	129.0785	129.4453	0.1804	0.4089
					0.1890	0.4613

Fuente: Elaboración Propia

La última posible fuente de error en el sistema de medición se debe a temperatura inducida por la fuente de corriente. Como se mencionó en el capítulo 3, este error es muy pequeño, aun así, se considerará para los cálculos:

$$E_{inducido} = 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}/mW \tag{4.3}$$

$$P_{max} = I_{fuente}^2 * R_{max} = (0.1 \text{ mA})^2 * 150\text{ohm} = 1.5 * 10^{-3} \text{ mW} \tag{4.4}$$

$$P_{prom} = I_{fuente}^2 * R_{prom} = (0.1 mA)^2 * 125ohm = 1.25 * 10^{-3} mW \quad (4.5)$$

$$E_{max} = E_{inducido} * P_{max} = 0.00075 °C \quad (4.6)$$

$$E_{prom} = E_{inducido} * P_{prom} = 0.000625 °C \quad (4.7)$$

Finalmente, tomando en considerando todas las posibles fuentes de error y asumiendo que estos son aditivos, se calcula el error máximo en el sistema de medición:

**Tabla 4.5: Precisión Final Sensor de Temperatura**

Error	Error Simulación Temperatura	Error Ajuste Curva	Error Corriente Excitación	Error Final (°C)
Promedio	0.1890	0.0892	0.000625	0.2788
Máximo	0.4613	0.1485	0.000750	0.6105

Fuente: Elaboración Propia

## 4.2. Calibración del sensor de humedad

Para la calibración del sensor de humedad se utilizó como referencia a un termo higrómetro control Company 4187cc (disponible en la universidad) el mismo que posee una precisión de 2.5% HR y una resolución de 0.1% HR para sus mediciones.

Para el monitoreo de humedad se mide el periodo de la señal cuadrada que se recibe del circuito de acondicionamiento. En esta se decidió contar los ciclos de reloj en lugar de la cantidad de microsegundos que pasaban, debido a que se podía distinguir con mayor facilidad los cambios en el valor de humedad, este efecto se puede apreciar en la tabla 4.6.

El primer ensayo consistió en obtener la cantidad de ciclos de reloj que se tiene de acuerdo a los valores de humedad simulados. Para ello se colocó el sensor HS1101LF junto al patrón control Company 4187cc y se simuló situaciones de humedad con aire caliente de un horno eléctrico para obtener bajos porcentajes de humedad y con vapor de aire para simular valores altos de humedad. Los resultados de este ensayo se presentan en la tabla 4.6:

**Tabla 4.6: Análisis Inicial Sensor Humedad**

Humedad Promedio	Ciclos De Reloj	Periodo (us)
17.38	2467.86	154.24
22.5	2477.49	154.84
27.97	2498.41	156.15
35.4	2512.48	157.03
44.91	2543.52	158.97
47.9	2552.31	159.52
70.71	2711.97	169.50
74.8	2729.64	170.60
88.8	2824.71	176.54
93.1	2879.43	179.96
95.7	2926.00	182.88

Fuente: Elaboración Propia

Como ya se conocía de antemano que la respuesta del sensor no es lineal, se realizó un ajuste polinomial con el método de mínimos cuadrados en Matlab; obteniéndose la siguiente ecuación:

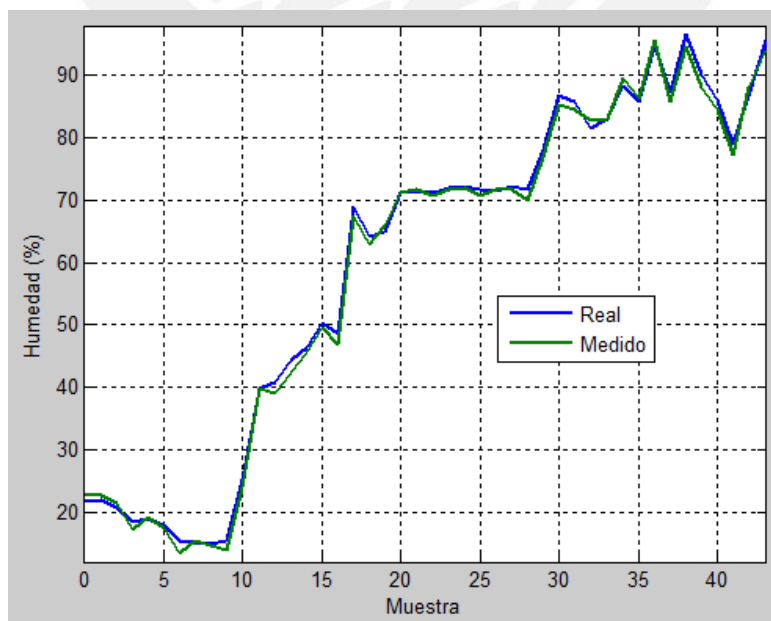
$$Humedad = Ciclos^3 * 3.708 * 10^{-3} - Ciclos^2 * 195.036 * 10^{-2} + Ciclos * 343.547 - 20178.32 \quad (4.8)$$

Una vez obtenida esta relación se repitió el ensayo para una mayor cantidad de valores con el propósito de validar que la aproximación sea correcta, además de obtener valores para el error promedio y máximo. En la tabla 4.7 se muestra un resumen de los resultados y en la figura 4.1 se puede observar el valor de las 44 muestras realizadas. Los valores exactos de la medición están disponibles en los Anexo D.

**Tabla 4.7: Precisión Sensor de Humedad**

Rango (%)	Número De Muestras	Error Promedio (%)	Error Máximo (%)
[14.9;15.4]	4	1.04	2.10
[17.8;18.8]	3	0.62	1.15
[20.8;21.9]	3	0.73	0.85
[25.1]	1	1.17	1.17
[39.8;44.4]	3	1.26	2.03
[46.3;50.4]	3	1.22	1.99
[65;68.9]	3	1.21	1.44
[71.1;71.8]	6	0.59	1.55
[71.9;72.3]	3	0.29	0.33
[78.1;83.1]	4	0.75	1.15
[85.8;88.2]	7	1.31	1.63
[90.05]	1	1.96	1.96
[94.8;96.5]	3	1.50	1.98
Total	44	0.99	2.10

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.1: Resultado de Calibración de Humedad**

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3. Pruebas de detección de flama

Evaluar la detección de flama es importante en dos momentos, cuando se genera el arco eléctrico y durante el proceso de secado. En el primer caso para determinar en qué momento se debe desactivar el generador de chispa y en el segundo caso para determinar si hay fuga de gas; es decir, si las válvulas dejan pasar gas, pero la flama no está encendida.

Se escogió un ensayo de lazo abierto con presión de 8 psi, en el cual se dejó que el horno caliente hasta una temperatura de 120 °C y luego se cortó el flujo de gas, dejando que el sistema se enfríe durante 5 minutos en los cuales se siguió obteniendo información.

La lectura del sensor de flama obtenida por el microcontrolador fue analizada en la interfaz de Matlab, obteniéndose el resultado que se muestra en la figura 4.2:

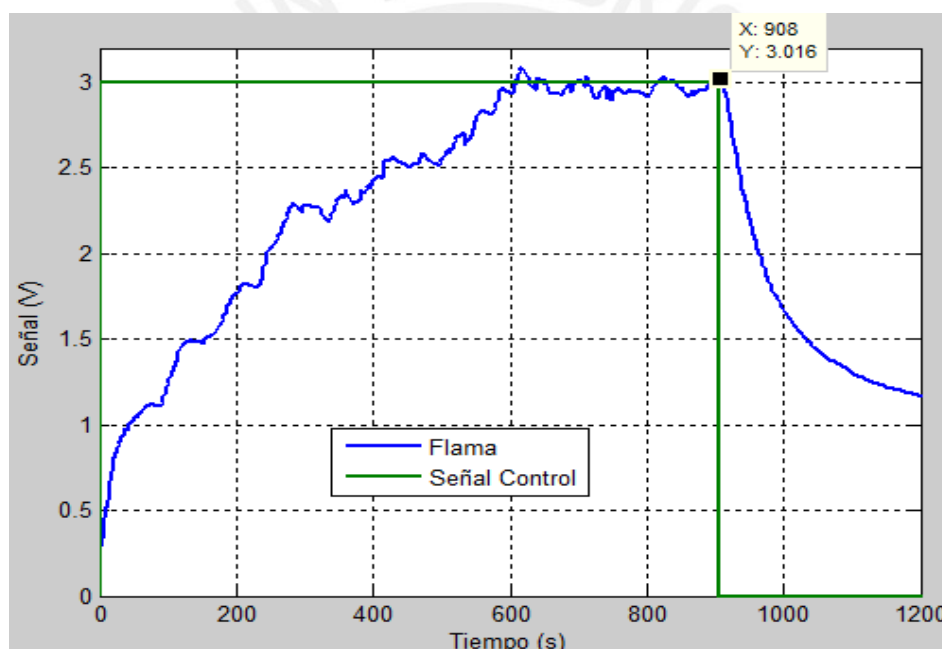


Figura 4.2: Lectura Sensor de Flama

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4.2 se puede observar que la temperatura crece rápido al inicio, después mantiene su pendiente creciente hasta estabilizarse en un valor cercano a los 3V. Una vez que se corta el flujo de gas, la lectura del sensor disminuye rápidamente con una pendiente negativa, el valor de esta pendiente empieza a disminuir al paso de los minutos; sin embargo, nos interesa los momentos cercanos al que se corta el flujo de gas.

Como la ganancia del circuito de acondicionamiento (figura 3.15) era 197, entonces el valor real de la termocupla es  $T_c = 3V/197 = 15.23 \text{ mV}$ . De acuerdo a los valores en tabla este corresponde a una temperatura de 373 °C.

Para determinar la presencia de flama al inicio se consideró que esta debe aumentar 0.08 V del valor inicial. Lo que corresponde a un delta de temperatura de 10 °C lográndose detectar la flama antes del primer periodo de muestreo (2 seg).



Luego para determinar que la flama se mantiene encendida se analiza la pendiente de la señal. Se afirma que la flama está encendida si el valor de la señal es cercano a 3V o si los últimos 6 valores de pendiente son positivos. Con este análisis se logra detectar la ausencia de flama en a lo sumo en 12 segundos.

#### 4.4. Respuesta inicial del sistema

Con la totalidad del sistema electrónico implementado se realizó el primer ensayo del sistema en lazo abierto. Para esto se consideró la misma situación a la que estaba el prototipo inicial. Es decir, la presión del gas de suministro era directamente la del balón de gas, siendo esta alrededor de 70 psi. Y se usó un porcentaje de apertura de la válvula proporcional del 20%. Se tomó en consideración una temperatura límite de 120 °C, después de la cual se apaga el sistema. El resultado de esta prueba se aprecia en la figura 4.2.

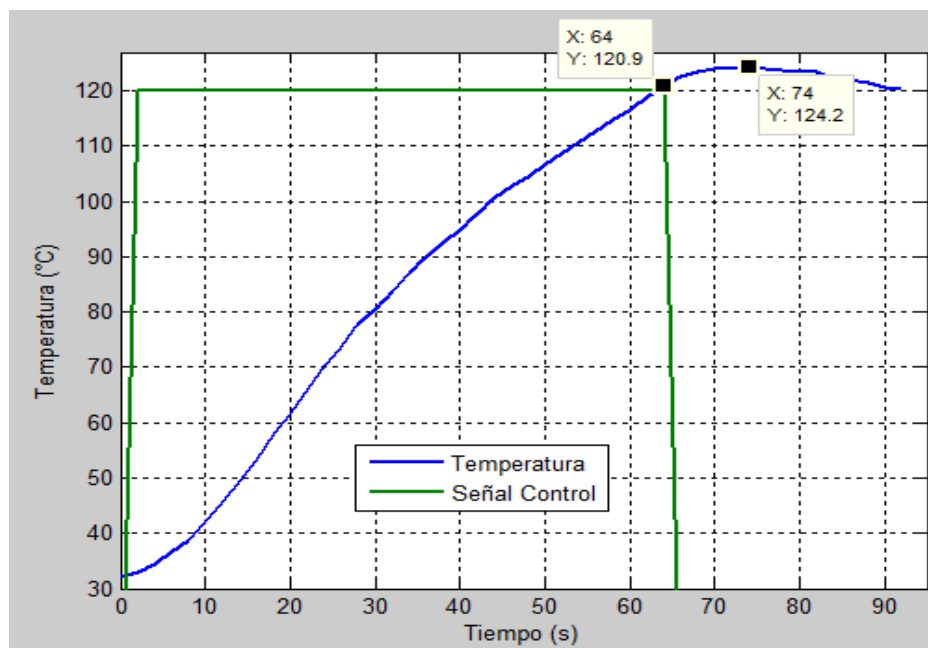


Figura 4.3: Lazo Abierto, P = directo, Válvula = 20%

Fuente: Elaboración Propia

En esta figura se observa que se alcanza la temperatura máxima de trabajo en solo 1min y después de apagado el sistema, se eleva la temperatura 4°C más. Para el interés del proyecto a realizar, la elevación de temperatura es muy rápida y dificulta el control sobre del sistema. Esto considerando que porcentajes mayores de apertura de la válvula, calentarían el sistema aún con mayor rapidez.

Por este motivo se decidió utilizar un regulador de presión (Fisher) con un rango de presión de 3 a 35 psi y que soporta una máxima presión de entrada de 250 psi. Con este regulador y junto a un manómetro se evaluará en las secciones siguientes la respuesta del sistema ante cambios de la presión del gas de suministro.



Figura 4.4: Regulador de Presión (izquierda) y Manómetro (derecha)

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5. Evaluación de la ventilación del horno

Al realizar la prueba inicial del sistema mencionado en la sección 4.4, aparte de obtener una elevación rápida de temperatura, se pudo observar que las paredes internas del horno tenían rastros de humedad por lo que se decidió evaluar la información obtenida por el sensor de humedad en ese ensayo.

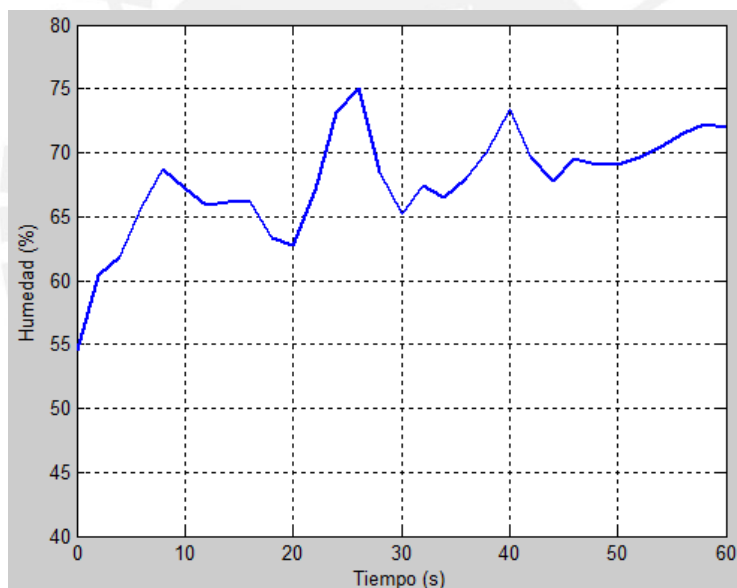


Figura 4.5: Humedad, Lazo Abierto, P = directo

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede ver en la figura 4.4 la humedad interna del horno inicia en un valor de 55% HR y en el minuto de trabajo de ese ensayo la humedad se eleva por encima del 70% HR. Esto es extremadamente perjudicial, ya que en el secado se busca reducir la humedad, de esta manera se invalida cualquier posibilidad de utilizar directamente la presión directa del balón de gas.

El horno desarrollado al ser totalmente hermético genera acumulación de calor, pero este es liberado muy lentamente. Como no se podía modificar la ventilación del sistema sin afectar o dañar la estructura del horno, se decidió analizar cómo afecta al sistema un cambio en la ventilación del quemador de gas. Para esto se realizó ensayos tanto con la tapa hermética inicial, como con una rejilla de ventilación fabricada.



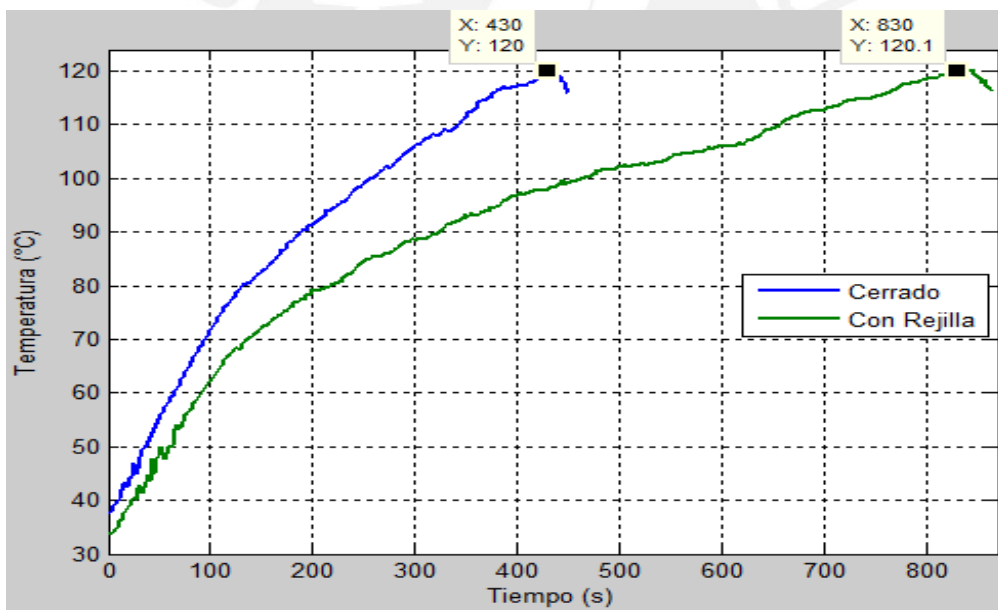
**Figura 4.6: Rejilla de Ventilación (Izquierda) y Tapa Hermética (Derecha)**

Fuente: Elaboración Propia

En las subsecciones siguientes se evaluará como este cambio afecta a la velocidad de subida de la temperatura, el control de flujo de gas en el sistema y la humedad interna del horno.

#### 4.5.1. Desempeño del sistema con rejilla de ventilación

La primera evaluación realizada es el efecto en la velocidad del calentamiento, para este ensayo se realizó un ensayo en lazo abierto hasta la temperatura límite de control de 120 °C. Se reguló la presión de suministro a 8 psi y se observó cómo se ve afectado el sistema por la rejilla de ventilación.



**Figura 4.7: Evaluación de Velocidad de Calentamiento**

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la figura 4.6, en ambos casos se reduce el tiempo de calentamiento debido a la regulación de presión. Para el sistema con la tapa hermética se llega a 120 °C en 7.2 min; mientras que para el sistema con rejilla de ventilación se llega en 13.8 min. Esto se debe a que, con la rejilla, parte del calor escapa mejorando la ventilación.

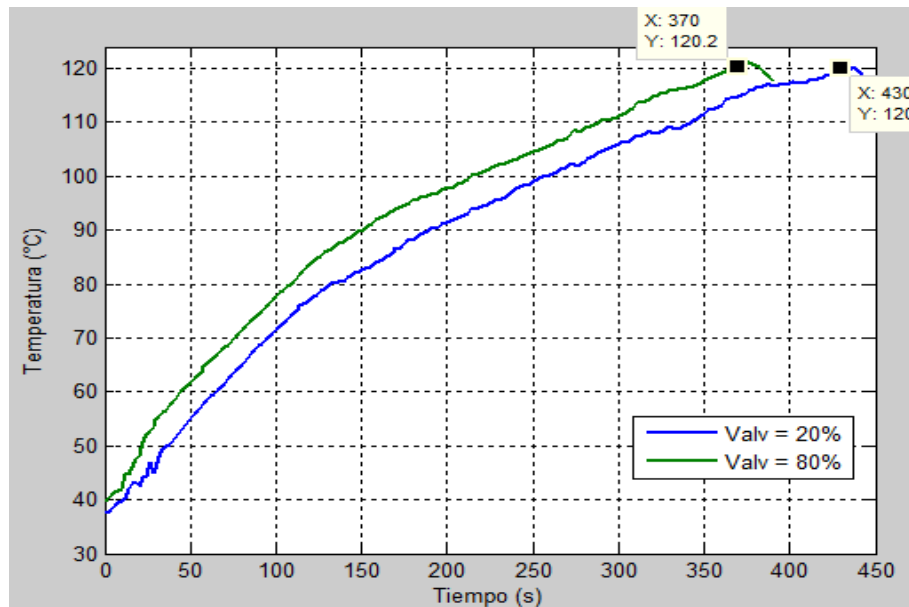
#### 4.5.2. Efectos sobre regulación de flujo de gas

La segunda evaluación se hizo con regulación de flujo de gas para observar si la nueva ventilación afecta al tiempo de calentamiento del sistema. En este ensayo se realizó las pruebas de lazo abierto con porcentajes de apertura alejados, siendo estos 20% y 80%.

La diferencia en el tiempo de calentamiento debería ser sustancial para que la válvula proporcional pueda ser utilizada en el sistema de control del horno de secado.

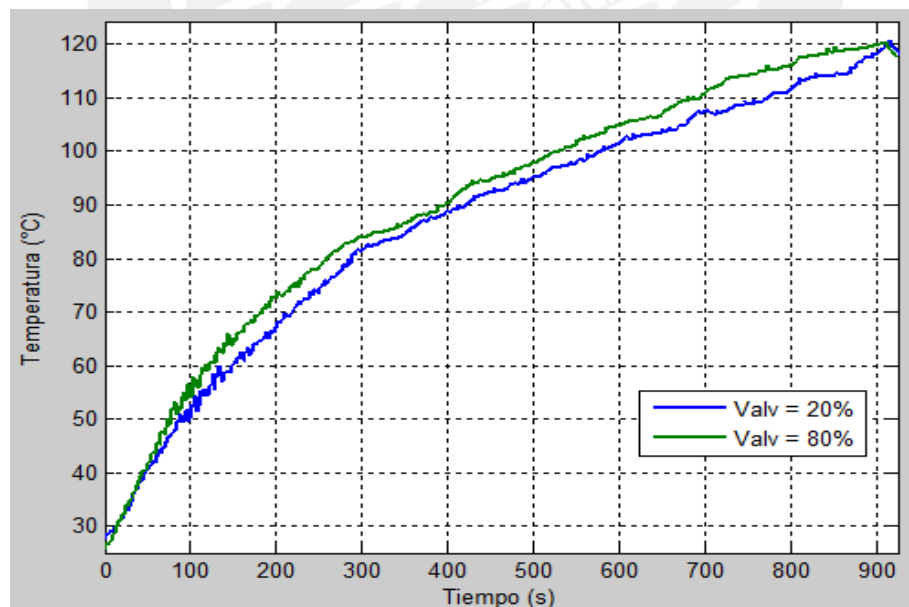
En la prueba de lazo abierto se consideró una temperatura máxima de 120 °C y una presión de gas regulada a 8 psi.

Los resultados de este ensayo se pueden apreciar en las figuras 4.7 para el sistema con la tapa hermética y la figura 4.8 para el sistema con rejilla de ventilación:



**Figura 4.8: Regulación de Flujo con Tapa Hermética**

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.9: Regulación de Flujo con Rejilla de Ventilación**

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que al usar la tapa hermética hay una diferencia de 60 segundos en el tiempo que se llega a la temperatura límite, esta diferencia es baja considerando que el cambio realizado fue del 60% de apertura, lo que a su vez significaría (asumiendo linealidad) que cambios del 1% de porcentaje de apertura solo generaría cambios de 1 segundo en la velocidad de calentamiento. Aun así, es una mejor respuesta de la que

se tiene en la figura 4.8 con la rejilla de ventilación, donde se llega a la temperatura límite prácticamente en el mismo tiempo.

Si bien en el primer caso se tiene una baja posibilidad para realizar el control por regulación de flujo en el caso de la rejilla de ventilación, este queda totalmente descartada ya que el aire que escapa y el viento externo generan una perturbación en el sistema que mantiene el fuego aproximadamente en un mismo nivel.

#### 4.5.3. Efectos sobre la humedad interna del horno

Finalmente, se realizó las mediciones de humedad correspondientes a ambos sistemas de ventilación. Los datos fueron tomados en pruebas diferentes a las que se tiene en la figura 4.7 y 4.8. Sin embargo, las condiciones del ensayo fueron similares (lazo abierto, 120 °C de temperatura límite y presión de 8.25 psi).

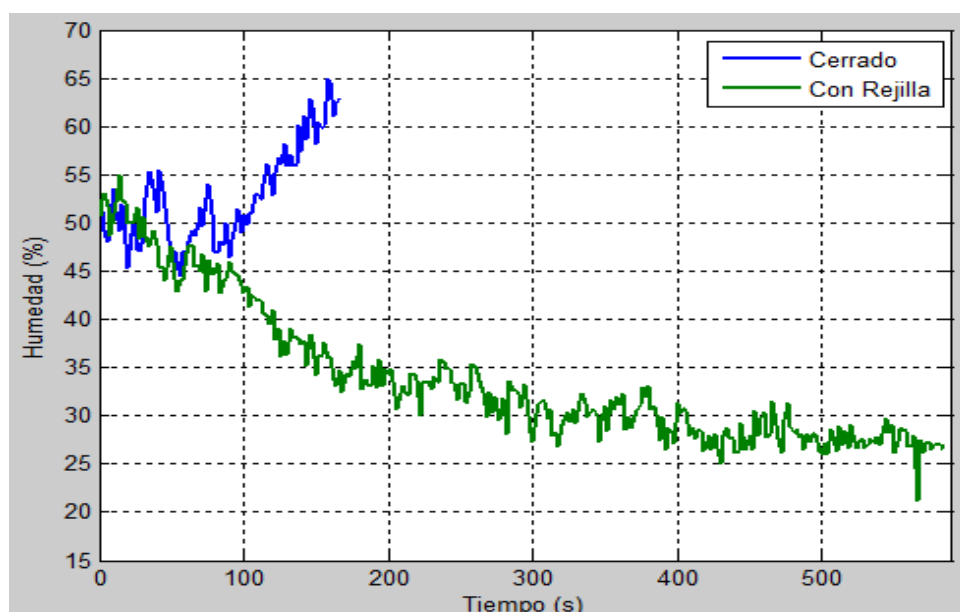


Figura 4.10: Evaluación de la Humedad y el Sistema de Ventilación

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la figura anterior el sistema con la tapa hermética genera una elevación progresiva de la humedad que llegó hasta un valor de 65% HR durante el ensayo; mientras que la rejilla de ventilación permitió reducir la humedad hasta un valor por debajo del 30% HR.

Si bien en el caso de la tapa hermética se genera menos humedad que en el sistema inicial que se ilustra en la figura 4.5, esta humedad sigue siendo perjudicial para el proceso de secado. Por lo que se decidió de aquí en adelante continuar ensayos con la rejilla de ventilación, ya que con esta si se logra reducir la humedad dentro del horno.

#### 4.6. Ensayos del sistema en lazo abierto

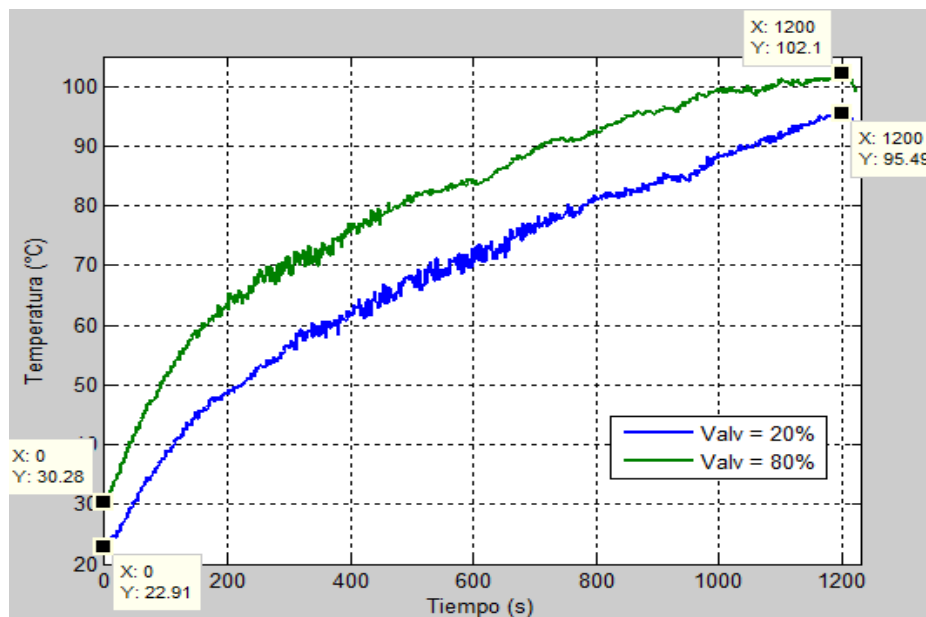
Como se mencionó en la sección anterior las pruebas serán realizadas utilizando la rejilla de ventilación. Y como ya se demostró, la regulación de flujo no es efectiva; sin embargo, para tener un mejor análisis se decidió realizar las pruebas de lazo abierto para dos valores de porcentaje de apertura y verificar el comportamiento del sistema.

Además, los ensayos de lazo abierto se detendrán únicamente en uno de los siguientes casos: que se alcance la temperatura límite de 120 °C o pasen 20 minutos desde que se encendió el sistema. Este último caso, se da porque se busca que el sistema de control a desarrollar en la sección 4.7 tenga un tiempo de establecimiento menor a 30 minutos.

Finalmente, es importante mencionar que los ensayos serán realizados a 3 valores distintos de presión del suministro de gas para observar alrededor de que valor de presión sería recomendable trabajar el sistema de control de la sección 4.7. Esto se logra con la ayuda del regulador de gas y el manómetro.

#### 4.6.1. Efectos de la presión en el sistema de lazo abierto

Presión de suministro P = 4 psi:

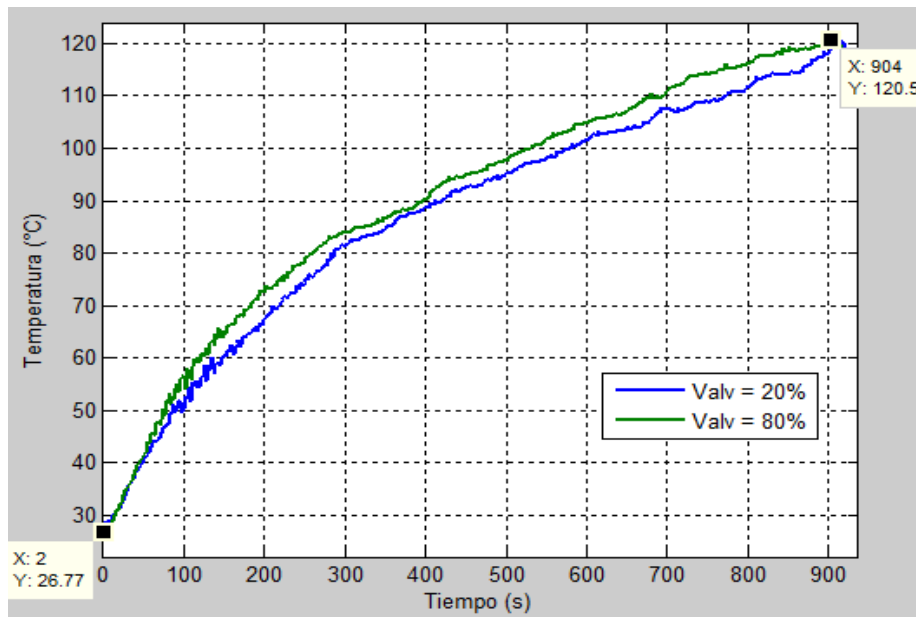


**Figura 4.11: Prueba de Lazo Abierto con Presión de 4 psi**

Fuente: Elaboración Propia

En este ensayo la temperatura no llegó a estabilizarse después de 20 minutos, además la temperatura alcanzada fue cercana a 100 °C. La diferencia entre los resultados se debe a que las temperaturas con la que se iniciaron ambos ensayos fue distinta y esta diferencia prácticamente se mantiene a lo largo del proceso. Al inicio la diferencia fue  $30.28 - 22.91 = 7.37$  °C y al final fue  $102.1 - 95.49 = 6.61$  °C.

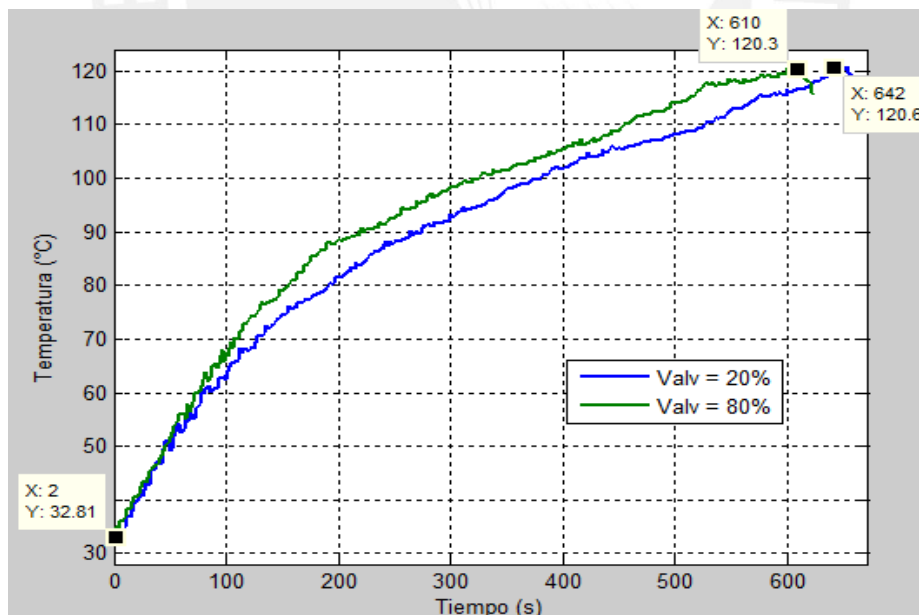
Presión de suministro P = 8 psi:



**Figura 4.12: Prueba de Lazo Abierto con Presión de 8 psi**  
Fuente: Elaboración Propia

En este ensayo se alcanzó la temperatura límite en aproximadamente 15 min (904 seg). Se puede observar también que el porcentaje de apertura de válvula prácticamente no tiene efecto sobre el tiempo en que se llega a esta temperatura.

Presión de suministro P = 10 psi:



**Figura 4.13: Prueba de Lazo Abierto con Presión de 10 psi**  
Fuente: Elaboración Propia

En este ensayo se llega a la temperatura límite en 610 seg (10.17 min) para un porcentaje de apertura de 80% y en 642 seg (10.7 min) para un porcentaje de 20%. La diferencia de tiempo es solo de medio minuto y esta se debe a que la presión al ser mayor opone mayor resistencia al viento que actúa como perturbación.

#### 4.6.2. Análisis de resultados

La siguiente tabla resume los resultados obtenidos:

**Tabla 4.8: Resultados de Lazo Abierto**

Presión (psi)	Temperatura Alcanzada	Tiempo (seg)	¿Alcanza Límite?	¿Se Estabiliza?
4	102	1200	No	No
8	120	904	Si	No
10	120	610	Si	No

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla 4.8 para ninguno de los valores de presión utilizados se logró obtener estabilidad por debajo de la temperatura límite de control (120 °C). Además, se observa que el aumento de presión disminuye el tiempo en que se llega a temperatura límite.

Finalmente, se reafirma la conclusión de la sección 4.5 que hacía referencia a que los cambios de porcentaje de apertura de la válvula proporcional no afectan significativamente el tiempo en que se llega a la temperatura límite de control.

#### 4.7. Ensayos del sistema de control

Como quedó demostrado en las secciones 4.5 y 4.6 el uso de la válvula de regulación de flujo no beneficia al sistema de control considerando que se utiliza la rejilla de ventilación y aún en el caso de la tapa hermética, esta válvula no tiene suficiente efecto sobre el gas para permitir alcanzar estabilidad en un punto inferior a la temperatura límite. Sin embargo, con la regulación de presión se pudo lograr que la temperatura suba con menor rapidez.

Con esto en consideración el mejor método de control que se podría utilizar para lograr estabilidad en el horno de secado es el algoritmo de control encendido/apagado (ON/OFF). Si bien un sistema de control con un bajo tiempo de establecimiento es deseable, este implicaría prender y apagar el sistema constantemente para mantener el valor de temperatura deseado estable. Por este motivo, se decidió realizar ensayos alrededor de la presión de 8 psi ya que con este valor se alcanza la temperatura límite en menos de 20 minutos, y no demandará el exceso de encendidos que se podría esperar a una presión de 10 psi.

Entonces, los valores de presión seleccionados para las pruebas serán de 7 psi, 8 psi y 9 psi. Para estos valores de prueba se evaluará el desempeño del algoritmo de control para los valores de temperatura deseada de 90 °C, 100 °C, 110 °C y 120 °C. Además, se consideró un único valor de porcentaje de apertura de la válvula proporcional y este fue del 25%.

Como al apagar el sistema la temperatura eleva su temperatura durante algunas muestras más y de forma similar cuando se vuelve a encender el sistema, hay un retardo para que la temperatura comience a elevarse nuevamente; se seleccionó un rango de histéresis de 2.5 °C con la meta de no superar un error de +/- 3.5 °C al momento de realizar el control de temperatura.

Es importante mencionar que la temperatura inicial de cada ensayo difiere ligeramente y de forma general se podría afirmar que este valor es cercano a los 36 °C. Esto se hizo

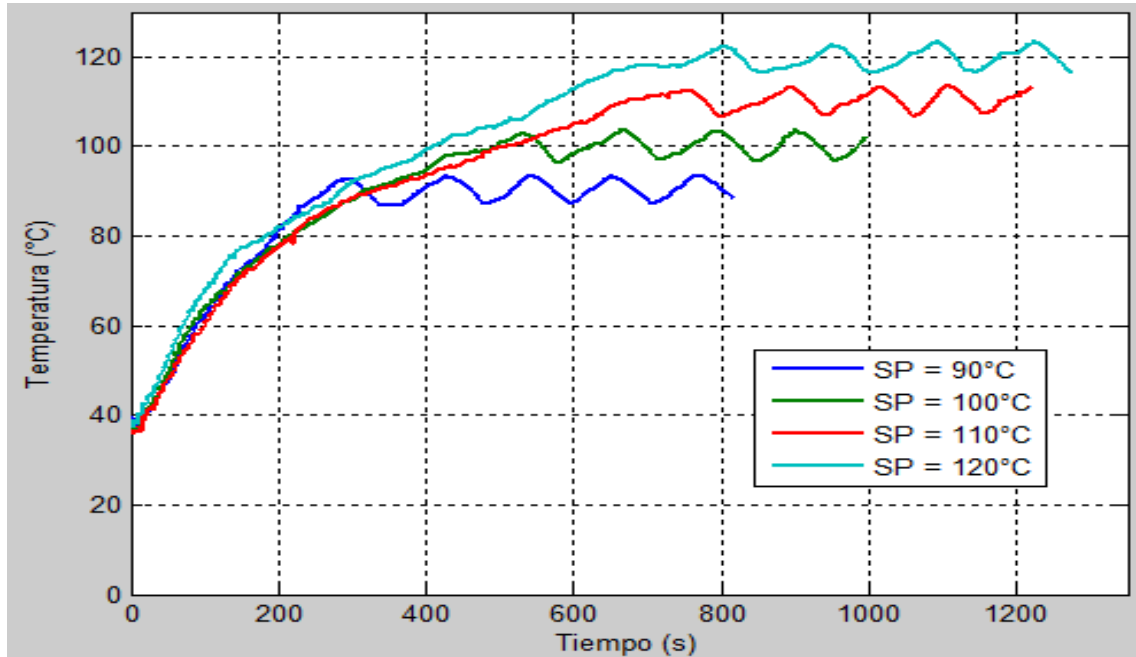


para poder realizar la mayor cantidad de ensayos posibles con condiciones iniciales similares.

Como observación final para estos ensayos se toma datos desde el encendido del horno hasta un intervalo de 8 minutos desde que se llega al valor deseado o Set Point (SP).

#### 4.7.1. Efectos de la presión en el sistema de control

Presión de suministro P = 7 psi:



**Figura 4.14: Sistema de Control Para 7 psi**

Fuente: Elaboración Propia

Se obtuvo los siguientes resultados para el rango de control:

**Tabla 4.9: Resultados de Control Para 7 psi**

SP (°C)	Tiempo Establecimiento	Temp Promedio (°C)	Temp Min (°C)	Temp Max (°C)	Error Max (°C)
90	4 min 40s	90.217	86.624	93.493	3.493
100	9 min 48s	100.200	96.459	103.608	3.608
110	11 min 10s	110.140	106.685	113.658	3.658
120	12 min 52s	119.489	116.571	123.273	3.429

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el error máximo de control de temperatura es de 3.658 °C y se tiene un tiempo de establecimiento mínimo cercano a los 5 minutos y máximo cercano a los 13 minutos. Se observa gráficamente que para los 8 minutos de control hubo 4 encendidos del sistema como parte del algoritmo de control.

Presión de suministro P = 8 psi:

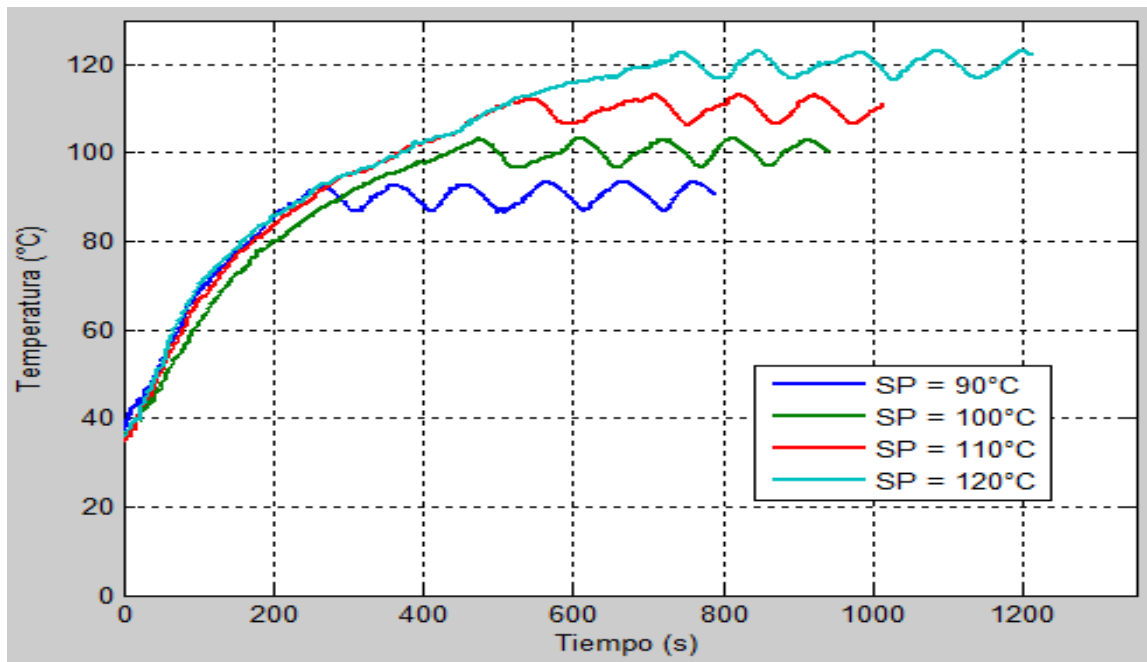


Figura 4.15: Sistema de Control Para 8 psi

Fuente: Elaboración Propia

Se obtuvo los siguientes resultados para el rango de control:

Tabla 4.10: Resultados de Control Para 8 psi

SP (°C)	Tiempo Establecimiento	Temp Promedio (°C)	Temp Min (°C)	Temp Max (°C)	Error Max (°C)
90	4 min	90.2848	86.617	93.414	3.414
100	7 min 14s	100.1494	96.59	103.408	3.410
110	8 min 14s	109.9549	106.52	113.398	3.480
120	11 min 20s	120.0076	116.533	123.29	3.467

Fuente: Elaboración Propia

Como era de esperarse a 8 psi se logra reducir el tiempo de establecimiento, siendo el mínimo de 4 minutos y el máximo de un poco más de 11 minutos. El error máximo de temperatura está por debajo de 3.5 °C. En este caso dependiendo de la temperatura deseada fueron necesarios de 4 a 5 encendidos del sistema para el tiempo de control.

Presión de suministro P = 9 psi:

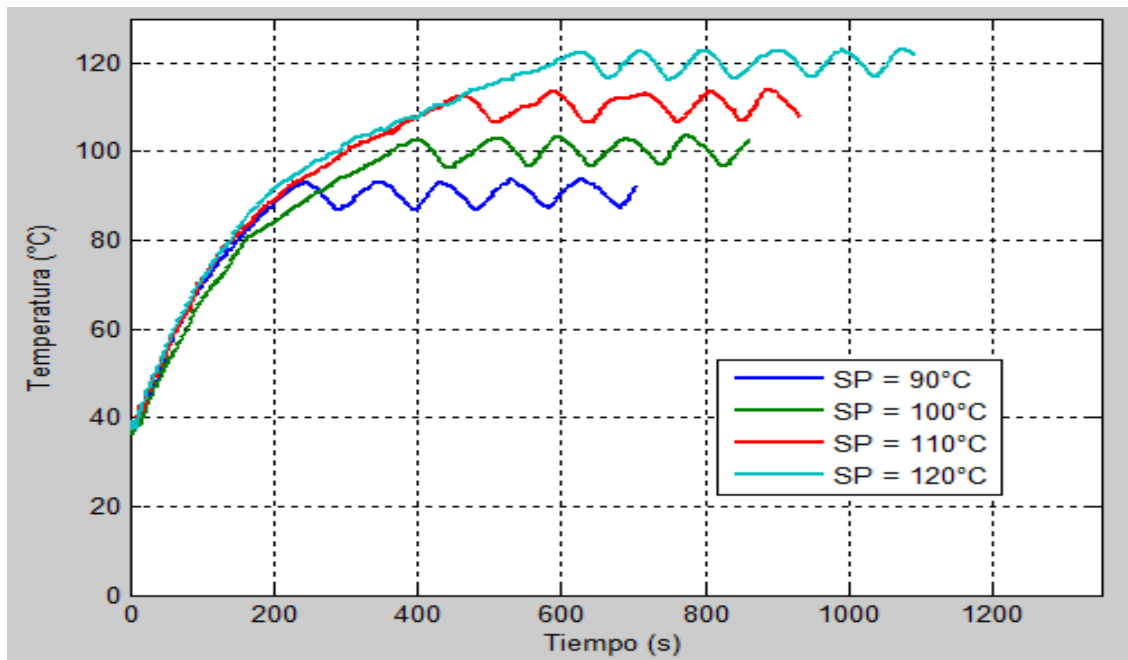


Figura 4.16: Sistema de Control para 9 psi

Fuente: Elaboración Propia

Se obtuvo los siguientes resultados para el rango de control:

Tabla 4.11: Resultados de Control para 9 psi

SP (°C)	Tiempo Establecimiento	Temp Promedio (°C)	Temp Min (°C)	Temp Max (°C)	Error Max (°C)
90	3 min 26 s	90.5496	86.758	93.768	3.768
100	6 min 2s	100.1897	96.286	103.642	3.714
110	7 min 4s	110.3294	106.235	113.935	3.935
120	10 min	120.0035	116.255	123.238	3.745

Fuente: Elaboración Propia

En este último ensayo el tiempo de establecimiento es reducido aún más y toma un valor mínimo de 3 minutos y medio para 90 °C y un valor máximo de 10 min para la temperatura límite de 120 °C. En este caso hubo al menos 5 encendidos de sistema para el control de 8 minutos. Finalmente, se obtuvo un error máximo de temperatura de 3.9 °C.

#### 4.7.2. Análisis de resultados

Todas las opciones trabajadas superan tranquilamente el requerimiento de tiempo de establecimiento. Ya que en todos los casos se logra que sea menor a 30 minutos. Con respecto a la oscilación de estado estable, se tiene en el control con presión de 8 psi, un menor error de temperatura y junto con las otras opciones cumple la meta de tener una oscilación menor a 5 °C.

La presión de 10 psi no es recomendable para trabajar con el controlador on/off, ya que presenta mayores oscilaciones (mayor frecuencia de encendido de sistema), además de que las mismas tienen una mayor amplitud que a 8 y 7 psi, debido a que la temperatura sube más de 1 °C aún después de apagar el sistema.

Finalmente, se prefiere la presión de 8 psi sobre la de 10 y 7 psi, porque se tiene menor tiempo de establecimiento sin comprometer considerablemente el número de oscilaciones, además de tener un error de temperatura ligeramente menor que a 7 psi.



## CONCLUSIONES

- Se satisficieron los requerimientos de medición de temperatura obteniéndose un error promedio de 0.28 °C y uno máximo de 0.61 °C, esto se logró realizando ajustes polinómicos que permiten adecuar con mayor precisión los valores medidos por el microcontrolador a los valores reales.
- Usando el mismo método de ajuste se pudo obtener un error máximo de 2% HR para el monitoreo de humedad.
- Se pudo analizar la información directamente medida por el microcontrolador gracias al uso del puerto serial, que se comunicaba con una interfaz de Matlab.
- El monitoreo de humedad resultó ser una herramienta de gran ayuda al momento de analizar la ventilación del horno de secado, ya que con este sensor se demostró que era necesario modificar la ventilación del quemador de gas para cumplir con los requerimientos de control sin afectar negativamente el proceso de secado al añadir humedad.
- Se logra cumplir el requisito de tiempo de establecimiento siendo este mucho menor a 30 minutos para todos los ensayos de control realizados, esto se convierte en una ventaja competitiva frente a los hornos eléctricos, ya que estos tienen una respuesta mucho más lenta.
- Mediante la regulación de la presión de gas se pudo disminuir la velocidad de calentamiento del horno de secado, de tal forma que se pudo controlar con mayor facilidad el sistema.
- Debido a que la válvula proporcional no afecta considerablemente al sistema implementado, y en los ensayos de lazo abierto no se obtiene una temperatura de establecimiento. Se determinó que el control on/off era la mejor técnica para cumplir los requerimientos planteados.
- El algoritmo de control desarrollado para una presión de 8 psi tiene ventajas frente a la presión de 7 y 9 psi en lo que respecta a tiempo de establecimiento, número de oscilaciones y amplitud de las mismas.
- Se logra realizar un control de temperatura en el intervalo de 90°C a 120°C con una oscilación máxima de 3.5 °C para una presión de 8psi.

## RECOMENDACIONES

- Realizar un control electrónico de presión de gas en lugar de un control de flujo, podría mejorar aún más el tiempo de establecimiento e incluso podría llegar a eliminar las oscilaciones presentes en el sistema de control on/off; esto iría de la mano con el desarrollo de una estrategia de control más avanzada.
- Desarrollar una comunicación inalámbrica para la recolección de datos puede ayudar a acelerar este proceso.
- Evaluar la posibilidad de mejorar la ventilación del sistema mediante modificaciones al sistema mecánico podría ser de utilidad para obtener estabilidad de temperatura en las pruebas de lazo abierto.
- Analizar el consumo de gas durante los ensayos de control puede servir para estimar de cuánto es el ahorro con respecto a los hornos eléctricos.



## BIBLIOGRAFÍA

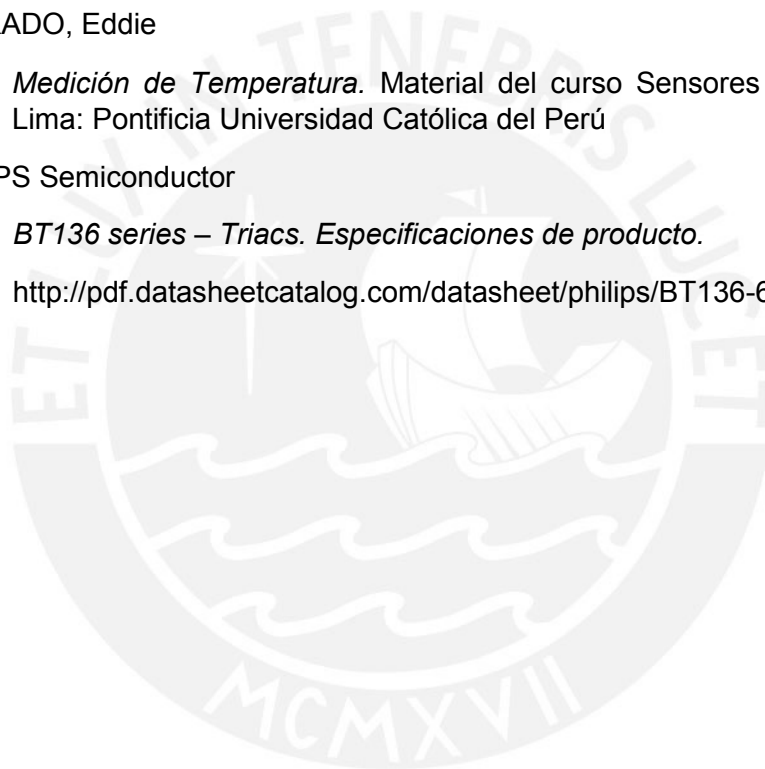
- [1] AVELINO, Pedro.  
2001 “Generalidades de los transformadores”. Transformadores de distribución. Cuauhtémoc: Reverté Ediciones, pp. 3-19.
- [2] ALVAREZ, R y M del Pozo.  
2007 “Mantenimiento de Transformadores de Potencia”. En XII ERIAC – Encuentro Regional Ibero – Americano del CIGRÉ. La Plata, Argentina.  
[http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/36793/Documento\\_completo.04\\_Alvarez.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/36793/Documento_completo.04_Alvarez.pdf?sequence=1)
- [3] FLORES Wilfredo, Enrique MOMBELLO, Giuseppe RATTÁ y José JARDINI.  
2008 “Life Of Power Transformers Immersed in Oil: State of the Art – Part I. Correlation between Life and Temperature”. Universidad Nacional de San Juan, Instituto de Energía Eléctrica.  
<http://ieeexplore.ieee.org/document/4444533/>
- [4] MOTORTICO  
2013 Clase de Aislamiento – Materiales Aislantes. Boletín mensual, agosto 2013. Costa Rica.  
<http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2013%20AGO%20-%20Clase%20de%20Aislamiento%20-%20Materiales.pdf>
- [5] ENRIQUEZ, Gilberto.  
2004 “Aislamientos en Transformadores”. El libro práctico de los Generadores, Transformadores y Motores Eléctricos. Ciudad de México: Editorial Limusa.
- [6] ECHEVERRY, Javier  
2016 “Transformadores Clase Alta Temperatura”. Transformers Seminar Version 6 – Chile. ABB Group. Marzo 2016.  
[http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/4f37d6159408354983257f8f004a9c2d/\\$file/Transformadores+Clase+Alta+Temperatura+-+Javier+Echeverry.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/4f37d6159408354983257f8f004a9c2d/$file/Transformadores+Clase+Alta+Temperatura+-+Javier+Echeverry.pdf)
- [7] MORALES, Emilio  
2014 “Presencia, Efectos, Medición y Eliminación de la Humedad en Transformadores de Potencia Sumergidos en Aceite Mineral”. Congreso Internacional de Distribución Eléctrica – CIDEL 2014.  
<http://www.cidel2014.com/papers/794.pdf>

- [8] BOMBAS DE VACÍO  
*Métodos de Regeneración: Procedimiento Para Secado de Transformadores de Potencia.*  
[http://www.bombasdevacio.com.mx/REGENERADORASDEACEITE/metodosreg\\_transformpotenciadist.html#top](http://www.bombasdevacio.com.mx/REGENERADORASDEACEITE/metodosreg_transformpotenciadist.html#top)
- [9] ALVES ANTONELLI, Gustavo  
2013 “Análise de Métodos de Secagem de Transformadores de Potência”.  
Universidade de Sao Paulo.
- [10] ARS – Altmann Group  
*Maintenance of Wet Power Transformers: Comparison of standard methods and Altmann’s method.* Machova, República Checa.  
[http://www.ars-altmann.com/en/products/dwn/Dehydration\\_Comparison\\_21052008.pdf](http://www.ars-altmann.com/en/products/dwn/Dehydration_Comparison_21052008.pdf)
- [11] RINDLISBACHER, Günter y Risto VUELLE  
2005 “Abaratar y Secar”. Revista ABB. Marzo 2005, pp 66-69.  
[http://interelectricas.co/pdf/ABB/03-2005/66-69%20M557\\_SPA72dpi.pdf](http://interelectricas.co/pdf/ABB/03-2005/66-69%20M557_SPA72dpi.pdf)
- [12] STEEVES R, Gregory  
2016 “Vapor Phase Transformer Drying – Part I”. Transformers Magazine, Volume 3, Issue 2, pp 52 – 56.  
<http://www.transformers-magazine.com/component/k2/2985-vapor-phase-transformer-drying-part-i-power.html>
- [13] BOMMEL, Matthias y Tobias LADERMANN  
2012 “Drying of Transformers in the Field with Vaporphase, Low Frequency, or Oil Spray Process”. Transformer Life Management Conference. Meier Group. Bocholt, Germany.  
<http://www.energy-support.de/en/component/phocadownload/category/4-seminars-tlm-layout.html?download=59:matthias-bommel-meier-prozesstechnik>
- [14] García Diego, B. García, J. Burgos y R. Villarroel  
2012 “Transformer field drying improvement by applying low frequency heating”. Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Mayo del 2012.  
<http://ieeexplore.ieee.org/document/6220075/>
- [15] The Grieve Corporation  
*Universal Ovens.* Illinois, USA.  
<http://www.grievcorp.com/catalog/Batch-Ovens/Universal-Ovens/Universal-Batch-Oven.html>



- [16] The Grieve Corporation  
*Modified Model AG-500 Universal Oven*. Illinois, USA.  
<http://www.grievcorp.com/CustEquipPhoto/photoframe/FRAME798.HTM>
- [17] Parker Velcon  
*EL 1583 6th Edition Qualified Water Absorbing "Monito" Cartridges*. Colorado, USA.  
<http://velcon.com/cartridges/?pg=aquacon>
- [18] LI, Julio  
2015 *Diseño e Implementación de un Sistema de Control de Temperatura y Monitoreo de Humedad para un Horno de Secado de Transformadores*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- [19] TEXAS INSTRUMENTS  
2016 *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. Hoja de Datos  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
- [20] VISHAY  
2013 *BZX55 – Series, Small Signal Zener Diodes*. Hoja de Datos.  
<https://www.vishay.com/docs/85604/bzx55-se.pdf>
- [21] BURR – BROWN  
s/f *INA 122, Single Supply Micro Power Instrumentation Amplifier*. Hoja de datos.  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina122.pdf>
- [22] ARIAN – Control & Instrumentación  
s/f *PT100, su operación, instalación y tablas*. Nota técnica 4, rev a.  
<http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>
- [23] TE – Sensor Solutions  
2015 *HS1101LF Relative Humidity Sensor*. Hoja de Datos. Toulouse.  
[http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchrtv&DocNm=HPC052\\_J&DocType=Data+Sheet&DocLang=English&DocFormat=pdf&PartCntxt=CAT-HSC0006](http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchrtv&DocNm=HPC052_J&DocType=Data+Sheet&DocLang=English&DocFormat=pdf&PartCntxt=CAT-HSC0006)
- [24] China Suppliers  
s/f *Generador de chispa, ignición de chispa, repuestos de horno*.  
[http://es.made-in-china.com/co\\_newliteparts/product\\_Spark-Generator-Spark-Ignition-Oven-Parts-Stove-Oarts-Gas-Spare-Parts\\_esyigsuog.html](http://es.made-in-china.com/co_newliteparts/product_Spark-Generator-Spark-Ignition-Oven-Parts-Stove-Oarts-Gas-Spare-Parts_esyigsuog.html)
- [25] MOTOROLA

- 1995 *MOC3041/3042/3043 6- Pin DIP Zero – Cross Optoisolators Triac Driver Output*. Hoja de datos.  
[http://exa.unne.edu.ar/ingenieria/sistemas/public\\_html/Archi\\_pdf/Hoja Datos/Optoelectronica/moc3041.pdf](http://exa.unne.edu.ar/ingenieria/sistemas/public_html/Archi_pdf/Hoja Datos/Optoelectronica/moc3041.pdf)
- [26] ElectroCrea  
s/f *Modulo serial I2C para Display LCD*. ElectroCrea.  
<https://electrocrea.com/products/modulo-serial-iic-i2c-twi-spi>
- [27] ARDUINO  
2017 *Arduino Uno REV3*. Especificaciones técnicas.  
<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- [28] SOBRADO, Eddie  
2016 *Medición de Temperatura*. Material del curso Sensores y Actuadores. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú
- [29] PHILIPS Semiconductor  
s/f *BT136 series – Triacs. Especificaciones de producto*.  
<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/philips/BT136-600F.pdf>

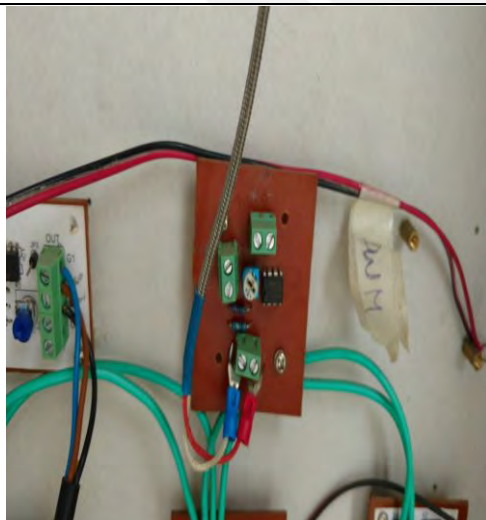
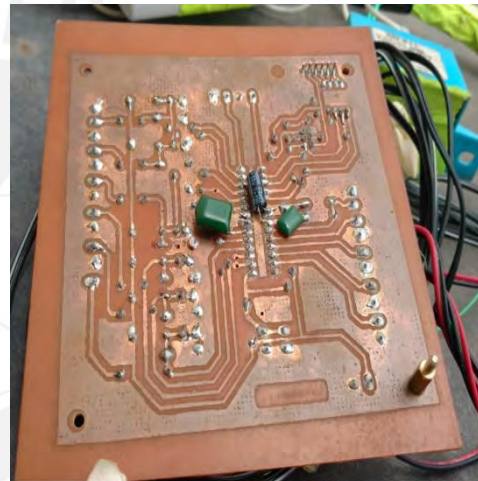
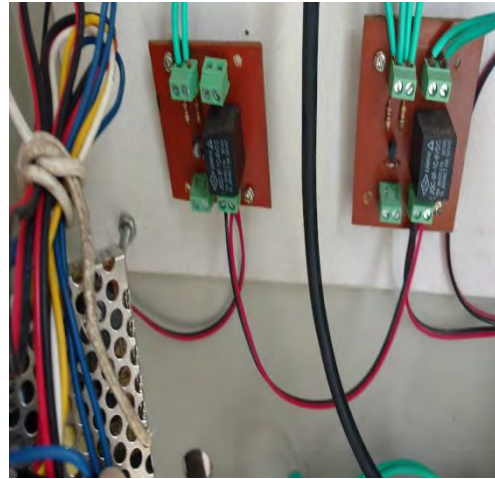
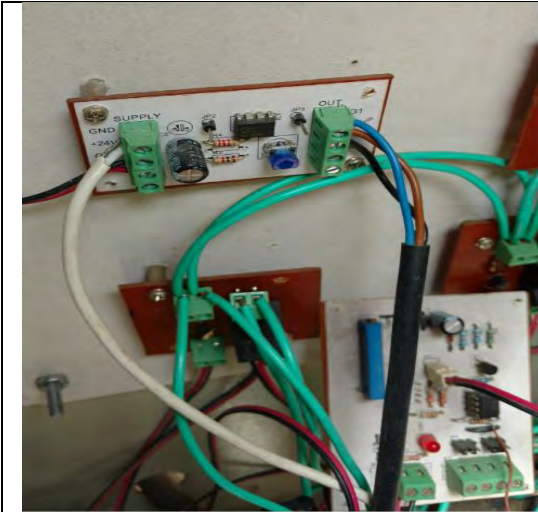


# ANEXOS

## ANEXO A: REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL SISTEMA RECIBIDO

Tabla A.1: Sistema Inicial







**Figura A.1: Tablero Inicial – Puerta Abierta**

## ANEXO B: REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

Tabla B.1: Horno de Secado Final

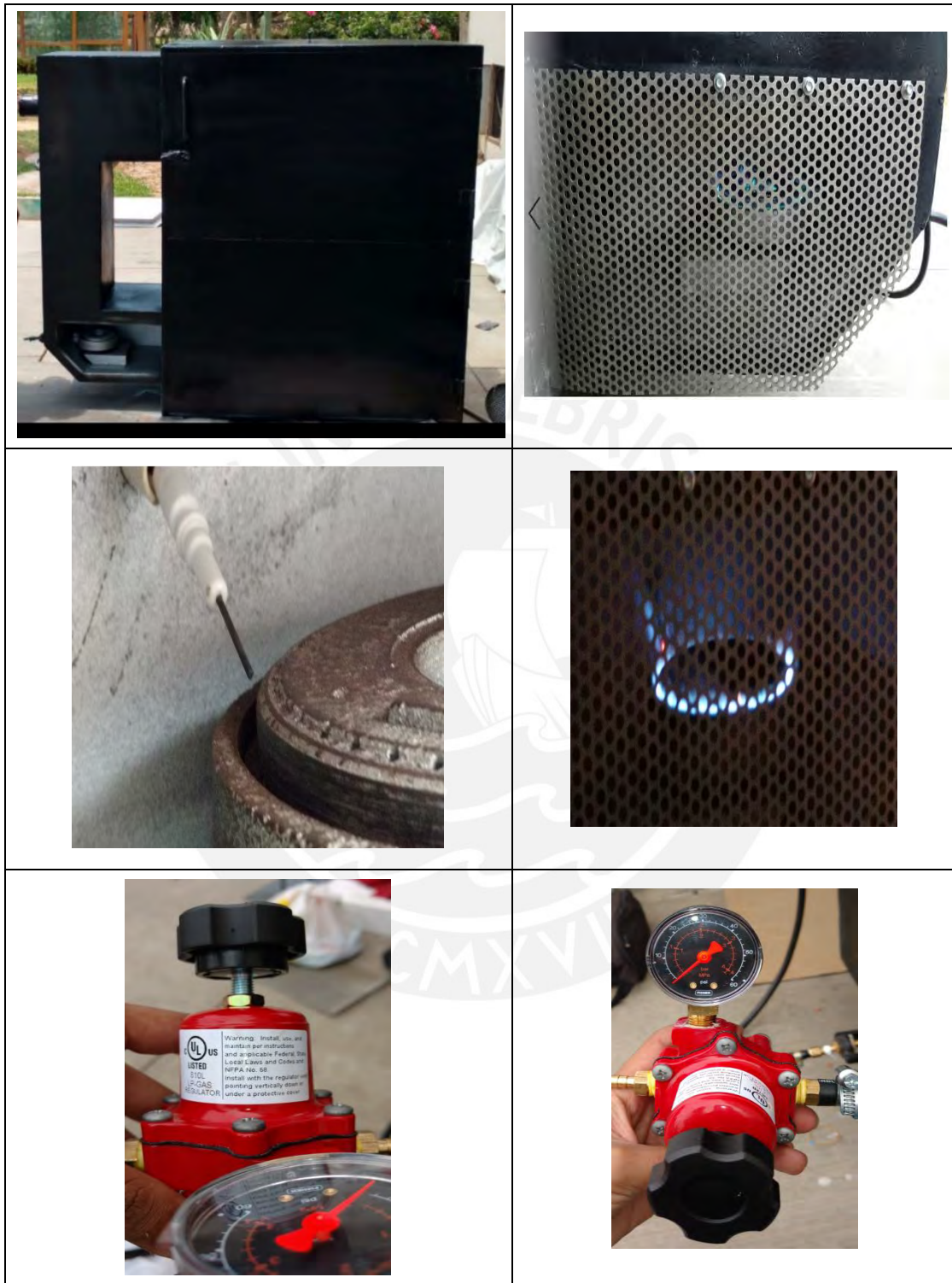


Tabla B.2: Tablero de Control Implementado

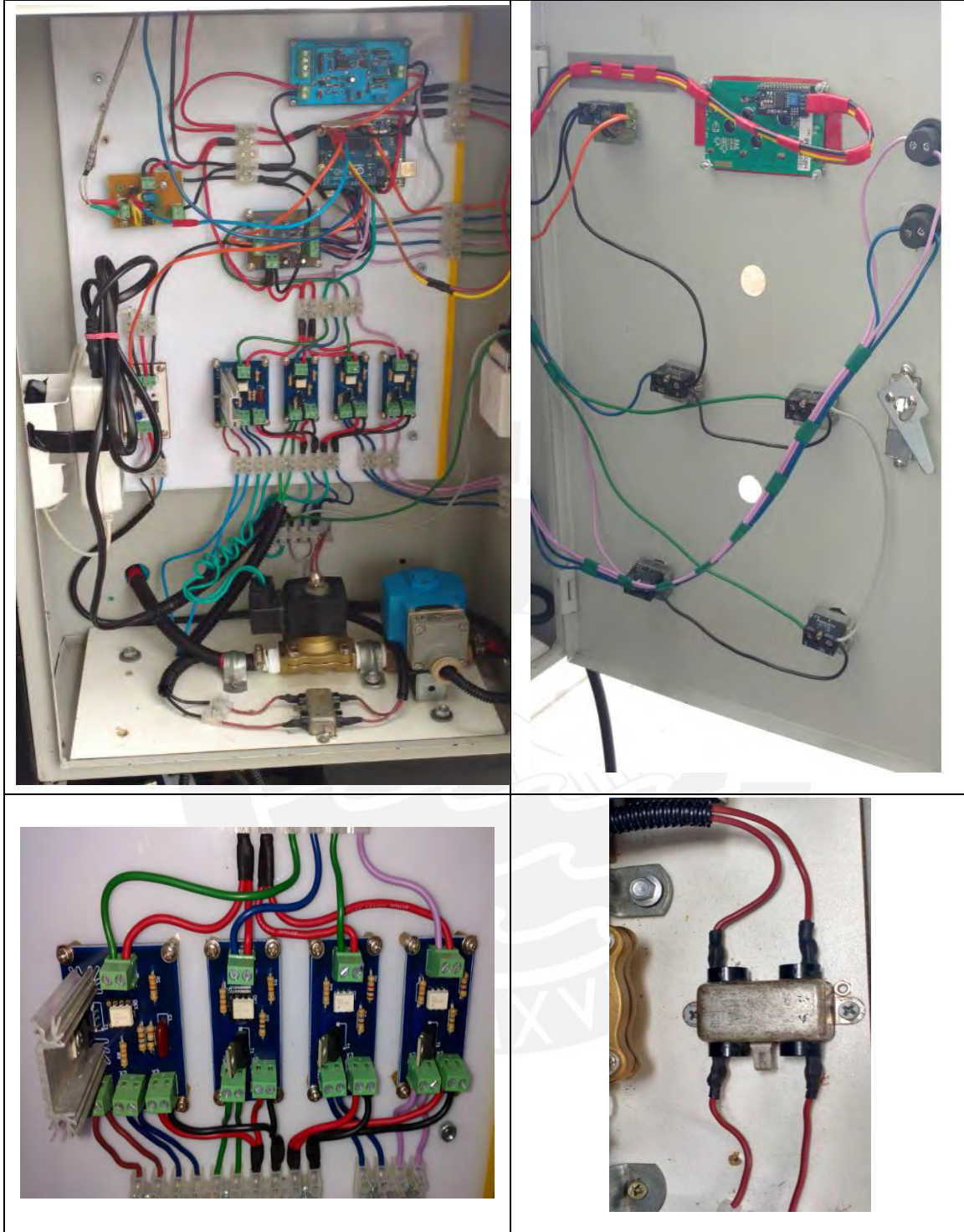


Tabla B.3: Interfaz de Usuario Implementada





# ANEXO C: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT100



**J.L.I. REPRESENTACIONES EIRL**  
Ingeniería Aeronáutica, Telecomunicaciones y Metrología



CERTIFICADO N° 9284

## Certificado de Calibración

LABORATORIO DE METROLOGÍA

**Orden de trabajo:** 9720

**Cliente:** PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

**Dirección:** AV. UNIVERSITARIA NRO. 1801 URB. PANDO - SAN MIGUEL - LIMA

**Descripción:** SENSOR DE TEMPERATURA

**Marca:** NO INDICA

**Modelo:** PT100

**Número de serie:** 3461090001

**Identificación:** 3461090001

**Fecha de calibración:** 2017-02-25

**Lugar de calibración:** LABORATORIO J.L.I - METROLOGÍA

**Intervalo de calibración:** No especificado

**Patrones utilizados:**

Este certificado documenta la trazabilidad a los patrones nacionales (INACAL) e internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Asimismo, cumple con los requisitos de la norma internacional ISO/IEC 17025:2005 y sus equivalencias nacionales e internacionales. Esta empresa cuenta con un sistema de gestión de calidad, basado en la norma ISO 9001:2008, en servicios de calibración de instrumentos de medición y herramientas para uso aeronáutico, telecomunicaciones e industria en general.

Los resultados de este documento son válidos únicamente para el instrumento indicado y bajo las condiciones de referencia declaradas.

Código	Descripción	Trazabilidad	Vencimiento
TH07	Dry-Well Calibrator	J.Li Representaciones EIRL	2017-12-18
ME06	Documenting Process Calibrator	J.Li Representaciones EIRL	2018-04-29



Luis Polo Casafranca  
Técnico



La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición", segunda edición, julio del 2001 (Indecopi).

Se recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos en intervalos apropiados a fin de asegurar la calidad de sus mediciones.

Este documento no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, sin autorización por parte de J.Li Representaciones EIRL.



LABORATORIO DE METROLOGÍA

**Procedimiento de calibración:** JO-I-035 Instructivos de Calibración de Termómetros Digitales

**Condiciones ambientales:**

Temperatura: 23.4 °C  
Humedad: 61 %

---

### Reporte de pruebas

---

**Prueba de medición de sensor de temperatura RTD PT100 (3 CABLES)**

Rango	Patrón	Lectura UUT	Incertidumbre de la Medición
20 - 130 °C	20.00 °C	107.891 Ω	0.012 Ω
	30.00 °C	111.825 Ω	0.013 Ω
	40.00 °C	115.873 Ω	0.013 Ω
	50.00 °C	119.747 Ω	0.014 Ω
	60.00 °C	123.622 Ω	0.014 Ω
	70.00 °C	127.512 Ω	0.015 Ω
	80.00 °C	131.359 Ω	0.015 Ω
	90.00 °C	135.208 Ω	0.016 Ω
	100.00 °C	139.015 Ω	0.016 Ω
	110.00 °C	142.796 Ω	0.016 Ω
	120.00 °C	146.628 Ω	0.017 Ω
	130.00 °C	150.460 Ω	0.017 Ω



Fin del Reporte

## ANEXO D: CALIBRACIÓN DE SENSORES (TOMA DE DATOS)

- SENSOR TEMPERATURA
  - MEDICIÓN DE RESISTENCIA CON EL MICROCONTROLADOR

**Tabla D.1: Calibración con resistencias de prueba**

Prueba	R Deseada (Ohm)	R Medida (Ohm)	Valor ADC	V medido
1	100	100.17	0.1496	0.1592
1	100	100.17	0.1403	0.1498
1	100	100.17	0.1553	0.1648
1	100	100.17	0.1434	0.1530
1	100	100.17	0.1540	0.1635
1	100	100.17	0.1565	0.1660
1	100	100.17	0.1484	0.1579
1	100	100.17	0.1459	0.1554
1	100	100.17	0.1671	0.1766
1	100	100.17	0.1496	0.1592
1	100	100.17	0.1503	0.1598
1	100	100.17	0.1534	0.1629
1	100	100.17	0.1489	0.1579
1	100	100.17	0.1428	0.1523
1	100	100.17	0.1515	0.1610
2	110	109.86	1.0438	1.0506
2	110	109.86	1.0581	1.0649
2	110	109.86	1.0606	1.0674
2	110	109.86	1.0531	1.0600
2	110	109.86	1.0432	1.0500
2	110	109.86	1.0525	1.0593
2	110	109.86	1.0382	1.0450
2	110	109.86	1.0351	1.0419
2	110	109.86	1.0513	1.0581
2	110	109.86	1.0519	1.0587
2	110	109.86	1.0588	1.0656
2	110	109.86	1.0513	1.0581
2	110	109.86	1.0613	1.0680
2	110	109.86	1.0425	1.0494
2	110	109.86	1.0444	1.0513
3	120	120.44	2.0433	2.0472
3	120	120.44	2.0390	2.0428
3	120	120.44	2.0333	2.0372
3	120	120.44	2.0483	2.0521
3	120	120.44	2.0402	2.0441
3	120	120.44	2.0595	2.0633
3	120	120.44	2.0396	2.0434
3	120	120.44	2.0477	2.0515

3	120	120.44	2.0427	2.0465
3	120	120.44	2.0414	2.0453
3	120	120.44	2.0333	2.0372
3	120	120.44	2.0595	2.0633
3	120	120.44	2.0402	2.0441
3	120	120.44	2.0483	2.0521
3	120	120.44	2.0402	2.0441
4	130	129.7	2.9269	2.9810
4	130	129.7	2.9244	2.9256
4	130	129.7	2.9163	2.9175
4	130	129.7	2.9244	2.9256
4	130	129.7	2.9450	2.9461
4	130	129.7	2.9188	2.9200
4	130	129.7	2.9125	2.9138
4	130	129.7	2.9225	2.9237
4	130	129.7	2.9131	2.9144
4	130	129.7	2.9262	2.9274
4	130	129.7	2.9300	2.9312
4	130	129.7	2.9381	2.9392
4	130	129.7	2.9138	2.9150
4	130	129.7	2.9119	2.9131
4	130	129.7	2.9281	2.9293
5	140	139.58	3.8466	3.8450
5	140	139.58	3.8397	3.8382
5	140	139.58	3.8503	3.8487
5	140	139.58	3.8379	3.8363
5	140	139.58	3.8441	3.8425
5	140	139.58	3.8534	3.8518
5	140	139.58	3.8478	3.8463
5	140	139.58	3.8497	3.8481
5	140	139.58	3.8485	3.8469
5	140	139.58	3.8672	3.8655
5	140	139.58	3.8566	3.8550
5	140	139.58	3.8553	3.8537
5	140	139.58	3.8485	3.8469
5	140	139.58	3.8534	3.8518
5	140	139.58	3.8578	3.8562
6	150	150.08	4.8424	4.8378
6	150	150.08	4.8548	4.8502
6	150	150.08	4.8243	4.8198
6	150	150.08	4.8617	4.8571
6	150	150.08	4.8580	4.8533
6	150	150.08	4.8349	4.8303
6	150	150.08	4.8523	4.8478
6	150	150.08	4.8505	4.8459
6	150	150.08	4.8530	4.8484

6	150	150.08	4.8442	4.8397
6	150	150.08	4.8480	4.8434
6	150	150.08	4.8374	4.8328
6	150	150.08	4.8555	4.8509
6	150	150.08	4.8361	4.8316
6	150	150.08	4.8467	4.8422

Ecuación para obtener resistencia:

$$R_{sensor} = 98.5473 + V_{out} * 10.839 - V_{out}^2 * 0.0805 + V_{out}^3 * 0.0079$$

- SIMULACIÓN DE TEMPERATURA CON RESISTENCIAS

$$T(^{\circ}C) = -161.6379 + 0.4846 * R_{sensor} + 0.0148 * R_{sensor}^2 - 3.414 * 10^{-5} * R_{sensor}^3$$

**Tabla D.2: Mediciones de Temperatura con Resistencias de Prueba**

ENSAYO				MEDICIONES			ERROR
Prueba	R Deseada	R Medida	T (°C) SIMUL	V (ADC)	R sensor	T (°C) Arduino	Error T (°C)
1	100	100.1700	1.0937	0.1611	100.2914	1.3878	0.2941
1	100	100.1700	1.0937	0.1570	100.2471	1.2805	0.1868
1	100	100.1700	1.0937	0.1571	100.2485	1.2839	0.1902
1	100	100.1700	1.0937	0.1609	100.2892	1.3826	0.2889
1	100	100.1700	1.0937	0.1553	100.2283	1.2349	0.1412
1	100	100.1700	1.0937	0.1472	100.1406	1.0225	0.0712
1	100	100.1700	1.0937	0.1550	100.2254	1.2280	0.1343
1	100	100.1700	1.0937	0.1515	100.1878	1.1368	0.0431
1	100	100.1700	1.0937	0.1580	100.2579	1.3066	0.2129
1	100	100.1700	1.0937	0.1605	100.2849	1.3721	0.2784
2	110	109.8600	24.9576	1.0613	109.9690	25.2302	0.2726
2	110	109.8600	24.9576	1.0531	109.8823	25.0134	0.0558
2	110	109.8600	24.9576	1.0556	109.9090	25.0802	0.1225
2	110	109.8600	24.9576	1.0569	109.9223	25.1134	0.1558
2	110	109.8600	24.9576	1.0613	109.9690	25.2302	0.2726
2	110	109.8600	24.9576	1.0637	109.9957	25.2970	0.3394
2	110	109.8600	24.9576	1.0457	109.8023	24.8134	0.1443
2	110	109.8600	24.9576	1.0625	109.9823	25.2636	0.3059
2	110	109.8600	24.9576	1.0618	109.9748	25.2449	0.2872
2	110	109.8600	24.9576	1.0432	109.7756	24.7466	0.2110
3	120	120.4400	51.7678	2.0600	120.6031	52.1861	0.4182
3	120	120.4400	51.7678	2.0483	120.4791	51.8681	0.1003
3	120	120.4400	51.7678	2.0514	120.5121	51.9527	0.1849

3	120	120.4400	51.7678	2.0602	120.6047	52.1902	0.4223
3	120	120.4400	51.7678	2.0545	120.5452	52.0376	0.2698
3	120	120.4400	51.7678	2.0452	120.4460	51.7832	0.0154
3	120	120.4400	51.7678	2.0427	120.4195	51.7153	0.0526
3	120	120.4400	51.7678	2.0483	120.4791	51.8681	0.1003
3	120	120.4400	51.7678	2.0592	120.5946	52.1643	0.3965
3	120	120.4400	51.7678	2.0583	120.5849	52.1394	0.3716
4	130	129.7000	75.6941	2.9285	129.7973	75.9473	0.2532
4	130	129.7000	75.6941	2.9325	129.8394	76.0567	0.3626
4	130	129.7000	75.6941	2.9225	129.7339	75.7823	0.0882
4	130	129.7000	75.6941	2.9188	129.6944	75.6796	0.0145
4	130	129.7000	75.6941	2.9287	129.7998	75.9537	0.2596
4	130	129.7000	75.6941	2.9294	129.8064	75.9709	0.2767
4	130	129.7000	75.6941	2.9269	129.7801	75.9025	0.2083
4	130	129.7000	75.6941	2.9281	129.7933	75.9368	0.2427
4	130	129.7000	75.6941	2.9306	129.8196	76.0052	0.3111
4	130	129.7000	75.6941	2.9181	129.6878	75.6624	0.0317
5	140	139.5800	101.5051	3.8485	139.5187	101.3445	0.1607
5	140	139.5800	101.5051	3.8709	139.7560	101.9664	0.4613
5	140	139.5800	101.5051	3.8503	139.5385	101.3963	0.1088
5	140	139.5800	101.5051	3.8672	139.7164	101.8626	0.3575
5	140	139.5800	101.5051	3.8472	139.5055	101.3099	0.1952
5	140	139.5800	101.5051	3.8634	139.6769	101.7591	0.2540
5	140	139.5800	101.5051	3.8503	139.5385	101.3964	0.1088
5	140	139.5800	101.5051	3.8603	139.6439	101.6726	0.1675
5	140	139.5800	101.5051	3.8689	139.7349	101.9110	0.4058
5	140	139.5800	101.5051	3.8674	139.7190	101.8694	0.3643
6	150	150.0800	129.0392	4.8592	150.2218	129.4107	0.3715
6	150	150.0800	129.0392	4.8442	150.0629	128.9944	0.0448
6	150	150.0800	129.0392	4.8380	149.9967	128.8210	0.2183
6	150	150.0800	129.0392	4.8417	150.0365	128.9252	0.1140
6	150	150.0800	129.0392	4.8386	150.0034	128.8385	0.2007
6	150	150.0800	129.0392	4.8587	150.2165	129.3969	0.3577
6	150	150.0800	129.0392	4.8480	150.1027	129.0987	0.0595
6	150	150.0800	129.0392	4.8604	150.2350	129.4453	0.4061
6	150	150.0800	129.0392	4.8595	150.2250	129.4191	0.3799
6	150	150.0800	129.0392	4.8455	150.0762	129.0293	0.0100
7	100	100.1700	1.0937	0.1571	100.2485	1.2838	0.1902
7	100	100.1700	1.0937	0.1548	100.2233	1.2021	0.1291
7	100	100.1700	1.0937	0.1603	100.2828	1.2185	0.2733
7	100	100.1700	1.0937	0.1575	100.2525	1.2511	0.1998
7	100	100.1700	1.0937	0.1613	100.2936	1.0225	0.2993
7	100	100.1700	1.0937	0.1559	100.2350	1.2511	0.1574
7	100	100.1700	1.0937	0.1584	100.2620	1.3165	0.2229
7	100	100.1700	1.0937	0.1561	100.2373	1.1368	0.1631

7	100	100.1700	1.0937	0.1428	100.0935	1.2185	0.1853
7	100	100.1700	1.0937	0.1509	100.1811	1.1205	0.0269
8	110	109.8600	24.9576	1.0662	110.0224	25.3637	0.4061
8	110	109.8600	24.9576	1.0538	109.8893	25.0301	0.0732
8	110	109.8600	24.9576	1.0517	109.8668	24.9634	0.0058
8	110	109.8600	24.9576	1.0594	109.9490	25.1802	0.2226
8	110	109.8600	24.9576	1.0450	109.7952	24.7967	0.1621
8	110	109.8600	24.9576	1.0600	109.9557	25.1969	0.2393
8	110	109.8600	24.9576	1.0538	109.8890	25.0301	0.0725
8	110	109.8600	24.9576	1.0400	109.7417	24.9134	0.0442
8	110	109.8600	24.9576	1.0640	109.9984	24.7967	0.3461
8	110	109.8600	24.9576	1.0644	110.0024	25.3137	0.3561
9	120	120.4400	51.7678	2.0352	120.3402	51.5119	0.2559
9	120	120.4400	51.7678	2.0414	120.4063	51.6814	0.0864
9	120	120.4400	51.7678	2.0402	120.3931	51.6475	0.1203
9	120	120.4400	51.7678	2.0427	120.4195	51.7153	0.0525
9	120	120.4400	51.7678	2.0333	120.3203	51.4610	0.3068
9	120	120.4400	51.7678	2.0489	120.4857	51.8850	0.1172
9	120	120.4400	51.7678	2.0327	120.3137	51.4440	0.3238
9	120	120.4400	51.7678	2.0383	120.3732	51.5966	0.1712
9	120	120.4400	51.7678	2.0446	120.4394	51.7662	0.0016
9	120	120.4400	51.7678	2.0321	120.3071	51.8680	0.3407
10	130	129.7000	75.6941	2.9306	129.8196	76.0053	0.3112
10	130	129.7000	75.6941	2.9188	129.6944	75.6796	0.0145
10	130	129.7000	75.6941	2.9225	129.7339	75.7825	0.0884
10	130	129.7000	75.6941	2.9150	129.6548	75.5767	0.1174
10	130	129.7000	75.6941	2.9206	129.7142	75.7310	0.0369
10	130	129.7000	75.6941	2.9156	129.6614	75.5939	0.1002
10	130	129.7000	75.6941	2.9107	129.6087	75.4568	0.2373
10	130	129.7000	75.6941	2.9285	129.7973	75.6453	0.0932
10	130	129.7000	75.6941	2.9262	129.7735	75.8853	0.1912
10	130	129.7000	75.6941	2.9237	129.7471	75.8167	0.1226
11	140	139.5800	101.5051	3.8491	139.5253	101.3617	0.1434
11	140	139.5800	101.5051	3.8453	139.4857	101.2581	0.2470
11	140	139.5800	101.5051	3.8485	139.5178	101.3445	0.1606
11	140	139.5800	101.5051	3.8501	139.5361	101.4999	0.1150
11	140	139.5800	101.5051	3.8516	139.5516	101.4308	0.0743
11	140	139.5800	101.5051	3.8485	139.5187	101.3445	0.1606
11	140	139.5800	101.5051	3.8649	139.6926	101.5690	0.2950
11	140	139.5800	101.5051	3.8491	139.5253	101.5690	0.0639
11	140	139.5800	101.5051	3.8491	139.5253	101.3617	0.1434
11	140	139.5800	101.5051	3.8653	139.6967	101.8109	0.3058
12	150	150.0800	129.0392	4.8501	150.1252	128.9772	0.1185
12	150	150.0800	129.0392	4.8498	150.1225	129.1506	0.1114
12	150	150.0800	129.0392	4.8567	150.1953	129.3414	0.3022

12	150	150.0800	129.0392	4.8492	150.1159	129.1333	0.0941
12	150	150.0800	129.0392	4.8505	150.1291	129.1679	0.1287
12	150	150.0800	129.0392	4.8527	150.1528	128.9252	0.1908
12	150	150.0800	129.0392	4.8517	150.1424	129.2026	0.1634
12	150	150.0800	129.0392	4.8430	150.0497	129.0292	0.0100
12	150	150.0800	129.0392	4.8560	150.1878	128.9772	0.2826
12	150	150.0800	129.0392	4.8442	150.0629	128.9945	0.0447
13	100	100.1700	1.0937	0.1546	100.2215	1.2185	0.1247
13	100	100.1700	1.0937	0.1615	100.2957	1.3982	0.3045
13	100	100.1700	1.0937	0.1484	100.1541	1.0551	0.0385
13	100	100.1700	1.0937	0.1600	100.2795	1.1531	0.2653
13	100	100.1700	1.0937	0.1589	100.2676	1.1858	0.2365
13	100	100.1700	1.0937	0.1528	100.2016	1.1695	0.0758
13	100	100.1700	1.0937	0.1553	100.2283	1.2348	0.1412
13	100	100.1700	1.0937	0.1596	100.2755	1.3492	0.2556
13	100	100.1700	1.0937	0.1612	100.2925	1.1368	0.2968
13	100	100.1700	1.0937	0.1434	100.1001	0.9245	0.1693
14	110	109.8600	24.9576	1.0556	109.9090	25.0802	0.1226
14	110	109.8600	24.9576	1.0351	109.6889	24.5299	0.4277
14	110	109.8600	24.9576	1.0469	109.8156	24.8467	0.1109
14	110	109.8600	24.9576	1.0388	109.7289	24.6300	0.3276
14	110	109.8600	24.9576	1.0488	109.8356	24.8967	0.0609
14	110	109.8600	24.9576	1.0469	109.8155	24.8800	0.1113
14	110	109.8600	24.9576	1.0513	109.8623	24.9634	0.0058
14	110	109.8600	24.9576	1.0637	109.9957	25.2970	0.3394
14	110	109.8600	24.9576	1.0494	109.8423	24.9134	0.0442
14	110	109.8600	24.9576	1.0513	109.8623	24.9634	0.0058
15	120	120.4400	51.7678	2.0539	120.5386	52.0207	0.2529
15	120	120.4400	51.7678	2.0595	120.5981	52.1733	0.4055
15	120	120.4400	51.7678	2.0539	120.5386	52.0207	0.2529
15	120	120.4400	51.7678	2.0315	120.3005	51.4101	0.3577
15	120	120.4400	51.7678	2.0365	120.3534	51.5458	0.2220
15	120	120.4400	51.7678	2.0539	120.5386	52.0207	0.2529
15	120	120.4400	51.7678	2.0502	120.4989	51.9189	0.1511
15	120	120.4400	51.7678	2.0446	120.4394	51.7662	0.0016
15	120	120.4400	51.7678	2.0377	120.3666	51.5797	0.1881
15	120	120.4400	51.7678	2.0471	120.4658	51.8341	0.0663
16	130	129.7000	75.6941	2.9213	129.7208	75.7482	0.0541
16	130	129.7000	75.6941	2.9038	129.5362	75.2682	0.4259
16	130	129.7000	75.6941	2.9312	129.8262	76.0224	0.3283
16	130	129.7000	75.6941	2.9100	129.6021	75.4396	0.2545
16	130	129.7000	75.6941	2.9244	129.7537	75.8339	0.1398
16	130	129.7000	75.6941	2.9206	129.7142	75.7310	0.0369
16	130	129.7000	75.6941	2.9275	129.7867	75.9197	0.2256
16	130	129.7000	75.6941	2.9113	129.6153	75.4739	0.2202



16	130	129.7000	75.6941	2.9100	129.6021	75.4396	0.2545
16	130	129.7000	75.6941	2.9285	129.7973	75.7653	0.2532
17	140	139.5800	101.5051	3.8522	139.5582	101.4481	0.0570
17	140	139.5800	101.5051	3.8703	139.7493	101.9490	0.4439
17	140	139.5800	101.5051	3.8485	139.5187	101.3445	0.1606
17	140	139.5800	101.5051	3.8672	139.7164	101.8627	0.3576
17	140	139.5800	101.5051	3.8584	139.6241	101.6208	0.1157
17	140	139.5800	101.5051	3.8528	139.5648	101.4653	0.0398
17	140	139.5800	101.5051	3.8665	139.7098	101.8454	0.3403
17	140	139.5800	101.5051	3.8447	139.4791	101.2408	0.2643
17	140	139.5800	101.5051	3.8497	139.5319	101.3790	0.1261
17	140	139.5800	101.5051	3.8466	139.4989	101.2927	0.2124
18	150	150.0800	129.0392	4.8520	150.1454	129.1333	0.1713
18	150	150.0800	129.0392	4.8555	150.1821	129.3067	0.2675
18	150	150.0800	129.0392	4.8467	150.0894	129.0639	0.0247
18	150	150.0800	129.0392	4.8330	149.9438	128.6823	0.3569
18	150	150.0800	129.0392	4.8592	150.2218	129.4107	0.3715
18	150	150.0800	129.0392	4.8474	150.0960	129.0813	0.0421
18	150	150.0800	129.0392	4.8474	150.0960	129.0813	0.0421
18	150	150.0800	129.0392	4.8442	150.0629	128.9945	0.0447
18	150	150.0800	129.0392	4.8511	150.1358	129.1853	0.1461
18	150	150.0800	129.0392	4.8524	150.1496	128.9945	0.1824
19	100	100.1700	1.0937	0.1420	100.0848	1.0061	0.2063
19	100	100.1700	1.0937	0.1509	100.1811	1.1205	0.0269
19	100	100.1700	1.0937	0.1559	100.2350	1.2511	0.1574
19	100	100.1700	1.0937	0.1453	100.1204	0.9735	0.1201
19	100	100.1700	1.0937	0.1503	100.1743	1.1041	0.0104
19	100	100.1700	1.0937	0.1415	100.0799	0.8755	0.2182
19	100	100.1700	1.0937	0.1409	100.0729	1.0388	0.2351
19	100	100.1700	1.0937	0.1595	100.2741	1.0715	0.2522
19	100	100.1700	1.0937	0.1608	100.2882	1.0551	0.2862
19	100	100.1700	1.0937	0.1415	100.0799	0.8755	0.2182
20	110	109.8600	24.9576	1.0617	109.9738	24.9968	0.2845
20	110	109.8600	24.9576	1.0625	109.9824	25.2636	0.3060
20	110	109.8600	24.9576	1.0500	109.8490	24.9301	0.0275
20	110	109.8600	24.9576	1.0432	109.7756	24.7467	0.2109
20	110	109.8600	24.9576	1.0449	109.7941	24.8300	0.1648
20	110	109.8600	24.9576	1.0488	109.8356	24.8967	0.0609
20	110	109.8600	24.9576	1.0525	109.8757	24.9968	0.0392
20	110	109.8600	24.9576	1.0614	109.9706	24.8467	0.2765
20	110	109.8600	24.9576	1.0519	109.8690	24.9801	0.0225
20	110	109.8600	24.9576	1.0620	109.9770	24.8967	0.2926
21	120	120.4400	51.7678	2.0358	120.3468	51.5288	0.2390
21	120	120.4400	51.7678	2.0514	120.5121	51.9528	0.1850
21	120	120.4400	51.7678	2.0439	120.4328	51.7493	0.0185

21	120	120.4400	51.7678	2.0308	120.2938	51.3931	0.3747
21	120	120.4400	51.7678	2.0608	120.6114	52.2073	0.4395
21	120	120.4400	51.7678	2.0346	120.3335	51.4949	0.2729
21	120	120.4400	51.7678	2.0471	120.4658	51.8341	0.0663
21	120	120.4400	51.7678	2.0483	120.4791	51.8680	0.1002
21	120	120.4400	51.7678	2.0377	120.3666	51.5797	0.1881
21	120	120.4400	51.7678	2.0452	120.4460	51.7832	0.0154
22	130	129.7000	75.6941	2.9194	129.7010	75.6968	0.0027
22	130	129.7000	75.6941	2.9213	129.7208	75.7482	0.0541
22	130	129.7000	75.6941	2.9350	129.8658	76.1253	0.4312
22	130	129.7000	75.6941	2.9144	129.6483	75.5960	0.0981
22	130	129.7000	75.6941	2.9237	129.7471	75.8167	0.1226
22	130	129.7000	75.6941	2.9319	129.8328	76.0396	0.3455
22	130	129.7000	75.6941	2.9312	129.8262	76.0224	0.3283
22	130	129.7000	75.6941	2.9131	129.6351	75.5253	0.1688
22	130	129.7000	75.6941	2.9244	129.7537	75.8339	0.1398
22	130	129.7000	75.6941	2.9131	129.6351	75.5253	0.1688
23	140	139.5800	101.5051	3.8495	139.5298	101.5690	0.1316
23	140	139.5800	101.5051	3.8491	139.5253	101.3617	0.1434
23	140	139.5800	101.5051	3.8497	139.5319	101.3790	0.1261
23	140	139.5800	101.5051	3.8528	139.5648	101.4653	0.0398
23	140	139.5800	101.5051	3.8534	139.5714	101.4827	0.0224
23	140	139.5800	101.5051	3.8416	139.4462	101.1545	0.3506
23	140	139.5800	101.5051	3.8491	139.5253	101.3617	0.1434
23	140	139.5800	101.5051	3.8559	139.5978	101.5517	0.0466
23	140	139.5800	101.5051	3.8485	139.5187	101.3445	0.1606
23	140	139.5800	101.5051	3.8425	139.4558	101.5172	0.3255
24	150	150.0800	129.0392	4.8561	150.1887	129.3240	0.2848
24	150	150.0800	129.0392	4.8498	150.1225	129.1506	0.1114
24	150	150.0800	129.0392	4.8311	149.9239	128.6303	0.4089
24	150	150.0800	129.0392	4.8505	150.1291	129.1679	0.1287
24	150	150.0800	129.0392	4.8474	150.0960	129.0813	0.0421
24	150	150.0800	129.0392	4.8449	150.0696	129.0119	0.0273
24	150	150.0800	129.0392	4.8318	149.9306	128.6477	0.3915
24	150	150.0800	129.0392	4.8399	150.0166	128.8731	0.1661
24	150	150.0800	129.0392	4.8319	149.9320	129.0119	0.3877
24	150	150.0800	129.0392	4.8455	150.0762	129.0292	0.0100

**Tabla D.3: Resultados de Calibración**

R Simulada	MIN T(°C)	PROM T(°C)	MAX T(°C)	PROM ERROR (°C)	MAX ERROR (°C)
100.1700	0.8755	1.1714	1.3982	0.1832	0.3045
109.8600	24.5299	25.0001	25.3637	0.1834	0.4277
120.4400	51.3931	51.8041	52.2073	0.2040	0.4395
129.7000	75.2682	75.7660	76.1253	0.1854	0.4312
139.5800	101.1545	101.5168	101.9664	0.1975	0.4613
150.0800	128.6303	129.0785	129.4453	0.1804	0.4089
<b>Grand Total</b>	<b>0.8755</b>	<b>64.0561</b>	<b>129.4453</b>	<b>0.1890</b>	<b>0.4613</b>

- SENSOR HUMEDAD
  - MEDICIONES

**Tabla D.4: Mediciones de Sensor de Humedad**

Medición Sensor Company 4187cc (%Humedad)	Medición Microcontrolador (%Humedad)
71.3	71.11
71.4	71.6
71.1	70.75
71.9	71.63
72.3	71.97
71.8	70.77
71.5	71.72
72.1	71.83
71.6	70.05
68.9	67.46
64.1	62.95
65	66.05
50.4	49.55
48.7	46.71
39.8	39.8
40.7	38.94
44.4	42.37
46.3	45.48
78.1	77.1
86.8	85.37
85.8	84.56
81.6	82.75
83.1	83
88.2	89.58
85.8	86.41

94.8	95.73
87.4	85.77
96.5	94.52
90.05	88.09
86.1	84.49
79.1	77.23
86.8	88.08
95.6	94.01
21.8	22.65
21.9	22.6
20.8	21.45
18.4	17.25
18.8	19.23
17.8	17.53
15.4	13.3
15.1	15.33
14.9	14.57
15.4	13.91
25.1	23.93

- REGISTRO FOTOGRÁFICO

Tabla D.5: Fotografías de Calibración



- DETECCIÓN DE FLAMA (MEDICIONES)

**Tabla D.6: Mediciones de Termocupla**

Presion = 8pso	
%Valv = 20%	
V medido	Estado Válvula
0.2178	OFF
0.2816	ON
0.3366	ON
0.407	ON
0.4532	ON
0.5148	ON
0.5544	ON
0.6028	ON
0.6644	ON
0.7238	ON
0.77	ON
0.8096	ON
0.8338	ON
0.8646	ON
0.8866	ON
0.902	ON
0.9284	ON
0.9372	ON
0.9482	ON
0.979	ON
0.9702	ON
0.9922	ON
1.0076	ON
1.0142	ON
1.0252	ON
1.0296	ON
1.0472	ON
1.0538	ON
1.0472	ON
1.0648	ON
1.0758	ON
1.078	ON
1.0956	ON
1.0978	ON
1.1088	ON
1.1088	ON
1.1176	ON
1.122	ON
1.1242	ON

1.1198	ON
1.1176	ON
1.1132	ON
1.1198	ON
1.1176	ON
1.1088	ON
1.111	ON
1.1242	ON
1.1616	ON
1.188	ON
1.221	ON
1.243	ON
1.2694	ON
1.287	ON
1.3112	ON
1.3222	ON
1.342	ON
1.3728	ON
1.4014	ON
1.43	ON
1.4476	ON
1.4652	ON
1.4674	ON
1.4762	ON
1.485	ON
1.4806	ON
1.4894	ON
1.4894	ON
1.496	ON
1.4872	ON
1.4806	ON
1.4806	ON
1.4806	ON
1.4806	ON
1.4894	ON
1.4894	ON
1.4806	ON
1.485	ON
1.4762	ON
1.5004	ON
1.5026	ON
1.518	ON
1.5136	ON
1.5246	ON
1.5224	ON
1.5422	ON
1.5466	ON

1.5466	ON
1.5642	ON
1.5664	ON
1.5862	ON
1.595	ON
1.6104	ON
1.6412	ON
1.6544	ON
1.6764	ON
1.7028	ON
1.7094	ON
1.7314	ON
1.7336	ON
1.7512	ON
1.7666	ON
1.7622	ON
1.7842	ON
1.7864	ON
1.8106	ON
1.8128	ON
1.8194	ON
1.8216	ON
1.8216	ON
1.8216	ON
1.8172	ON
1.8106	ON
1.8172	ON
1.7974	ON
1.8084	ON
1.7996	ON
1.8062	ON
1.8084	ON
1.8194	ON
1.8436	ON
1.881	ON
1.9184	ON
1.9448	ON
1.98	ON
2.0086	ON
2.0218	ON
2.0394	ON
2.0394	ON
2.0438	ON
2.0614	ON
2.0746	ON
2.0878	ON

2.1098	ON
2.1186	ON
2.1428	ON
2.1582	ON
2.1846	ON
2.1978	ON
2.211	ON
2.2396	ON
2.266	ON
2.2792	ON
2.288	ON
2.2836	ON
2.2836	ON
2.2682	ON
2.2572	ON
2.255	ON
2.2506	ON
2.2396	ON
2.2808	ON
2.2786	ON
2.2786	ON
2.2786	ON
2.283	ON
2.2786	ON
2.272	ON
2.2676	ON
2.272	ON
2.2808	ON
2.2808	ON
2.272	ON
2.2676	ON
2.2478	ON
2.2302	ON
2.2148	ON
2.2016	ON
2.1906	ON
2.1818	ON
2.1906	ON
2.2126	ON
2.2302	ON
2.2522	ON
2.2808	ON
2.2962	ON
2.3138	ON
2.3248	ON
2.3358	ON



2.338	ON
2.3336	ON
2.3248	ON
2.3716	ON
2.3518	ON
2.3342	ON
2.3122	ON
2.2968	ON
2.2946	ON
2.2902	ON
2.3056	ON
2.3012	ON
2.3056	ON
2.3166	ON
2.3408	ON
2.376	ON
2.349	ON
2.3622	ON
2.3798	ON
2.3908	ON
2.4128	ON
2.3848	ON
2.4024	ON
2.4244	ON
2.4354	ON
2.4508	ON
2.4464	ON
2.4508	ON
2.4464	ON
2.4442	ON
2.4398	ON
2.542	ON
2.542	ON
2.542	ON
2.5442	ON
2.5508	ON
2.5552	ON
2.5552	ON
2.5574	ON
2.5508	ON
2.5464	ON
2.5398	ON
2.5354	ON
2.5332	ON
2.531	ON
2.5244	ON

2.5222	ON
2.5112	ON
2.5024	ON
2.5068	ON
2.5068	ON
2.5112	ON
2.52	ON
2.5244	ON
2.5244	ON
2.5244	ON
2.531	ON
2.571	ON
2.5798	ON
2.582	ON
2.5798	ON
2.5732	ON
2.5622	ON
2.5512	ON
2.5402	ON
2.538	ON
2.5358	ON
2.5248	ON
2.5204	ON
2.527	ON
2.5182	ON
2.516	ON
2.5314	ON
2.5468	ON
2.5578	ON
2.5754	ON
2.5842	ON
2.593	ON
2.6128	ON
2.5838	ON
2.608	ON
2.619	ON
2.6432	ON
2.6652	ON
2.6806	ON
2.6806	ON
2.6806	ON
2.6916	ON
2.7004	ON
2.7092	ON
2.6334	ON
2.651	ON

2.6576	ON
2.6686	ON
2.6752	ON
2.6906	ON
2.7236	ON
2.7566	ON
2.7764	ON
2.7984	ON
2.8204	ON
2.8314	ON
2.8358	ON
2.8358	ON
2.8292	ON
2.8248	ON
2.8182	ON
2.8204	ON
2.8138	ON
2.8138	ON
2.8226	ON
2.8336	ON
2.8468	ON
2.8754	ON
2.8996	ON
2.9304	ON
2.9502	ON
2.9568	ON
2.9634	ON
2.9546	ON
2.9524	ON
2.9458	ON
2.9392	ON
2.9348	ON
2.9326	ON
2.9436	ON
2.9524	ON
2.9876	ON
3.0162	ON
3.0448	ON
3.069	ON
3.08	ON
3.08	ON
3.069	ON
3.0624	ON
3.047	ON
3.0294	ON
3.0184	ON

2.9898	ON
2.9678	ON
2.9858	ON
2.9704	ON
2.9484	ON
3.0308	ON
3.0154	ON
3.0066	ON
3.0044	ON
2.9912	ON
3.0158	ON
2.9982	ON
2.9806	ON
2.963	ON
2.941	ON
2.9322	ON
2.9322	ON
2.9322	ON
2.9344	ON
2.9366	ON
2.9432	ON
2.9234	ON
2.9256	ON
2.9366	ON
2.9366	ON
2.952	ON
2.9674	ON
2.9784	ON
2.9872	ON
3.0092	ON
2.9446	ON
2.9622	ON
2.9842	ON
2.9996	ON
3.0106	ON
3.0172	ON
3.0194	ON
3.0062	ON
2.9886	ON
2.9776	ON
2.9666	ON
3.0346	ON
3.0148	ON
2.9884	ON
2.9686	ON
2.9422	ON

2.9202	ON
2.9076	ON
2.9076	ON
2.9164	ON
2.9274	ON
2.9406	ON
2.9582	ON
2.9692	ON
2.9714	ON
2.9802	ON
2.9034	ON
2.9232	ON
2.9584	ON
2.8936	ON
2.9288	ON
2.9398	ON
2.9486	ON
2.9574	ON
2.9596	ON
2.9574	ON
2.9552	ON
2.9442	ON
2.9398	ON
2.9376	ON
2.9442	ON
2.9552	ON
2.9552	ON
2.9552	ON
2.9464	ON
2.9486	ON
2.9464	ON
2.9464	ON
2.9442	ON
2.9464	ON
2.9398	ON
2.9376	ON
2.9354	ON
2.9288	ON
2.9222	ON
2.9156	ON
2.9156	ON
2.9266	ON
2.9392	ON
2.9612	ON
2.9744	ON
2.9854	ON

2.9986	ON
3.0074	ON
3.0162	ON
3.0162	ON
3.0228	ON
3.0294	ON
3.0228	ON
3.0162	ON
3.0008	ON
3.0008	ON
3.0052	ON
3.0074	ON
3.0074	ON
3.0052	ON
3.0008	ON
2.9876	ON
2.9788	ON
2.9656	ON
2.9736	ON
2.9604	ON
2.9494	ON
2.9362	ON
2.9208	ON
2.9186	ON
2.9274	ON
2.9318	ON
2.9406	ON
2.9516	ON
2.9216	ON
2.9392	ON
2.9502	ON
2.9524	ON
2.9502	ON
2.9546	ON
2.9524	ON
2.9524	ON
2.9568	ON
2.9656	ON
2.9788	ON
2.9876	ON
3.0074	ON
3.0184	ON
3.0272	ON
3.0272	ON
3.0294	ON
3.0294	ON

3.0228	OFF
3.0162	OFF
2.9986	OFF
2.9766	OFF
2.9458	OFF
2.9106	OFF
2.8688	OFF
2.8292	OFF
2.7786	OFF
2.7324	OFF
2.684	OFF
2.6356	OFF
2.5894	OFF
2.5454	OFF
2.5014	OFF
2.4618	OFF
2.42	OFF
2.3738	OFF
2.3408	OFF
2.3056	OFF
2.2726	OFF
2.2396	OFF
2.2066	OFF
2.1692	OFF
2.1428	OFF
2.112	OFF
2.0856	OFF
2.0548	OFF
2.0284	OFF
1.9976	OFF
1.9756	OFF
1.9514	OFF
1.9316	OFF
1.9096	OFF
1.8876	OFF
1.8678	OFF
1.8414	OFF
1.8238	OFF
1.8062	OFF
1.7864	OFF
1.7666	OFF
1.7534	OFF
1.7446	OFF
1.7314	OFF
1.7138	OFF
1.7006	OFF

1.6852	OFF
1.6742	OFF
1.6544	OFF
1.6412	OFF
1.6302	OFF
1.6214	OFF
1.6104	OFF
1.5972	OFF
1.5884	OFF
1.5796	OFF
1.573	OFF
1.5576	OFF
1.5444	OFF
1.54	OFF
1.529	OFF
1.518	OFF
1.5136	OFF
1.507	OFF
1.4916	OFF
1.4806	OFF
1.4806	OFF
1.474	OFF
1.463	OFF
1.4476	OFF
1.4476	OFF
1.4366	OFF
1.4322	OFF
1.4256	OFF
1.4212	OFF
1.4212	OFF
1.408	OFF
1.3992	OFF
1.3948	OFF
1.3904	OFF
1.3838	OFF
1.3772	OFF
1.375	OFF
1.3772	OFF
1.3684	OFF
1.3574	OFF
1.3618	OFF
1.3508	OFF
1.3508	OFF
1.3442	OFF
1.3398	OFF
1.331	OFF



1.3288	OFF
1.3288	OFF
1.3222	OFF
1.3134	OFF
1.3068	OFF
1.3024	OFF
1.298	OFF
1.2892	OFF
1.2892	OFF
1.2848	OFF
1.2782	OFF
1.276	OFF
1.276	OFF
1.2738	OFF
1.2694	OFF
1.265	OFF
1.2584	OFF
1.2562	OFF
1.2518	OFF
1.2518	OFF
1.2452	OFF
1.243	OFF
1.243	OFF
1.2408	OFF
1.2364	OFF
1.2342	OFF
1.2342	OFF
1.2298	OFF
1.232	OFF
1.2298	OFF
1.2144	OFF
1.2144	OFF
1.21	OFF
1.2122	OFF
1.2078	OFF
1.21	OFF
1.21	OFF
1.2034	OFF
1.2034	OFF
1.2078	OFF
1.2034	OFF
1.199	OFF
1.1968	OFF
1.1902	OFF
1.188	OFF
1.188	OFF

1.1814	OFF
1.1792	OFF
1.188	OFF
1.1792	OFF
1.177	OFF
1.1748	OFF
1.1748	OFF
1.1748	OFF
1.166	OFF
1.166	OFF
1.1638	OFF
1.1616	OFF

### ANEXO E: TOMA DE DATOS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

- PRUEBAS INICIALES LAZO ABIERTO
  - RESPUESTA INICIAL (TEMPERATURA)

**Tabla E1: Respuesta Lazo Abierto, Presión Directa, Temperatura**

LAZO ABIERTO		
PRESIÓN DIRECTA		
SIN REJILLA VENTILACIÓN		
Señal Control	Tiempo (s)	T (°C)
0.0	0	32.153
1.0	2	32.957
1.0	4	34.333
1.0	6	36.752
1.0	8	38.788
1.0	10	42.192
1.0	12	45.535
1.0	14	49.071
1.0	16	53.31
1.0	18	57.916
1.0	20	61.696
1.0	22	65.876
1.0	24	70.114
1.0	26	73.64
1.0	28	77.72
1.0	30	80.758
1.0	32	83.765
1.0	34	87.033
1.0	36	90.046
1.0	38	92.441
1.0	40	94.941
1.0	42	97.632
1.0	44	100.723

1.0	46	102.64
1.0	48	104.524
1.0	50	106.616
1.0	52	108.622
1.0	54	110.785
1.0	56	112.81
1.0	58	114.714
1.0	60	116.584
1.0	62	118.992
1.0	64	120.881
0.0	66	122.597
0.0	68	123.412
0.0	70	124.07
0.0	72	124.14
0.0	74	124.244
0.0	76	124.088
0.0	78	123.672
0.0	80	123.516
0.0	82	123.429
0.0	84	122.354
0.0	86	121.904
0.0	88	121.332
0.0	90	120.621
0.0	92	120.448

○ RESPUESTA INICIAL (HUMEDAD)

**Tabla E2: Respuesta Lazo Abierto, Presión Directa, Humedad**

LAZO ABIERTO		
PRESIÓN DIRECTA		
SIN REJILLA VENTILACIÓN		
Señal Control	Tiempo (s)	Humedad (%)
0.0	0	54.535
1.0	2	60.449
1.0	4	61.824
1.0	6	65.734
1.0	8	68.66
1.0	10	67.242
1.0	12	65.898
1.0	14	66.102
1.0	16	66.262
1.0	18	63.379
1.0	20	62.742
1.0	22	67.086
1.0	24	73.152
1.0	26	74.973

1.0	28	68.523
1.0	30	65.223
1.0	32	67.449
1.0	34	66.492
1.0	36	68.043
1.0	38	70.063
1.0	40	73.34
1.0	42	69.621
1.0	44	67.742
1.0	46	69.52
1.0	48	69.109
1.0	50	69.07
1.0	52	69.684
1.0	54	70.52
1.0	56	71.516
1.0	58	72.25
1.0	60	71.992
1.0	62	71.9
1.0	64	72.014

○ EVALUACIÓN DE VENTILACIÓN

**Tabla E3: Respuesta Lazo Abierto, Presión 8psi, Temperatura**

LAZO ABIERTO		
P = 8.2 psi   Valv = 20%		
Tiempo (s)	T (°C) CERRADO	T (°C) CON REJILLA VENTILACIÓN
0.0	37.593	33.393
2.0	37.677	33.679
4.0	38.216	33.83
6.0	38.805	34.367
8.0	39.428	34.652
10.0	39.798	35.206
12.0	40.422	36.265
14.0	41.855	36.282
16.0	43.188	37.694
18.0	43.238	38.148
20.0	42.614	38.62
22.0	44.184	39.327
24.0	44.403	40.085
26.0	46.854	40.54
28.0	44.944	39.95
30.0	45.823	42.124
32.0	48.106	42.867
34.0	49.512	41.349
36.0	50.02	42.445

38.0	50.257	43.339
40.0	51.122	44.64
42.0	51.868	43.474
44.0	52.801	47.632
46.0	53.412	44.944
48.0	54.346	47.616
50.0	55.025	48.411
52.0	55.858	49.868
54.0	56.436	48.936
56.0	57.269	47.717
58.0	58.018	48.885
60.0	58.545	50.054
62.0	59.243	49.969
64.0	59.669	50.24
66.0	60.316	53.158
68.0	60.793	53.938
70.0	61.509	53.361
72.0	62.617	53.854
74.0	63.196	54.652
76.0	63.81	55.875
78.0	64.442	56.283
80.0	64.92	56.742
82.0	65.876	56.691
84.0	66.559	58.205
86.0	67.379	58.579
88.0	67.823	59.005
90.0	68.558	59.533
92.0	68.866	60.094
94.0	69.669	60.759
96.0	70.337	61.134
98.0	70.85	61.781
100.0	71.671	62.19
102.0	72.133	62.599
104.0	72.698	63.145
106.0	73.332	63.742
108.0	73.983	64.356
110.0	74.566	64.851
112.0	75.268	65.329
114.0	75.937	66.012
116.0	76.263	66.559
118.0	76.708	66.832
120.0	77.103	67.345
122.0	77.617	67.806
124.0	78.081	68.011
126.0	78.836	68.49
128.0	79.145	68.131

130.0	79.711	68.387
132.0	80.054	69.225
134.0	80.209	69.584
136.0	80.329	69.892
138.0	80.501	70.148
140.0	80.758	70.319
142.0	81.325	70.781
144.0	81.531	71.175
146.0	81.995	71.5
148.0	82.064	71.671
150.0	82.579	72.065
152.0	82.837	72.339
154.0	83.043	72.544
156.0	83.439	72.733
158.0	83.955	73.109
160.0	84.178	73.486
162.0	84.573	73.949
164.0	85.107	73.914
166.0	85.399	74.343
168.0	86.001	74.343
170.0	86.689	74.737
172.0	86.517	75.148
174.0	87.068	75.268
176.0	87.877	75.474
178.0	88.359	75.954
180.0	88.204	76.16
182.0	88.806	76.76
184.0	89.168	76.726
186.0	89.461	76.983
188.0	89.719	77.48
190.0	90.339	77.343
192.0	90.236	77.532
194.0	90.391	78.218
196.0	91.235	78.132
198.0	91.183	78.578
200.0	91.407	79.299
202.0	91.631	79.076
204.0	92.114	79.076
206.0	92.286	79.093
208.0	92.596	79.316
210.0	92.941	79.265
212.0	93.148	79.625
214.0	94.199	79.694
216.0	93.872	79.677
218.0	94.165	80.054
220.0	94.424	80.089

222.0	94.458	80.398
224.0	94.993	80.535
226.0	95.096	80.655
228.0	95.614	80.776
230.0	95.648	81.514
232.0	95.907	81.772
234.0	96.2	81.961
236.0	96.666	81.978
238.0	97.253	82.356
240.0	97.805	82.614
242.0	98.012	83.095
244.0	98.305	83.869
246.0	98.236	83.903
248.0	98.547	84.264
250.0	99.065	84.591
252.0	99.359	84.883
254.0	99.566	84.917
256.0	99.928	84.969
258.0	100.084	85.347
260.0	100.36	85.279
262.0	100.636	85.33
264.0	100.878	85.657
266.0	101.362	85.502
268.0	101.206	85.777
270.0	101.811	86.035
272.0	102.381	85.984
274.0	102.243	85.949
276.0	101.984	86.225
278.0	102.485	86.328
280.0	102.761	86.689
282.0	103.176	86.81
284.0	103.504	87.274
286.0	103.746	87.515
288.0	104.368	87.756
290.0	104.507	88.118
292.0	104.766	88.204
294.0	105.181	88.255
296.0	105.319	88.445
298.0	105.699	88.823
300.0	105.993	88.41
302.0	106.425	88.737
304.0	106.253	88.737
306.0	106.512	88.617
308.0	106.961	89.082
310.0	107.273	88.755
312.0	107.48	88.927

314.0	107.601	88.996
316.0	107.826	89.581
318.0	108.57	89.461
320.0	107.999	89.478
322.0	107.965	89.891
324.0	108.138	90.115
326.0	108.553	90.408
328.0	109.124	90.597
330.0	109.227	91.217
332.0	108.726	91.597
334.0	108.795	91.545
336.0	108.951	91.631
338.0	109.262	91.821
340.0	109.608	91.993
342.0	109.902	92.079
344.0	110.49	92.32
346.0	110.56	92.424
348.0	111.183	92.648
350.0	111.477	93.268
352.0	112.308	92.872
354.0	112.204	93.389
356.0	112.463	93.251
358.0	112.827	93.165
360.0	113.139	93.13
362.0	114.368	93.182
364.0	114.247	93.717
366.0	114.662	93.544
368.0	114.576	93.837
370.0	114.801	94.044
372.0	114.991	94.027
374.0	115.199	94.596
376.0	115.857	94.372
378.0	115.805	94.441
380.0	116.481	94.872
382.0	116.359	94.837
384.0	116.844	95.303
386.0	116.931	95.872
388.0	116.896	95.872
390.0	116.74	96.166
392.0	116.844	96.373
394.0	116.948	96.649
396.0	116.931	96.804
398.0	116.914	96.631
400.0	117.312	96.804
402.0	117.451	97.184
404.0	117.225	97.322



406.0	117.208	97.063
408.0	117.295	97.132
410.0	117.537	97.253
412.0	118.005	97.425
414.0	117.693	97.581
416.0	117.97	97.65
418.0	117.97	98.15
420.0	118.75	97.822
422.0	118.871	97.805
424.0	118.715	97.839
426.0	119.044	97.805
428.0	119.166	97.857
430.0	120.049	97.891
432.0	119.876	98.167
434.0	119.824	98.34
436.0	119.928	98.305
438.0	119.893	98.685
440.0	119.356	98.823
442.0	118.836	98.823
444.0	117.97	99.738
446.0	118.022	98.892
448.0	116.688	99.151
450.0	115.788	99.186
452.0		99.497
454.0		99.359
456.0		99.497
458.0		99.721
460.0		99.807
462.0		100.049
464.0		100.032
466.0		100.308
468.0		100.291
470.0		100.291
472.0		100.515
474.0		100.878
476.0		100.654
478.0		101.5
480.0		101.275
482.0		101.465
484.0		101.707
486.0		101.465
488.0		101.465
490.0		101.638
492.0		101.534
494.0		101.586
496.0		101.794

498.0		102.053
500.0		102.174
502.0		102.26
504.0		102.364
506.0		102.554
508.0		102.174
510.0		102.087
512.0		102.329
514.0		102.64
516.0		102.364
518.0		102.45
520.0		102.692
522.0		102.727
524.0		102.588
526.0		102.502
528.0		102.778
530.0		102.727
532.0		102.709
534.0		102.986
536.0		103.072
538.0		103.02
540.0		103.02
542.0		103.176
544.0		103.245
546.0		103.573
548.0		103.694
550.0		103.884
552.0		104.316
554.0		104.386
556.0		104.524
558.0		104.455
560.0		104.645
562.0		104.576
564.0		104.489
566.0		104.593
568.0		104.524
570.0		104.679
572.0		104.852
574.0		104.835
576.0		104.904
578.0		104.904
580.0		104.921
582.0		105.267
584.0		105.198
586.0		105.63
588.0		105.596

590.0		105.457
592.0		105.717
594.0		105.717
596.0		105.959
598.0		106.01
600.0		105.889
602.0		106.132
604.0		106.097
606.0		105.941
608.0		105.889
610.0		106.01
612.0		106.132
614.0		106.183
616.0		106.477
618.0		106.443
620.0		106.408
622.0		106.616
624.0		107.186
626.0		107.048
628.0		107.169
630.0		107.273
632.0		107.55
634.0		107.774
636.0		107.895
638.0		108.155
640.0		108.657
642.0		108.951
644.0		108.916
646.0		109.037
648.0		109.175
650.0		109.279
652.0		109.608
654.0		109.608
656.0		109.868
658.0		110.317
660.0		110.542
662.0		110.923
664.0		111.044
666.0		111.269
668.0		111.425
670.0		111.529
672.0		111.581
674.0		111.737
676.0		111.91
678.0		112.031
680.0		112.36

682.0		112.394
684.0		112.429
686.0		112.481
688.0		112.723
690.0		112.567
692.0		112.844
694.0		112.723
696.0		112.862
698.0		112.706
700.0		112.983
702.0		113.035
704.0		113.329
706.0		113.208
708.0		113.381
710.0		113.693
712.0		113.519
714.0		113.623
716.0		113.814
718.0		114.125
720.0		114.247
722.0		114.402
724.0		114.628
726.0		114.714
728.0		114.524
730.0		114.87
732.0		114.662
734.0		114.818
736.0		114.783
738.0		114.662
740.0		114.801
742.0		114.974
744.0		114.87
746.0		115.095
748.0		115.13
750.0		115.268
752.0		115.355
754.0		115.372
756.0		115.684
758.0		115.649
760.0		115.771
762.0		115.961
764.0		116.134
766.0		116.533
768.0		116.533
770.0		116.844
772.0		117.104

774.0		117.399
776.0		117.606
778.0		117.676
780.0		117.658
782.0		117.433
784.0		117.728
786.0		117.745
788.0		117.832
790.0		117.884
792.0		118.143
794.0		118.109
796.0		118.75
798.0		118.455
800.0		118.577
802.0		118.559
804.0		118.94
806.0		118.646
808.0		118.767
810.0		118.75
812.0		119.079
814.0		119.252
816.0		119.252
818.0		119.408
820.0		119.651
822.0		119.98
824.0		119.876
826.0		119.859
828.0		119.859
830.0		120.067
832.0		119.876
834.0		120.067
836.0		120.223
838.0		120.205
840.0		119.997
842.0		119.963
844.0		120.188
846.0		119.356
848.0		119.148
850.0		118.992
852.0		118.611
854.0		117.953
856.0		118.317
858.0		117.295
860.0		116.879
862.0		116.706
864.0		116.03

○ REGULACIÓN DE FLUJO DE GAS – SISTEMA CERRADO

**Tabla E5: Respuesta Lazo Abierto, Presión 8psi, Sistema Cerrado**

LAZO ABIERTO		
P = 8.2 psi		
SIN REJILLA VENTILACIÓN		
Tiempo (s)	T (°C) Valv = 20%	T (°C) Valv = 80%
0.0	37.593	39.815
2.0	37.677	40.135
4.0	38.216	40.927
6.0	38.805	41.349
8.0	39.428	41.551
10.0	39.798	41.922
12.0	40.422	44.64
14.0	41.855	44.809
16.0	43.188	46.059
18.0	43.238	47.582
20.0	42.614	48.293
22.0	44.184	50.766
24.0	44.403	52.105
26.0	46.854	52.631
28.0	44.944	53.378
30.0	45.823	54.957
32.0	48.106	55.535
34.0	49.512	56.164
36.0	50.02	56.589
38.0	50.257	57.49
40.0	51.122	58.069
42.0	51.868	58.971
44.0	52.801	60.077
46.0	53.412	60.588
48.0	54.346	61.27
50.0	55.025	61.883
52.0	55.858	62.497
54.0	56.436	63.077
56.0	57.269	63.657
58.0	58.018	64.715
60.0	58.545	65.278
62.0	59.243	65.859
64.0	59.669	66.473
66.0	60.316	66.935
68.0	60.793	67.669
70.0	61.509	68.233
72.0	62.617	68.695
74.0	63.196	69.515

76.0	63.81	70.234
78.0	64.442	70.952
80.0	64.92	71.62
82.0	65.876	72.253
84.0	66.559	72.904
86.0	67.379	73.418
88.0	67.823	73.932
90.0	68.558	74.48
92.0	68.866	75.045
94.0	69.669	75.731
96.0	70.337	76.365
98.0	70.85	77.051
100.0	71.671	77.737
102.0	72.133	78.39
104.0	72.698	78.784
106.0	73.332	79.488
108.0	73.983	79.917
110.0	74.566	80.381
112.0	75.268	81.394
114.0	75.937	81.789
116.0	76.263	82.494
118.0	76.708	83.095
120.0	77.103	83.645
122.0	77.617	84.161
124.0	78.081	84.935
126.0	78.836	85.175
128.0	79.145	85.846
130.0	79.711	86.121
132.0	80.054	86.534
134.0	80.209	87.119
136.0	80.329	87.584
138.0	80.501	87.567
140.0	80.758	88.014
142.0	81.325	88.359
144.0	81.531	88.703
146.0	81.995	89.151
148.0	82.064	89.702
150.0	82.579	89.788
152.0	82.837	90.236
154.0	83.043	90.804
156.0	83.439	91.235
158.0	83.955	92.027
160.0	84.178	92.148
162.0	84.573	92.596
164.0	85.107	92.872
166.0	85.399	93.251

168.0	86.001	93.579
170.0	86.689	93.872
172.0	86.517	94.113
174.0	87.068	94.562
176.0	87.877	94.648
178.0	88.359	94.975
180.0	88.204	95.7
182.0	88.806	95.493
184.0	89.168	96.079
186.0	89.461	96.045
188.0	89.719	96.269
190.0	90.339	96.631
192.0	90.236	96.769
194.0	90.391	96.925
196.0	91.235	97.391
198.0	91.183	97.356
200.0	91.407	98.029
202.0	91.631	97.753
204.0	92.114	97.943
206.0	92.286	98.461
208.0	92.596	98.702
210.0	92.941	99.1
212.0	93.148	99.428
214.0	94.199	100.274
216.0	93.872	100.222
218.0	94.165	100.481
220.0	94.424	100.671
222.0	94.458	101.103
224.0	94.993	101.379
226.0	95.096	101.638
228.0	95.614	101.742
230.0	95.648	102.26
232.0	95.907	102.191
234.0	96.2	102.45
236.0	96.666	102.727
238.0	97.253	102.968
240.0	97.805	103.02
242.0	98.012	103.556
244.0	98.305	103.746
246.0	98.236	104.023
248.0	98.547	104.351
250.0	99.065	104.541
252.0	99.359	104.489
254.0	99.566	104.783
256.0	99.928	105.112
258.0	100.084	105.371



260.0	100.36	105.803
262.0	100.636	106.08
264.0	100.878	106.529
266.0	101.362	106.529
268.0	101.206	106.944
270.0	101.811	107.221
272.0	102.381	107.809
274.0	102.243	108.674
276.0	101.984	108.328
278.0	102.485	108.57
280.0	102.761	108.985
282.0	103.176	109.141
284.0	103.504	109.314
286.0	103.746	109.66
288.0	104.368	109.902
290.0	104.507	110.3
292.0	104.766	110.387
294.0	105.181	110.439
296.0	105.319	110.785
298.0	105.699	110.681
300.0	105.993	111.235
302.0	106.425	111.494
304.0	106.253	111.685
306.0	106.512	112.377
308.0	106.961	112.585
310.0	107.273	113.156
312.0	107.48	114.022
314.0	107.601	113.744
316.0	107.826	113.848
318.0	108.57	114.368
320.0	107.999	114.697
322.0	107.965	114.905
324.0	108.138	115.286
326.0	108.553	115.389
328.0	109.124	115.511
330.0	109.227	116.29
332.0	108.726	115.892
334.0	108.795	116.151
336.0	108.951	116.186
338.0	109.262	116.255
340.0	109.608	116.377
342.0	109.902	116.463
344.0	110.49	116.619
346.0	110.56	117
348.0	111.183	117.156
350.0	111.477	117.797

352.0	112.308	118.178
354.0	112.204	118.247
356.0	112.463	118.663
358.0	112.827	118.888
360.0	113.139	119.304
362.0	114.368	119.46
364.0	114.247	119.824
366.0	114.662	119.859
368.0	114.576	119.841
370.0	114.801	120.223
372.0	114.991	120.656
374.0	115.199	120.898
376.0	115.857	120.985
378.0	115.805	120.76
380.0	116.481	120.621
382.0	116.359	120.327
384.0	116.844	119.356
386.0	116.931	118.836
388.0	116.896	118.421
390.0	116.74	117.416
392.0	116.844	
394.0	116.948	
396.0	116.931	
398.0	116.914	
400.0	117.312	
402.0	117.451	
404.0	117.225	
406.0	117.208	
408.0	117.295	
410.0	117.537	
412.0	118.005	
414.0	117.693	
416.0	117.97	
418.0	117.97	
420.0	118.75	
422.0	118.871	
424.0	118.715	
426.0	119.044	
428.0	119.166	
430.0	120.049	
432.0	119.876	
434.0	119.824	
436.0	119.928	
438.0	119.893	
440.0	119.356	
442.0	118.836	

444.0	117.97	
446.0	118.022	
448.0	116.688	
450.0	115.788	

o REGULACIÓN DE FLUJO DE GAS – SISTEMA CON REJILLA VENTILACIÓN

**Tabla E6: Respuesta Lazo Abierto, Presión 8psi, Temperatura, Con Ventilación**

LAZO ABIERTO		
P = 8 psi		
CON REJILLA VENTILACIÓN		
Tiempo (s)	T (°C) Valv = 20%	T (°C) Valv = 80%
0.0	27.517	25.447
2.0	28.269	26.766
4.0	28.286	26.615
6.0	28.955	26.816
8.0	28.821	27.45
10.0	28.838	28.202
12.0	29.808	29.005
14.0	30.293	29.992
16.0	30.846	30.812
18.0	31.466	31.231
20.0	31.415	32.052
22.0	32.27	32.22
24.0	33.058	33.729
26.0	32.957	33.863
28.0	33.863	34.736
30.0	34.686	34.971
32.0	35.525	35.609
34.0	36.13	36.147
36.0	36.567	36.836
38.0	37.021	37.576
40.0	37.98	38.535
42.0	38.468	39.445
44.0	38.855	40.169
46.0	39.546	40.337
48.0	40.101	40.792
50.0	40.86	41.669
52.0	40.978	42.175

54.0	41.534	43.289
56.0	41.956	43.964
58.0	42.057	43.525
60.0	43.171	45.417
62.0	44.234	45.789
64.0	43.914	45.164
66.0	43.812	47.497
68.0	44.454	47.802
70.0	44.944	47.26
72.0	45.687	48.208
74.0	46.465	50.054
76.0	46.837	48.953
78.0	47.226	51.766
80.0	47.599	51.953
82.0	47.717	53.174
84.0	49.342	50.935
86.0	49.529	52.479
88.0	50.986	51.885
90.0	49.512	54.057
92.0	50.291	54.822
94.0	51.631	53.446
96.0	51.8	55.756
98.0	49.563	56.453
100.0	50.156	56.453
102.0	52.53	54.142
104.0	52.224	57.831
106.0	54.244	57.354
108.0	51.529	56.198
110.0	52.292	55.943
112.0	55.365	58.205
114.0	54.516	59.703
116.0	55.62	59.073
118.0	54.363	60.094
120.0	54.295	59.124
122.0	56.079	60.537
124.0	56.606	60.64
126.0	58.392	60.35
128.0	55.603	61.832
130.0	58.511	60.605
132.0	57.711	62.582
134.0	60.009	63.247
136.0	59.039	62.753
138.0	57.031	62.31
140.0	58.528	64.356
142.0	59.005	63.589
144.0	58.852	65.841

146.0	58.664	64.135
148.0	59.941	63.759
150.0	60.367	65.073
152.0	60.452	64.612
154.0	61.202	65.944
156.0	61.321	65.876
158.0	62.361	66.439
160.0	61.389	66.149
162.0	60.742	66.439
164.0	62.088	67.345
166.0	62.736	67.943
168.0	63.367	67.652
170.0	61.986	68.182
172.0	62.548	68.421
174.0	63.81	67.874
176.0	64.015	69.31
178.0	64.339	69.122
180.0	64.732	69.618
182.0	64.493	69.601
184.0	65.005	70.456
186.0	65.38	70.662
188.0	66.115	71.414
190.0	64.954	70.918
192.0	65.995	71.979
194.0	66.098	72.99
196.0	66.439	72.322
198.0	66.2	72.972
200.0	67.157	72.561
202.0	67.874	73.675
204.0	68.062	73.469
206.0	68.267	73.041
208.0	68.729	73.212
210.0	69.789	73.52
212.0	69.533	74.034
214.0	69.191	73.743
216.0	69.481	74.651
218.0	70.114	74.805
220.0	70.456	75.44
222.0	71.038	74.566
224.0	71.483	74.754
226.0	72.082	75.8
228.0	71.483	75.354
230.0	71.757	76.383
232.0	72.322	76.091
234.0	72.476	76.846
236.0	72.339	77.6

238.0	72.373	77.377
240.0	73.64	77.926
242.0	73.178	77.737
244.0	74.12	77.823
246.0	73.983	77.892
248.0	73.606	78.201
250.0	74.274	78.372
252.0	74.925	79.024
254.0	74.977	79.162
256.0	75.765	79.728
258.0	75.8	79.642
260.0	75.2	80.003
262.0	75.782	80.329
264.0	76.485	80.621
266.0	76.434	80.896
268.0	76.4	81.463
270.0	76.931	81.222
272.0	77.292	81.686
274.0	77.532	81.909
276.0	77.72	82.219
278.0	78.561	82.597
280.0	78.836	82.906
282.0	78.441	82.889
284.0	79.866	82.82
286.0	78.99	83.198
288.0	80.604	83.095
290.0	80.587	83.336
292.0	80.69	83.439
294.0	81.342	83.645
296.0	81.892	83.903
298.0	81.222	83.8
300.0	81.6	83.972
302.0	81.634	83.989
304.0	82.115	84.023
306.0	82.545	84.058
308.0	82.425	84.23
310.0	82.287	84.384
312.0	82.597	84.849
314.0	82.425	84.728
316.0	82.442	84.9
318.0	82.683	84.814
320.0	82.957	84.711
322.0	83.043	84.711
324.0	83.009	85.003
326.0	83.215	85.038
328.0	83.267	85.038

330.0	83.301	85.089
332.0	83.336	85.347
334.0	83.49	85.313
336.0	83.542	85.279
338.0	83.593	85.64
340.0	83.697	85.726
342.0	83.886	86.655
344.0	83.989	85.915
346.0	84.161	86.104
348.0	84.316	86.724
350.0	84.797	86.569
352.0	85.021	86.724
354.0	85.021	86.93
356.0	85.107	87.171
358.0	85.502	87.446
360.0	85.657	87.498
362.0	85.967	87.584
364.0	86.259	88.049
366.0	86.638	87.911
368.0	86.775	87.859
370.0	86.844	88.032
372.0	87.274	88.617
374.0	86.827	88.014
376.0	87.051	88.169
378.0	87.343	88.41
380.0	87.911	88.72
382.0	87.343	88.479
384.0	87.55	88.634
386.0	87.515	88.875
388.0	88.032	89.219
390.0	87.705	89.65
392.0	87.825	89.857
394.0	87.98	89.65
396.0	88.186	89.805
398.0	88.41	90.167
400.0	89.065	90.27
402.0	88.582	90.528
404.0	88.703	90.856
406.0	89.426	91.545
408.0	89.116	91.838
410.0	89.219	92.027
412.0	90.063	92.389
414.0	89.512	92.562
416.0	89.478	92.803
418.0	89.719	92.786
420.0	89.96	93.13

422.0	90.029	93.355
424.0	90.27	93.561
426.0	90.632	93.717
428.0	90.718	93.768
430.0	90.856	94.493
432.0	91.597	94.079
434.0	91.562	93.941
436.0	91.838	94.372
438.0	91.821	94.993
440.0	91.666	94.441
442.0	92.01	94.665
444.0	92.131	94.286
446.0	92.32	94.389
448.0	92.269	94.665
450.0	92.527	94.82
452.0	92.424	94.958
454.0	92.51	94.906
456.0	93.113	95.182
458.0	92.562	95.079
460.0	92.493	95.269
462.0	92.51	95.113
464.0	92.7	95.303
466.0	92.958	95.924
468.0	92.975	95.51
470.0	93.165	95.786
472.0	93.734	95.941
474.0	93.613	95.941
476.0	93.717	95.89
478.0	94.251	96.752
480.0	93.786	96.838
482.0	93.941	96.58
484.0	94.199	96.838
486.0	94.406	96.977
488.0	94.82	96.977
490.0	94.148	97.546
492.0	94.337	97.166
494.0	94.665	97.356
496.0	94.544	97.563
498.0	94.958	97.719
500.0	95.562	97.736
502.0	95.131	97.822
504.0	95.131	98.167
506.0	95.234	98.357
508.0	95.389	98.392
510.0	95.907	98.668
512.0	95.786	98.91



514.0	96.01	99.065
516.0	96.562	99.169
518.0	96.476	99.307
520.0	96.683	99.514
522.0	96.908	99.652
524.0	96.977	100.015
526.0	97.011	99.807
528.0	97.08	99.842
530.0	96.994	100.222
532.0	97.166	100.187
534.0	97.253	100.222
536.0	97.304	100.567
538.0	97.201	100.636
540.0	97.373	100.74
542.0	97.701	100.671
544.0	97.701	101.034
546.0	97.598	101.085
548.0	97.839	101.379
550.0	98.081	102.105
552.0	98.15	101.828
554.0	98.547	102.035
556.0	98.444	102.105
558.0	98.305	102.087
560.0	98.236	102.917
562.0	98.599	102.45
564.0	99.497	102.537
566.0	98.961	102.692
568.0	99.082	102.761
570.0	99.359	102.847
572.0	99.583	102.968
574.0	99.738	102.986
576.0	99.807	103.176
578.0	100.101	103.331
580.0	100.066	103.435
582.0	100.878	103.556
584.0	100.429	104.351
586.0	100.429	104.074
588.0	100.654	104.316
590.0	100.688	104.351
592.0	100.964	104.403
594.0	101.12	104.368
596.0	101.206	104.697
598.0	101.414	104.852
600.0	101.586	104.8
602.0	101.776	105.077
604.0	102.001	105.146

606.0	102.312	105.267
608.0	102.986	105.371
610.0	102.433	105.561
612.0	102.277	105.544
614.0	102.433	105.717
616.0	103.418	105.665
618.0	102.554	105.699
620.0	102.675	105.561
622.0	102.882	105.596
624.0	102.796	106.08
626.0	103.02	106.01
628.0	103.038	105.855
630.0	103.02	105.924
632.0	103.158	106.391
634.0	102.968	106.322
636.0	103.124	106.754
638.0	103.176	106.339
640.0	103.245	106.132
642.0	103.4	106.27
644.0	103.279	106.529
646.0	103.262	106.564
648.0	103.539	106.806
650.0	103.815	106.875
652.0	103.85	107.342
654.0	103.66	107.55
656.0	103.919	107.671
658.0	104.04	107.861
660.0	104.126	108.12
662.0	103.988	108.276
664.0	103.988	108.535
666.0	103.953	108.587
668.0	104.368	108.968
670.0	104.904	109.106
672.0	104.645	109.297
674.0	104.714	109.487
676.0	104.835	109.539
678.0	105.198	109.522
680.0	105.526	110.335
682.0	105.786	109.643
684.0	106.114	109.66
686.0	106.564	109.885
688.0	106.719	109.85
690.0	106.961	109.591
692.0	107.774	109.781
694.0	107.325	109.833
696.0	107.117	110.508

698.0	107.463	110.421
700.0	107.377	110.837
702.0	107.55	111.442
704.0	107.567	111.39
706.0	107.083	111.979
708.0	107.238	111.685
710.0	106.91	111.91
712.0	106.961	111.892
714.0	107.705	112.031
716.0	107.221	112.186
718.0	107.169	112.29
720.0	107.342	112.619
722.0	107.532	112.965
724.0	107.48	113.312
726.0	107.74	113.398
728.0	107.844	113.675
730.0	108.068	113.814
732.0	108.345	113.831
734.0	108.553	114.004
736.0	108.57	113.848
738.0	108.639	114.022
740.0	108.657	114.108
742.0	108.743	114.351
744.0	108.518	114.091
746.0	108.985	114.177
748.0	109.383	114.16
750.0	108.726	114.004
752.0	108.708	114.212
754.0	108.812	114.385
756.0	108.933	114.316
758.0	109.625	114.281
760.0	109.158	114.385
762.0	109.02	114.749
764.0	109.297	115.095
766.0	109.175	114.87
768.0	109.591	115.026
770.0	109.781	115.112
772.0	109.954	116.03
774.0	110.335	115.095
776.0	110.542	115.078
778.0	110.854	115.372
780.0	110.871	115.199
782.0	110.94	115.06
784.0	110.715	115.286
786.0	110.923	115.528
788.0	110.785	115.424

790.0	110.819	115.632
792.0	110.992	115.684
794.0	110.785	115.805
796.0	110.992	115.857
798.0	111.494	116.1
800.0	111.615	116.151
802.0	111.979	116.325
804.0	112.204	116.325
806.0	112.429	116.81
808.0	112.637	117.381
810.0	112.844	117.243
812.0	113.675	117.381
814.0	113.173	117.52
816.0	113.104	117.537
818.0	113.312	117.485
820.0	113.433	117.728
822.0	113.623	117.693
824.0	113.589	117.797
826.0	113.589	117.658
828.0	113.866	117.71
830.0	114.714	117.658
832.0	113.97	117.97
834.0	113.883	118.092
836.0	114.143	118.109
838.0	114.039	118.074
840.0	114.229	118.265
842.0	114.022	118.005
844.0	114.004	119.166
846.0	113.97	118.802
848.0	113.935	118.455
850.0	114.125	118.542
852.0	114.299	119.477
854.0	114.801	118.75
856.0	114.177	118.94
858.0	114.229	118.784
860.0	114.541	118.611
862.0	114.281	118.871
864.0	114.333	119.096
864.0	114.524	118.854
864.0	114.697	119.044
864.0	115.649	118.819
864.0	115.355	119.252
864.0	115.667	118.802
864.0	115.857	118.854
864.0	116.203	118.992
864.0	116.844	119.148

864.0	116.723	119.27
864.0	116.965	119.339
864.0	117.364	119.252
864.0	117.451	119.339
864.0	117.381	119.547
864.0	117.641	119.755
864.0	117.502	119.529
864.0	118.438	119.893
864.0	118.022	119.685
864.0	118.178	119.703
864.0	118.542	119.703
864.0	119.01	120.482
864.0	118.992	120.067
864.0	119.634	120.257
864.0	119.46	120.153
864.0	120.032	120.24
864.0	119.807	119.581
864.0	120.638	119.339
864.0	119.876	118.784
864.0	119.616	118.473
864.0	119.356	118.005
864.0	118.871	117.399
864.0	118.265	
864.0	118.057	
864.0	117.069	
864.0	117.052	

○ MEDICIONES DE HUMEDAD

**Tabla E7: Respuesta Lazo Abierto, Presión 8psi, Humedad**

LAZO ABIERTO		
P = 8 psi		
Tiempo (s)	Humedad (%) CON REJILLA VENTILACIÓN	Humedad (%) SIST CERRADO
0	50.621	50.814
2	52.371	51.224
4	52.996	49.111
6	51.809	48.097
8	48.71	50.491
10	50.971	53.45
12	52.014	51.2
14	54.895	49.16
16	52.329	51.844
18	52.074	47.901
20	49.98	45.328
22	50.007	48.914

24	50.114	49.973
26	51.606	47.321
28	48.344	47.062
30	50.583	48.555
32	48.551	52.57
34	47.621	55.308
36	48.397	54.6
38	49.099	53.71
40	47.717	51.128
42	45.419	55.375
44	45.392	53.387
46	43.991	51.57
48	46.577	48.268
50	47.64	46.947
52	44.251	47.075
54	42.919	45.881
56	44.1	44.437
58	44.04	46.97
60	46.883	46.861
62	47.551	48.093
64	47.8	49.107
66	45.498	48.677
68	45.614	50.009
70	45.01	51.601
72	46.75	49.638
74	42.91	52.508
76	46.081	53.937
78	44.593	50.949
80	44.911	47.01
82	45.815	46.871
84	42.706	48.097
86	43.958	47.671
88	44.205	49.941
90	45.977	46.379
92	44.988	48.221
94	44.598	50.05
96	44.48	51.39
98	43.621	49.03
100	42.707	50.709
102	43.309	49.834
104	41.259	51.007
106	42.63	50.967
108	42.065	52.807
110	41.98	52.961
112	41.859	52.447
114	40.703	53.941

116	40.25	56.111
118	39.527	55.074
120	41.043	52.942
122	37.989	55.087
124	39.066	56.71
126	36.094	56.06
128	37.727	58.116
130	36.32	55.886
132	39.109	57.127
134	38.044	55.961
136	38.125	56.14
138	37.855	60.094
140	37.465	57.335
142	37.727	61.007
144	35.25	58.676
146	38.332	62.867
148	37.773	61.974
150	34.273	58.211
152	36.133	60.497
154	36.277	59.784
156	37.641	60.058
158	35.961	64.874
160	36.094	64.586
162	33.672	61.094
164	33.113	62.441
166	34.78	63.004
168	32.457	
170	34.184	
172	34.268	
174	34.091	
176	35.641	
178	34.785	
180	37.418	
182	32.781	
184	33.672	
186	33.297	
188	33.023	
190	35.12	
192	32.973	
194	35.851	
196	33.109	
198	34.824	
200	34.227	
202	34.871	
204	32.155	
206	30.703	

208	32.219	
210	33.07	
212	32.455	
214	32.172	
216	34.32	
218	34.184	
220	33.812	
222	29.969	
224	33.488	
226	33.488	
228	33.535	
230	32.841	
232	34.12	
234	33.376	
236	35.82	
238	35.512	
240	34.914	
242	34.914	
244	33.402	
246	33.402	
248	31.699	
250	33.25	
252	33.437	
254	31.32	
256	32.516	
258	35.328	
260	35.047	
262	34.32	
264	32.926	
266	32.465	
268	29.898	
270	32.406	
272	30.348	
274	31.973	
276	29.504	
278	29.824	
280	31.859	
282	28.074	
284	33.535	
286	32.687	
288	32.832	
290	32.359	
292	30.777	
294	33.211	
296	31.883	
298	28.332	



300	27.367	
302	30.16	
304	31.211	
306	31.672	
308	31.555	
310	29.766	
312	30.715	
314	27.988	
316	28.207	
318	26.836	
320	29.086	
322	29.598	
324	30.379	
326	29.441	
328	30.695	
330	29.262	
332	31.437	
334	32.25	
336	31.332	
338	29.937	
340	30.594	
342	30.641	
344	30.012	
346	27.332	
348	29.414	
350	30.961	
352	28.473	
354	31.641	
356	30.73	
358	31.98	
360	31.082	
362	32.273	
364	28.555	
366	29.828	
368	28.766	
370	30.094	
372	30.543	
374	31.23	
376	32.937	
378	32.035	
380	33.021	
382	30.66	
384	31.043	
386	30.25	
388	27.508	
390	29.91	

392	26.549	
394	28.719	
396	28.203	
398	27.203	
400	31.305	
402	30.156	
404	30.871	
406	30.457	
408	27.957	
410	28.68	
412	27.582	
414	28.469	
416	28.457	
418	26.395	
420	26.609	
422	27.945	
424	26.508	
426	28.07	
428	26.707	
430	25.105	
432	27.961	
434	28.824	
436	27.789	
438	27.582	
440	26.25	
442	26.27	
444	29.273	
446	26.48	
448	27.055	
450	27.98	
452	26.508	
454	30.547	
456	27.875	
458	29.738	
460	30.281	
462	27.734	
464	28.078	
466	31.504	
468	29.148	
470	27.582	
472	26.203	
474	29.621	
476	31.332	
478	28.988	
480	28.289	
482	28.629	

484	27.797	
486	28.031	
488	26.465	
490	28.051	
492	27.246	
494	28.051	
496	28.094	
498	26.316	
500	26.031	
502	27.18	
504	26.031	
506	28.598	
508	27.754	
510	26.293	
512	28.84	
514	26.949	
516	28.414	
518	26.738	
520	29.039	
522	27.937	
524	26.687	
526	27.281	
528	27.648	
530	26.629	
532	27.195	
534	27.648	
536	27.172	
538	27.754	
540	26.949	
542	28.047	
544	29.652	
546	28.262	
548	28.992	
550	26.164	
552	27.355	
554	28.555	
556	28.555	
558	28.477	
560	26.836	
562	27.031	
564	27.977	
566	21.27	
568	27.465	
570	26.117	
572	27.203	
574	27.27	

576	26.527	
578	27.105	
580	26.902	
582	27.027	
584	26.477	

○ EFECTOS DE LA PRESIÓN EN EL SISTEMA DE LAZO ABIERTO

**Tabla E8: Efectos de la Presión en el Horno de Secado**

SISTEMA EN LAZO ABIERTO						
CON REJILLA DE VENTILACIÓN						
Tiempo (s)	P = 4psi		P = 8psi		P = 10psi	
	Valv = 20%	Valv = 80%	Valv = 20%	Valv = 80%	Valv = 20%	Valv = 80%
	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)
0	22.914	30.277	27.517	25.447	31.985	34.518
2	22.997	30.98	28.269	26.766	32.806	35.089
4	22.731	31.181	28.286	26.615	33.075	34.585
6	23.314	31.399	28.955	26.816	33.93	35.945
8	23.147	31.499	28.821	27.45	34.35	36.315
10	24.23	32.287	28.838	28.202	34.988	36.769
12	23.697	32.924	29.808	29.005	36.735	38.216
14	24.513	33.041	30.293	29.992	36.702	38.232
16	24.863	33.712	30.846	30.812	37.946	39.546
18	24.463	34.199	31.466	31.231	39.007	40.438
20	25.514	34.938	31.415	32.052	39.781	40.371
22	25.08	35.156	32.27	32.22	40.085	41.096
24	25.564	35.324	33.058	33.729	41.618	42.394
26	26.432	36.382	32.957	33.863	40.86	43.221
28	26.665	36.752	33.863	34.736	42.901	43.306
30	26.899	37.021	34.686	34.971	42.766	44.251
32	27.217	37.862	35.525	35.609	42.749	45.13
34	27.45	37.744	36.13	36.147	45.654	45.941
36	27.885	38.67	36.567	36.836	45.772	46.499
38	28.62	39.445	37.021	37.576	47.023	46.482
40	28.771	39.394	37.98	38.535	47.125	46.956
42	29.273	40.455	38.468	39.445	46.601	48.259
44	29.256	40.219	38.855	40.169	49.58	49.071
46	29.707	41.45	39.546	40.337	50.851	49.952
48	30.226	41.416	40.101	40.792	51.071	50.868
50	30.611	41.871	40.86	41.669	49.258	51.817
52	30.595	43.019	40.978	42.175	49.546	52.614
54	31.248	42.563	41.534	43.289	51.919	53.803
56	31.817	42.394	41.956	43.964	53.548	54.686
58	32.186	43.762	42.057	43.525	54.193	56.028
60	32.505	44.285	43.171	45.417	52.513	55.994
62	32.706	44.555	44.234	45.789	53.174	56.079
64	33.326	45.18	43.914	45.164	55.586	55.212

66	33.595	45.282	43.812	47.497	54.499	58.035
68	33.763	45.671	44.454	47.802	56.912	56.419
70	34.501	46.668	44.944	47.26	55.008	58.273
72	34.048	46.617	45.687	48.208	55.076	59.72
74	34.182	46.905	46.465	50.054	56.929	59.992
76	34.652	47.362	46.837	48.953	57.762	60.401
78	35.005	47.108	47.226	51.766	59.788	61.134
80	35.643	47.666	47.599	51.953	59.839	62.429
82	35.374	47.802	47.717	53.174	60.776	63.793
84	36.046	48.022	49.342	50.935	61.372	61.986
86	36.366	48.885	49.529	52.479	60.146	62.668
88	36.803	49.122	50.986	51.885	60.52	64.937
90	37.105	49.292	49.512	54.057	61.031	65.449
92	37.206	50.376	50.291	54.822	60.742	64.561
94	37.677	50.173	51.631	53.446	62.787	65.568
96	37.442	50.766	51.8	55.756	62.685	68.114
98	37.862	51.376	49.563	56.453	63.196	65.688
100	38.923	51.529	50.156	56.453	62.412	67.413
102	38.418	51.563	52.53	54.142	64.203	66.917
104	38.923	52.156	52.224	57.831	65.415	69.362
106	38.687	51.936	54.244	57.354	65.38	68.25
108	39.445	53.056	51.529	56.198	65.62	70.165
110	39.461	52.767	52.292	55.943	66.012	70.08
112	39.849	53.107	55.365	58.205	68.182	71.26
114	40.287	53.803	54.516	59.703	67.379	71.466
116	40.775	54.023	55.62	59.073	68.37	72.681
118	41.096	54.312	54.363	60.094	67.908	73.127
120	41.079	54.448	54.295	59.124	67.703	73.709
122	41.332	54.21	56.079	60.537	68.319	74.103
124	41.517	55.62	56.606	60.64	68.319	74.154
126	41.618	55.195	58.392	60.35	69.379	74.583
128	42.226	56.096	55.603	61.832	70.662	75.028
130	42.816	55.552	58.511	60.605	70.73	75.44
132	42.411	56.079	57.711	62.582	70.439	76.948
134	42.681	56.419	60.009	63.247	71.072	76.451
136	43.795	56.725	59.039	62.753	72.373	76.743
138	43.221	57.439	57.031	62.31	72.065	76.88
140	43.272	57.371	58.528	64.356	72.63	77.103
142	44.319	57.814	59.005	63.589	72.613	77.394
144	44.133	58.29	58.852	65.841	73.52	77.635
146	44.437	58.477	58.664	64.135	73.572	78.218
148	45.485	58.341	59.941	63.759	74.069	79.162
150	44.724	59.073	60.367	65.073	74.411	79.059
152	44.167	58.018	60.452	64.612	74.514	79.471
154	45.654	59.039	61.202	65.944	75.028	79.78
156	45.417	59.328	61.321	65.876	76.074	80.106

158	45.586	59.396	62.361	66.439	75.611	81.222
160	45.687	60.333	61.389	66.149	75.885	80.793
162	45.907	59.737	60.742	66.439	75.971	81.222
164	46.279	60.367	62.088	67.345	76.674	82.236
166	45.84	59.958	62.736	67.943	76.605	82.253
168	46.144	60.657	63.367	67.652	76.777	82.614
170	46.364	60.776	61.986	68.182	77.171	83.593
172	47.413	60.929	62.548	68.421	77.154	83.903
174	47.632	61.168	63.81	67.874	77.394	84.436
176	47.311	60.554	64.015	69.31	77.858	85.485
178	47.988	61.696	64.339	69.122	78.081	85.347
180	47.176	61.27	64.732	69.618	78.338	85.743
182	47.802	61.509	64.493	69.601	78.321	85.949
184	47.599	61.952	65.005	70.456	78.664	86.483
186	47.7	63.247	65.38	70.662	78.904	86.586
188	47.48	61.491	66.115	71.414	79.145	86.896
190	47.666	62.975	64.954	70.918	79.608	88.032
192	48.225	62.565	65.995	71.979	80.604	87.825
194	48.496	62.753	66.098	72.99	80.123	87.601
196	48.767	63.111	66.439	72.322	80.638	87.739
198	48.665	63.384	66.2	72.972	81.36	88.014
200	48.513	63.247	67.157	72.561	81.531	88.737
202	48.733	62.548	67.874	73.675	81.566	88.186
204	49.156	65.312	68.062	73.469	81.841	88.514
206	48.885	64.578	68.267	73.041	82.305	88.755
208	49.224	64.22	68.729	73.212	82.494	88.858
210	48.817	64.954	69.789	73.52	82.717	88.892
212	49.58	63.742	69.533	74.034	83.301	89.237
214	49.529	65.227	69.191	73.743	83.25	89.133
216	49.715	63.759	69.481	74.651	84.264	89.529
218	49.58	64.322	70.114	74.805	83.8	89.323
220	49.664	65.961	70.456	75.44	83.989	90.597
222	49.969	64.698	71.038	74.566	84.35	89.943
224	50.173	63.742	71.483	74.754	84.505	90.253
226	50.223	65.005	72.082	75.8	84.866	90.787
228	50.325	64.971	71.483	75.354	85.984	90.408
230	50.851	64.476	71.757	76.383	85.657	90.459
232	50.952	64.425	72.322	76.091	86.139	90.666
234	51.308	65.312	72.476	76.846	86.293	90.701
236	51.105	65.483	72.339	77.6	86.552	91.528
238	50.901	66.644	72.373	77.377	86.81	91.51
240	51.936	65.449	73.64	77.926	86.775	91.424
242	51.41	66.661	73.178	77.737	88.1	91.579
244	52.36	66.764	74.12	77.823	87.395	92.096
246	52.207	68.114	73.983	77.892	88.307	92.303
248	52.869	66.832	73.606	78.201	87.705	92.493

250	52.767	68.404	74.274	78.372	88.204	92.734
252	52.903	68.49	74.925	79.024	88.341	93.096
254	53.344	69.259	74.977	79.162	88.341	93.251
256	52.954	68.028	75.765	79.728	88.617	94.372
258	53.056	67.43	75.8	79.642	88.496	94.355
260	53.073	67.208	75.2	80.003	88.737	94.148
262	52.971	68.267	75.782	80.329	89.03	94.182
264	54.091	69.875	76.485	80.621	90.167	94.303
266	53.667	68.353	76.434	80.896	89.271	94.493
268	53.429	68.421	76.4	81.463	89.943	94.786
270	54.227	67.43	76.931	81.222	89.805	95.752
272	53.972	69.858	77.292	81.686	89.564	95.182
274	53.786	67.242	77.532	81.909	90.012	95.579
276	54.686	68.592	77.72	82.219	91.166	95.545
278	54.261	66.781	78.561	82.597	90.942	95.717
280	53.803	68.934	78.836	82.906	91.562	96.769
282	54.261	70.165	78.441	82.889	90.959	97.063
284	54.652	67.396	79.866	82.82	91.045	96.373
286	54.431	70.285	78.99	83.198	91.838	96.597
288	55.399	68.302	80.604	83.095	91.441	96.838
290	55.161	70.627	80.587	83.336	91.528	97.253
292	55.552	69.054	80.69	83.439	91.666	97.546
294	56.385	69.362	81.342	83.645	91.958	97.563
296	56.725	71.346	81.892	83.903	91.907	97.857
298	56.249	70.439	81.222	83.8	92.2	97.995
300	56.759	71.483	81.6	83.972	93.199	98.288
302	56.045	68.541	81.634	83.989	92.717	98.357
304	57.32	68.233	82.115	84.023	93.217	98.271
306	56.606	68.302	82.545	84.058	93.51	98.633
308	57.116	69.977	82.425	84.23	93.406	98.961
310	55.892	72.339	82.287	84.384	94.717	99.082
312	56.64	72.116	82.597	84.849	93.958	99.635
314	58.562	70.593	82.425	84.728	94.113	99.428
316	58.205	72.151	82.442	84.9	94.217	99.169
318	58.341	70.063	82.683	84.814	94.286	99.289
320	59.09	71.141	82.957	84.711	94.458	100.049
322	59.175	71.363	83.043	84.711	94.51	99.652
324	57.371	72.459	83.009	85.003	94.958	99.635
326	58.307	69.926	83.215	85.038	94.734	100.239
328	57.558	70.696	83.267	85.038	94.872	100.895
330	58.818	70.165	83.301	85.089	95.096	101.085
332	59.039	70.747	83.336	85.347	95.372	100.585
334	58.835	73.246	83.49	85.313	96.097	100.585
336	59.515	70.97	83.542	85.279	95.734	100.792
338	60.282	70.268	83.593	85.64	96.028	101.724
340	57.984	70.662	83.697	85.726	96.148	101.051

342	60.077	71.671	83.886	86.655	96.476	101.137
344	58.477	72.801	83.989	85.915	96.821	101.275
346	59.754	71.637	84.161	86.104	97.218	101.344
348	59.822	69.84	84.316	86.724	97.529	101.448
350	58.205	71.021	84.797	86.569	98.357	101.362
352	59.839	72.784	85.021	86.724	97.908	101.604
354	58.409	71.569	85.021	86.93	98.167	101.863
356	60.674	73.777	85.107	87.171	98.271	102.364
358	59.924	72.613	85.502	87.446	98.668	102.45
360	57.78	72.561	85.657	87.498	98.685	102.433
362	59.737	73.041	85.967	87.584	98.806	102.502
364	60.554	72.048	86.259	88.049	98.772	102.554
366	59.533	71.688	86.638	87.911	99.272	102.64
368	59.43	73.401	86.775	87.859	98.944	102.778
370	60.009	71.791	86.844	88.032	99.238	103.107
372	60.299	71.808	87.274	88.617	99.652	103.089
374	59.941	74.634	86.827	88.014	99.635	103.21
376	60.827	74.189	87.051	88.169	99.859	104.023
378	60.759	74.805	87.343	88.41	99.825	103.781
380	58.511	74.069	87.911	88.72	100.015	103.798
382	60.06	74.566	87.343	88.479	100.429	103.971
384	61.594	74.497	87.55	88.634	100.654	104.109
386	61.27	73.127	87.515	88.875	100.654	104.334
388	60.895	75.2	88.032	89.219	101.241	105.181
390	61.219	74.634	87.705	89.65	101.707	104.818
392	60.691	75.851	87.825	89.857	102.07	104.558
394	61.065	75.937	87.98	89.65	102.295	104.99
396	62.446	75.268	88.186	89.805	101.949	105.077
398	61.27	76.948	88.41	90.167	101.655	105.423
400	61.764	75.645	89.065	90.27	101.707	105.423
402	62.088	75.834	88.582	90.528	102.208	105.596
404	61.611	77.154	88.703	90.856	102.105	105.768
406	63.316	76.263	89.426	91.545	102.416	105.959
408	62.889	76.263	89.116	91.838	102.433	105.889
410	63.026	76.605	89.219	92.027	102.675	106.875
412	62.753	75.422	90.063	92.389	102.986	106.391
414	64.271	76.983	89.512	92.562	103.711	106.201
416	63.674	76.588	89.478	92.803	103.971	107.238
418	61.611	76.76	89.719	92.786	103.677	106.287
420	62.753	76.263	89.96	93.13	103.815	106.425
422	62.054	77.017	90.029	93.355	104.818	106.339
424	61.253	77.858	90.27	93.561	103.798	106.685
426	63.793	77.566	90.632	93.717	103.798	107.463
428	64.288	77.343	90.718	93.768	103.919	106.702
430	64.032	76.537	90.856	94.493	103.953	106.961
432	61.679	77.549	91.597	94.079	104.334	107.031



434	62.599	76.811	91.562	93.941	104.282	107.532
436	63.998	79.213	91.838	94.372	105.25	108.276
438	64.322	77.669	91.821	94.993	104.697	107.757
440	65.671	77.257	91.666	94.441	105.112	108.155
442	63.879	77.292	92.01	94.665	105.544	108.138
444	63.759	78.681	92.131	94.286	106.045	108.847
446	62.889	79.608	92.32	94.389	105.371	108.674
448	65.312	76.846	92.269	94.665	105.353	108.812
450	65.244	78.801	92.527	94.82	105.803	108.899
452	65.005	78.166	92.424	94.958	105.457	109.141
454	63.845	78.767	92.51	94.906	105.647	110.093
456	66.832	78.784	93.113	95.182	105.613	110.023
458	63.52	78.973	92.562	95.079	105.803	110.023
460	63.793	78.853	92.493	95.269	105.838	110.715
462	64.971	80.415	92.51	95.113	105.889	110.819
464	66.473	79.608	92.7	95.303	106.218	111.096
466	64.629	79.093	92.958	95.924	106.166	111.408
468	65.039	79.454	92.975	95.51	106.495	111.754
470	64.903	79.539	93.165	95.786	106.391	111.581
472	64.237	79.969	93.734	95.941	107.1	111.702
474	64.578	79.848	93.613	95.941	106.737	111.788
476	65.466	79.454	93.717	95.89	106.789	111.737
478	65.346	79.728	94.251	96.752	107.031	112.152
480	67.088	79.9	93.786	96.838	106.944	112.325
482	64.766	80.449	93.941	96.58	107.117	112.29
484	66.678	80.621	94.199	96.838	107.065	112.325
486	67.293	80.037	94.406	96.977	107.1	112.308
488	67.037	80.364	94.82	96.977	107.342	112.481
490	67.943	81.136	94.148	97.546	107.671	112.758
492	67.977	80.673	94.337	97.166	107.688	112.896
494	67.584	81.703	94.665	97.356	107.947	113.277
496	68.302	80.655	94.544	97.563	107.965	113.918
498	68.199	81.325	94.958	97.719	108.19	114.437
500	68.233	80.432	95.562	97.736	108.12	113.918
502	67.174	81.016	95.131	97.822	108.276	113.918
504	68.045	81.617	95.131	98.167	108.38	114.039
506	66.371	81.806	95.234	98.357	108.518	114.299
508	68.284	81.446	95.389	98.392	108.812	114.42
510	66.405	82.167	95.907	98.668	108.76	114.576
512	69.225	81.892	95.786	98.91	108.795	114.957
514	65.961	81.806	96.01	99.065	108.829	115.234
516	66.559	82.133	96.562	99.169	108.829	115.182
518	66.644	82.03	96.476	99.307	108.968	115.632
520	66.593	82.511	96.683	99.514	109.314	116.29
522	69.362	82.03	96.908	99.652	109.193	116.636
524	66.9	82.15	96.977	100.015	109.522	117.173

526	68.917	82.305	97.011	99.807	109.729	117.537
528	69.943	81.806	97.08	99.842	110.283	117.936
530	70.559	82.854	96.994	100.222	110.369	117.347
532	69.704	81.892	97.166	100.187	110.3	117.606
534	68.028	82.82	97.253	100.222	110.49	117.728
536	68.421	82.253	97.304	100.567	111.529	117.208
538	67.259	82.614	97.201	100.636	111.061	117.606
540	71.089	82.15	97.373	100.74	111.442	117.728
542	71.141	82.15	97.701	100.671	111.356	117.502
544	67.601	82.339	97.701	101.034	111.615	117.537
546	67.84	82.494	97.598	101.085	112.1	117.658
548	69.276	82.27	97.839	101.379	112.377	118.611
550	68.387	82.717	98.081	102.105	112.775	117.901
552	68.165	82.494	98.15	101.828	112.879	118.403
554	68.626	82.906	98.547	102.035	112.792	118.109
556	68.302	83.129	98.444	102.105	112.862	117.97
558	69.464	82.528	98.305	102.087	112.827	117.693
560	68.336	83.233	98.236	102.917	113.277	117.797
562	71.055	83.129	98.599	102.45	113.433	118.577
564	70.644	82.837	99.497	102.537	113.762	117.953
566	70.679	83.765	98.961	102.692	114.125	118.092
568	70.576	83.198	99.082	102.761	114.351	118.126
570	70.696	83.009	99.359	102.847	114.679	118.282
572	71.346	83.387	99.583	102.968	114.801	118.473
574	70.148	83.353	99.738	102.986	115.026	118.455
576	69.362	83.679	99.807	103.176	115.615	119.027
578	71.842	83.783	100.101	103.331	115.112	119.183
580	71.774	83.508	100.066	103.435	115.338	118.732
582	68.541	84.178	100.878	103.556	115.286	119.443
584	69.173	83.783	100.429	104.351	115.424	118.958
586	71.928	83.628	100.429	104.074	115.441	118.906
588	70.165	83.37	100.654	104.316	115.978	118.715
590	71.928	83.817	100.688	104.351	115.563	118.888
592	69.498	84.436	100.964	104.403	116.03	119.512
594	70.987	84.367	101.12	104.368	115.909	119.374
596	69.498	84.453	101.206	104.697	115.493	119.46
598	72.784	83.714	101.414	104.852	115.545	119.737
600	70.337	84.04	101.586	104.8	116.688	120.535
602	70.935	84.316	101.776	105.077	115.944	120.032
604	72.373	83.49	102.001	105.146	116.238	120.431
606	73.075	83.851	102.312	105.267	116.307	121.314
608	72.99	83.593	102.986	105.371	116.429	121.21
610	70.918	84.023	102.433	105.561	116.654	120.292
612	73.572	84.023	102.277	105.544	116.862	119.668
614	73.127	83.748	102.433	105.717	116.688	119.27
616	70.679	84.126	103.418	105.665	116.914	118.594

618	72.75	84.006	102.554	105.699	117.26	117.953
620	70.679	84.212	102.675	105.561	117.312	117.866
622	73.418	84.316	102.882	105.596	117.624	116.065
624	72.733	84.608	102.796	106.08	117.936	115.32
626	73.435	84.539	103.02	106.01	118.23	
628	73.024	84.952	103.038	105.855	117.988	
630	73.966	84.78	103.02	105.924	118.473	
632	72.493	84.986	103.158	106.391	118.802	
634	71.055	85.45	102.968	106.322	118.906	
636	71.038	85.657	103.124	106.754	119.148	
638	71.877	85.485	103.176	106.339	119.46	
640	72.784	85.881	103.245	106.132	119.824	
642	72.014	85.949	103.4	106.27	120.569	
644	72.853	86.173	103.279	106.529	120.171	
646	73.64	86.087	103.262	106.564	120.673	
648	73.195	86.414	103.539	106.806	120.656	
650	72.322	86.242	103.815	106.875	120.327	
652	71.329	86.724	103.85	107.342	120.864	
654	74.857	86.569	103.66	107.55	119.512	
656	72.407	86.517	103.919	107.671	119.356	
658	73.932	87.033	104.04	107.861	118.265	
660	74.154	87.085	104.126	108.12	118.005	
662	75.971	87.068	103.988	108.276	117.554	
664	75.662	87.55	103.988	108.535	117.156	
666	74.754	87.859	103.953	108.587	116.186	
668	74.514	87.773	104.368	108.968		
670	75.063	87.773	104.904	109.106		
672	75.045	88.083	104.645	109.297		
674	76.177	88.393	104.714	109.487		
676	75.285	88.29	104.835	109.539		
678	74.514	87.808	105.198	109.522		
680	74.052	88.169	105.526	110.335		
682	77.069	87.963	105.786	109.643		
684	74.857	88.273	106.114	109.66		
686	76.52	88.703	106.564	109.885		
688	76.194	88.6	106.719	109.85		
690	76.948	88.496	106.961	109.591		
692	76.228	88.669	107.774	109.781		
694	75.422	88.858	107.325	109.833		
696	76.691	89.065	107.117	110.508		
698	75.68	89.047	107.463	110.421		
700	75.371	89.374	107.377	110.837		
702	76.983	89.374	107.55	111.442		
704	76.76	89.581	107.567	111.39		
706	78.218	89.495	107.083	111.979		
708	76.211	89.874	107.238	111.685		

710	76.777	90.442	106.91	111.91		
712	76.503	89.822	106.961	111.892		
714	77.051	90.253	107.705	112.031		
716	77.171	90.339	107.221	112.186		
718	77.995	90.425	107.169	112.29		
720	76.451	90.442	107.342	112.619		
722	77.909	90.546	107.532	112.965		
724	76.828	90.511	107.48	113.312		
726	77.943	90.821	107.74	113.398		
728	78.784	91.028	107.844	113.675		
730	77.823	91.097	108.068	113.814		
732	78.201	91.08	108.345	113.831		
734	77.412	91.2	108.553	114.004		
736	78.613	91.062	108.57	113.848		
738	78.51	91.011	108.639	114.022		
740	77.703	91.114	108.657	114.108		
742	78.372	91.286	108.743	114.351		
744	77.823	91.2	108.518	114.091		
746	78.166	91.235	108.985	114.177		
748	78.252	91.149	109.383	114.16		
750	78.801	90.976	108.726	114.004		
752	78.921	90.735	108.708	114.212		
754	80.364	91.045	108.812	114.385		
756	78.407	90.856	108.933	114.316		
758	78.269	91.338	109.625	114.281		
760	79.728	91.217	109.158	114.385		
762	79.059	90.718	109.02	114.749		
764	77.943	90.959	109.297	115.095		
766	78.578	90.942	109.175	114.87		
768	78.87	91.045	109.591	115.026		
770	78.99	90.942	109.781	115.112		
772	78.51	91.011	109.954	116.03		
774	79.677	91.183	110.335	115.095		
776	79.213	91.131	110.542	115.078		
778	79.986	91.183	110.854	115.372		
780	79.745	91.166	110.871	115.199		
782	80.02	91.39	110.94	115.06		
784	80.02	91.7	110.715	115.286		
786	80.467	91.631	110.923	115.528		
788	80.913	91.734	110.785	115.424		
790	80.707	92.527	110.819	115.632		
792	80.535	92.01	110.992	115.684		
794	81.377	91.924	110.785	115.805		
796	80.552	92.407	110.992	115.857		
798	81.72	92.424	111.494	116.1		
800	80.673	92.269	111.615	116.151		

802	80.93	92.579	111.979	116.325		
804	80.965	92.269	112.204	116.325		
806	81.617	92.269	112.429	116.81		
808	80.965	92.596	112.637	117.381		
810	81.875	93.199	112.844	117.243		
812	81.48	92.872	113.675	117.381		
814	82.03	93.096	113.173	117.52		
816	81.342	93.286	113.104	117.537		
818	82.167	93.337	113.312	117.485		
820	81.463	93.337	113.433	117.728		
822	82.305	93.803	113.623	117.693		
824	82.356	93.682	113.589	117.797		
826	81.772	93.372	113.589	117.658		
828	81.6	93.924	113.866	117.71		
830	81.549	93.941	114.714	117.658		
832	81.514	93.699	113.97	117.97		
834	82.253	93.734	113.883	118.092		
836	81.377	94.079	114.143	118.109		
838	82.219	93.889	114.039	118.074		
840	81.549	94.165	114.229	118.265		
842	82.305	94.406	114.022	118.005		
844	82.047	94.562	114.004	119.166		
846	81.634	94.424	113.97	118.802		
848	82.7	94.855	113.935	118.455		
850	82.923	95.286	114.125	118.542		
852	82.408	94.975	114.299	119.477		
854	82.528	94.855	114.801	118.75		
856	81.652	94.906	114.177	118.94		
858	82.665	94.872	114.229	118.784		
860	82.425	95.182	114.541	118.611		
862	82.098	95.579	114.281	118.871		
864	82.322	95.148	114.333	119.096		
866	82.15	95.683	114.524	118.854		
868	82.957	95.51	114.697	119.044		
870	82.511	95.648	115.649	118.819		
872	82.15	95.596	115.355	119.252		
874	82.992	95.096	115.667	118.802		
876	83.662	95.389	115.857	118.854		
878	82.648	95.51	116.203	118.992		
880	83.576	95.596	116.844	119.148		
882	83.147	95.648	116.723	119.27		
884	82.631	95.562	116.965	119.339		
886	83.387	95.648	117.364	119.252		
888	83.593	95.752	117.451	119.339		
890	83.851	95.562	117.381	119.547		
892	83.731	95.769	117.641	119.755		

894	83.576	95.269	117.502	119.529		
896	83.628	95.614	118.438	119.893		
898	84.006	95.717	118.022	119.685		
900	83.783	95.648	118.178	119.703		
902	84.728	95.631	118.542	119.703		
904	84.522	95.924	119.01	120.482		
906	83.8	96.01	118.992	120.067		
908	84.625	95.907	119.634	120.257		
910	85.537	96.304	119.46	120.153		
912	84.453	96.666	120.032	120.24		
914	85.279	96.166	119.807	119.581		
916	85.124	96.39	120.638	119.339		
918	84.917	96.269	119.876	118.784		
920	84.711	96.493	119.616	118.473		
922	84.952	96.166	119.356	118.005		
924	84.23	96.304	118.871	117.399		
926	85.107	96.062	118.265	116.533		
928	84.281	95.924	118.057	115.753		
930	84.281	95.752	117.069			
932	84.917	95.803	117.052			
934	84.04	96.493	115.545			
936	83.972	96.079	114.783			
938	84.952	96.614				
940	85.003	96.683				
942	84.711	97.339				
944	84.539	96.562				
946	84.367	97.184				
948	84.298	97.063				
950	84.522	97.356				
952	84.109	97.615				
954	85.158	97.581				
956	85.175	98.15				
958	85.554	97.891				
960	85.279	98.219				
962	85.863	97.753				
964	85.072	98.53				
966	85.296	98.633				
968	85.743	98.806				
970	86.276	98.305				
972	86.638	98.582				
974	86.087	98.513				
976	86.345	98.513				
978	86.775	98.409				
980	86.311	98.236				
982	88.169	98.547				
984	86.965	98.547				

986	86.724	99.117				
988	86.878	98.979				
990	87.894	99.03				
992	87.791	99.289				
994	88.307	99.289				
996	87.945	99.203				
998	88.169	99.238				
1000	88.634	99.6				
1002	88.135	99.289				
1004	88.531	99.359				
1006	88.169	98.979				
1008	88.359	99.566				
1010	88.823	99.013				
1012	88.186	99.652				
1014	88.772	99.03				
1016	88.41	99.41				
1018	89.271	99.41				
1020	88.479	99.894				
1022	89.151	99.255				
1024	88.772	99.1				
1026	88.996	99.393				
1028	89.082	98.961				
1030	89.443	99.307				
1032	89.891	99.117				
1034	89.254	99.048				
1036	90.218	98.996				
1038	89.633	99.117				
1040	89.788	99.531				
1042	89.547	99.376				
1044	89.719	99.307				
1046	89.753	99.272				
1048	90.184	100.101				
1050	89.753	99.704				
1052	90.236	99.583				
1054	90.081	98.927				
1056	89.857	98.892				
1058	90.494	98.53				
1060	90.546	99.445				
1062	90.063	99.151				
1064	90.287	98.823				
1066	90.408	99.359				
1068	90.89	99.272				
1070	91.097	99.704				
1072	90.925	99.721				
1074	91.097	99.22				
1076	91.373	99.894				

1078	90.804	100.084				
1080	91.7	99.41				
1082	91.597	99.876				
1084	90.442	99.842				
1086	91.717	99.704				
1088	91.648	100.446				
1090	90.804	100.205				
1092	91.562	99.859				
1094	91.51	100.515				
1096	91.321	100.481				
1098	92.096	101.206				
1100	92.372	100.654				
1102	91.321	101.12				
1104	91.631	101.206				
1106	91.993	100.757				
1108	91.993	100.895				
1110	91.958	100.757				
1112	91.855	100.533				
1114	92.769	100.585				
1116	93.062	100.395				
1118	92.165	100.274				
1120	92.407	100.775				
1122	93.441	101.085				
1124	93.182	100.654				
1126	92.407	100.688				
1128	92.82	101.137				
1130	93.355	100.585				
1132	93.286	100.377				
1134	92.906	99.894				
1136	93.803	100.066				
1138	93.51	100.187				
1140	93.751	100.602				
1142	93.527	100.377				
1144	93.544	101.068				
1146	93.665	100.654				
1148	93.786	100.878				
1150	94.13	101.258				
1152	93.751	100.913				
1154	94.044	100.999				
1156	94.027	101.068				
1158	94.217	101.068				
1160	94.286	100.947				
1162	94.51	101.172				
1164	95.027	101.275				
1166	94.872	101.206				
1168	94.544	101.172				



1170	94.372	101.258				
1172	94.768	101.016				
1174	94.613	101.275				
1176	94.906	100.982				
1178	94.924	101.12				
1180	95.062	101.103				
1182	95.131	101.189				
1184	95.01	101.327				
1186	95.251	101.431				
1188	95.786	101.379				
1190	96.269	101.552				
1192	95.251	101.448				
1194	95.493	101.707				
1196	95.648	101.897				
1198	95.338	102.105				
1200	95.493	102.122				
1202	95.355	102.26				
1204	96.2	102.433				
1206	95.786	102.381				
1208	95.579	102.312				
1210	95.389	102.208				
1212	94.803	101.776				
1214	94.682	101.465				
1216	93.803	100.913				
1218	93.561	100.412				
1220	92.82	99.842				
1222	92.131	99.359				
1224	91.838	98.927				

- PRUEBAS EN LAZO CERRADO

- CONTROL ON/OFF (7psi)

**Tabla E8: Ensayos de Control a 7 psi**

LAZO CERRADO (CONTROL ON/OFF)				
CON REJILLA DE VENTILACIÓN (Valv = 25%)				
P = 7 psi				
Tiempo (s)	SP = 90 °C	SP = 190 °C	SP = 110 °C	SP = 120 °C
	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)

0	37.492	36.298	35.66	37.946
2	39.175	35.962	35.996	37.509
4	39.377	36.92	36.198	39.057
6	37.795	36.248	36.668	38.098
8	37.795	37.072	36.282	38.03
10	37.559	36.248	37.038	38.3
12	38.105	37.29	37.559	40.54
14	38.497	38.03	36.466	40.203
16	38.861	38.603	39.866	41.888
18	39.781	39.546	38.788	42.647
20	39.546	40.556	40.337	42.546
22	40.337	40.91	40.253	43.154
24	41.028	41.787	41.231	44.116
26	41.366	41.585	41.416	44.386
28	42.276	42.057	41.888	44.724
30	42.276	42.766	41.315	45.062
32	43.66	42.917	43.103	46.533
34	43.998	43.829	43.339	46.499
36	44.589	44.589	43.576	47.006
38	45.265	45.248	44.454	47.751
40	46.093	46.414	45.197	49.021
42	46.168	46.33	45.451	49.783
44	46.734	47.142	46.651	50.19
46	47.091	47.666	46.82	50.901
48	47.345	48.733	47.531	51.919
50	47.701	48.631	48.343	52.53
52	48.005	49.529	48.496	53.446
54	48.326	50.851	48.953	54.091
56	49.088	51.291	49.173	54.856
58	49.647	52.292	49.732	55.756
60	51.308	52.886	50.444	56.402
62	51.291	54.074	51.427	56.844
64	52.224	53.752	51.715	57.626
66	53.09	55.212	52.072	58.494
68	53.837	55.994	52.937	59.345
70	54.788	56.844	53.803	59.805
72	55.399	57.082	54.074	60.759
74	55.654	57.967	54.465	61.185
76	56.487	58.239	54.923	61.645
78	57.32	58.937	55.484	62.668
80	57.493	59.43	55.688	63.128
82	58.017	60.367	56.317	63.265
84	58.613	60.129	57.405	63.691
86	59.379	61.151	57.984	64.51
88	59.856	61.679	57.422	64.715
90	60.418	61.355	57.933	65.398

92	60.98	61.866	57.967	65.859
94	61.221	62.293	58.596	66.354
96	61.507	63.418	59.039	66.832
98	61.798	63.589	59.362	67.515
100	62.139	63.691	60.418	67.635
102	62.531	64.322	60.878	68.284
104	63.196	64.561	60.861	68.575
106	63.309	65.261	61.747	68.883
108	63.913	65.551	62.48	69.652
110	64.186	65.568	63.094	69.396
112	64.817	65.961	63.81	69.926
114	65.327	66.115	64.049	70.491
116	65.791	66.405	64.92	70.798
118	66.098	66.952	64.578	71.842
120	66.781	67.157	64.766	72.219
122	67.088	67.191	65.876	72.219
124	67.874	68.011	65.893	72.904
126	68.148	67.584	66.285	73.658
128	68.438	68.131	67.464	73.726
130	69.447	68.045	67.122	74.394
132	69.31	69.02	67.601	75.183
134	69.943	69.139	68.404	75.662
136	70.085	69.481	68.814	75.32
138	70.662	69.943	69.02	75.114
140	71.363	70.388	69.173	75.594
142	71.055	71.021	69.601	76.177
144	71.5	71.072	69.806	76.897
146	72.27	71.62	70.696	76.76
148	71.791	71.586	71.021	77.309
150	72.236	72.288	70.73	76.846
152	72.698	72.356	71.072	77.309
154	73.264	72.801	71.86	77.274
156	73.246	72.87	71.842	77.72
158	73.863	73.092	72.442	77.737
160	74.36	73.418	72.527	78.081
162	74.446	73.212	72.561	77.995
164	74.309	73.658	72.579	78.338
166	74.72	74.189	72.801	78.39
168	75.183	74.548	73.092	78.767
170	75.525	74.84	73.281	78.492
172	75.457	75.045	74.069	78.784
174	75.902	74.925	74	78.973
176	75.954	75.148	74.497	78.921
178	76.331	75.662	74.84	79.333
180	76.711	75.645	74.977	79.711
182	77.497	76.057	75.405	80.037

184	77.72	76.365	75.645	80.02
186	78.235	76.88	75.765	80.484
188	78.818	77.326	76.143	80.501
190	79.162	76.811	76.571	80.896
192	79.694	77.171	76.846	80.655
194	79.608	77.429	77.137	81.153
196	79.934	77.703	77.257	81.325
198	80.982	77.84	77.497	81.927
200	81.102	78.029	77.72	81.72
202	81.738	78.149	77.961	82.03
204	81.652	78.544	78.235	81.892
206	82.528	78.87	78.407	82.614
208	82.511	79.299	78.767	82.768
210	83.147	79.591	78.836	82.717
212	83.456	79.763	79.333	83.215
214	83.49	79.9	79.316	83.593
216	83.731	80.175	79.625	83.576
218	84.126	80.381	80.02	83.714
220	84.505	80.707	78.252	84.109
222	84.539	80.844	80.707	84.247
224	84.935	80.724	81.153	84.092
226	85.468	81.102	81.377	84.04
228	85.141	81.188	81.755	84.367
230	86.861	81.48	81.909	84.573
232	86.362	81.6	82.425	84.849
234	86.552	81.583	82.614	84.745
236	86.827	81.858	82.82	85.399
238	87.119	82.167	83.25	84.814
240	87.291	82.425	83.576	85.416
242	87.67	82.528	83.645	85.502
244	87.997	82.631	83.731	85.967
246	88.152	83.112	83.817	85.915
248	88.29	83.147	84.04	86.483
250	88.531	83.37	84.316	86.397
252	88.841	83.8	84.608	86.379
254	88.927	83.783	84.659	86.448
256	89.185	84.006	84.78	86.465
258	89.34	84.247	84.935	86.517
260	89.478	84.264	85.227	86.724
262	89.719	84.402	85.416	86.965
264	90.063	84.625	85.674	87.739
266	90.218	84.814	85.984	87.36
268	90.391	85.038	86.121	87.705
270	90.925	85.433	86.276	88.083
272	90.942	85.64	86.379	88.186
274	91.097	85.881	86.414	88.823

276	91.752	86.259	86.517	88.841
278	91.855	86.517	86.5	89.237
280	92.493	86.758	86.844	89.254
282	92.2	86.947	87.068	89.753
284	92.803	87.188	87.343	90.132
286	92.613	87.274	87.429	90.27
288	92.665	87.567	87.567	90.615
290	92.631	87.636	87.687	91.011
292	92.924	87.722	87.791	91.407
294	92.596	87.584	88.014	91.476
296	92.734	87.756	88.066	91.734
298	92.441	87.98	88.238	92.2
300	92.682	88.1	88.462	92.217
302	92.269	88.341	88.755	92.424
304	91.993	88.514	88.72	92.527
306	91.648	88.841	88.978	92.562
308	91.562	89.082	88.961	92.751
310	91.338	89.392	88.961	92.837
312	90.994	89.633	89.065	92.993
314	90.701	89.805	89.065	93.062
316	90.391	90.149	89.271	93.217
318	90.029	90.287	89.409	93.458
320	89.684	90.666	89.529	93.561
322	89.495	90.459	89.667	93.406
324	89.185	90.615	89.805	93.648
326	88.772	90.597	89.839	93.63
328	88.41	90.649	89.719	93.665
330	88.307	90.58	90.012	93.906
332	87.825	90.821	90.167	94.199
334	87.326	90.89	90.184	94.475
336	86.982	91.304	90.201	94.355
338	87.072	91.08	90.615	94.751
340	86.886	91.183	90.391	94.872
342	86.842	91.235	90.666	94.803
344	86.807	91.407	90.718	95.096
346	86.704	91.424	90.735	95.182
348	86.707	91.545	91.097	95.303
350	86.687	91.941	91.304	95.355
352	86.624	92.079	91.183	95.372
354	86.749	91.855	91.131	95.51
356	86.735	91.993	91.131	95.665
358	86.807	92.234	91.459	95.7
360	86.845	92.441	91.562	95.855
362	86.917	92.596	91.838	96.097
364	87.051	92.751	91.752	96.114
366	86.999	92.906	91.803	96.183

368	87.309	92.906	91.717	96.2
370	87.481	93.303	92.01	96.2
372	87.67	93.113	92.148	96.373
374	87.773	93.165	92.372	96.476
376	88.066	93.286	92.251	96.631
378	88.393	93.458	92.803	96.787
380	88.755	93.51	92.769	97.253
382	88.996	93.544	92.751	97.08
384	89.133	93.579	92.717	97.443
386	89.529	93.699	92.717	97.529
388	89.943	93.82	92.717	98.202
390	90.046	93.889	92.872	98.012
392	90.253	94.13	92.958	98.185
394	90.253	93.975	93.044	98.599
396	90.511	94.199	93.337	98.858
398	90.649	94.527	93.406	98.858
400	90.925	94.751	93.561	99.341
402	91.183	94.993	93.561	99.445
404	91.373	95.2	93.648	99.531
406	91.476	95.596	93.734	99.669
408	91.407	95.769	93.958	99.946
410	91.821	96.01	94.061	100.101
412	91.907	96.424	94.389	100.291
414	92.148	96.58	94.441	100.136
416	92.269	96.735	94.803	100.515
418	92.424	97.08	95.01	100.688
420	92.734	97.425	95.131	101.034
422	92.769	97.598	94.993	101.137
424	92.906	97.65	95.251	101.414
426	93.406	97.719	95.148	101.465
428	93.165	97.822	95.286	101.69
430	93.303	97.822	95.441	101.915
432	92.993	97.753	95.665	101.949
434	93.13	97.908	95.476	102.329
436	92.941	97.874	95.562	102.398
438	92.786	98.081	95.372	102.312
440	92.648	98.444	95.596	102.45
442	92.372	98.116	95.527	102.381
444	92.251	98.305	95.7	102.398
446	92.01	98.357	95.941	102.813
448	91.872	98.392	96.079	102.45
450	91.528	98.375	96.355	102.537
452	91.252	98.426	96.269	102.657
454	91.2	98.254	96.562	102.537
456	90.959	98.426	96.804	102.847
458	90.546	98.305	96.649	102.917

460	90.356	98.685	96.701	102.951
462	90.322	98.668	96.873	103.141
464	89.529	98.668	96.89	103.331
466	89.202	98.996	97.184	103.66
468	88.961	98.875	97.373	103.832
470	88.6	98.927	97.339	103.936
472	88.221	98.737	97.684	103.798
474	87.705	99.1	97.65	103.815
476	87.343	99.082	98.047	103.971
478	87.24	99.048	98.72	103.85
480	87.068	99.065	98.478	103.902
482	87.223	99.117	98.944	104.23
484	87.119	99.082	98.772	104.161
486	87.326	99.151	99.151	104.489
488	87.481	99.289	99.169	104.662
490	87.515	99.376	99.635	104.178
492	88.083	99.617	99.479	104.126
494	87.859	99.773	99.548	104.265
496	88.169	99.98	99.738	104.558
498	88.393	100.256	99.842	104.818
500	88.393	100.792	99.98	104.869
502	88.531	100.775	99.946	105.008
504	88.427	100.844	99.825	105.682
506	88.669	101.034	99.963	105.509
508	88.875	100.878	100.084	105.647
510	89.237	101.327	100.256	105.665
512	89.581	101.431	100.205	105.889
514	89.943	101.517	100.343	106.443
516	90.218	101.707	100.308	106.304
518	90.546	101.949	100.101	106.028
520	90.839	102.174	100.17	105.959
522	91.08	102.364	100.429	106.045
524	91.562	102.64	100.55	105.786
526	91.838	102.537	100.654	105.838
528	91.993	102.761	100.636	106.01
530	92.372	103.089	100.861	106.08
532	92.837	102.83	101.051	106.287
534	92.751	102.744	101.103	106.495
536	93.027	102.744	101.172	107.048
538	93.217	102.537	101.5	106.789
540	93.355	102.364	101.241	107.238
542	93.268	102.208	101.586	107.601
544	93.268	102.018	101.604	107.93
546	93.372	102.07	101.759	108.103
548	93.13	101.638	101.984	108.293
550	93.027	101.137	102.139	108.587

552	92.837	100.775	102.398	108.691
554	92.631	100.464	102.588	109.106
556	92.372	100.291	102.761	109.037
558	92.131	99.859	102.623	109.297
560	92.01	99.514	102.571	109.591
562	91.821	99.307	102.727	109.729
564	91.545	98.806	103.158	109.816
566	91.304	98.305	103.176	110.508
568	91.097	98.029	103.228	110.127
570	90.666	97.46	103.158	110.317
572	90.408	96.942	103.452	110.439
574	89.994	96.614	103.694	110.577
576	89.771	96.649	103.815	110.733
578	89.564	96.459	103.694	110.681
580	89.306	96.545	103.867	111.131
582	88.996	96.559	103.953	111.027
584	88.686	96.649	103.781	111.338
586	88.462	97.011	104.04	111.39
588	88.152	97.149	103.85	111.477
590	87.894	97.046	104.144	111.702
592	87.498	97.391	104.524	112.204
594	87.257	97.753	104.368	112.325
596	87.291	98.098	104.628	112.55
598	87.257	98.081	104.766	112.689
600	87.481	98.444	105.025	112.81
602	87.825	98.564	105.163	113.104
604	87.722	99.03	105.25	113.104
606	87.963	98.944	105.284	113.294
608	88.307	99.1	105.302	113.277
610	89.116	99.03	105.336	113.519
612	89.065	99.324	105.596	113.831
614	89.357	99.341	105.284	114.039
616	89.495	99.376	105.561	114.108
618	89.857	99.479	105.596	114.316
620	90.132	99.721	105.768	114.61
622	90.132	99.997	105.959	114.887
624	90.391	100.291	106.045	114.766
626	90.408	100.498	106.253	114.818
628	90.804	100.498	106.529	115.112
630	90.907	100.533	106.598	115.078
632	91.269	100.567	106.771	115.182
634	91.493	100.602	107.446	115.268
636	91.734	100.619	107.117	115.459
638	92.2	100.809	107.48	115.545
640	92.544	100.913	107.757	115.632
642	92.527	101.241	107.999	115.996



644	92.958	101.293	108.172	115.909
646	93.062	101.569	108.449	116.186
648	93.268	101.552	108.57	116.377
650	93.32	102.053	108.864	116.584
652	93.234	102.329	109.02	116.844
654	93.32	102.398	109.072	116.879
656	93.044	102.865	109.227	117.069
658	93.01	102.899	109.279	116.948
660	92.786	103.228	109.227	116.965
662	92.613	103.435	109.573	116.948
664	92.407	103.46	109.487	117.173
666	92.217	103.489	109.868	117.087
668	91.976	103.477	109.712	117.052
670	91.855	103.435	110.11	117.658
672	91.7	103.262	110.144	117.156
674	91.441	103.228	110.335	117.468
676	90.976	102.917	110.369	117.295
678	90.89	102.709	110.266	117.572
680	90.597	102.45	110.387	117.589
682	90.305	102.346	110.508	117.953
684	90.201	102.018	110.542	118.022
686	90.012	101.586	110.594	117.988
688	89.581	101.362	110.785	118.092
690	89.392	101.172	110.767	118.161
692	89.151	100.688	110.612	118.039
694	88.806	100.481	110.958	118.351
696	88.393	100.136	110.958	118.334
698	88.221	99.807	110.906	118.074
700	87.928	99.445	111.061	118.126
702	87.584	99.186	111.408	117.988
704	87.343	98.875	111.044	118.299
706	87.257	98.323	111.01	117.953
708	87.343	98.219	111.217	118.178
710	87.481	97.615	111.2	117.936
712	87.636	97.304	111.2	117.884
714	87.601	97.132	111.356	118.057
716	87.911	97.149	111.304	117.554
718	88.118	96.942	111.529	117.866
720	88.393	97.184	111.442	117.745
722	88.582	97.322	111.563	117.745
724	88.565	97.425	111.581	117.762
726	88.823	97.494	110.75	117.676
728	88.944	97.684	111.858	117.97
730	89.306	97.701	111.84	117.953
732	89.581	98.029	112.308	117.97
734	89.857	98.133	111.927	118.074

736	90.149	98.271	112.013	118.039
738	90.218	98.305	112.1	117.866
740	90.494	98.392	111.944	118.074
742	90.666	98.271	111.944	117.728
744	90.873	98.737	112.204	117.918
746	91.217	98.927	112.498	118.507
748	91.562	99.03	112.567	117.953
750	91.907	99.151	112.481	118.092
752	92.165	99.341	112.481	118.317
754	92.527	99.807	112.619	118.646
756	92.769	99.825	112.637	118.438
758	93.062	100.153	112.498	118.871
760	93.251	100.464	112.256	118.854
762	93.337	100.446	112.204	119.235
764	93.493	100.74	111.996	119.339
766	93.441	100.775	111.84	119.72
768	93.475	100.775	111.633	119.599
770	93.458	100.964	111.338	119.789
772	93.441	101.517	111.217	120.084
774	93.182	101.414	110.681	119.945
776	93.251	101.828	110.404	120.153
778	92.975	102.053	110.041	120.413
780	92.751	102.45	109.764	120.742
782	92.596	102.761	109.262	120.69
784	92.458	102.986	108.812	121.089
786	92.269	103.24	108.501	121.297
788	91.89	103.273	108.224	121.349
790	91.89	103.381	107.636	121.488
792	91.648	103.429	107.29	121.626
794	91.459	103.425	106.84	121.8
796	90.925	103.383	106.702	121.973
798	90.735	103.383	106.685	122.164
800	90.58	103.176	106.823	122.164
802	90.201	103.141	106.754	122.181
804	89.805	102.796	106.875	122.528
806	89.616	102.623	107.221	122.285
808	89.461	102.485	107.186	122.025
810	89.392	101.984	107.394	121.904
812	88.944	101.845	107.411	122.008
814	88.755	101.794	107.584	121.904
816	88.359	101.206	107.636	121.574
818		101.12	107.913	121.817
820		100.705	107.93	120.673
822		100.256	108.068	120.361
824		100.136	108.311	120.413
826		99.738	108.432	119.737

828		99.652	108.553	119.512
830		99.065	108.708	119.426
832		98.806	108.795	118.992
834		98.409	108.968	118.455
836		98.426	109.003	117.988
838		97.684	109.124	117.624
840		97.304	109.175	116.896
842		97.097	109.193	116.867
844		96.804	109.279	116.759
846		96.838	109.418	116.78
848		96.735	109.314	116.701
850		96.804	109.591	116.705
852		96.908	109.712	116.686
854		97.028	109.816	116.614
856		97.201	110.179	116.571
858		97.373	110.369	116.761
860		97.77	110.3	116.613
862		97.788	110.439	116.851
864		97.96	110.75	116.877
866		98.305	110.854	116.958
868		98.444	110.992	117.079
870		98.72	111.096	117.191
872		98.979	111.217	117.087
874		99.428	111.494	117.329
876		99.548	111.477	117.312
878		100.118	111.667	117.468
880		100.481	112.065	117.243
882		101.016	112.117	117.381
884		101.31	112.533	117.364
886		101.88	112.723	117.381
888		102.122	112.931	117.589
890		102.502	113.294	117.832
892		102.865	113.156	117.797
894		103.003	113.19	118.039
896		103.366	113.069	117.953
898		103.608	112.913	118.005
900		103.47	112.913	118.109
902		103.452	112.723	118.039
904		103.314	112.36	118.126
906		103.262	112.238	118.195
908		103.003	111.91	118.265
910		102.865	111.667	118.49
912		102.847	111.338	118.525
914		102.675	110.923	118.732
916		102.485	110.542	118.923
918		102.329	110.335	119.235

920		101.828	110.144	119.391
922		101.69	109.729	119.46
924		101.293	109.262	119.841
926		100.964	109.003	120.032
928		100.602	108.587	120.431
930		100.446	108.224	120.552
932		100.118	107.619	120.829
934		99.859	107.221	121.124
936		99.756	107.238	121.21
938		99.22	106.823	121.436
940		98.823	106.737	121.696
942		98.616	106.91	121.938
944		98.409	106.91	122.025
946		97.891	107.325	122.06
948		97.563	107.498	122.406
950		97.166	107.671	122.58
952		96.977	108.224	122.302
954		96.908	108.484	122.372
956		96.856	108.778	122.094
958		97.097	108.829	122.198
960		97.235	109.141	122.32
962		97.097	109.21	122.008
964		97.322	109.314	121.8
966		97.598	109.314	121.678
968		97.822	109.452	121.418
970		97.908	109.348	121.089
972		98.288	109.608	120.864
974		98.564	109.556	120.621
976		98.91	109.868	120.205
978		99.1	110.162	119.876
980		99.428	110.11	119.529
982		99.514	110.231	119.2
984		99.997	110.335	118.68
986		100.291	110.681	118.299
988		100.775	110.664	118.039
990		101.258	110.923	117.243
992		101.621	111.39	117.035
994		101.845	111.321	116.992
996		102.571	111.615	116.805
998			111.737	116.803
1000			112.083	116.651
1002			112.204	116.728
1004			112.654	116.703
1006			112.533	116.591
1008			112.862	116.606
1010			113.104	116.629

1012			113.035	116.725
1014			113.554	116.736
1016			113.26	116.948
1018			113.173	116.914
1020			112.965	117.173
1022			112.567	117.312
1024			112.36	117.676
1026			111.996	117.762
1028			111.927	117.745
1030			111.633	117.762
1032			111.512	117.866
1034			111.096	118.005
1036			110.767	118.126
1038			110.577	118.317
1040			110.214	118.784
1042			109.833	118.94
1044			109.522	119.131
1046			109.21	119.495
1048			109.037	119.564
1050			108.535	119.963
1052			108.19	120.153
1054			107.671	120.638
1056			107.307	120.69
1058			106.737	120.95
1060			106.806	120.933
1062			106.944	120.69
1064			106.979	120.829
1066			107.169	120.95
1068			107.446	120.881
1070			107.55	121.072
1072			107.913	121.384
1074			108.259	121.418
1076			108.553	121.696
1078			108.985	121.956
1080			109.124	122.25
1082			109.608	122.753
1084			110.093	122.857
1086			110.421	123.013
1088			110.75	123.134
1090			111.235	123.273
1092			111.581	123.186
1094			111.892	123.169
1096			112.377	122.926
1098			112.74	122.788
1100			112.931	122.476
1102			113.294	122.337

1104			113.346	121.921
1106			113.433	121.817
1108			113.658	121.505
1110			113.294	121.141
1112			113.19	120.76
1114			113.087	120.431
1116			113.052	119.876
1118			112.567	119.547
1120			112.429	119.148
1122			112.152	118.854
1124			111.875	118.577
1126			111.615	117.988
1128			111.321	117.26
1130			111.096	116.705
1132			110.819	116.933
1134			110.439	116.842
1136			110.214	116.821
1138			109.868	116.79
1140			109.539	116.715
1142			109.314	116.625
1144			108.968	116.684
1146			108.674	116.896
1148			108.241	116.827
1150			107.826	117.035
1152			107.55	117.26
1154			107.307	117.676
1156			107.29	117.606
1158			107.359	117.849
1160			107.428	118.074
1162			107.601	118.49
1164			107.619	118.594
1166			107.93	118.958
1168			108.068	119.148
1170			108.466	119.374
1172			108.829	120.049
1174			109.262	119.703
1176			109.522	119.928
1178			110.266	120.5
1180			110.179	120.673
1182			110.231	120.673
1184			110.542	120.76
1186			110.681	120.725
1188			110.837	120.638
1190			110.733	120.742
1192			110.837	120.708
1194			110.958	120.76

1196			111.079	120.69
1198			111.113	120.76
1200			111.304	120.725
1202			111.321	121.193
1204			111.615	121.28
1206			112.204	121.505
1208			111.892	121.817
1210			112.083	121.973
1212			112.429	122.285
1214			112.585	122.441
1216			112.827	122.996
1218			113.069	122.736
1220			113.364	123.186
1222				123.498
1224				123.204
1226				123.134
1228				123.204
1230				122.996
1232				122.788
1234				122.632
1236				122.32
1238				122.042
1240				121.817
1242				121.453
1244				121.089
1246				120.812
1248				120.638
1250				120.292
1252				119.859
1254				119.581
1256				119.27
1258				118.958
1260				118.732
1262				118.836
1264				118.039
1266				117.572
1268				117.156
1270				116.862
1272				116.798
1274				116.55
1276				116.598

○ CONTROL ON/OFF (8psi)

**Tabla E9: Ensayos de Control a 8 psi**

LAZO CERRADO (CONTROL ON/OFF)
CON REJILLA DE VENTILACIÓN (Valv = 25%)

P = 8 psi				
Tiempo (s)	SP = 90 °C	SP = 190 °C	SP = 110 °C	SP = 120 °C
	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)
0	36.526	35.828	34.484	35.627
2	38.047	36.097	35.089	36.004
4	39.647	35.593	35.324	36.741
6	39.849	36.752	35.744	37.003
8	41.113	37.173	35.895	37.834
10	41.028	37.795	37.324	38.112
12	42.496	38.115	37.896	38.881
14	42.344	38.838	39.36	39.411
16	43.12	38.636	37.559	39.815
18	42.732	39.495	39.613	39.916
20	44.15	39.933	40.674	39.781
22	44.674	39.209	41.146	41.281
24	44.572	41.652	42.496	42.698
26	43.424	41.821	43.036	43.66
28	45.586	42.259	43.171	43.93
30	46.482	42.259	44.302	44.743
32	46.668	42.799	44.454	45.485
34	46.905	43.255	44.978	46.026
36	47.277	44.42	45.045	46.719
38	47.802	45.637	46.55	47.971
40	48.58	43.66	46.499	48.242
42	49.63	47.04	47.531	49.173
44	50.037	45.789	48.377	49.461
46	50.935	46.854	49.038	51.054
48	51.919	46.161	50.037	51.258
50	52.665	46.82	50.885	51.885
52	53.412	47.92	51.308	52.038
54	53.87	49.004	52.156	53.565
56	54.805	48.885	52.954	54.669
58	55.756	50.207	53.429	55.875
60	56.861	50.579	54.125	56.64
62	57.218	50.969	54.771	57.762
64	57.728	51.868	55.246	58.818
66	57.899	52.75	56.011	59.328
68	58.273	53.48	56.963	60.401
70	59.26	53.837	56.997	60.827
72	59.703	53.735	57.456	61.764
74	60.282	54.159	58.222	62.173
76	60.657	55.076	59.022	62.565
78	61.628	55.433	59.243	63.179
80	62.719	55.79	60.112	63.862
82	63.657	56.946	60.98	64.442
84	64.049	57.201	61.969	65.073



86	65.876	57.371	62.429	65.927
88	65.637	57.677	63.23	66.371
90	65.807	58.698	64.032	66.883
92	66.32	59.686	64.51	67.396
94	67.14	59.856	64.356	68.096
96	67.926	60.282	65.261	68.78
98	68.233	60.963	66.285	69.259
100	68.695	61.406	66.678	70.012
102	68.814	61.866	66.935	70.542
104	69.533	62.361	67.498	70.816
106	69.259	62.804	67.703	71.124
108	69.977	63.452	67.515	71.62
110	70.302	63.776	67.823	71.979
112	70.525	64.339	68.729	72.236
114	70.952	64.937	69.071	72.63
116	71.192	65.466	69.515	72.972
118	72.014	66.115	69.926	73.246
120	72.339	66.422	70.302	73.606
122	72.373	66.576	70.525	74.034
124	72.904	67.157	70.97	74.223
126	72.99	67.498	71.842	74.703
128	73.246	68.284	71.551	74.908
130	73.966	68.643	72.698	75.234
132	74.291	69.088	72.647	75.782
134	74.754	69.721	73.538	75.92
136	74.788	69.772	73.932	76.211
138	75.388	70.165	74.377	76.434
140	75.954	70.627	74.617	76.777
142	76.04	70.901	75.08	76.914
144	76.588	71.141	75.748	77.875
146	77.171	71.534	76.005	77.823
148	77.343	72.356	76.263	78.372
150	77.892	72.39	76.726	78.269
152	78.081	72.716	76.914	78.664
154	78.475	72.904	77.755	78.801
156	78.407	73.195	77.6	79.385
158	78.716	73.401	77.858	80.089
160	79.024	73.692	78.115	80.192
162	79.505	73.88	78.39	80.312
164	79.333	74.206	78.63	80.707
166	79.179	74.823	78.956	81.377
168	79.351	75.217	79.574	81.291
170	80.089	75.885	79.522	81.446
172	80.965	76.691	79.831	81.772
174	81.119	76.28	79.917	82.253
176	81.239	76.674	80.655	82.665

178	81.308	77	80.346	83.336
180	81.497	78.063	80.827	83.473
182	82.133	77.669	80.879	83.593
184	82.923	78.252	81.239	83.834
186	83.25	78.372	81.411	83.989
188	83.525	78.304	81.806	84.058
190	84.04	78.698	81.978	83.955
192	84.333	78.939	82.459	84.264
194	84.642	79.196	82.614	84.591
196	84.745	79.385	82.854	84.917
198	85.089	79.986	83.336	85.674
200	85.416	79.934	83.422	85.605
202	85.795	80.02	83.765	85.829
204	86.035	80.123	84.333	86.104
206	86.19	80.501	84.333	86.139
208	86.775	80.655	84.728	86.259
210	86.81	80.93	85.399	86.586
212	86.827	81.257	85.382	86.775
214	87.274	81.652	85.709	86.792
216	87.378	81.652	85.777	87.102
218	87.911	81.961	85.898	87.498
220	88.238	82.339	86.242	87.55
222	88.41	82.545	86.345	87.67
224	88.1	82.751	87.223	88.014
226	88.324	83.061	86.827	87.894
228	88.789	83.147	87.291	87.997
230	88.669	83.37	87.274	88.91
232	89.219	83.576	87.773	88.6
234	88.944	83.834	87.67	88.789
236	89.03	84.195	88.032	88.858
238	89.151	84.539	88.238	89.065
240	89.426	84.763	88.445	89.271
242	90.098	84.935	88.427	89.891
244	90.615	85.347	88.737	90.063
246	91.131	85.485	89.099	90.735
248	91.235	85.571	89.185	90.89
250	91.855	85.846	89.495	91.131
252	91.493	86.207	89.719	91.562
254	91.907	86.414	90.425	91.734
256	92.338	86.689	90.459	92.096
258	92.251	86.965	90.632	92.286
260	92.32	87.205	91.269	92.682
262	92.648	87.223	91.39	92.717
264	93.079	87.584	91.579	93.079
266	92.717	87.859	91.769	92.872
268	92.544	87.653	91.958	92.941

270	92.2	88.014	92.2	93.062
272	92.096	88.29	92.544	92.872
274	91.958	88.273	92.786	92.993
276	91.821	88.617	92.958	93.165
278	91.528	88.858	93.424	93.596
280	91.252	89.495	93.648	94.199
282	90.994	89.219	93.906	94.251
284	90.339	89.254	93.924	94.562
286	90.305	89.306	94.027	94.441
288	89.805	89.684	94.579	94.51
290	89.547	89.908	94.389	94.734
292	89.478	90.287	94.665	94.717
294	88.617	90.373	94.682	94.803
296	89.047	90.528	94.803	94.855
298	88.273	90.701	94.786	95.096
300	87.498	91.045	94.993	95.303
302	87.016	91.304	94.889	95.251
304	86.996	91.235	95.148	95.165
306	86.872	91.648	95.303	95.32
308	86.71	91.752	95.389	95.734
310	86.81	91.803	95.872	95.631
312	86.793	92.096	95.424	95.924
314	86.809	92.096	95.562	96.028
316	86.889	92.251	95.648	96.183
318	87.894	92.407	95.596	96.321
320	87.481	92.924	95.717	96.39
322	87.894	93.062	95.976	96.373
324	88.806	92.906	96.045	96.511
326	88.755	92.924	96.321	96.735
328	89.013	93.32	96.493	96.89
330	89.409	93.441	96.631	97.235
332	90.167	93.561	96.804	96.89
334	89.719	94.079	97.046	97.149
336	89.822	93.82	97.166	97.201
338	90.632	94.079	97.184	97.598
340	90.218	94.217	97.701	97.615
342	90.839	94.406	97.753	97.632
344	90.563	94.424	97.839	98.271
346	91.407	94.648	97.891	97.891
348	91.183	95.027	98.064	98.202
350	91.786	95.062	98.409	98.754
352	91.734	95.079	98.254	98.547
354	92.441	95.234	98.685	98.841
356	92.51	95.665	98.513	99.117
358	92.286	95.562	99.013	99.082
360	92.527	95.338	99.169	99.341

362	92.475	95.424	99.617	99.169
364	92.769	95.338	99.617	99.289
366	92.717	95.476	99.946	99.462
368	92.372	95.734	100.032	100.015
370	92.2	95.959	100.239	100.343
372	92.217	96.2	100.325	100.032
374	91.924	95.872	100.654	100.239
376	91.769	96.442	100.878	100.239
378	91.666	96.614	101.137	100.602
380	91.545	96.701	100.982	100.619
382	91.114	96.856	101.327	100.947
384	90.77	97.046	101.362	101.448
386	90.494	97.753	101.673	101.552
388	90.149	97.322	101.742	102.433
390	89.616	97.529	102.554	102.381
392	89.288	97.494	101.655	101.932
394	89.254	98.219	101.828	102.001
396	88.582	97.701	102.087	102.122
398	88.376	98.185	102.191	102.191
400	88.221	97.667	102.277	102.416
402	88.1	98.012	102.467	102.537
404	87.412	97.943	102.537	102.657
406	87.223	97.805	102.537	102.675
408	86.999	97.857	102.312	102.657
410	87.188	98.219	102.485	102.796
412	86.947	98.167	102.692	103.072
414	87.205	98.478	102.675	103.573
416	87.223	98.685	103.089	103.504
418	88.066	98.91	103.314	103.729
420	87.808	99.894	103.452	103.418
422	88.307	99.341	103.867	103.642
424	88.669	99.479	103.556	103.66
426	89.116	99.497	103.711	103.694
428	89.719	99.479	103.798	104.023
430	89.822	99.6	103.867	103.953
432	90.546	99.79	104.074	103.884
434	91.2	100.049	103.884	104.005
436	90.959	100.084	103.919	104.109
438	92.165	100.084	104.126	104.282
440	91.648	100.429	104.299	104.507
442	92.079	100.654	104.558	104.887
444	92.407	101.068	104.749	104.887
446	92.579	101.034	104.887	104.749
448	93.337	101.034	105.63	105.215
450	92.803	101.258	105.457	105.077
452	92.855	101.448	105.63	105.319

454	92.734	101.759	105.941	105.751
456	92.769	101.863	106.547	106.218
458	92.631	102.035	106.547	106.253
460	92.751	102.191	106.598	106.322
462	92.544	102.174	106.944	107.238
464	92.234	102.26	107.031	106.719
466	92.131	102.398	107.204	107.705
468	92.148	102.675	107.636	107.428
470	91.597	102.744	107.913	107.774
472	91.355	103.297	108.12	107.757
474	91.166	103.089	108.276	107.982
476	90.683	102.934	108.432	108.103
478	90.442	103.055	108.674	108.362
480	90.701	102.675	109.366	108.691
482	89.943	102.485	109.02	108.829
484	89.598	102.502	109.003	108.951
486	89.512	102.346	109.245	109.556
488	88.789	102.087	109.435	109.297
490	88.514	101.69	109.366	109.522
492	88.29	101.897	109.643	109.937
494	87.808	101.016	109.695	109.85
496	87.739	100.705	110.023	110.144
498	86.617	100.118	109.919	109.989
500	87.567	99.894	110.629	110.231
502	86.688	100.015	110.214	110.542
504	87.446	99.255	110.248	110.837
506	86.648	98.841	110.56	110.715
508	86.672	98.806	110.629	110.715
510	87.24	98.047	110.785	110.681
512	87.051	97.512	111.2	110.906
514	87.309	97.242	111.096	111.148
516	87.481	97.207	111.252	111.46
518	87.756	96.824	111.84	111.806
520	87.894	96.714	111.408	112.083
522	88.565	96.676	111.235	112.29
524	88.686	96.59	111.217	112.29
526	88.255	96.621	111.529	112.186
528	88.514	96.609	111.667	112.446
530	89.065	96.598	111.719	112.931
532	88.927	96.631	111.858	112.671
534	89.719	96.735	111.823	112.55
536	89.426	96.89	112.204	113
538	90.322	97.166	112.013	112.983
540	90.132	97.391	112.169	112.758
542	90.58	97.477	112.706	113.139
544	91.045	97.874	111.892	113.121

546	91.373	97.839	112.169	113
548	92.027	98.064	111.996	113.294
550	92.251	98.064	112.065	113.346
552	92.596	98.202	111.979	113.346
554	92.665	98.116	111.754	113.571
556	92.993	98.53	111.442	113.693
558	93.389	98.702	111.165	113.935
560	93.372	98.806	111.061	114.091
562	93.396	99.048	110.767	114.299
564	93.389	99.169	110.283	114.437
566	93.389	99.151	109.919	114.402
568	93.234	99.1	109.643	114.61
570	93.217	99.272	109.798	114.593
572	93.01	99.617	108.76	115.112
574	92.82	99.652	108.311	114.645
576	92.751	99.635	108.086	114.853
578	92.544	99.669	107.273	115.095
580	92.079	99.876	107.079	115.06
582	91.958	100.153	106.885	115.199
584	91.734	100.429	106.832	115.078
586	91.2	100.705	106.786	115.389
588	91.269	100.93	106.647	115.389
590	90.839	101.206	106.727	115.597
592	90.391	101.379	106.678	116.1
594	90.046	101.742	106.609	115.909
596	89.874	102.225	106.617	115.926
598	89.392	102.554	106.72	116.134
600	88.996	102.709	106.545	115.857
602	88.892	103.107	106.521	115.822
604	88.582	103.349	106.725	115.822
606	88.083	103.387	106.864	116.048
608	87.601	103.408	107.238	115.996
610	87.24	103.294	106.996	116.584
612	87.085	103.176	107.134	116.221
614	86.913	103.158	107.394	116.065
616	87.618	103.038	107.774	116.255
618	87.223	102.917	108.086	116.221
620	87.515	102.571	108.691	116.463
622	87.653	102.346	108.605	116.498
624	88.944	101.915	108.916	116.411
626	88.669	102.001	108.899	116.602
628	88.927	101.483	109.037	116.81
630	89.547	101.137	109.262	116.827
632	89.839	100.878	109.608	116.827
634	90.425	100.481	109.297	116.723
636	90.339	100.101	109.66	116.879

638	90.839	99.635	109.539	116.515
640	91.166	99.324	110.352	116.706
642	91.407	98.996	109.643	117.676
644	91.614	98.72	109.608	116.948
646	91.441	98.305	109.573	117.139
648	91.838	97.977	110.162	117.243
650	91.958	97.184	110.006	117.069
652	92.458	96.942	110.058	117.104
654	92.82	96.649	110.231	117.658
656	93.017	96.597	110.421	117.069
658	93.186	96.631	110.715	117.381
660	93.137	96.735	110.767	117.589
662	93.261	96.821	110.854	117.762
664	93.222	97.149	111.044	118.126
666	93.344	97.77	110.975	118.49
668	93.323	97.995	111.477	118.732
670	93.401	98.15	111.477	118.94
672	93.399	98.823	111.615	119.044
674	93.337	98.892	111.581	118.94
676	93.13	99.203	111.615	119.079
678	93.01	99.376	111.546	118.992
680	92.631	99.514	111.771	119.079
682	92.51	99.894	111.546	118.854
684	92.338	99.928	111.927	119.062
686	91.907	100.049	111.806	119.166
688	91.821	100.084	111.823	119.443
690	91.424	100.187	111.754	119.304
692	91.08	100.429	111.875	119.131
694	90.873	100.757	111.875	119.166
696	90.442	100.792	112.394	119.322
698	90.253	101.085	112.186	119.339
700	89.926	101.414	112.585	119.408
702	89.96	101.483	112.429	119.477
704	89.237	101.845	112.81	119.443
706	88.927	102.416	113.139	119.616
708	88.617	102.243	113.398	119.651
710	88.41	102.519	113.035	120.517
712	88.049	102.865	112.896	120.153
714	87.567	102.727	112.74	120.049
716	87.446	103.124	112.342	120.396
718	86.878	103.072	112.221	120.916
720	87.154	102.968	111.996	120.361
722	86.999	102.882	111.771	120.517
724	87.223	102.951	111.287	120.881
726	87.653	102.606	110.975	120.76
728	88.066	103.124	110.629	120.968

730	88.41	102.277	110.369	121.037
732	89.013	102.364	109.695	121.158
734	89.529	102.122	109.262	122.216
736	89.908	101.828	109.02	121.73
738	90.701	101.396	108.795	122.216
740	91.028	101.189	108.328	122.493
742	91.338	100.895	107.878	122.926
744	91.631	100.498	107.169	122.788
746	91.993	100.291	107.325	122.632
748	92.303	100.032	106.668	122.528
750	92.734	99.807	106.598	122.666
752	92.924	99.289	106.528	122.042
754	93.414	98.961	106.598	121.852
756	93.41	98.513	106.771	121.678
758	93.313	98.323	106.996	121.332
760	93.251	97.839	107.48	121.176
762	93.217	97.425	107.463	120.829
764	93.32	97.028	107.74	120.638
766	93.148	97.097	107.965	120.621
768	92.924	97.011	108.241	119.963
770	92.837	96.89	108.466	119.72
772	92.579	96.89	108.933	119.218
774	92.493	97.166	109.21	119.27
776	92.389	97.615	109.556	118.386
778	91.786	97.77	109.591	118.022
780	91.666	98.305	109.712	118.139
782	91.269	98.513	109.798	117.758
784	90.856	98.979	109.85	117.429
786	90.632	99.307	110.006	117.29
788	90.546	99.773	110.075	116.961
790		100.377	110.404	116.926
792		100.93	110.387	116.718
794		101.362	110.698	116.892
796		101.707	110.715	116.773
798		102.191	110.975	116.903
800		102.692	110.923	116.933
802		102.744	110.923	117.347
804		102.986	111.356	117
806		103.089	111.65	117.884
808		103.342	112.481	117.572
810		103.279	112.498	117.797
812		103.341	112.792	118.334
814		103.107	112.706	118.611
816		103.21	113.156	119.287
818		103.038	113.208	119.859
820		102.727	113.277	120.032



822		102.433	113.26	120.898
824		102.381	113.087	120.725
826		101.915	112.81	120.916
828		101.88	112.775	121.106
830		101.724	112.602	121.54
832		101.362	112.325	121.661
834		100.878	112.083	122.441
836		100.585	111.685	122.164
838		100.464	111.39	122.458
840		100.17	111.39	122.874
842		99.687	110.906	122.892
844		99.272	110.542	122.874
846		99.583	110.196	123.082
848		98.772	109.764	123.29
850		98.271	109.556	122.476
852		97.977	108.899	122.424
854		97.632	108.605	122.562
856		97.097	108.293	121.973
858		97.27	107.809	121.522
860		96.959	107.342	121.21
862		96.994	106.84	121.574
864		97.184	106.747	120.69
866		97.443	106.743	120.153
868		97.632	106.604	119.876
870		97.977	106.656	119.477
872		98.495	106.556	119.235
874		98.754	106.581	118.802
876		99.307	106.84	118.282
878		99.911	107.152	118.282
880		100.084	107.29	117.762
882		100.481	107.895	117.862
884		101.068	107.636	117.377
886		100.602	107.982	116.827
888		100.947	108.414	116.718
890		101.137	109.003	116.805
892		101.327	109.348	116.857
894		101.396	109.625	117.013
896		101.69	110.352	117.134
898		101.863	110.542	117.463
900		101.984	110.871	117.688
902		102.623	111.408	117.706
904		102.467	111.442	118.073
906		102.778	111.927	117.914
908		102.847	111.944	118.195
910		102.83	112.273	118.213
912		102.917	112.412	118.542

914		102.813	112.637	118.715
916		102.83	112.55	118.767
918		102.675	113.156	119.27
920		102.45	112.948	119.148
922		102.416	112.948	119.322
924		102.398	113.242	119.859
926		102.174	112.689	119.616
928		101.828	112.567	119.876
930		101.552	112.377	120.673
932		101.189	112.204	120.067
934		101.103	111.806	120.24
936		100.654	111.633	120.257
938		100.585	111.408	120.413
940		100.325	111.183	120.327
942			111.165	120.777
944			110.508	120.327
946			110.594	120.275
948			109.954	120.413
950			109.487	120.864
952			109.262	120.76
954			108.916	121.141
956			108.622	120.916
958			108.293	121.349
960			107.982	121.314
962			107.567	121.713
964			107.169	121.644
966			106.892	121.782
968			106.771	121.956
970			106.547	121.921
972			106.477	122.216
974			106.702	122.51
976			106.668	122.58
978			106.927	122.805
980			107.169	122.51
982			107.342	122.493
984			107.774	122.684
986			107.861	122.458
988			108.086	122.51
990			108.657	122.493
992			108.553	121.886
994			108.812	121.782
996			109.573	121.349
998			109.383	121.158
1000			109.85	120.812
1002			110.093	120.586
1004			110.196	120.292

1006			110.144	119.841
1008			110.387	119.668
1010			110.456	119.374
1012			110.802	119.408
1014			111.165	118.958
1016				117.849
1018				117.572
1020				117.156
1022				116.706
1024				116.81
1026				116.533
1028				116.671
1030				116.983
1032				117.243
1034				117.312
1036				117.745
1038				118.473
1040				118.265
1042				118.559
1044				118.75
1046				118.975
1048				119.564
1050				119.98
1052				120.309
1054				120.638
1056				120.985
1058				120.985
1060				121.245
1062				121.072
1064				121.228
1066				121.21
1068				121.505
1070				121.834
1072				122.372
1074				122.406
1076				122.458
1078				122.788
1080				122.632
1082				122.909
1084				122.961
1086				122.909
1088				123.169
1090				122.926
1092				122.736
1094				122.788
1096				122.337

1098				122.129
1100				121.904
1102				121.938
1104				121.436
1106				121.488
1108				120.829
1110				120.327
1112				119.963
1114				119.668
1116				119.98
1118				119.062
1120				118.68
1122				118.386
1124				117.901
1126				117.668
1128				117.835
1130				117.706
1132				117.342
1134				117.325
1136				116.879
1138				116.763
1140				116.81
1142				117.018
1144				117.295
1146				117.381
1148				117.572
1150				118.022
1152				117.884
1154				118.213
1156				118.421
1158				118.854
1160				118.819
1162				118.975
1164				119.166
1166				119.304
1168				119.616
1170				120.119
1172				120.309
1174				120.431
1176				120.725
1178				120.985
1180				121.28
1182				121.47
1184				121.834
1186				121.938
1188				122.077

1190				122.545
1192				122.805
1194				123.082
1196				123.134
1198				123.306
1200				123.186
1202				122.978
1204				122.822
1206				122.701
1208				122.58
1210				122.372
1212				122.164
1214				122.302

○ CONTROL ON/OFF (9psi)

**Tabla E10: Ensayos de Control a 9 psi**

LAZO CERRADO (CONTROL ON/OFF)				
CON REJILLA DE VENTILACIÓN (Valv = 25%)				
P = 9 psi				
Tiempo (s)	SP = 90 °C	SP = 190 °C	SP = 110 °C	SP = 120 °C
	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)
0	36.534	36.937	37.408	37.055
2	37.122	36.416	38.333	37.358
4	36.971	36.483	37.845	39.108
6	37.98	36.87	37.761	39.495
8	37.66	37.341	37.997	37.845
10	39.394	38.182	40.034	39.141
12	38.232	38.401	40.472	39.748
14	40.641	38.081	42.614	41.635
16	41.231	41.618	41.399	42.192
18	41.399	40.169	41.635	42.985
20	41.804	41.248	43.238	43.863
22	42.462	42.428	44.268	44.792
24	43.491	43.086	45.502	46.178
26	44.234	44.353	46.347	46.854
28	45.333	44.505	46.212	47.176
30	46.042	44.826	47.463	48.208
32	46.584	45.265	47.903	48.8
34	47.616	46.516	49.173	49.749
36	48.123	47.328	49.326	50.19
38	48.953	46.939	50.19	50.834
40	49.241	48.174	51.173	51.648
42	50.054	48.716	51.698	52.173
44	51.648	49.597	52.275	53.124
46	51.953	50.308	52.971	53.684

48	53.616	51.648	53.786	55.11
50	54.244	52.021	54.159	55.62
52	55.433	52.122	55.484	56.538
54	56.283	53.361	56.487	57.388
56	56.64	53.752	56.912	58.069
58	57.116	53.803	58.188	58.715
60	58.171	54.906	58.63	59.413
62	58.903	55.008	58.988	59.992
64	59.567	55.382	59.55	60.759
66	60.129	55.909	59.958	61.321
68	60.452	56.963	60.605	62.003
70	61.27	57.286	61.611	62.599
72	61.918	57.814	61.952	63.111
74	62.48	58.273	62.361	63.657
76	63.213	59.141	63.077	64.203
78	63.674	59.686	63.606	64.92
80	64.186	60.401	63.998	65.517
82	64.612	61.151	64.578	65.841
84	65.261	61.832	65.688	66.781
86	65.876	62.702	66.285	67.242
88	66.559	63.145	66.747	67.857
90	67.157	63.93	67.481	68.592
92	67.908	64.459	68.49	69.191
94	68.284	65.073	69.105	69.977
96	69.071	65.705	70.354	70.268
98	69.362	66.046	70.285	70.456
100	69.721	66.61	71.175	71.141
102	70.217	67.14	71.791	71.637
104	71.055	67.481	72.373	72.014
106	70.97	68.011	73.024	72.561
108	71.346	68.336	73.127	72.921
110	71.911	69.02	73.538	73.264
112	72.527	69.259	73.863	73.914
114	73.195	69.635	74.223	74.737
116	73.435	69.943	74.72	74.925
118	73.829	70.371	75.165	75.491
120	74.171	70.644	75.628	75.851
122	74.651	71.072	76.177	76.537
124	75.165	71.278	76.76	77.017
126	75.68	71.688	77.274	77.257
128	75.988	71.928	77.72	77.703
130	76.4	72.356	78.355	78.063
132	76.743	72.938	78.51	78.372
134	77.12	73.486	78.784	78.716
136	77.566	73.863	79.162	79.179
138	77.806	74.497	79.728	79.625

140	78.149	75.011	79.9	80.278
142	78.287	75.68	80.329	80.57
144	78.75	75.988	80.552	81.136
146	79.282	76.434	80.69	81.823
148	79.814	77.103	80.999	82.098
150	80.329	77.429	81.136	82.511
152	80.398	77.875	81.411	83.095
154	80.69	78.372	81.703	83.525
156	81.239	78.733	82.15	83.783
158	81.531	79.368	82.751	84.298
160	81.841	79.883	83.078	84.935
162	82.494	79.969	83.198	85.537
164	82.408	80.604	83.456	85.64
166	82.734	80.844	83.955	86.397
168	83.542	81.05	84.04	86.328
170	83.679	81.325	84.23	86.672
172	83.8	81.48	84.625	87.119
174	84.23	81.634	85.279	87.257
176	84.573	82.03	85.795	87.309
178	84.935	82.03	86.379	87.825
180	85.193	82.064	86.586	88.307
182	85.623	82.425	86.878	88.582
184	85.657	82.597	87.291	88.944
186	86.207	82.82	87.791	89.271
188	86.517	83.112	87.756	89.771
190	86.638	83.439	88.238	90.132
192	87.274	83.473	88.204	90.322
194	87.309	83.611	88.359	90.735
196	87.67	83.765	88.496	91.097
198	87.98	83.955	88.772	91.441
200	88.135	83.955	89.065	91.717
202	88.755	84.35	89.185	91.924
204	89.047	84.505	89.495	92.269
206	89.357	84.487	89.822	92.51
208	89.65	84.694	90.236	92.717
210	90.029	85.21	90.391	92.786
212	90.184	85.382	90.615	92.958
214	90.58	85.537	91.045	93.182
216	90.735	85.674	91.286	93.32
218	91.045	86.173	91.993	93.493
220	91.321	86.483	92.079	93.648
222	91.407	86.878	92.303	93.699
224	91.648	87.119	92.389	94.079
226	91.769	87.171	92.751	94.355
228	91.89	87.55	92.855	94.699
230	92.286	87.687	92.872	94.975

232	92.096	87.705	93.337	94.889
234	92.613	88.066	93.441	95.355
236	92.527	87.894	93.493	95.372
238	92.734	88.548	93.648	95.786
240	92.803	88.548	93.837	95.872
242	93.113	88.686	93.941	95.924
244	93.148	88.892	94.406	96.252
246	93.079	89.254	94.544	96.476
248	92.82	89.684	94.475	96.459
250	92.665	89.839	94.751	96.942
252	92.458	90.029	94.803	97.115
254	92.303	90.012	94.906	97.443
256	92.027	90.597	95.182	97.373
258	91.838	90.528	95.389	97.753
260	91.752	90.683	95.51	97.788
262	91.321	90.666	95.648	97.874
264	91.045	90.873	95.907	97.891
266	90.442	90.942	96.856	98.392
268	90.236	91.493	96.217	98.375
270	89.943	91.476	96.424	98.409
272	89.598	91.7	96.562	98.461
274	89.047	91.924	96.873	98.772
276	88.892	92.114	97.253	99.22
278	88.341	92.096	97.201	99.324
280	88.049	92.613	97.736	99.289
282	87.618	93.113	97.977	99.652
284	87.67	93.217	98.133	99.583
286	86.999	93.406	98.426	99.859
288	86.758	93.613	98.444	99.635
290	87.085	93.699	98.72	99.997
292	87.016	93.958	98.858	100.205
294	87.205	94.217	99.497	100.395
296	87.223	94.148	99.497	100.844
298	87.808	94.199	99.497	101.534
300	87.705	94.613	99.773	101.776
302	87.98	94.51	100.36	102.105
304	88.186	94.355	100.809	102.208
306	88.565	94.941	100.895	102.571
308	88.755	95.113	100.775	102.727
310	88.996	95.182	100.775	102.968
312	89.306	95.148	101.051	103.089
314	89.771	95.234	101.137	103.158
316	89.943	95.596	101.414	103.21
318	90.494	95.907	101.569	103.297
320	90.666	96.097	102.07	103.349
322	90.856	96.079	101.966	103.711



324	91.062	96.39	102.07	103.642
326	91.252	96.614	102.07	103.798
328	91.545	96.562	102.018	103.608
330	91.683	96.718	102.07	103.59
332	91.855	97.201	102.467	103.746
334	92.2	97.132	102.882	103.919
336	92.941	97.477	102.502	104.334
338	92.786	97.667	102.761	104.334
340	92.993	97.753	102.917	104.472
342	93.079	97.839	103.072	104.645
344	93.113	98.064	103.245	104.541
346	93.182	98.133	103.573	104.628
348	93.113	98.392	103.452	104.921
350	92.82	98.599	103.711	104.939
352	92.872	98.72	103.729	104.731
354	93.096	99.151	103.988	104.835
356	92.51	99.203	104.265	105.181
358	92.7	99.428	104.178	105.336
360	92.079	99.514	104.299	105.578
362	91.993	99.928	104.126	105.838
364	91.7	100.36	105.008	106.132
366	91.39	100.239	104.403	106.218
368	91.045	100.585	104.697	106.322
370	90.701	100.688	105.129	106.443
372	90.442	101.344	105.094	106.581
374	90.046	101.154	105.302	106.806
376	89.753	101.569	105.976	106.961
378	89.409	101.362	106.132	107.134
380	89.374	101.258	106.408	107.498
382	88.823	101.431	107.273	107.567
384	88.565	101.811	106.754	107.601
386	88.135	101.811	107.048	107.463
388	87.825	101.966	107.065	107.515
390	87.378	102.45	107.117	107.619
392	86.982	102.502	107.083	107.74
394	87.119	102.467	107.428	107.636
396	86.878	102.588	107.792	107.584
398	87.016	102.623	107.688	107.567
400	87.154	102.623	107.895	107.861
402	87.429	102.623	107.982	108.172
404	87.945	102.778	108.259	108.432
406	88.669	102.433	108.466	108.501
408	89.185	102.174	108.12	108.691
410	89.323	101.811	108.605	108.951
412	90.081	101.759	108.743	109.4
414	90.459	101.707	108.933	109.435

416	90.701	100.982	109.245	109.764
418	91.355	100.429	109.452	109.85
420	91.838	100.274	109.781	110.11
422	91.976	100.015	109.781	110.006
424	92.682	99.617	109.816	110.006
426	92.579	99.341	110.041	110.664
428	92.803	98.789	109.729	110.369
430	92.872	98.375	110.023	110.819
432	92.872	98.012	110.231	110.542
434	92.906	97.149	110.473	110.525
436	92.924	96.856	110.854	110.733
438	92.613	96.476	111.096	110.698
440	92.665	96.286	111.217	110.542
442	92.407	96.442	111.39	110.698
444	92.2	96.355	111.702	110.698
446	92.096	96.459	111.892	110.958
448	92.183	96.562	112.135	110.906
450	91.752	96.476	112.117	111.373
452	91.286	96.787	112.256	111.356
454	90.959	97.391	112.377	111.442
456	90.752	97.408	112.273	111.702
458	90.305	97.805	112.221	111.927
460	90.098	98.219	112.256	112.394
462	90.063	98.34	112.585	112.602
464	89.581	98.806	112.637	112.706
466	89.168	98.737	112.342	113.26
468	89.099	99.117	112.74	113.242
470	88.496	98.996	112.083	113.537
472	88.014	98.979	111.823	113.814
474	87.687	99.289	111.788	114.004
476	87.55	99.514	111.598	113.935
478	87.24	100.049	111.027	113.883
480	87.309	100.101	111.165	113.9
482	86.913	100.136	110.681	113.97
484	87.188	100.757	111.027	114.056
486	87.378	101.189	110.266	114.177
488	87.67	101.344	109.798	114.143
490	88.1	101.517	109.279	114.42
492	88.221	101.724	109.141	114.368
494	88.496	102.087	108.76	114.576
496	88.961	102.26	108.19	114.974
498	89.219	102.485	107.55	114.853
500	89.547	102.433	107.273	114.939
502	90.046	102.882	106.754	115.06
504	90.046	102.934	106.564	115.286
506	90.89	102.986	106.547	115.372

508	90.994	102.951	106.46	115.251
510	91.304	103.003	106.771	115.372
512	91.597	103.003	106.547	115.753
514	92.062	103.089	106.927	115.667
516	92.251	102.865	107.428	115.961
518	92.751	102.692	107.55	115.944
520	92.889	102.398	107.705	115.996
522	92.665	102.295	107.895	116.03
524	92.941	101.915	107.878	116.186
526	93.096	101.621	108.19	116.117
528	93.682	101.241	108.518	116.584
530	93.768	101.051	108.484	116.221
532	93.717	100.654	108.691	116.602
534	93.613	100.636	108.916	117.104
536	93.01	99.825	108.899	116.914
538	92.734	99.479	109.297	117.139
540	92.613	99.583	109.366	117.156
542	92.355	98.875	109.868	117.399
544	92.303	98.513	110.023	117.728
546	92.131	98.167	109.937	117.728
548	91.924	97.373	110.317	117.572
550	91.631	97.149	110.11	117.745
552	91.321	96.752	110.352	118.092
554	91.114	96.735	110.162	117.814
556	90.925	96.873	110.335	117.797
558	90.494	97.046	110.629	117.936
560	90.391	97.184	110.456	117.728
562	89.943	97.322	110.542	117.988
564	89.478	97.943	110.819	118.178
566	89.237	98.305	110.958	118.178
568	88.944	98.823	111.356	118.351
570	88.737	99.1	111.494	118.577
572	88.427	99.704	111.875	118.923
574	88.169	100.274	112.221	118.802
576	87.67	100.705	112.394	118.923
578	87.515	101.085	112.862	119.062
580	87.446	101.483	113.052	119.183
582	87.36	101.897	113.416	119.322
584	87.446	102.105	113.623	119.408
586	87.894	102.744	113.744	119.581
588	88.186	102.847	113.623	119.859
590	88.462	103.21	113.744	120.257
592	89.03	103.279	113.433	120.413
594	89.461	103.418	113.156	120.621
596	90.029	103.193	113.052	120.552
598	90.081	103.038	112.619	120.933

600	90.494	103.314	112.429	120.829
602	90.907	102.657	112.238	121.02
604	91.183	102.727	111.84	121.158
606	91.51	102.433	111.892	121.384
608	92.01	102.191	111.165	121.626
610	92.027	101.897	110.715	121.436
612	92.148	101.569	110.767	121.8
614	92.562	101.172	110.439	122.008
616	92.631	101.103	109.902	122.233
618	92.906	100.55	109.158	122.164
620	93.406	100.308	108.743	122.666
622	93.458	99.756	108.587	122.545
624	93.544	99.41	108.017	122.389
626	93.699	99.065	107.377	122.58
628	93.596	99.22	107.221	122.58
630	93.665	98.478	106.771	122.25
632	93.699	98.133	106.408	122.25
634	93.355	97.667	106.443	122.025
636	93.062	97.304	106.495	121.817
638	93.027	96.838	106.235	121.453
640	93.01	96.649	106.547	121.21
642	92.682	96.787	106.771	120.898
644	92.751	96.994	107.048	120.812
646	92.2	96.959	107.48	119.928
648	92.045	97.408	107.619	119.634
650	91.734	97.736	108.259	119.252
652	92.027	98.236	108.553	118.698
654	91.51	98.582	109.054	118.039
656	90.925	98.858	109.539	117.728
658	90.701	98.944	109.989	117.225
660	90.477	99.255	110.3	116.983
662	89.977	99.617	110.785	116.567
664	89.874	99.997	111.2	116.602
666	89.306	100.412	111.529	116.948
668	89.065	100.36	111.494	116.879
670	88.944	100.895	111.702	117.052
672	88.445	100.947	112.048	117.243
674	88.169	101.327	112.048	117.26
676	87.945	101.776	112.135	117.468
678	87.515	102.018	112.481	117.71
680	87.636	102.295	112.013	118.317
682	87.378	102.727	112.083	118.49
684	87.808	102.26	111.996	119.495
686	87.894	102.709	111.806	119.46
688	88.083	102.847	111.858	119.824
690	88.617	102.917	112.135	120.205

692	89.271	102.899	112.065	120.569
694	89.633	102.951	112.273	121.106
696	90.132	102.571	112.325	121.592
698	90.89	102.467	112.256	121.817
700	91.39	102.485	112.446	122.094
702	91.941	102.329	112.377	122.233
704	92.389	102.018	112.481	122.58
706		101.707	112.758	122.597
708		101.604	112.533	122.632
710		101.241	112.74	122.632
712		100.964	112.758	122.961
714		100.567	113.017	122.302
716		100.343	112.965	122.181
718		100.032	112.896	122.25
720		99.687	112.775	121.678
722		99.341	112.792	121.384
724		99.048	112.81	121.02
726		98.616	112.377	120.673
728		98.357	112.221	120.292
730		97.719	111.858	119.911
732		97.477	111.442	119.443
734		97.097	111.252	119.166
736		97.339	111.079	118.68
738		97.08	110.698	118.334
740		97.149	110.248	117.866
742		97.598	110.023	117.277
744		97.96	109.712	116.879
746		98.219	109.452	116.602
748		98.806	108.951	116.29
750		99.134	108.432	116.255
752		99.773	108.103	116.446
754		100.377	107.636	116.481
756		100.515	107.48	116.706
758		101.172	106.789	116.74
760		101.517	106.719	116.948
762		102.243	106.719	117.208
764		102.571	106.892	117.589
766		102.968	107.117	117.814
768		103.193	107.273	118.161
770		103.452	107.48	118.611
772		103.418	108.155	118.836
774		103.642	108.345	119.581
776		103.4	108.847	119.859
778		103.297	109.383	120.396
780		103.072	109.452	120.742
782		103.124	109.989	121.089

784		103.038	110.179	121.574
786		102.692	110.646	121.921
788		102.208	110.837	122.181
790		101.794	111.252	122.545
792		101.586	111.65	122.424
794		101.344	112.567	122.649
796		101.293	112.204	122.597
798		101.275	112.602	122.736
800		100.792	113.035	122.874
802		100.429	113.364	122.666
804		100.084	113.294	122.528
806		99.807	113.346	122.337
808		99.445	113.416	122.181
810		99.013	113.277	121.956
812		98.72	112.965	121.366
814		98.305	113	121.401
816		97.874	112.585	120.76
818		97.322	112.446	120.881
820		96.942	112.135	120.24
822		96.752	111.944	119.685
824		97.046	111.563	119.356
826		96.908	111.442	118.854
828		97.166	110.733	118.49
830		96.994	110.594	117.97
832		97.132	110.023	117.433
834		97.581	109.573	116.948
836		98.288	109.383	116.844
838		98.478	109.539	116.463
840		98.841	108.708	116.325
842		99.151	108.12	116.879
844		99.669	107.93	116.602
846		100.066	107.325	117.035
848		100.464	107.134	117.295
850		100.913	106.996	117.589
852		101.085	107.134	117.693
854		101.604	107.1	118.039
856		101.811	107.342	118.577
858		102.035	107.74	118.594
860		102.433	108.207	118.888
862		102.588	108.587	119.46
864			109.141	119.72
866			109.487	119.997
868			110.179	120.257
870			110.473	120.465
872			110.992	120.794
874			111.425	120.933

876			112.308	121.47
878			112.602	121.366
880			113.104	121.505
882			113.658	121.644
884			113.918	121.609
886			113.935	121.973
888			114.056	122.146
890			114.022	122.424
892			113.623	122.493
894			113.502	122.562
896			113.433	122.528
898			113.71	122.666
900			112.844	122.718
902			112.481	122.822
904			112.273	122.666
906			112.152	122.996
908			111.719	122.788
910			111.477	122.476
912			111.096	122.302
914			110.819	122.008
916			110.577	121.886
918			110.283	121.54
920			109.816	121.332
922			109.66	120.933
924			109.366	120.76
926			109.037	120.171
928			108.518	119.841
930			108.12	119.426
932			107.792	118.958
934				118.577
936				118.23
938				117.676
940				117.208
942				116.879
944				116.74
946				116.619
948				116.706
950				116.827
952				117.121
954				117.156
956				117.762
958				118.161
960				118.317
962				118.68
964				119.166
966				119.408

968				119.841
970				120.309
972				120.708
974				121.072
976				121.349
978				122.042
980				122.042
982				122.372
984				122.58
986				122.354
988				122.978
990				122.805
992				122.788
994				122.753
996				122.528
998				122.337
1000				122.268
1002				122.06
1004				121.817
1006				121.522
1008				121.262
1010				120.95
1012				120.552
1014				120.413
1016				119.945
1018				119.477
1020				119.356
1022				118.992
1024				118.507
1026				118.161
1028				117.676
1030				117.347
1032				117.087
1034				116.879
1036				116.931
1038				116.723
1040				117.191
1042				117.658
1044				117.988
1046				118.178
1048				118.836
1050				118.906
1052				119.495
1054				120.015
1056				120.517
1058				120.985



1060				121.262
1062				122.094
1064				122.112
1066				122.649
1068				122.632
1070				122.874
1072				123.238
1074				123.516
1076				123.1
1078				123.013
1080				122.788
1082				122.562
1084				122.424
1086				122.198
1088				121.852
1090				121.713

## ANEXO F: CÓDIGOS DESARROLLADOS

- CÓDIGO MATLAB PARA ADQUIRIR DATOS EN TIEMPO REAL

```
% Adquisición de Datos
clc
clear all
close all
Ndatos = 3;

%Adquisición de Datos Arduino Puerto Serial

%Definir Puerto
puerto = 'COM3';
%Borrar datos almacenados previamente
delete(instrfind({'port'},{puerto}));
%Abrir Puerto Serial y Velocidad Tx
PSerial = serial(puerto, 'BaudRate', 9600);
fopen(PSerial);
pause(0.5);
%Bucle
disp('Inicio');
FlagFin = 0;
fila = 1; columna = 1;
Datos = [];
while FlagFin == 0
    [Aux,FData] = ValidarDato(PSerial);
    switch FData
        case 0
            disp('Vacío');
        case 1
            Datos(fila,columna) = Aux;
            Datos(:,columna)
            [fila,columna] = Posicion(fila,columna,Ndatos);
    end
end
```

```

    case 5
        FlagFin = 1;
    end
    pause(0.1);
end
fclose(PSerial);
delete(PSerial);

disp('Fin Lectura');
Info = Datos';
Archivo = 'Resultados.xlsx';
Hoja = 'V5';
Posicion = 'K10';

xlswrite(Archivo,Info,Hoja,Posicion);
disp('Fin');

```

- CÓDIGO PRINCIPAL (HORNO DE SECADO)

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);//0x27,16x2

volatile unsigned int Tiempo = 0, ContSeg = 0, ContMuestreo = 0, ContLCD = 0, ContHum = 0;
volatile byte FlagMin = 0, FlagSeg = 0, FlagMuestreo = 0, FlagLCD = 0, FlagHum = 0, FlagInicio = 0;
volatile unsigned int Ciclos = 0;
volatile byte NuevaCaptura = 0;

const int Tmuestreo = 2, tLCD = 4, Thum = 20;

typedef struct Inicio{
    int T, H, M;
};

//----- INICIO DEL PROGRAMA -----
void setup() {
    analogReference(EXTERNAL);
    EntradasSalidas();
    ApagarTodo();
    lcd.init(); lcd.backlight(); lcd.clear(); //Configuracion LCD
    delay(500);//Para LCD y Referencia Analógica
    Serial.begin(9600);
    int a,b;
    for(a=0,b=0;a<8;b=analogRead(A0),a++,delay(5)); //Primeras Lecturas Erroneas
    delay(100);
}

//----- CONFIGURACIONES INICIALES -----
void TIMER2CTC(){
    //Interrupción Cada 8ms
    unsigned long Fclk = 16000000;
    float T = 8.0/1000.0;//ms
    unsigned int OC = (Fclk*T/1024)-1;// OC = 124;
    TCCR2A = (TCCR2A & B11111100)|B00000010;
    TCCR2B = (TCCR2B & B11110000)|B00000111;
    TCNT1 = 1; OCR2A = OC;
    TIMSK2 |= (1 << OCIE2A); // Habilitar interrupcion CUENTA
}

ISR(TIMER2_COMPA_vect){
    Tiempo += 8; // Se Incrementa 8ms
    if (Tiempo == 1000){

```

```

    Tiempo = 0; FlagSeg = 1;
    FlagMin = ContSeg == 59; ContSeg = (FlagMin == 0) ? (ContSeg + 1) : 0;
    FlagMuestreo = ContMuestreo == (Tmuestreo - 1); ContMuestreo = (FlagMuestreo == 0) ? (ContMuestreo
+ 1) : 0;
    FlagLCD = ContLCD == (tLCD - 1); ContLCD = (FlagLCD == 0) ? (ContLCD + 1) : 0;
    FlagHum = ContHum == (Thum - 1); ContHum = (FlagHum == 0) ? (ContHum + 1) : 0;
}
}

unsigned int TIMER1PWM_CAPTURA(){
    unsigned long Fclk = 16000000;
    unsigned long Fpwm = 10000;
    unsigned long TOP = (Fclk/Fpwm) - 1; //Debe ser menor a 65 535 y Entero
    unsigned int MaxVal = (unsigned int) TOP; // Es 1599

    TCCR1B = (TCCR1A & B10100000); //Borro Registros A modificar
    TCCR1B |= (0 << CS12)|(0 << CS11)|(1 << CS10); // N = 1
    TCCR1B |= (1 << WGM13)|(1 << WGM12); //Fast PWM, Top = OCR1A
    //ICES1: Toma Valor = 0, se detecta flanco de bajada para Humedad
    TCCR1A = (TCCR1A & B11001100); //Borro Registros A modificar
    TCCR1A |= (1 << WGM11)|(1 << WGM10); //Fast PWM, Top = OCR1A
    TCCR1A |= (1 << COM1B1)|(0 << COM1B0); //PWM non-inverting

    OCR1A = MaxVal; //TOP = OCR1A = 1599
    OCR1B = 0;
    delay(10);

    return MaxVal;
}

void HabilitarCaptura(byte en){
    if (en == 0){
        TIMSK1 = (TIMSK1 & B11011111); //ICIE1 = 0, captura deshabilitada
    }else{
        TIMSK1 |= (1 << ICIE1); //ICIE1 = 1, captura habilitada
    }
}

ISR(TIMER1_CAPT_vect){
    Ciclos = ICR1;
    NuevaCaptura = 15;
}

//----- PROGRAMA PRINCIPAL -----
void loop() {
    HabilitarCaptura(0); //Deshabilito Inicialmente Medicion de Humedad
    unsigned int TopPWM = TIMER1PWM_CAPTURA(); // Es 1599
    int Contador = 0;
    byte FlagOut = 0, comenzar = 0, Lazo = 0;
    float Arreglo[3] = {0.0,0.0,0.0};
    byte k = 0;
    Inicio Info;
    lcd.clear(); lcd.setCursor(5,1); lcd.print("INICIO");

    Interfaz(&Info);
    int Horas = Info.H, Minutos = Info.M;
    float SetPoint = Info.T, HistP = 2.5, HistN = 2.5, PorcOn = 25.0;
    float valvula = EncendidolInicial(PorcOn); //Ingresar %Inicial
    float AuxValv = valvula;
    float ArregloFlama[2] = {0.0,0.0};
    ArregloFlama[0] = 0;
    byte alu = 6;
    TIMER2CTC(); //Interrupcion de Muestreo
    lcd.init(); lcd.backlight(); lcd.clear(); delay(100);

    do{

```

```

if (FlagSeg){
  if(FlagMuestreo){
    ArregloFlama[1] = MedirFlamaADC();
    alu = (ArregloFlama[1] > ArregloFlama[0]) ? 6 : alu - 1;
    alu = (ArregloFlama[1] > 2.98) ? 6 : alu;
    if (alu == 0){
      ApagarTodo(); //Apago sistema si no se detecta flama
    }
    ArregloFlama[0] = ArregloFlama[1];
  }
  Arreglo[1] = valvula;
  Arreglo[2] = MedirTemperatura();
  for(k = 0; k < 3; Serial.println(Arreglo[k],3), delay(20), k++);
  if (FlagInicio == 0){
    FlagInicio = (Arreglo[2] >= (SetPoint + HistP)) ? 1 : 0;
    if (FlagInicio){
      valvula = ControladorOnOff(1,AuxValv);
      ContSeg = 0; Lazo = 0;
    }
  }
  else{
    if (Lazo == 0){
      if (Arreglo[2] <= (SetPoint - HistN)){
        valvula = ControladorOnOff(Lazo,AuxValv); Lazo = 1;
      }
    }
    else{
      if (Arreglo[2] >= (SetPoint + HistP)){
        valvula = ControladorOnOff(Lazo,AuxValv); Lazo = 0;
      }
    }
  }
  if (FlagMin){
    ActualizarTiempo(&Horas,&Minutos,&FlagOut);
  }
}
}
if (FlagLCD){
  lcd.clear();delay(25);
  lcd.setCursor(7,0);lcd.print("MUESTREO");
  lcd.setCursor(0,1);lcd.print("Temperatura:"); lcd.setCursor(14,1);lcd.print(Arreglo[2]);
  lcd.setCursor(0,2);lcd.print("Flama: ");lcd.setCursor(8,2);lcd.print(Arreglo[0]);
}
FlagSeg = 0;
}

}while(FlagOut == 0);
ApagarTodo();
}

//----- FUNCIONES UTILIZADAS -----
void EntradasSalidas(){
  pinMode(4,INPUT);//Pulsador Aumentar - NO
  pinMode(5,INPUT);//Pulsador Disminuir - NO
  pinMode(6,INPUT);//Pulsador Avance - NC
  pinMode(7,INPUT);//Pulsador Retroceso - NC

  pinMode(A0,INPUT);// Lectura Temperatura
  pinMode(A2,OUTPUT);//Lectura Flama
  pinMode(8,INPUT);//Lectura Humedad

  pinMode(A3,OUTPUT);//Salida LED
  pinMode(10,OUTPUT);//Salida PWM
  pinMode(11,OUTPUT);//Salida Encendedor
  pinMode(12,OUTPUT);//Salida Valvula y Ventilador
}

void ApagarTodo(){
  digitalWrite(10,LOW);//Apaga Válvula Proporcional
  digitalWrite(A3,HIGH);
}

```

```

digitalWrite(11,HIGH);digitalWrite(12,HIGH);
OCR1B = 0;
}

float MedirTemperatura(){
byte i;
float Sum, V;
float Vref = 5.103;//5.1035 inicio
for(i=0, Sum = 0; i<8; i++, Sum += analogRead(A0), delay(4));
Sum /= 8.0;
V = Sum*Vref/1023.0;

float R = 0.0;
R = 98.5473 + V*10.839 + V*V*(-0.0805) + V*V*V*0.0079;
float T = 0.0;
T = -161.6379 + 0.4846*R + 0.0148*R*R -(0.3414*R*R/10000.0)*R;

return T;
}

float MedirHumedad(){
unsigned int MaxCiclos = 1599;//Limite de cuenta en OCR1A
unsigned int Capturas[8], CiclosReal[7], a, b;
byte i = 0;
HabilitarCaptura(10);//Inicio Mediciones
do{
if (NuevaCaptura != 0){
Capturas[i] = Ciclos;
NuevaCaptura = 0; i++;
}
}while(i < 8);
HabilitarCaptura(0);//Detengo Mediciones
for (i = 0; i < 7; i++){
a = Capturas[i]; b = Capturas[i + 1];
CiclosReal[i]= (b > a) ? (MaxCiclos + b - a):(MaxCiclos + (MaxCiclos - a) + b) ;
}
float CiclosProm = (CiclosReal[0] + CiclosReal[1] + CiclosReal[2] + CiclosReal[3] + CiclosReal[4] +
CiclosReal[5] + CiclosReal[6] )/7.0;
float z = 0.0, HumC = 0.0;

z = CiclosProm/16.0;
HumC = (3.7077*z*z*z/1000.0) - (195.0364*z*z/100.0) + (343.5465*z) - 20178.32;

return HumC;
}

float MedirFlamaADC(){
byte i;
float Sum, V, Vref = 5.103;
for(i=0, Sum = 0; i<4; i++, Sum += analogRead(A2), delay(2));
Sum /= 4.0;
V = Sum*Vref/1023.0;
return V;
}

int Redondear(float Var){
int A = 0;
float B = 0.0;
A = (int) Var;
B = (Var - A)*10.0;
A = (B >= 5.0) ? (A + 1): A;
return A;
}

float Encendidoinicial(float Apertura){

```

```

float flama = 0.0, temp = 0.0, valv = 0.0;
int Porcent = 0;

valv = Apertura*1599.0/100.0;
Porcent = Redondear(valv);
valv = Porcent*1.0;
flama = MedirFlamaADC();
temp = MedirTemperatura();

Serial.println(flama,3);delay(20);
Serial.println(valv,3);delay(20);
Serial.println(temp,3);delay(20);

digitalWrite(12,LOW); //VALVULA ENCENDIDA
OCR1B = Porcent;
delay(350);
digitalWrite(11,LOW);//GENERADOR DE CHISPA - ON
delay(850);
digitalWrite(11,HIGH);//GENERADOR DE CHISPA - OFF

if (MedirFlamaADC() < flama + 0.8){
    ApagarTodo();
}

return valv;
}

float ValidarDato(float Dato, float LimSup, float LimInf){
    float DatoFinal = 0.0;
    DatoFinal = (Dato > LimSup)?(LimSup):((Dato < LimInf)?(LimInf):(Dato));
    return DatoFinal;
}

float ControladorOnOff(byte lazo, float aux){
    float valv = 0.0;
    if (lazo == 0){
        //Encendido
        valv = aux;
        digitalWrite(12,LOW); OCR1B = Redondear(valv);
        delay(370); digitalWrite(11,LOW); delay(780); digitalWrite(11,HIGH);
        lcd.init(); lcd.backlight(); lcd.clear();delay(50);
    }else{
        //Apagado
        digitalWrite(12,HIGH); OCR1B = 0; valv = 0.0;
    }
    return valv;
}

void Interfaz(Inicio* Valor){
    int Temperatura = 70, Horas = 0, Minutos = 0;
    byte FlagOut = 0, Estado = 1;
    int pulsador = 0;
    MostrarMensaje(Estado, Temperatura, Horas, Minutos);
    do{
        pulsador = ValorPulsador();
        if (pulsador != 0){
            switch (Estado){
                case 1: //Temperatura
                    Temperatura = constrain(Temperatura + pulsador*5,70,120);
                    break;
                case 2: //Tiempo (Horas)
                    Horas = constrain(Horas + pulsador,0,10);
                    break;
                case 3: //Tiempo (Minutos)
                    Minutos = constrain(Minutos + pulsador*5,0,55);
                    break;
            }
        }
    }
}

```

```

    MostrarMensaje(Estado, Temperatura, Horas, Minutos);
}
if (digitalRead(6)){
    delay(90);
    while (digitalRead(6));
    Estado = constrain(Estado + 1, 1, 5);
    MostrarMensaje(Estado, Temperatura, Horas, Minutos);
}
if (digitalRead(7)){
    delay(90);
    while (digitalRead(7));
    Estado = constrain(Estado - 1, 1, 5);
    MostrarMensaje(Estado, Temperatura, Horas, Minutos);
}
delay(100);
FlagOut = Estado == 5;
}while(FlagOut == 0);
Valor->T = Temperatura; Valor->H = Horas; Valor->M = Minutos;
}

```

```

int ValorPulsador(){
    int valor = 0;
    if (1-digitalRead(4)){
        delay(90);
        while (1-digitalRead(4)); valor = 1;
    }
    if (1-digitalRead(5)){
        delay(90);
        while (1-digitalRead(5)); valor = -1;
    }
    return valor;
}

```

```

void MostrarMensaje(byte estado, byte T, byte H, byte M){
    lcd.clear();
    switch (estado){
        case 1:
            lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("INGRESAR TEMPERATURA");
            lcd.setCursor(9, 2); lcd.print(T);
            break;
        case 2:
            lcd.setCursor(2, 0); lcd.print("INGRESAR TIEMPO");
            lcd.setCursor(7, 1); lcd.print("HORAS");
            lcd.setCursor(9, 2); lcd.print(H);
            break;
        case 3:
            lcd.setCursor(2, 0); lcd.print("INGRESAR TIEMPO");
            lcd.setCursor(6, 1); lcd.print("MINUTOS");
            lcd.setCursor(9, 2); lcd.print(M);
            break;
        case 4:
            lcd.setCursor(1, 0); lcd.print("DATOS INGRESADOS");
            lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("Temperatura: ");
            lcd.setCursor(15, 1); lcd.print(T);
            lcd.setCursor(0, 2); lcd.print("Tiempo");
            lcd.setCursor(13, 2); lcd.print(H);
            lcd.setCursor(15, 2); lcd.print(":");
            lcd.setCursor(16, 2); lcd.print(M);
            lcd.setCursor(0, 3); lcd.print("AVANCE PARA INICIAR");
            break;
    }
}

```

```

void ActualizarTiempo(int* hora, int* minut, byte* flag){
    int aux = 0;
    if ((minut[0] == 1) && (hora[0] == 0)){

```

```

flag[0] = 10;
}else if (minut[0] == 1){
    minut[0] = 59; hora[0] = hora[0] - 1;
}else{
    minut[0] = minut[0] - 1;
}
}
}

```

## ANEXO G: MODELAMIENTO MATEMÁTICO DEL SISTEMA

1. Se uso como datos de entrada la respuesta del sistema ante una señal PRBS (Pseudo Random Binary Signal)

a. Código Programado

- Código Matlab (Envío de señal de control PRBS y Adquisición de Datos)

```

clc
clear all
close all
%Definir Puerto
puerto = 'COM3';
%Borrar datos almacenados previamente
delete(instrfind({'port'},{puerto}));
%Abrir Puerto Serial y Velocidad Tx
PSerial = serial(puerto, 'BaudRate', 9600);
fopen(PSerial);
pause(0.5);

%Secuencia
disp('Inicio');
FlagFin = 0;
Range = [0,1]; Band = [0,1];
u = idinput([63,1,2],'prbs',Band,Range);%Señal PRBS
fil = size(u);fil = fil(1);
Arr = [];
for i=2:fil
    if (u(i) ~= u(i-1))
        Arr = [Arr i];
    end
end

samp = 20; Tm = 2;delta = samp/Tm;
Temp = [];Ux = [];x = [0];
i = 1;cont = 1;j = 1;primer = 1;
figure;
disp('Inicio Inicio');
while FlagFin == 0
    for i=1:delta
        %ALMACENAMIENTO Y PLOTEO EN TIEMPO REAL
        Temp = [Temp LeerPuerto(PSerial)];
        Ux = [Ux u(cont)];
        subplot(2,1,1);
        plot(x,Temp);ylim([0 125.5]);xlim([max(x)-62 max(x)]);
        subplot(2,1,2);
        plot(x,Ux);ylim([0 1.05]);xlim([max(x)-62 max(x)]);
        drawnow;
        x = [x max(x)+Tm];
    end

    cont = cont + 1;

    if cont >= fil

```



```

    FlagFin = 1;
else
    if cont == Arr(j)
        fprintf(PSerial,'%d',5);
        j = j + 1;
    end
end
end
end
fil2 = size(x);x = x(1:fil2);
fclose(PSerial);
delete(PSerial);
disp('Fin');

Datos = [Temp;Ux];
Info = Datos';
Archivo = 'DatosModelamiento.xlsx';
Hoja = 'E2';
Posicion = 'C7';

xlswrite(Archivo,Info,Hoja,Posicion);
disp('Fin');

```

```

function [Valor] = LeerPuerto(puerto)
    Dato = fscanf(puerto,'%f');
    while size(Dato) == [0 0]
        Dato = fscanf(puerto,'%f');
    end
    Valor = Dato;
end

```

- Código Arduino (Control del Horno de acuerdo a señal recibida)

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);

volatile unsigned int Tiempo = 0, ContSeg = 0, ContMuestreo = 0, ContLCD = 0, ContHum = 0;
volatile byte FlagMin = 0, FlagSeg = 0, FlagMuestreo = 0,FlagLCD = 0, FlagHum = 0, FlagInicio = 0;
volatile unsigned int Ciclos = 0;
volatile byte NuevaCaptura = 0;

const int Tmuestreo = 2, tLCD = 4;

void setup() {
    analogReference(EXTERNAL);
    EntradasSalidas();
    ApagarTodo();
    lcd.init(); lcd.backlight(); lcd.clear(); //Configuracion LCD
    delay(500);//Para LCD y Referencia Analógica
    Serial.begin(9600);
    int a,b;
    for(a=0,b=0;a<8;b=analogRead(A0),a++,delay(5)); //Primeras Lecturas Erroneas
    delay(100);
}

//----- CONFIGURACIONES INICIALES -----
void TIMER2CTC(){
    //Interrupción Cada 8ms
    unsigned long Fclk = 16000000;
    float T = 8.0/1000.0;//ms
    unsigned int OC = (Fclk*T/1024)-1;// OC = 124;
}

```

```

TCCR2A = (TCCR2A & B11111100)|B00000010;
TCCR2B = (TCCR2B & B11110000)|B00000111;
TCNT1 = 1; OCR2A = OC;
TIMSK2 |= (1 << OCIE2A); // Habilitar interrupcion CUENTA
}

ISR(TIMER2_COMPA_vect){
    Tiempo += 8; // Se Incrementa 8ms
    if (Tiempo == 1000){
        Tiempo = 0; FlagSeg = 1;
        FlagMuestreo = ContMuestreo == (Tmuestreo - 1); ContMuestreo = (FlagMuestreo == 0) ?
        (ContMuestreo + 1) : 0;
        FlagLCD = ContLCD == (tLCD - 1); ContLCD = (FlagLCD == 0) ? (ContLCD + 1) : 0;
    }
}

unsigned int TIMER1PWM_CAPTURA(){
    unsigned long Fclk = 16000000;
    unsigned long Fpwm = 10000;
    unsigned long TOP = (Fclk/Fpwm) - 1;//Debe ser menor a 65 535 y Entero
    unsigned int MaxVal = (unsigned int) TOP;// Es 1599

    TCCR1B = (TCCR1A & B10100000); //Borro Registros A modificar
    TCCR1B |= (0 << CS12)|(0 << CS11)|(1 << CS10); // N = 1
    TCCR1B |= (1 << WGM13)|(1 << WGM12); //Fast PWM, Top = OCR1A
    //ICES1: Toma Valor = 0, se detecta flanco de bajada para Humedad
    TCCR1A = (TCCR1A & B11001100); //Borro Registros A modificar
    TCCR1A |= (1 << WGM11)|(1 << WGM10); //Fast PWM, Top = OCR1A
    TCCR1A |= (1 << COM1B1)|(0 << COM1B0); //PWM non-inverting

    OCR1A = MaxVal; //TOP = OCR1A = 1599
    OCR1B = 0;
    delay(10);

    return MaxVal;
}

void HabilitarCaptura(byte en){
    if (en == 0){
        TIMSK1 = (TIMSK1 & B11011111); //ICIE1 = 0, captura deshabilitada
    }else{
        TIMSK1 |= (1 << ICIE1); //ICIE1 = 1, captura habilitada
    }
}

ISR(TIMER1_CAPT_vect){
    Ciclos = ICR1;
    NuevaCaptura = 15;
}

//----- PROGRAMA PRINCIPAL -----
void loop() {
    HabilitarCaptura(0); //Deshabilito Inicialmente Medicion de Humedad
    unsigned int TopPWM = TIMER1PWM_CAPTURA(); // Es 1599
    byte FlagOut = 0, comenzar = 0, Lazo = 0, dato = 0;
    float Temp = 0.0;

    lcd.clear(); lcd.setCursor(5,1); lcd.print("INICIO");

    //----- Inicio Pulsador
    do{
        if (digitalRead(6)){

```

```

    delay(90);
    while (digitalRead(6)); //Pulsador Avanzar
    comenzar = 5;
}
}while(comenzar == 0);
//-----

TIMER2CTC();//Interrupcion de Muestreo
do{
  if (FlagSeg){
    if(FlagMuestreo){
      Temp = MedirTemperatura();
      Serial.println(Temp,3);
      if(Temp >= 125.0){
        ApagarTodo();
      }
    }
  }
  if (FlagLCD){
    lcd.clear();delay(25);
    lcd.setCursor(7,0);lcd.print("MUESTREO");
    lcd.setCursor(0,1);lcd.print("Temperatura:");
    lcd.setCursor(14,1);lcd.print(Temp);
  }
  FlagSeg = 0;
}
if (Serial.available()){
  dato = Serial.read();// Cambia de ON a OFF de acuerdo a lo enviado desde matlab
  Controlador(Lazo);
  Lazo = (Lazo == 0)?1:0;
}
}while(FlagOut == 0);
ApagarTodo();
}

//----- FUNCIONES UTILIZADAS -----
void EntradasSalidas(){
  pinMode(4,INPUT);//Pulsador Aumentar - NO
  pinMode(5,INPUT);//Pulsador Disminuir - NO
  pinMode(6,INPUT);//Pulsador Avance - NC
  pinMode(7,INPUT);//Pulsador Retroceso - NC

  pinMode(A0,INPUT);// Lectura Temperatura
  pinMode(A2,OUTPUT);//Lectura Flama
  pinMode(8,INPUT);//Lectura Humedad

  pinMode(A3,OUTPUT);//Salida LED
  pinMode(10,OUTPUT);//Salida PWM
  pinMode(11,OUTPUT);//Salida Encendedor
  pinMode(12,OUTPUT);//Salida Valvula y Ventilador
}

void ApagarTodo(){
  OCR1B = 0;
  digitalWrite(A3,HIGH);
  digitalWrite(11,HIGH);digitalWrite(12,HIGH);
  digitalWrite(10,LOW);//Apaga Válvula Proporcional
}

float MedirTemperatura(){
  byte i;
  float Sum, V;

```

```

float Vref = 5.103;
for(i=0, Sum = 0; i<8; i++, Sum += analogRead(A0), delay(4));
Sum /= 8.0;
V = Sum*Vref/1023.0;
float R = 0.0;
R = 98.5473 + V*10.839 + V*V*(-0.0805) + V*V*V*0.0079;
float T = 0.0;
T = -161.6379 + 0.4846*R + 0.0148*R*R -(0.3414*R*R/10000.0)*R;
return T;
}

void Controlador(byte lazo){
  if (lazo == 0){
    //Encendido
    digitalWrite(12,LOW); OCR1B = 400; //25%
    delay(520); digitalWrite(11,LOW); delay(830); digitalWrite(11,HIGH);
    lcd.init(); lcd.backlight(); lcd.clear();
  }else{
    //Apagado
    digitalWrite(12,HIGH); OCR1B = 0;
  }
}

```

b. Toma de Datos

**Tabla G1: Toma de Datos Para Modelamiento Matemático**

CON REJILLA VENTILACIÓN	
P = 8psi   Tmuestreo = 2s	
PRBS	T (°C)
0	19.655
0	20.286
0	19.821
0	19.804
0	19.588
0	19.705
0	19.538
0	20.02
0	20.568
0	19.854
0	19.837
0	19.605
0	19.771
0	19.771
0	19.788
0	19.804
0	19.572
0	19.721
0	19.871
0	19.771
0	19.688
0	19.671
0	19.688
0	19.605

0	19.505
0	19.406
0	19.422
0	19.721
0	19.738
0	19.904
0	19.572
1	19.804
1	19.987
1	20.053
1	20.386
1	20.535
1	21.134
1	21.583
1	22.182
1	22.265
1	23.297
0	23.13
0	24.38
0	24.58
0	25.214
0	25.23
0	25.18
0	25.898
0	25.631
0	25.714
0	25.764
1	25.931
1	26.482
1	26.181
1	27.233
1	27.083
1	27.567
1	27.668
1	29.172
1	30.477
1	29.942
0	30.109
0	30.159
0	31.147
0	31.834
0	31.951
0	31.784
0	32.069
0	32.488
0	32.689

0	32.421
1	32.924
1	32.941
1	33.343
1	33.544
1	33.947
1	34.417
1	34.736
1	35.492
1	35.777
1	36.298
0	36.382
0	36.836
0	37.324
0	37.879
0	38.131
0	38.384
0	38.535
0	38.535
0	38.384
0	38.586
0	38.569
0	38.586
0	38.939
0	38.384
0	38.502
0	38.266
0	38.266
0	38.384
0	38.3
0	38.333
1	38.249
1	38.182
1	38.232
1	38.62
1	38.855
1	38.906
1	39.007
1	39.647
1	40.32
1	40.489
1	40.91
1	41.568
1	41.888
1	42.108
1	42.749

1	43.12
1	43.458
1	43.677
1	44.674
1	44.369
0	44.809
0	45.231
0	45.468
0	45.671
0	46.026
0	46.313
0	46.33
0	46.195
0	46.228
0	46.042
0	46.482
0	46.499
0	46.279
0	46.195
0	46.178
0	46.093
0	45.823
0	45.89
0	45.62
0	45.84
1	45.552
1	45.502
1	45.265
1	45.569
1	45.958
1	45.857
1	46.262
1	46.026
1	46.905
1	47.091
0	47.193
0	47.531
0	47.886
0	47.954
0	47.937
0	48.259
0	47.937
0	48.056
0	48.106
0	47.852
0	48.022

0	47.514
0	47.836
0	47.497
0	47.48
0	47.48
0	47.26
0	47.209
0	46.871
0	47.125
0	46.753
0	46.431
0	46.195
0	46.093
0	46.026
0	45.687
0	45.586
0	45.333
0	45.671
0	45.045
1	45.164
1	44.876
1	44.775
1	44.674
1	45.164
1	45.062
1	45.4
1	45.806
1	46.178
1	47.108
0	46.82
0	46.939
0	47.26
0	47.785
0	48.242
0	48.123
0	47.852
0	47.717
0	47.599
0	47.413
0	47.446
0	47.463
0	47.666
0	47.209
0	47.26
0	47.142
0	47.193



0	46.939
0	46.82
0	47.006
1	46.702
1	46.499
1	46.465
1	46.482
1	46.803
1	47.209
1	47.413
1	47.514
1	47.92
1	48.597
0	49.088
0	49.478
0	50.41
0	50.071
0	50.156
0	50.139
0	50.088
0	50.139
0	50.139
0	50.173
1	50.257
1	50.325
1	50.223
1	50.223
1	50.512
1	50.901
1	51.427
1	51.698
1	52.36
1	52.614
1	53.497
1	53.412
1	54.159
1	54.159
1	54.38
1	54.533
1	54.923
1	55.229
1	55.501
1	55.96
0	56.079
0	56.47
0	56.776

0	56.997
0	56.98
0	57.201
0	57.473
0	57.524
0	57.133
0	57.167
1	57.66
1	57.286
1	57.099
1	57.201
1	57.303
1	57.456
1	57.575
1	58.171
1	58.664
1	59.107
1	59.55
1	59.941
1	59.975
1	60.316
1	60.435
1	60.657
1	61.1
1	61.355
1	61.406
1	62.003
0	62.003
0	62.139
0	62.361
0	62.463
0	62.617
0	63.162
0	62.685
0	62.702
0	62.514
0	62.497
0	62.412
0	62.054
0	62.31
0	61.662
0	62.054
0	61.423
0	61.594
0	61.014
0	60.878

0	60.554
0	60.265
0	60.197
0	59.771
0	59.464
0	59.294
0	59.005
0	58.715
0	58.749
0	58.154
0	57.728
1	57.575
1	57.49
1	57.235
1	57.201
1	57.728
1	57.371
1	58.052
1	57.865
1	58.409
1	59.073
1	59.873
1	59.754
1	60.077
1	60.486
1	60.605
1	60.776
1	61.338
1	61.304
1	61.56
1	61.849
1	62.156
1	62.514
1	62.906
1	63.469
1	63.862
1	64.049
1	64.117
1	64.851
1	65.21
1	65.278
0	65.466
0	65.773
0	66.593
0	66.354
0	66.354

0	66.917
0	66.542
0	66.473
0	66.456
0	66.456
1	66.542
1	66.2
1	66.32
1	66.268
1	66.439
1	66.456
1	66.986
1	67.242
1	67.327
1	68.062
0	68.49
0	68.216
0	68.712
0	68.524
0	68.678
0	68.267
0	68.438
0	68.473
0	67.977
0	67.669
0	67.584
0	67.823
0	67.276
0	66.986
0	66.764
0	66.712
0	66.422
0	65.756
0	65.551
0	65.312
0	65.38
0	64.749
0	64.595
0	64.254
0	64.015
0	63.827
0	63.555
0	63.537
0	62.872
0	62.531
0	62.412

0	62.122
0	61.764
0	61.611
0	61.117
0	60.674
0	60.282
0	60.35
0	59.771
0	59.43
1	59.686
1	59.226
1	58.869
1	58.869
1	59.039
1	59.243
1	59.992
1	59.941
1	60.725
1	61.014
1	61.509
1	62.071
1	62.514
1	62.975
1	63.316
1	63.708
1	63.913
1	64.305
1	64.732
1	65.09
0	65.159
0	65.654
0	66.115
0	66.456
0	66.525
0	66.251
0	66.456
0	66.747
0	66.49
0	66.012
1	66.815
1	66.303
1	66.046
1	66.542
1	66.49
1	66.747
1	66.935

1	67.618
1	68.37
1	69.122
0	68.558
0	69.02
0	69.806
0	69.327
0	69.498
0	69.31
0	69.071
0	69.345
0	68.797
0	68.558
1	68.712
1	68.849
1	68.404
1	68.661
1	69.276
1	68.661
1	68.763
1	69.276
1	69.43
1	69.755
1	70.456
1	70.884
1	71.569
1	72.048
1	72.733
1	73.589
1	73.606
1	75.114
1	75.32
1	75.491
1	76.314
1	77.292
1	77.206
1	77.789
1	78.029
1	78.304
1	79.093
1	79.196
1	79.951
1	79.711
0	79.78
0	80.106
0	80.157

0	80.14
0	80.003
0	79.9
0	79.591
0	79.763
0	79.351
0	79.351
0	78.836
0	78.716
0	78.664
0	78.544
0	77.961
0	77.892
0	78.115
0	76.966
0	76.691
0	76.451
1	76.571
1	76.005
1	75.782
1	75.885
1	75.868
1	75.285
1	75.577
1	75.988
1	76.245
1	76.52
1	76.931
1	77.566
1	78.046
1	78.818
1	79.196
1	79.557
1	79.883
1	80.518
1	81.136
1	81.961
1	81.72
1	82.305
1	82.803
1	83.009
1	82.992
1	83.284
1	83.955
1	83.955
1	84.814

1	85.158
1	85.45
1	85.623
1	86.07
1	86.947
1	86.431
1	86.569
1	87.085
1	86.706
1	86.878
1	86.775
0	86.552
0	87.119
0	87.532
0	86.741
0	86.638
0	86.792
0	87.154
0	86.465
0	86.311
0	86.139
1	86.19
1	86.018
1	86.07
1	85.296
1	85.537
1	85.33
1	85.468
1	85.623
1	85.485
1	85.846
1	86.225
1	86.293
1	86.569
1	86.947
1	87.154
1	87.515
1	87.928
1	88.617
1	89.185
1	88.996
1	89.133
1	90.149
1	89.839
1	90.236
1	90.339



1	90.477
1	91.08
1	90.959
1	91.235
1	91.476
1	91.7
1	92.217
1	92.165
1	92.441
1	93.113
1	92.51
1	92.562
1	92.613
1	92.751
1	92.579
1	92.717
1	93.199
1	93.251
1	93.441
1	93.51
1	93.751
1	94.113
1	94.061
1	95.027
1	94.579
0	94.389
0	94.355
0	94.941
0	94.544
0	94.579
0	94.527
0	94.217
0	94.372
0	93.889
0	93.648
0	93.251
0	93.13
0	93.079
0	92.596
0	91.941
0	91.958
0	91.493
0	90.976
0	90.804
0	90.322
0	90.442

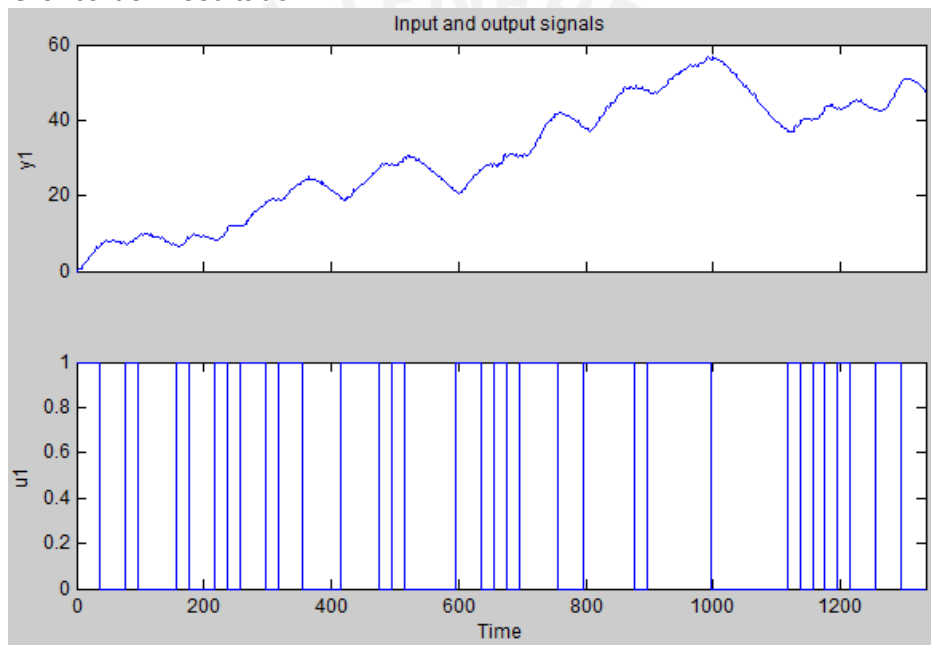
0	89.461
0	89.168
0	88.617
0	88.221
0	87.859
0	87.343
0	87.119
0	87.291
0	86.465
0	86.001
0	85.64
0	85.175
0	84.969
0	85.485
0	84.849
0	84.23
0	83.559
0	83.009
0	82.545
0	81.944
0	82.012
0	81.36
0	81.308
0	80.621
0	80.346
0	80.003
0	79.557
0	79.024
0	78.733
0	78.647
0	78.046
0	77.532
0	77.669
0	77.24
0	76.863
0	76.623
0	76.674
0	76.16
0	75.885
1	75.628
1	75.354
1	75.234
1	75.2
1	75.217
1	75.388
1	76.022

1	76.863
1	76.64
1	77.017
0	77.549
0	78.287
0	78.372
0	78.664
0	78.39
0	78.698
0	78.647
0	78.458
0	78.647
0	78.252
1	78.287
1	78.595
1	78.407
1	78.458
1	78.578
1	78.784
1	79.179
1	79.66
1	80.003
1	80.587
0	80.913
0	81.944
0	81.806
0	81.961
0	82.305
0	82.15
0	82.184
0	81.531
0	81.428
0	81.153
1	81.325
1	81.411
1	80.999
1	80.999
1	81.6
1	81.394
1	81.446
1	82.098
1	82.15
1	82.562
0	82.734
0	82.992
0	83.353

0	83.25
0	83.422
0	83.49
0	83.336
0	83.318
0	83.473
0	82.992
0	82.683
0	82.356
0	82.528
0	82.047
0	81.944
0	81.634
0	81.411
0	81.342
0	81.033
0	80.655
1	81.325
1	81.308
1	80.707
1	80.535
1	80.518
1	80.587
1	81.085
1	81.274
1	81.566
1	82.167
1	82.425
1	82.786
1	83.456
1	83.937
1	84.625
1	85.175
1	85.743
1	86.603
1	87.223
1	87.859
0	88.221
0	88.548
0	88.978
0	89.288
0	89.151
0	89.116
0	89.116
0	89.065
0	88.737

0	88.841
0	88.531
0	88.445
0	88.238
0	87.911
0	87.636
0	87.481
0	87.085
0	86.638
0	86.311
0	85.33

c. Gráfica del Resultado



**Figura G1: Respuesta a Señal PBRS**

2. Estimación de Parámetros usando el “System Identification Toolbox de Matlab”

a) Obtención del Modelo de Espacio – Estado. Sistema dinámico.

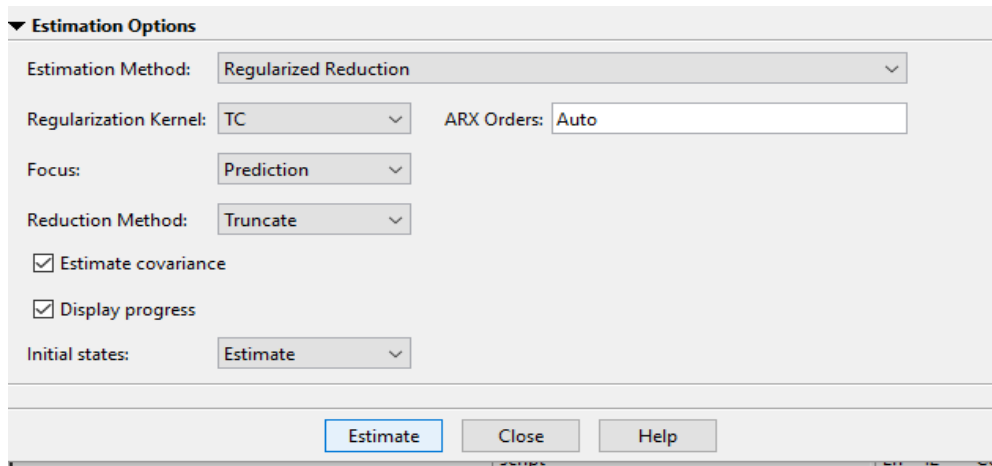


Figura G2: Parámetros de Toolbox Matlab1

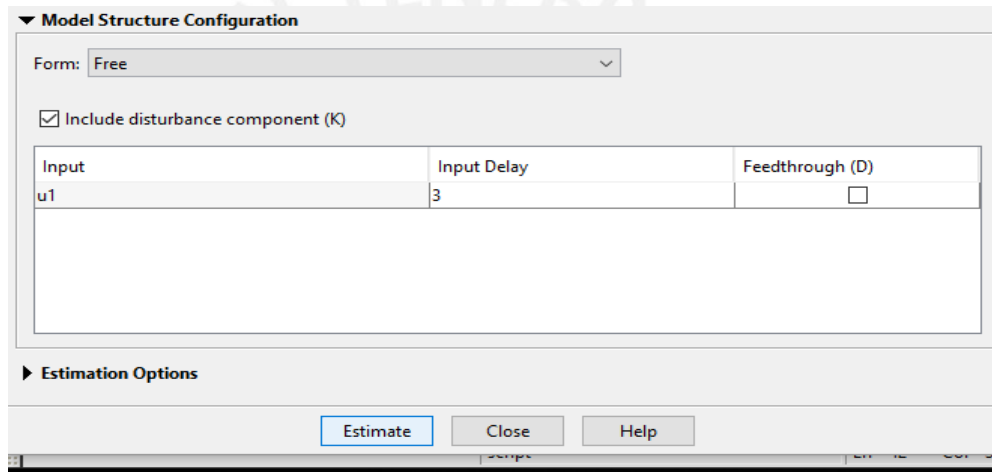


Figura G3: Parámetros de Toolbox Matlab2

b) Modelo obtenido

```

ss17 =
Discrete-time identified state-space model:
  x(t+Ts) = A x(t) + B u(t) + K e(t)
  y(t) = C x(t) + D u(t) + e(t)

A =
      x1      x2      x3
x1    0.994  -0.00917 -0.06149
x2    0.01219  0.9867 -0.03354
x3    0.0454  -0.03128  0.9216

B =
      u1
x1   -0.1005
x2   -0.004405
x3    0.3191

C =
      x1      x2      x3
y1  -0.9297  -3.058  0.5783

D =
      u1
y1   0

K =
      y1
x1  -0.1313
x2  -0.3365
x3   0.06037

Input delays (sampling periods): 2

Name: ss17
Sample time: 2 seconds

Parameterization:
  FREE form (all coefficients in A, B, C free).
  Feedthrough: none
  Disturbance component: estimate
  Number of free coefficients: 18
  Use "idssdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
  Estimated using SSREGEST on time domain data "PRBS".
  Fit to estimation data: 98.01% (prediction focus)
  FPE: 0.09865, MSE: 0.09453

```

**Figura G4: Modelo Obtenido en Espacio Estado**

A función de transferencia:

```

TF1 =

From input "u1" to output "y1":
      0.2914 z^-1 - 0.5175 z^-2 + 0.227 z^-3
z^(-2) * -----
      1 - 2.902 z^-1 + 2.808 z^-2 - 0.9058 z^-3

Name: ss17
Sample time: 2 seconds
Discrete-time transfer function.

```

**Figura G5: Modelo Obtenido en Función de Transferencia**

c) Validación del modelo obtenido.

Se validó el modelo matemático con ensayos del sistema de control y el sistema a lazo abierto.

Resultados Gráficos (Con % de precisión):

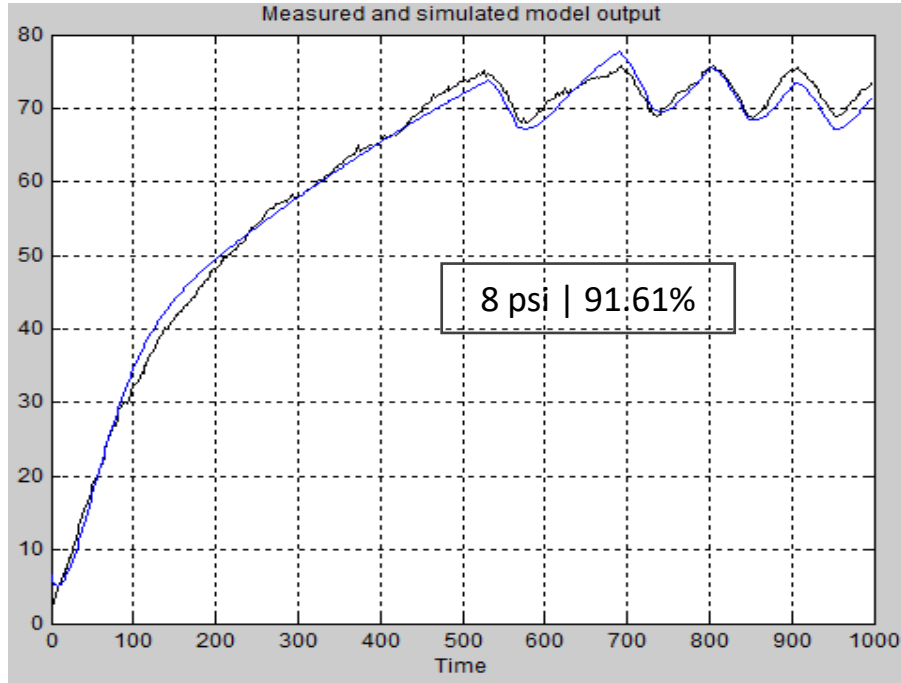


Figura G6: Precisión de Modelamiento para ensayo de control a 8psi

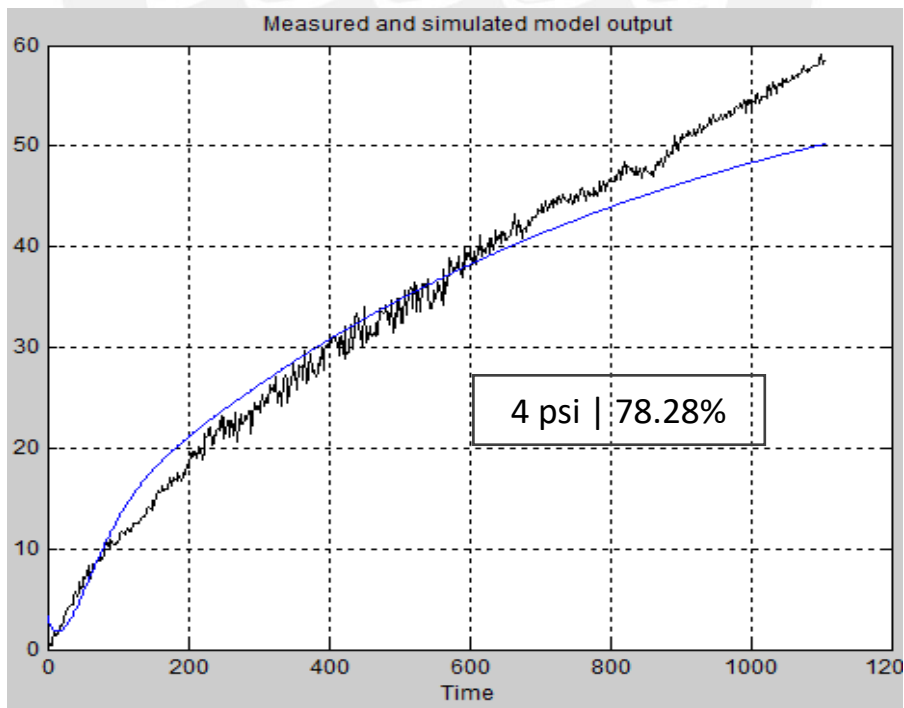
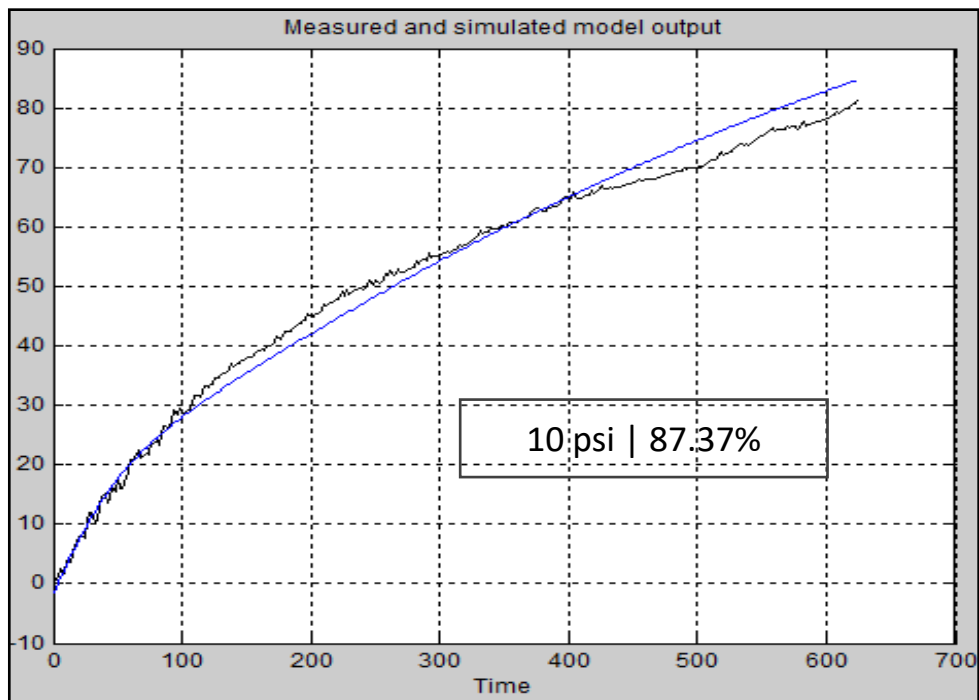


Figura G7: Precisión de Modelamiento para ensayo a lazo abierto con 4psi

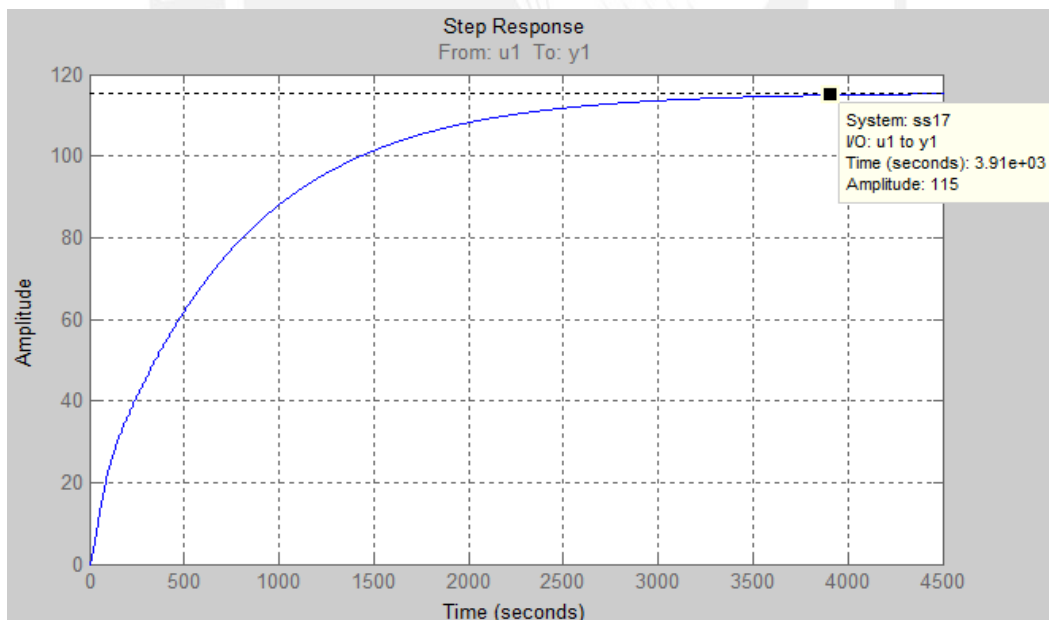




**Figura G8: Precisión de Modelamiento para ensayo a lazo abierto con 10psi**

OBS: Para las gráficas se considera un offset de 20°C.

d) Respuesta al escalón del modelo (P = 8psi, Offset = 20°C).



**Figura G9: Respuesta del Modelo en lazo abierto con 8psi**