



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - “ESPE”

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**“Modernización de la cámara climática utilizada para el proceso de calibración de instrumentos de medición de temperatura y humedad de la empresa METASDELECUADOR CIA. LTDA.”**

**AUTOR: EDISON JAVIER MOREIRA TOAPAXI**

**DIRECTOR: ING. HUGO RAMIRO ORTIZ TULCÁN, MGS**

VERSIÓN: 1.1



# Índice de Contenidos

Generalidades

Marco Metodológico

Cálculos y Diseño

Implementación

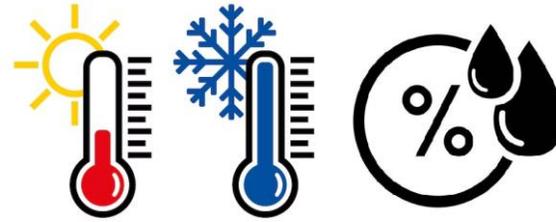
Validación, Pruebas y Resultados

Conclusiones y Recomendaciones



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Generalidades – Antecedentes



Por Área de Acreditación

A continuación, encontrará diferentes filtros para realizar su consulta. Inicie seleccionando el Área y Actividad de Acreditación, para realizar la búsqueda, el sistema filtrará por defecto todos los organismos que se encuentran acreditados.

accreditation\_area: LABORATORIOS  
activity: CALIBRACIÓN  
Ciudad: Quito  
Nacional Internacional

Buscar

Razón social	Área	Actividad	Código de acreditación	Estado	Ciudad	Acción
LABORATORIO METROSENS CIA. LTDA.	LABORATORIOS	CALIBRACIÓN	SAE LC 17-002	Acreditado	Quito	☰ 📄
LUIS EDUARDO ALBAN LOPEZ LEAL IMPORTACIONES COMPAÑIA	LABORATORIOS	CALIBRACIÓN	SAE LC 21-002	Acreditado	Quito	☰ 📄
METROLOGIC S.A.	LABORATORIOS	CALIBRACIÓN	SAE LC 10-004	Acreditado	Quito	☰ 📄
METROLOGOS ASOCIADOS DEL ECUADOR COMPAÑIA DE CALIBRACION.	LABORATORIOS	CALIBRACIÓN	SAE LC 17-001	Acreditado	Quito	☰ 📄

Recuperado del SAE: <https://sisac.acreditacion.gob.ec/accreditations/scopes-public?tab=%C3%81rea%20de%20Acreditaci%C3%B3n>



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Generalidades – Justificación e Importancia



Copia No Controlada

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

Centro de Desarrollo e Investigación en Física y Metrología

Procedimiento específico: PEC16

## CALIBRACIÓN DE TERMOHIGRÓMETROS.

Revisión: Agosto 2015

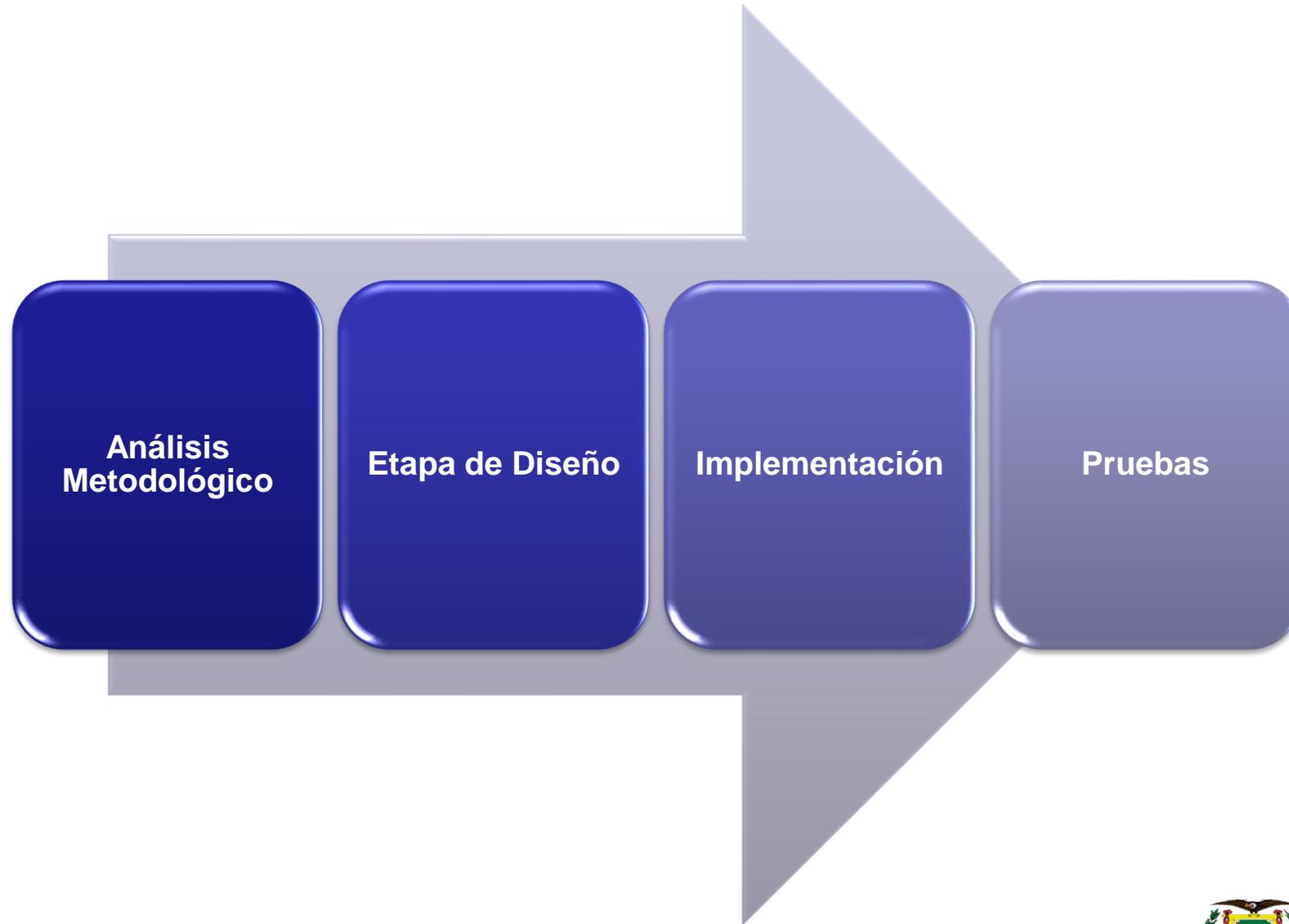
Este documento se ha elaborado con recursos del Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.



- Importancia de la trazabilidad de las mediciones.
- Controles de temperatura y humedad: Variables de principal interés que influyen directamente en el funcionamiento de un proceso.
- Tiempos alrededor de 40 a 60 minutos para 1 punto de calibración.
- Demanda para el laboratorio de alrededor de 20 a 30 instrumentos por semana.
- Tendencia actual de automatización de procesos.
- Incrementar el alcance de acreditación de temperatura y humedad.



# Generalidades – Alcance



# Generalidades – Objetivos

## Objetivo General

Repotenciar la cámara climática del laboratorio de temperatura y humedad de la empresa METASDELECUADOR CIA. LTDA. mediante la automatización de su sistema interno de generación del medio isoterma lo cual garantice el desarrollo eficiente y seguro del proceso de calibración de termohigrómetros

## Objetivos Específicos

- Disminuir el tiempo de estabilidad del medio isoterma generado por la cámara climática en al menos un 30% mediante la implementación de un sistema de control automático de temperatura y humedad.
- Optimizar el proceso calibración de instrumentos de medición de temperatura y humedad mediante la sustitución de la operación manual de la cámara climática por un control automático.
- Incrementar el alcance de calibración de la cámara climática en un 30% mediante la integración de sistemas específicos de calefacción y refrigeración comandados por un controlador.



# Marco Metodológico – Despliegue de la Función de Calidad

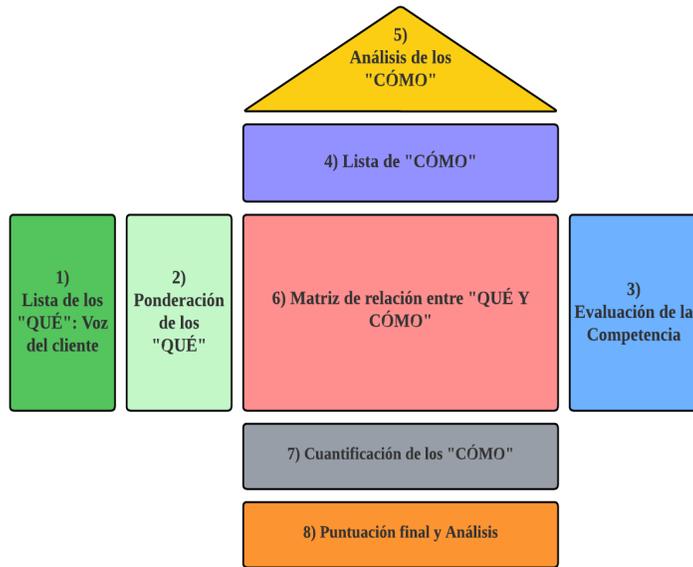


Tabla 2

Ponderación de los "QUÉ" de la voz del usuario

Qué	Nivel de Importancia	Objetivo	Situación Actual	Competencia	Argumento de Venta
Que el tiempo de estabilidad sea menor	5	5	2	4	1,5
Que la uniformidad sea mejor	5	5	4	4	1,5
Que el interior de la cámara pueda ampliarse	3	3,5	2	3	1
Que se puedan mapear las temperaturas dentro de la cámara	4	3,5	1	2	1,3
Que asegure repetibilidad	5	4,5	3	5	1,5
Que asegure reproducibilidad	5	5	4	5	1,5
Que tenga buena trazabilidad	5	4	4	4	1,5
Que calibre higrómetros	4	4	5	3	1,2
Que calibre termohigrómetros	5	5	5	5	1,3
Que calibre medidores de estrés térmico	4	3	3	3	1,2
Que calibre dataloggers	5	5	5	5	1,5
Que calibre registradores	4	4	4	4	1,3
Que esté acreditado por el SAE	5	4	5	4	1,5
Que se pueda modificar individualmente temperatura y humedad	4	4	3	3	1,5
Que tenga una interfaz de usuario	5	4,5	1	2	1,4
Que tenga modo manual y automático	3	3	1	4	1,4

Tabla 3

Análisis de los "QUÉ" de la voz del usuario

Qué	Ratio de Mejora	Ponderación Absoluta	Ponderación Relativa	Orden de Importancia
Que el tiempo de estabilidad sea menor	2,50	18,75	11,32%	2
Que la uniformidad sea mejor	1,25	9,38	5,66%	6
Que el interior de la cámara pueda ampliarse	1,75	5,25	3,17%	13
Que se puedan mapear las temperaturas dentro de la cámara	3,50	18,20	10,99%	3
Que asegure repetibilidad	1,50	11,25	6,79%	5
Que asegure reproducibilidad	1,25	9,38	5,66%	6
Que tenga buena trazabilidad	1,00	7,50	4,53%	9
Que calibre higrómetros	0,80	3,84	2,32%	16
Que calibre termohigrómetros	1,00	6,50	3,92%	11
Que calibre medidores de estrés térmico	1,00	4,80	2,90%	15
Que calibre dataloggers	1,00	7,50	4,53%	9
Que calibre registradores	1,00	5,20	3,14%	14
Que esté acreditado por el SAE	0,80	6,00	3,62%	12
Que se pueda modificar individualmente temperatura y humedad	1,33	8,00	4,83%	8
Que tenga una interfaz de usuario	4,50	31,50	19,02%	1
Que tenga modo manual y automático	3,00	12,80	7,61%	4
<b>Total</b>		<b>165,64</b>	<b>100,00</b>	



# Marco Metodológico – Despliegue de la Función de Calidad

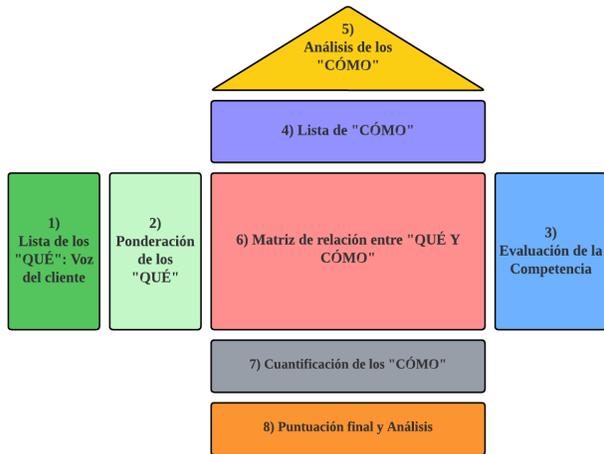


Tabla 2

Ponderación de los "QUÉ" de la voz del usuario

Qué	Nivel de Importancia	Objetivo	Situación Actual	Competencia	Argumento de Venta
Que el tiempo de estabilidad sea menor	5	5	2	4	1,5
Que la uniformidad sea mejor	5	5	4	4	1,5
Que el interior de la cámara pueda ampliarse	3	3,5	2	3	1
Que se puedan mapear las temperaturas dentro de la cámara	4	3,5	1	2	1,3
Que asegure repetibilidad	5	4,5	3	5	1,5
Que asegure reproducibilidad	5	5	4	5	1,5
Que tenga buena trazabilidad	5	4	4	4	1,5
Que calibre higrómetros	4	4	5	3	1,2
Que calibre termohigrómetros	5	5	5	5	1,3
Que calibre medidores de estrés térmico	4	3	3	3	1,2
Que calibre dataloggers	5	5	5	5	1,5
Que calibre registradores	4	4	4	4	1,3
Que esté acreditado por el SAE	5	4	5	4	1,5
Que se pueda modificar individualmente temperatura y humedad	4	4	3	3	1,5
Que tenga una interfaz de usuario	5	4,5	1	2	1,4
Que tenga modo manual y automático	3	3	1	4	1,4

Tabla 3

Análisis de los "QUÉ" de la voz del usuario

Qué	Ratio de Mejora	Ponderación Absoluta	Ponderación Relativa	Orden de Importancia
Que el tiempo de estabilidad sea menor	2,50	18,75	11,32%	2
Que la uniformidad sea mejor	1,25	9,38	5,66%	6
Que el interior de la cámara pueda ampliarse	1,75	5,25	3,17%	13
Que se puedan mapear las temperaturas dentro de la cámara	3,50	18,20	10,99%	3
Que asegure repetibilidad	1,50	11,25	6,79%	5
Que asegure reproducibilidad	1,25	9,38	5,66%	6
Que tenga buena trazabilidad	1,00	7,50	4,53%	9
Que calibre higrómetros	0,80	3,84	2,32%	16
Que calibre termohigrómetros	1,00	6,50	3,92%	11
Que calibre medidores de estrés térmico	1,00	4,80	2,90%	15
Que calibre dataloggers	1,00	7,50	4,53%	9
Que calibre registradores	1,00	5,20	3,14%	14
Que esté acreditado por el SAE	0,80	6,00	3,62%	12
Que se pueda modificar individualmente temperatura y humedad	1,33	8,00	4,83%	8
Que tenga una interfaz de usuario	4,50	31,50	19,02%	1
Que tenga modo manual y automático	3,00	12,80	7,61%	4
<b>Total</b>		<b>165,64</b>	<b>100,00</b>	

Aspectos necesarios:

- Implementación de una interfaz de usuario
- Tiempo de estabilidad se reduzca considerablemente
- Mapeo de las temperaturas y humedades
- Modo automático y manual
- Que asegure repetibilidad, reproducibilidad
- Modificar la temperatura y humedad de manera individual
- Cumpla con todas las normativas para que pueda acreditarse mediante SAE



# Marco Metodológico – Despliegue de la Función de Calidad

## Orden de Relevancia:

- Exactitud de sistemas de calefacción y humidificación
- Programación individual de los lazos de control
- Mejora de la potencia de calefacción

## Objetivos Técnicos:

- Reducción del tiempo de estabilidad.
- Utilización de todo el espacio disponible de la cabina.
- HMI
- Modo manual y automático

Lista de los CÓMO	Lista de los QUÉ	Tiempo de Estabilidad (h)	Duración del ensayo de calibración (h)	Sinóptico de las temperaturas y humedades internas (si/no)	Exactitud de la válvula de ingreso de humedad (%)	Mejora de potencia de las resistencias calefactoras (%)	Exactitud de los sensores utilizados en los módulos (%)	Programación de los lazos de control para los módulos (si/no)	Incorporación de ventiladores (si/no)	Rendimiento de un nuevo sistema de refrigeración (%)	Material de aislamiento no inflamable (si/no)	Incorporación de pantalla HMI (si/no)	Interfaz de usuario táctil (si/no)	Acreditable según SAE (si/no)	Conexiones contenidas en un entorno adecuado (si/no)	Exactitud del sistema de humidificación (%)	Exactitud del sistema de refrigeración (%)
Que el tiempo de estabilidad sea menor		●	●		○	●	●	●	○	●	●				○	●	●
Que la uniformidad sea mejor		▽	●		●	●	●	●	●	●	●			●	○	●	●
Que el interior de la cámara pueda ampliarse		▽			○		○		○	○	▽				▽	○	○
Que se puedan mapear las temperaturas dentro de la cámara			▽	●			●	▽				○	▽			●	●
Que asegure repetibilidad		○	●	○	●	●	●	●	○	○	●			●	▽	●	●
Que asegure reproducibilidad		○	●	○	●	●	●	●	○	●	●			●	▽	●	●
Que tenga buena trazabilidad		○	●	●	○	○	○	●	○	○	●	▽	▽	●		●	●
Que calibre higrómetros		▽	▽		●	●	○	●	▽	○	▽		▽	○		●	●
Que calibre termohigrómetros		▽	▽		●	●	○	●	▽	○	▽		▽	○		●	●
Que calibre medidores de estrés térmico		▽	▽		●	●	○	●	▽	○	▽		▽	○		●	●
Que calibre dataloggers		▽	▽		●	●	○	●	▽	○	▽		▽	○		●	●
Que calibre registradores		▽	▽		●	●	○	●	▽	○	▽		▽	○		●	●
Que esté acreditado por el SAE		●	●	▽	▽	▽	○		○	○	○			●	○	●	●
Que se pueda modificar individualmente temperatura y humedad		●	○	▽	●	●	●	●	●	●	▽	○	●	○	○	●	●
Que tenga una interfaz de usuario			▽	●				○				●	●				
Que tenga modo manual y automático			●	○	○	●	●	●	●	●		●	●		●	○	○
Orientación Deseada		▼	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Ponderación Absoluta		43	73	38	94	103	87	112	50	72	55	25	34	63	24	123	123
Ponderación Relativa		4%	7%	3%	8%	9%	8%	10%	4%	6%	5%	2%	3%	6%	2%	11%	11%
Orden de Importancia		12	7	13	5	4	6	3	11	8	10	15	14	9	16	1	1
Valoración Técnica		h	h	si/no	%	%	%	si/no	si/no	%	si/no	si/no	si/no	si/no	si/no	%	%
Cámara Climática Actual		1	1,58	no	0	45	80	no	no	50	si	no	no	si	no	90	90
Competencia		0,83	1,17	no	85	50	80	no	si	70	si	no	si	si	no	80	80
Objetivo Técnico		0,25	0,5	si	99	90	99	si	no	90	si	si	si	si	si	99	99



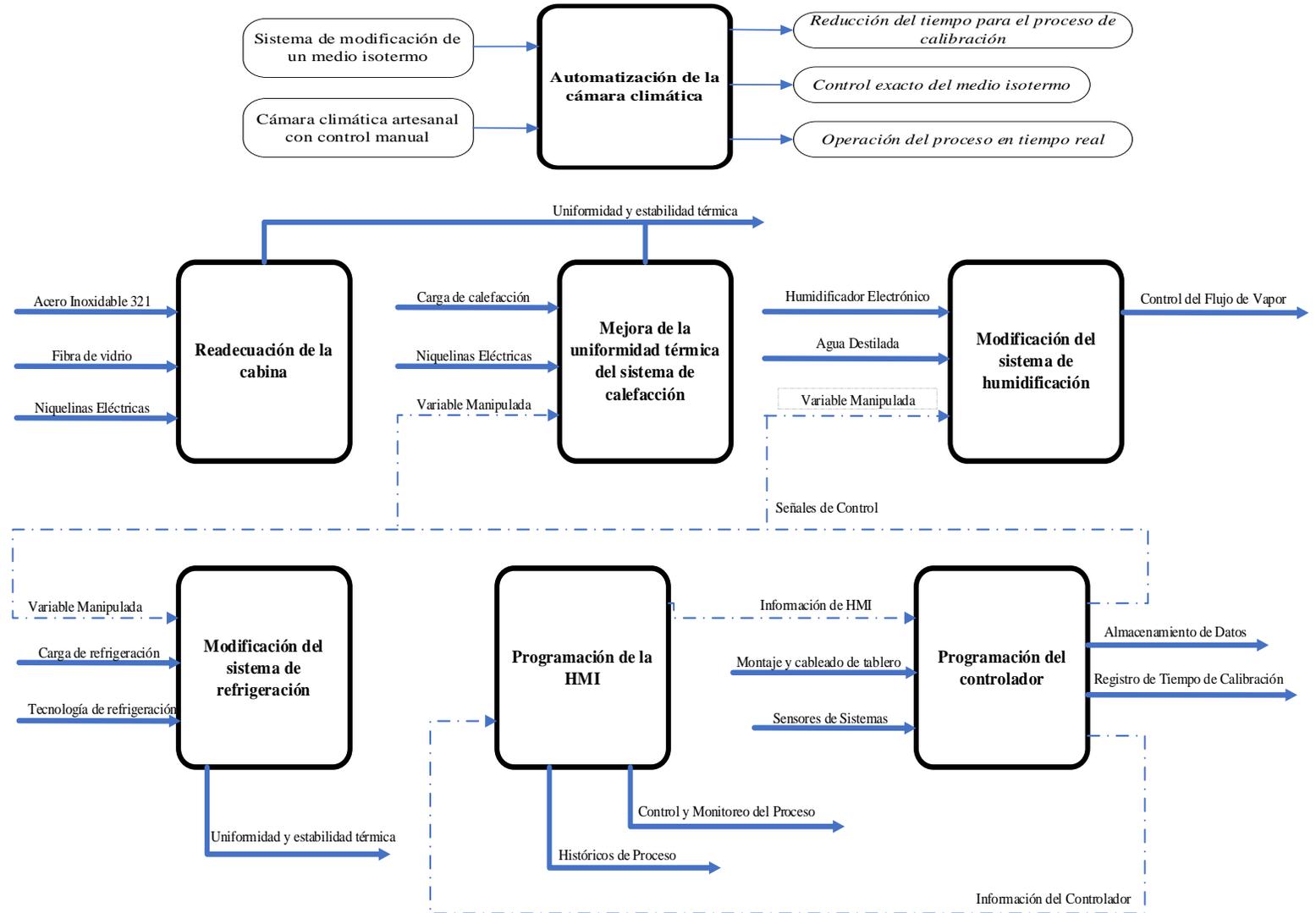
# Marco Metodológico – Análisis Funcional

## Funciones Principales:

- Reducción del tiempo de estabilidad de la cámara
- Sustitución de la operación manual por automática
- Visualización del proceso en tiempo real
- Mejora la uniformidad del medio isotermo generado

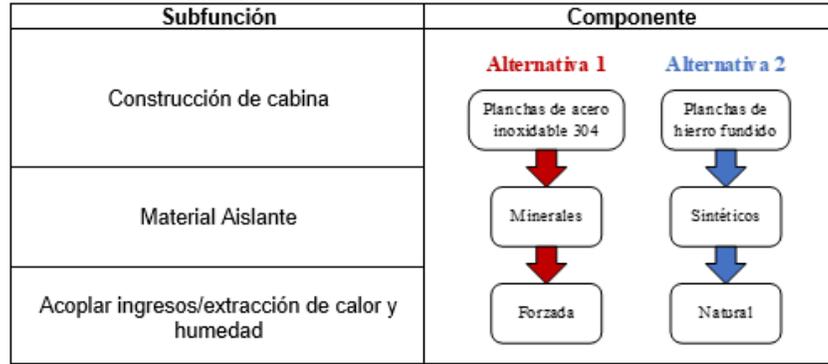
## Funciones Específicas:

- Readecuación de la cabina.
- Mejora de la uniformidad térmica del sistema de calefacción.
- Modificación del sistema de humidificación.
- Modificación del sistema de refrigeración.
- Programación del Controlador.
- Programación de la HMI.

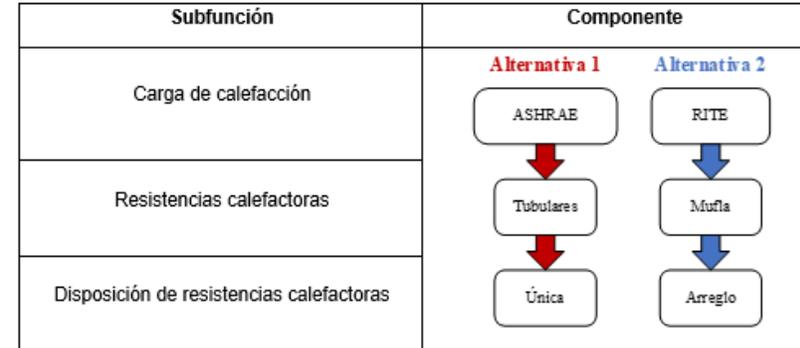


# Marco Metodológico – Matriz Morfológica

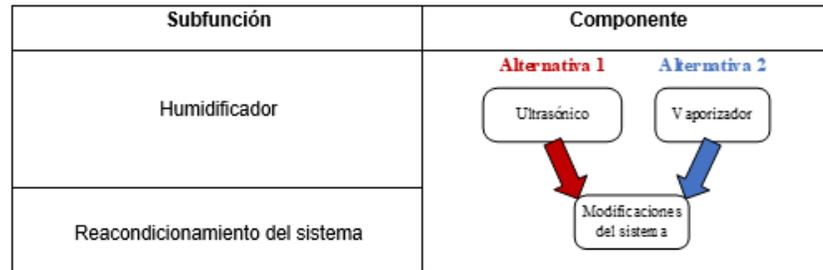
Matriz morfológica del módulo 1: Readequación de la cabina



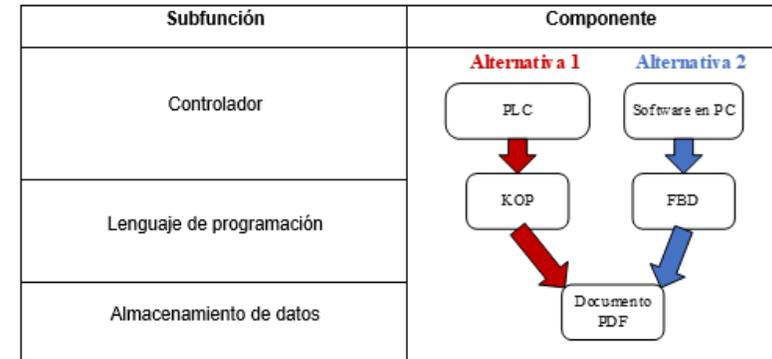
Matriz morfológica del módulo 2: Mejora de la uniformidad térmica del sistema de calefacción



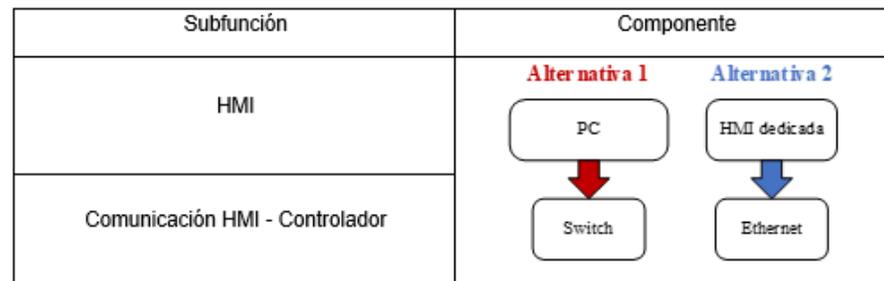
Matriz morfológica del módulo 3: Modificación del sistema de humidificación



Matriz morfológica del módulo 4: Programación del controlador



Matriz morfológica del módulo 5: Programación de la HMI



# Marco Metodológico – Matriz de Criterios Ponderados

Evaluación de criterios del Módulo 1: Readequación de la cabina

Criterios	Peso (1-10)	Alternativa 1	Alternativa 2
		Acero Inoxidable	Hierro fundido
Facilidad de fabricación	9	10	8
Resistente a la corrosión	9	10	7
Fortaleza del metal	8	7	9
Propagación de calor en el metal	10	10	6
Resistencia a altas y bajas temperaturas	8	10	10
Ciclo de vida del metal	9	10	7
Presupuesto	8	9	7
Seguridad al manipular el metal	7	9	9
Peso del metal	8	8	9
Fragilidad del metal	9	9	7
Aislamiento térmico del material aislante	10	10	8
Facilidad de manipulación del aislante	8	10	9
Flujo de aire de ventiladores	10	9	1
Potencia de extracción de ventiladores	9	9	1
<b>Ponderación absoluta</b>	1220	1137	835
<b>Ponderación relativa</b>	100%	93.20%	68.44%

Evaluación de criterios del Módulo 2: Mejora de la uniformidad térmica del sistema de calefacción

Criterios	Peso (1-10)	Alternativa 1	Alternativa 2
		ASHRAE	RITE
Sustentación matemática	10	10	8
Consideración de temperatura externa local	9	10	5
Detalles en procedimientos del manual/guía	9	9	10
Manuales traducidos al español	5	7	10
Referencias bibliográficas de la aplicación de los métodos	8	10	6
Potencia de resistencias calefactoras	10	10	9
Distribución de calor de resistencias calefactoras	10	10	9
Tiempo de vida de resistencias calefactoras	8	9	7
Resistencia a la corrosión de las resistencias calefactoras	9	10	9
Rango de dispersión de calor de resistencias calefactoras	10	9	7
Presupuesto	9	8	9
Seguridad	9	8	7
Facilidad de instalación/conexionado	8	10	9
<b>Ponderación absoluta</b>	1140	1062	916
<b>Ponderación relativa</b>	100%	93.16%	80.35%



# Marco Metodológico – Matriz de Criterios Ponderados

Evaluación de criterios del Módulo 3: Modificación del sistema de humidificación

Criterios	Peso (1-10)	Alternativa 1	Alternativa 2
		Ultrasónico	Vaporizador
Mecanismo de conversión	10	10	8
Baja generación de calor del mecanismo	10	9	5
Humectación de paredes	10	10	6
Generación de calor en el ambiente	10	10	3
Limpieza del vapor generado	8	9	7
Rapidez de generación de vapor	9	9	6
Flujo de vapor generado	8	8	8
Presupuesto	7	8	9
Seguridad	8	8	9
Facilidad de instalación/conexionado	9	9	9
<b>Ponderación absoluta</b>	890	808	610
<b>Ponderación relativa</b>	100%	90.79%	68.54%

Evaluación de criterios del Módulo 4: Modificación del sistema de refrigeración

Criterios	Peso (1-10)	Alternativa 1	Alternativa 2
		Mecánica	Efecto Termoeléctrico
Tamaño del sistema	10	7	10
Generación de calor del sistema en operación	9	9	5
Potencia calorífica	10	10	9
Eficiencia	10	10	7
Manipulación de señal de control	9	7	10
Elementos constitutivos adicionales	10	5	8
Disponibilidad en el mercado	9	10	10
Presupuesto	8	8	10
Elementos no dañinos para el medio ambiente	10	5	10
Seguridad	8	9	9
Facilidad de instalación/conexionado	10	7	10
<b>Ponderación absoluta</b>	1030	810	917
<b>Ponderación relativa</b>	100%	78.64%	89.03%



# Marco Metodológico – Matriz de Criterios Ponderados

*Evaluación de criterios del Módulo 5: Programación de la HMI*

Criterios	Peso (1-10)	Alternativa 1	Alternativa 2
		PC	HMI dedicada
Valor menor de licencias	9	10	7
Comunicación	10	9	10
Compatibilidad con PLC	10	8	10
Visualización de sinóptico e históricos	10	9	10
Entendimiento de interfaz de usuario	9	9	7
Facilidad de programación	9	9	8
Robustez	10	5	10
Tamaño de pantalla	9	7	9
Facilidad de visualización	10	8	10
Almacenamiento de datos	9	9	7



# Marco Metodológico – Solución Final

- **Módulo 1: Readecuación de la cabina**

Reemplazar la cabina anterior de plástico por una cabina de acero inoxidable 204, material aislante un revestimiento de lana de vidrio, incorporación de ventilador para distribución forzada del calor generado.

- **Módulo 2: Mejora de la uniformidad del sistema de calefacción**

Para cálculos de las cargas se utilizará los criterios de diseño y procedimientos descritos en los manuales de la ASHRAE, resistencia eléctrica de calefacción de tipo tubular en forma de “O”.

- **Módulo 3: Modificación del sistema de humidificación**

Se utilizará un humidificador de vapor frío de tipo ultrasónico (reemplazando el vaporizador instalado) de mediana capacidad con sus adaptaciones necesarias.

- **Módulo 4: Modificación del sistema de refrigeración**

Se utilizarán celdas de Peltier (reemplazando el sistema de refrigeración) con sus adecuaciones necesarias.

- **Módulo 5: Programación del Controlador**

Se utilizará un PLC como controlador principal, programado en lenguaje KOP. Generando un registro almacenado en un documento PDF.

- **Módulo 6: Programación de la HMI**

Se diseñará una HMI utilizando una topología punto a punto y Ethernet como protocolo de comunicación.



# Cálculos y Diseño – Dimensionamiento del espesor del aislante

Guía de las propiedades de rendimiento de los materiales aislantes

Características del material aislante:

- Temperatura de operación
- Conductividad Térmica
- Permeabilidad al vapor de agua
- Resistencia
- Seguridad

$$x = \left( \frac{k}{h} \right) \left[ \frac{(T_{m\acute{a}x} - T_{superf})}{(T_{superf} - T_{amb})} \right]$$

$$x = \left( \frac{0,042}{5} \right) \left[ \frac{(80 - 30)}{(30 - 21,9)} \right] m$$

$$x = 0.0519 m = 5.19 cm$$

Valores considerados:

$$k = 0,042 \frac{W}{(mK)} \text{ para las temperaturas se consideran los valores de } T_{m\acute{a}xCM} = 80 \text{ } ^\circ C, T_{amb} = DB_{0,4\%} = 21,9 \text{ } ^\circ C, T_{superf} = 30 \text{ } ^\circ C.$$

Table 8 Performance Property Guide for Insulation Materials

	Calcium Silicate	Flexible Elastomeric	Mineral Fiber	Cellular Glass	Cellular Polystyrene	Cellular Polyisocyanurate	Cellular Phenolic	Cellular Polyolefin
ASTM Standard	C533	C534	C547, C553, C612	C552	C578	C591	C1126	C1427
Type/grade listed	Type I	Type I Grade 1	Type IVB Category 1	Type I Grade 1	Type XIII	Type IV Grade 2	Type III	Type I Grade 1
Max. operating temperature, °C	649	104	649	427	74	150	125	93
Min. operating temperature, °C	60	-57	-18	-268	-183	-183	-179	-101
Min. compressive resistance, kPa	688 at 5%	N/S	N/S	45 at failure	138 at 10%	145 at 10%	124	N/S
Max. thermal conductivity, W/(m·K)								
-18°C mean	N/A	0.038	N/A	0.039	0.032	0.026	0.02	0.048
-4°C	N/A	N/S	0.034	N/S	0.034	N/S	N/S	N/S
24°C	N/A	0.040	0.035	0.045	0.037	0.026	0.02	0.050
93°C	0.065	N/A	0.043	0.058	N/A	0.035	0.04	N/A
204°C	0.079	N/A	0.061	0.084	N/A	N/A	N/A	N/A
316°C	0.095	N/A	0.091	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Maximum water vapor permeability, ng/(s·m·Pa)	N/S	0.15	N/A	0.007	2.2	5.8	0.72	0.07
Maximum liquid water absorption, % volume	N/S	0.2	N/S	0.5	0.5 (24 h)	0.5 (24 h)	0.43	0.2
Maximum water vapor sorption, % mass	N/S	N/S	5	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
Maximum surface burning characteristics	0/0	25/50	25/50	5/0	N/S	N/S	25/50	N/S

Note: N/A = not applicable. N/S = not stated (i.e., ASTM standards do not include a value for this property). Properties not stated do not necessarily indicate that material is not appropriate for a given application depending on that property. See previous editions of ASHRAE Handbook—Fundamentals for data on historical insulation materials.

Nota. Figura tomada de (ASHRAE Handbook, 2021, Capítulo 23, tabla 8)



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Cálculos y Diseño – Sistema de Calefacción

Según ASHRAE la carga neta de calefacción de compone de :

- La carga por transmisión
- La carga de producto
- La carga interna
- La carga por infiltración de aire

$$q = UA\Delta t$$

Valores considerados:

$$U_{fibvidrio} = 0,709 \text{ W}/(m^2K)$$

$$A_{externa} = 0,75 \text{ m}^2$$

$$\Delta t = 73,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tipo de cargas de calefacción	Carga [W]
Carga por transmisión	91,39
Carga producto	-
Carga Interna	-
Carga por infiltración de aire	0,651
Pre – Total	92,041
Factor de seguridad (10%)	9,20
<b>Total</b>	<b>101,24</b>

## **Selección de Componente:**

Resistencia blindada tubular en forma de “O” de acero inoxidable AISI 204, con borne BM4-P de M4 con una potencia nominal de 150 W, con tensión nominal de 120 VAC. El diámetro de la resistencia es de 22cm y ha sido fabricada particularmente para el proyecto



# Cálculos y Diseño – Sistema de Refrigeración

Según ASHRAE la carga neta de refrigeración de compone de :

- La carga por transmisión
- La carga de producto
- La carga interna
  - Iluminación
  - Resistencia Eléctrica
- La carga por infiltración de aire
- La carga por equipo relacionado

$$q = UA\Delta t$$

Valores considerados:

$$U_{fibvidrio} = 0,709 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

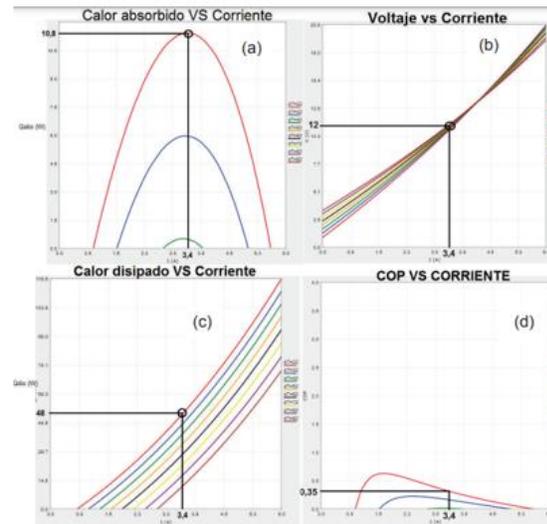
$$A_{exterior\_puerta} = 0,485 \text{ m}^2 \text{ y } A_{ventana} = 0,171 \text{ m}^2$$

$$\Delta t = 21,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

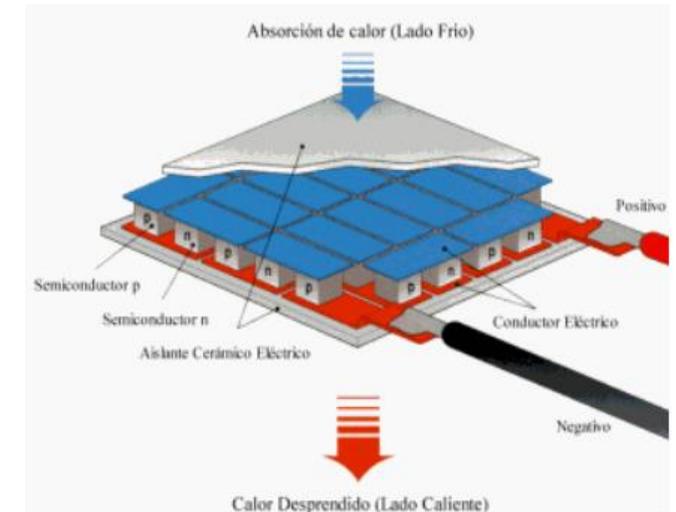
**Selección de Componente:**  
Celda Peltier TEC - 12706

Tipo de cargas de refrigeración	Carga [W]
Carga por transmisión	29,82
Carga producto	-
Carga Interna	120,74
Carga por infiltración de aire	259,52
Carga por equipo relacionado	24,15
Pre – Total	434,23
Factor de seguridad (10%)	43,423
<b>Total</b>	<b>477,653</b>

Gráficas de rendimiento para la celda TEC-12706



Nota. Figura tomada de (Godoy, 2016).



Nota. Figura tomada de (Moreno, 2020).



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Cálculos y Diseño – Sistema de Humidificación

Donde:

$H$  = Carga de humidificación, kg de agua/h

$\rho$  = densidad del aire a nivel del mar, 1,20 kg/m<sup>3</sup>

$V$  = Volumen interno de la cabina, m<sup>3</sup>

$R$  = Índice de funcionamiento, generalmente se considera un valor de 1

$W_i$  = Máximo porcentaje de HR en el interior deseado en la cabina, %HR

$W_o$  = HR promedio para la ciudad de Quito, %HR

$S$  = Contribución de fuentes internas de humedad, kg de agua/h

$L$  = Otras pérdidas de humedad, kg de agua/h

$$H = \rho VR(W_i - W_o) - S + L$$

$$H = 1,22 * 0,026 * 1 * (80 - 50)$$

$$H = 0,9516 \text{ kg de agua/h} \approx 1 \text{ L/h}$$

Valores considerados:

$V = 0,026 \text{ m}^3$ ,  $W_i = 80 \%HR$ ,  $W_o = 50 \%HR$  y  $S = L = 0 \text{ kg de agua/h}$  debido a que la cabina de la cámara se encuentra sellada herméticamente

## Selección de Componente:

El humidificador seleccionado es de tipo ultrasónico con una capacidad de nebulización de 1 L/h, como criterio de selección adicional es que el diámetro de las partículas de niebla debe ser menor o igual de 10 micras, para evitar daños en los instrumentos de calibración más sensibles



# Cálculos y Diseño – Sistema de Control

## Consideraciones:

- Rangos de temperatura y humedad deseados para la cámara climática:  
Temp: 0 °C a 80 °C ; Humd: 10 %HR a 90 %HR
- Técnicas de control adecuadas y disponibles en controlador
- Modos de funcionamiento: Manual y automático.

## Sensado



## Controlador



MiniPLC LOGO! de la marca Siemens

## Lógica de Control

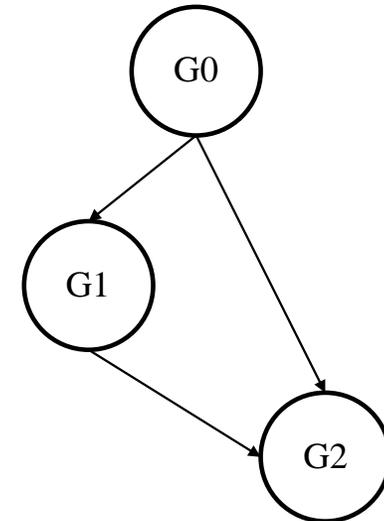


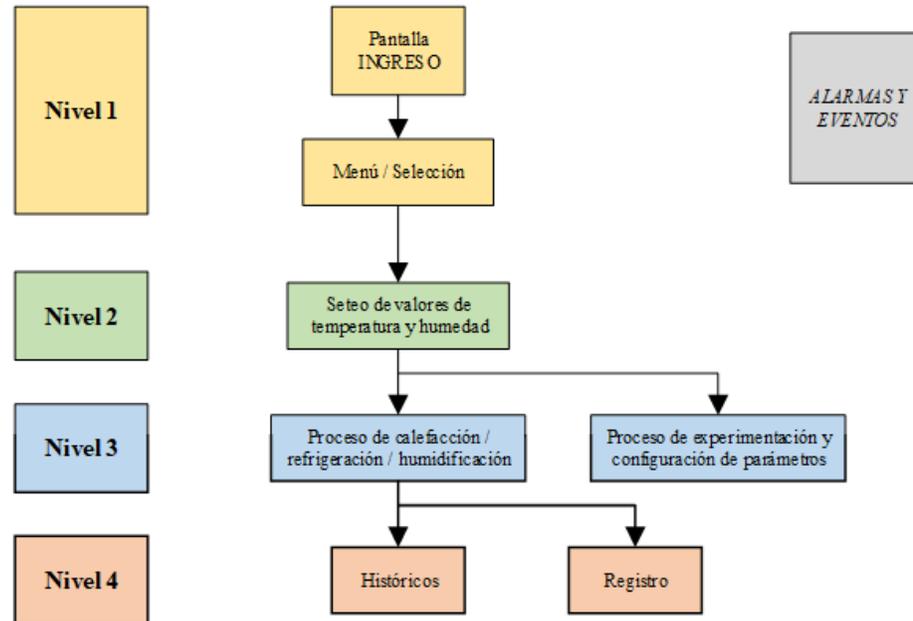
Diagrama de Grafcet Jerarquizado



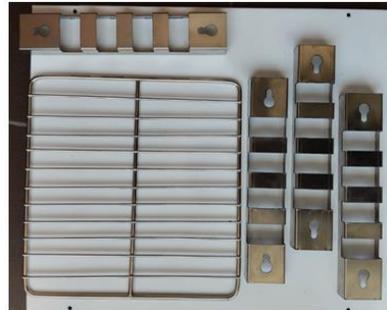
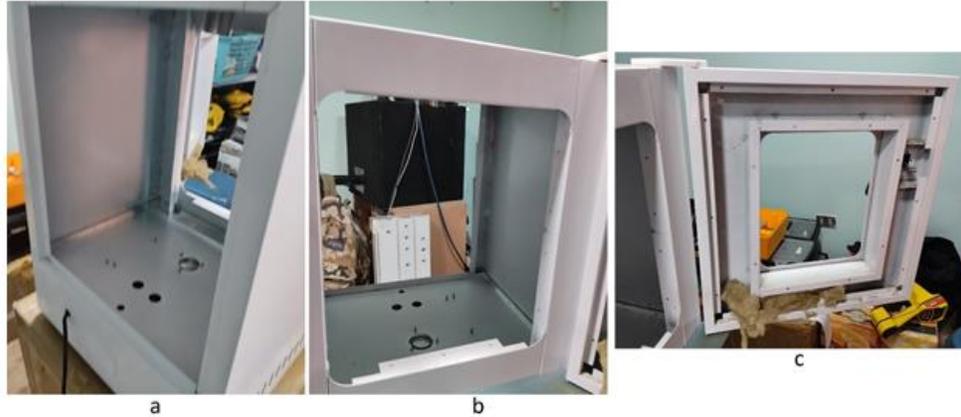
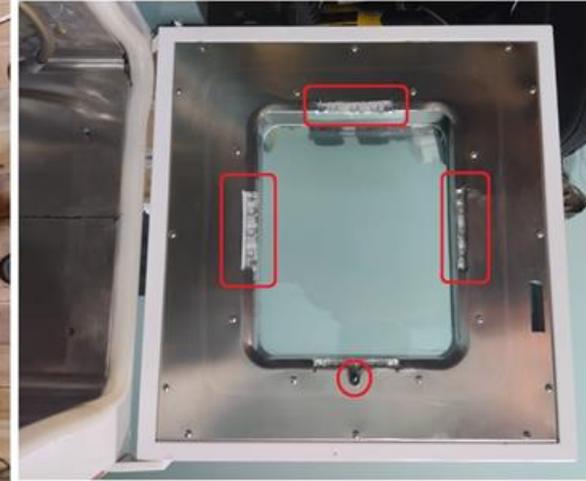
# Cálculos y Diseño – Diseño de la HMI

Cada pantalla diseñada de contar con una distribución adecuada de los elementos que la componen en el espacio disponible, para esto se consideran las directrices establecidas en la norma ISA 101, así como la guía GEDIS (Guía Ergonómica de Diseño de Interfaz de Supervisión) que proporciona ciertas pautas para la ubicación del título, hora, fecha, menú de navegación de la interfaz, gestión de alarmas y de una representación del proceso

Arquitectura de la HMI de la cámara climática



# Implementación – Adecuaciones Físicas

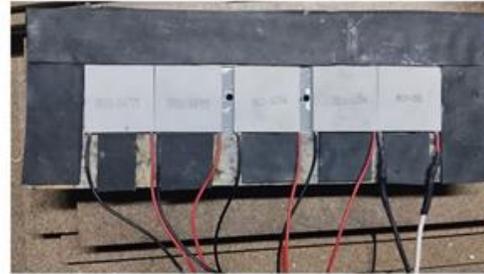


# Implementación – Sistemas de Calefacción, Refrigeración y Humidificación

*Calefacción*



*Refrigeración*



*Humidificación*



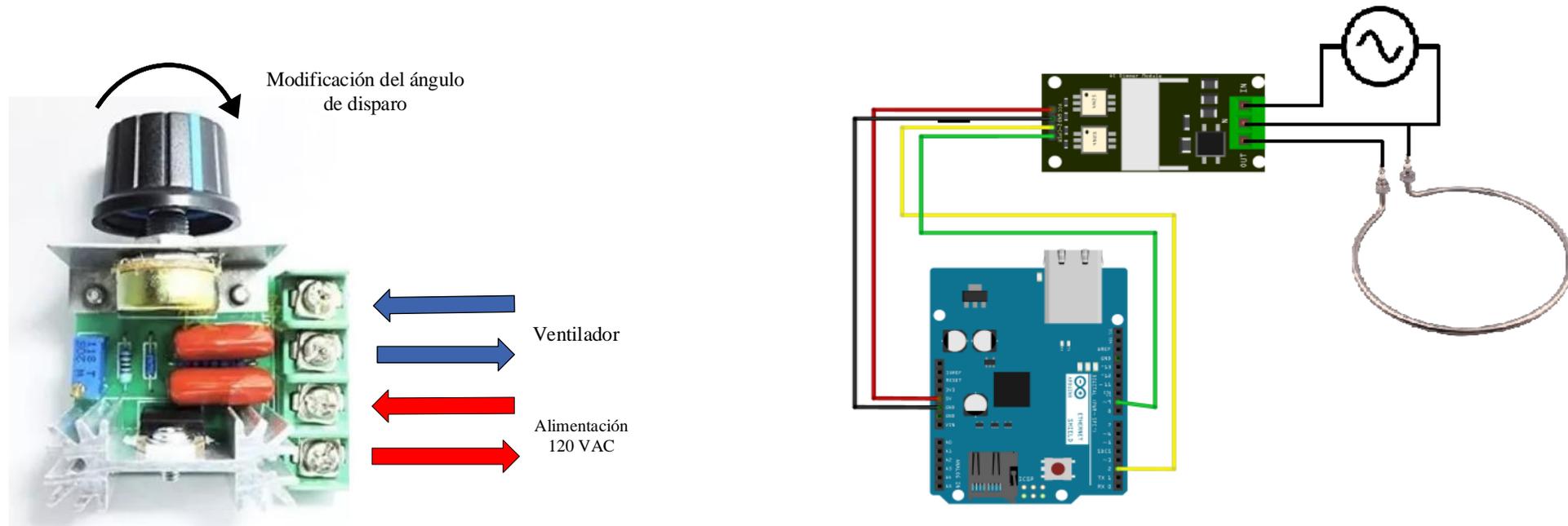
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Implementación – Módulos auxiliares para pruebas

Para las pruebas preliminares se mantuvo constante el valor del voltaje AC aplicado al ventilador (estableciéndose como un valor de mezcla adecuada de aire) y se varía el voltaje AC aplicado a la resistencia eléctrica calefactora

## Módulos Utilizados:

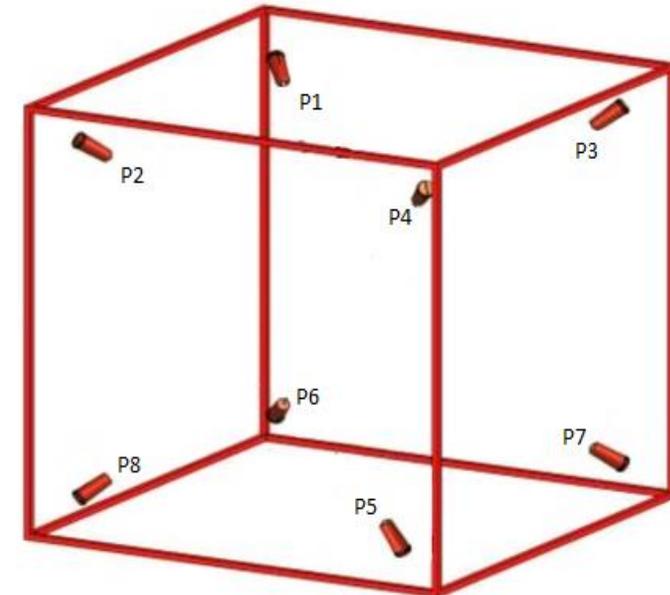
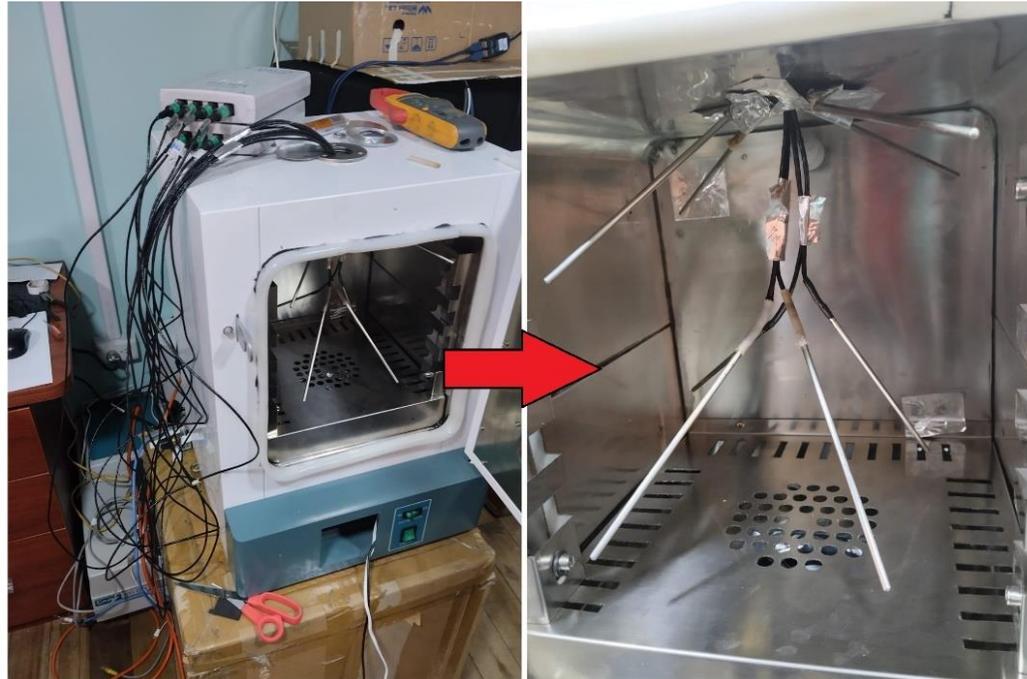
- Dimmer para el establecimiento de velocidad de mezcla del ventilador comandado por modificación de ángulo de disparo.
- Dimmer para control de voltaje AC en la resistencia eléctrica calefactora comandado por señal PWM.



# Implementación – Identificación de la Planta

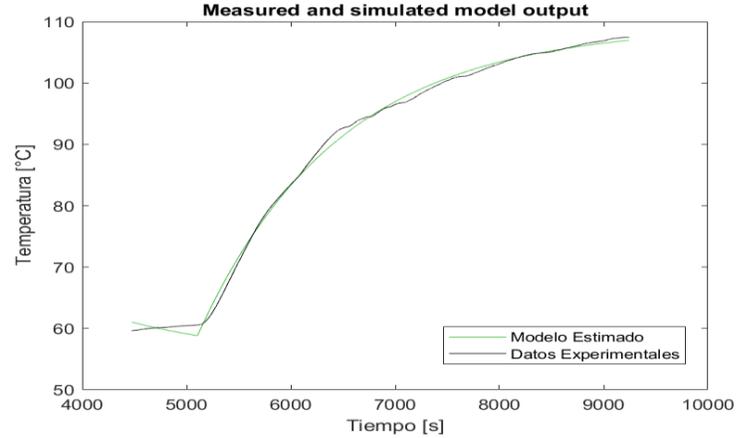
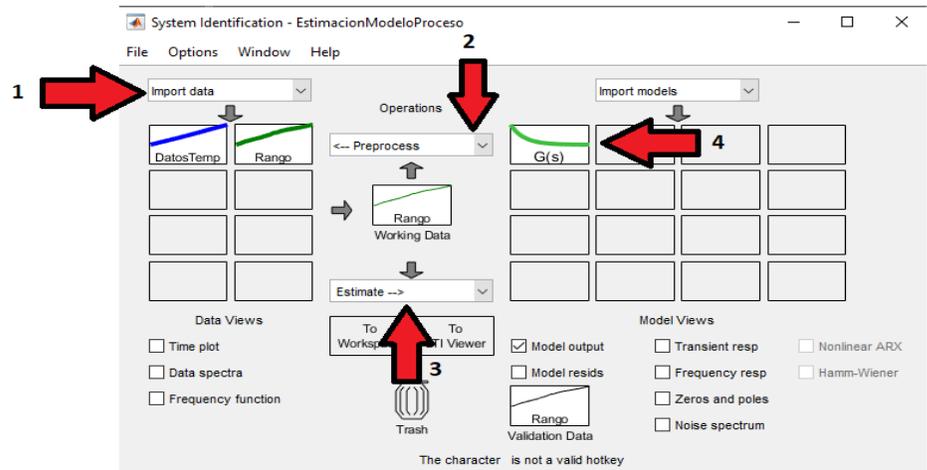
## Consideraciones:

- Se establecieron como valores de prueba de escalón a los correspondientes al 30%, 50% y 70% de la capacidad de la resistencia calefactora.
- Uso de datalogger profesionales para calibración y caracterización:
  - Datalogger PICO PT-104: Resolución (0,001 °C) y precisión (0,015 °C), sensores: PT100
  - Datalogger de 8 canales: Resolución (0,01 °C) y precisión (0,01 °C), sensores: SHT30

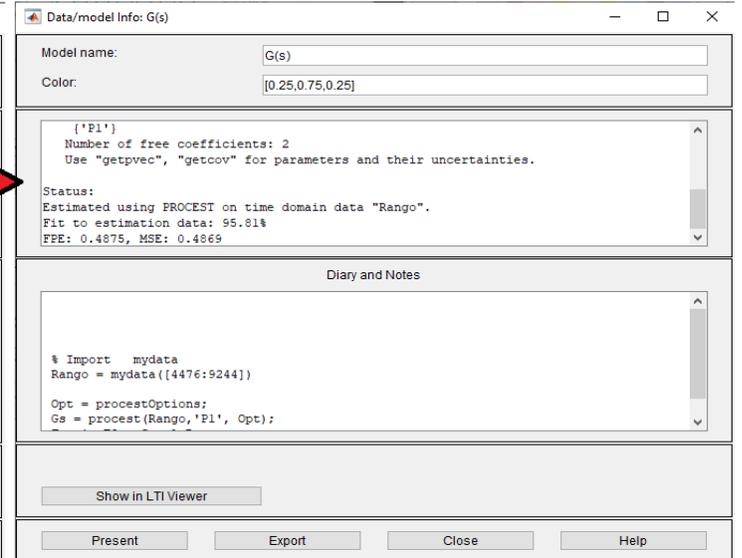
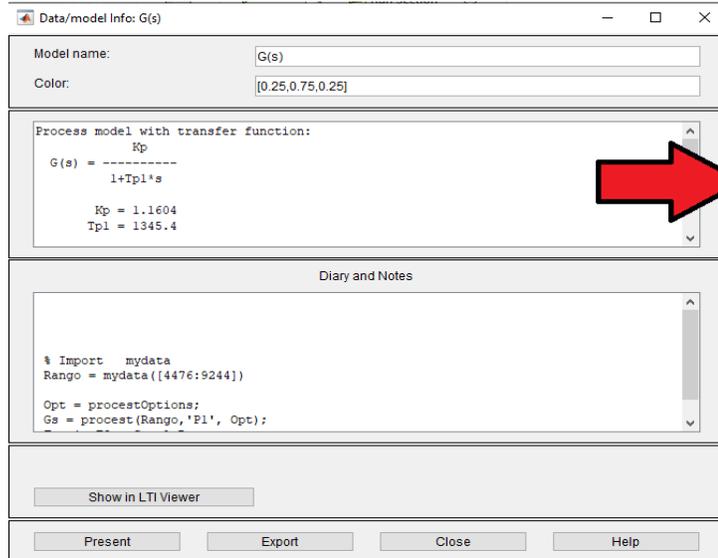
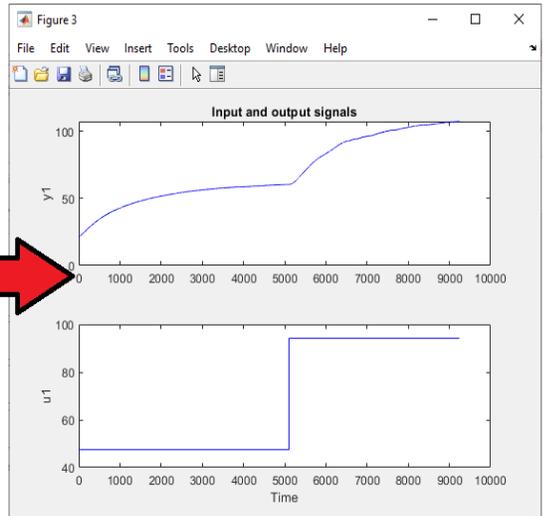
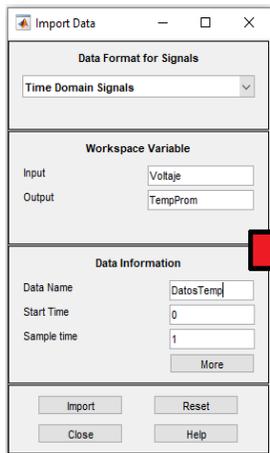


# Implementación – Función de Transferencia

- Modelamiento matemático a partir de datos experimentales
- Uso de herramienta Ident / System Identification de MatLab

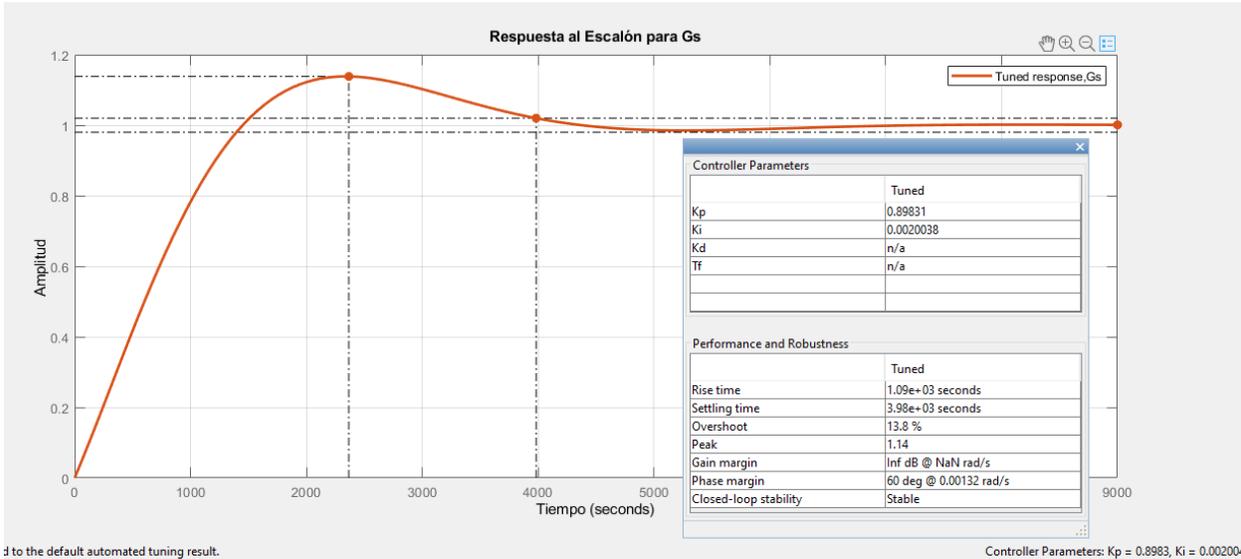


$$G(s) = \frac{1,1604}{1 + 1345,4s}$$



# Implementación – Diseño de Controlador y Sintonización

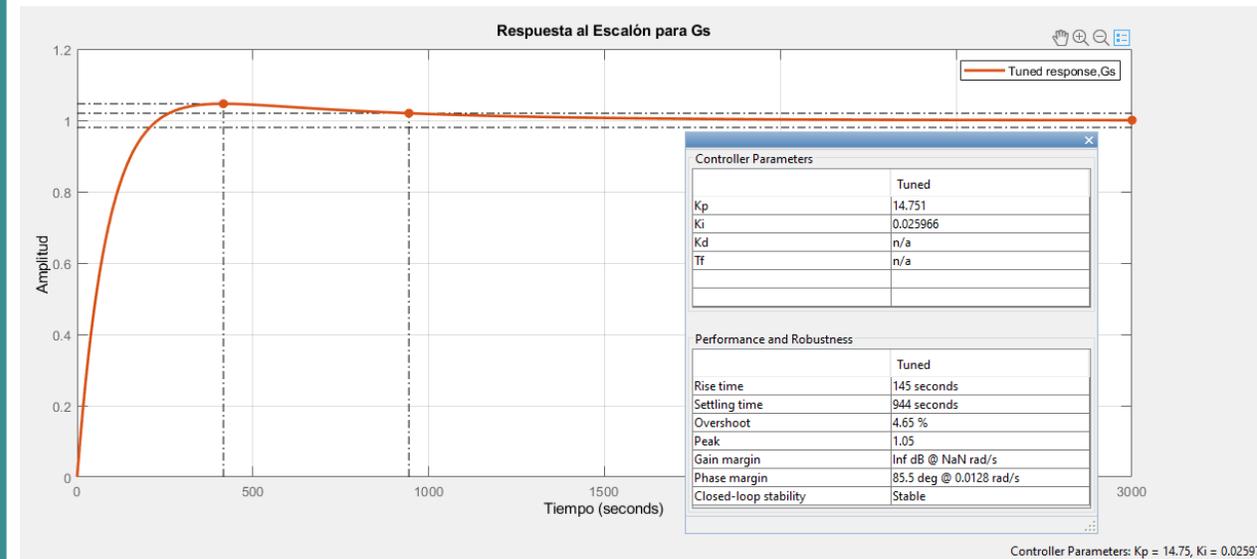
## Controlador



$$G_C(s) = K_P + \frac{K_i}{s}$$
$$G_C(s) = 0,898 + \frac{0,002}{s}$$

- Uso de herramienta PIDTuner de MatLab

## Sintonización

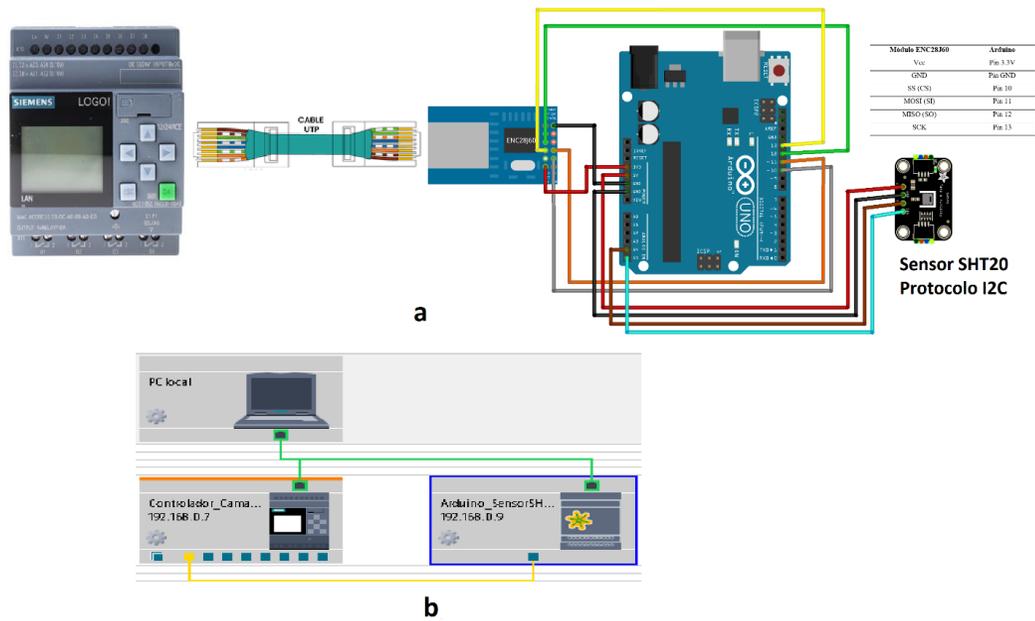


$$K_p = 14,75$$

$$K_i = 0,026$$

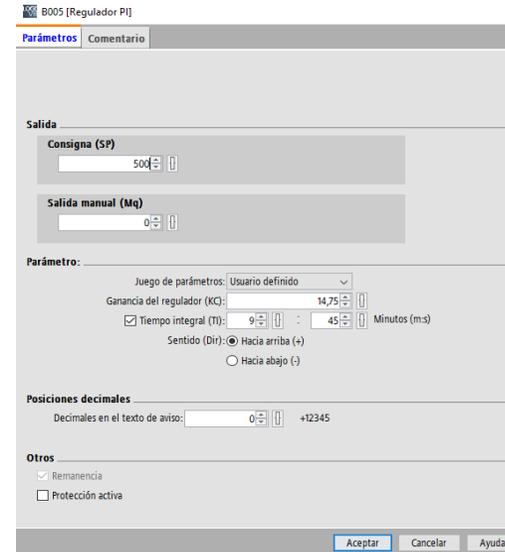
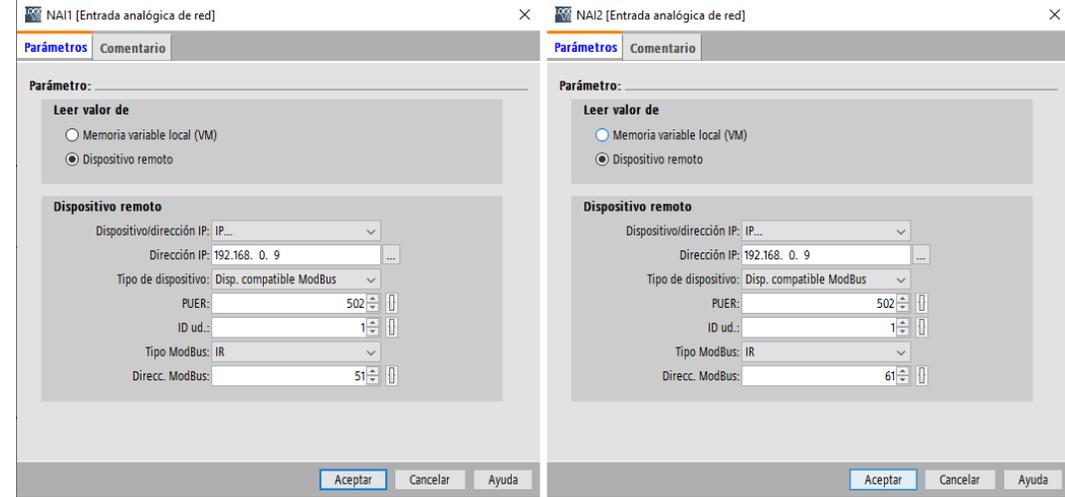


# Implementación – Programación MiniPLC LOGO!



## Consideraciones:

- Protocolo Modbus TCP/IP
- Controlador PI
- Salida PWM
- Controles: ON/OFF y PI



# Implementación – Programación HMI



**METASDELECUADOR CIA. LTDA.**  
Laboratorio de Temperatura y Humedad

### Cámara Climática

Name:

Password:

To customized site  
 Keep me logged on

Información / Contactos 000.000.000.000  
yyyy-MM-dd



### Seteo de Puntos de Calibración

Falla cables Falla Ventilador Falla PLC Falla Sensor Temp Alta

Condiciones Ambientales  
Temp:  °C  
Humid:  % RH

Selección de Modo de Funcionamiento:  Manual  Automático

Seteo de Temperaturas

Valores Predefinidos:

Puntos de Calibración:

Temperature:  °C  
Humid:  % RH

000.000.000.000  
yyyy-MM-dd



### Monitoreo de Proceso

000.000.000.000  
yyyy-MM-dd

Falla cables Falla Ventilador Falla PLC Falla Sensor Temp Alta

Iluminación Interna:

Temperatura:  °C  
Humedad:  % RH

Set Point:  °C  
Variable de Proceso:  °C

Modo de Funcionamiento:  Manual  Automático

Temperatura: 0 to 80 °C scale  
Humedad: 20 to 90 % RH scale

000.000.000.000  
yyyy-MM-dd



### Documentación Técnica

Falla cables Falla Ventilador Falla PLC Falla Sensor Temp Alta

Condiciones Ambientales  
Temp:  °C  
Humid:  % RH

Actuadores  
Ventilador:  %  
Resistencia:  %  
Cables Falla:  %  
Humid:  %

000.000.000.000  
yyyy-MM-dd

En la presente sección se muestra la documentación técnica de la cámara climática



### Configuración de Parámetros

000.000.000.000  
yyyy-MM-dd

Falla cables Falla Ventilador Falla PLC Falla Sensor Temp Alta

Laboratorio de Temperatura y Humedad

Temperatura:  °C  
Humedad:  % RH

Set Point:  °C  
Variable de Proceso:  °C

Condiciones Ambientales  
Temp:  °C  
Humid:  % RH

Actuadores  
Ventilador:  %  
Resistencia:  %  
Cables Falla:  %  
Humid:  %

000.000.000.000  
yyyy-MM-dd



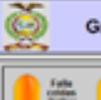
### Gráfico de Históricos - Temperatura

Falla cables Falla Ventilador Falla PLC Falla Sensor Temp Alta

Condiciones Ambientales  
Temp:  °C  
Humid:  % RH

Actuadores  
Ventilador:  %  
Resistencia:  %  
Cables Falla:  %  
Humid:  %

000.000.000.000  
yyyy-MM-dd



### Gráfico de Históricos - Humedad

Falla cables Falla Ventilador Falla PLC Falla Sensor Temp Alta

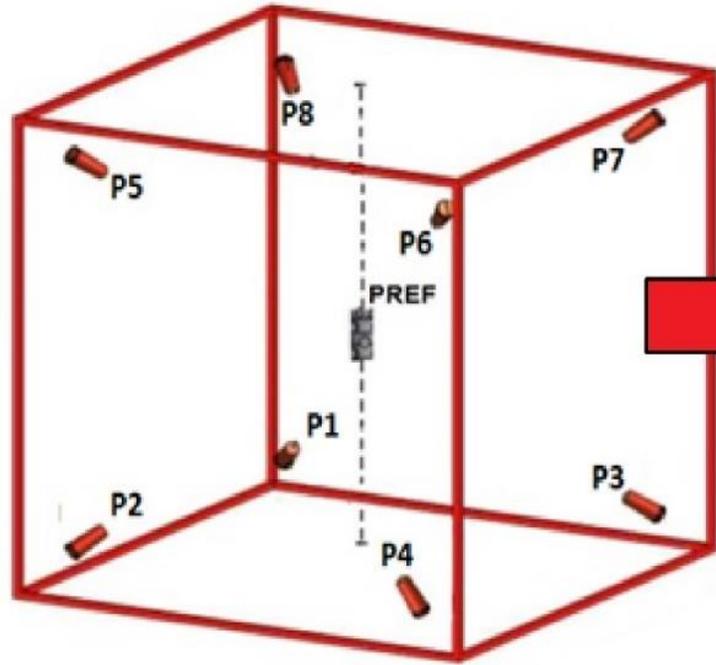
Condiciones Ambientales  
Temp:  °C  
Humid:  % RH

Actuadores  
Ventilador:  %  
Resistencia:  %  
Cables Falla:  %  
Humid:  %

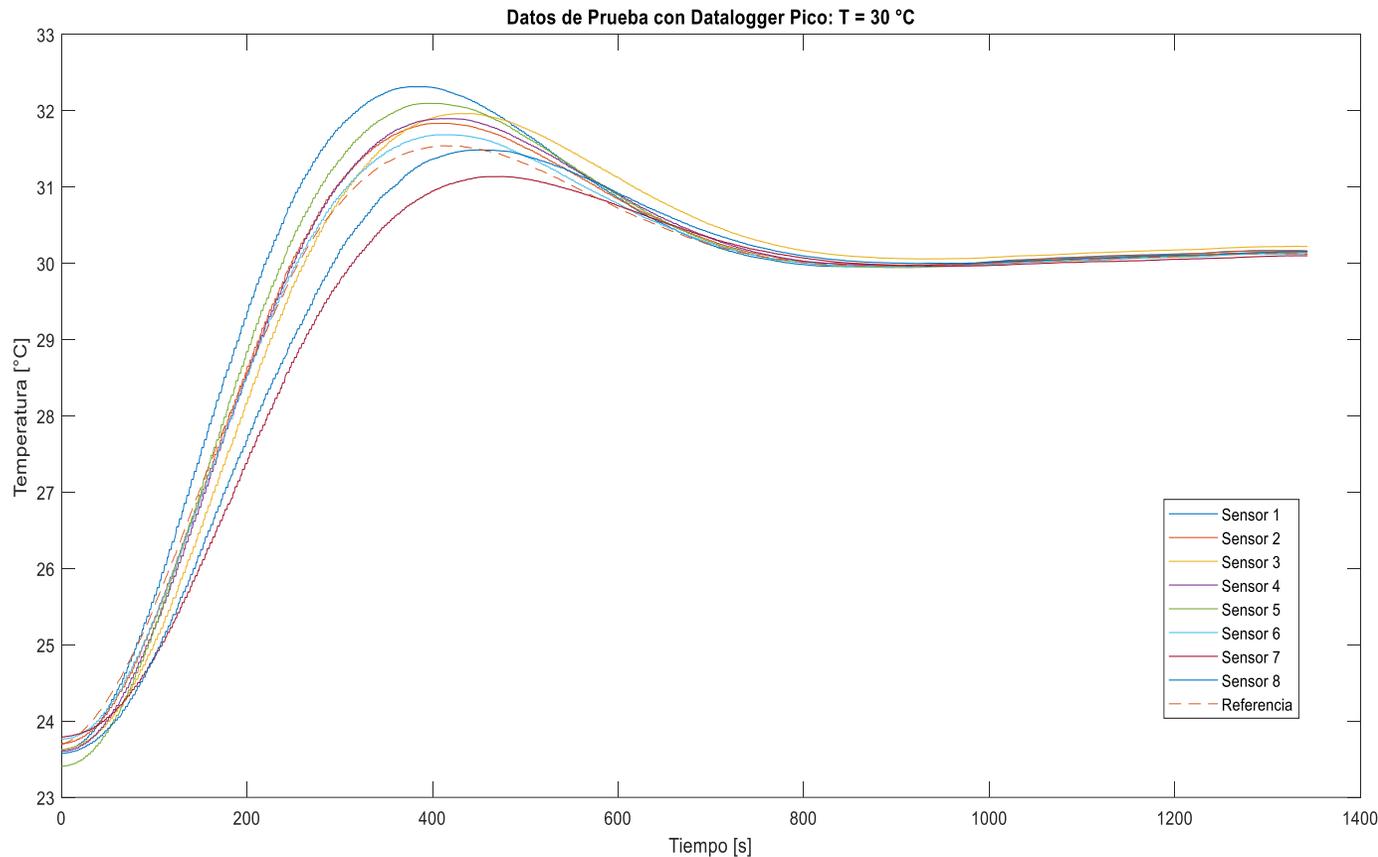
000.000.000.000  
yyyy-MM-dd



# Resultados – Temperatura: Adquisición de Datos



# Resultados – Temperatura: T = 30 °C



**Uniformidad: error = 0,28%**

Diferencia de las temperaturas promedio de cada sensor con respecto a la referencia para una temperatura de establecimiento de T = 30 °C

Sref-S1	Sref-S2	Sref-S3	Sref-S4	Sref-S5	Sref-S6	Sref-S7	Sref-S8	Sref-S1
0,03	0,027	0,084	0,01	0,005	0,009	0,032	0,016	0,03
<b>Resultado</b>								
<b>Máxima Diferencia</b>	0,084							
<b>Set Point [°C]</b>	30							
<b>Límite Sup [°C]</b>	30,084							
<b>Límite Inf [°C]</b>	29,916							

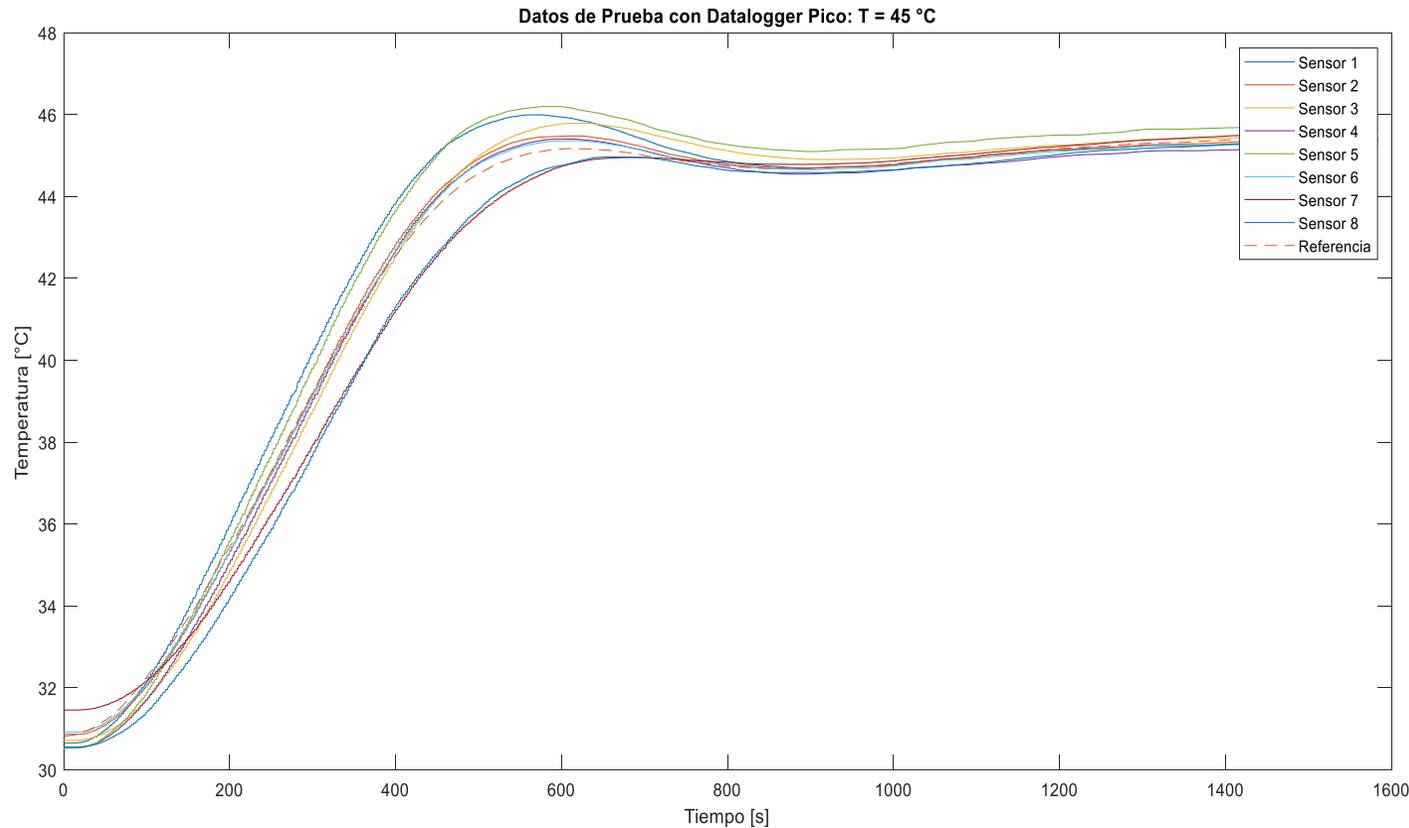
**Estabilidad: error = 0,64%**

Diferencia de las temperaturas máximas y mínimas de cada sensor para una temperatura de establecimiento de T = 30 °C

Ubicación	Máximo	Mínimo	Diferencia Máx-Mín
Sensor 1	30,167	29,974	0,193
Sensor 2	30,168	29,981	0,187
Sensor 3	30,223	30,058	0,165
Sensor 4	30,152	29,973	0,179
Sensor 5	30,135	29,95	0,185
Sensor 6	30,123	29,957	0,166
Sensor 7	30,099	29,963	0,136
Sensor 8	30,156	29,999	0,157
Referencia	30,129	29,967	0,162
<b>Resultado</b>			
<b>Máxima Diferencia</b>	0,193		
<b>Set Point [°C]</b>	30		
<b>Límite Sup [°C]</b>	30,193		
<b>Límite Inf [°C]</b>	29,807		



# Resultados – Temperatura: T = 45 °C



**Uniformidad: error = 0,53%**

Diferencia de las temperaturas promedio de cada sensor con respecto a la referencia para una temperatura de establecimiento de T = 45 °C

Sref-S1	Sref-S2	Sref-S3	Sref-S4	Sref-S5	Sref-S6	Sref-S7	Sref-S8
0,056	0,037	0,098	0,202	0,239	0,073	0,080	0,134
<b>Resultado</b>							
<b>Máxima Diferencia</b>		0,239					
<b>Set Point [°C]</b>		45					
<b>Límite Sup [°C]</b>		45,239					
<b>Límite Inf [°C]</b>		44,761					

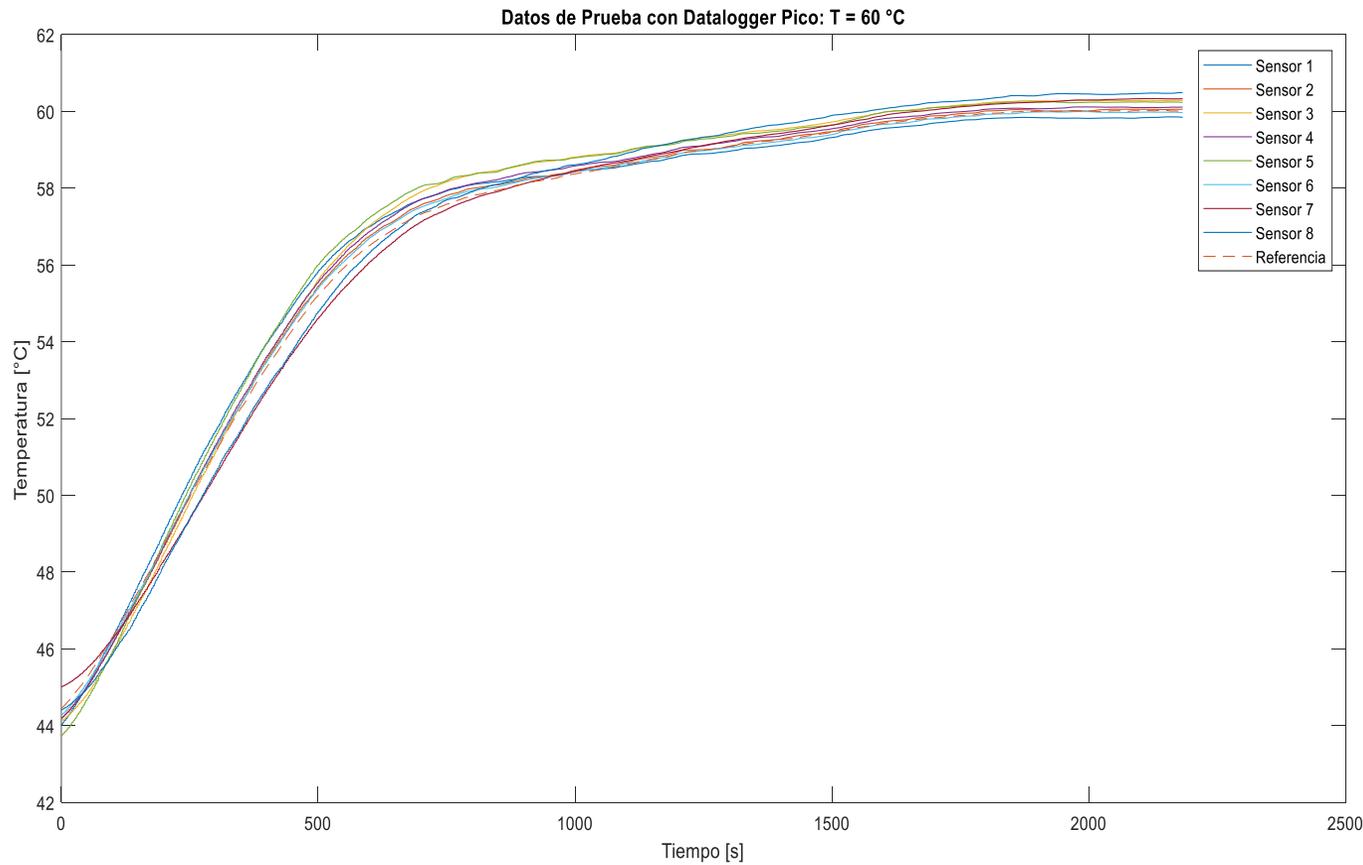
**Estabilidad: error = 1,91%**

Diferencia de las temperaturas máximas y mínimas de cada sensor para una temperatura de establecimiento de T = 45 °C

Ubicación	Máximo	Mínimo	Diferencia Máx-Mín
Sensor 1	45,424	44,703	0,721
Sensor 2	45,467	44,696	0,771
Sensor 3	45,584	44,903	0,681
Sensor 4	45,288	44,559	0,729
Sensor 5	45,727	45	0,727
Sensor 6	45,427	44,662	0,765
Sensor 7	45,647	44,788	0,859
Sensor 8	45,4	44,583	0,817
Referencia	45,53	44,702	0,828
<b>Resultado</b>			
<b>Máxima Diferencia</b>		0,859	
<b>Set Point [°C]</b>		45	
<b>Límite Sup [°C]</b>		45,859	
<b>Límite Inf [°C]</b>		44,141	



# Resultados – Temperatura: T = 60 °C



**Uniformidad: error = 0,71%**

Diferencia de las temperaturas promedio de cada sensor con respecto a la referencia para una temperatura de establecimiento de T = 60 °C

Sref-S1	Sref-S2	Sref-S3	Sref-S4	Sref-S5	Sref-S6	Sref-S7	Sref-S8
0,161	0,036	0,273	0,095	0,24	0,029	0,269	0,427
Resultado							
<b>Máxima Diferencia</b>		0,427					
<b>Set Point [°C]</b>		60					
<b>Límite Sup [°C]</b>		60,427					
<b>Límite Inf [°C]</b>		59,573					

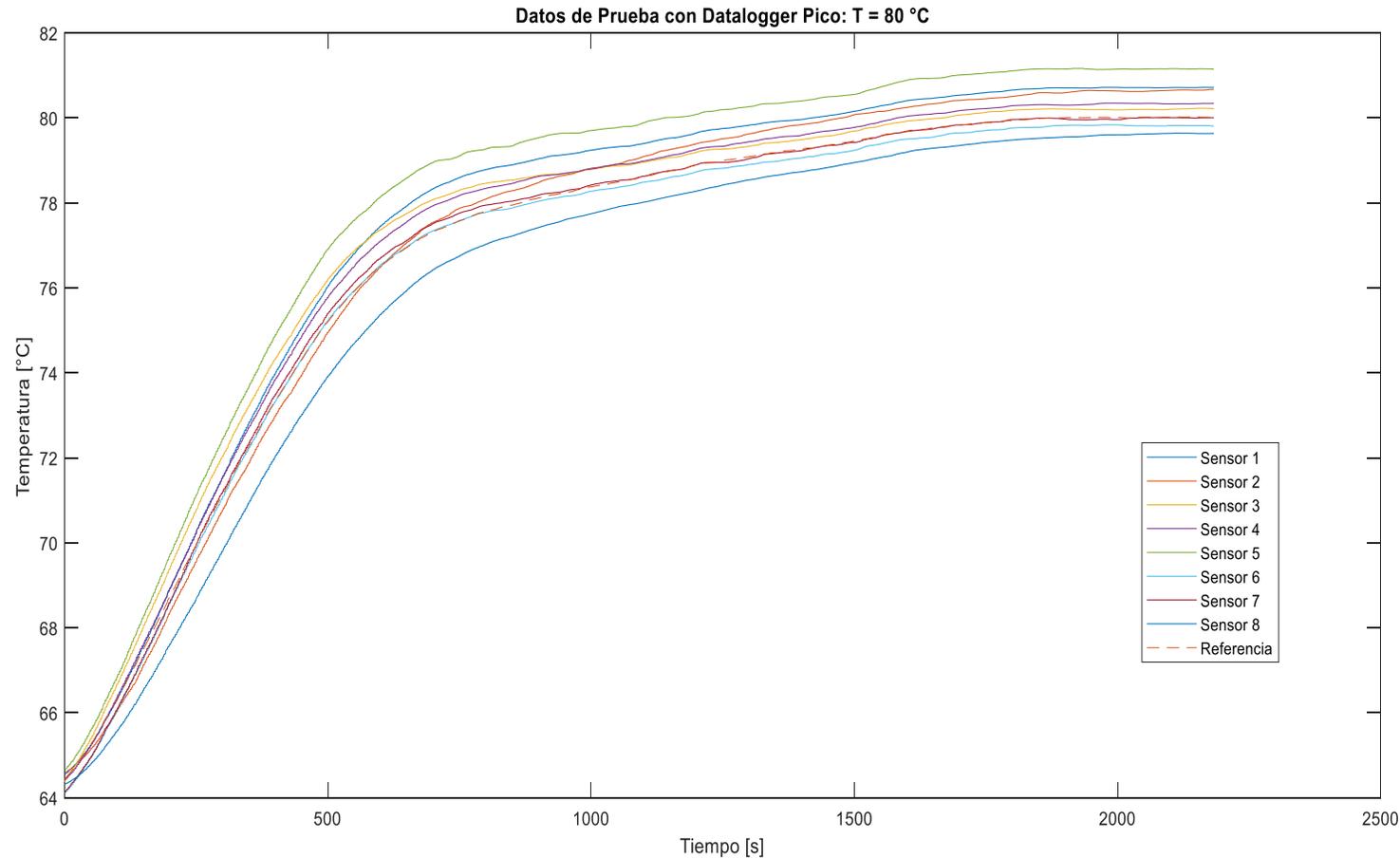
**Estabilidad: error = 0,44%**

Diferencia de las temperaturas máximas y mínimas de cada sensor para una temperatura de establecimiento de T = 60 °C

Ubicación	Máximo	Mínimo	Diferencia Máx-Mín
Sensor 1	59,859	59,71	0,149
Sensor 2	60,058	59,891	0,167
Sensor 3	60,289	60,116	0,173
Sensor 4	60,117	59,958	0,159
Sensor 5	60,253	60,111	0,142
Sensor 6	59,997	59,815	0,182
Sensor 7	60,336	60,071	0,265
Sensor 8	60,491	60,25	0,241
Referencia	60,026	59,852	0,174
Resultado			
<b>Máxima Diferencia</b>		0,265	
<b>Set Point [°C]</b>		60	
<b>Límite Sup [°C]</b>		60,265	
<b>Límite Inf [°C]</b>		59,735	



# Resultados – Temperatura: T = 80 °C



**Uniformidad: error = 1,43%**

Diferencia de las temperaturas promedio de cada sensor con respecto a la referencia para una temperatura de establecimiento de T = 80 °C

Sref-S1	Sref-S2	Sref-S3	Sref-S4	Sref-S5	Sref-S6	Sref-S7	Sref-S8
0,702	0,614	0,200	0,322	1,145	0,190	0,017	0,420
Resultado							
<b>Máxima Diferencia</b>		1,145					
<b>Set Point [°C]</b>		80					
<b>Límite Sup [°C]</b>		81,145					
<b>Límite Inf [°C]</b>		78,855					

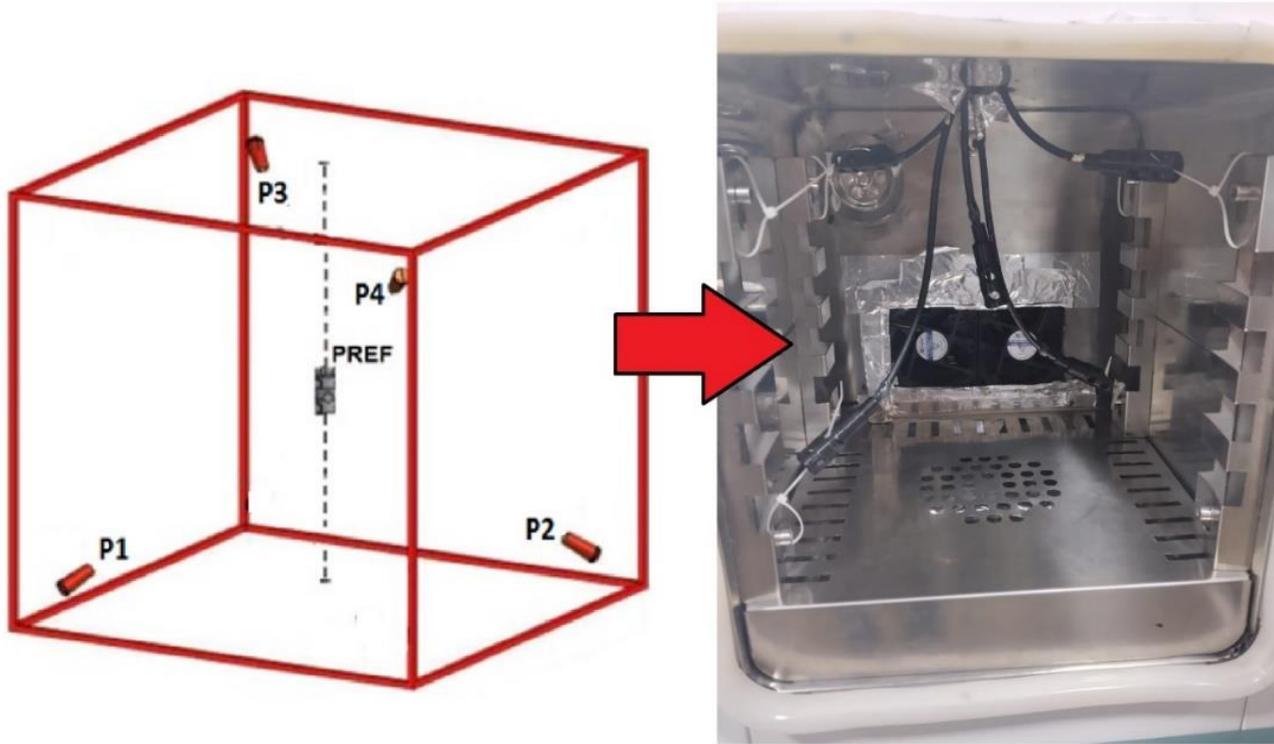
**Estabilidad: error = 0,23%**

Diferencia de las temperaturas máximas y mínimas de cada sensor para una temperatura de establecimiento de T = 80 °C

Ubicación	Máximo	Mínimo	Diferencia Máx-Mín
Sensor 1	80,719	80,635	0,084
Sensor 2	80,671	80,488	0,183
Sensor 3	80,228	80,173	0,055
Sensor 4	80,347	80,271	0,076
Sensor 5	81,163	81,098	0,065
Sensor 6	79,837	79,752	0,085
Sensor 7	80,008	79,955	0,053
Sensor 8	79,641	79,476	0,165
Referencia	80,027	79,937	0,09
Resultado			
<b>Máxima Diferencia</b>	0,183		
<b>Set Point [°C]</b>	80		
<b>Límite Sup [°C]</b>	80,183		
<b>Límite Inf [°C]</b>	79,817		

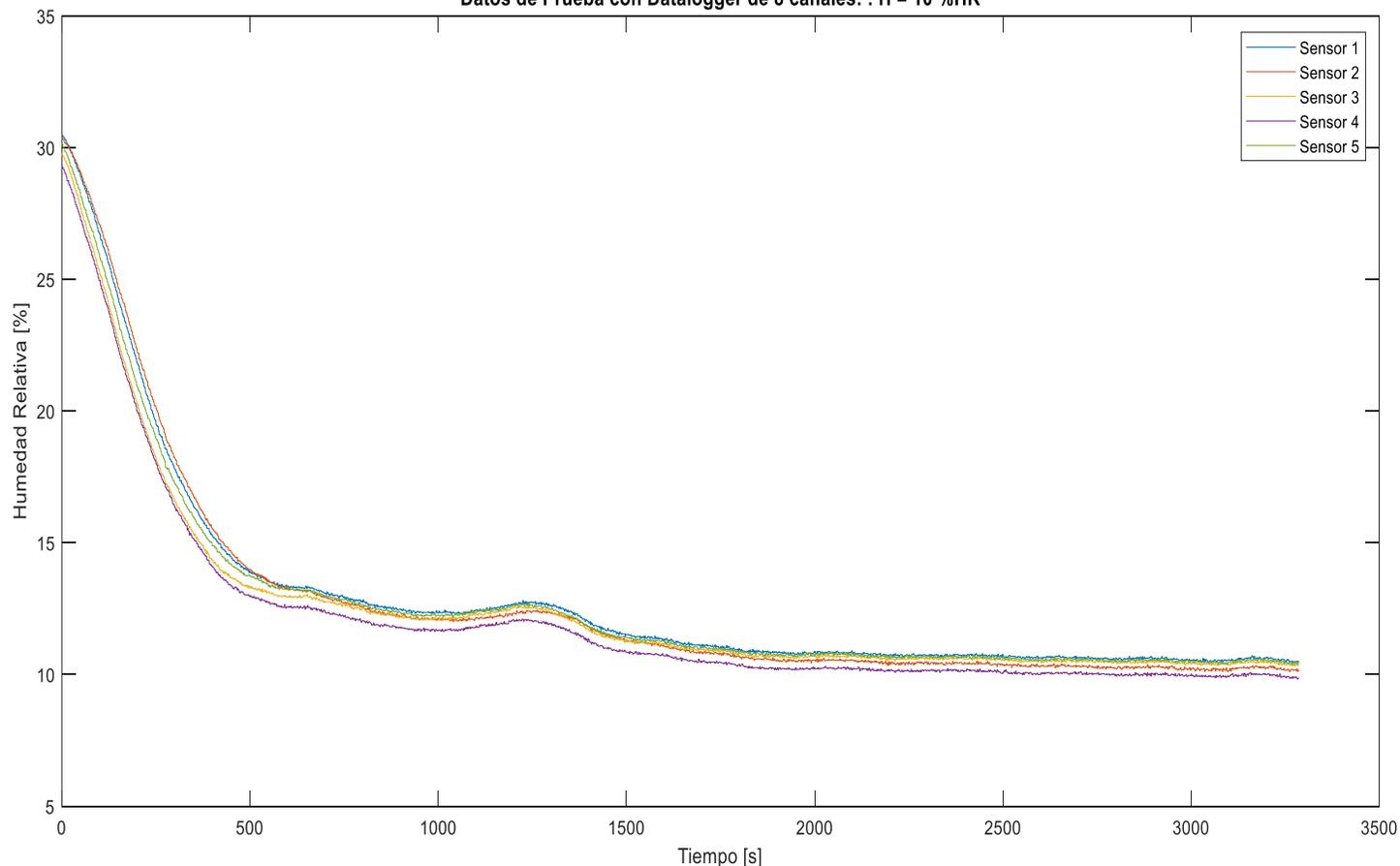


# Resultados – Humedad: Adquisición de datos



# Resultados – Humedad: H = 10 %HR

Datos de Prueba con Datalogger de 8 canales: : H = 10 %HR



## Uniformidad: error = 6,01%

Diferencia de las humedades promedio de cada sensor con respecto a la referencia para un valor de humedad de establecimiento de H = 10 %HR

Sref-S1	Sref-S2	Sref-S3	Sref-S4
0,161	0,021	0,179	0,601
<b>Resultado</b>			
<b>Máxima Diferencia</b>		0,601	
<b>Set Point [%HR]</b>		10	
<b>Límite Sup [%HR]</b>		10,601	
<b>Límite Inf [%HR]</b>		9,399	

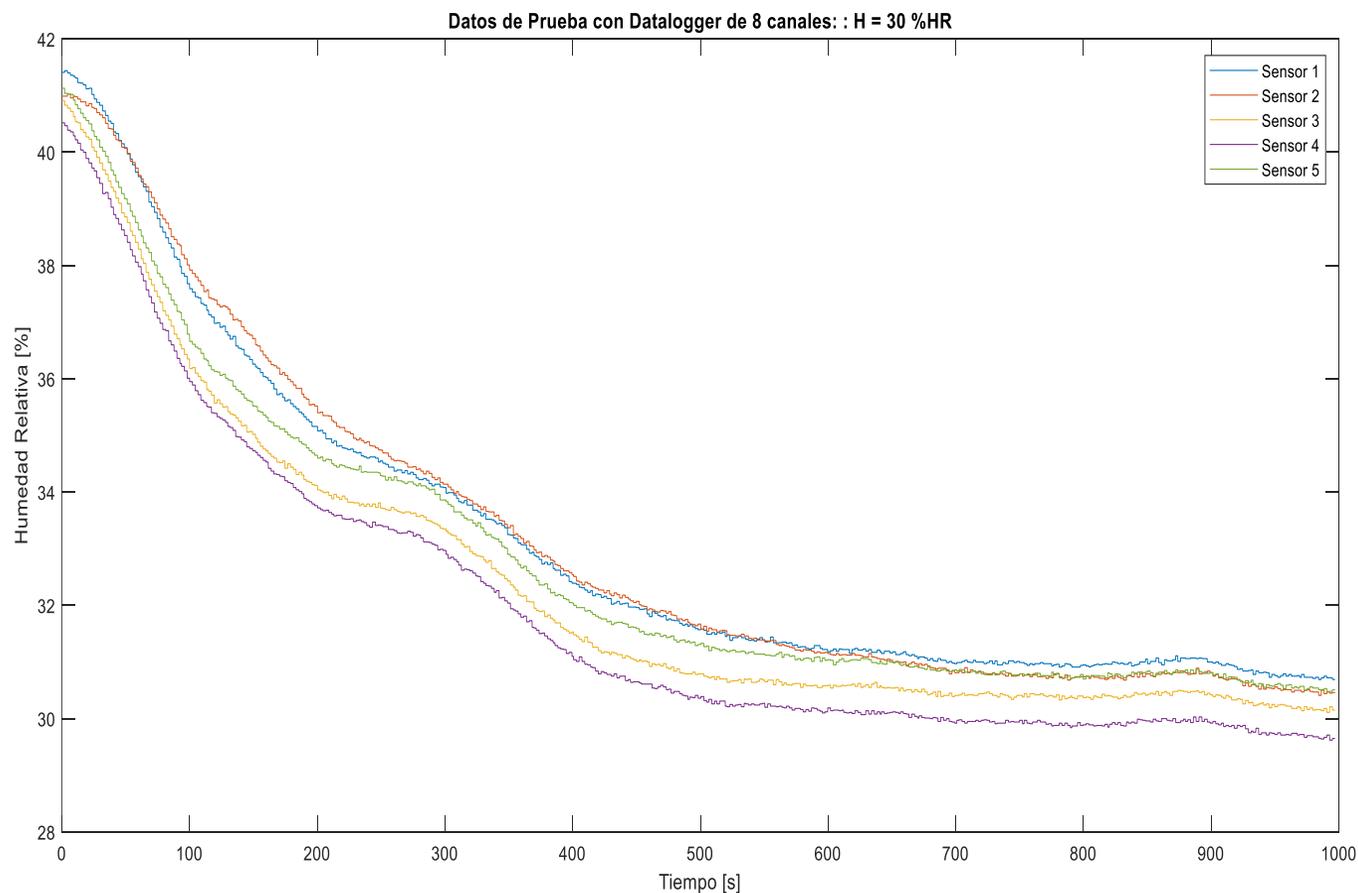
## Estabilidad: error = 8,8%

Diferencia de las humedades máximas y mínimas de cada sensor para un valor de humedad de establecimiento de H = 10 %HR

Ubicación	Máximo	Mínimo	Diferencia Máx-Mín
Sensor 1	11,26	10,43	0,83
Sensor 2	10,99	10,11	0,88
Sensor 3	11,05	10,31	0,74
Sensor 4	10,67	9,83	0,84
Referencia	11,17	10,37	0,8
<b>Resultado</b>			
<b>Máxima Diferencia</b>	0,88		
<b>Set Point [%HR]</b>	10		
<b>Límite Sup [%HR]</b>	10,88		
<b>Límite Inf [%HR]</b>	9,12		



# Resultados – Humedad: H = 30 %HR



## Uniformidad: error = 2,88%

Diferencia de las humedades promedio de cada sensor con respecto a la referencia para un valor de humedad de establecimiento de H = 30 %HR

Sref-S1	Sref-S2	Sref-S3	Sref-S4
0,344	0,341	0,455	0,863
Resultado			
<b>Máxima Diferencia</b>		0,863	
<b>Set Point [%HR]</b>		30	
<b>Límite Sup [%HR]</b>		30,863	
<b>Límite Inf [%HR]</b>		29,137	

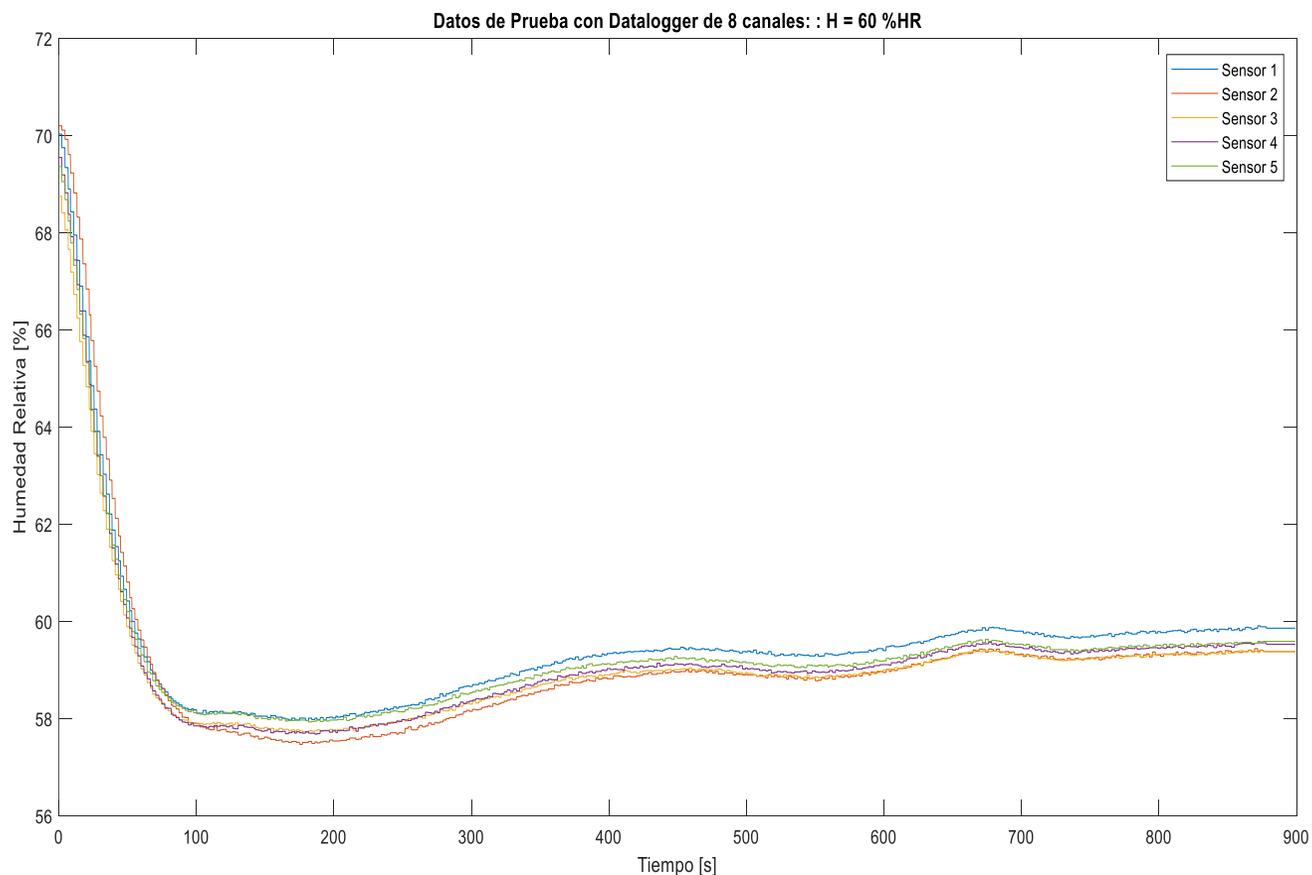
## Estabilidad: error = 1,87%

Diferencia de las humedades máximas y mínimas de cada sensor para un valor de humedad de establecimiento de H = 30 %HR

Ubicación	Máximo	Mínimo	Diferencia Máx-Mín
Sensor 1	31,25	30,69	0,56
Sensor 2	30,59	30,41	0,18
Sensor 3	30,05	29,62	0,43
Sensor 4	29,89	29,62	0,27
Referencia	30,97	30,48	0,49
Resultado			
<b>Máxima Diferencia</b>	0,56		
<b>Set Point [%HR]</b>	30		
<b>Límite Sup [%HR]</b>	30,56		
<b>Límite Inf [%HR]</b>	29,44		



# Resultados – Humedad: H = 60 %HR



## Uniformidad: error = 0,38%

Diferencia de las humedades promedio de cada sensor con respecto a la referencia para un valor de humedad de establecimiento de H = 60 %HR

Sref-S1	Sref-S2	Sref-S3	Sref-S4
0,202	0,177	0,225	0,122
Resultado			
<b>Máxima Diferencia</b>	0,225		
<b>Set Point [%HR]</b>	60		
<b>Límite Sup [%HR]</b>	60,225		
<b>Límite Inf [%HR]</b>	59,775		

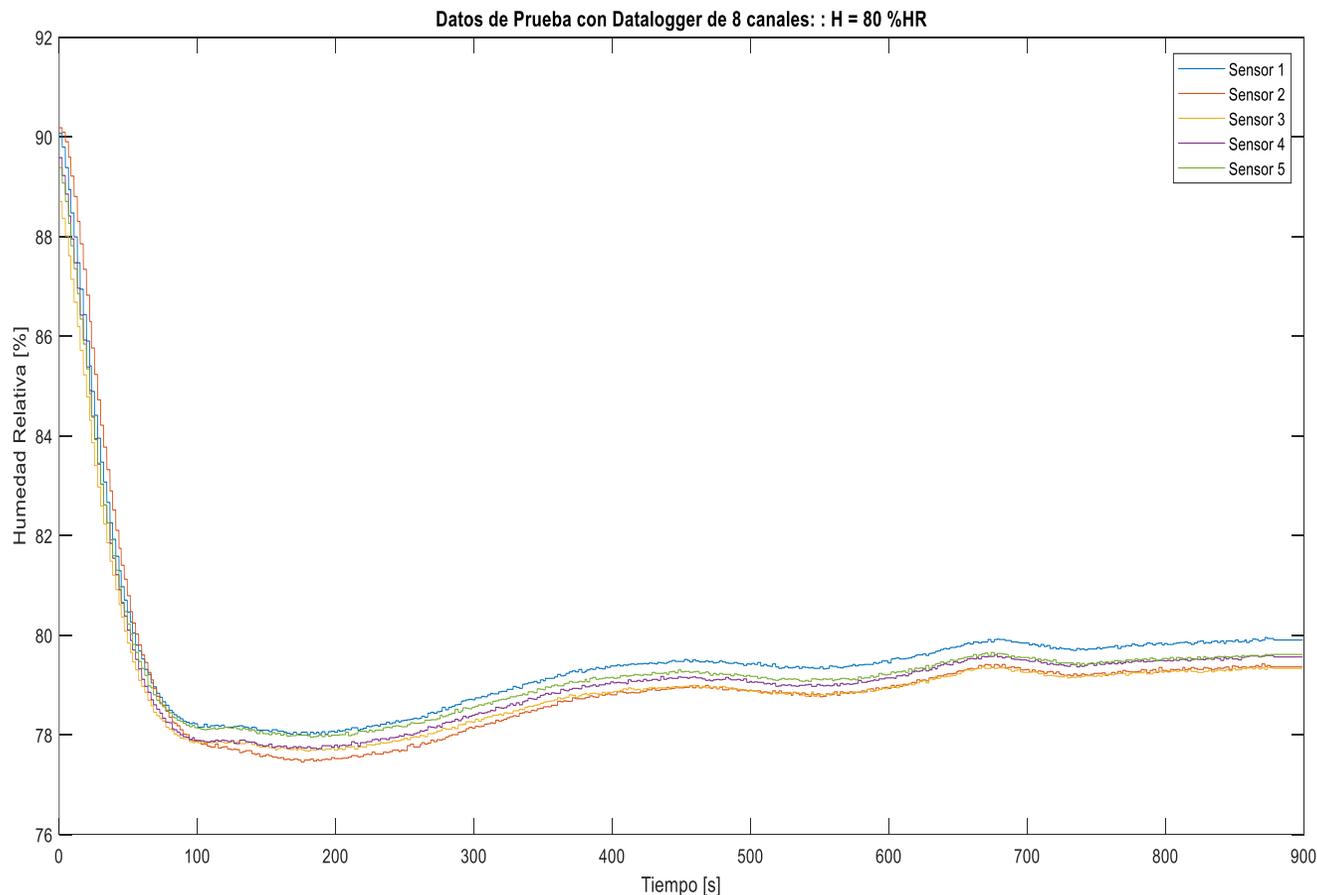
## Estabilidad: error = 3,28%

Diferencia de las humedades máximas y mínimas de cada sensor para un valor de humedad de establecimiento de H = 60 %HR

Ubicación	Máximo	Mínimo	Diferencia Máx-Mín
Sensor 1	59,91	57,96	1,95
Sensor 2	59,44	57,47	1,97
Sensor 3	59,41	57,72	1,69
Sensor 4	59,57	57,68	1,89
Referencia	59,63	57,93	1,7
Resultado			
<b>Máxima Diferencia</b>	1,97		
<b>Set Point [%HR]</b>	60		
<b>Límite Sup [%HR]</b>	61,97		
<b>Límite Inf [%HR]</b>	58,03		



# Resultados – Humedad: H = 80 %HR



## Uniformidad: error = 0,14%

Diferencia de las humedades promedio de cada sensor con respecto a la referencia para un valor de humedad de establecimiento de H = 80 %HR

Sref-S1	Sref-S2	Sref-S3	Sref-S4
80,01	80,05	80,05	80,16
Resultado			
<b>Máxima Diferencia</b>	0,11		
<b>Set Point [%HR]</b>	80		
<b>Límite Sup [%HR]</b>	80,11		
<b>Límite Inf [%HR]</b>	79,89		

## Estabilidad: error = 0,89%

Diferencia de las humedades máximas y mínimas de cada sensor para un valor de humedad de establecimiento de H = 80 %HR

Ubicación	Máximo	Mínimo	Diferencia Máx-Mín
Sensor 1	80,18	79,96	0,22
Sensor 2	80,21	79,88	0,33
Sensor 3	80,36	79,65	0,71
Sensor 4	80,41	80,01	0,4
Referencia	80,29	80,01	0,28
Resultado			
<b>Máxima Diferencia</b>	0,71		
<b>Set Point [%HR]</b>	80		
<b>Límite Sup [%HR]</b>	80,71		
<b>Límite Inf [%HR]</b>	79,29		



# Resultados – Evaluación de la HMI

Indicadores de evaluación para la interfaz HMI implementada en el proyecto con sus respectivos pesos

N°	Indicador	Peso [%]
1	Arquitectura	10
2	Distribución de pantallas	10
3	Navegación	10
4	Uso efectivo del color	10
5	Uso de fuentes e información textual	10
6	Estatus de los equipos y eventos del proceso	10
7	Información y valores del proceso	10
8	Gráficos de tendencias y tablas	10
9	Comando y entradas de datos	10
10	Gestión de alarmas	10
TOTAL		100

Subindicadores de evaluación para la interfaz HMI implementada en el proyecto con sus respectivos pesos

N°	Indicador	Subindicador	Peso [%]
1	Arquitectura	Correspondencia con la planta	20
		Número de capas	50
		Existencia de mapa	30
2	Distribución de pantallas	Consistencia	25
		Densidad	25
		Simetría y balance	25
		Flujo de proceso	25
3	Navegación	Correspondencia con la arquitectura	35
		Accesibilidad	35
		Consistencia	30
4	Uso efectivo del color	Visibilidad	20
		Contraste con el fondo de las pantallas	20
		Número de colores utilizados	15
		Diferenciabilidad entre colores	15
		Uso de colores típicos	15
		Consistencia	15
		Número de fuentes utilizadas	10
		Tamaños de las fuentes utilizadas	15
		Visibilidad del texto	15
		Espacio entre textos	10
5	Uso de fuentes e información textual	Alineación	10
		Uso del énfasis	10
		Uso de acrónimos	10
		Color del texto	10
		Consistencia	10

6	Estatus de los equipos y eventos del proceso	Facilidad de reconocimiento	35
		Visibilidad del estado del equipo	35
		Consistencia	30
7	Información y valores del proceso	Visibilidad	20
		Ubicación de los valores representativos	20
		Distribución	20
		Agrupación de datos	20
8	Gráficos de tendencias y tablas	Consistencia	20
		Formato	15
		Visibilidad	20
9	Comando y entradas de datos	Ubicación	15
		Agrupación	20
		Flexibilidad de configuración	15
		Consistencia	15
10	Gestión de alarmas	Visibilidad	25
		Maniobrabilidad	25
		Retroalimentación	25
10	Gestión de alarmas	Consistencia	25
		Visibilidad	15
		Accesibilidad	15
		Ubicación de alarmas	15
		Informatividad de los textos de alarmas	15
		Visibilidad de alarmas en sinóptico	15
Facilidad de reconocimiento	15		
		Consistencia	10
TOTAL			100

Criterio de conformidad general basado en un rango de 1 a 5 del resultado de las evaluaciones particulares realizadas, en el cual un valor de 1 denota una característica de la interfaz con la cual el técnico de calibración no se siente conforme o siente que no es necesaria, mientras que un valor de 5 corresponde a una total conformidad con la característica implementada

- **Técnico de calibración 1:** Se obtuvo una calificación de 4,39/5
- **Técnico de calibración 2:** del cual se obtuvo una calificación de 4,56/5



# Conclusiones

- Se consiguió la automatización del sistema de generación de temperatura y humedad logrando repotenciar la cámara climática que se tenía en el laboratorio, modificando sus módulos individuales de generación y sus respectivos controladores con lo cual ya no se necesita una supervisión permanente ni una manipulación directa de dichos módulos, esto se lo realizó mediante la implementación de un controlador lógico programable dedicado para la industria como lo es el MiniPLC LOGO! de la marca Siemens el cual tiene como elemento de sensado y de retroalimentación a un sensor de temperatura/humedad SHT20 y como sistemas de generación de humedad a un humidificador de marca Holmes, para el sistema de refrigeración a un arreglo de 4 celdas Peltier y para el sistema de calefacción a una resistencia eléctrica de calefacción.
- Se logró disminuir el tiempo de estabilidad del medio isoterma generado para las diferentes temperaturas y humedades de establecimiento en un rango de 51,11 % hasta un 71,43 % del tiempo total resultante antes de la repotenciación de la cámara climática, esto se consiguió mediante el diseño y sintonización del controlador PI a través de las herramientas de análisis dedicado que ofrece el software MatLab cuyo diseño dependió de una identificación apropiada de la planta (comportamiento del volumen útil), de un acondicionamiento apropiado de la cabina y de la elección adecuada del material aislante. Además de esto, mediante el desarrollo de la interfaz HMI se pudieron agregar nuevas funcionalidades para una supervisión y control efectivo del proceso de generación y llevar una correcta documentación del tiempo de calibración total, la evaluación de la HMI diseñada realizada por los técnicos de calibración tiene como resultados 4,39/5 y 4,56/5 respectivamente, lo que equivale a un porcentaje de aceptación de 87,8 % para el técnico 1 y un porcentaje de aceptación del 91,2 % para el técnico 2.



# Conclusiones

- Se realizó una sustitución efectiva de los sistemas de refrigeración y humidificación antiguos que estaban constituidos por controladores dedicados individuales y que eran manejados de manera manual por un solo controlador en el cual están implementados las técnicas de control y la lógica adecuada para que cada subsistema pueda funcionar de manera automática con lo cual se optimiza el proceso de calibración en donde el técnico calibrador solamente cumple funciones de supervisor y registrador de datos. De la misma manera, a través de la repotenciación se optimizó el espacio que ocupaba la cámara climática, reduciendo las dimensiones de la cámara climática en un 75 % con respecto al alto, un 30 % con respecto al ancho y un 30 % con respecto a la profundidad.
- Se logró aumentar el alcance del rango de calibración mediante el aumento de la capacidad de calefacción de la resistencia eléctrica, reducción de la cabina interna y el cambio de material aislante, así como la integración de las técnicas de control adecuadas para cada uno de los subsistemas repotenciados en un solo controlador, con respecto a la temperatura se consiguió aumentar el alcance en un 25 %, mientras que con respecto a la humedad se consiguió aumentar el alcance en un 31,25 %.
- Se implementaron varias funcionalidades extras como la incorporación de fuentes de luz LED para alumbrar el interior de la cabina que puede ser encendida desde las opciones del HMI y desde el panel frontal, así como la incorporación de una mini cámara web la cual fue solicitada por los técnicos del laboratorio para poder obtener un respaldo en videograbaciones de la calibración de los instrumentos, con lo cual se asegura aún más la calidad del proceso de calibración brindado por la empresa



# Conclusiones

- Mediante la incorporación de la función de modificar individualmente la capacidad de funcionamiento de los actuadores como la resistencia calefactora, la potencia del ventilador en la base, la conexión o desconexión de las celdas Peltier y el ingreso de humedad al interior de la cabina, se puede seguir investigando en las formas alternativas de los procesos de generación para los métodos de calibración en temperatura y humedad relativa como por ejemplo, la relación entre la temperatura, punto de rocío, humedad relativa y presión de la masa de aire interno en el interior de la cabina.



# Trabajos Futuros

La competitividad con respecto al diseño de cámaras climáticas radica en la capacidad del sistema de generación de alcanzar los valores de temperaturas y humedades deseables lo más estable y uniformemente posibles, para esto se utilizan los diferentes mecanismos expuestos en capítulos anteriores implementados de manera modular, sin embargo, el módulo diferenciador el cual representa al cerebro que comanda el funcionamiento de la cámara climática es el controlador, en el presente proyecto se exploró la utilización de un PLC debido a las características deseadas de movilidad, robustez y confiabilidad en la generación de un medio isoterma, una de las mejoras que se propuso para una versión futura de la cámara es realizar el diseño de un sistema embebido basado en microcontroladores dedicados para temperatura, humedad, control de potencia AC, potencia DC, así como el manejo de periféricos de entrada y salida de diferentes protocolos de comunicación. Otra de las opciones propuestas que se expuso como mejora futura fue el diseño de la interfaz HMI mediante la plataforma SCADA Ignition la cual basa su funcionamiento en un servidor central que sirve datos a cada uno de los clientes conectados mediante red, pudiendo ser estos PLCs de cualquier marca así como cualquier base de datos sin ningún límite, sin embargo esta aplicación dependerá totalmente de rango de generación de temperatura , humedad y de las dimensiones internas de la cámara climática.



***GRACIAS POR SU ATENCIÓN***

