

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Diseño de equipo para calibrar termómetros"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Bryan Francisco Alava Zavala

Carlos Javier Villao Alejandro

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, a nuestros padres, compañeros y amigos de la institución que nos ayudaron y aconsejaron, a los docentes por su guía y colaboración en el proceso de elaboración del presente proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA


“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Bryan Francisco Alava Zavala

Carlos Javier Villao Alejandro

Ing. Víctor Guadalupe Echeverría

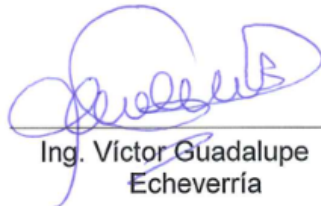
y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Carlos Villao Alejandro



Bryan Alava Zavala



Ing. Víctor Guadalupe
Echeverría

RESUMEN

Actualmente en el país existe una tendencia de las industrias de elaborar productos de mayor calidad, con el objetivo de competir con productos extranjeros, lo que obliga a que los procesos industriales cumplan normas estandarizadas, las cuales establecen procedimientos y requerimientos, entre ellos una adecuada calibración de los instrumentos de medición. En el país existen 8 laboratorios acreditados para realizar calibración de termómetros, los que resultan insuficientes para abastecer la creciente demanda de servicios de calibración.

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y construcción de un prototipo de calibrador de termómetros, partiendo de su diseño mecánico hasta su sistema de control. Para el diseño del equipo se utilizó la norma ISO 17025 y recomendaciones de Nordtest como principales fuentes. El equipo calibrador diseñado es compacto por lo que el sistema de refrigeración es mediante celdas Peltier y el sistema de calentamiento mediante resistencia eléctrica. El diseño contempla el uso de un controlador de temperatura, pero para su fabricación se utilizó un controlador mediante placa Arduino, por lo tanto, se debe diseñar la estructura de programación a detalle. El costo aproximado del equipo construido es de 302.50 dólares con una temperatura mínima de 20°C y máxima de 120°C. Se realiza curvas de calibración, estabilidad y homogeneidad mediante un termómetro calibrado con resolución de un grado centígrado de incertidumbre. El equipo tiene un peso de 7.5 Kg y se simuló el uso de un controlador mediante Arduino con pulsos de máxima potencia por periodos cortos de tiempo para alcanzar estabilidad evitando la inercia térmica.

Palabras Clave: Calibrador termómetro, Arduino, Homogeneidad, Estabilidad, Temperatura.

ABSTRACT

Currently in the country there is a tendency of the industries to produce higher quality products, with the objective of competing with foreign products, forcing industrial processes to comply with standardized standards, which establish procedures and requirements, including an adequate calibration of the measuring instruments. In the country there are 8 accredited laboratories to perform calibration of thermometers, which are insufficient to supply the growing demand for calibration services.

The project is focused in design and construction of a prototype thermometer calibrator. Beginning with mechanical design and then the control system. For the design of the equipment standard ISO 17025 and Nordtest recommendations were used as main sources. The calibrating equipment designed is compact, the cooling system is by Peltier cells and the heating system by electric resistance. The design contemplates the use of a temperature controller, an Arduino board was used as controller, therefore, the detailed programming structure should be designed. The approximate cost of the equipment constructed is of 302.50 dollars with a minimum temperature of 20 ° C and maximum of 120 ° C. Calibration, stability and homogeneity curves are performed using a calibrated thermometer with a resolution of one degree centigrade of uncertainty. The equipment has a weight of 7.5 kg and the use of a controller with Arduino with pulses of maximum power for short periods of time was simulated to achieve stability avoiding the thermal inertia.

Keywords: Thermometer Calibrator, Arduino, Homogeneity, Stability, Temperature.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	X
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Marco teórico	5
1.4 Alternativas de Solución	13
1.4.1 Baño fluidizado de arena.....	13
1.4.2 Baño líquido	14
1.4.3 Calibrador bloque seco.....	15
1.5 Matriz de decisión	16
1.5.1 Selección de mejor alternativa.	20
CAPÍTULO 2	21
2. Metodología de diseño.	21
2.1 Bases y consideraciones de diseño.....	21
2.2 Estrategia de diseño	22

2.3	Diseño detallado	28
2.3.1	Diseño de la cámara interior.....	28
2.3.2	Selección del fluido de trabajo.....	29
2.3.3	Selección del sistema de agitación.	30
2.3.4	Análisis de transferencia de calor.....	36
2.3.5	Selección del sistema de refrigeración	44
2.3.6	Selección del sistema de calentamiento.....	47
2.3.7	Requerimientos de potencia.....	48
2.3.8	Selección y diseño de controlador.....	49
2.3.9	Consideraciones de construcción.....	53
2.3.10	Estudios de repetibilidad y reproductibilidad (r&R)	55
CAPÍTULO 3		59
3.	Resultados.....	59
3.1	Construcción.	59
3.2	Análisis de costos.	60
3.3	Pruebas al equipo calibrador.	61
3.4	Pruebas de estabilidad.	63
3.5	Pruebas de homogeneidad.....	65
CAPÍTULO 4		67
4.	Discusión y conclusiones.....	67
4.1	Conclusiones	67
4.2	Recomendaciones	67
Bibliografía		69
Anexos		71

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
INEN	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
ONAC	Organismo Nacional de Acreditación de Colombia
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
ISO	International Organization for Standardization
IEC	International Electrotechnical Commission
ITS	International Temperature Scale
BIPB	Bureau International des Poids et Mesures
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
OAE	Organismo de Acreditación Ecuatoriano
CEM	Centro Español de Metrología
VIM	Vocabulario Internacional de Metrología
EURAMET	European Association of National Metrology Institutes
CENAM	Centro Nacional de Metrología
INDECOPI	Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y la Protección de la Propiedad Intelectual
RTD	Resistance temperature detector
CAD	Computer Aided Design
ICT S.L.	Instrumentación Científica Técnica, S.L.
R&r	Repetibilidad y reproducibilidad.

SIMBOLOGÍA

A	alcance
Kg	Kilogramo
T	Temperatura
cSt	centistokes
m	metro
s	segundo
mPa	milipascales
W	watts
°C	grados Celsius
k	conductividad térmica
h	coeficiente de transferencia de calor por convección
K	grados Kelvin
Nu	número de Nusselt
Re	número de Reynolds
Pr	número de Prandtl
μ	viscosidad dinámica
ν	viscosidad cinemática
ρ	densidad
V	voltios
Pa	Pascales
s	segundos
r	radio
D	diámetro
N	velocidad angular
ms	milisegundos
min	minutos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama causa-efecto	1
Figura 1.2 Partes de un calibrador de termómetro por comparación.....	7
Figura 1.3 Termómetro de resistencia de platino	8
Figura 1.4 Controlador industrial	9
Figura 1.5 Calibrador de bloque seco.....	10
Figura 1.6 Calibrador de baño líquido	11
Figura 1.7 Celda de punto triple del agua.....	12
Figura 1.8 Esquema de calibrador de Baño fluidizado de arena	13
Figura 1.9 Esquema de calibrador de baño líquido	15
Figura 1.10 Esquema de calibrador de bloque seco	16
Figura 2.1 Esquema de bases y consideraciones de diseño.....	21
Figura 2.2 Metodología de diseño para calibrador de baño líquido	22
Figura 2.3 Esquema de una celda de Peltier.....	25
Figura 2.4 Dimensionamiento de cámara interior en vista frontal.....	28
Figura 2.5 Descripción del procedimiento para diseño de cámara interior.	29
Figura 2.6 Tipos de impeler en función de la viscosidad y tipo de flujo	32
Figura 2.7 Dimensiones de un tanque agitado estándar	33
Figura 2.8 Patrón de flujo de un tanque agitado.....	35
Figura 2.9 Diagrama de energía del equipo	36
Figura 2.10 Esquema de sección de cámara interna	38
Figura 2.11 Representación de resistencias térmicas del modelo.....	38
Figura 2.12 Diagrama de bloques de sistema de calentamiento	50
Figura 2.13 Diagrama de bloques de sistema de refrigeración	51
Figura 2.14 Ventajas de un sistema controlado por Arduino	52
Figura 2.15 Diagrama de instalación de sistemas.	53
Figura 2.16 Diagrama de conexiones de los sistemas.	55
Figura 3.1 Diagrama de conexiones de un módulo relé	60
Figura 3.2 Curva de calibración de la sonda en la cámara interna.....	62
Figura 3.3 Estabilidad a 70 °C con entrada de 30 °C.	63
Figura 3.4 Estabilidad a 90 °C con entrada de 70 °C.	64

Figura 3.5 Diagrama de puntos de prueba para análisis de homogeneidad.	65
Figura A.0.1 Gráfico de factor de potencia según impeler y número de Reynolds.....	72
Figura A.0.2 Ficha técnica de aceite de silicona.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Puntos fijos de temperatura de la escala ITS-90	12
Tabla 1.2 Ponderación y puntaje de los factores de influencia.....	17
Tabla 1.3 Matriz de decisión.....	20
Tabla 2.1 Rango de temperatura de fluidos usados en calibradores de baño.....	24
Tabla 2.2 Matriz de decisión para fluido de trabajo	30
Tabla 2.3 Tipo de impeler en función del rango de viscosidad.....	31
Tabla 2.4 Ventajas y desventajas de sistema de refrigeración.....	45
Tabla 3.1 Detalle de costos de equipos y herramientas para calibrador.	61
Tabla 3.2 Resultado de las pruebas de estabilidad.	64
Tabla 3.3 Resultados de pruebas de homogeneidad con agitador.....	66
Tabla 3.4 Resultados de prueba de homogeneidad sin agitador.....	66
Tabla A.0.1 Encuesta de manufactura y minería 2015 C17	71

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Ensamble del Equipo

PLANO 2 Plano construcción placa superior

PLANO 3 Sistema de agitación

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

La ciudad de Guayaquil cuenta con 2 laboratorios acreditados para ofrecer servicios de calibración de termómetros industriales, cantidad insuficiente para cubrir la demanda de empresas dedicadas a la manufactura de productos que poseen sus instalaciones en las provincias de Guayas. Esta provincia posee 31.54% de empresas del sector de manufactura y minería en Ecuador. Los dos laboratorios deben abastecer también las provincias de Azuay, Manabí, 3 de las 4 provincias con la mayor cantidad de establecimientos industriales instalados como se muestra en la Tabla A.0.1 en Anexos (INEC, 2015). En Ecuador existen 450 empresas en el sector de Manufactura por cada laboratorio acreditado en calibración de termómetros, mientras que en Colombia esta cantidad se reduce a 306 establecimientos por cada laboratorio (ONAC, 2017). En consecuencia, la problemática principal encontrada es: no existen suficientes equipos de calibración de termómetros que cuenten con la acreditación nacional

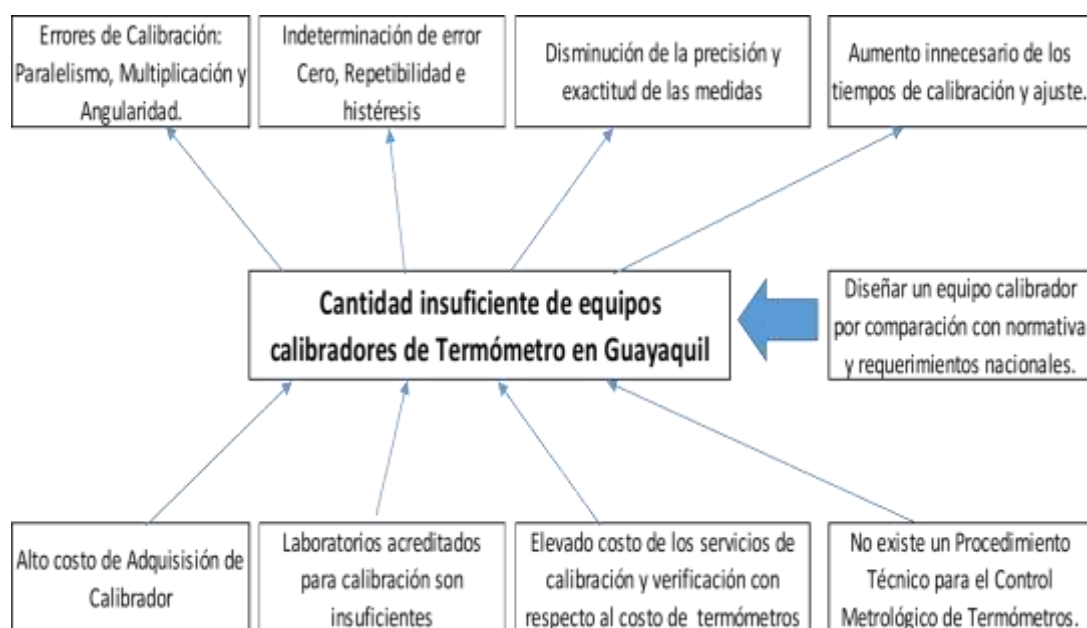


Figura 1.1 Diagrama causa-efecto

Fuente: Elaboración propia.

El costo de adquirir un calibrador de termómetros es alto, los termómetros patrón primario se basan en la Norma ITS 90 que define puntos fijos de temperatura como: punto triple y punto de fusión de sustancias puras. Estas calibraciones se realizan con celdas de punto fijo que utilizan sustancias puras de argón, mercurio, galio entre otros que cambian de fase de acuerdo a una temperatura y presión fija. El alto costo de estas calibraciones se debe a la pureza que deben tener estas sustancias, una mínima contaminación con elementos ajenos cambian las propiedades de las sustancias obteniendo resultados erróneos en las mediciones. (BIPB, 1990).

El Servicio Ecuatoriano de Normalización no realiza controles técnicos de termómetros, según la Ley Orgánica de Protección al Consumidor estas se aplican al control de balanzas, contenido neto y taxímetros. (INEN, 2015).

El servicio de calibración de termómetros es elevado, laboratorios acreditados ofrecen este servicio por un costo que varía entre 50 y 110 dólares por instrumento según su tipo, mientras que termómetros de sonda cuestan 10 dólares e infrarrojos hasta 40. La alta demanda y los pocos laboratorios existentes motivan un aumento de los precios y acceder a servicios en el exterior no resulta beneficioso para la compañía pues deben incluir el transporte de los termómetros (Hanna Instruments, 2017).

Los errores de calibración aumentan el costo de producción por aumento de consumo energético, por ejemplo, en el sector de fabricación de productos de caucho y plástico, la temperatura mínima para obtener la maleabilidad necesaria de los hidrocarburos es excedida para garantizar una geometría deseada en el proceso de formación, lo que conlleva el aumento de recursos energéticos. El proceso podría minimizar costos operando a su temperatura mínima permitida, siempre que los termómetros garanticen que la medición del proceso sea correcta. También se tiene altos costos de producción al sobreestimar la materia prima necesaria, provocando un aumento de material

desechado y con ello la contaminación ambiental, disminuyendo el porcentaje de valor agregado de los productos fabricados. En Ecuador, sectores productivos con procesos térmicos de mayor relevancia como fundición de metales, tienen una producción neta 1194.8 millones de dólares con un consumo intermedio de 773.9 millones de dólares, el consumo intermedio contabiliza los bienes y servicios que se consumen totalmente en el proceso de producción que incluye materia prima y consumo energético. Mientras que en Colombia, con mayores controles en metrología, una producción similar tendría un consumo intermedio de 739.8 millones, una disminución de 2.85% con respecto a la producción neta. Otros sectores como fundición de metales podrían llegar a tener hasta reducciones de 22.4% (DANE, 2015).

Errores cero, de repetibilidad o histéresis son ocasionados por la fricción o resistencia, estas condiciones siempre están presentes en los termómetros ya que la temperatura es medida indirectamente, desconocer sus valores dan la falsa seguridad de que estos tienen valor cero, excediendo los valores de tolerancia permitidos (Bolton, 1995). Los termómetros de mercurio líquido en vidrio son de muy buena precisión, utilizados desde -35°C a 350°C , a altas temperaturas una presencia de gas produce errores de hasta 20°C debido a errores de no linealidad. (C. Fernandez Pineida, 2009)

Además, se presentaría una disminución de la precisión y exactitud de las medidas obtenidas, las correctas medidas en los procesos incluyen los valores de incertidumbre, estos valores de incertidumbre permitidos dependerán de los procesos que controlen y de la escala del instrumento en condiciones ideales. Así un termómetro para verificar las condiciones de transporte de carne no debe superar los 7°C , para almacenamiento los 3°C y el envasado los $-1,5^{\circ}\text{C}$, una medida correcta de temperatura podría garantizar el tiempo de duración correcto sobre todo en productos comestibles y electrónicos, los componentes electrónicos como los procesadores deben funcionar a temperaturas bajas para garantizar durabilidad. (García, 2006).

Por otro lado, la escasez de calibradores aumenta el tiempo de calibración, ajuste y validación, esto implica un desperdicio innecesario de recursos en personal y tiempo de para de producción, más aún cuando estos ocurren sin planificación. Los tiempos de calibración de termómetros son mas extensos que otros medidores como manómetros, pues los termómetros por su naturaleza presentan tiempos de respuestas largos. (C. Fernandez Pineida, 2009)

Por lo tanto, se plantea el diseño y construcción de un equipo calibrador de termómetros por comparación para procesos industriales de media a baja temperatura como: formación de plástico, procesamiento de alimentos, fabricación de vidrio, control biológico entre otros, que tome en cuenta recomendaciones internacionales y normas establecidas para laboratorios para calibración, Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE) sobre incertidumbre y reglamentos del organismo de acreditación local.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un equipo para realizar calibraciones por comparación de termómetros, que cumplan con las tolerancias exigidas por el BIPM (Buró Internacional de Pesos y Medidas), normas para calibración y recomendaciones internacionales.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Construir un prototipo de un calibrador de termómetros según las recomendaciones y exigencias establecidas en normas.
- Evaluar técnica y económicamente un equipo de calibración de termómetros.
- Elaborar los planos de diseño y esquemas de funcionamiento del equipo calibrador.
- Elaborar una ficha técnica del equipo que incluya consideraciones de uso.

1.3 Marco teórico

La metrología es la ciencia de la medición, comprendiendo las determinaciones experimentales y teóricas a cualquier nivel de incertidumbre en cualquier campo de la ciencia y la tecnología (CEM, Vocabulario Internacional de Metrología (VIM), 2012), una definición más detallada es que la metrología cubre tres actividades principales (EURAMET, CEM, CENAM, & INDECOPI, 2008):

- La definición de las unidades de medida internacionalmente aceptadas.
- La realización de las unidades de medida por métodos científicos.
- El establecimiento de las cadenas de trazabilidad, determinando y documentando el valor y exactitud de las mediciones y diseminando dicho conocimiento.

Una de las magnitudes físicas comúnmente medidas es la temperatura, la cual es una propiedad intensiva originada con la percepción de nuestros sentidos, sobre todo cuando se comparan dos cuerpos. La definición de temperatura es compleja, por lo que usualmente se utiliza conceptos como equilibrio térmico para decir que dos cuerpos tienen la misma temperatura. (Michael J. Moran, 2004).

La medición de temperatura se realiza de manera indirecta, es decir se emplea el cambio de una propiedad para inferir una medición de temperatura. Sin embargo, al depender de otras propiedades como dilatación, resistividad, coloración, entre otras, existe el riesgo de perder exactitud debido a factores externos como contaminación de sustancia, fuga de material, envejecimiento, desgaste, oxidación y tiempos de respuesta cada vez más largos. Esto obliga a revisar y calibrar cada determinado tiempo, dependiendo de su uso, tipo y aplicación (Creus, 2006).

Como se mencionó anteriormente es necesario realizar la calibración de los instrumentos cada cierto tiempo, pero ¿a qué se refiere el término

calibración?, según el Centro Español de Metrología (CEM), es el conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida, o los valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes de esa magnitud realizados por patrones. (CEM, Procedimiento TH-001 para la calibración de termómetros digitales, 2003)

Para continuar es necesario definir las características metrológicas de un instrumento de medición, las más importantes son (Moro, 2000):

Campo de medida: Intervalo de valores que puede tomar la magnitud a medir con un instrumento determinado; un instrumento puede poseer varios campos de medida.

Alcance: Valor máximo que se puede medir con el instrumento, no siempre coincide con el valor máximo indicado en la escala del instrumento.

Sensibilidad: Para un cierto valor de la magnitud a medir, se expresa como el cociente entre el incremento observado en la variable y el incremento correspondiente de la magnitud medida.

División de escala: Intervalo entre dos valores sucesivos en la escala de medida. Algunos instrumentos disponen de más de una división de escala. Si un instrumento trabaja con el empleo simultáneo de más de una escala, consideramos como división de escala de ese instrumento a la menor.

Incertidumbre: Es el parámetro cuantificador de la precisión de un instrumento. La incertidumbre de medida es una característica individual del mismo que se obtiene tras su calibración. Se representa como \pm , que nos indica el error que podemos cometer al medir con dicho instrumento.

Fiabilidad: Es la facultad para realizar una función bajo condiciones determinadas, durante un tiempo. Se expresa con un valor numérico que nos indica la probabilidad de dicha función se cumpla.

Repetibilidad: Decimos que un conjunto de mediciones de una misma magnitud se realiza en condiciones de repetibilidad cuando lo lleva a cabo

el mismo operario utilizando el mismo instrumento, el mismo método, en el mismo laboratorio y en intervalos de tiempo pequeños, los estudios de repetibilidad se realizan mediante análisis R&r.

Reproducibilidad: Un conjunto de mediciones de la misma magnitud se realiza en condiciones de reproducibilidad cuando es llevado a cabo por distintos operarios con distintos instrumentos en diferentes laboratorios y/o en intervalos de tiempo grandes. Cualquier medición debe estar documentada de tal modo que permita su repetición o su reproducción según el caso.

Calibración de termómetros

La calibración de los termómetros se la realiza por dos métodos, por comparación y la segunda es por puntos fijos o también llamada calibración absoluta.

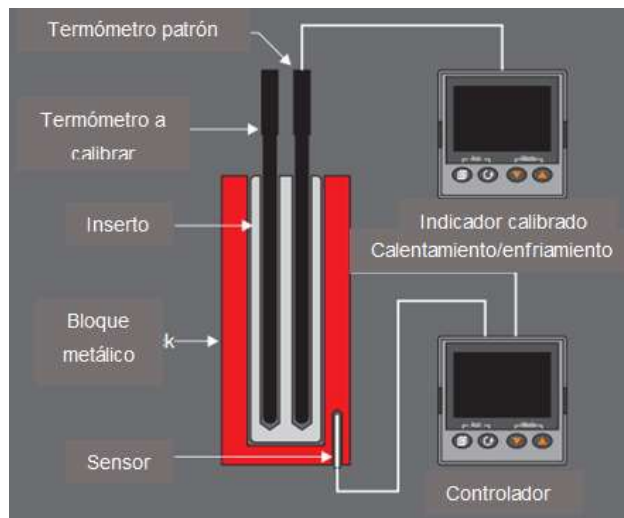


Figura 1.2 Partes de un calibrador de termómetro por comparación

Fuente: (Southworth, 2004)

El método por comparación consiste en comparar la lectura de un termómetro patrón con la lectura del termómetro que se encuentra calibrando, este patrón también es calibrado por otros hasta llegar a un patrón primario. Se generan condiciones de temperatura y de humedad en cámaras con el fin de comparar a esas condiciones los termómetros patrón y a calibrar. Un calibrador de temperatura debe tener una buena exactitud para poder realizar

comparaciones con otros instrumentos de temperatura, para satisfacer esta y otras cualidades se emplean diferentes elementos con características específicas (Southworth, 2004).

Las partes generales de un calibrador de temperatura por comparación son las siguientes:

- Termómetro de referencia.
- Indicador para el termómetro de referencia y controlador.
- Fuente de temperatura.

a. Termómetro de referencia

Es el que nos indica el valor “real” de temperatura que tiene la fuente de calor. Existen diversos tipos de termómetros los cuales serán escogidos dependiendo de la temperatura e incertidumbre deseada. Cualquier termómetro puede utilizarse como termómetro de referencia siempre que cubra la temperatura requerida y que su calibración sea trazable a un patrón primario nacional.

Además, su incertidumbre de calibración y lectura debe ser pequeña comparada con la incertidumbre de calibración requerida, y debe ser de una longitud suficiente para evitar la influencia del efecto de inmersión, la selección del termómetro de referencia depende del rango de temperatura de operación del equipo, los termómetros estándar de resistencia de platino son los que se usan comúnmente, en aplicaciones de hasta 962°C. (Nordtest, 1994).



Figura 1.3 Termómetro de resistencia de platino

Fuente: Catálogo Fluke

b. Indicador para el termómetro de referencia

Los indicadores en ocasiones llamados monitores, son aquellos que sirven para medir la resistencia o la tensión eléctrica del termómetro de referencia. Como indicador se debe usar un equipo pensado para propósitos de calibración en temperatura.

El controlador de temperatura tiene una entrada procedente de un sensor de temperatura y tiene una salida que está conectada a un elemento de control tal como un calentador o ventilador, se debe tener en cuenta las especificaciones técnicas que brinda el equipo para así escoger el adecuado para nuestro proceso.



Figura 1.4 Controlador industrial

Fuente: Catálogo Interempresas

Otra opción como indicador es el uso de una tarjeta de adquisición que nos permite presentar los datos a través computadora.

Fuente de temperatura

Existen principalmente dos tipos de fuentes de temperatura para calibración industrial, los baños líquidos y los calibradores de bloque seco, en cualquier de los dos sistemas las características que se buscan obtener son (Nordtest, 1994):

- Estabilidad y uniformidad acorde con la incertidumbre deseada.
- Intervalo de temperatura apropiada al intervalo deseado de calibración.

- Suficiente profundidad para la inmersión de los termómetros.

Bloques Secos

El calibrador de bloque seco o metálico consiste en un bloque metálico calentado por resistencias con un controlador de temperatura de precisión (± 2 °C) adecuado para aplicaciones de alta temperatura (- 25 a 1200 °C). El control de temperatura se realiza con aire comprimido, lo que permite reducir la temperatura desde 1200 °C a la temperatura ambiente en unos 10-15 minutos (Creus, 2006).

En el calibrador hay orificios de inserción para introducir un termopar patrón y la sonda de temperatura a comprobar. Pueden programarse las temperaturas y la pendiente de subida o bajada y comunicarse a un ordenador. Son usados principalmente para la calibración de RTDs y termopares, no se recomienda su uso para calibración de termómetros de líquido en vidrio. Otra ventaja de los bloques secos es el hecho de que alcanzan temperaturas más altas que los baños líquidos (Fluke, Guide to select a dry Block Calibrator, 2013).



Figura 1.5 Calibrador de bloque seco

Fuente: Catálogo Omega

Baños Líquidos

Los baños líquidos se usan normalmente para calibraciones de alta exactitud, para calibración de termómetros de líquidos en vidrio e incluso para termómetros cuyas formas geométricas sean un poco complicadas. Por su alta estabilidad y uniformidad son la opción perfecta en calibraciones donde se requiere de una incertidumbre baja.

Actualmente existe una gran variedad de baños que permiten incluso que algunos de ellos sean portátiles o aquellos que ocupan poco espacio y son semi-portátiles, este tipo de calibradores utiliza un agitador con la finalidad de que la temperatura sea homogénea (Nordtest, 1994). En la figura 1.6 se muestra un calibrador de baño líquido, se puede apreciar en la parte superior el motor que mueve el agitador, además del sistema de control del sistema.



Figura 1.6 Calibrador de baño líquido

Fuente: Catálogo Wadegati

Calibración Absoluta

También llamada calibración por puntos fijos, se basa en la escala internacional de temperatura ITS-90, el cual es un documento de referencia para obtener procedimientos y termómetros que ayuden a los laboratorios nacionales materializar y determinar valores con una alta repetibilidad. La tabla 1.1 muestra los puntos fijos de temperatura definidos en la ITS-90

(Creus, 2006). Este método usa los puntos fijos de sustancias puras, por lo que resulta más costoso que el método de comparación, además de permitir analizar solo un punto, mientras que el otro método lo permite hacer en varios puntos del rango del instrumento. En la figura 1.7 se puede observar una celda de punto triple de agua.



Figura 1.7 Celda de punto triple del agua

Fuente: Catálogo Fluke

Tabla 1.1. Puntos fijos de temperatura de la escala ITS-90

Número	Temperatura		Sustancia ⁶	Estado ⁷	$W_i(T_{90})$
	T_{90}/K	$t_{90}/^{\circ}C$			
1	3 a 5	-270,15 a -268,15	He	V	
2	13,803 3	-259,346 7	e-H ₂	T	0,001 190 07
3	≈ 17	≈ -256,15	e-H ₂ (o He)	V (o G)	
4	≈ 20,3	≈ -252,85	e-H ₂ (o He)	V (o G)	
5	24,556 1	-248,593 9	Ne	T	0,008 449 74
6	54,358 4	-218,791 6	O ₂	T	0,091 718 04
7	83,805 8	-189,344 2	Ar	T	0,215 859 75
8	234,315 6	-38,834 4	Hg	T	0,844 142 11
9	273,16	0,01	H ₂ O	T	1,000 000 00
10	302,914 6	29,764 6	Ga	F	1,118 138 89
11	429,748 5	156,598 5	In	S	1,609 801 85
12	505,078	231,928	Sn	S	1,892 797 68
13	692,677	419,527	Zn	S	2,568 917 30
14	933,473	660,323	Al	S	3,376 008 60
15	1 234,93	961,78	Ag	S	4,286 420 53
16	1 337,33	1 064,18	Au	S	
17	1 357,77	1 084,62	Cu	S	

Fuente: (Creus, 2006)

1.4 Alternativas de Solución

1.4.1 Baño fluidizado de arena

El baño fluidizado es un recipiente lleno de partículas inertes secas de arena fina, se hace pasar un flujo de aire a través de las partículas por medio de una placa de distribución porosa, las partículas se separan y se suspenden en el flujo de aire y se comportan como un líquido hirviendo.

La principal ventaja para la aplicación de calibración de termómetros es que aparte de circular y fluir como un líquido, las partículas fluidizadas exhiben excelentes características de transferencia de calor. Cuando se calientan el calor se distribuye rápida y uniformemente a través del baño y se transfiere rápidamente a los objetos sumergidos en el baño. La temperatura del baño se puede ajustar fácilmente al punto en el que desea calibrar o ejecutar una prueba mediante un sistema de control. Los sólidos fluidizados no tienen punto de fusión o punto de ebullición, por lo tanto, se elimina la solidificación que tiene lugar en los baños de sales de enfriamiento y los vapores de los baños de aceite caliente.

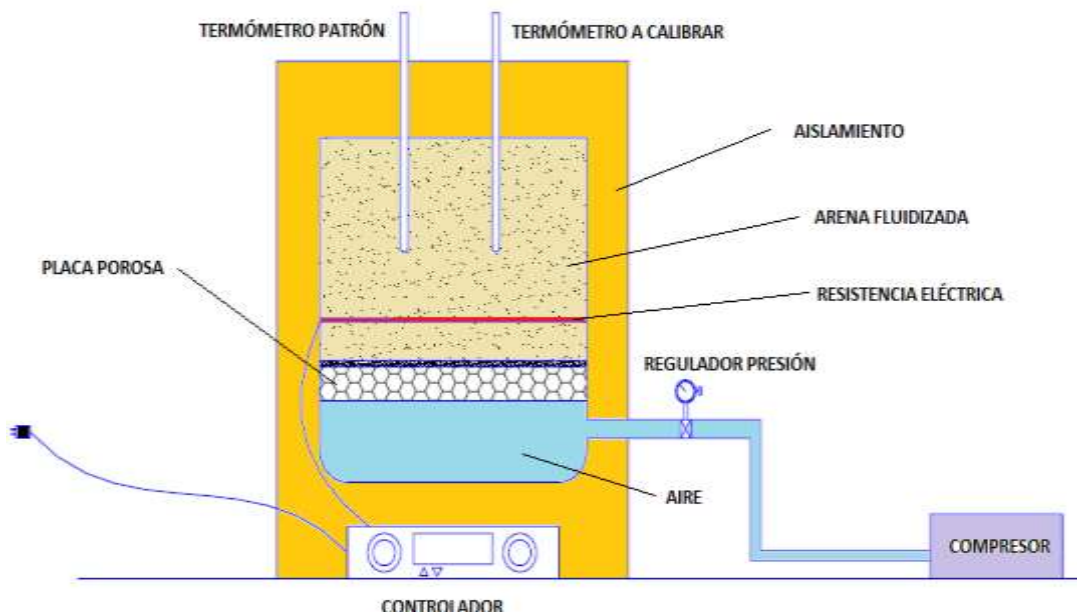


Figura 1.8 Esquema de calibrador de Baño fluidizado de arena

Fuente: Elaboración propia.

Los sólidos fluidizados son secos y relativamente inertes, lo que hace que el medio sea seguro y limpio en comparación con los sistemas líquidos convencionales, lo que le permite calibrar y mantener los instrumentos sensibles a la temperatura de manera eficiente y segura.

El diseño consta de un suministro eléctrico para la resistencia como medio de calentamiento y de aire para el funcionamiento. El aire pasa a través de la masa de las partículas a través de una placa porosa en la base de la unidad que separa las partículas individuales y las suspende en aire libre, dando las propiedades de un baño líquido. El recipiente interior es de acero inoxidable aislado de la pared exterior para minimizar las pérdidas de calor y un interruptor de presión de aire de seguridad en caso de pérdida de aire.

1.4.2 Baño líquido

El calibrador de baño líquido u horno de calibración es un recipiente cilíndrico aislado térmicamente de la cámara exterior, la cámara interna cilíndrica se encuentra suspendida, y aloja un fluido altamente viscoso. Para elevar la temperatura dentro de la cámara posee una resistencia eléctrica sumergida en el fluido, también consta de un mecanismo de refrigeración el cual permite disminuir su temperatura. Para homogeneizar la temperatura en el fluido se hace uso de un sistema de agitación por rotación conectado a la parte superior de la tapa.

La tapa tendrá puntos de inserción para el contacto de los termómetros con el fluido, también cuenta con un termopar que analizará la temperatura junto con un sistema de almacenamiento y procesamiento de datos. En la parte inferior del equipo existe un ventilador para remover el calor rechazado por el fluido de trabajo del sistema de refrigeración. La cámara externa e interna se encuentran separadas por una capa de aislante con conductividad térmica baja, este tipo de calibradores poseen estabilidad y homogeneidad mayor que los calibradores de bloque seco, debido al flujo agitado dentro de la cámara.

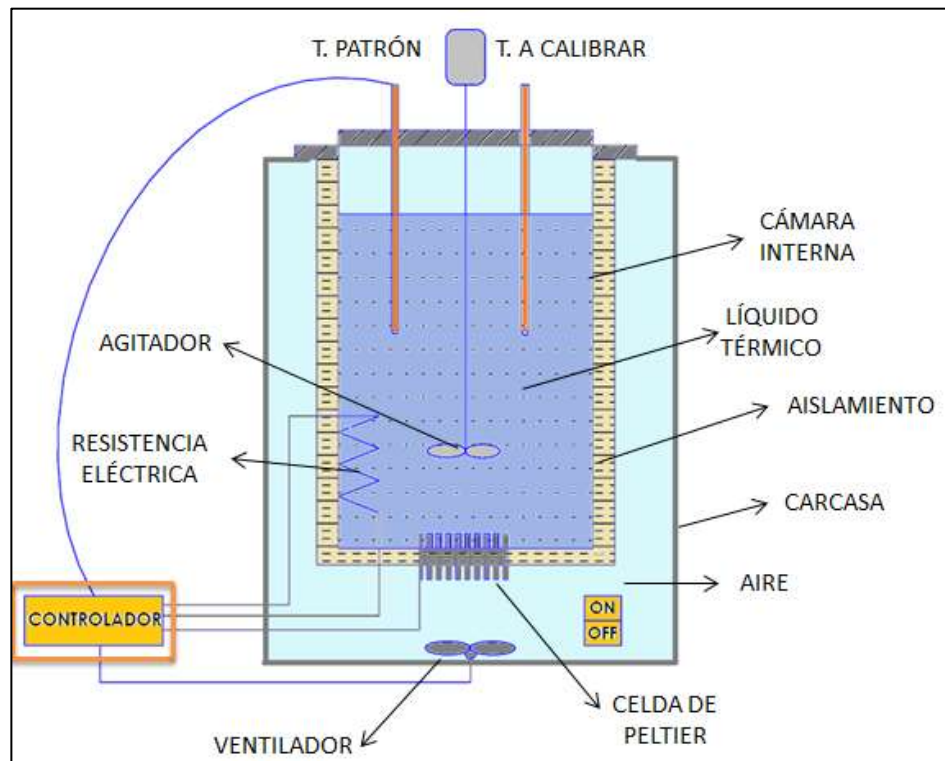


Figura 1.9 Esquema de calibrador de baño líquido

Fuente: Elaboración propia

1.4.3 Calibrador bloque seco

El calibrador de bloque seco o metálico consiste en un bloque metálico calentado por resistencias con un controlador de temperatura de precisión (± 2 °C) adecuado para aplicaciones de alta temperatura (- 25 a 1200 °C). El control de temperatura se realiza con aire comprimido, lo que permite reducir la temperatura desde 1200 °C a la temperatura ambiente en unos 10 a 15 minutos (Creus, 2006). En el calibrador hay orificios de inserción para introducir un termopar patrón y la sonda de temperatura a comprobar. Son usados principalmente para la calibración de RTDs y termopares, no se recomienda su uso para calibración de termómetros de líquido en vidrio. Otra ventaja de los bloques secos es el hecho de que alcanzan temperaturas más altas que los baños líquidos, pero su estabilidad y homogeneidad es menor.

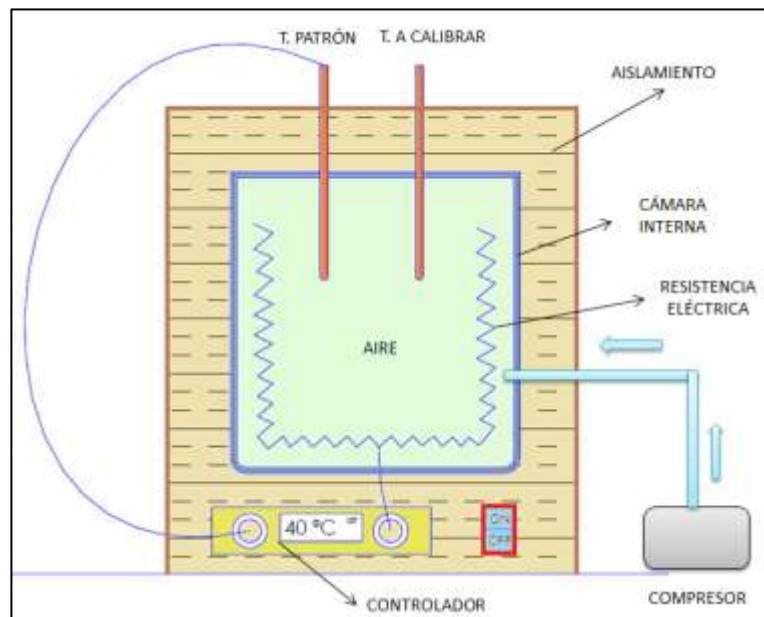


Figura 1.10 Esquema de calibrador de bloque seco

Fuente: Elaboración propia

1.5 Matriz de decisión

Para seleccionar la mejor alternativa de solución vamos a usar la matriz de decisión con el fin de poder comparar las alternativas mencionadas a partir de los distintos factores de influencia calificados de 1 a 5 establecidos a continuación en la tabla 1.2. En la tabla se muestra una ponderación de cada criterio, el valor numérico asignado que a juicio del diseñador corresponde a los más importante expresado en términos cuantitativos en porcentaje, por ejemplo, se muestra el criterio de estabilidad con peso de 25%, luego de ponderar cada criterio se califica de acuerdo al tipo de criterio, estos pueden ser numérico como el costo o cualitativo como homogeneidad o calidad, siempre que sean comparables. Las alternativas se califican de acuerdo a estos criterios, esta calificación se pondera con el peso del criterio y posteriormente se suman, la calificación total con mayor valor es la alternativa seleccionada.

Estabilidad. - Indica la fluctuación en el tiempo de una medida de temperatura alrededor de un valor, este criterio es importante porque una

medida fluctuante aumenta la incertidumbre y el error en las medidas. La estabilidad dependerá de la naturaleza del fluido utilizado, las corrientes de convección forzada y natural presentadas en el equipo debido a su geometría. Este criterio posee un peso de 20%.

Tabla 1.2 Ponderación y puntaje de los factores de influencia

Criterios Ponderación [%]	Puntuación				
	1	2	3	4	5
Estabilidad [20]	Muy Baja	Baja	Medio	Alta	Muy Alta
Homogeneidad [20]	Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja
Adaptabilidad a Termómetros [16]	Digitales	-----	-----	-----	Todos
Exactitud [14]	Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja
Costo [10]	Muy Bajo <\$100	Económico (\$100 - \$1000)	Promedio (\$1000-\$5000)	Elevado (\$5000 - \$8000)	Muy Costos <\$8000
Precisión [9]	Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja
Alacance (Span) [6]	50>=A	50<A<100	100<=A<=200	200<=A<=750	A>750°C
Tamaño/Peso [5]	Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja

Fuente: Elaboración propia

Homogeneidad. - Mide las variaciones de las medidas con respecto a sus alrededores, dependen directamente del sistema de agitación (coeficiente convectivo) y de las propiedades del fluido de trabajo (conductividad térmica). La homogeneidad tiene una ponderación de 20% pues un sistema con baja homogeneidad tendrá valores de temperatura diferentes en cada punto del sistema, tanto el termómetro patrón y el instrumento a calibrar necesitan estar a las mismas condiciones para ser calibrados.

Adaptabilidad. - Se refiere a la capacidad que tiene el equipo para admitir y calibrar los tipos termómetros, En la industria se encuentran una amplia variedad de termómetros entre estos: termómetro de mercurio, de alcohol,

de resistencia, termopar, de radiación entre otros. Hornos calibradores de baño líquido tiene una adaptabilidad completa, pues se puede registrar la temperatura de cualquier termómetro, de contacto o no. Mientras que un bloque seco admite calibradores eléctricos según las especificaciones

Exactitud. - Es un indicador de cercanía de un valor experimental o el promedio de estas con respecto a uno teórico. Al valor numérico de la medida se denomina Sesgo, un sesgo bajo indica que la medida está cerca de la real o deseada. Un horno calibrador no posee medidor de temperatura pues este solo simula las condiciones de temperatura, mas no las mide. La medición se realiza directamente con el termómetro patrón, el horno calibrador posee un termómetro digital calibrado que podrá almacenar la temperatura y registrar los tiempos de respuestas, es a este medidor que se mide el sesgo. Por lo tanto, la exactitud de los equipos calibradores dependerá únicamente de la resolución de los sistemas digitales en los equipos. El peso para este criterio es 14%.

Costo. - Los valores típicos para fabricar un calibrador dependerán del sistema que utilicen para elevar o disminuir la temperatura, sobre todo del sistema de refrigeración y los elementos que se utilizan en dicho sistema. Motor, Compresor, Controlador y tipo de aislante son los elementos más caros. Calibrador de Baño fluidizado de Arena contiene hasta dos compresores, uno para el sistema de sustentación y el sistema de refrigeración. Estos valores también se ven reflejados en los valores de adquisición, un calibrador de baño de arena puede llegar a costar más de \$6000. Para un equipo de baño líquido se ve también influenciado en su precio por el líquido de trabajo, el líquido de trabajo puede ser aceite térmico, refrigerante o incluso agua si es completamente pura, el tipo de fluido utilizado tiene un alto costo, aceites térmicos cuestan más de \$100 dólares el litro, por lo tanto, incrementa su valor. Se le asigna una ponderación 10% a este criterio.

Precisión. - Esta se mide en términos de la desviación estándar o varianza para varias medidas tomadas en las mismas condiciones debido a que es una medida de dispersión de los datos, en los equipos de hornos de calibración se toma en cuenta la relación entre varianza y alcance del equipo. Este factor tiene un peso de 9%, porque los equipos de calibración deben poseer una incertidumbre 10 veces menor al instrumento a calibrar.

Alcance. – Diferencia entre el valor máximo y mínimo del rango, un calibrador debe tener un alcance mayor al instrumento a calibrar por lo que, este criterio obtiene una ponderación 6%. Calificamos los hornos calibradores en función de las temperaturas mínimas y máximas permitidas, los rangos dependerán de la naturaleza de la fuente que aporta o extrae calor al horno, por ejemplo, una resistencia eléctrica de hierro tiene una temperatura máxima de 1500°C, temperatura a la que se funde, asumiendo que los equipos soporten dichas condiciones extremas. Los procesos se toman como referencia y no los valores del rango debido a que son variados, así por ejemplo procesos de manufactura de plásticos van de 50°C a 300°C. Un calibrador ideal podría evaluar todos los rangos operando con una buena precisión a lo largo de todos los valores y, por el contrario, termómetros y calibradores tienen limitaciones de materiales por lo que se buscará que operen donde se tiene mayor cantidad de actividad económica según la cantidad de empresas que son: Fabricación de productos de caucho y plástico, fabricación de prendas de vestir y, elaboración de productos alimenticios según el Directorio Nacional de Empresas: Encuesta Exhaustiva 2011. Se lo puede tomar como el alcance.

Tamaño/Peso. - Este factor indica cuanta facilidad presenta el calibrador para ser transportado, instalado y puesta en funcionamiento, ser portable presenta muchas ventajas en estos calibradores debido a el ahorro que representa disminuir el tiempo de calibración en un proceso productivo sin tener que transportar el termómetro a un laboratorio. La portabilidad también es influenciada por la fuente de potencia que se utilice por lo que el diseño

tiene en cuenta utilizar energía eléctrica con 110V o 240V. Este criterio se le asigna una ponderación de 5%.

1.5.1 Selección de mejor alternativa.

La tabla 1.3 muestra la calificación asignada a cada alternativa para cada criterio según información obtenida en catálogos de fabricantes y de los esquemas planteados en el diseño conceptual. Criterios de estabilidad y homogeneidad se evalúan con equipos ya fabricados y probados en laboratorios, por lo que se basó en las propiedades del fluido de trabajo un diseño preliminar tentativo.

Tabla 1.3 Matriz de decisión

Criterios Ponderación [%]	Alternativa 1 Baño de Arena		Alternativa 2 Baño Líquido		Alternativa 3 Bloque Seco	
	Estabilidad [20]	Alta	4	Muy Alta	5	Medio
Homogeneidad [20]	Alta	4	Alta	4	Alta	4
Adaptabilidad a Termómetros [16]	Todos	5	Todos	5	Digitales	1
Exactitud [14]	Alta	4	Muy Alta	5	Baja	2
Costo [10]	Elevado (\$5000 - \$8000)	2	Promedio (\$1000-\$5000)	3	Económico (\$100 - \$1000)	4
Precisión [9]	Alta	4	Muy Alta	5	Baja	2
Alcance (Span) [6]	$200 \leq A \leq 750$	4	$100 \leq A \leq 200$	3	$A > 750^\circ\text{C}$	5
Tamaño/Peso [5]	Típico $10\text{Kg} \leq m \leq 90\text{Kg}$	3	Típico $10\text{Kg} \leq m \leq 90\text{Kg}$	3	Liviano $3\text{Kg} \leq m \leq 10\text{Kg}$	4
Total	3.11		3.58		2.76	

Fuente: Elaboración propia

La calificación de los datos, se encuentra en la columna derecha de cada alternativa, esta calificación es ponderada según el valor de cada criterio y sumada. Finalmente se tiene las calificaciones de 3.11 para la primera alternativa de Baño de Arena, 2.76 para calibrador de Bloque seco y finalmente 3.58 para calibrador de Baño Líquido. Por lo tanto, la alternativa seleccionada es la de Baño Líquido al tener la calificación más alta.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DE DISEÑO.

2.1 Bases y consideraciones de diseño

Los factores principales que limitan el diseño del equipo calibrador de termómetros son en primer lugar el rango de temperatura de operación del equipo, el cual ha sido establecido entre 20°C y 120°C, en función de este rango se escogerá el fluido de trabajo además del diseño del sistema de calentamiento y refrigeración. El segundo punto a considerar es la vida útil del equipo, comúnmente la vida de un equipo de este tipo es de alrededor de 10 años si se le da un mantenimiento adecuado, por lo que el equipo debe tener una vida útil mayor a 10 años.

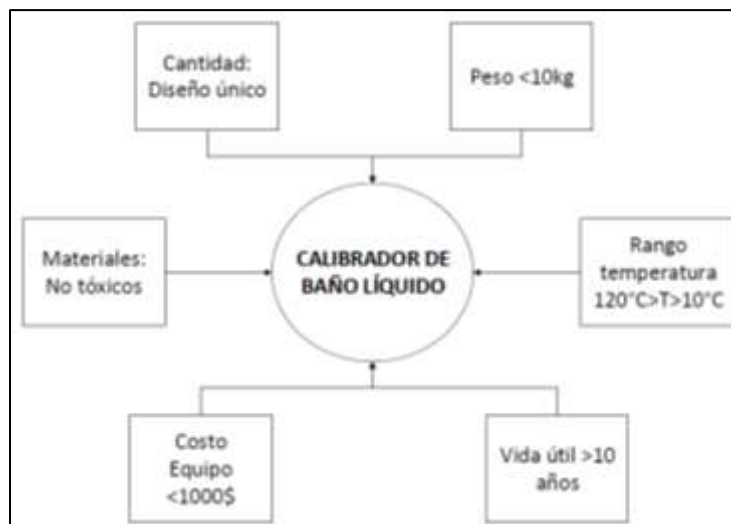


Figura 2.1 Esquema de bases y consideraciones de diseño

Fuente: Elaboración propia.

El precio es otro de los factores limitantes, este tipo de equipos no se producen localmente, sin embargo, son importados, por lo que el precio del equipo debe ser competitivo, se establece que el precio del equipo debe ser menor a \$ 1000. Para el diseño se considera que es un diseño único, debido a que es un prototipo, por lo que no se realizará un análisis exhaustivo para obtener el menor precio posible. En cuanto a los materiales, todos los materiales deben estar disponibles en el medio local, además de no producir

emisiones tóxicas durante su operación. Finalmente, el peso está limitado a 10 kg, esto para que sea fácil de transportar.

2.2 Estrategia de diseño

En la figura 2.2 se puede observar el flujograma de diseño a utilizar para el calibrador de baño líquido, este flujograma está dividido en 3 etapas. La primera etapa corresponde a la estructura interna y externa del equipo junto con el sistema de agitación. La segunda etapa se refiere al diseño y selección de los sistemas en el equipo, pero no incluye el sistema de control pues este articula todos los demás sistemas. Finalmente, en la tercera etapa se recopilan datos de costos y funcionamiento del diseño detallado.

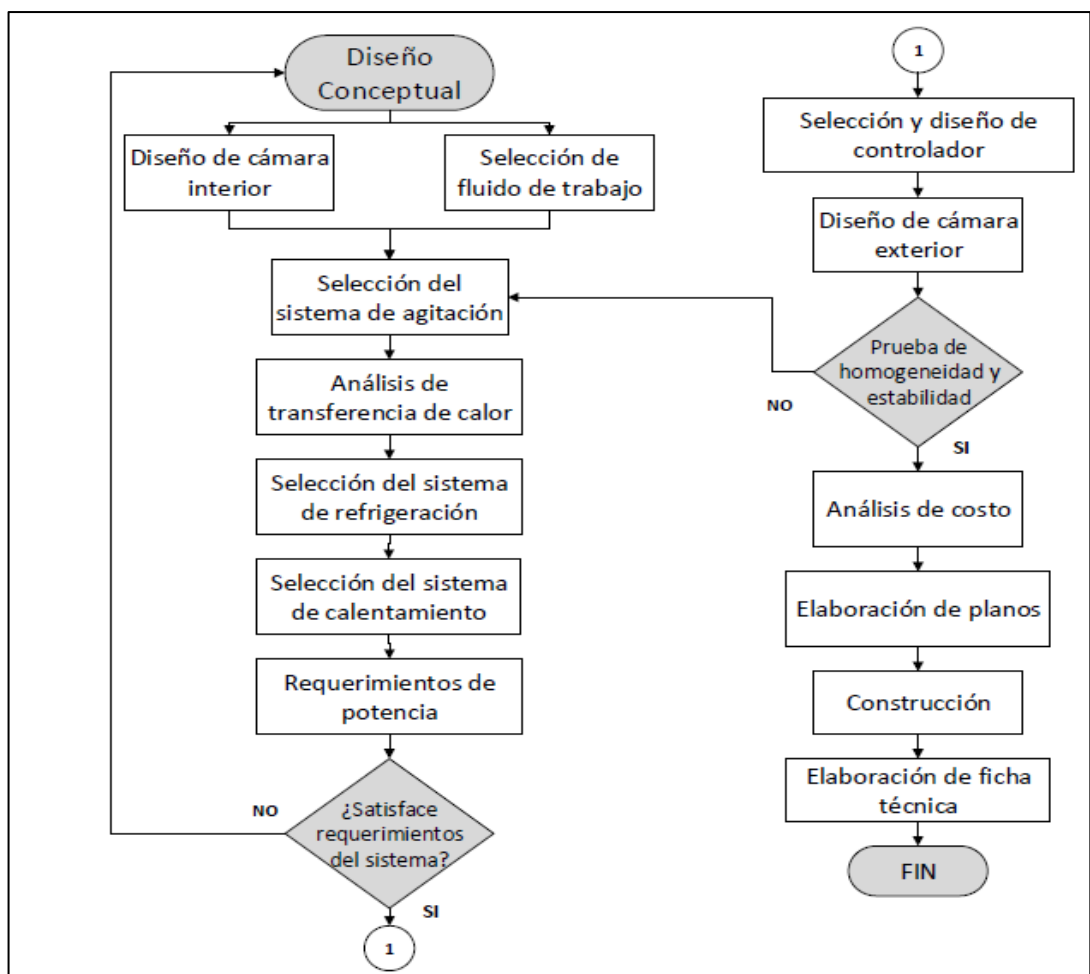


Figura 2.2 Metodología de diseño para calibrador de baño líquido

Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño de cámara interior se consideran las dimensiones y forma de la misma, se asume una forma cilíndrica ya que el tipo de flujo que induce el agitador es radial, de tal manera que favorece la homogeneización de la temperatura dentro de la cámara.

En cuanto a las dimensiones, el diámetro de la cámara se establece en función del espacio que ocupa los termómetros patrón y calibrado; mientras que, la longitud deber ser la adecuada para permitir la inmersión de los diferentes tipos de termómetros (vidrio, bimetálico, RTD). Otro punto a considerar es el material de la cámara, ya que el fluido que contiene se calienta y enfría, además de otros efectos del fluido, la cámara interior se fabrica en acero inoxidable de espesor fino para disminuir su peso y su alta resistencia mecánica. Para la primera etapa hay que escoger el aislamiento adecuado para el rango de temperatura de operación del equipo, además de considerar un diseño que permita reducir las pérdidas de calor.

El siguiente paso es la selección del fluido de trabajo, el primer aspecto a tener en cuenta es el rango de uso, el cual se define como el rango de temperatura sobre el cual un fluido puede proveer de manera segura un ambiente adecuado para comparar termómetros (Fluke, 2013), este rango es limitado debido a factores como la viscosidad, punto de inflamabilidad, punto de congelación, punto de ebullición, tasas de evaporización, entre otros. Para la selección del tipo de fluido se utiliza la matriz de selección entre las opciones.

No existe fluido que cubra todo el rango de temperaturas. En la tabla 2.1 se muestra los diferentes fluidos que se emplean para calibración de temperatura con su respectivo rango. El calibrador está pensado para ser usado en temperaturas en el rango de 20 a 120 °C, por lo que la selección idónea sería utilizar aceite de silicona como fluido de trabajo, la recomendación es que el aceite no tenga un punto de inflamabilidad por debajo de la máxima temperatura de calibración. En cuanto a la viscosidad, la cual se define como la resistencia de un fluido a fluir, propiedad que cambia con la temperatura,

que, para el caso de las opciones consideradas, una menor temperatura la viscosidad del fluido aumenta y viceversa, el fluido de trabajo no debe presentar alta viscosidad en la temperatura más baja de calibración, para permitir una adecuada agitación del fluido. Se recomienda utilizar fluidos con una viscosidad por debajo de los 50 cSt, y lo ideal es que la viscosidad sea menor a 10 cSt (Fluke, How to select a calibration bath fluid, 2013).

Tabla 2.1 Rango de temperatura de fluidos usados en calibradores de baño

Sustancia	Rango de temperatura
Alcohol etílico	-112 °C a 23 °C
Alcohol metílico	-97 °C a 23 °C
Etilenglicol / Agua 1: 1	-30 °C a 110 °C
Baño de hielo	0 °C
Agua	1 °C a 95 °C
Aceites vegetales hasta aprox.	200 °C
Aceites de silicona	- 50 °C a 300 °C
Aceites de petróleo	100 °C a 300 °C
Nitrato de potasio/	170 °C a 550 °C
Nitrito de sodio, aprox. Mezcla 1: 1	-112 °C a 23 °C

Fuente: (Nordtest, 1994)

Para el diseño de la cámara exterior hay que considerar las dimensiones de la cámara interior, hay que dejar espacio para los elementos de control, los circuitos y conexiones, a más de evitar influencia del medio externo con la cámara interna. En cuanto al material, se elige en función de características como el peso, resistencia, aspecto, precio y funcionalidad. Se contemplan normas de seguridad, como que la temperatura de la superficie no puede exceder los 50 °C, a fin de evitar quemaduras, aunque será detallada en el manual de uso.

La selección de un agitador adecuado es esencial para el sistema, ya que la agitación asegura la uniformidad de temperatura en el baño y el buen contacto térmico con el termómetro, para la selección del agitador se debe tener en cuenta el fluido de trabajo, el rango de temperaturas, las dimensiones de la cámara interna, fuente de alimentación. Se utiliza como criterio de selección el tipo de flujo que se desea, axial o radial, del fluido de trabajo seleccionado.

En el análisis de transferencia de calor, se selecciona el tipo de aislamiento que cubre a la cámara interior, en base a parámetros como precio, disponibilidad, conductividad térmica, resistencia en el rango de operación del equipo. Una vez seleccionado el aislante se calcula la pérdida de calor del sistema, y la temperatura superficial de la carcasa exterior, para comprobar que esta no exceda los 50 °C anteriormente establecidos.

La selección del sistema de refrigeración, se considera un sistema que no aporte mayor peso al equipo y que sea compacto, pero que a su vez tenga capacidad de refrigeración. El efecto Peltier se considera en la selección porque produce una diferencia de temperaturas entre las dos caras de un semiconductor cuando por él circula una corriente, en condiciones ideales se puede tener una diferencia de hasta 40 °C entre las dos caras, aunque el proceso de conducción de calor de una a otra cara a través de la propia celda limita este valor, por lo que en aplicaciones reales se pueden obtener diferencias de 25 °C. (Pérez, 2014).

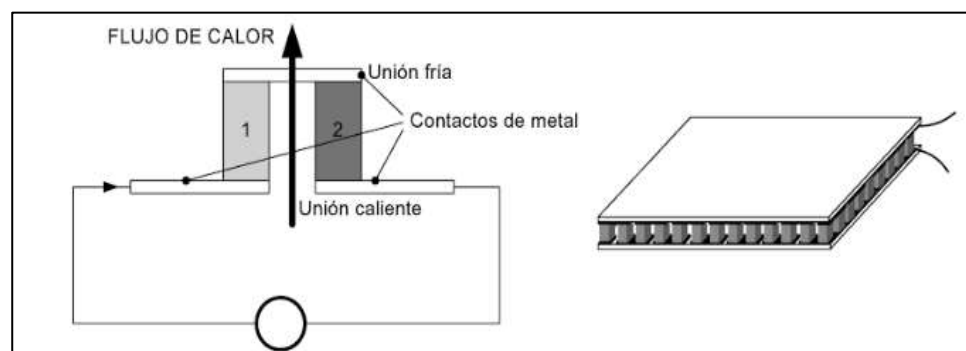


Figura 2.3 Esquema de una celda de Peltier

Fuente: (Pérez, 2014)

Luego, se realiza la selección del sistema de calentamiento, para este proceso de deben evaluar las ventajas y desventajas que presentan diferentes cada una de ellas y si cumplen los requerimientos de temperatura, entre ellas tenemos: calentamiento por resistencia eléctrica, sistema de bomba de calor o uso de celdas Peltier. En este proceso se toman en cuenta las características de cada sistema, de ser el caso se diseña la forma, distribución y dimensionamiento de elementos. También se deben definir la fuente de potencia que alimentan los sistemas, su sistema de control y su distribución en la cámara interna.

El cálculo del requerimiento de potencia se refiere al cálculo de potencia que requieren los diferentes componentes del equipo: sistema de refrigeración, sistema de enfriamiento y agitador. Se toma en cuenta que tanto la resistencia eléctrica de calentamiento como la celda de Peltier consumen bastante energía, por lo que una selección adecuada del calibre del cable conductor es necesario para cada caso en función del amperaje.

Posteriormente, se realiza una evaluación completa de todo el equipo, es decir se debe probar el equipo en su conjunto con todos los sistemas, se responderán las preguntas ¿Es necesario implementar sistemas adicionales de seguridad, advertencia y demás? ¿Los sistemas en su conjunto pueden ser instalados dentro de las dimensiones de la cámara exterior? ¿Se puede hacer mejoras en el diseño de la cámara interna cambiando algún sistema? entre otras, todas estas inquietudes deben ser resueltas y cumplir los requerimientos planteados, si, por el contrario, las resoluciones de estos conflictos obligan a un cambio, se modifica desde el diseño de la cámara interior, elemento fundamental del horno calibrador de la cual depende todos los sistemas del equipo.

A continuación, se debe seleccionar el diseño del controlador. Este sistema podrá ser único para todos los sistemas o independientes entre ellos, en el primer caso se deberá asegurar si son compatibles. También puede incluir o

no los sistemas adicionales, establece las señales de entrada y salida del sistema, tipo de controlador, etapas y funciones utilizadas.

Además de la prueba de requerimientos del sistema se realizará una segunda prueba mucho más compleja de acuerdo a la Norma NTE ISO/IEC 17025:2005 para verificar la estabilidad y homogeneidad de la cámara interna. Esta prueba es de suma importancia pues el diseño de un calibrador se basa que ambos instrumentos, termómetro patrón y termómetro a calibrar midan las mismas condiciones de temperatura en la cámara. Para obtener resultados confiables, los datos serán analizados según la guía ISO GUIA 34:2009 para calibración. Si la prueba arroja resultados negativos se regresará al diseño de sistema de agitación, debido a que este sistema tiene la función de homogeneizar y estabilizar la temperatura, si por el contrario se tiene resultados positivos el diseño final ya estaría completado.

La tercera etapa de recolección y análisis de datos obtenidos comienza con el análisis de costos, en este paso se cotizará los valores de adquisición de equipos y costos de elaboración de piezas. Se obtendrán datos de mercado interno y un valor tentativo general de materia prima necesaria. Esta etapa no contempla costos de ensamble, personal necesario y horas hombre de trabajo utilizadas para unir los sistemas. Se elabora un listado detallado de los elementos utilizados, la cantidad, descripción y costo.

La elaboración de planos se realiza según la norma internacional de dibujo mecánico, incluirá planos de ensamble de los sistemas. Incluye planos necesarios de piezas no comerciales que necesitan ser maquinadas, fundidas o soldadas, junto con sus tolerancias y ajustes requeridos. Para la elaboración de estos planos se utilizarán herramientas digitales CAD para diseño.

La construcción se realiza una vez obtenidos los planos, adquiridos los sistemas y fabricados los elementos. Este proceso no detalla los pasos para su construcción, pero si el orden que debe ser colocados los equipos

adjuntando esquemas y figuras. La construcción debe tomar en cuenta el mantenimiento del equipo calibrador en su conjunto.

Finalmente, Se realiza la ficha técnica con instrucciones de uso y recomendaciones. Además, un análisis técnico estadístico de pruebas de homogeneidad y estabilidad desarrolladas en laboratorio, para esto se hace uso de un termómetro patrón para calibrar el sistema de control de temperatura.

2.3 Diseño detallado

2.3.1 Diseño de la cámara interior.

Las dimensiones de la cámara interior deben ser coherentes con las recomendaciones y en los diseños ofrecidos por fabricantes para un equipo compacto. El objetivo principal es garantizar la homogeneidad y estabilidad, para esto la cámara interior esta armada en dos partes: una carcasa interior donde se alojará líquido de trabajo y una carcasa exterior entre las cuales se aloja un aislante. Este recubrimiento evitaría utilizar un aislante secundario para evitar la pérdida de calor. En la figura 2.4 se puede apreciar las dimensiones principales de la cámara.

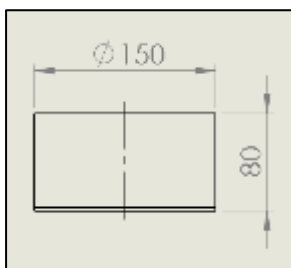


Figura 2.4 Dimensionamiento de cámara interior en vista frontal

Fuente: Elaboración propia.

La cámara interior tiene un diámetro de 150 mm y una altura de 80 mm, estas dimensiones pueden albergar hasta 1.5 litros de líquido de trabajo. El plano de la cámara exterior se encuentra en la sección PLANOS DE CONSTRUCCIÓN. Se toma en cuenta que la única entrada y salida hacia

la cámara interior se encuentra en la parte superior, el diseño toma en cuenta que las entradas de energía para calentador, resistencias, controladores y sistemas de refrigeración.

Para la selección de los sistemas es importante analizar térmicamente el calor perdido o absorbido por la cámara por lo que se requiere un análisis de transferencia de calor con las dimensiones y materiales a utilizar como se muestra en la figura 2.5.

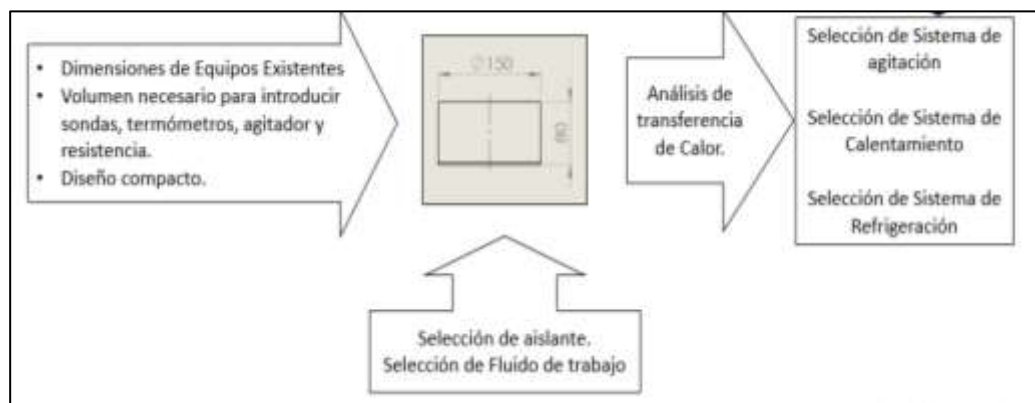


Figura 2.5 Descripción del procedimiento para diseño de cámara interior.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2 Selección del fluido de trabajo.

Para la selección del fluido de trabajo se toma en cuenta las recomendaciones de Nordtest enunciados en la tabla 2.1. Sustancias como Etilenglicol con Agua, Aceite de silicona y Agua cumplen con los rangos de temperatura definidos en el capítulo anterior, Se realiza una ponderación para seleccionar la mejor alternativa, en este caso los criterios a considerar son:

- Rango de Temperatura que se encuentre definido en los requerimientos evitando puntos de ebullición y fusión (35%).
- Toxicidad por emanación de vapores (30%)
- Costo de la sustancia. (20%)

- Inflamabilidad, se desea evitar la combustión en el rango de temperatura. (15%)

Los criterios se califican de 1 a 4, y posteriormente se ponderan, el criterio con mayor valor total es la alternativa seleccionada. En la tabla 2.2 se muestran las calificaciones y el puntaje total, se obtuvo el aceite de silicona como la mejor opción para nuestro diseño. Esta selección del fluido nos provee información necesaria para realizar un análisis termodinámico del sistema y sus requerimientos energéticos, propiedades como capacidad calorífica, conducción térmica y viscosidad, valores básicos para estos análisis.

Tabla 2.2 Matriz de decisión para fluido de trabajo

Criterio		Sustancia					
Ponderación	[%]	Etilenglicol		Aceite de silicona		Agua	
Rango de Temp.	35	-30 ° C a 110 ° C	1	-50 ° C a 300 ° C	4	1 ° C a 95 ° C	0
Toxicidad	30	Medio	2	Bajo	3	Ninguno	4
Costo	20	Alto	1	Alto	1	Bajo	3
Inflamabilidad	15	Alto	1	Alto	1	Ninguna	4
Total			1.3		2.7		2

Fuente: Elaboración Propia

La opción seleccionada es Aceite de Silicona que obtuvo la puntuación más alta (2.7) sobre Agua (2.0) y Etilenglicol (1.3). Con los datos obtenidos se debe elegir el sistema de agitación correspondiente, encargado de homogeneizar la temperatura en la cámara.

2.3.3 Selección del sistema de agitación.

Para la selección del sistema de agitación (impeler) hay varios parámetros a definir: tipo, dimensiones, geometría y material. Estos factores están ligados a parámetros ya definidos anteriormente como las dimensiones del tanque, la viscosidad del fluido de trabajo entre otros. Mediante la ecuación 1 podemos encontrar la viscosidad cinemática del fluido de trabajo.

$$\mu_{fluido} = \nu_{fluido} \rho_{fluido} \quad \text{ec. (1)}$$

Donde:

ν_{fluido} es la viscosidad dinámica del fluido [Kg/m-s]

μ_{fluido} es la viscosidad cinemática del fluido [m²/s]

ρ_{fluido} es la densidad del fluido de trabajo [kg/m³]

La viscosidad del fluido para el aceite de silicona es 0.970 g/cm³ (ICTSL, 2016) a temperatura de 25°C como se muestra en las Especificaciones Técnicas para aceite de silicona en Anexo, también se tiene una viscosidad cinemática de 250-400 cSt. Para nuestro cálculo se sobreestimaré la potencia tomando el valor más alto de viscosidad de 400 cSt. Tome en cuenta que el precio depende del tipo de aceite de silicona a utilizar, aunque las recomendaciones Nordtest recomiendan utilizar aceite menor a 50 cSt estos tienen un costo muy elevado, para la construcción y pruebas se tomará un aceite de 250-400 cSt para las pruebas. con estos datos la viscosidad dinámica obtenida es 0.388 Kg/m-s o 388 mPa s.

Con el valor de la viscosidad del fluido obtenida se consulta la tabla 2.3, se observa que hay dos posibilidades, se pueden usar impeler, tipo turbina o tipo hélice. Se escogen el tipo turbina, ya que los impulsores de este tipo son más fáciles de conseguir y resultan más económicos que de hélice.

Tabla 2.3 Tipo de impeler en función del rango de viscosidad

Tipo de impeler	Rango de viscosidad (mPa s)
Turbina	1 – 50000
Hélice	1 – 10000
Ancla	100 – 5000
Remo	100 – 50000
Ancla - compuerta	1000 – 100000
Tornillo helicoidal	5000 – 500000
Cinta helicoidal	10000 – 5000000

Fuente: (Karanth & Raj, 2005)

Como se puede observar en la figura 2.6 los impulsores tipo turbina producen un flujo radial, lo cual favorece la homogeneización de la temperatura de forma radial, se debe tomar en cuenta que las unidades Kg/m-s son equivalentes a Pa-s.

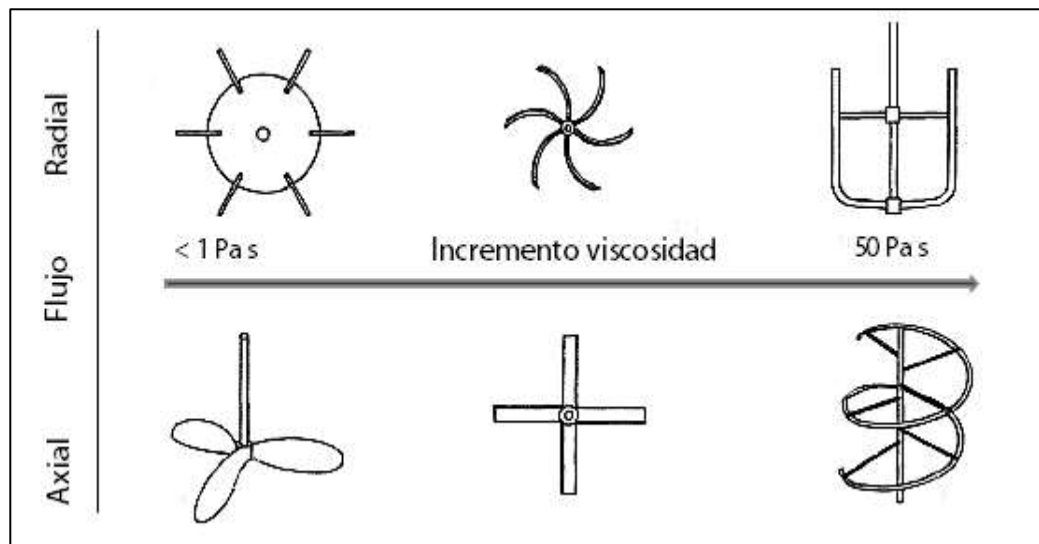


Figura 2.6 Tipos de impeler en función de la viscosidad y tipo de flujo

Fuente: (Karanth & Raj, 2005)

Existen recomendaciones para la ubicación y dimensiones del impeler en un tanque con agitación, en la figura 2.7 se muestra las dimensiones principales de un tanque con agitación estándar y a continuación se detalla el significado de cada nomenclatura. H es altura del nivel de líquido tomando en cuenta desde la base hasta la superficie, D_t es diámetro del tanque de la cámara interior, D_a es diámetro del agitador medido desde las puntas de los álabes, E es distancia del fondo del tanque al agitador, B es ancho del baffle en el caso que se requiera de uno según las necesidades y finalmente W es Ancho del impeler a seleccionar. Las dimensiones para estos cálculos se encuentran definidos en la figura 2.4 de donde se conocen las dimensiones finales de la cámara interior.

Las relaciones recomendadas para el dimensionamiento geométrico del agitador, utilizadas no son valores definitivos del diseño, pues son recomendaciones que no se deben seguir estrictamente, sino que estas

permiten un cierto margen de tolerancia especialmente cuando se tiene limitaciones de diseño, entre estas se pueden mencionar los equipos e instrumentos que pueden interferir con el movimiento rotativo del agitador.

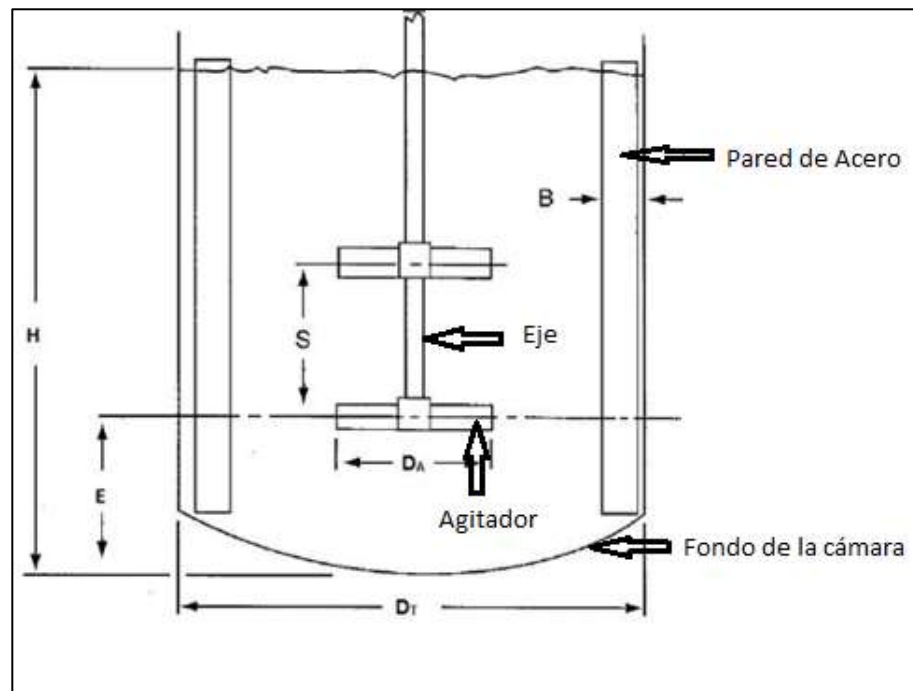


Figura 2.7 Dimensiones de un tanque agitado estándar

Fuente: (Kayode, 2001)

Para determinar el diámetro del agitador se recomienda utilizar la siguiente expresión (Kayode, 2001):

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{4} \quad \text{ec. (2)}$$

Donde:

D_a es el diámetro del agitador [cm].

D_t es el diámetro de la cámara interior [cm].

Se conoce que el diámetro de la cámara interior es 15 cm como se muestra en la figura 2.4 por lo tanto para cumplir la ec. (2) el diámetro recomendado para el agitador es de 3.75 cm. Mientras que para determinar la cantidad de líquido en la cámara se utiliza la siguiente relación (Kayode, 2001):

$$\frac{H}{D_t} = 1 \quad \text{ec. (3)}$$

Donde:

H es la altura del fluido dentro del recipiente cilíndrico [cm].

En consecuencia, para cumplir esta relación, la altura es igual al diámetro de la cámara interior que corresponde a 15 cm. Los deflectores se utilizan para evitar la vorticidad dentro de la cámara. El ancho de las placas deflectoras o simplemente deflectores se toma en cuenta la siguiente relación (Kayode, 2001):

$$\frac{B}{D_t} = \frac{1}{12} \quad \text{ec. (4)}$$

Donde:

B es el ancho de los deflectores [cm].

Como resultado se tiene una anchura de 1.25 cm de los deflectores. El uso de estos deflectores y sus medidas dependen de la disponibilidad de espacio dentro de la cámara pues se está considerando un diseño compacto. Para determinar la ubicación del impeler en la cámara se utiliza la siguiente expresión en función del diámetro del agitador (Kayode, 2001):

$$\frac{E}{D_a} = 1 \quad \text{ec. (5)}$$

Donde:

E es la distancia entre el fondo de la cámara y la ubicación del impeler verticalmente. [cm].

Por lo que se obtiene una altura de 3.75 cm. Finalmente, el ancho del impeler, distancia entre las caras está dado por (Kayode, 2001):

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{8} \quad \text{ec. (6)}$$

Donde:

W es el ancho del impeler [cm].

Se obtiene de esta operación un ancho del impeler de 4.68 mm, la altura y el número de impeler no se calculan debido a que el diseño no necesita de ello debido a la posición del agitador en la cámara interior.

La figura 2.8 muestra los patrones de flujo para distintas locaciones del agitador en el tanque, sin baffles (izquierda) y con baffles (derecha). Se puede observar que para el caso que no existen baffles se producen vórtices en el líquido, lo que afecta la homogeneidad de la temperatura del fluido en el tanque, esta vorticidad disminuye cuando se coloca el agitador descentrado, sin embargo, no desaparece.

Por otro lado, cuando se utilizan baffles el fenómeno de vorticidad desaparece casi por completo. Se puede inferir que, de acuerdo con la posición del motor agitador y la anchura de la tapa superior, el agitador no podrá ser ubicado de forma concéntrica con el cilindro, lo que contribuye a que no se genere vórtices en la superficie, haciendo irrelevante el uso de deflectores, en la figura también se puede observar la dirección del fluido dentro de la cámara, tanto en la vista frontal como en la vista superior, tome en cuenta que la dirección del flujo también está definida por el tipo de impeller utilizado que para el diseño de un calibrador de termómetros corresponde a un impeller tipo turbina, el flujo es impulsado hacia el fondo como se muestra en las figuras, la dirección también depende de la dirección de giro del impeller.

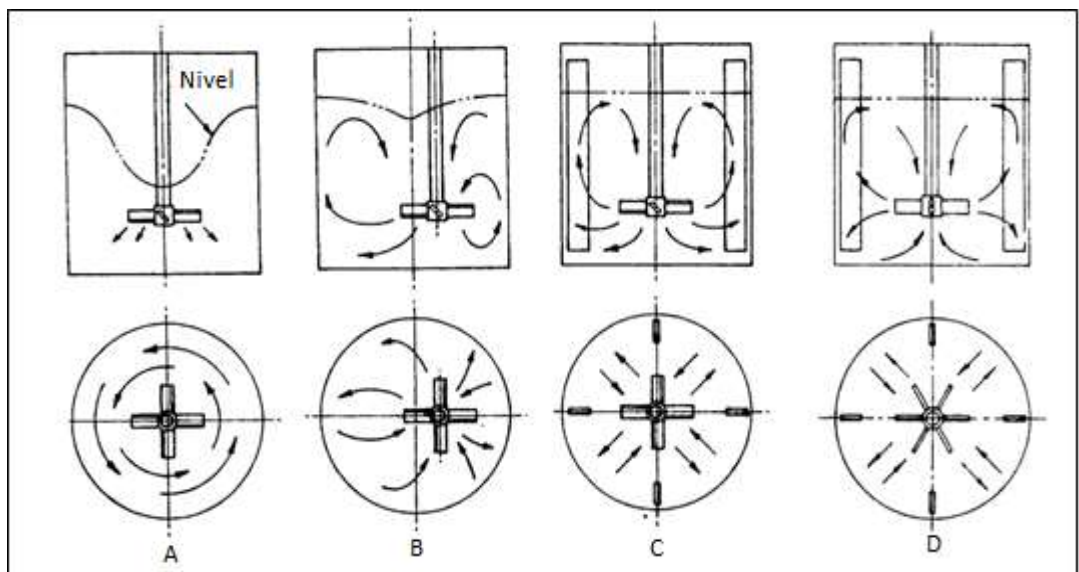


Figura 2.8 Patrón de flujo de un tanque agitado

Fuente: (Kayode, 2001)

2.3.4 Análisis de transferencia de calor.

La figura 2.9 muestra un diagrama de energía simplificado de la transferencia de energía tanto calorífica y mecánica en el equipo, en este se puede observar las 4 fuentes de entrada de energía en flechas de color negro y el flujo dentro del equipo estas son: energía mecánica (E_m), energía de calentamiento (E_c), energía de refrigeración (E_r) y la energía de ventilación (E_v). En el gráfico no se muestra el calor trasferido al ambiente a través de la frontera de nuestro volumen de control.

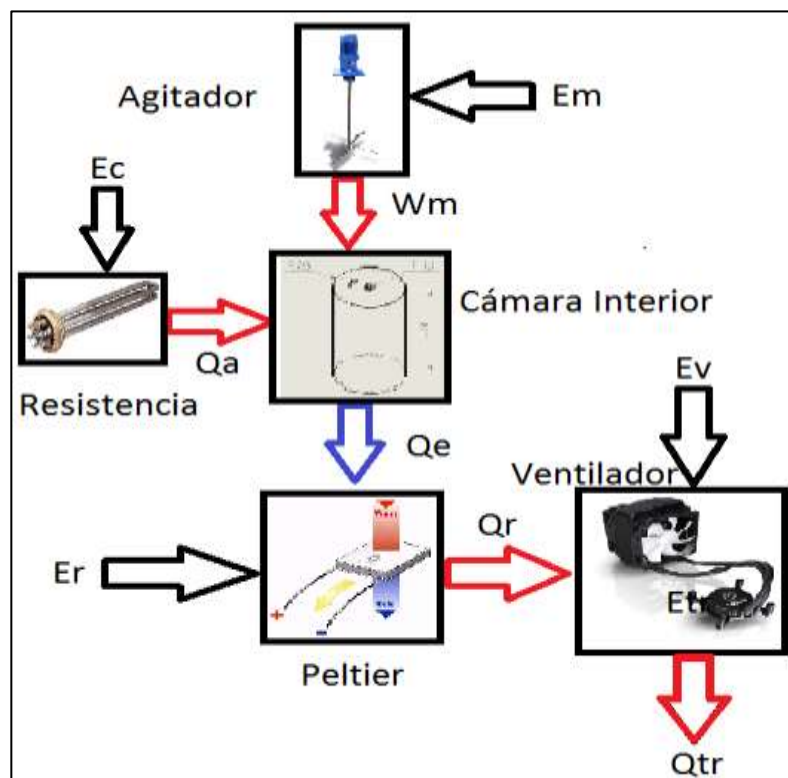


Figura 2.9 Diagrama de energía del equipo

Fuente: Elaboración Propia

En este gráfico se puede apreciar el trabajo mecánico (W_m) aportada a la cámara interior por el agitador se expresa en un aumento de la temperatura, en caso que se desee temperaturas altas dentro de la cámara este trabajo W_m beneficia al calentamiento debido que el calor añadido (Q_a) se suma a W_m para elevar la temperatura. Q_a es el calor aportado por la resistencia eléctrica hacia la cámara mientras que al enfriar se define el calor extraído

Q_e . Este debe abastecer no solo calor para reducir la temperatura sino también la energía aportada W_m del agitador.

Cuando se desea calentar o enfriar la cámara según sea los propósitos y parámetros a calibrar, los sistemas no deben funcionar simultáneamente. Las celdas de Peltier absorberán calor de la cámara interior Q_e en una cara de la celda y calentará la otra rechazando el calor Q_r hacia el sistema de ventilación para removerlo, la energía rechazada Q_r según la primera ley de la termodinámica es la suma de la energía E_r y el calor absorbido Q_e . El sistema de ventilación es alimentado por energía eléctrica E_v , y rechazando el calor total del rechazado Q_{tr} .

Se determina primero el calor de fuga a través de la frontera del volumen de control definido como la cámara interior, existen 3 medios para analizar debido a su geometría, el calor transferido por las paredes laterales, transferido por la base en la parte inferior y por la tapa en la parte superior.

2.3.4.1 Calor rechazado a temperatura máxima de la cámara interior.

Para el calor transferido por las paredes se comienza seleccionando el tipo de aislante, que para el diseño de la cámara interior es lana de vidrio comercial, la conductividad térmica de lana de vidrio industrial no cambia considerablemente con el aumento de la temperatura por lo que se considera constante. Se utiliza un modelo matemático de resistencias térmicas en serie en una sección circular. Por lo tanto, según este modelo, se tienen los siguientes medios de transferencia de calor, la convección térmica del fluido de trabajo, la conductividad de la pared interior de la cámara, la conductividad del aislante, la conductividad de pared de la parte exterior y la convección térmica del aire en el ambiente. Se desprecia las resistencias de las paredes del recipiente por dos motivos principales, uno en base a los materiales utilizados y segundo por la geometría utilizada. El material es aluminio que posee una conductividad alta que no ofrece

resistencia al calor y, segundo, el espesor de la cámara es mínimo, por lo que tampoco aportan resistencia al paso de calor, por lo que es insignificante para el cálculo de calor rechazado, de la misma manera no se considera la resistencia de contacto entre paredes.

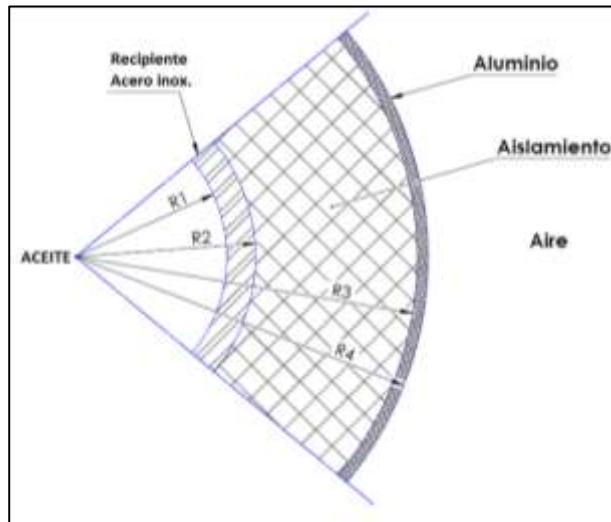


Figura 2.10 Esquema de sección de cámara interna

Fuente: Elaboración Propia

El modelo matemático para transferencia de calor para esta geometría que muestra en la figura 2.10 se puede representar mediante resistencias térmicas. Se puede apreciar que se posee los siguientes medios de conducción y convección. El fluido interno que al ser rotado por el agitador posee un coeficiente convectivo interno. Se estima el cálculo de calor rechazado por las paredes del cilindro considerando que el recipiente tiene una temperatura elevada máxima de 120°C (T_{in}) y una temperatura ambiente de 25°C (T_{amb}). Por lo que los valores encontrados son valores de transferencia máxima de calor.

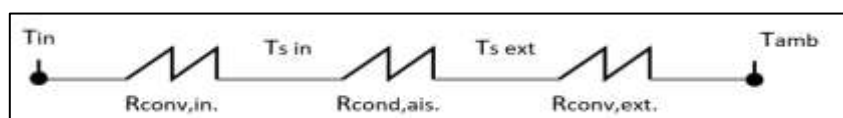


Figura 2.11 Representación de resistencias térmicas del modelo

Fuente: Elaboración Propia

El diagrama de resistencias térmicas mostrado en la figura 2.11 puede ser representado por las siguientes expresiones:

$$Q_{lateral} = \frac{T_{in} - T_{amb}}{R_{total}} \quad \text{ec. (7)}$$

$$R_{total} = R_{conv:in} + R_{cond:ais} + R_{conv;ext} \quad \text{ec. (8)}$$

Donde:

T_{in} es la temperatura interna máxima en calentamiento máximo [°C].

T_{amb} es la temperatura ambiente exterior [°C].

R_{total} es la resistencia total según su configuración en serie [K/W].

$Q_{lateral}$ es el calor trasferido por la pared en calentamiento máximo [W].

$R_{conv:in}$ es la resistencia térmica convectiva en la cámara [K/W].

$R_{cond:ais}$ es la resistencia térmica conductiva del aislante [K/W].

$R_{conv;ext}$ es la resistencia térmica convectiva en la cámara [K/W].

Es importante reconocer los valores de las resistencias térmicas planteadas en la ec. (8) que se encuentran en función de las propiedades de los materiales a utilizar y de la configuración planteada en la figura 2.10. Se considera además que R2 como R4 son iguales a R1 y R3 respectivamente. Al considerar un sistema cilíndrico de transferencia de calor el valor de la resistencia térmica convectiva en la cámara se la puede definir como:

$$R_{conv:in} = \frac{1}{2 \pi h_{fluido} r_1 H_r} \quad \text{ec. (9)}$$

$$R_{cond:ais} = \frac{\ln \frac{r_3}{r_1}}{2 \pi k_{aislante} H_r} \quad \text{ec. (10)}$$

$$R_{conv;ex} = \frac{1}{2 \pi h_{aire} r_3 H_r} \quad \text{ec. (11)}$$

Donde:

h_{fluido} es el coeficiente convectivo del fluido [W/m²-K].

h_{aire} es el coeficiente convectivo del aire [W/m²-K].

$k_{aislante}$ es la conductividad térmica del aislante [W/m-K]

r_1 es el radio interior de la cámara [m].

r_3 es el radio exterior de la cámara [m].

H_r es la altura real del líquido de trabajo en la cámara [m].

Los radios interiores y exteriores son definidos en la geometría de la cámara de la figura 2.4 correspondientes a 7.5 cm para el radio 1 y 10.04 cm para el radio 2 debido al espesor de una pulgada del aislante, el coeficiente convectivo del aire es 15 W/m²-K, valor normalmente utilizado para el aire atmosférico en fluido de procesos. En un sistema de resistencias en serie, la resistencia total global es menor que la menor de las resistencias, por lo tanto, la resistencia con valor dominante es la más baja. Por lo tanto, el cambio del coeficiente convectivo del aire no es relevante ni significativo para el cálculo del calor transferido. El coeficiente de transferencia de calor conductivo del aislante es 0.034 [W/m-K] correspondiente a la conductividad térmica de lana de vidrio.

Se puede tomar en cuenta que el modelo de resistencia solo se aplica la parte llena con líquido en la cámara, esta distancia es de 7 cm, 8 cm menos que el valor recomendado, por la ec. (3). y el coeficiente convectivo del fluido se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Nu_{fluido} = \frac{2 r_1 h_{fluido}}{k_{fluido}} \quad \text{ec. (12)}$$

Donde:

Nu_{fluido} es el Número de Nusselt del fluido.

k_{fluido} es la conductividad térmica del fluido a temperatura promedio [W/m-K].

r_1 es el radio de la cámara interior [m].

La conductividad térmica del fluido es función de la temperatura, por lo que se toma la temperatura promedio entre la mínima y la máxima, note que se puede reescribir la ecuación ec. (12) con el diámetro en vez del radio. La conductividad térmica del fluido corresponde a una propiedad que se muestra en el anexo en la figura A.2, en ficha técnica del aceite de silicona corresponde a 0.00038 W/m-K, para el número de Nusselt se utiliza la siguiente correlación para fluidos de procesos (Fernández Y., 2015):

$$Nu_{fluido} = A Re^{\frac{2}{3}} Pr^{\frac{1}{3}} \left[\frac{\mu_{prom}}{\mu_s} \right]^{0.14} \quad \text{ec. (13)}$$

Donde:

Nu_{fluido} es el número de Nusselt del fluido.

Re es el Número de Reynolds del fluido.

Pr es el Número de Prandtl del fluido a temperatura promedio.

μ_{prom} es la viscosidad del fluido a temperatura promedio entre la superficie del recipiente y la fluido [Kg/m-s].

μ_s la viscosidad del fluido a temperatura de superficie. [Kg/m-s].

La viscosidad del fluido se toma a temperatura promedio entre la superficie y la temperatura del recipiente que lo contiene, dicha propiedad no se encuentra registrada en la ficha técnica, solo se proporciona la viscosidad a temperatura ambiente, por lo que se utilizará la propiedad del principal componente del aceite de silicona, el siloxano para aproximarlos. El número de Prandtl es una propiedad de un fluido en función de presión y temperatura, por lo que la temperatura considerada para esta propiedad será también la temperatura promedio entre la superficie y el fluido.

La ecuación 13 también depende del número de Reynolds del fluido y a su vez, depende del diámetro del agitador de impeler utilizado, de la densidad y de la viscosidad cinemática, y el número de revoluciones, el número de Reynolds se calcula según la expresión:

$$Re = N_{SI} D_a^2 \left[\frac{\rho_{fluido}}{\mu_{fluido}} \right] \quad \text{ec. (14)}$$

Dónde:

Re es el número de Reynolds en el fluido dentro de la cámara.

μ_{fluido} es la viscosidad cinemática del fluido de trabajo [Kg/m-s].

N_{SI} es la velocidad de rotación [rad/s].

D_a es el diámetro del agitador en la cámara interior [m].

ρ_{fluido} es la densidad del fluido [Kg/m³]

Con la viscosidad cinemática encontrada en la ec. 1, se obtiene un valor de 0.388 Kg/m-s de viscosidad dinámica por lo que se calcula el número de

Reynolds, donde se obtiene un resultado de 4.91×10^6 , flujo considerado como turbulento porque el número excede a 10^5 . La densidad se considera a temperatura ambiente, lo que corresponde a un valor de 970 Kg/m^3 como se muestra en el anexo figura A.2, la velocidad de revolución del agitador es 120 rpm equivalentes a 12.57 rad/s, el diámetro del agitador utilizado es 6 cm.

La viscosidad en la superficie en la ecuación 13 dependerá de la temperatura en la superficie, para esto se necesita encontrar la dicha temperatura, por lo cual se calcula el calor transferido mediante la ecuación de resistencia en serie mostrada en la figura 2.11 pero hasta la superficie interior, es decir, mediante la expresión:

$$Q_{lateral} = \frac{T_{in} - T_{sup}}{R_{conv;in}} \quad \text{ec. (15)}$$

Donde:

T_{sup} es la temperatura en la superficie interior de la cámara [C].

T_{in} es la temperatura interior del fluido [C].

Como se puede observar, este sistema de ecuaciones está conformado por las expresiones: 7, 8, 9, 12, 13 y 14; se resuelve mediante un método iterativo con un valor inicial y corrigiendo el valor de salida, para esto se realizaron los cálculos por medio de métodos iterativos, herramientas como Excel o EES se pueden utilizar. Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene un coeficiente convectivo de $57.3 \text{ [W/m}^2\text{-K]}$ y una temperatura superficial de $117.7 \text{ }^\circ\text{C}$, como los datos más relevantes.

Con estos datos los resultados de las resistencias de la ecuación 9, 10 y 11 son 0.529 , 19.5 y 1.51 K/W respectivamente, por lo tanto, la resistencia total es 21.54 K/W . Aplicando la ecuación 7, se obtiene una potencia calorífica perdida por la pared lateral de 4.41 W .

Se puede calcular la temperatura de la superficie exterior para determinar la temperatura que está expuesta al ambiente y si esta tiene el riesgo sobre

las personas al provocar quemaduras durante su manipulación, aplicando una ecuación equivalente a la ecuación 15, se determinó que la temperatura exterior es 31.66 °C, por debajo de los 50°C temperatura establecidos máxima establecida como medida de seguridad.

Otras fuentes de perdida de calor son la base en la parte inferior donde se aplica un sistema simple con 3 resistencias, pero con el modelo de traspaso de calor por la pared plana con convección simple, por lo que usamos la expresión:

$$Q_{base} = \frac{T_{in} - T_{amb}}{\frac{1}{h_{fluido} A_b} + \frac{L_b}{k_{aislante} A_b} + \frac{1}{h_{aire} A_b}} \quad \text{ec. (16)}$$

Donde:

T_{in} es la temperatura interna máxima en calentamiento máximo [°C].

T_{amb} es la temperatura ambiente exterior [°C].

h_{fluido} es el coeficiente convectivo del fluido [W/m²-K].

h_{aire} es el coeficiente convectivo del aire [W/m²-K].

$k_{aislante}$ es la conductividad térmica del aislante [W/m-K].

L_b es la distancia entre la pared interior y la pared exterior de la base [m].

A_b es el área circular de la base en [m²].

Los valores de temperaturas y coeficientes son los mismos valores encontrados anteriormente en el cálculo de calor a través de la pared lateral, para la pared plana la longitud entre paredes corresponde al espesor del aislante que posee una distancia de una pulgada o 2.54 mm, y el con el diámetro tenemos un área de 0.0177 m². El calor trasferido por la base encontrada es 4.438 W. El análisis de calor por la parte superior es mucho más complejo debido a que la tapa no está aislada térmicamente.

Por lo que se considerará que se encuentra expuesta al ambiente directamente por una pared plana desde el nivel del fluido hasta la tapa a temperatura ambiente, este análisis esta sobre estimando el calor trasferido por la tapa con el fin de garantizar que la selección del sistema de

calentamiento que satisfaga los requerimientos. Para esto se utiliza la expresión de flujo de calor por convección simple:

$$Q_{tapa} = h_{aire} A_t (T_{in} - T_{amb}) \quad \text{ec. (17)}$$

Donde:

Q_{tapa} es el calor trasferido por la parte superior [W]

A_t es el área del orificio central [m²]

h_{aire} es el coeficiente convectivo del aire [W/m² -K]

El área de la tapa se observe en la figura 2.4 correspondiente a la misma área de la base con un valor de 0.0177 m², por lo que el calor trasferido por la parte superior es 25.18 W, finalmente se suman los valores de transferencia de calor para determinar el calor trasferido desde el interior de la cámara hacia los exteriores cuando opera a su máxima temperatura de diseño que corresponde a 34.03 W.

2.3.4.2 Calor absorbido por la cámara interior a temperatura mínima.

La cámara interior al operar a temperatura mínima, cuando se tiene la máxima diferencia de temperatura, la transferencia de calor es máxima, tal como se realizó para el caso de calor. Se plantean las mismas ecuaciones, pero se modifica la temperatura interna del fluido a 10 °C. Tome en cuenta que tanto la geometría como los materiales no cambian. Reemplazando la temperatura en las ecuaciones 7, 13 y 14 se obtiene 0.696 W, 0.708 W y 4.41 W, teniendo un resultado total de transferencia de 5.373 W. se debe tomar en cuenta que debido a que la diferencia de calor es menor con respecto a el calentamiento lo que conlleva a un flujo de calor menor que ingresa a la cámara interior.

2.3.5 Selección del sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración debe proveer a la cámara interior una extracción de calor suficiente para tener una temperatura por debajo de los 10°C o menor, para esto se consideran 2 tipos de sistemas de refrigeración. Un

ciclo básico de refrigeración de Rankine Invertido, es decir un sistema que incluye compresor, condensador evaporador y válvula de estrangulamiento, y también se considera como otra opción un sistema de refrigeración utilizando placas de Peltier. En el cuadro siguiente se muestran las ventajas y desventajas que presenta cada sistema.

Tabla 2.4 Ventajas y desventajas de sistema de refrigeración

Sistemas	Ventajas	Desventajas
Peltier	Peso Liviano	Necesita Transformador
	Diseño Simple	
	Se puede Controlar	
	Temperatura de hasta -30°C	
Invertido	Mejor Coeficiente de Desempeño	Elevado Peso del Sistema
		Altos Costos
		Control ON/OFF
		Sistema Complejo

Fuente: Elaboración Propia

Debido a que las hipótesis del diseño se considera un peso liviano para el conjunto del equipo, pues se busca que sea portable, por lo tanto, se elige el sistema con placas de Peltier.

Para determinar la potencia de extracción de calor Q_e como se observa en la figura 2.9 necesaria se toma en cuenta el calor necesario para llevar el aceite de silicona de una temperatura ambiente a una de 10°C y el tiempo razonable de 5 min, como se muestra en la ec. (16), esta ecuación es resultado de un balance de energía para enfriamiento según la figura 2.9, se debe tomar en cuenta que la resistencia no estará encendida por lo que no aportará calor, no así el agitador y el calor trasferido por las paredes calculados en la sección anterior, por lo tanto, se tiene:

$$Q_e = Q_{cp;R} + Q_{transferido;R} + W_m \quad \text{ec. (18)}$$

$$Q_{cp;R} = \frac{\rho_{fluido} vol_{fluido} CP_{fluido;r}(T_{amb} - T_{frío})}{tiem_{frío}} \quad \text{ec. (19)}$$

Donde:

Q_e es el calor total extraído [W].

$Q_{cp;R}$ es el calor necesario para descender la temperatura del fluido [W].

$Q_{transferido;R}$ es el calor que ingresa a la cámara desde alrededores [W].

ρ_{fluido} es la densidad del fluido de trabajo [Kg/m³].

vol_{fluido} es el volumen del fluido en la cámara cilíndrica [m³].

$CP_{fluido,r}$ es la capacidad calorífica del fluido a temperatura promedio [J/Kg-K].

T_{amb} es la temperatura ambiente inicial [C].

$T_{frío}$ es la temperatura final al enfriar [C].

$tiem_{frío}$ es el tiempo que tomará enfriarse el fluido de trabajo [s].

La temperatura inicial de la refrigeración es 25 °C, y la temperatura final es de 10°C, la densidad del fluido de trabajo se lo define a temperatura ambiente como se muestra en la ficha técnica en el Anexo figura A.2, mientras que el volumen ocupado es de un cilindro de la cámara interna pero al no estar completamente lleno se debe tomar en cuenta que la altura es de 7 cm de alto por lo que se tiene un volumen de 1.24 litros, como se muestra en el cálculo de calor trasferido por pared cilíndrica. Resolviendo ec. (16) se obtiene un calor de salida mediante la placa Peltier de 64.76 W cuando se define un tiempo de enfriamiento de 5 minutos para toda la cámara sin considerar las perdidas por eficiencia.

Por otro lado, este sistema de refrigeración en la cámara necesita también un sistema de remoción de calor, esta remoción de calor en la superficie caliente de la celda Peltier está vinculada a la temperatura mínima que puede alcanzar dicho sistema en la otra superficie, por lo que se contempla un sistema con disipador de calor mediante superficies aleteadas y un ventilador para remover el calor generado por esto sistemas, estos tipos de enfriadores son ampliamente utilizados en sistemas con celdas Peltier y para componentes electrónicos como transistores, los ventiladores evitan el sobrecalentamiento de los equipos cuando se encuentran funcionando.

2.3.6 Selección del sistema de calentamiento.

El sistema de calentamiento de la cámara interior es sencillo pues se toma como referencia la potencia necesaria para calentar, según el diseño termodinámico para elevar la temperatura a 120°C. De la figura 2.9 para el sistema de calentamiento se realiza un balance de energía según la primera ley de la termodinámica, para este caso el trabajo aportado por el agitador contribuye al aumento de temperatura, el calor añadido necesario que se debe aportar a la cámara interior se puede expresar mediante:

$$Q_a = Q_{cp;c} + Q_{transferido} - W_m \quad \text{ec. (20)}$$

Donde:

Q_a es el calor añadido desde la resistencia [W]

$Q_{cp;c}$ es el calor necesario para elevar la temperatura del flujo a 120°C [W]

$Q_{transferido}$ es el calor transferido perdido por las superficies [W]

W_m es la potencia mecánica aportada por el agitador [W]

El calor trasferido por la superficie calculado en la sección anterior es de 20.48 W, posteriormente se determina en la siguiente sección, el calor necesario para aumentar la temperatura del aceite de silicona se puede expresar como:

$$Q_{cp;c} = \frac{\rho_{fluido} vol_{fluido} CP_{fluido;c} (T_{amb} - T_{cal})}{tiem_c} \quad \text{ec. (21)}$$

Donde:

$Q_{cp;c}$ es el calor necesario para elevar la temperatura del flujo a 120°C [W].

ρ_{fluido} es la densidad del fluido de trabajo [Kg/m³].

vol_{fluido} es el volumen del fluido en la cámara cilíndrica [m³].

$CP_{fluido;c}$ es la capacidad calorífica del fluido [J/Kg-K].

T_{amb} es la temperatura ambiente inicial [C].

T_{cal} es la temperatura final al enfriar [C].

$tiem_c$ es el tiempo de calentamiento hasta 120°C del fluido de trabajo [s].

La temperatura inicial para el calentamiento es la temperatura ambiente de 25 °C, y la temperatura final es de 120°C, la densidad del fluido de trabajo se lo define a temperatura ambiente como se muestra en la ficha de Anexo, mientras que el volumen ocupado es 1.24 litros según las dimensiones de la cámara interior con fluido llenado hasta la una altura de H_r de 7 cm como se muestra en el cálculo de calor trasferido por pared cilíndrica. La capacidad calorífica promedio (a 72.5°C) es 2025 J/Kg-K, resolviendo la ec. 16 se obtiene un calor de salida de la resistencia hacia la cámara de 222.9 W cuando se define un tiempo de enfriamiento de 10 minutos para toda la cámara sin considerar las perdidas por eficiencia.

El sistema de calentamiento más sencillo es la resistencia eléctrica, se considera la resistencia eléctrica debido a que su operación es simple y compacta, se toma en cuenta que la resistencia utilizada es sumergible y debe ser instalada en la cámara interior, esta debe ser manejada mediante un sistema de control de temperatura.

2.3.7 Requerimientos de potencia

El requerimiento de potencia se refiere a la cantidad de energía que debe ser suministrada al equipo para que cumpla con sus funciones, el análisis de potencia se evaluará termodinámicamente por lo que los valores de entrada son mínimos y no consideran las eficiencias de todos los equipos, los resultados finales se obtienen durante las pruebas.

Para el cálculo de potencia del agitador depende del tipo de impeler seleccionado anteriormente, las propiedades del fluido de trabajo y la velocidad de giro del eje, para el diseño tenemos un impeler tipo turbina y un número de Reynolds calculado según la expresión:

$$W_m = Np \rho_{fluido} N_{SI}^3 D_a^5 \quad \text{ec. (22)}$$

Dónde:

Np es el número de potencia

W_m es la potencia mecánica requerida para la rotación [W].

ρ_{fluido} es la densidad del fluido [Kg/m³]

N_{SI} es la velocidad de rotación [rad/s].

D_a es el diámetro del agitador en la cámara interior [m].

La densidad del fluido es tomada a temperatura ambiente, lo que corresponde a un valor de 970 Kg/m³ como se muestra en el Anexo, la velocidad de revolución del agitador es 120 rpm equivalentes a 12.57 rad/s, el diámetro del agitador utilizado es 6 cm y Np es el número de Potencia, el número de Reynolds es 4.91×10^6 considerado como flujo turbulento como se calcula en la ecuación 14. Luego, se obtiene un Número de Potencia Np de 2.8 como se muestra en el gráfico A.1 del anexo que se encuentra en función del número de Reynolds y el tipo de Agitador a utilizar. Posteriormente, se calcula la potencia con la ec (18), obteniendo una potencia de 3.44 W, con un motor que gira a 120 rpm.

2.3.8 Selección y diseño de controlador.

En el mercado se pueden encontrar controladores de temperatura según la aplicación que se requiera, se toma en cuenta dos tipos sistemas de control, mediante controladores integrados usados en la industria y mediante el uso de controlador general de Arduino. El primero es un sistema de gran confiabilidad y versatilidad, pero su configuración depende del tipo de fabricante y de los sensores que estos admitan en su sistema. Los controladores industriales poseen salidas controladas por Relé, estos mediante el registro de impulsos a bajos voltajes abren o cierran los circuitos controlados, por lo que el sistema controlado es no analógico, es decir su salida es mediante sistema on/off, por el contrario, un sistema Arduino se puede configurar para salidas analógicas pero la precisión que manejan es muy baja alrededor de +/- 1°C, por lo que su uso no es recomendable para estos sistemas.

Los sistemas industriales de control de temperatura o termostato dirigen la temperatura en una dirección para mantener en un estado casi estable el sistema. Una de las desventajas de un sistema de control es que su manipulación y configuración debe ser realizado por un experto en el tipo particular del controlador, los menús y configuraciones varían de acuerdo al fabricante, mientras que un sistema con control de Arduino puede ser manipulado por cualquier persona que conocimientos básicos en programación. Se selecciona el controlador industrial de temperatura, ya que el mismo permite distintas configuraciones de control: PI, PID, y on/off con histéresis ajustable.

En la figura 2.12 se muestra el diagrama de bloques de lazo cerrado con retroalimentación (feedback), el cual muestra el funcionamiento del sistema de calentamiento, se establece una temperatura de entrada T_e , a continuación tenemos el controlador, luego el actuador (resistencia eléctrica) y luego el proceso que es el calentamiento del fluido contenido en la cámara interna, luego tenemos el sensor de temperatura, el cual censa la temperatura del fluido y esta es retroalimentada al controlador, el cual maneja la resistencia. Para la selección del controlador existen parámetros importantes a tomar en cuenta: el rango de voltaje de alimentación, el rango de temperatura depende del sensor que se utiliza y del tipo de configuración de control. Se consideran diferentes tipos de sensores para el controlador. Se selecciona un sensor Pt-100 de 3 hilos debido a su precisión y su disponibilidad en el mercado local.

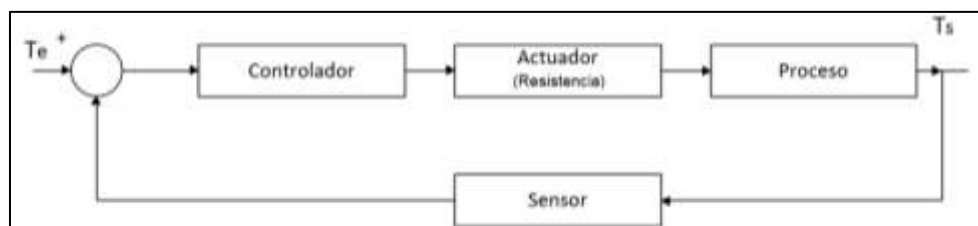


Figura 2.12 Diagrama de bloques de sistema de calentamiento

Fuente: Elaboración Propia

La figura 2.13 se muestra el diagrama de bloques de lazo cerrado con retroalimentación (feedback), el cual muestra el funcionamiento del sistema de enfriamiento, se establece una temperatura de entrada T_e , a continuación, tenemos un controlador tipo on/off, luego el actuador (Peltier) y luego el proceso que es el enfriamiento del fluido contenido en la cámara interna, luego tenemos el sensor de temperatura, el cual censa la temperatura del fluido y esta es retroalimentada al controlador, el cual maneja la electroválvula.

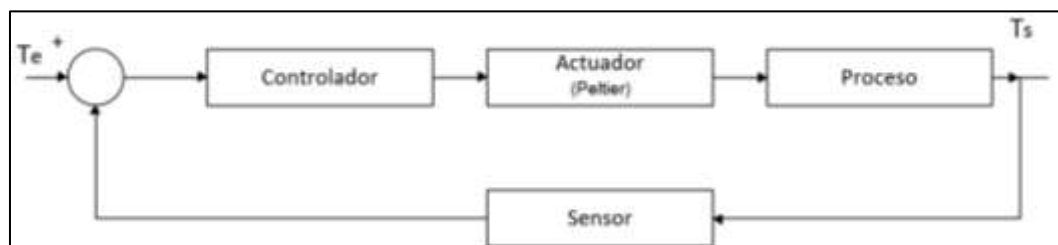


Figura 2.13 Diagrama de bloques de sistema de refrigeración

Fuente: Elaboración Propia

Un sistema equivalente, menos confiable y mucho más sencillo, es utilizar una placa Arduino UNO, esta placa codificable nos permite enviar los datos a una laptop o computador mediante un cable de datos, la instalación es simple y su codificación sencilla, pero al no ser creado como un controlador de temperatura, carece de la posibilidad de variar la intensidad de potencia entregada por lo que el control se realiza mediante un sistema de on/off, por lo que para controlar la inercia térmica se debe mejorar la codificación evitando una entrega de potencia máxima por tiempos muy prolongados, además debe permitir alcanzar la temperatura seteada en el menor tiempo posible, controlando solo el tiempo de encendido, por lo que para este tipo debe simular un controlador P, PI o PID mediante pulsos de potencia máxima.

En la figura 2.14 se muestran las ventajas y desventajas de utilizar una placa Arduino programable en vez de un controlador de temperatura, entre estas se pueden encontrar la manipulación de voltajes pequeños, un bajo

peso, registro y almacenamiento de datos, configuración simple y demás, ya que se trata de un sistema netamente electrónico.



Figura 2.14 Ventajas de un sistema controlado por Arduino

Fuente: Elaboración Propia

Al simular un controlador mediante sistema Arduino se debe configurar desde cero todo los sistemas que intervienen, que por el contrario un controlador de temperatura industrial ya tiene incorporado, esto son, configuración de la pantalla para mostrar temperatura, tiempos entre lectura, configuración de resistencias, configuración de salida de datos por computadora, tiempo de impulsos, condiciones de encendido y apagado, declaración de variables, interpretación de la resistencia debido a la sonda utilizada, además de la instalación física del armado del circuitos pantallas, relés para controlar por medio de señales de bajo voltaje, equipos de 110V y 240V, entre otros., en este proyecto no se detalla la configuración, pero se muestra el código utilizado en el apéndice B para la placa Arduino. Es necesario utilizar y referenciar la biblioteca solicitada, esta se la puede encontrar en la página oficial de Arduino.

2.3.9 Consideraciones de construcción.

Se conocen los equipos necesarios utilizados en el calibrador de termómetros, por lo que se toma en cuenta el dimensionamiento de los equipos para instalarlos en la cámara, a continuación, en la figura 2.15 se muestra un gráfico con los equipos utilizados y la ubicación de equipos. En la cámara interior se encuentra la resistencia eléctrica en U o de varilla conectado al controlador, en la parte izquierda, junto al controlador se encuentra un panel de interruptores, estos 2 interruptores controlan el agitador y el ventilador. La figura no muestra las conexiones eléctricas, pero si los ensambles de los sistemas y su ubicación, el sistema de refrigeración se muestra debajo de la cámara, en contacto con la Peltier de un lado y el disipador por el otro lado. Tanto la resistencia como la celda Peltier están controlados mediante Arduino cuando se da como entrada una temperatura.

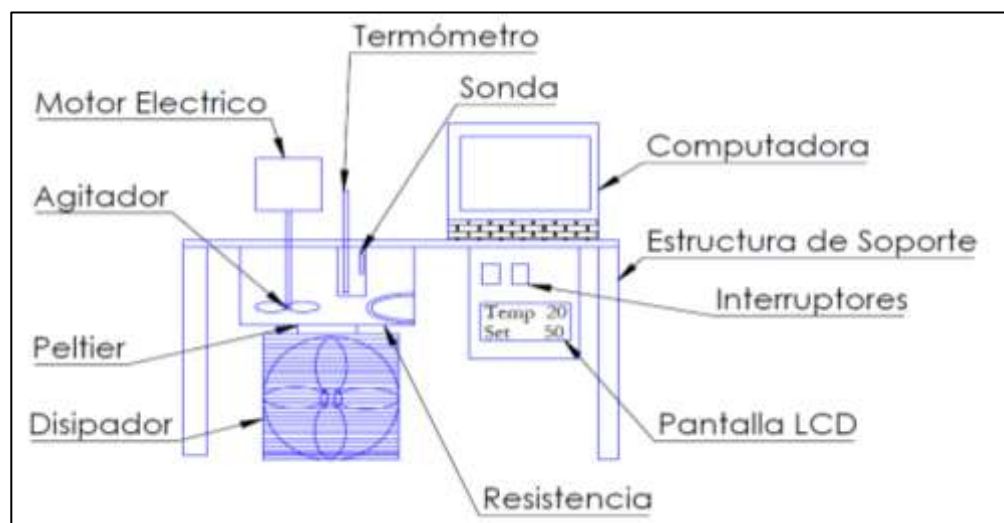


Figura 2.15 Diagrama de instalación de sistemas.

Fuente: Elaboración Propia

El motor del agitador se encuentra en la parte superior, y el eje se ubica de manera no concéntrica con el orificio de acceso como se muestra en la sección planos, dentro de la cámara se ubican dos conductos, una de entrada termómetro patrón y de termómetro a calibrar, tanto la celda de Peltier como el ventilador funcionan a 12 V por lo que se debe agregar una fuente de voltaje al sistema, todas las conexiones serán almacenadas en

la parte posterior a los interruptores, en cajas ancladas a la parte superior del equipo, la pantalla se coloca en la parte frontal, debajo de los interruptores para observar la temperatura de entrada y el estado actual de la cámara.

Se debe tomar en cuenta que la figura 2.15 no se encuentra a escala. El sistema de refrigeración se encuentra ubicado debajo de la cámara interior, de manera que esta puede regular la temperatura del fluido al encontrarse en contacto directo con la base metálica de la cámara interior, se debe considerar que cuando la cámara interna sobrepase los 40°C, la celda Peltier no debe estar funcionando, un encendido a alta temperatura es perjudicial para la placa.

Los termómetros, tanto el patrón como el termómetro a calibrar, no deben ser colocados hasta el fondo del recipiente debido que estos serían golpeados por las aspas del agitador comprometiendo su integridad, los termómetros no pueden ser colocados totalmente dentro de la cámara pues sería imposible leerlos. Ambos termómetros serán colocados dentro de un recipiente que permita al flujo de trabajo pasar por ellos, pero impidiendo que toquen el fondo o partes sensibles del equipo calibrador. Con respecto a la resistencia y el pt100 o sonda, estos son instalados de forma fija no permanente para evitar que se interfieran con los demás instrumentos y que permitan el mantenimiento de los mismos. Los detalles de la instalación son tomados en cuenta durante la construcción del equipo, en la sección planos se pueden encontrar con detalles las especificaciones del diseño.

Las instalaciones eléctricas se muestran en la figura 2.16 en la parte derecha se encuentra una fuente de 110 V, el sistema se constituye de una fuente de 12 V, que alimenta el ventilador del sistema de refrigeración, la placa Peltier y la bomba peristáltica ubicados en la parte central de la figura, en la parte superior se encuentra la resistencia eléctrica que necesita una fuente de 110V pero va conectada al controlador pues su sistema on/off es

controlado, el sistema de agitación también es alimentado con una fuente de 110V pero su sistema no es controlado por lo que su sistema será manipulado por un interruptor (interruptor 1) ubicado en la parte superior. La sonda está conectada al controlador de manera directa al Arduino dependiendo del tipo de sonda se necesita un circuito con resistencia, debido a que el controlador manipula la celda Peltier, el sistema completo de refrigeración estará encendido cuando el sistema esté energizado o seteado a baja temperatura, por lo que se utiliza un interruptor (interruptor 2) para controlar en encendido del ventilador cuando el sistema requiera temperatura por encima de la temperatura ambiente y se lo desee enfriar.

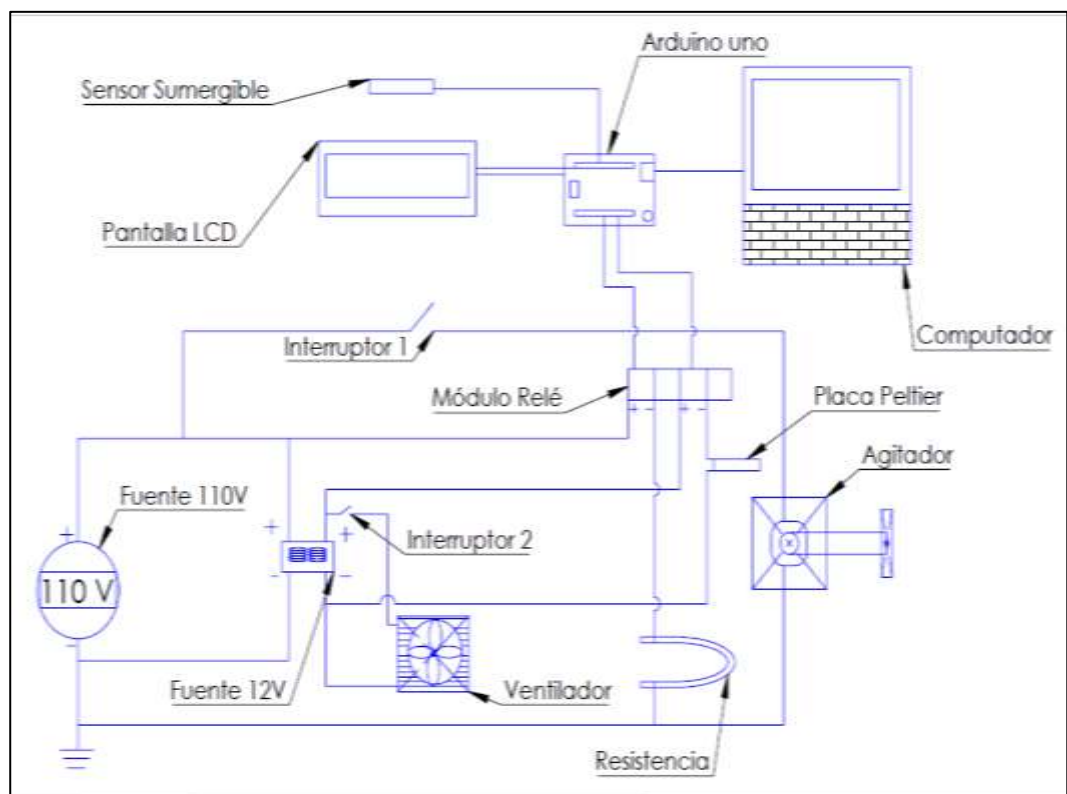


Figura 2.16 Diagrama de conexiones de los sistemas.

Fuente: Elaboración Propia

2.3.10 Estudios de repetibilidad y reproductibilidad (r&R)

Para el análisis de los datos se utilizarán estudios de R&r, estos análisis de datos permiten evaluar ensayos de aptitud, valida métodos de calibración, incertidumbres de la medición, estabilidad de los instrumentos entre otras.

Consiste en un análisis estadístico de los datos obtenidos a partir de pruebas de laboratorio. (MetAs , 2003).

La repetibilidad es la variación realizada por la misma persona para un mismo termómetro para una determinada temperatura, es una variación alrededor de la media en una medida, mientras que la reproductibilidad es la variación de dichas medidas realizadas por un conjunto de personas con el mismo instrumento de medición. Estos estudios se utilizan herramientas estadísticas como:

- Rango.
- Media.
- Desviación Estándar.
- Varianza.

El método más importante para determinar la reproductibilidad y repetibilidad es método ANOVA, que consiste en analizar la varianza entre dos influencias a la medida independientes, llamamos influencia a la medida a los factores por el cual una medida puede o no ser influenciada en su resultado. Por ejemplo, la medición de una temperatura con dos termómetros diferentes, la medición de una misma temperatura con el mismo termómetro, pero realizadas por personas diferentes, o a temperaturas diferentes, entre otras. Se debe tomar en cuenta que, si un calibrador tiene una variación de r&R superior a 30%, este equipo no está en condiciones de realizar mediciones, Para las pruebas se fijaron 3 temperaturas. (Perez M., 2010).

Para las pruebas se deben determinar tres temperaturas para ser evaluadas, mediante 4 instrumentos de medición, uno de ellos debe ser utilizado como patrón para las medidas. Se toman 10 medidas de temperatura a 20°C como temperatura mínima, 60°C como temperatura

promedio y finalmente 120°C como la temperatura máxima para este tipo de análisis.

A los valores obtenidos se determina la media o promedio y la desviación típica o estándar para valores discretos de cada instrumento y posteriormente se encuentra el promedio de todos estos valores encontrados, es decir, el promedio del promedio, mientras que, las desviaciones estándar se debe encontrar la desviación estándar de los promedios.

Luego, el promedio cuadrático de las desviaciones estándares de los instrumentos es encontrada, a este valor lo denominamos desviación estándar por repetibilidad, correspondiente a un único valor para cada medida de temperatura evaluada.

Con los resultados obtenidos se procede a calcular la variabilidad entre condiciones, tome en cuenta que, si el cuadrado de la variabilidad es negativo, entonces esta toma un valor de cero. La expresión para encontrar la variabilidad es:

$$S_L = \sqrt{S_y^2 - \frac{S_r^2}{n}} \quad \text{ec. (23)}$$

Donde:

S_L es la variabilidad entre condiciones [°C].

S_y es la desviación estándar entre los promedios [°C].

S_r es la desviación estándar por repetibilidad [°C].

n es el número de muestras tomadas.

Si se obtiene una variabilidad con número complejo, es decir el cuadrado de la variabilidad es un número negativo, por lo tanto, la variabilidad es cero para todos los casos ya que los resultados son similares.

Finalmente se obtiene la desviación estándar por reproducibilidad y reproductibilidad entre condiciones, un único valor que considera estos dos conceptos, este valor es el valor más representativo de la exactitud y

precisión de una medida a una determinada temperatura y su expresión es la siguiente:

$$S_R = \sqrt{S_L^2 + S_r^2} \quad \text{ec. (24)}$$

Donde:

S_r es la desviación estándar por repetibilidad [°C].

S_L es la variabilidad entre condiciones [°C].

S_R es la desviación estándar por repetibilidad y reproducibilidad [°C].

CAPÍTULO 3

3. Resultados

3.1 Construcción.

La construcción se realiza mediante dos vías, de manera mecánica, es decir los ensambles como se muestra en la figura 2.15, la ubicación de instrumentos, elaboración de la estructura y demás, métodos de sujeción y demás.

La construcción inicia desde la cámara interior, se coloca dentro de este la resistencia eléctrica y se aísla térmicamente con la lana de vidrio, esta es sujeta por correas, se debe tomar en cuenta que la parte superior debe tener un espacio para alojar la celda Peltier que hará contacto directamente con la cámara interior, luego se hace realiza la estructura para dejar fijo los equipos a la estructura. Se ensambla el disipador en la parte inferior de la Peltier con pasta térmica y se la fija todo este conjunto a la estructura, la parte superior de la estructura debe tener los orificios previamente realizados.

Las cajas de interruptores y para almacenar los circuitos son instalados mediante pernos a la parte superior como se muestra en la figura 2.15, en estas cajas también se encuentra la fuente de 12 V. El Arduino se dejará en la parte exterior para poder conectar la computadora. Los planos de construcción se pueden observar en los apéndices A del presente documento.

Paralelamente se realiza las conexiones eléctricas, para esto se ensambla desde la fuente de potencia, en este caso el equipo es alimentado con toma corriente de 110V por lo que se debe utilizar un cable número 12 como mínimo. Se debe tomar en cuenta que el relé posee 5 contactos, 2 para la entrada hacia Arduino, y 3 para las conexiones de alto voltaje, en el diagrama de la figura 3.1 se puede apreciar las conexiones al módulo, en este caso hacia el Arduino van las conexiones B1 y B2, tierra y salida de pin digital y para las conexiones de alto voltaje se tiene el conector común C, conector normalmente abierto NA y conector normalmente cerrado.

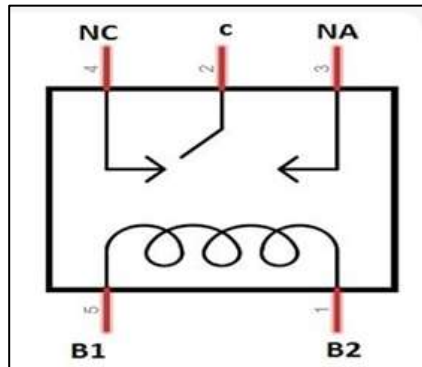


Figura 3.1 Diagrama de conexiones de un módulo relé

Fuente: Centro de capacitación y calidad

Dependiendo de este tipo de conexión se realiza el código, si al salir un pulso desde el Arduino por la entrada B1 se activa el relé, este realiza la conexión entre el común y el normalmente cerrado, por el contrario, si no se realiza ningún tipo de impulso de entrada se mantendrá conectado el normalmente cerrado y el común. En el caso que se dañe o queme el módulo relé, se quedara como circuito cerrado entre el normalmente cerrado y el común sin opción a cerrarse. En los apéndices C se puede observar fotografías de la construcción del equipo.

3.2 Análisis de costos.

Los valores estimados para la adquisición de sensores, motores, cables y la implementación de sistemas se detalla en la tabla 3.6 en dólares, estos costos no incluyen valores de mano de obra para ensamblado ni material extra utilizado para el ensamble como son tornillos, pernos, y tuercas. El costo estimado es de \$ 302,50 dólares. Se debe tomar en consideración que el sistema de refrigeración incrementa su valor considerablemente, pues estos sistemas requieren de disipadores de calor, extractores de calor, fuente de potencia y bombeo de flujo fuera de la cámara por lo que también la energía requerida para bajar la temperatura es mayor a la de calentamiento.

Tabla 3.1 Detalle de costos de equipos y herramientas para calibrador.

Item	Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	1	Recipiente de acero inoxidable SAE 304 Φ 130mm x 270mm	30.00	30.00
2	1	Motor AC 1/40 hp	55.00	55.00
3	1	Eje de transmisión Φ 6mm x 200mm	6.00	6.00
4	1	Impulsor tipo turbina	8.00	8.00
5	1	Resistencia Eléctrica 600W (110 V)	4.00	4.00
6	1	Bomba peristáltica (0-100 ml/min)	35.00	35.00
7	1	Celda Peltier termoeléctrica 12710	15.00	15.00
8	1	Disipador de calor con ventilador incorporado	58.00	58.00
9	1	Sensor temperatura LM35 (-55°C-150°C)	4.00	4.00
10	1	Arduino UNO	27.50	27.50
11	1	Fuente 12V	15.00	15.00
12	-	Componentes eléctricos y otros	45.00	35.00
TOTAL				302.50

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Pruebas al equipo calibrador.

Construido el equipo calibrador, se dispone de un termómetro patrón con una resolución de un grado, mientras que, la sonda utilizada en el equipo calibrador tiene 0.06 °C de resolución, por lo tanto, no se puede calibrar la sonda y por consiguiente el equipo. No se puede realizar pruebas de R&r ya que como señala la norma, estos deben ser calibrados por un instrumento que posea al menos tres veces menos incertidumbre que el equipo que se tiene, por lo que se realizará una curva de calibración con este termómetro, para observar desviaciones mayores a un grado centígrado. Los resultados se pueden observar en la figura 3.2, se puede observar que en el rango de 60°C

a 90°C la diferencia de temperatura es menor a un grado centígrado, se debe tomar en cuenta que la sonda tiene un rango de temperatura hasta 120 °C por lo que se espera que al tener una temperatura mayor a 100°C se obtienen errores mayores.

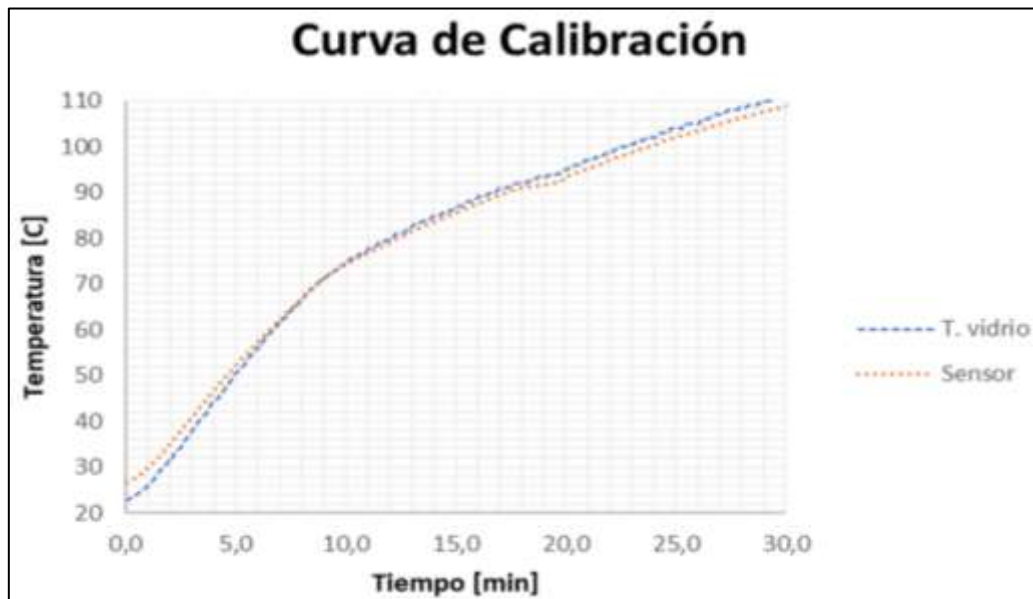


Figura 3.2 Curva de calibración de la sonda en la cámara interna

Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos van desde 20°C hasta 120°C por lo que no se cumple con el objetivo de obtener temperaturas de 10°C o inferiores, para esto se debe aumentar la capacidad calorífica con más celdas Peltier involucrando más disipadores de calor incrementando el costo. En el rango de temperatura de 20°C a 60 °C la diferencia máxima es de 3.56 °C y pasando los 120°C es de 5.78°C. Se puede observar una flexión en la curva cuando se supera los 70°C, esto ocurre debido a un cambio en el código que disminuye la velocidad de incremento de temperatura, esto es disminuyendo el tiempo de los impulsos a máxima potencia de 1500 ms a 1000 ms. con espacios de 4000 a 5000 ms. Todos estos códigos son probados en forma ascendente por encima de la temperatura ambiente, mientras que para temperaturas por debajo de la ambiental se utiliza la celda peltier como método de enfriamiento.

3.4 Pruebas de estabilidad.

Se realizan pruebas para determinar características importantes del equipo, es decir, el tiempo de respuesta, la temperatura de sobrepaso, y temperatura mínima para una temperatura seteada. Para estas pruebas se utiliza la sonda que se encuentra sumergida en el líquido de trabajo. Uno de los resultados se observa en la figura 3.3 donde desde una temperatura ambiente se ingresa 70 °C, según los datos obtenidos se tiene un rango de 40°C, una temperatura máxima alcanzada de 70.76 °C, una temperatura mínima de 69.87 y un tiempo de respuesta de 6.35 minutos.

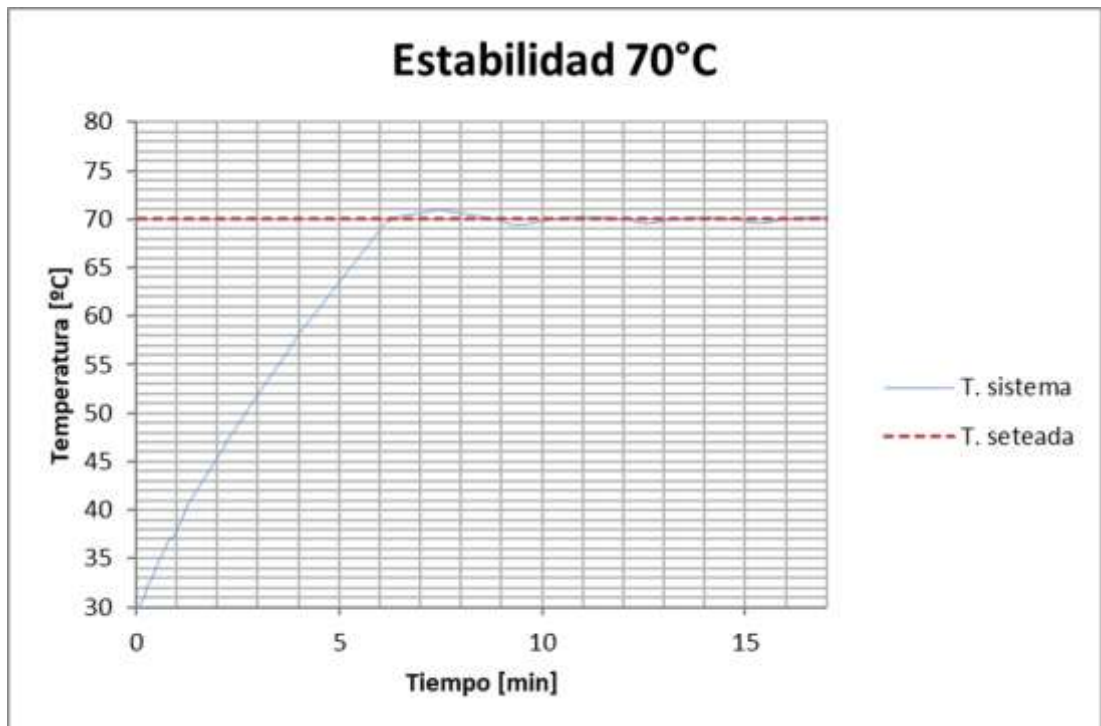


Figura 3.3 Estabilidad a 70 °C con entrada de 30 °C.

Fuente: Elaboración propia.

Para las demás pruebas se varía tanto el rango de entrada, es decir para la estabilidad a 70 °C no se inicia desde la temperatura ambiente sino de temperaturas diferentes, por ejemplo, la estabilidad a 90°C con rango de 20°C ya que se ingreso a 70 °C. La gráfica de estos resultados se muestra en la figura 3.4, para este caso se tiene una temperatura máxima de 90.94 °C, una temperatura mínima de 89.16 °C y un tiempo de respuesta de 4.05 minutos.

Como resultado de estas pruebas se elabora una tabla que resume todos los resultados obtenidos.

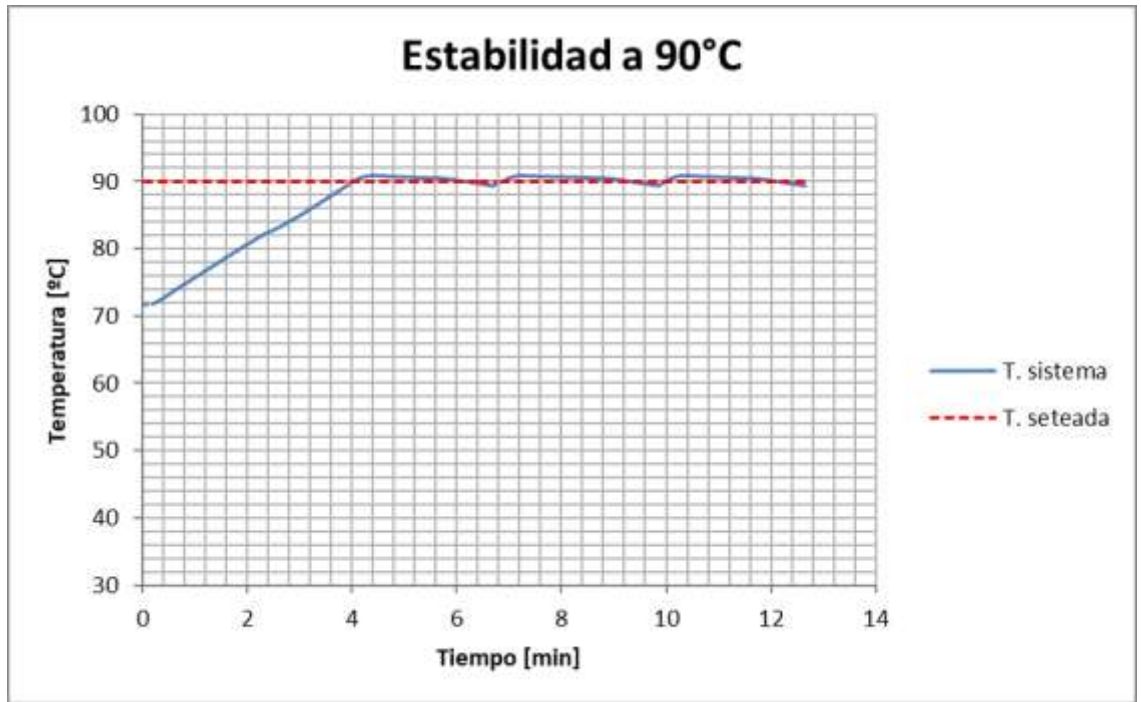


Figura 3.4 Estabilidad a 90 °C con entrada de 70 °C.

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 3.2 muestra las principales características, a temperaturas de 70 °C y 90 °C señaladas se utilizaron códigos diferentes así como también a temperaturas de 110 °C y 120 °C con mayores tiempo de impulsos.

Tabla 3.2 Resultado de las pruebas de estabilidad.

Temperatura Set. [°C]	Rango [°C]	Temp. Máxima [°C]	Temp. Mínima [°C]	Tiempo de resp. [min]
20	4.72	21.06	19.74	18.2
30	4.52	30.25	29.79	5.8
50	23.37	50.53	49.57	12.4
70*	44.55	70.76	69.87	6.4
90*	63.19	90.54	69.35	18.3
110**	84.23	112.15	108.75	22.7
120**	95.21	120.79	116.1	38.5

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Pruebas de homogeneidad.

Las recomendaciones proponen analizar la homogeneidad tanto en sentido axial como radial, dado que nuestro diseño del equipo contempla una limitación en la profundidad de inserción de los termómetros para que los mismos no comprometan el funcionamiento de los sistemas móviles, se establece una profundidad fija de 5 cm que posee la cámara que los alberga, por lo tanto, se realiza pruebas de forma radial manteniendo la profundidad fija, se tomaron las medidas tanto con el sistema de agitación encendido como apagado, con la finalidad de observar las diferencias entre ambos casos, en la figura 3.5 se muestra los puntos donde se realizaron las mediciones, en esta también se muestra la ubicación aproximada de la resistencia eléctrica y la celda Peltier en la cámara, y la ubicación donde serán alojados los termómetros es en el punto 4.

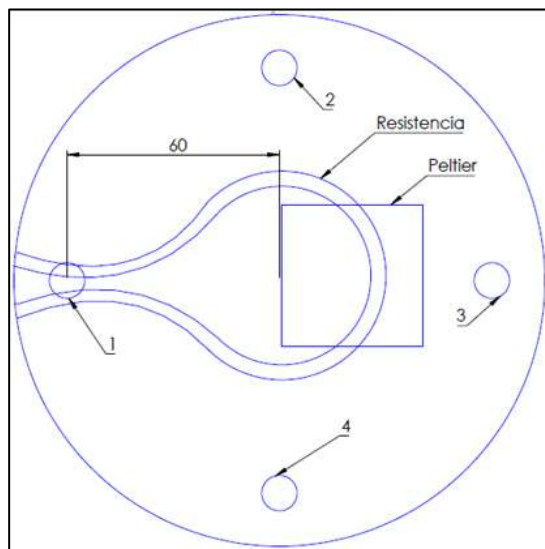


Figura 3.5 Diagrama de puntos de prueba para análisis de homogeneidad.

Fuente: CENAM

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.3, los que corresponden a las mediciones de homogeneidad con el agitador funcionando, se toma en cuenta que las pruebas se realizaron con un termómetro con un grado de incertidumbre por lo que se recomienda que para evaluaciones más precisas se realicen las pruebas con termómetros más exactos, se recomienda utilizar RTDs o termopares de 3 hilos, que son más precisos siempre que se

encuentren calibradas. En la tabla 3.4 se muestran las mismas mediciones, pero con el sistema de agitación apagado. Se puede observar que la diferencia de temperaturas incrementa a temperaturas de 110°C.

Tabla 3.3 Resultados de pruebas de homogeneidad con agitador.

Temp. Set. [°C]	Medición 1 [°C]	Medición 2 [°C]	Medición 3 [°C]	Medición 4 [°C]
110	114	113	113	113
50	51	50	50	50
22	25	25	25	25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4 Resultados de prueba de homogeneidad sin agitador

Temp. Set. [°C]	Medición 1 [°C]	Medición 2 [°C]	Medición 3 [°C]	Medición 4 [°C]
110	118	115	113	113
50	52	51	51	50
22	24	23	22	23

Fuente: Elaboración propia.

En los resultados se puede notar que el uso del agitador es necesario, aunque para esta prueba es más notorio debido a que la viscosidad del fluido utilizado es mucho mayor a la recomendada. Se puede notar que la ubicación de los sistemas también influye en los resultados, en la medición en el punto 1 son mayores debido a la cercanía con la resistencia, estos resultados se pueden evidenciar de mejor manera con instrumentos de mayor resolución.

Finalmente, la ficha técnica del equipo se la puede encontrar en el apéndice D de este documento, en el cual se establece los métodos de uso del equipo, las restricciones que posee, su fuente de alimentación entre otros datos.

CAPÍTULO 4

4. Discusión y conclusiones

4.1 Conclusiones

- El equipo calibrador de termómetro construido con dimensiones de largo 50 cm, ancho 20 cm y alto de 22.5 cm y un peso 7.5 Kg.
- El equipo calibrador construido no alcanza una temperatura inferior de 10°C, debido a que la potencia de refrigeración fue insuficiente.
- No se realizaron pruebas de calibración de la sonda de equipo, debido a que no se disponía de un termómetro calibrador con una menor resolución que la sonda empleada como sensor.
- Se evaluó la estabilidad del sistema y se comprobó que se tiene un buen desempeño hasta 90°C.
- El comportamiento del sistema puede variar dependiendo de la temperatura que se desea generar, esto debido a que la pérdida de calor del sistema está directamente relacionada con la diferencia de temperatura entre el fluido y el medio circundante.
- No se realizó prueba R&r por tanto no se determinó el error instrumental del equipo.
- Se comprobó la eficacia del sistema de agitación, ya que los gradientes de temperatura tanto axial como radial fueron mínimos.
- No se mantiene un solo código en el controlador, por lo que es necesario manipularlo según sea la prueba a realizar.

4.2 Recomendaciones

- Se requiere realizar un estudio térmico más detallado para evaluar parámetros como deriva, repetibilidad, entre otras.
- Se requiere una calibración de la sonda mediante un termómetro con mayor exactitud.
- Para aumentar el rango de temperatura del equipo calibrador se debe reemplazar el fluido de trabajo.
- Se debe utilizar un fluido de trabajo con viscosidad menor a 10 cSt.

- Se requiere una mayor capacidad de refrigeración mediante el uso de más celdas Peltier u otro sistema para alcanzar una temperatura más baja.

BIBLIOGRAFÍA

- Bolton, W. (1995). *Mediciones y pruebas eléctricas y electromagnéticas*. (ilustrada, Ed.) Marcombo.
- C. Fernandez Pineida, S. V. (2009). *Termodinámica*. Madrid: Universitaria Ramon Areces.
- CEM. (2003). *Procedimiento TH-001 para la calibración de termómetros digitales*. Madrid.
- CEM. (2012). *Vocabulario Internacional de Metrología (VIM)* (Tercera ed.). (CEM, Trad.) Madrid.
- Cooper, W., & Helfrick, A. (1991). *Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición*. México: Prentice Hall Inc.
- Creus, A. (2006). *Instrumentación Industrial*. Barcelona: MARCOMBO.
- ENAC. (Diciembre de 2014). *Entidad Nacional de Acreditación*. Recuperado el 10 de Mayo de 2017, de <http://www.enac.es>
- EURAMET, CEM, CENAM, & INDECOPI. (2008). *Metrología Abreviada*.
- Fernández Y., U. A. (2015). *Evaluación de tanques enchaquetados con agitación mecánica para la elaboración de jarabe simple*. Camaguey: CYTDES.
- Fluke. (2013). *Guide to select a dry Block Calibrator*.
- Fluke. (2013). *How to select a calibration bath fluid*. Fluke Calibration. Obtenido de <http://la.flukecal.com/products/temperature-calibration/calibration-baths/bath-fluids>
- García, B. M. (2006). *Higiene e Inspección de Carnes I*. (D. d. Santos, Ed.) España.
- Hanna Instruments. (19 de 6 de 2017). *Hanna Instruments*. Obtenido de Hanna Instruments: <http://hannainst.ec/categoria-producto/categorias/termometros/>
- ICTSL. (2016). *Aceite de silicona Economy-100 para baños calefactores*.
- INEN. (2015). *Servicio Ecuatoriano de Acreditación*. Quito .
- Karant, G., & Raj, E. (2005). *Fermentation Technology and Bioreactor Design*. Taylor & Francis Group,.
- Kayode, C. (2001). *Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design*. Houston: Gulf Publishing Company.
- MetAs . (2003). La Guía MetAs. 2, 3.

- Michael J. Moran, H. N. (2004). *Fundamentos de Termodinámica técnica*. Barcelona: Reverte.
- Moro, M. (2000). *Metrología: Introducción, Conceptos e Instrumentos*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Nordtest. (1994). *Guía NT vvs 103 Thermometers, contact, direct reading Calibration Nordtest Method*. Olso.
- Perez M., M. M. (2010). *Metodología Seis Sigma a través de Excel*. Madrid: RC Libros.
- Pérez, M. (2014). *Instrumentación electrónica*. Madrid: Paraninfo.
- RAE. (s.f.). Recuperado el Mayo de 2017, de Real Academia de la Lengua Española: <http://lema.rae.es>
- Southworth, D. (2004). *Calibración de temperatura. Desde la industrial al ITS-90*. ISOTECH.

Anexos

Tabla A.0.1 Encuesta de manufactura y minería 2015 C17

REGIONES Y PROVINCIAS	No. DE EMPRESAS	TOTAL PERSONAL OCUPADO	TOTAL REMUNERACIONES	PRODUCCIÓN TOTAL	CONSUMO INTERMEDIO	VALOR AGREGADO
REGIÓN SIERRA	722	121.161	2.416.721.892	21.549.713.796	16.949.185.980	4.600.527.816
AZUAY	101	18.310	273.804.561	1.532.831.003	1.072.904.745	459.926.258
CAÑAR	X	52	589.824	4.396.398	3.340.696	1.055.702
CARCHI	4	158	1.501.943	15.708.368	13.446.586	2.261.782
COTOPAXI	15	1.155	14.652.213	100.180.480	78.267.827	21.912.653
CHIMBORAZO	17	1.720	26.268.789	229.335.863	170.354.709	58.981.154
IMBABURA	19	1.465	16.322.590	85.364.160	58.767.326	26.596.834
LOJA	12	819	11.589.781	68.321.345	50.506.829	17.814.516
PICHINCHA	463	88.883	1.962.598.189	18.778.394.491	14.937.585.325	3.840.809.166
TUNGURAHUA	64	7.194	89.611.129	554.692.929	409.529.492	145.163.437
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	24	1.405	19.782.873	180.488.759	154.482.445	26.006.314
REGIÓN COSTA	503	117.580	1.793.452.733	13.399.014.998	9.754.532.549	3.644.482.449
EL ORO	31	4.330	48.431.831	406.532.753	329.013.297	77.519.456
ESMERALDAS	16	947	13.238.512	103.080.420	84.362.877	18.717.543
GUAYAS	389	91.055	1.474.140.381	10.888.538.581	7.719.839.268	3.168.699.313
LOS RIOS	21	3.613	49.320.304	380.363.743	302.127.640	78.236.103
MANABÍ	38	16.654	195.983.049	1.548.249.159	1.263.810.757	284.438.402
SANTA ELENA	8	981	12.338.656	72.250.342	55.378.710	16.871.632
REGIÓN AMAZÓNICA	8	508	10.083.718	32.821.472	19.769.199	13.052.273
MORONA SANTIAGO	X	5	18.885	55.499	21.724	33.775
NAPO	X	90	1.017.758	3.008.612	2.155.527	853.085
PASTAZA	X	145	1.815.311	4.433.691	2.526.028	1.907.663
SUCUMBIOS	X	179	5.143.822	19.444.961	12.530.584	6.914.377
ORELLANA	X	89	2.087.942	5.878.709	2.535.336	3.343.373
REGIÓN INSULAR	X	4	48.252	174.363	99.527	74.836
GALÁPAGOS	X	4	48.252	174.363	99.527	74.836

Fuente: Elaboración propia.

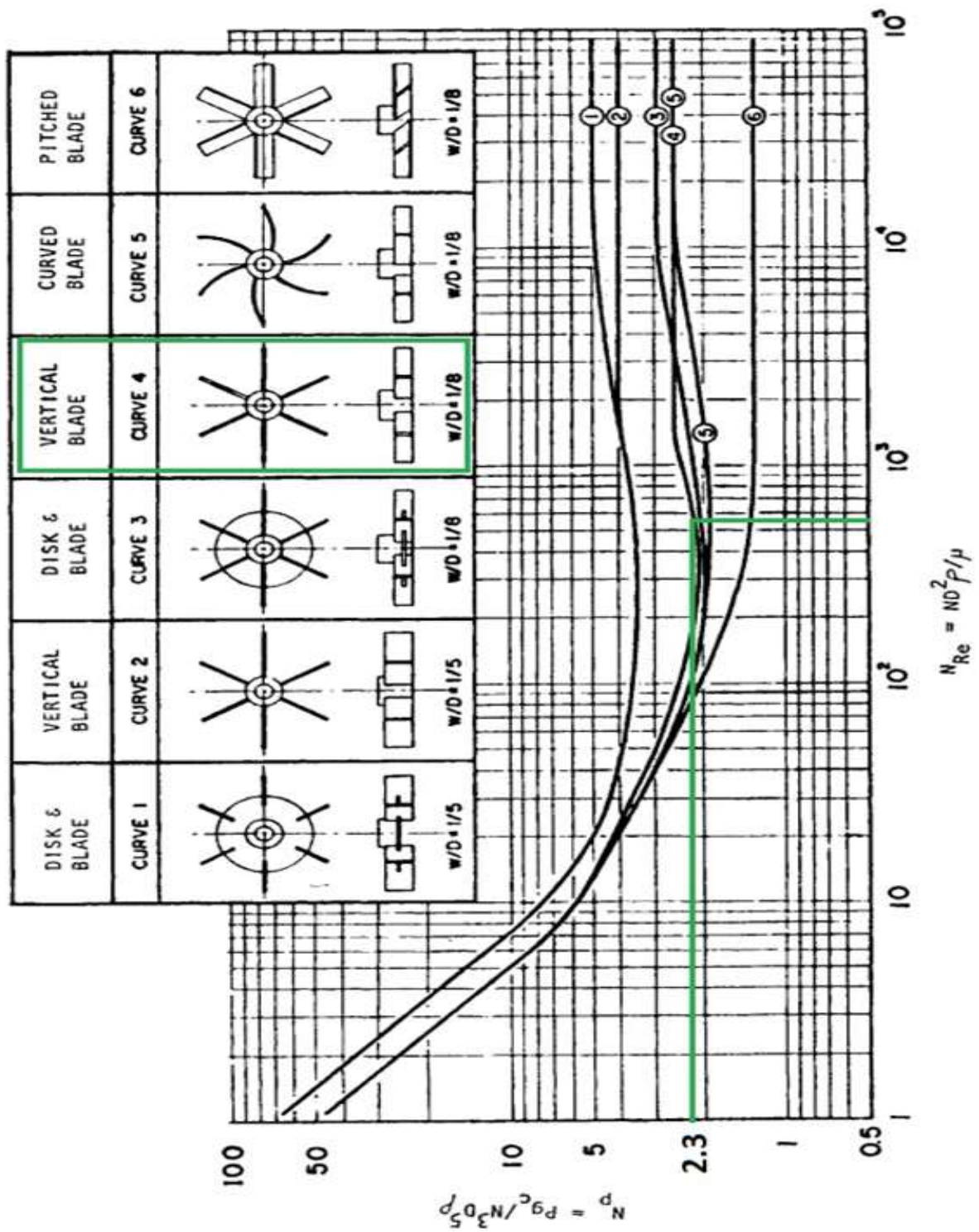


Figura A.0.1 Gráfico de factor de potencia según impeler y número de Reynolds

Fuente: (Kayode, 2001)



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Aceite de silicona *Economy-100* para baños calefactores

Descripción

Aceite de silicona estable al calor y resistente a temperaturas elevadas. Cumple con la normativa de productos para posible contacto accidental con alimentos. Indicado para ser usado como aceite de transmisión de calor en sistemas por circulación o baño maría.

Propiedades

- Alta estabilidad térmica
- Resiste temperaturas extremas
- Poca variación de la viscosidad con la temperatura
- Baja evaporación
- Buenas propiedades antiespumantes
- Resistente a la oxidación
- Gran estabilidad química
- Repelentes al agua
- Buen poder lubricante
- Categoría NSF H-1 (anteriormente USDA H-1), con el número de registro 111098
- Cumple los requerimientos y está presente en las listas positivas de lubricantes con posible contacto incidental con alimentos de la F.D.A. Americana

Características físico-químicas

Aceite base	Silicona
Aspecto	Incoloro
Viscosidad a 25 °C	250—400 cSt
Punto de inflamación	> 200 °C
Densidad a 25 °C	0,970 g/cm ³
Coefficiente de dilatación volumétrica entre 25-100 °C	9,45·10 ⁻⁴
Conductividad térmica	3,8·10 ⁻⁴ W/m °C
Punto de congelación	-54 °C

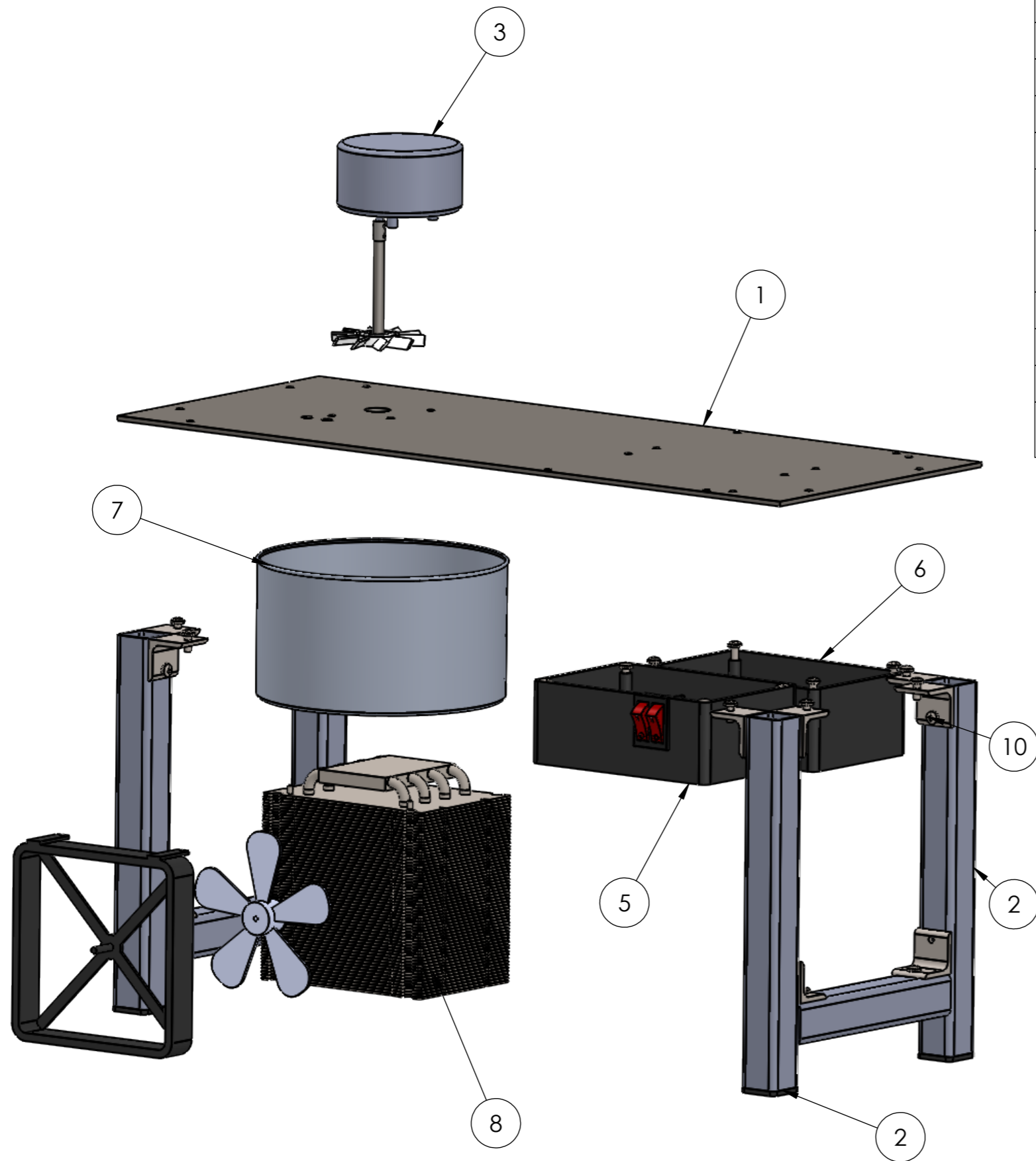
Precauciones

- Las normales en el empleo y manipulación de lubricantes.
- Mantener el envase cerrado para evitar su contaminación.
- Evitar mezclar con productos de naturaleza distinta.
- Los aceites de silicona son incompatibles con los procesos de acabado superficial.
- No deben emplearse en instalaciones de pintura ni cualquier otro proceso de tratamiento de superficies.
- Tenemos a su disposición la Ficha de Datos de seguridad del producto, conforme con la normativa vigente.

Figura A.0.2 Ficha técnica de aceite de silicona

Fuente: (Productos TIC)

APÉNDICE A
Planos Esquemáticos



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Placa soporte		1
2	Soporte estructural	Tubo cuadrado 1 pulg	4
3	Sistema agitación	Motor-eje-impeler	1
4	Sensor temperatura	-35 a 125 C	1
5	Caja conexiones eléctricas	120X80MM	1
6	Fuente de alimentación	12V - 5A	1
7	Recipiente		1
8	Disipador		1
9	Regatones		4
10	Tornillos de sujeción	M4 x 0.7 x 10	29

	Nombre:	Fecha:	ESPOL
	Dibujado por: Carlos Villao	01/09/2017	
	Aprobado por: Ing. Victor G.	02/09/2017	
Escala: 1:3	PROYECTO INTEGRADOR		No: 1

6 5 4 3 2 1

D

D

C

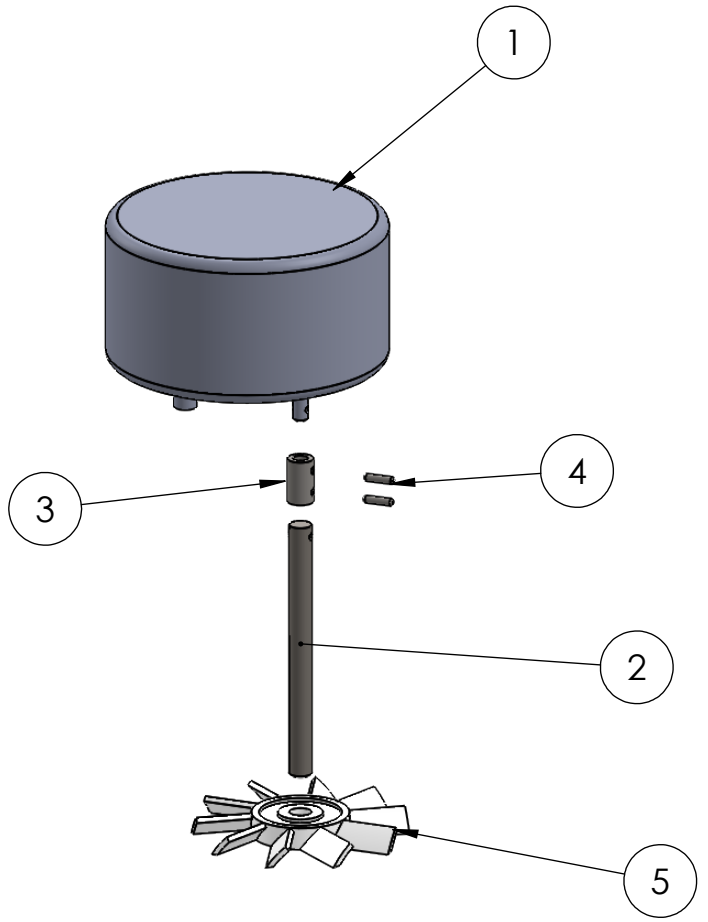
C

B

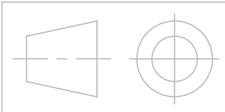
B

A

A



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Motor AC	110V - 1//40hp - 120 rpm	1
2	Eje transmisión	AISI 1040	1
3	Acople	AISI 1040	1
4	Pasador	AISI 1040	2
5	Impeler agitador	Tipo turbina 8 aspas - Polipropileno	1



Dibujado por:	Nombre:	Fecha:
Aprobado por:	Carlos Villao	01/09/2017
	Ing. Victor G.	02/09/2017

ESPOL

Escala:
1:2

PROYECTO INTEGRADOR

No: **3**

6 5 4 3 2 1

APÉNDICE B
Programaciones

```
# include <OneWire.h>
```

ARDUINO

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Debe descargar la Libreria que controla el I2C
```

```
#include<Wire.h>
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
```

```
const int BOMBA_PIN = 12;
```

```
const int R_PIN = 11;
```

```
const int PIN_AMB = 8;
```

```
long miliVolts;
```

```
long amb = 25;
```

```
long bryan;
```

```
long SET;
```

```
OneWire ds(2); //
```

```
void setup(void) {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  pinMode(BOMBA_PIN, OUTPUT);
```

```
  pinMode(R_PIN, OUTPUT);
```

```
  lcd.init();
```

```
  lcd.backlight();
```

```
  lcd.clear();
```

```
  lcd.setCursor(0,0);
```

```
}
```

```
void loop(void) {
```

```
  byte i;
```

```
  byte present = 0;
```

```
  byte type_s;
```

```
  byte data[12];
```

```
byte addr[8];
float celsius, fahrenheit;

//miliVolts = (analogRead(SENSOR) * 5000L) /1023;
//amb = miliVolts / 10;

if ( !ds.search(addr)) {
  ds.reset_search();
  delay(250);
  return;
}
for( i = 0; i < 8; i++) {
  Serial.write(' ');
}
if (OneWire::crc8(addr, 7) != addr[7]) {
  return;
}
Serial.println();
// the first ROM byte indicates which chip
switch (addr[0]) {
  case 0x10:
    type_s = 1;
    break;
  case 0x28:
    type_s = 0;
    break;
  case 0x22:
    type_s = 0;
    break;
  default:
    Serial.println("Device is not a DS18x20 family device.");
    return;
}
```

```
}
```

```
ds.reset();
```

```
ds.select(addr);
```

```
ds.write(0x44, 1); // start conversion, with parasite power on at the end
```

```
delay(2000); // maybe 750ms is enough, maybe not
```

```
// we might do a ds.depower() here, but the reset will take care of it.
```

```
present = ds.reset();
```

```
ds.select(addr);
```

```
ds.write(0xBE); // Read Scratchpad
```

```
Serial.print(" ");
```

```
for ( i = 0; i < 9; i++) { // we need 9 bytes
```

```
  data[i] = ds.read();
```

```
}
```

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

```
int16_t raw = (data[1] << 8) | data[0];
```

```
if (type_s) {
```

```
  raw = raw << 3; // 9 bit resolution default
```

```
  if (data[7] == 0x10) {
```

```
    // "count remain" gives full 12 bit resolution
```

```
    raw = (raw & 0xFFF0) + 12 - data[6];
```

```
  }
```

```
} else {
```

```
  byte cfg = (data[4] & 0x60);
```

```
  // at lower res, the low bits are undefined, so let's zero them
```

```
  if (cfg == 0x00) raw = raw & ~7; // 9 bit resolution, 93.75 ms
```

```
  else if (cfg == 0x20) raw = raw & ~3; // 10 bit res, 187.5 ms
```

```
  else if (cfg == 0x40) raw = raw & ~1; // 11 bit res, 375 ms
```

```

    /// default is 12 bit resolution, 750 ms conversion time
}
celsius = (float)raw / 16.0;
Serial.print(" T= ");
Serial.print(celsius);
Serial.print(" C, ");
bryan = 1;
//if (bryan > 0){
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("SENSOR T=");
    lcd.print(celsius); // Mensaje a despegar
    lcd.print("C");
    //bryan = bryan + 1;
    lcd.setCursor (0,1);
    lcd.print("SET  T=");
    lcd.print(SET); // Mensaje a despegar
    lcd.print("C");
    delay(200);
//}

if (SET <= amb){
    if (celsius > SET) {
        digitalWrite(BOMBA_PIN, LOW);
        digitalWrite(R_PIN, HIGH);
    } else if (celsius <= SET){
        digitalWrite(BOMBA_PIN, HIGH);
        digitalWrite(R_PIN, HIGH);
    } // Obtener número del Serial
} else{
    if (celsius > SET) {
        digitalWrite(R_PIN, HIGH);
        digitalWrite(BOMBA_PIN, HIGH);
    }
}

```

```
}
else if (celsius <= SET - 50){
digitalWrite(BOMBA_PIN, HIGH);
digitalWrite(R_PIN, LOW);
delay (2500);
digitalWrite(R_PIN, HIGH);
delay (5000);
}
else if (celsius <= SET - 30){
digitalWrite(BOMBA_PIN, HIGH);
digitalWrite(R_PIN, LOW);
delay (1500);
digitalWrite(R_PIN, HIGH);
delay (5000);
}
else if (celsius <= SET - 10){
digitalWrite(BOMBA_PIN, HIGH);
digitalWrite(R_PIN, LOW);
delay (1000);
digitalWrite(R_PIN, HIGH);
delay (5000);
} // Obtener número del Serial
else if (celsius <= SET - 1){
digitalWrite(BOMBA_PIN, HIGH);
digitalWrite(R_PIN, LOW);
delay (500);
digitalWrite(R_PIN, HIGH);
delay (3000);
}
else if (celsius < SET){
digitalWrite(BOMBA_PIN, HIGH);
digitalWrite(R_PIN, LOW);
```



```

    delay (400);
    digitalWrite(R_PIN, HIGH);
    delay (5000);
  }
}
while (Serial.available() > 0) {
  SET = Serial.parseInt();
  // look for the newline. That's the end of your sentence:
  if (Serial.read() == '\n') {
    Serial.print("Temperatura seteada:");
    Serial.println(SET, DEC);
  }
}
}

```

ENGINEERING EQUATION SOLVER - EES

"calculo de Calor total trasferido por superficies"

$Q_{\text{dot_transferido}} = Q_{\text{dot_base}} + Q_{\text{dot_lateral}} + Q_{\text{dot_tapa}}$

"Calculo de calor por la pared lateral"

$Q_{\text{dot_lateral}} = (T_{\text{in}} - T_{\text{amb}}) / R_{\text{total}}$

$R_{\text{total}} = R_{\text{conv_in}} + R_{\text{cond_ais}} + R_{\text{conv_ext}}$

$Q_{\text{dot_lateral}} = (T_{\text{in}} - T_{\text{sup}}) / R_{\text{conv_in}}$

$Q_{\text{dot_lateral}} = (T_{\text{in}} - T_{\text{exterior}}) / (R_{\text{conv_in}} + R_{\text{cond_ais}})$

$T_{\text{in}} = 120[\text{C}]$ "Temperatura máxima alcanzada"

$T_{\text{amb}} = 25[\text{C}]$ "Temperatura mínima ambiental considerada"

$R_{\text{conv_in}} = 1 / (2 * h_{\text{fluido}} * \pi * r_1 * H_r)$

$R_{\text{cond_ais}} = \ln(r_3 / r_1) / (2 * \pi * H_r * k_{\text{aislante}})$

$R_{\text{conv_ext}} = 1 / (2 * h_{\text{aire}} * \pi * r_3 * H_r)$

$r_1 = 0,075 [\text{m}]$

$r_3=0,1004$ [m]

$h_{\text{aire}}=15$ [W/m²-K] "DATO SUPUESTO FUENTE"

$H_r=0,07$ [m] "Consideraciones de llenado de la cámara"

$k_{\text{aislante}}=0,034$

" $h_{\text{fluido}}=100$ [W/m²-K]" "DATO SUPUESTO CORREGIR"

$Nu_{\text{fluido}}=A \cdot Re^{(2/3)} \cdot Pr^{(1/3)} \cdot (\mu_{\text{bar}}/\mu_{\text{s}})^{0,14}$

$Nu_{\text{fluido}}=(h_{\text{fluido}} \cdot 2 \cdot r_1)/k_{\text{fluido}}$

$Re=N_{\text{SI}} \cdot D_a^2 \cdot \rho_{\text{fluido}}/\mu_{\text{bar}}$

$A=0,83$ "Parámetro dependiente del tipo de agitador (turbina) y transferencia (serpentin)"

$Pr=Prandtl(\text{Siloxane}_1; T=T_{\text{bar}}; P=101,3)$

$T_{\text{bar}}=(T_{\text{in}}+T_{\text{sup}})/2$

$\mu_{\text{bar}}=Viscosity(\text{Siloxane}_1; T=T_{\text{bar}}; P=101,3)$

$k_{\text{fluido}}=0,00038$ [W/m-K]

$\mu_{\text{s}}=Viscosity(\text{Siloxane}_1; T=T_{\text{sup}}; P=101,3)$

"Calculo de calor por la base inferior"

$Q_{\text{dot_base}}=(T_{\text{in}}-T_{\text{amb}})/((1/(h_{\text{fluido}} \cdot A_b))+(L_b/(k_{\text{aislante}} \cdot A_b))+(1/(h_{\text{aire}} \cdot A_b)))$

$A_b=0,01767$ [m²]

$L_b=0,01$ [m]

"Calculo de calor por la tapa"

$Q_{\text{dot_tapa}}=h_{\text{aire}} \cdot A_t \cdot (T_{\text{in}}-T_{\text{amb}})$

$A_t=0,01767$ [m²]

"Calculo de Potencia del Sistema de Refrigeración"

$Q_{\text{dot_transferido_R}}=Q_{\text{dot_base_R}}+Q_{\text{dot_lateral_R}}+Q_{\text{dot_tapa_R}}$

$Q_{\text{dot_lateral_R}}=(T_{\text{amb}}-T_{\text{frio}})/R_{\text{total}}$

$Q_{\text{dot_tapa_R}}=h_{\text{aire}} \cdot A_t \cdot (T_{\text{amb}}-T_{\text{frio}})$

$Q_{\text{dot_base_R}}=(T_{\text{amb}}-$

$T_{\text{frio}})/((1/(h_{\text{fluido}} \cdot A_b))+(L_b/(k_{\text{aislante}} \cdot A_b))+(1/(h_{\text{aire}} \cdot A_b)))$

$Q_{\dot{e}} = Q_{\dot{cpR}} + Q_{\dot{\text{transferido}}_R} + W_{\dot{m}}$ "Tome el cuenta el signo"

$Q_{\dot{cpR}} = (\rho_{\text{fluido}} \cdot \text{vol}_{\text{fluido}} \cdot c_{p_{\text{fluido}}_r} \cdot (T_{\text{amb}} - T_{\text{frio}})) / \text{tiemp}_{\text{frio}}$

$\rho_{\text{fluido}} = 970 [\text{Kg}/\text{m}^3]$

$\text{vol}_{\text{fluido}} = \pi \cdot r_1^2 \cdot H_r$

$T_{\text{frio}} = 10 [\text{C}]$

$\text{tiemp}_{\text{frio}} = 600 [\text{s}]$ "DATO SUPUESTO CONSIDERADO"

$c_{p_{\text{fluido}}_r} = \text{Cp}(\text{Siloxane}_1; T=7,5; P=101,3) \cdot \text{convert}(\text{KJ}/\text{Kg-K}; \text{J}/\text{Kg-K})$

"Calculo de Potencia de La Resistencia"

$Q_{\dot{a}} = Q_{\dot{cpC}} + Q_{\dot{\text{transferido}}} - W_{\dot{m}}$

$Q_{\dot{cpC}} = (\rho_{\text{fluido}} \cdot \text{vol}_{\text{fluido}} \cdot c_{p_{\text{fluido}}_c} \cdot (T_{\text{cal}} - T_{\text{amb}})) / \text{tiemp}_c$

$\text{tiemp}_c = 1200 [\text{s}]$

$T_{\text{cal}} = 120 [\text{C}]$

$c_{p_{\text{fluido}}_c} = \text{Cp}(\text{Siloxane}_1; T=72,5; P=101,3) \cdot \text{convert}(\text{KJ}/\text{Kg-K}; \text{J}/\text{Kg-K})$

"Calculo de Potencia del Agitador"

$W_{\dot{m}} = N_p \cdot \rho_{\text{fluido}} \cdot N_{\text{SI}}^3 \cdot D_a^5$

$N_p = 2,3$ "Número de Potencia"

$N_{\text{SI}} = 2 \cdot \pi \cdot N \cdot \text{convert}(1/\text{min}; 1/\text{s})$

$N = 120 [1/\text{min}]$ "RPM"

$D_a = 0,06$

" $Re = N_{\text{SI}} \cdot D_a^2 \cdot \rho_{\text{fluido}} / \mu_{\text{fluido}}$ Calculado en la transferencia de calor en agitador"

$\mu_{\text{fluido}} = \text{Viscosity}(\text{Siloxane}_1; T=7,2; P=101,3)$

APÉNDICE C
Fotografías



Cámara interior aislada.



Pruebas de funcionalidad de sensor.



Pruebas de funcionalidad de programación.



Ensamble de cámara interior con sistema de refrigeración.



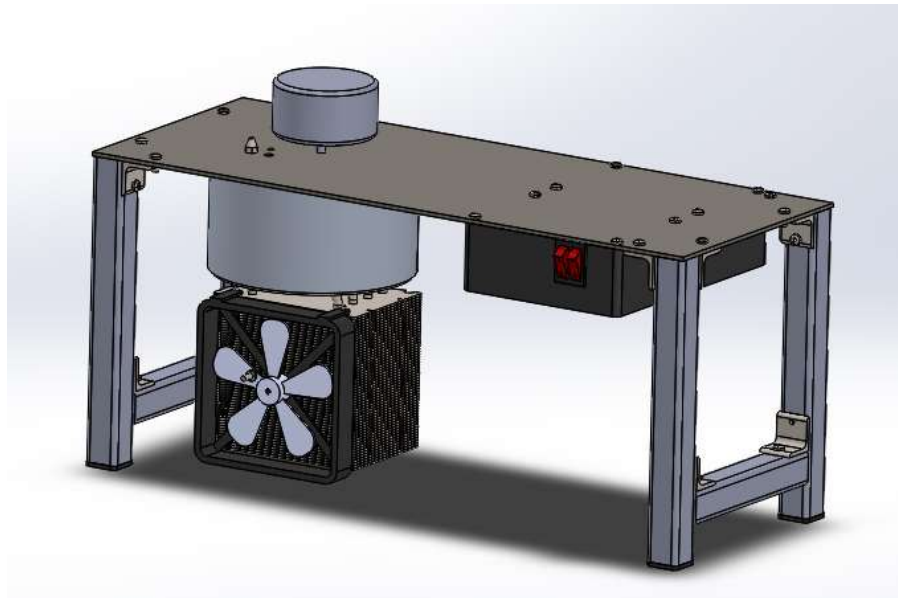
Ensamble completo de todos los sistemas.



Realización de pruebas de estabilidad

APÉNDICE D
Ficha Técnica

ESPOL EQUIPO CALIBRADOR DE TERMÓMETROS



DESCRIPCIÓN GENERAL

Equipo	Prototipo	Función	Calibrador
Tipo	Baño	Fluido	Aceite de Silicona
Fuente	110V	Peso	7.5 Kg
Temperatura máxima	120 °C	Ancho	20 cm
Temperatura mínima	20 °C	Largo	50 cm
Resolución	0.06 °C	Alto	22.5 cm

PRECAUCIONES

i El equipo calibrador maneja temperaturas altas por lo que se recomienda no inhalar vapores que salga de la cámara, para mejor protección utilice mascarilla.

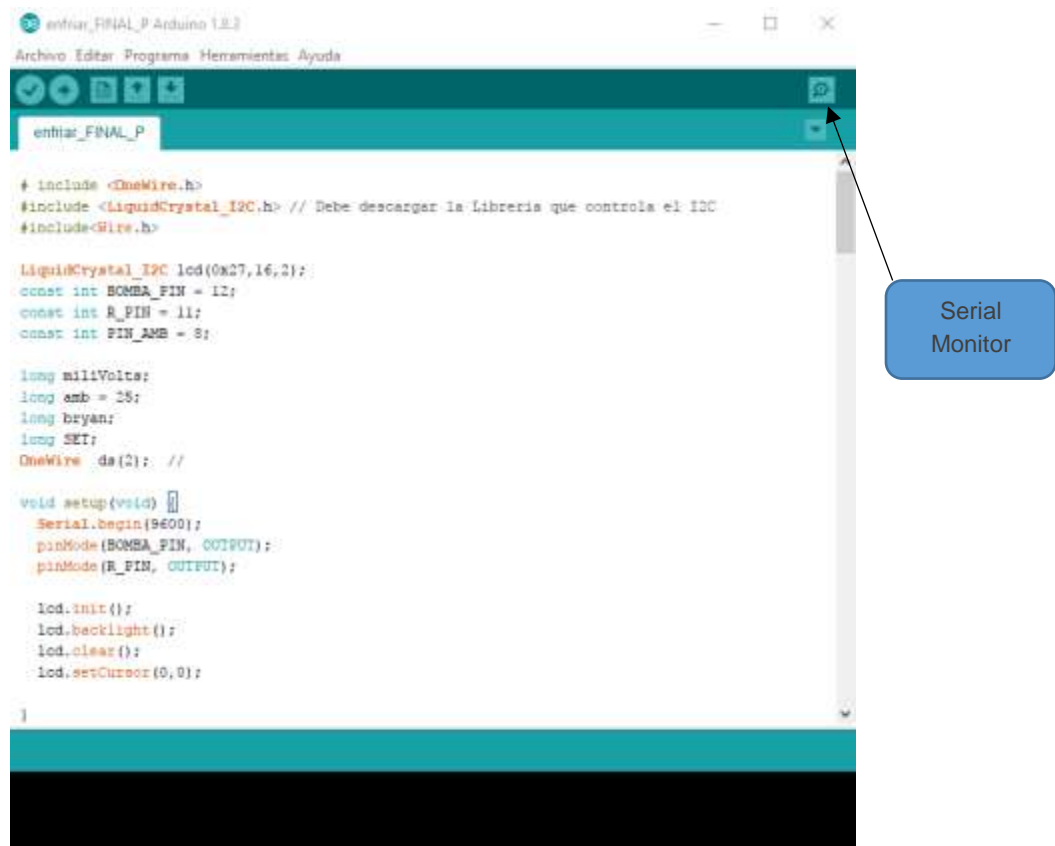
Procedimiento de encendido:

- Verifique que la cámara tenga aceite.
- Conecte el computador al Arduino.
- Verifique la temperatura ambiente.
- Conecte el equipo a la fuente de 110 V.

Nota: Si el calibrador no contiene aceite, la resistencia eléctrica se quema, por lo que es importante que antes de conectarlo se coloque el aceite en la cámara.

Ingreso de temperatura

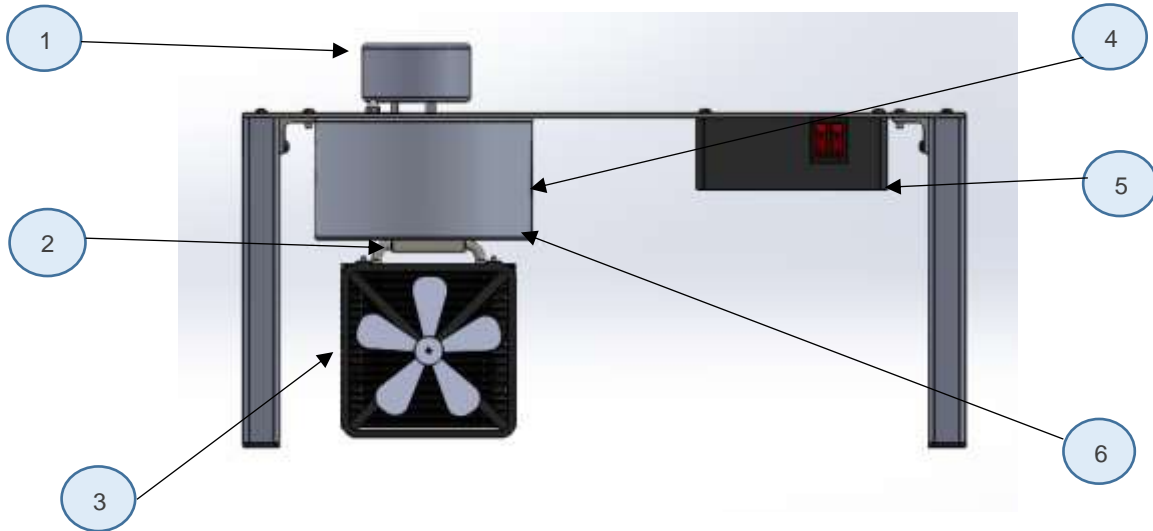
El ingreso de la temperatura seteada se introduce mediante el “serial monitor” una vez introducido el programa dentro de Arduino, en el ícono que se muestra en la imagen.



La temperatura de ingreso por default es 0°C por lo que es recomendable energizar el equipo después del ingreso de la temperatura.

PARTES IMPORTANTES DEL EQUIPO

En esta sección se muestran la posición de los sistemas en el equipo:



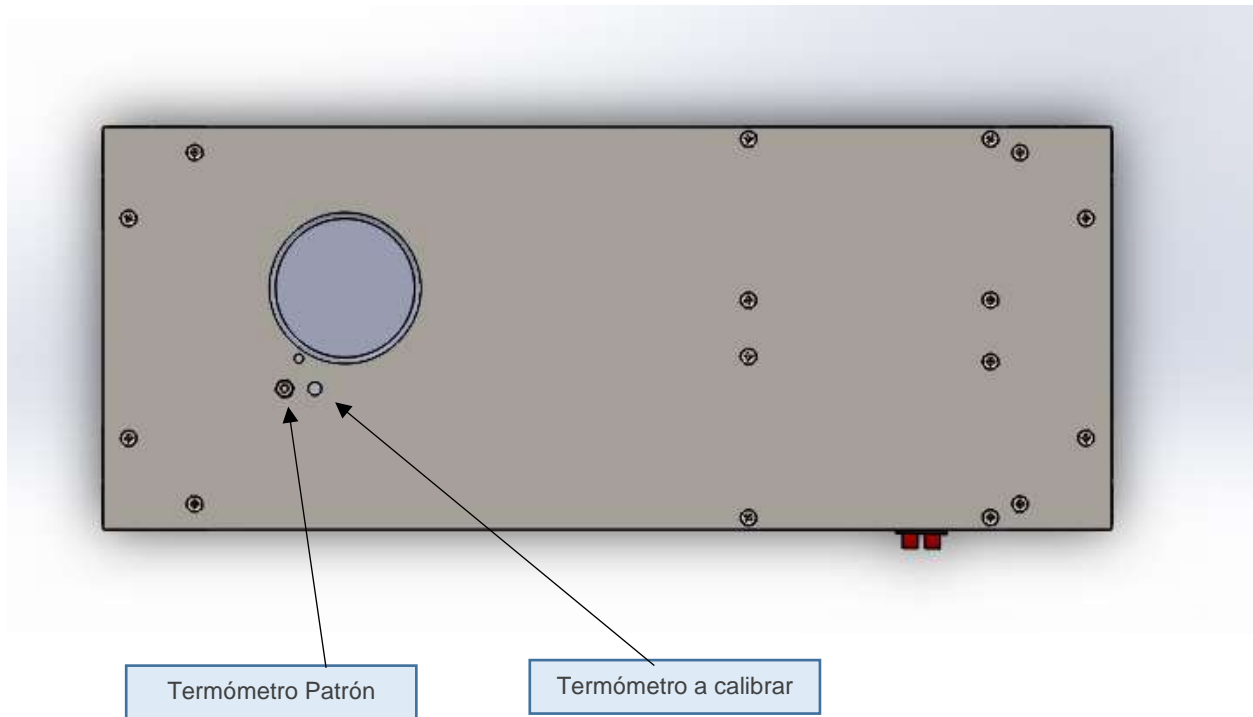
Descripción	Fuente	Característica	Controlador	Posición
1 Motor eléctrico	110 V	120 rpm	Interruptor Der.	Parte superior del equipo.
2 Celda Peltier	12 V	64 W	Arduino	Debajo de la cámara interna.
3 Ventilador	12 V	1500 rpm	Interruptor Izq.	Parte inferior de la celda Peltier.
4 Resistencia	110V	600 W	Arduino	Dentro de la cámara interior
5 Caja de conexiones	-----	Contiene interruptores	-----	Parte superior del equipo en la parte frontal se ubican los interruptores.
6 Cámara interna	-----	15 x 8 cm	-----	Parte superior del equipo.

CRITERIOS DE USO.

- Se deben realizar las calibraciones de temperatura bajas y posteriormente a temperaturas altas.
- Los tiempos de respuesta son de máximo 20 min.
- Los tiempos de estabilidad máximos del equipo son de 20 minutos, después del tiempo de respuesta.
- Se debe calibrar la sonda con un termómetro con resolución de al menos 0.02 °C

POSICIÓN DE TERMÓMETROS.

Vista superior del equipo calibrador de termómetros, se muestran los orificios de ingreso de termómetros, estos pueden cambiar de posición.



RESPONSABILIDAD.

Carlos Villao A

Bryan Alava Z