ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA CAMARA TERMOMÉTRICA Y DISEÑO DE UNA INTERFAZ HMI PARA LA CALIBRACION DE TERMÓMETROS

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

CASTRO HARO JAVIER ALEXANDER
jach1404_@hotmail.com

ORTIZ FERNÁNDEZ WILLIAM WLADIMIR
wladimirwof@hotmail.com

DIRECTOR: ING. ANA VERÓNICA RODAS BENALCAZAR
ana.rodas@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. RAMÓN CHANGO SANTILLÁN
rchango@*inamhi*.gob.ec

Quito, Noviembre 2013

DECLARACIÓN

Nosotros, Javier Alexander Castro Haro y William Wladimir Ortiz Fernández, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____ _____

Javier Alexander Castro Haro William Wladimir Ortiz Fernández

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Javier Alexander Castro Haro y William Wladimir Ortiz Fernández, bajo mi supervisión.

Ing. Ana Verónica Rodas Benalcazar
DIRECTORA DEL PROYECTO

Ing. Ramón Chango Santillán
CODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios que me ha permitido soñar y alcanzar mis metas, que llego a mi vida y me lleno de esperanza, nunca se alejó de mi lado por más difícil que fuera la tempestad. Te amo porque me amaste a mi primero.

A mis padres, quienes con su personalidad y carácter supieron forjarme, enseñarme a ser independiente y autosuficiente, a luchar de manera incansable hasta obtener una meta en la vida, por su amor tan sincero y cariño que siempre me lo expresaron; por brindarme sus palabras de ánimo, y compartir su vida con sus hijos, los amo con infinito amor.

A mi querida hermana, que es mi amiga inseparable, mi compañera de juegos y aventuras, de momentos inolvidables, gracias por reprenderme cuando lo necesitaba, eres lo más hermoso que Dios puso en nuestra familia, gracias por compartir mis sueños y anhelos, te amo mi nena, mi querida y hermosa arquitecta.

A mi amada Jenny, por sus palabras de ánimo, por brindarme su amor y comprensión, gracias por llenar mi vida de alegría, te amo.

De forma especial quiero agradecer a la Ing. Anita Rodas y al Ing Ramón Chango por su predisposición, paciencia y sugerencias, las cuales determinaron que se oriente adecuadamente el desarrollo del presente trabajo.

A Wladimir por ser mi amigo, superar las dificultades y obstáculos que se presentaron en nuestro proyecto de tesis, por tomar este desafío y culminarlo. A Fernanda, Christian, Darwin, William, Víctor, David, Francisco, Marco, Jhon, Sebastián, Sorayita, Carlos, Alejandra, Marcelo, José Luis, Andrés, Franklin, Andrea y Hugo, gracias por brindarme su tiempo y amistad, han sido mis amigos en cada etapa de mi carrera, han sabido ser un apoyo en mi vida.

Javier Alexander

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a Dios, a mamita María y a mi familia que supieron encaminarme de la manera correcta para alcanzar un logro y ayudarme a cumplir mi sueño, por su comprensión, paciencia y apoyo incondicional, han sido un gran ejemplo de vida, valentía y honestidad.

Javier Alexander

AGRADECIMIENTO

A DIOS que me dio la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa.

A mis padres Alicia y Luis que me dieron todo su cariño, amor y comprensión que me estuvieron apoyando para que siga adelante, por ser un ejemplo a seguir Gracias por permitirme ser su hijo y ser parte de su vida, por todos esos momentos de alegrías y tristezas que nos unieron mucho más como familia.

A mis hermanos Franklin, Paulina, Mayra, Mario y Najely, por ser un ejemplo de perseverancia y constancia, por estar siempre juntos y más que nada por querer a nuestros padres tanto como yo.

A mis amigos y en especial a mi compañero de tesis, a quienes no podía dejar de mencionar, gracias por esas palabras de apoyo para seguir adelante, por esos momentos muy alegres que compartimos durante toda nuestra carrera, por simplemente ser como son, de todo corazón gracias por brindarme su amistad.

"Todos Ustedes mucho me han dado, no va a ser menos lo que de mi reciban"

Wladimir

WOF

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño a mis padres, hermanos y en especial aquella persona tan especial que me mostro el verdadero significado de la humildad la bondad y el amor, mi abuelita Avelina, estoy seguro que nos sigues cuidando desde donde quiera que esteces.

La muerte no nos ha separado, nos ha unido mucho más.

Wladimir

CONTENIDO

RESUMEN ..... **III**

PRESENTACIÓN ..... **IV**

CAPITULO 1 ..... **1**

DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA TÉRMICA **1**

1.1 MARCO TEORICO 1

1.2 METROLOGÍA 1

1.2.1 METROLOGÍA CIENTÍFICA *2*
1.2.2 METROLOGÍA INDUSTRIAL *2*
1.2.3 METROLOGÍA LEGAL *2*

1.3 SISTEMAS DE CALIBRACIÓN 3

1.3.1 NORMAS INTERNACIONALES *3*

1.5 DESCRIPCION DE LA CAMARA TERMOMÉTRICA "WILH LAMBRECHT GÖTTINGEN 340" 6

1.5.1 SISTEMA DE CALENTAMIENTO *9*
1.5.2 SISTEMA DE REFRIGERACION *10*
1.5.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL *11*

1.6 DESARROLLO DEL PROYECTO 12

CAPÍTULO 2 ..... **15**

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DEL SISTEMA **15**

2.1 SELECCIÓN DE UN NI DAQ 15

2.1.1. REQUERIMIENTOS DE ENTRADAS Y SALIDAS *16*
2.1.2. CHASIS NI CDAQ-9178 ..... *18*
2.1.3. MÓDULOS DE LA SERIE C *19*

2.2. CONEXIÓN DEL MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS NI 9201 21

2.2.1. SENSOR DE DISTANCIA INFRARROJO PARA DETECCIÓN DE TERMÓMETROS *22*
2.2.2. SENSOR EFECTO HALL *23*
2.2.3. SENSORES DE PRESIÓN *24*
2.2.4. SENSOR DE DISTANCIA ANALOGICO PARA NIVEL *25*

2.3. CONEXIÓN DEL TERMÓMETRO PRT AL MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS NI 9217 29

2.4. MOTOR PARA EL SISTEMA DE AGITACIÓN 31

2.4.1. MONTAJE DEL SISTEMA DE AGITACIÓN *38*
2.4.2. DIMENSIONAMIENTO DEL VARIADOR DE VELOCIDAD *39*
2.4.3. DIMENSIONAMIENTO DEL GUARDA-MOTOR *44*

2.5. CONEXIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD AL MÓDULO DE SALIDA ANALÓGICA NI 9263 47

2.6. CONEXIÓN DEL MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES TIPO RELÉS NI 9481 48

2.6.1. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN *49*
2.5.2 CALENTADOR (RESISTENCIA ELÉCTRICA) *50*

2.7. CONEXIÓN DEL MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES NI 9472 52

2.7.1. MOTOR PASO A PASO *53*
2.7.2. MANEJO DEL MOTOR PASO A PASO BIPOLAR *58*
2.7.3. MONTAJE DEL MOTOR PASO A PASO *60*
2.7.4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO *61*

2.7.5. ILUMINACIÓN *67*
2.8. TABLERO DE CONTROL 68

CAPITULO 3 ..... **72**

DISEÑO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA **72**

3.1 DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL 72

3.1.1 SOFWARE DE APLICACIÓN PARA EL SISTEMA DE CONTROL *72*
3.1.2 ENTORNO NORMATIVO PARA EL DISEÑO DE HMI *73*
3.1.2.1 Reglas para el diseño de la HMI 74
3.1.2.2 Consideraciones del diseño 75
3.1.3 DESARROLLO DEL SOFWARE DE CONTROL *76*
3.1.3.1 Configuración inicial de parámetros 76
3.1.3.2 Subrutina de Inicialización 77
3.1.3.3 Subrutina de Calibración y Control de Temperatura 79
3.1.3.4 Subrutina de Cambios de Unidad y Alarmas 82
3.1.3.5 Detección automática de termómetros en la bandeja 85
3.1.3.6 Subrutina Mantenimiento 87
3.1.3.7 Subrutina de Carga 88
3.1.3.8 Subrutina de Descarga 89
3.1.3.9 Subrutina de Filtrado 90
3.1.3.10 Control del Sistema de Agitación 91
3.2 PANTALLAS DESARROLLADAS 96

3.2.2 Pantalla de Ingreso y Visualización de Datos 97

CAPITULO 4 ..... **100**

PRUEBAS Y RESULTADOS **100**

4.1 PRUEBAS DE CALENTAMIENTO DEL LÍQUIDO CALORIMÉTRICO 100

4.2 PRUEBAS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN 104

4.3 PRUEBAS DEL SISTEMA DE CONTROL 109

4.4 PRUEBAS DE CONTRASTACIÓN DE TERMÓMETROS DE MERCURIO 115

4.4.1 PROCEDIMIENTO DE CONTRASTACIÓN. *116*
4.4.2 CÁLCULOS DE LA INCERTIDUMBRE *119*
4.5 ANALISIS DE COSTOS DEL PROYECTO. 123

4.6 MODULO COMPLETO. 125

CAPÍTULO 5 ..... **129**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. **129**

5.1 CONCLUSIONES 129

5.2 RECOMENDACIONES 130

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **133**

ANEXOS **135**

RESUMEN

El proyecto pretende dotar al laboratorio de metrología del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) con un equipo que permita la contrastación de termómetros de mercurio usados para las mediciones de temperatura en las estaciones meteorológicas instaladas a lo largo de todo el país.

El equipo está conformado por un sistema de control de temperatura el cual da la opción de calentar o enfriar el líquido calorimétrico en un rango de temperatura que se encuentra entre -35 °C y 60 °C, dentro del vaso se encuentra instalado un agitador que se mueve mediante un motor eléctrico controlado por un variador de velocidad que mezcla el líquido.

Para la medición de temperatura del líquido se hace uso de un sensor patrón de la familia FLUKE; además se instaló dos sensores infrarrojos para la detección de los termómetros de mercurio y para el nivel del líquido. El sistema también contiene un motor para el movimiento de la bandeja de termómetros y la iluminación adecuada para la visualización de los mismos.

Para la extracción y el filtrado del líquido calorimétrico se instaló un par de bombas peristálticas, una de ellas permite depositar o extraer el líquido mientras que la otra sirve para la recirculación del líquido por un filtro que retiene las partículas de polvo.

El proyecto cuenta con una HMI desarrollada en Labview que permite el ingreso y visualización de los datos de temperatura, la posición de los termómetros de mercurio en la bandeja, los datos de presión y velocidad del agitador que ayudan al correcto funcionamiento del equipo.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto está estructurado como se indica a continuación.

El capítulo uno contiene las bases teóricas de la metrología y las distintas normas que se deben seguir para realizar el proceso de calibración o procesos similares como la contrastación de instrumentos. Se realiza una descripción del estado en el que se encontró la cámara, los elementos que la constituían y las funciones que realizaba cada uno.

El capítulo dos describe el diseño y la construcción del proyecto. Se especifican los equipos que se instalaron en la máquina así como la selección y el funcionamiento de los distintos sensores que ayudan al funcionamiento del proyecto, además se describe el montaje físico de cada uno de ellos y su conexión con el sistema modular de adquisición de datos.

El capítulo tres contiene el desarrollo e implementación del software implementado; se proporciona una breve descripción de la configuración del sistema de adquisición de datos y una descripción detallada en diagramas de flujo del funcionamiento del sistema de control. Además se proporciona los detalles de la HMI que será usada para la contrastación de los termómetros.

El capítulo cuatro contiene las pruebas y los resultados obtenidos al poner en funcionamiento el proyecto, Se realizan pruebas a los sistemas de refrigeración y calentamiento del líquido calorimétrico así como pruebas del HMI instalado y del sistema de control implementado.

Finalmente, en el capítulo cinco se mencionan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron a lo largo del proyecto

CAPITULO 1

DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA TÉRMICA

1.1 MARCO TEORICO

Con el objeto de leer los valores correctos de variables meteorológicas, los instrumentos usados para este fin deben compararse con un instrumento patrón pertinente y sus escalas respectivas deben ser corregidas antes de que entre en servicio. El método de comparar y hacer una escala de instrumento compatible con la del instrumento patrón se conoce como calibración.

En el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) se tienen termómetros de mercurio en las estaciones meteorológicas instaladas en todo el país usados para medir la temperatura del ambiente. Generalmente los termómetros no mantienen su calibración en forma permanente y por este motivo es necesario realizar periódicamente, de acuerdo con los programas, ensayos prácticos, pruebas de laboratorio y la contrastación de estos instrumentos meteorológicos.

1.2 METROLOGÍA

Conocida globalmente como la ciencia de las mediciones y de sus aplicaciones, se define como:

"La metrología es la ciencia que tiene por objeto el estudio de las propiedades medibles, las escalas de medida, los sistemas de unidades y los métodos y técnicas de medición, con el fin de mejorar la calidad en las mediciones y facilitar el desarrollo científico y tecnológico, así como el bienestar social y la calidad de vida[1]*."*

Actualmente, las mediciones toman un papel muy importante en la vida diaria de las personas, encontrándose en prácticamente cualquiera de las actividades

[1] Definición tomada de vocabulario internacional en términos de Metrología Legal.

realizadas: desde la aproximación a simple vista de una distancia o una receta de cocina hasta un proceso de investigación básica. La metrología afecta a varios sectores de la sociedad. Para colocarlas apropiadamente en cada sector se divide en tres categorías, cada una de ellas con diferentes niveles de complejidad y exactitud pero muy relacionadas entre sí. Son las siguientes:

1.2.1 METROLOGÍA CIENTÍFICA

Se ocupa de la organización y el desarrollo de los patrones de medida y su mantenimiento.

Patrón de medida se comprende a la definición física de una magnitud básica, con un valor determinado tomada como referencia. La realización de la definición de una magnitud básica puede establecerse mediante un sistema de medida, una medida materializada o un material de referencia.

.

1.2.2 METROLOGÍA INDUSTRIAL

Asegura el correcto funcionamiento de los instrumentos de medición usados en la industria y en los procesos de producción y verificación. Esta área tiene como objetivo controlar, asegurar y mejorar la calidad y la confiabilidad de los distintos productos obtenidos en procesos industriales. Para lo cual deben realizarse una serie de mediciones sobre las materias primas, los procesos y condiciones de fabricación y los productos terminados, generalmente en base a unas normativas estandarizadas.

1.2.3 METROLOGÍA LEGAL

Se encarga de las mediciones que influyen en la transparencia de las transacciones comerciales, la salud y la seguridad de los ciudadanos. Esta área de la metrología se encarga de proteger a los consumidores, los cuales no poseen los medios técnicos para verificar si unas mediciones están bien realizadas o si los resultados obtenidos son correctos.

1.3 SISTEMAS DE CALIBRACIÓN

Se debe tomar en cuenta que el proceso que realiza el INAMHI en sus laboratorios es el de contrastación de sus sensores la misma que debe cumplir con un procedimiento similar a la calibración, por este motivo se adoptará todas las normas y reglas de los métodos de calibración para ser aplicados en la contrastación, con el fin de mejorar el proceso.

Se puede definir contrastar como; comparar un instrumento desconocido con otro conocido y perfectamente calibrado (patrón) para poder conocer los errores del instrumento a corregir. Es necesario realizar el proceso de contrastación periódicamente todos los instrumentos de medida para saber el error con que se trabaja y si es posible corregirlo. Las normas de calidad (por ejemplo las ISO) exigen la contrastación de todos los instrumentos de medida indicando: datos y número de serie del instrumento patrón, fabricante, clase, etc. Este procedimiento debe realizarse periódicamente según lo indicado por las normas. Se debe llevar registro escrito de las contrastaciones y sus resultados.

1.3.1 NORMAS INTERNACIONALES [2]

El laboratorio de metrología del INAMHI usa como referencia la norma OMM – 622, que tiene recomendaciones acerca del proceso a seguir en la medición y calibración de instrumentos usados en meteorología.

A continuación se presentan una serie de condiciones básicas, que todo laboratorio de calibración debe cumplir para garantizar la veracidad de las mediciones realizadas.

- Instalaciones

El laboratorio debe asegurarse de que las condiciones ambientales no afecten a los resultados invalidándolos ni comprometan la veracidad requerida en las

[2] Texto redactado de las normas OMM-622

mediciones, realizando un seguimiento, controlando y registrando las condiciones ambientales según lo requieran las especificaciones y procedimientos correspondientes.

- Métodos de calibración

Es necesario seleccionar los métodos apropiados que hayan sido publicados en normas internacionales, por organizaciones reconocidas. También pueden utilizarse métodos desarrollados por el propio laboratorio si son apropiados para el uso previsto y si han sido validados.

- Estimación de la incertidumbre de la medición

Los laboratorios que realizan sus propias calibraciones deben tener y aplicar un procedimiento para estimar la incertidumbre de la medición para todas las mediciones y todos los tipos de calibraciones. Los grados de exigencia requeridos para la estimación de la incertidumbre de la medición dependen de factores tales como los requisitos del cliente o los requisitos del método de calibración empleado.

- Control de datos.

Al utilizar equipos automatizados, para captar, registrar, procesar, informar, almacenar o recuperar los datos para las calibraciones, el laboratorio debe asegurarse de que el software está documentado con el detalle suficiente y haya sido validado, de modo que pueda asegurarse que es adecuado para el uso. De igual manera, se deben establecerse procedimientos para proteger los datos.

- Equipos

Los equipos utilizados en los laboratorios para las calibraciones deben permitir lograr la exactitud requerida y deben cumplir con las especificaciones para las calibraciones pertinentes. Estos equipos deben ser operados por personal

autorizado, los cuales deben tener acceso a las instrucciones de uso actualizadas de todos los equipos utilizado.

Todos y cada uno de los equipos del laboratorio, así como su software, debe estar identificado, además de establecerse registros de sus componentes. Los registros deben contener: identificación del equipo, nombre del fabricante, instrucciones del fabricante, las fechas y resultados de los informes y certificados de todas las calibraciones, el plan de mantenimiento cuando corresponda y todo daño, mal funcionamiento, modificación del equipo.

- Trazabilidad de las mediciones

Los programas de calibración de los equipos deben ser diseñados y operados de modo que se asegure que las calibraciones y las mediciones realizadas por el laboratorio sean trazables al Sistema Internacional de Unidades.

- Patrones de referencia

El laboratorio debe tener un programa y un procedimiento para la calibración de sus instrumentos patrones de referencia, los cuales deben ser calibrados por un organismo acreditado para tal fin y que pueda garantizar la trazabilidad de dicha calibración.

Los elementos patrones deben ser utilizados exclusivamente para la calibración de otros equipos, no se les debe utilizar para ningún otro propósito, a menos que se pueda demostrar que su desempeño como patrón de referencia no se verá afectado.

- Aseguramiento de la calidad de los resultados

El laboratorio debe tener procedimientos y planes de control para realizar el seguimiento de la validez de las calibraciones que se estecen llevando a cabo.

Los datos que resulten de este procedimiento deben ser registrados de forma tal que se puedan detectar errores.

- Informes de resultados

Los resultados de las calibraciones deben ser informados en forma exacta, clara y objetiva, acorde con las instrucciones específicas por el método de calibración seleccionado. Los resultados deben ser expedidos en un Certificado de Calibración, y deben contener toda la información requerida por el cliente y necesaria para la interpretación de los resultados de la calibración, así como toda la información requerida por el método utilizado para dicha acción.

1.5 DESCRIPCION DE LA CAMARA TERMOMÉTRICA "Wilh lambrecht gÖttingen 340"

La cámara termométrica M340 se encuentra en el laboratorio del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) fuera de funcionamiento, su fecha de fabricación es de hace 50 años y era usada para la contrastación de los termómetros de mercurio que son utilizados en las distintas estaciones meteorológicas a nivel nacional. El sistema de control es análogo y de tecnología antigua.

El elemento principal de la cámara termométrica es un vaso calorimétrico termo aislado de Dewar Figura 1.1, formado por un recipiente de doble pared especular que refleja todo tipo de radiación consiguiendo un aislamiento térmico casi completo. Lateralmente hay una abertura vertical alargada que permite hacer las lecturas de los termómetros dispuestos dentro del vaso calorimétrico, en el que va un líquido calorimétrico. El recipiente Dewar está instalado dentro de un cilindro de metal liviano, que también tiene su abertura lateral para las lecturas, debidamente protegidas por una plancha de plexiglas, y adosada lateralmente tiene una instalación adecuada para iluminar las escalas de los termómetros que se estudian y el termómetro patrón.

La cámara termométrica permite la comprobación simultánea de veintitrés termómetros de mercurio comprobando sus indicaciones con las del termómetro patrón.

El vaso calorimétrico se llena con líquido susceptible de calentar o enfriar dentro de los márgenes de trabajo de la cámara, que van de -35°C a 60°C. Por ello se debe trabajar con una solución cuyo punto de congelación este por debajo de -35°C, la sustancia usada actualmente es el propilenglicol.

Figura 1.1 Vaso de Dewar.

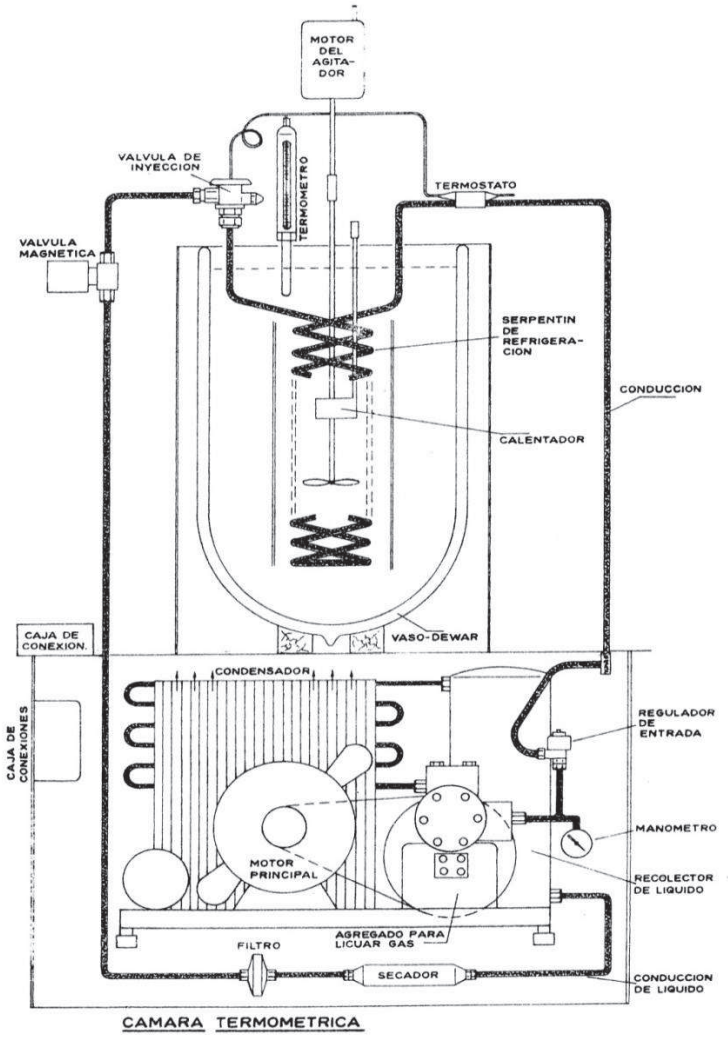


Figura 1.2 Esquema cámara calorimétrica.[3]

Los sistemas de calentamiento, refrigeración y agitador están manejados por un pequeño panel de mando ubicado en la tapa superior de la caja inferior de la cámara el cual se encuentra en muy malas condiciones. Está conformado por tres mandos y cuatro luces indicadoras: el mando situado a la izquierda es el interruptor principal el cual enciende la luz blanca central y el aparato recibe energía para poder funcionar. El conmutador central tiene dos posiciones: (HEIZEN) para calentar y con la cual se enciende una luz roja del panel, y la otra (KUHLEN) para enfriar encendiéndose la luz verde del sector izquierdo superior del panel. El interruptor ubicado a la derecha sirve para encender el agitador y una luz azul ubicada en la parte superior del mismo lado como lo indica la Figura 1.3.

[3] Esquema tomado del manual de la Cámara termométrica M340.

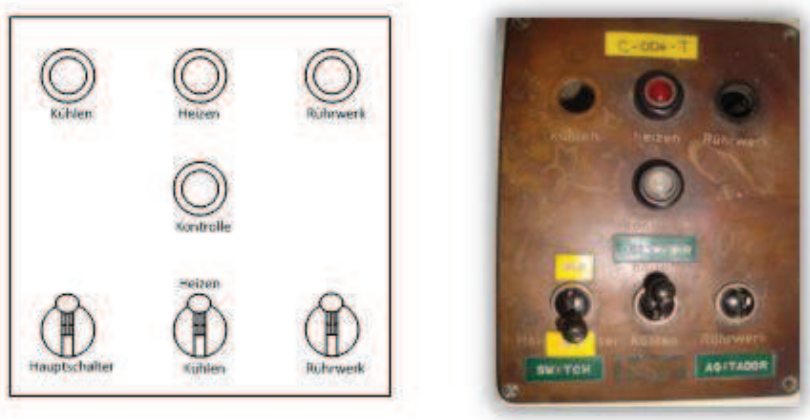


Figura 1.3 Panel de control cámara termométrica.

1.5.1 SISTEMA DE CALENTAMIENTO

El líquido calorimétrico se calienta utilizando un calentador eléctrico de inmersión cuya varilla va introducida en el líquido,

Un termostato ubicado en la parte superior, presenta un mando con un margen de temperatura de -35° C a 60° C.

Para obtener temperatura uniforme en el líquido calorimétrico, dentro del vaso se encuentra instalado un batidor que mueve y mezcla el líquido, el cual está impulsado por un motor con un eje vertical ubicado encima del termostato, y del que sobresale una palanca que sirve para regular la velocidad del agitador (Figura 1.4) según la consistencia y temperatura del líquido calorimétrico.

En las diferentes partes del sistema de agitación se observaba un deterioro debido al desgaste de piezas.

La varilla del agitador se encontró en un estado de deterioro total que hace referencia al gran tiempo de uso y la falta de mantenimiento del mismo.

El motor utilizado es de 110 v a 2700 rpm el cual realiza la función de agitación del líquido calorimétrico.

Al realizar pruebas al motor se observó que aún se encontraba en funcionamiento, pero debido a la cantidad de años de uso se optó por remplazar con otro motor con similares características.

Figura 1.4 Motor para el agitador.

1.5.2 SISTEMA DE REFRIGERACION

Para conseguir temperaturas bajas se enfría el líquido calorimétrico por medio de un sistema eléctrico de refrigeración graduable con un termostato, como se puede ver en la Figura 1.5.

Este elemento aún funcionaba, pero debido al cambio de tecnología que se realizaría, no respondía a nuestras necesidades, por lo que se lo cambió.

Figura 1.5 Termostato para el control de temperatura.

El sistema de refrigeración está conformado básicamente por el compresor y un condensador los cuales están situados en la parte inferior de la cámara y por un serpentín de evaporación que va dispuesto concéntricamente con el agitador con su eje común situado verticalmente como se observa en la Figura 1.6.

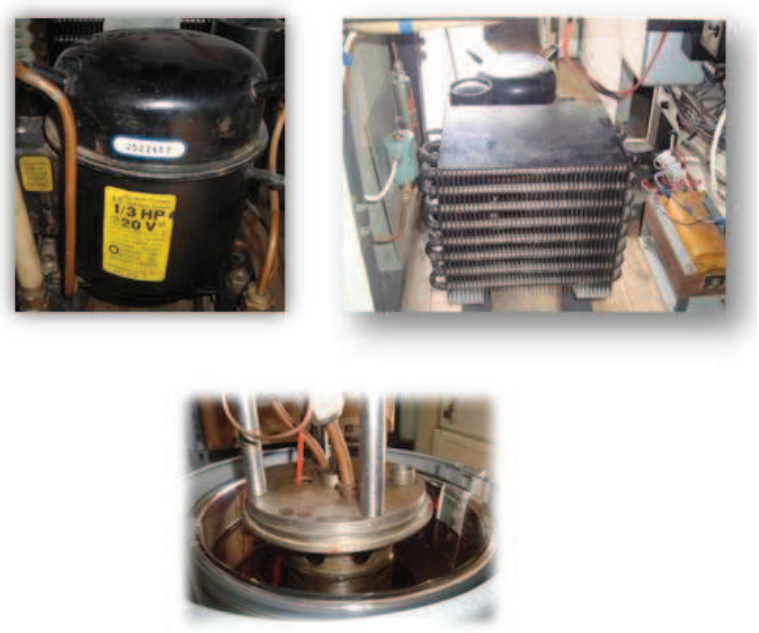


Figura 1.6 Sistema de refrigeración con Refrigerante R12.

No se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema ya que se tenía fugas del refrigerante en el compresor, pero se constató un buen estado de las tuberías de cobre, por este motivo se mantuvo la tubería del sistema pero se realizó una mejora a la estructura adecuándola a las necesidades del proyecto.

El sistema de refrigeración utiliza refrigerante R12 altamente contaminante para el medio ambiente y perjudicial para la capa de ozono. Por estos motivos y la descontinuación de fabricación del refrigerante sumándole a esto los años de uso del sistema de refrigeración, se realizó el cambio del sistema.

1.5.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Como se puede observar en la Figura 1.7. Se tenían relés de estado sólido y sensores de temperatura que realizan el control del sistema. Esta tecnología es

inservible para la actualidad por lo que todo este equipo se remplazó por equipos e instrumentación con tecnología actual.

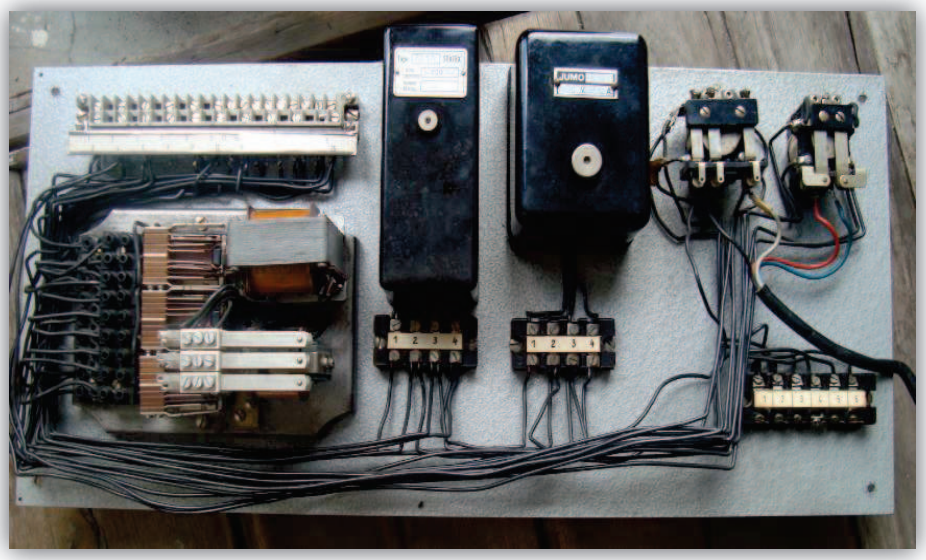


Figura 1.7 Elementos y dispositivos del sistema de control análogo.

Se llegó a la conclusión que todos los elementos usados para el control, instrumentación, y demás partes no podrían ser usadas para nuestros objetivos, a diferencia de la estructura metálica y el vaso de Dewar que aún podían ser usados por lo que fue lo único que se utilizó en el proyecto.

1.6 DESARROLLO DEL PROYECTO

Las actividades que se desarrollarán en el proyecto se redactan a continuación.

Una vez identificado todas las partes de la cámara y el estado de los elementos que lo constituyen, se puede definir qué elementos se pueden utilizar. Los que no estén aptos para el uso se remplazarán por equipos nuevos y con tecnología actual que permitan su manejo desde el computador.

Entre los equipos que se reemplazarán se tiene:

- Sistema de refrigeración.
- Resistencia eléctrica.

- Agitador, esto incluye motor, eje de agitación y hélice.
- Sensor patrón para la temperatura.
- Sistema de control.

Los equipos que se aumentan son:

- ✓ Variador de velocidad.
- ✓ Sensor infrarrojo para la detección de termómetros.
- ✓ Sensor efecto Hall para inicializar la bandeja de termómetros.
- ✓ Sensor infrarrojo para la medida de nivel del líquido calorimétrico.
- ✓ Motor a pasos para el movimiento de la bandeja de termómetros.
- ✓ Sensor de presión para el sistema de refrigeración.
- ✓ Bombas peristálticas y filtro para el bombeo y filtrado del líquido.
- ✓ Implementación de un HMI para el funcionamiento del equipo.

La adquisición de datos y envío de señales de control entre la cámara y el computador se realiza mediante el sistema modular de adquisición de datos NI CompactDAQ. Se utilizará los siguientes módulos de entradas y salidas necesarios para el cumplimiento de nuestros objetivos.

- ✓ Chasis Ni CDAQ-9178.
- ✓ NI 9472 salidas digitales.
- ✓ NI 9263 salidas análogas de voltaje.
- ✓ NI 9201 Entradas análogas de voltaje
- ✓ NI 9217 entradas análogas para sensores tipo PRT.
- ✓ NI 9481 salidas tipo relé.

La acción principal que cumple el sistema de control es la de calentar o enfriar, según lo decida el usuario, un líquido calorimétrico que está contenido en un recipiente conocido como vaso Dewar, en el cual se sumergirán los termómetros. Esta acción se la realizará mediante el sistema de refrigeración y de calentamiento que serán controlados por la tarjeta NI 9481 la cual envía una señal para la activación y desactivación de los sistemas.

Para realizar la acción que permita cambiar la temperatura en el líquido calorimétrico es necesario siempre la verificación de nivel del líquido, esto se debe a que si se enciende alguno de estos sistemas sin el nivel adecuado se podrían ocasionar daños en cualquiera de los sistemas. Por este motivo es necesaria la instalación del sensor infrarrojo para nivel.

Al tener un líquido sin ninguna cubierta que lo proteja se encuentra propenso a la contaminación de partículas de polvo por lo cual se optó por instalar un par de bombas peristálticas y un filtro de partículas que permitan limpiar de impurezas al líquido calorimétrico o extraerlo a recipientes exteriores si es necesario.

La visualización de los datos y la introducción de los niveles de temperatura se realizan mediante una HMI diseñada específicamente para este proyecto. La plataforma de programación que se usará es Labview 2012 disponible en el INAMHI.

Para mantener uniforme la temperatura en el líquido calorimétrico se instalará un agitador el cual está conformado por un motor eléctrico y un variador. El cambio de la velocidad del motor se controla mediante una señal de voltaje proporcionada al variador de velocidad.

Para la contrastación de los termómetros, que es el proceso realizado a los termómetros en el INAMHI, se redacta un procedimiento a seguir, obtenido de la norma de la OMM 622.

CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DEL SISTEMA

2.1 SELECCIÓN DE UN NI DAQ

El INAMHI posee licencias del software Labview razón por la cual se escogerá un módulo de NI que se ajuste a las necesidades del proyecto.

La cámara termométrica consta de un sistema de agitación que tiene como objetivo que la transferencia de calor sea la adecuada, dos bombas peristálticas, una para carga/descarga y la segunda para filtrado del líquido calorimétrico, un sistema de refrigeración para enfriar el líquido calorimetrico, un motor a pasos para mover la bandeja de termómetros, una resistencia eléctrica para calentar el líquido contenido en el vaso Dewar, sensores para la detección de termómetros y nivel del líquido y un sensor de temperatura PRT usado como sensor patrón que fue proporcionado temporalmente para las pruebas mientras termina el proceso de compra de dos termómetros PRT solicitados para el proyecto que serán instalados posteriormente.

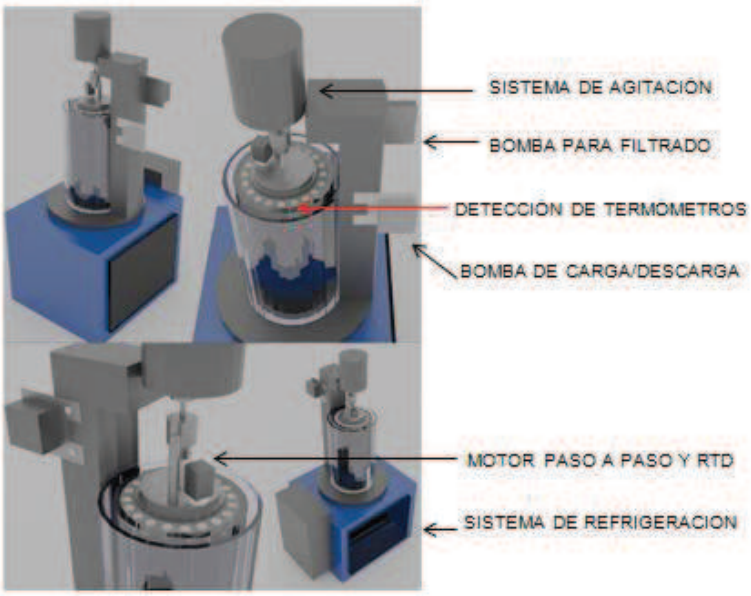


Figura 2.1 Diagrama del sistema.

2.1.1. REQUERIMIENTOS DE ENTRADAS Y SALIDAS

El número de entradas y salidas necesarias para el sistema de control se describen a continuación en la Figura 2.2 y se detalla en la Tabla 2.1.

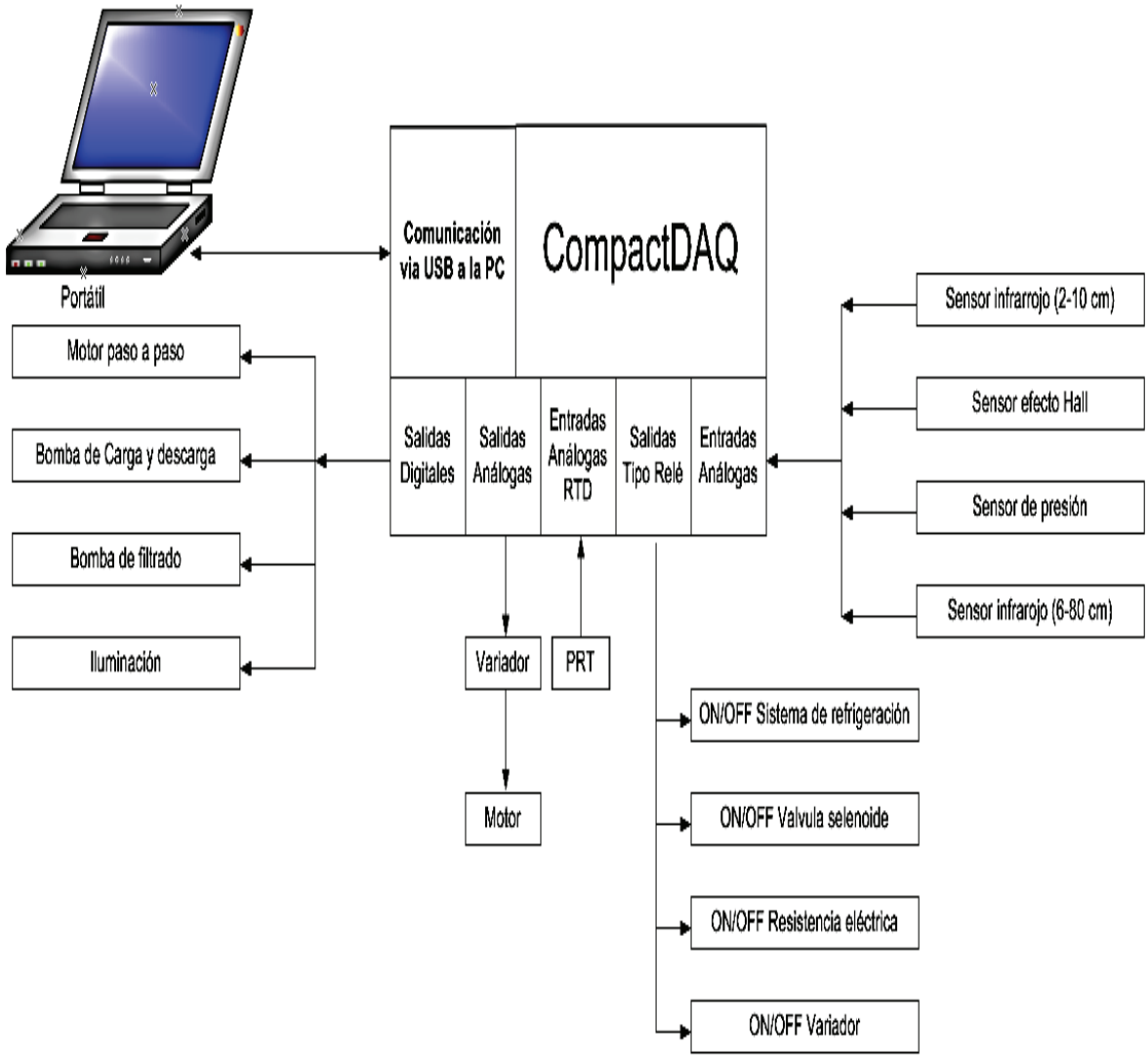


Figura 2.2 Diagrama de bloques de las entradas y salidas del sistema.

	DESCRIPCIÓN	ITEM
SALIDA DIGITAL	motor pasos	DO-00
	motor pasos	DO-01
	motor pasos	DO-02
	motor pasos	DO-03
	depositar líquido (bombas)	DO-04
	extraer líquido (bombas)	DO-05
	Filtrado (bombas)	DO-06
	Luces LED	DO-07
SALIDA ANÁLOGICA	Control de velocidad	AO-00
ENTRADAS ANÁLOGAS	Sensor infrarrojo detección de termómetros	AI-00
	Sensor efecto hall	AI-01
	Sensor de presión	AI-02
	Sensor infrarrojo nivel	AI-03
ENTRADAS ANÁLOGAS PRT	PRT2	AI-PRT-02
SALIDAS TIPO RELÉ	Válvula solenoide	DO-RELÉ-00
	Refrigeración	DO-RELÉ-01
	Calentador	DO-RELÉ-02
	ON/OFF variador	DO-RELE-03

Tabla 2.1 Tabla de entradas y salidas del sistema.

Al comparar las tarjetas de adquisición de datos de National Instruments, hay características que se debe tomar en cuenta al momento se seleccionarlas debido a su gran gama de modelos. De los cuatro módulos analizados quedaron dos: la DAQ Portátil y la NI CompactDAQ debido a que tienen similares características. La DAQ Portátil satisfacía ciertas necesidades en I/O del sistema pero carecía de otras, La CompactDAQ tiene la ventaja de que se le pueden adicionar módulos de I/O que se ajustan a las necesidades del sistema por lo que se la escogió.

Características	DAQ Portátil	DAQ de Escritorio	NI CompactDAQ	Plataforma PXI
Bus	USB, Wi-Fi, Ethernet	PCI, PCI Express	USB, Wi-Fi, Ethernet	PXI, PXI Express
Portabilidad	Excelente	Bueno	Mejor	Bueno
Número de Canales de E/S	1 a 100	1 a 100	1 a 250	1 a 1000+
Configuración de E/S	Fijo	Fijo	Modular	Modular
Razón de Muestreo Máx.	2 MS/s	10 MS/s	1 MS/s	10 MS/s
Acondicionamiento de Señales Integrado	Disponible	No	Sí	Disponible
Sincronización/Disparo	Bueno	Mejor	Mejor	Excelente
Lenguajes de Programación	LabVIEW, C, C++, B .NET, C# .NET			
Sistemas Operativos	Windows, Linux, Mac OS X	Windows, Linux, Mac OS X, Real-Time	Windows	Windows, Linux, Real-Time

Tabla 2.2 Comparación de las NI DAQ.[4]

2.1.2. CHASIS NI CDAQ-9178

El chasis que se escogió es NI CDAQ-9178 USB tiene 8 ranuras como se muestra en la Figura 2.3. Está diseñado para contener ocho módulos de I/O de la serie C de los cuales se utilizan 5 módulos que van a realizar la automatización de la cámara termométrica M340.

El chasis está constituido por:

1. Conector USB.
2. TRIG 0 y 1 Conector BNC
3. Cable USB para Liberación de Tensión.
4. Conector de Potencia de 9-30 VDC.
5. Ranuras del Módulo.
6. Módulos de la Serie C adicionados al chasis son NI 9201, NI 9217, NI 9263, NI 9481, NI 9472.
7. Tornillo a Tierra

[4] Tabla adquirida de la página de National Instrument http://www.ni.com/CompactDAQ

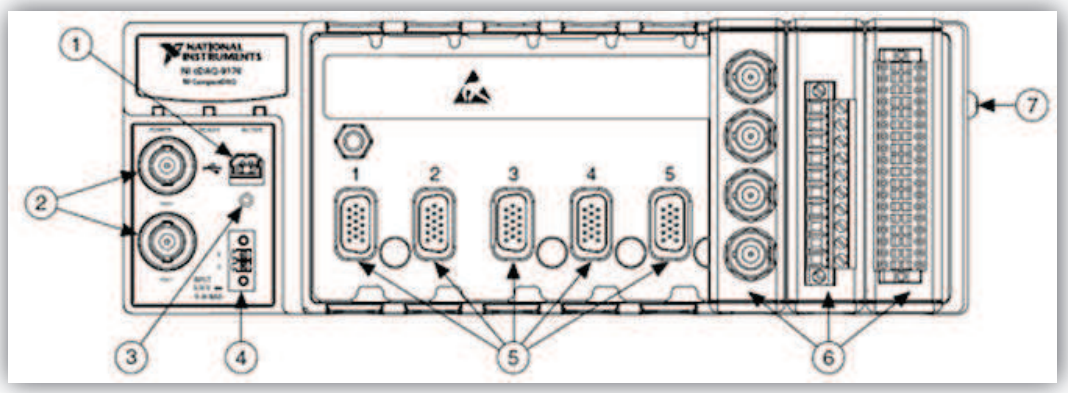


Figura 2.3 Chasis NI cDAQ-9178.

Se conectó la terminal a tierra que se encuentra a un lado del chasis usando el tornillo a tierra con cable 14 AWG recomendado por el fabricante y el otro extremo a la tierra del sistema como se observa en la Figura 2.4.

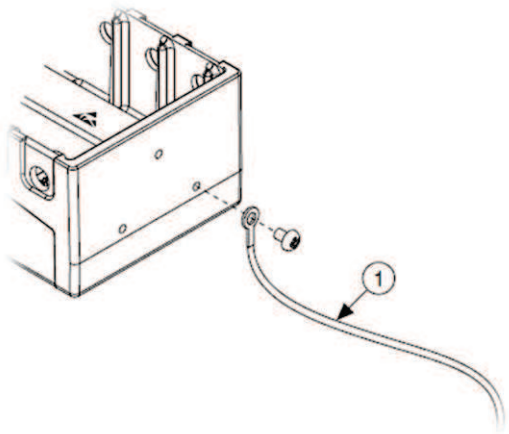


Figura 2.4 Terminal a tierra del sistema.

2.1.3. MÓDULOS DE LA SERIE C

Los módulos de la serie C que se utiliza son los siguientes:

- Módulo de entradas analógicas NI 9201.
- Módulo de entradas analógicas PRT NI 9217.
- Módulo de salida analógica de Actualización Simultánea NI 9263.
- Módulo de Relés SPST EM Forma A de 4 Canales NI 9481.
- Módulo de salidas digitales NI 9472.

Pueden ser intercambiados en vivo los módulos en el chasis NI, el cual detecta automáticamente cada módulo. Las dimensiones de los módulos son las mismas 70.7mm x 22,9mm como se observa en la Figura 2.5.

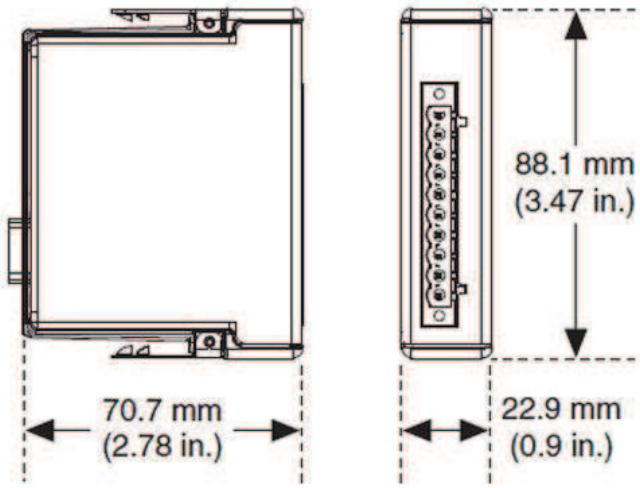


Figura 2.5 Dimensiones de los módulos serie C.

Se debe insertar al chasis NI cada módulo de I/O al apretar ambos seguros del módulo, colocando el módulo de I/O en la ranura de la CDAQ-9178 y presionando hasta que aseguren el módulo en su lugar como se observa en la Figura 2.6.

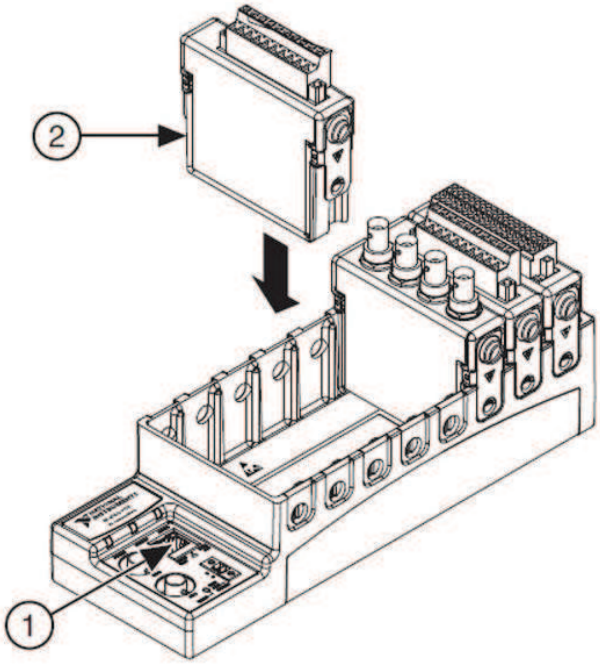


Figura 2.6 Instalación de módulos de I/O de la serie C.

2.2. CONEXIÓN DEL MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS NI 9201

El NI 9201 es un módulo para entradas analógicas de 8 canales aislados, con un rango de entrada de ±10V, con protección de sobretensión. Tiene un terminal común de tierra como lo indica la Figura 2.7.

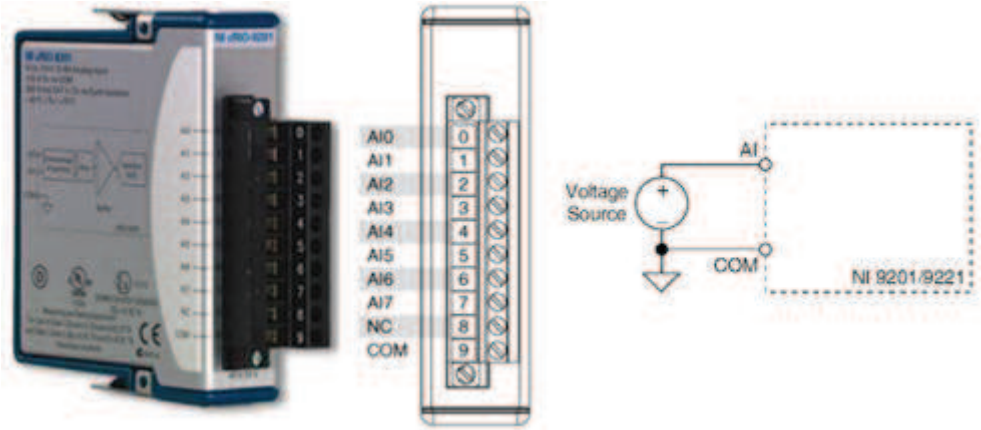


Figura 2.7 Módulo NI 9201.

En el módulo se encuentran conectados cuatro sensores que se utilizan en el proceso. La Tabla 2.3 indica la dirección que ocupa cada sensor y su descripción en el sistema.

Entradas análogas	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
NI 9201	**IN 00**	**Sensor infrarrojo para la detección de termómetros.**
	IN 01	**Sensor efecto hall para indicar que la bandeja de termómetros a dado un giro de 360 grados.**
	IN 02	**Sensor de presión, usado para medir la presión en el sistema de refrigeración.**
	IN 03	**Sensor infrarrojo, usado para medir el nivel del vaso Dewar**

Tabla 2.3 Conexiones módulo NI 9201 CompactDAQ.

2.2.1. SENSOR DE DISTANCIA INFRARROJO PARA DETECCIÓN DE TERMÓMETROS

Se seleccionó este sensor por el rango de detección que va desde 8 hasta 13 cm, se utiliza en la detección de termómetros y está compuesto por un PSD (Detector sensible a la posición), IRED (Diodo emisor infrarrojo) y el circuito de procesamiento de señales.

El voltaje de salida (Vo) de este sensor varía de 4 a 5,6 voltios en caso de que no exista un objeto en el rango de distancia especificada, caso contrario, el voltaje de salido varia de 0,2 a 1 voltios.

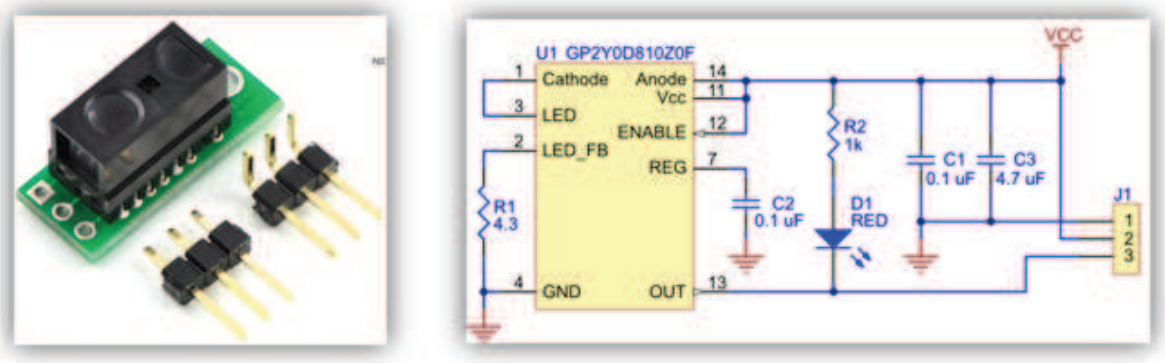


Figura 2.8 Diagrama esquemático de conexión del sensor GP2Y0D810Z0F.

Este sensor tiene tres conexiones, como se puede observar en la Figura 2.8. Dos de ellas son de alimentación: *Vcc* y *GND*. La tercera es una de salida que da una tensión entre *Vcc* y *GND*.

Para instalarlo se midió los 8 cm tomados desde la bandeja de termómetros hasta el soporte fijo, para que detecte al termómetro que se encuentra en el rango de medida y no al líquido calorimétrico, como se observa en la Figura 2.9.

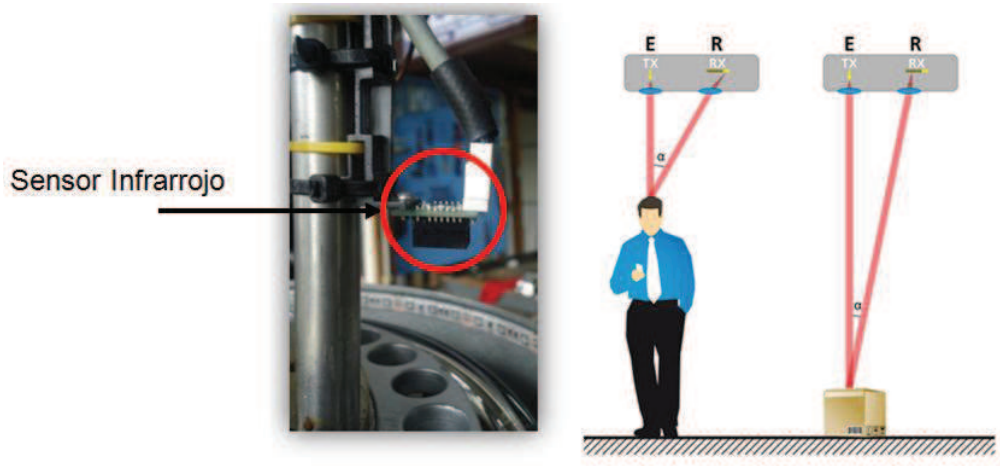


Figura 2.9 Instalación sensor Infrarrojo.

2.2.2. SENSOR EFECTO HALL

Se utiliza en la bandeja de termómetros y proporciona un pulso que indica que ha realizado giro de 360 grados y se encuentra en la posición inicial de la bandeja como se puede observar en la Figura 2.10. El dispositivo tiene una protección contra cortocircuito.

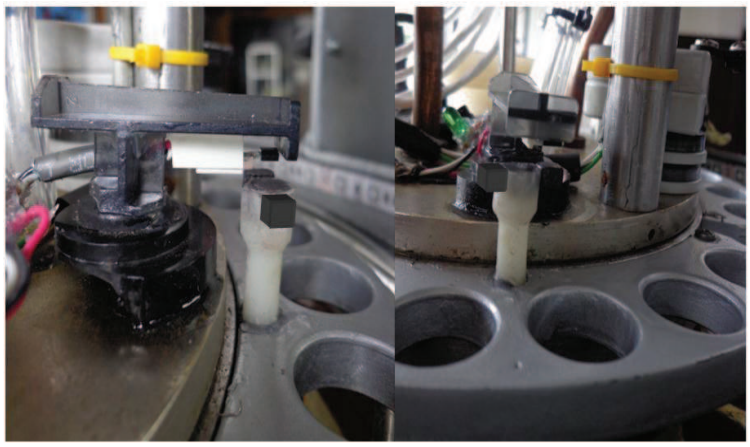


Figura 2.10 Instalación del sensor efecto hall a la bandeja de termómetros.

Mientras se muestrea la señal, el sensor reconoce un aumento o disminución en el flujo magnético.

La salida varia de 3,5 a 5 voltios cuando el flujo magnético sea un polo positivo y un voltaje de 0,3 a 1,5 cuando el flujo magnético sea polo negativo, esto depende

de la cara en la que se coloca el sensor para ser activado con flujo magnético positivo o negativo. En este caso se activa con el polo negativo.

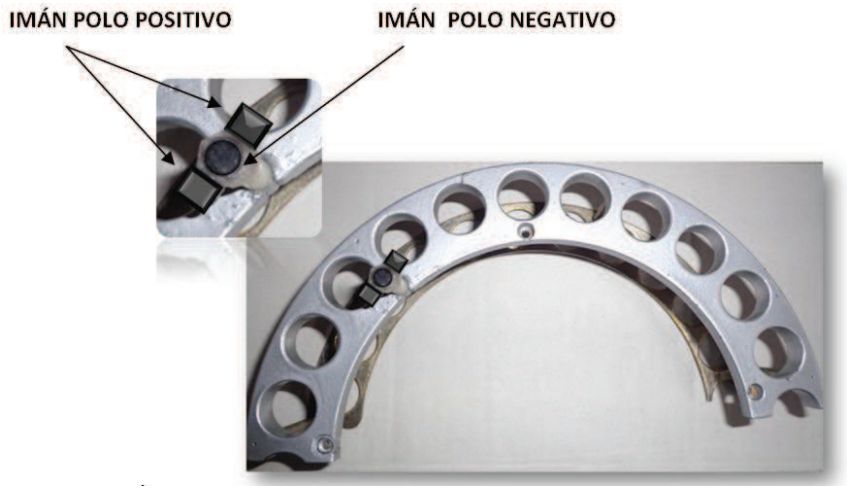


Figura 2.11 Bandeja de termómetros con soporte de un iman de polo negativo y dos positivo.

2.2.3. SENSORES DE PRESIÓN

Para la medición de la presión en el sistema de refrigeración se instaló un manómetro cuyo valor puede variar entre 0 – 200 PSI, esto se lo hizo en base a las especificaciones técnicas del refrigerante el cual estima presiones de hasta 90 PSI y recomendaciones de los técnicos encargados del reemplazo de todo el sistema de refrigeración.

Figura 2.12 Manómetro.

Para visualizar la presión en el HMI diseñado se colocó un transmisor de presión que cumple la misma función del manómetro, el sensor proporciona una señal de voltaje que varía de 0 a 10 voltios proporcionalmente a la presión.

Su montaje está realizado con una ¨T¨ en la que se coloca el manómetro en un extremo y el transmisor en el otro como se observa en la Figura 2.13.

Figura 2.13 Instalación Transmisor de presión.

2.2.4. SENSOR DE DISTANCIA ANALOGICO PARA NIVEL

El sensor análogo es un sensor medidor de distancia, colocado en el IN-03 del módulo NI 9201 utilizado para medir el nivel del vaso Dewar, que contiene el líquido calorimétrico. Se seleccionó este sensor por el rango de medida que va de 10 a 80 cm, está compuesto de PSD (detector sensible a la posición), IRED (diodo infrarrojo emisor) y un circuito de procesamiento de señales.

Consta de tres pines: Dos para la alimentación (*Vcc* y *GND*) y uno de salida, el cual entrega un voltaje analógico que depende de la distancia medida, los tres pines se observa en la Figura 2.14.

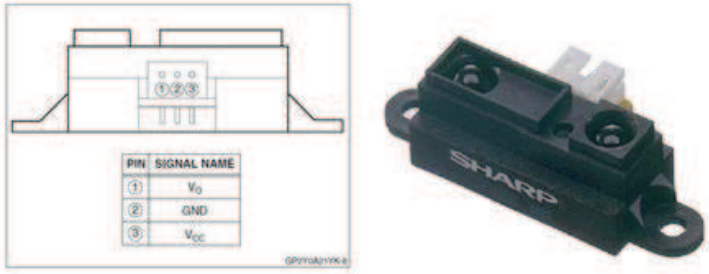


Figura 2.14 Sensor opto electrónico GP2Y0A21YK.

Al tomar las muestras (Distancia vs Salida de Voltaje) se pudo observar que en 6 cm hay un pico de voltaje, se lo tomó como inicio del rango útil del sensor. La salida del sensor no es lineal como se observa en la Figura 2.15.

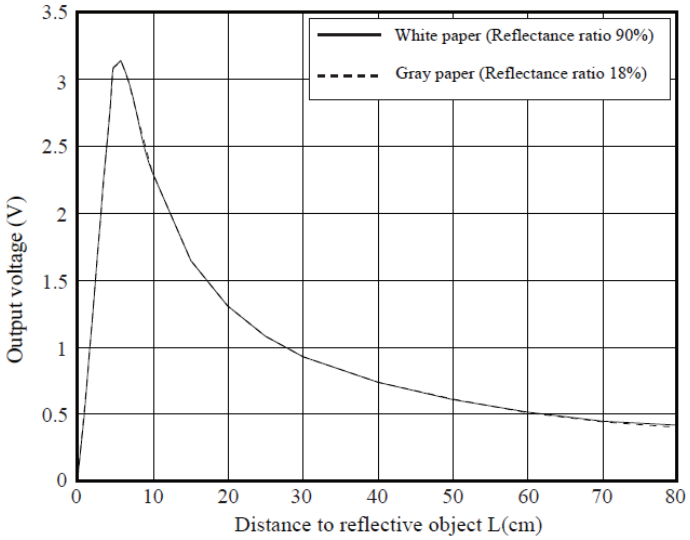


Figura 2.15 Ejemplo de la medida de distancia respecto a su salida.

El sensor es un dispositivo de reflexión por infrarrojos (tiene un infrarrojo emisor y un infrarrojo receptor) que contiene un medidor de distancia proporcional al ángulo de recepción del haz de luz que incide en el sensor receptor como se observa en la Figura 2.16, la tensión de salida varia de forma no lineal cuando se detecta el objeto, su salida de voltaje es de forma continua. Para determinar la salida se colocó el sensor a diferentes distancias y se midió el voltaje de salida, como se observa en la Tabla 2.4.

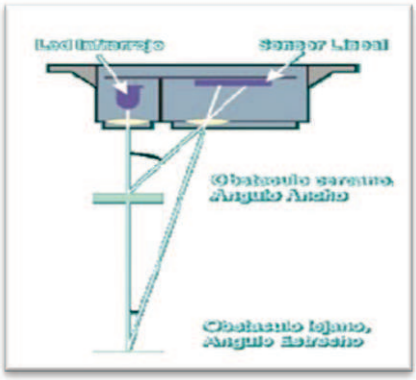


Figura 2.16 Pantalla de Control de Nivel.

Distancia en cm	Voltaje del sensor -0,4V
6	**2,78**
6,5	**2,67**
7	**2,55**
7,5	**2,38**
8	**2,26**
8,5	**2,17**
9	**2,05**
10	**1,95**
11	**1,78**
12	**1,61**
15	**1,25**
20	**0,9**
25	**0,67**
30	**0,52**
35	**0,37**
40	**0,31**
45	**0,26**
50	**0,21**
60	**0,14**
70	**0,05**
80	**0**

Tabla 2.4 Tensión vs Distancia.

El sensor tiene una exponencial decreciente desde 6 cm razón por la cual se puede determinar la ecuación como V= 0,4+ Aexp(-BD) donde 0,4 es el voltaje de offset que nos da a una distancia de 80 cm y (A, B) son los valores para los coeficientes de amplitud y de amortiguamiento. D es la distancia.

Como resultado se tiene la ecuación:

$$\boldsymbol{D = \left(\frac{1}{-0,0710}\right) \times \ln\left(\frac{V - 0,4}{4,04509}\right)}$$

Ecuación 2.1 Ecuación para obtener la distancia.

El sensor indicará el nivel para el funcionamiento del sistema; de esta manera se puede evitar iniciar el funcionamiento de la Cámara Termométrica M340, si el vaso se encuentra vacío o está en un nivel inferior al requerido para calibración.

Figura 2.17 Instalación sensor Infrarrojo.

Se instaló el sensor infrarrojo en la parte superior de la bandeja de termómetros, midiendo los 8 cm tomados desde el nivel óptimo del líquido calorimétrico al sensor, para que tenga un ángulo de incidencia de rebote directa del líquido calorimétrico entre el emisor y el receptor como se observa en la Figura 2.17.

2.3. CONEXIÓN DEL TERMÓMETRO PRT AL MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS NI 9217

El NI 9217 es un módulo para entradas analógicas PRT de 4 canales y 24 bits de resolución para medidas de PRT. El módulo puede dar 1 mA de excitación de corriente por canal y tiene menos de 1 °C de error en precisión en todo el rango de temperatura del PRT seleccionado.

Este módulo incluye certificados de calibración trazable expedidos por el NIST e incluye doble barrera de aislamiento de canal a tierra para seguridad (el hardware aislado elimina el camino entre la tierra de la fuente de señales y el dispositivo de medición, previniendo el flujo de cualquier corriente entre múltiples puntos a tierra).

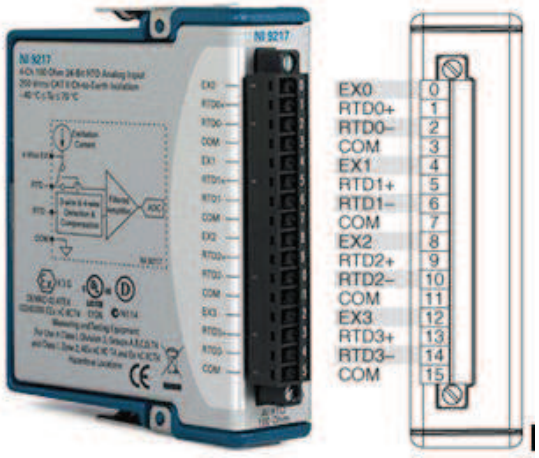
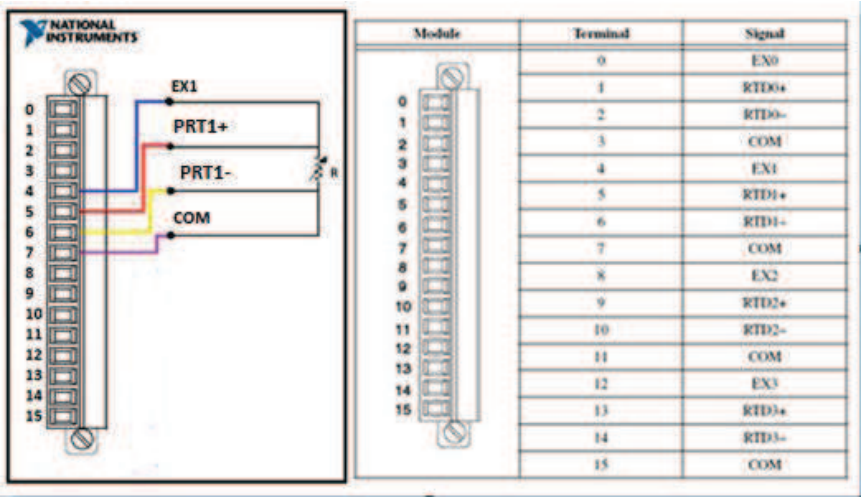


Figura 2.18 Módulo NI 9217.

Se puede conectar el PRT al módulo de dos maneras: con tres cables y cuatro cables. El módulo NI 9217 no soporta configuraciones de PRT medida a dos cables debido a que la resistencia de la terminal en los cables es alta.



Module	Terminal	Signal
	0	EX0
	1	RTD0+
	2	RTD0-
	3	COM
	4	EX1
	5	RTD1+
	6	RTD1-
	7	COM
	8	EX2
	9	RTD2+
	10	RTD2-
	11	COM
	12	EX3
	13	RTD3+
	14	RTD3-
	15	COM

Figura 2.19 Conexión del PRT a cuatro cables al módulo NI 9217.

El módulo se encuentra conectado a un PRT 5616, con la conexión a cuatro hilos como se muestra en la Figura 2.19, las direcciones que ocupa cada hilo se muestra en la Tabla 2.5.

El PRT se utiliza en el proceso como el sensor patrón y se encuentra sumergido en el vaso Dewar, el sensor se encuentra conectado en el segundo canal del módulo NI 9217.

Entradas análogas PRT	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
NI 9217	IN 04 – EX1	PRT1
	IN 05 – PRT1+	
	IN 06 – PRT1-	
	IN 07 – COM	

Tabla 2.5 Conexiones módulo NI 9217 CompactDAQ.

La relación de voltaje ante la variación de temperatura está dada por la fórmula:

$$Vo = Io \cdot R_T = Io \cdot Ro(1 + \alpha T),$$

Ecuación 2.1 Ecuación de la salida de voltaje de un PRT.

Donde la medición obtenida de voltaje no depende de la resistencia de ninguno de los cables utilizados en el montaje.

El intervalo de temperatura cubre fácilmente nuestras necesidades que van de -35 °C hasta los 60 °C, y la alta pureza del elemento de platino y durabilidad lo hacen ideal para la calibración en el laboratorio.

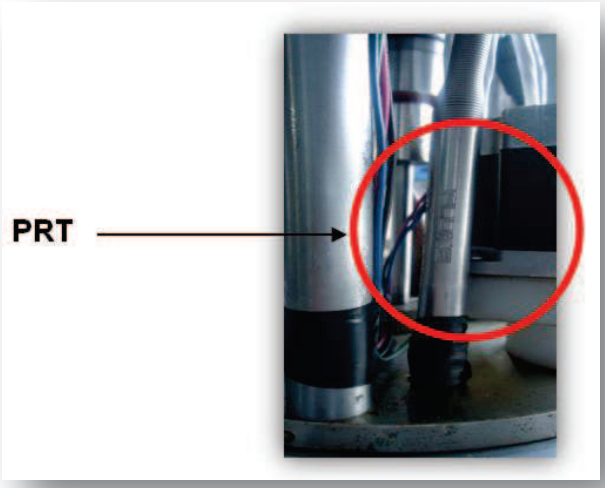


Figura 2.20 Instalación PRT.

2.4. MOTOR PARA EL SISTEMA DE AGITACIÓN [5]

El sistema de agitación tiene como objetivo mejorar la transferencia de calor razón por la cual se necesita variar la velocidad del motor dependiendo de la temperatura que se encuentre el sistema instalado.

El esquema de un agitador típico puede observarse en la Figura 2.22. El tanque de agitación es un recipiente de forma circular para evitar zonas con bajas velocidades, las esquinas se eliminan empleando un fondo circular, debido a lo anteriormente expuesto los agitadores son cilíndricos.

[5] **F**uente: TREYBAL Robert E.; Operaciones de Transferencia de Masa; McGRAW-HILL; SEGUNDA EDICION

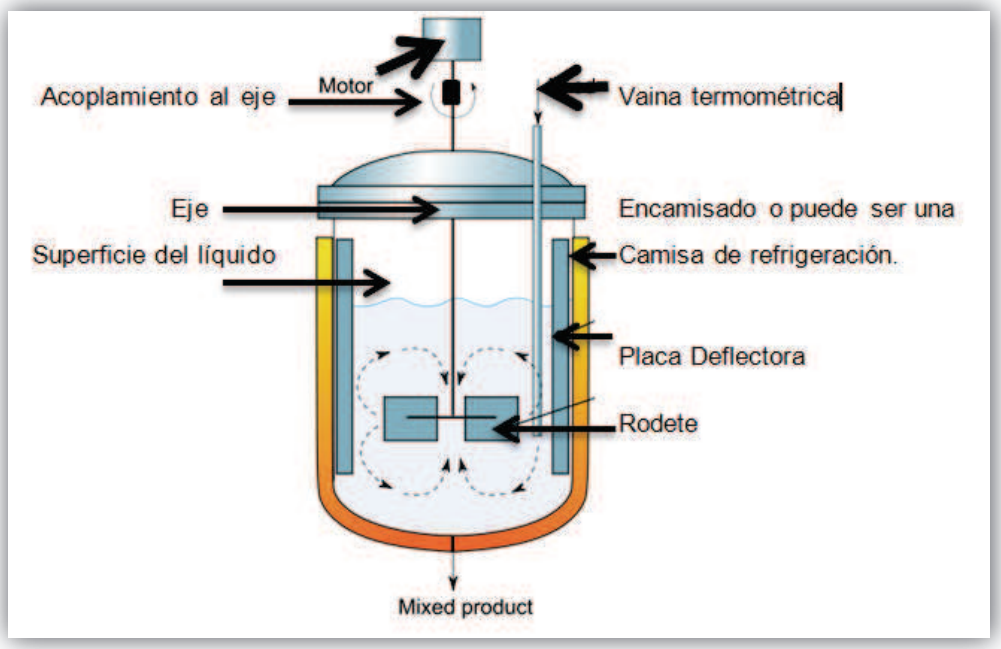


Figura 2.22 Esquema de un agitador.

El sistema de agitación tiene un agitador de hélice, de flujo axial, que funciona con velocidad elevada y se emplea para líquidos pocos viscosos.

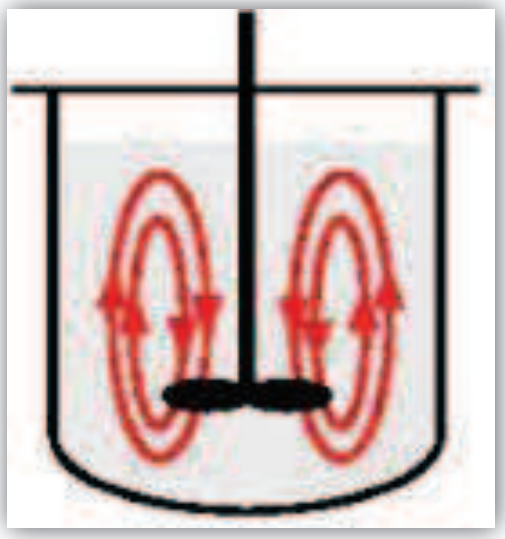


Figura 2.23 Agitador de Flujo Axial.

Figura 2.24 Agitador de hélice del sistema.

El sistema de agitador tipo hélice no tiene inversión de giro ya el flujo axial se invierte y se derramaría el líquido calorimétrico, el líquido está colocado en el vaso Dewar que es un cilindro con un fondo semiesférico lo que tiene el fin de eliminar los bordes rectos en las cuales no penetrarían las corrientes del fluido.

Para el cálculo de la potencia requerida por el motor del agitador, se usa dos números adimensionales, que son el número de Reynolds y el número de potencia (N_p= esfuerzo de frotamiento / esfuerzo de inercia), se usará como líquido calorimétrico de prueba Propilenglicol y como líquido permanente el HFE Cold Bath 7500 5023.

Las características y propiedades físicas del propilenglicol son:

- Densidad : 1,0361 g/cm3 a 20 º c
- Viscosidad : 0,581 poise a 20 º c

Aplicando la fórmula del número de Reynolds:

$$N_{RE} = \frac{N \times d_2^2 \times \rho_A}{\mu_A}$$

Ecuación 2.2 Fórmula del número de Reynolds.

Dónde:

N = velocidad de rotación del agitador [rps] = 45 [rps]

d_2 = diámetro del agitador [m] = 0,08 [m]

ρ = densidad del fluido [kg/m3] = 1036,1 [kg/m3]

μ = viscosidad [Pa·s] = 0,0581 [Pa·s]

$$N_{RE} = \frac{45 \times 0,08^2 \times 1036.1}{0,0581} = 5,1 \times 10^3$$

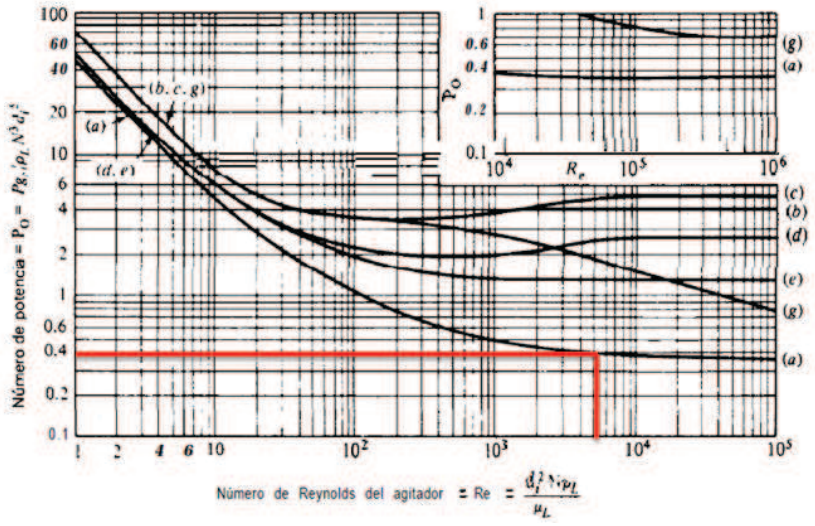


Figura 2.25 Característica de la potencia vs Reynolds con propilenglicol.[6]

En la gráfica anterior se debe aclarar que la curva (a) es del turbina tipo hélice, (b) turbina de hoja plana, (c) turbina de disco de hoja plana, (d) turbinas de hojas curvas, (e) turbinas de hojas fijas, (g) turbinas de hojas planas, sin mamparas.

El tipo de turbina que tiene el sistema de agitación es (a), turbina tipo hélice y con el valor de numero de Reynolds se encuentra el Número de potencia $N_p = 0,4$. Como se observa en la Figura 2.25.

Puede distinguirse que el Número de Reynolds calculado $N_{RE} \geq$ 4000, es Régimen turbulento (el flujo es laminar en términos de dinámica a baja velocidad, a medida que la velocidad aumenta, en algún momento se pasa de régimen

[6] Fuente: TREYBAL Robert E.; Operaciones de Transferencia de Masa; McGRAW-HILL; SEGUNDA EDICION; p. 172.

laminar a turbulento), cuando existe flujo turbulento el esfuerzo produce como resultado la formación de turbulencias de vórtice, aleatorias y transitorias, conteniendo los remolinos de gran tamaño, que se descomponen en pequeñas turbulencias. Con régimen de flujo turbulento, las fuerzas de inercia son mayores que las de viscosidad.

$$N_P = Cte$$

$$N_P = 0,4$$

El número de potencia se expresa:

$$N_P = \frac{P}{N^3 \times {d_2}^5 \times \rho}$$

Ecuación 2.3 Fórmula del Número de Potencia.

Dónde:

P = potencia requerida por el agitador [Kw]

N = velocidad de rotación [rps]

d_2 = diámetro del agitador [m]

ρ = densidad del fluido [kg/m3]

Cabe aclarar que P es la potencia requerida para el agitador tipo hélice debido a la curva (a) de la Figura 2.25 y calculado el valor N_P con el propilenglicol.

$$P = 0,4 \times 45^3 \times 0,08^5 \times 1036,1$$

$$P = 0,1237Kw$$

$$P = 0,1658HP$$

Las características y propiedades físicas del HFE 7500 5024 son:

Densidad: 1,61 g/ml a 25 º c

Viscosidad: 0,77 centistoke a 25 º c

Aplicando la fórmula del número de Reynolds:

$$N_{RE} = \frac{45 \times 0,08^2 \times 1610}{0,0012397} = 3,7 \times 10^5$$

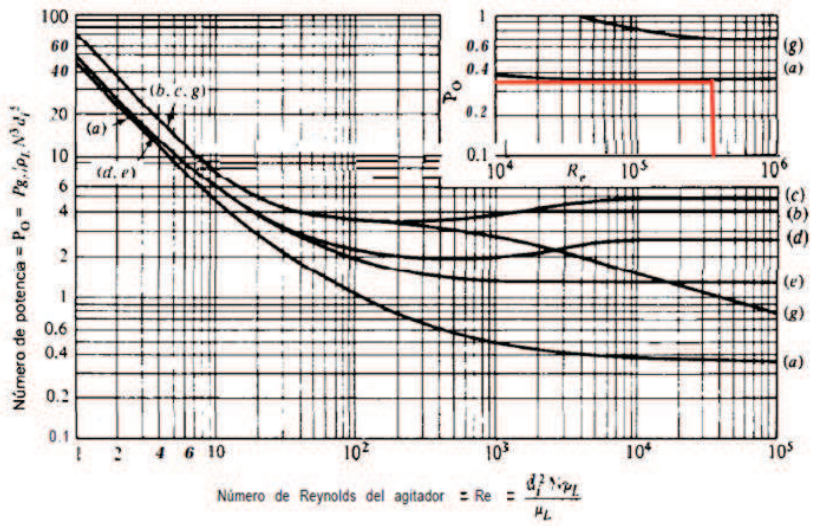


Figura 2.26 Característica de la potencia vs Reynolds con propilenglicol.[7].

$$N_P = Cte$$

$$N_P = 0,38$$

$$N_P = \frac{P}{N^3 \times {d_2}^5 \times \rho}$$

Donde P es la potencia requerida para el agitador tipo hélice y con el valor N_P obtenido con el HFE 7500 5023 por la Figura 2.26 se obtiene:

$$P = 0,38 \times 45^3 \times 0,08^5 \times 1610$$

$$P = 0,18268Kw$$

$$P = 0,2448HP$$

Con las dos potencias de diseño, se selecciona la mayor para el motor del sistema de agitación que es 0,2448 HP.

[7] Fuente: TREYBAL Robert E.; Operaciones de Transferencia de Masa; McGRAW-HILL; SEGUNDA EDICION; p. 172

Se seleccionó el motor Siemens 1LA7070-2YA60 a 2 polos, rotor jaula de ardilla de 0,75 HP y 3430 rpm, con un grado de protección IP55 lo que lo hace ideal al estar en el sistema de agitación del proceso, ya que está protegido de la penetración del polvo y contra chorros de agua provenientes de cualquier dirección que pueden provenir del sistema de bombeo del líquido calorimétrico si hay una mala unión entre los acoples de las mangueras o debido a una desconexión involuntaria. En la Tabla 2.6 se puede observar las características eléctricas del motor.

MOTOR	
Tipo	**Siemens 1LA7070-2YA60**
Potencia[HP]	**0.75**
Factor de Servicio	**1.15**
Voltaje[V]	**220**
Corriente nominal[A]	**2.4**
Eficiencia[%]	**79**
Cosϕ	**0.79**
Velocidad[rpm]	**3430**
Torque nominal [Nm]	**1.56**
Torque de arranque	**2.7**
Cste de arranque	**6**

Tabla 2.6 Características eléctricas del motor Siemens1LA7070-2YA60.

La placa de bornes del motor se conectó en estrella debido a la tensión de la red y de la tensión de los bobinados de fase. En la siguiente figura se observa cómo se conectó los bornes en estrella con una tensión de red de 220V.

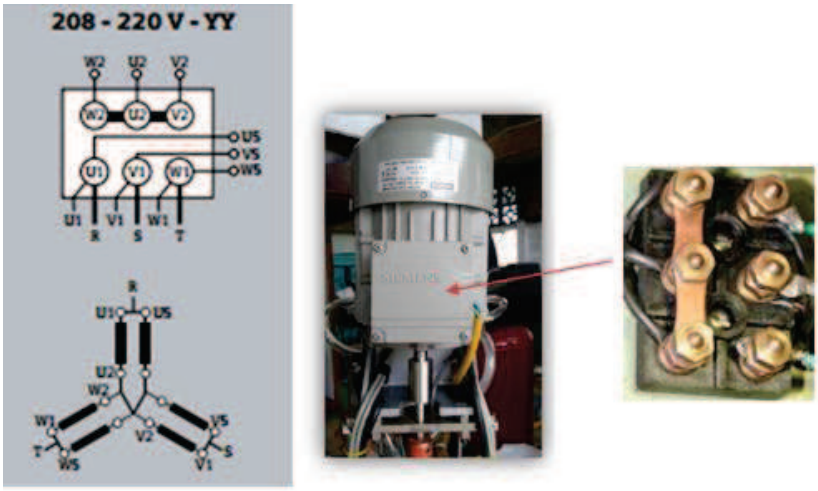


Figura 2.27 Conexión Red - Motor módulo.

2.4.1. MONTAJE DEL SISTEMA DE AGITACIÓN

El sistema de agitación está constituido por el vaso Dewar, un agitador mecánico montado en un eje y accionado por un motor eléctrico, un bocín que tiene un montaje con el acople de cruceta el cual a su vez tiene un montaje con el bocín del eje de agitación, como se puede observar en la figura 2.28.

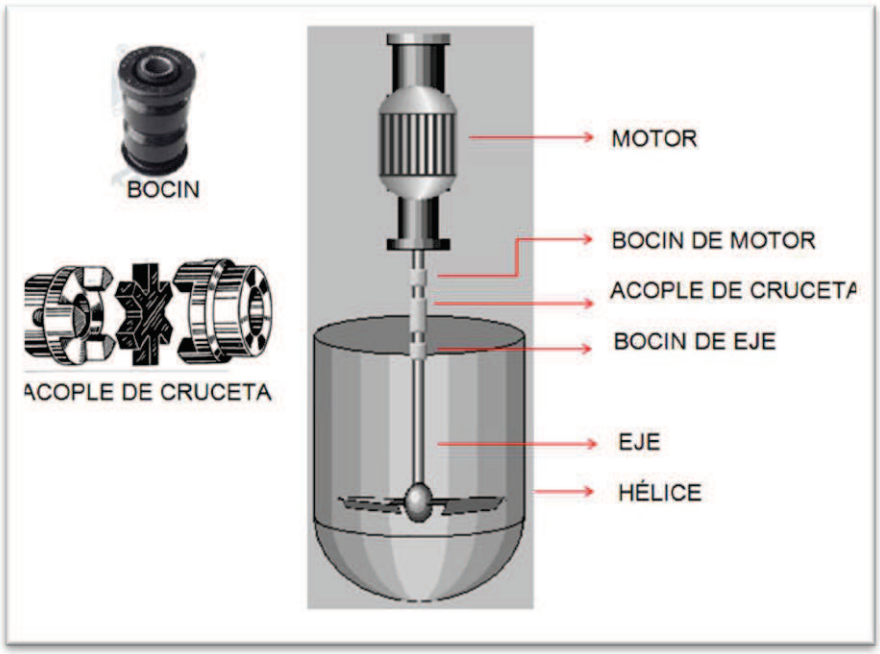


Figura 2.28 Esquema del Sistema de Agitación.

El motor está montado sobre la estructura del antiguo sistema de agitación de manera vertical, el acoplamiento tipo cruceta es elástico a torsión y están diseñados para la transmisión directa del torque con seguridad a roturas.

Las vibraciones y los golpes del funcionamiento son amortiguados por el acoplamiento elástico y compensa la desalineación axial, radial y angular del eje de agitación con el motor.

2.4.2. DIMENSIONAMIENTO DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

Para controlar la velocidad del motor en el sistema de agitación se ha seleccionado un variador de velocidad SIEMENS modelo SINAMICS G110. El dimensionamiento se ha realizado en base a la potencia del motor trifásico que se va a utilizar y a la característica que permita generar la salida trifásica de alimentación al motor utilizando como entrada la red bifásica de 220VAC.

La información del fabricante recomienda dimensionar el variador a un valor superior al 40 % de la potencia del motor.

$$\boldsymbol{P_{VARIADOR} > P_{MOTOR}}$$

$$\boldsymbol{P_{MOTOR} = 0,75HP}$$

$$\boldsymbol{P_{VARIADOR} = 1.4 P_{MOTOR}}$$

$$\boldsymbol{P_{VARIADOR} = 1.4 \times 0,75HP}$$

$$\boldsymbol{P_{VARIADOR} = 1,05HP}$$

El variador de frecuencia que se seleccionó es un Sinamics G110 de 1HP, las características eléctricas del variador Sinamics se observan en la Tabla 2.7, y su esquema de bloques en la Figura 2.29

VARIADOR DE FRECUENCIA	
Potencia nominal[HP]	1
Corriente de salida[A]	3.9
Corriente de entrada[A]	10
Voltaje de red[V]	200 a 240 (±10%)
Cable de entrada[AWG]	12
Cable de salida[AWG]	12

Tabla 2.7 Características eléctricas del variador de frecuencia G110.

Mediante el variador de velocidad se logra limitar la corriente de arranque a valores de hasta dos veces la corriente nominal, mientras se obtiene un torque de arranque adecuado para cualquier aplicación.

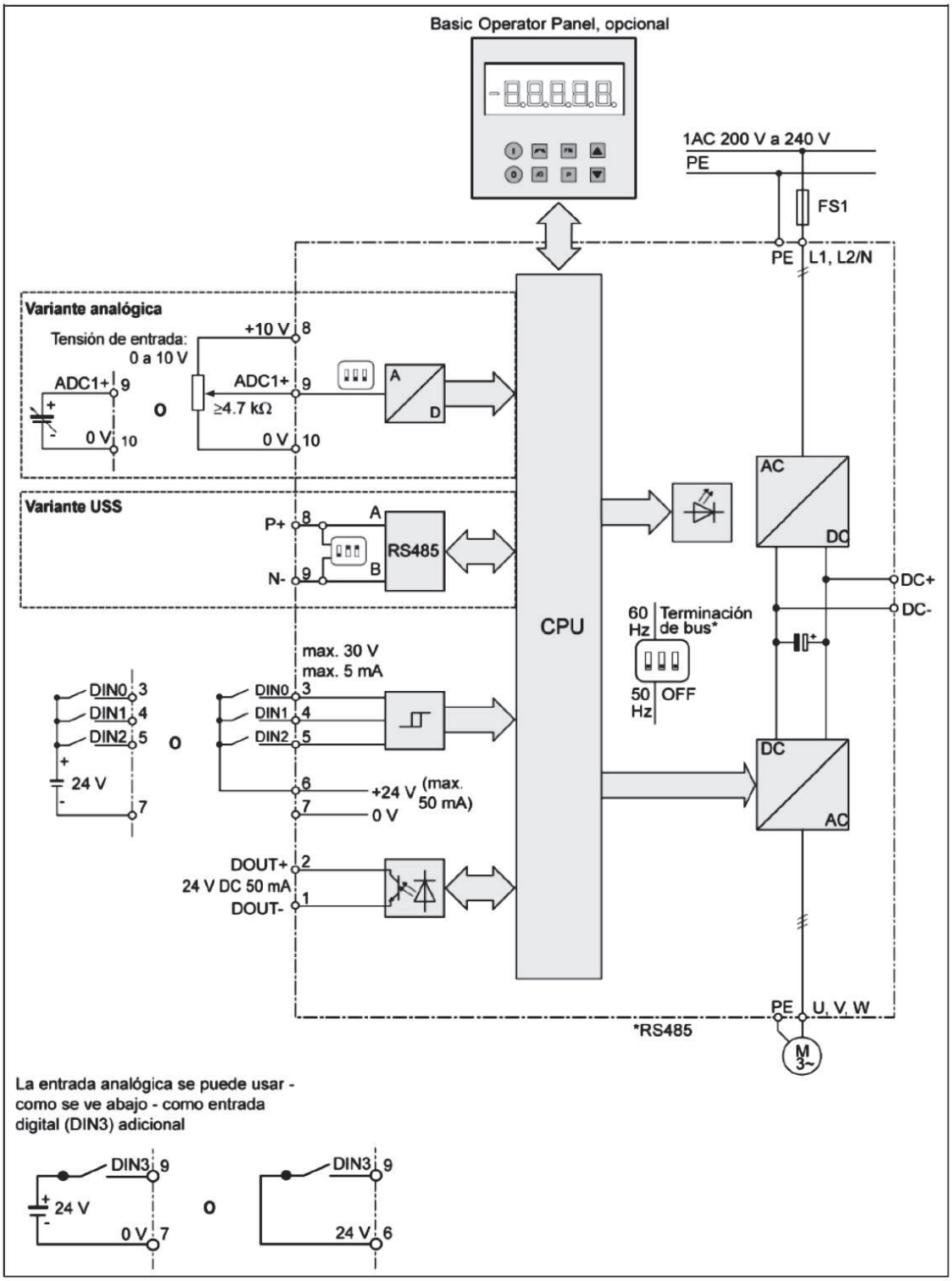


Figura 2. 29 Esquema de bloques del variador G110.

Este variador cuenta con regleta de borneras de entrada y salida, los bornes del variador están distribuidos como se observa en la Figura 2.30.

Borne	Significado	Funciones	
1	DOUT-	Salida digital (-)	
2	DOUT+	Salida digital (+)	
3	DIN0	Entrada digital 0	
4	DIN1	Entrada digital 1	
5	DIN2	Entrada digital 2	
6	-	Salida +24 V / máx. 50 mA	
7	-	Salida 0 V	
	Variante	**Analógica**	**USS**
8	-	Salida +10 V	RS485 P+
9	ADC1	Entrada analógica	RS485 N-
10	-	Salida 0 V	

Figura 2. 30 Bornes del variador G110.

El variador cuenta con un display desmontabe BOP (Basic Operator Panel) mostrado en la Figura 2.31, desde el cual se puede configurar los parámetros básicos dependiendo de la aplicación a desarrollar e ingresar parámetros del motor.

Figura 2. 31 Basic Operator Panel.

La puesta en servicio permite adaptar el SINAMICS G110 a las diferentes aplicaciones específicas, existe dos variantes para la puesta en servicio:

- **Variante analógica:** Se utiliza en aplicaciones con un solo variador, las órdenes y consignas se dan con un interruptor externo y un potenciómetro, utilizando las entradas digitales y la entrada analógica del SINAMICS G110 que se encuentra en las borneras.
- **Variante USS:** Se utiliza en aplicaciones con varios variadores comunicados. Las órdenes y consignas se dan usando la interface RS 485 con protocolo USS, se puede operar varios SINAMICS G110 en el mismo bus.

La puesta en servicio del variador se lo realizó en variante analógica. La conexión de variante analógica con la asignación de bornes se puede observar en la Figura 2.32.

Entrada / Salida	Bornes	Parámetro	Ajuste por defecto	Activo
Fuente de órdenes	3, 4, 5	P0700 = 2	Entrada digital	Sí
Fuente de consignas	9	P1000 = 2	Entrada analógica	Sí
Entrada digital 0	3	P0701 = 1	ON / OFF1 (I/O)	Sí
Entrada digital 1	4	P0702 = 12	Inversión (↶↷)	Sí
Entrada digital 2	5	P0703 = 9	Acuse de fallo (Ack)	Sí

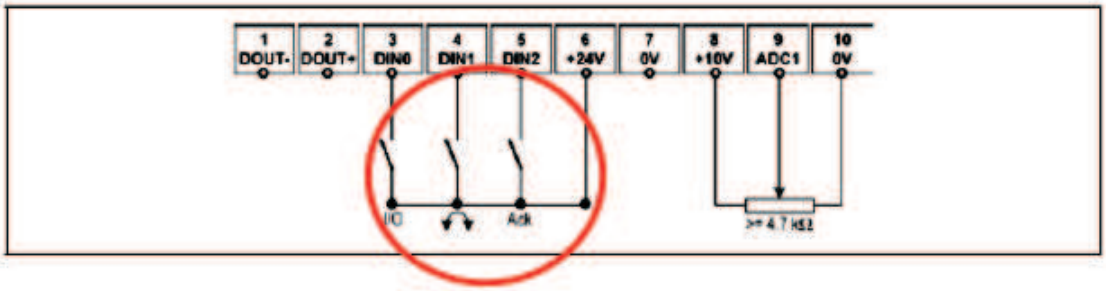


Figura 2. 32 Conexiones de la variante analógica.

El encendido y apagado del variador ON/OFF (I/O) se encuentra en el borne externo 3 (DIN0) y es manejado desde el módulo NI9481 (módulo de relés) dirección OUT 03 de la CompactDAQ. En el sistema de agitación de hélice no hay inversión de giro por lo tanto el borne externo 4 (DIN1) no se conecta, tampoco se conecta el Acuse de falla. La forma de conexión realizada se muestra en la Figura 2.33.

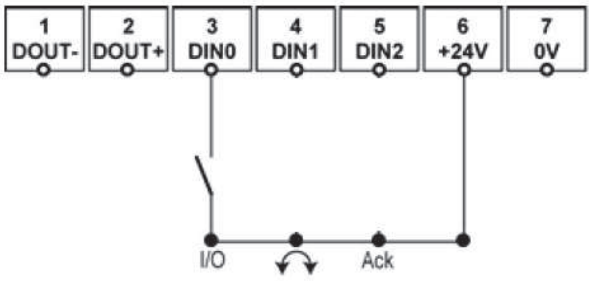


Figura 2. 33 Conexiones de encendido y apagado del variador.

El control de velocidad del motor se lleva la imparte a través de las entradas analógicas, las cuales permiten regular la frecuencia y por tanto la velocidad del motor. Las entradas analógicas del variador se encuentra en los bornes externos 8 (+10V), 9 (ADC1) y 10 (0V).

Existen dos formas de conectarlo, como se muestra en la Figura 2.34, la primera es utilizando una fuente variable (0-10V) externa al variador de frecuencia y la segunda es utilizando un potenciómetro y la fuente interna (10V) del variador de frecuencia, se utilizó la primera conexión.

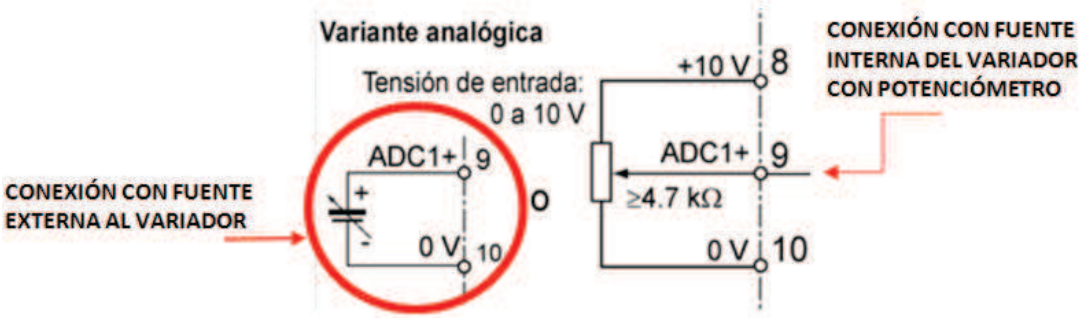


Figura 2. 34 Conexiones de control de velocidad.

Para manejar el control de velocidad se utiliza el módulo NI 9263 (módulo de salida análoga de voltaje) dirección OA-00 de la compactDAQ, con lo que se varia la velocidad del motor con un voltaje variable de 0 a 10V.

La instalación del variador se puede observa en la Figura 2.35.

Figura 2. 35 Conexión de bornes del variador G110.

2.4.3. DIMENSIONAMIENTO DEL GUARDA-MOTOR [8]

Para la protección del sistema se instaló un guarda-motor que es un disyuntor magneto-térmico, con una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobre corrientes transitorias típicas de los arranques de los motores. El guardamotor dentro de ciertos límites reemplaza al conjunto contactor – térmico – fusible.

Para el diseño de la protección contra sobrecarga se debe considerar:

- La corriente nominal del motor, la corriente de arranque.
- Las curvas características de intensidad – tiempo.
- Tamaño del contactor.

La norma IEC 947-4-4-1 tiene tres tipos de disparo:

- Relés de clase 10: Para motores pequeños, cuyo tiempo de disparo es extremadamente corto.
- Relés de clase 20: Para motores de uso general clasificados por NEMA.

[8] Parámetros adquiridos de la norma IEC 947-4-4-1

- Relés de clase 30: Para motores con tiempo de aceleración de más de 10 segundos con altas cargas de inercia. Para arranques con un máximo de 30 segundos de duración.

La característica de disparo es igual a la del relé térmico, la clase de disparo del guardamotor es clase 20, como se puede observar en la Tabla 2.8 el tiempo de disparo del relé térmico se encuentra entre 6 a 20 segundos.

Clase de disparo	Tiempo de disparo tp (s)
10 A	$2 < tp \leq 10$
10	$4 < tp \leq 10$
20	$6 < tp \leq 20$
30	$9 < tp \leq 30$

Tabla 2.8 Clase de disparo de los relés térmicos.

Tomando en cuenta los datos nominales del motor seleccionado:

Inominal = 2,40 A

Constante de arranque = **Iarranque/Inominal**

Constante de arranque = 6

Iarranque = 6x2,40 A

Iarranque = 14,4 A

Tomando en cuenta que la corriente de arranque aproximadamente es de 4 a 6 veces la corriente nominal, se tiene un rango de corriente de arranque que va de 9,6 Amperios a 14,4 Amperios. Analizando la curva de la Figura 2.36, el tiempo de disparo es de 8 a 10 segundos aproximadamente.

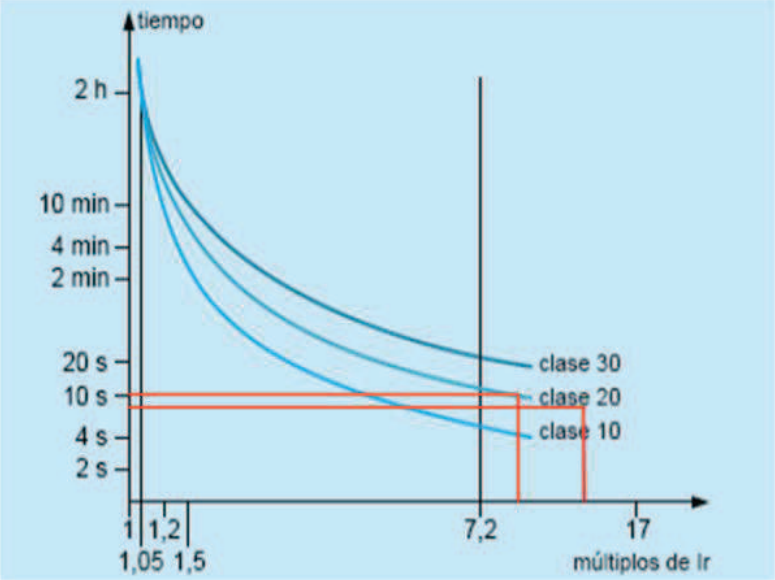


Figura 2.36 Curva característica intensidad – tiempo.

Para dimensionar la corriente, los fabricantes recomiendan un ajuste de ± 25% de la corriente nominal del motor.

A.C = Ajuste de corriente

$$\boldsymbol{A.C = In \pm 0,25In}$$

$$\boldsymbol{A.C = 2,4 \pm 0,25x\ 2,4 = 2,4 \pm 0,6}$$

A.C (A)	Clase de Disparo
1,8 – 3	**20**

Tabla 2. 9 Dimensionamiento de guardamotor.

El guardamotor que se instaló tiene un rango de 1 a 5 amperios con una clase de disparo 20 que cumple con el dimensionamiento respectivo, la forma de conexión del conjunto guardamotor –variador–motor, se encuentra en la Figura 2.37.

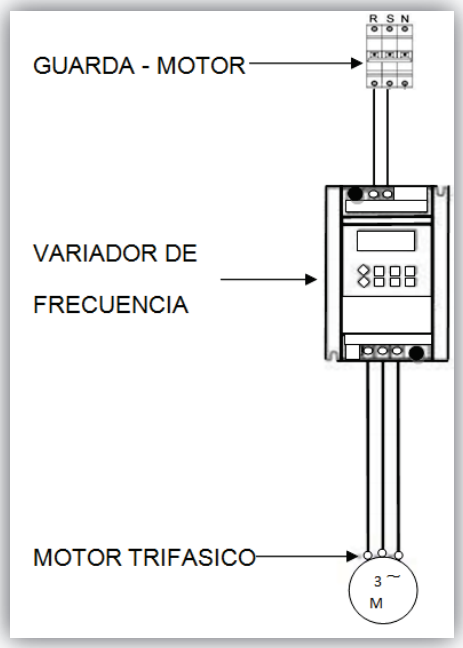


Figura 2.37 Esquema del circuito de fuerza.

2.5. CONEXIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD AL MÓDULO DE SALIDA ANALÓGICA NI 9263

El NI 9263 es un módulo de salida analógica de actualización simultánea de 4 canales con protección de sobrevoltaje de ±30 V y protección de corto circuito.

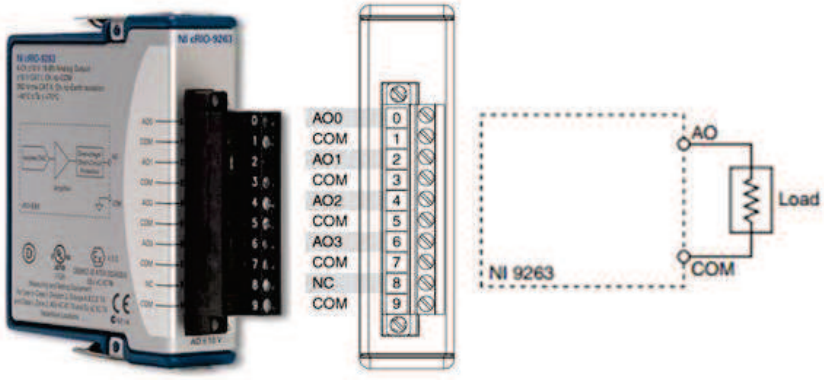


Figura 2. 38 Conexión del módulo NI 9263.

Todos los terminales COM están conectados internamente a la referencia de tierra aislada del módulo. Para conectar se lleva el positivo de la carga a la terminal de AO, y la tierra de la carga al terminal COM correspondiente como se

muestra en la Figura 2.38, la dirección que ocupa para ser configurada la salida analógica al módulo se muestra en la Tabla 2.10.

Salidas análogas	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
NI 9263	**OA-00**	**Control de velocidad Variador**

Tabla 2.10 Conexiones módulo NI 9263 CompactDAQ.

2.6. CONEXIÓN DEL MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES TIPO RELÉS NI 9481

El NI 9481 es un módulo de salida digital tipo relé con 4 canales de un solo polo, cada canal proporciona acceso a un relé electromecánico para conectar señales de hasta 30 VDC (2 A), 60 VDC (1 A), 250 VAC (2 A). Cada canal también tiene un LED que indica el estado de cada canal, la conexión es de tipo tornillo.

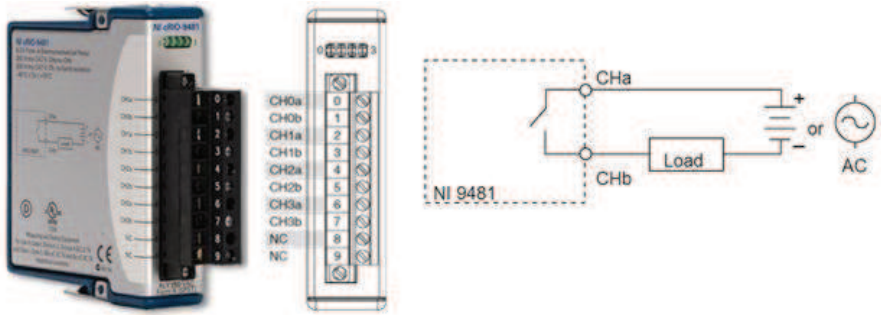


Figura 2. 39 Conexión del módulo NI 9481.

En el módulo se encuentran conectados el sistema de encendido de refrigeración, el sistema de calentador y variador de frecuencia que se encuentra conectado al motor del sistema de agitación.

Salidas tipo relé	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
NI 9481	**OUT 00**	**Válvula solenoide**
	OUT 01	**Refrigeración**
	OUT 02	**Calentador**
	OUT 03	**Variador**

Tabla 2.11 Conexiones módulo NI 9481 CompactDAQ.

2.6.1. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

La refrigeración se puede definir como la extracción de calor de una sustancia produciendo en ella una temperatura inferior a la de sus alrededores. El enfriamiento se efectúa por la evaporación del líquido refrigerante en un intercambiador de calor. La sustancia usada en sistemas de refrigeración por compresión se denomina refrigerante.

El sistema anterior constaba de una unidad compresora antigua de 1/3 de HP, motivo por el cual se remplazó este sistema por uno similar de ½ HP debido a la gran disponibilidad de compresores en el mercado con esta potencia.

Figura 2. 40 Sistema de refrigeración nuevo instalado.

El compresor instalado es de la marca ASPERA de ½ Hp a 110V AC e incluye el ventilador, evaporador y una válvula solenoide. Para encender o apagar el sistema de refrigeración se necesita la señal del módulo NI 9481 (salida tipo relé), con la dirección OUT-O1 de la CompactDAQ.

Se decidió instalar el refrigerante 404A que es un compuesto inocuo para la capa de ozono desarrollado para ser una alternativa a largo plazo a los refrigerantes R-12 en aplicaciones de refrigeración comercial de temperatura media y baja.

2.5.2 CALENTADOR (RESISTENCIA ELÉCTRICA)

Un calentador de inmersión es una resistencia que se inserta en un contenedor de líquidos, diseñado para el calentamiento en contacto directo con el fluido: agua, aceite, materiales viscosos, disoluciones ácidas o básicas, etc. Conforme se entrega energía al calentador de inmersión, la energía deja la superficie de la resistencia y va al líquido. La instalación de este instrumento ayudará a elevar la temperatura en el líquido calorimétrico cuando el usuario lo requiera.

Para encender o apagar el calentador se encuentra conectado al módulo NI 9481 (salida tipo relé), con la dirección OUT-O2 de la CompactDAQ.

Para el cálculo de la potencia del calentador de agua se utilizó la siguiente fórmula.

$$\boldsymbol{Q = m \times Ce \times (Tf - Ti)}$$

Ecuación 2.5 Calor recibido o cedido por un cuerpo.

- **m** es la masa (para nuestro caso $\boldsymbol{m = \partial \times V}$)
- **Ce** es el calor específico,
- **Ti** es la temperatura inicial
- **Tf** la temperatura final. Por lo tanto **Tf – Ti = ΔT** (variación de temperatura).

Dónde la densidad del líquido calorimétrico HFE 7500 5023 es:

$$\boldsymbol{\partial = 1.61\ kg/L}$$

El calor especifico del líquido calorimétrico HFE 7500 5023 es:

Ce = 1463 J/kg°C

Datos obtenidos de las especificaciones del HFE 7500 5023.

Se asumió que se calentará desde la temperatura ambiente al valor máximo entonces Tf = 60 °C y Ti = 20 °C, la cantidad de líquido calorimétrico es 20 litros.

Remplazando valores se tiene:

$$Q = 1.61\frac{kg}{L} \times 20L \times 1463\frac{J}{Kg°C} \times (60°C - 20°C)$$

$$Q = 1884344\,J$$

Una vez calculada la cantidad de calor entregada se dividió este valor para el tiempo en el que desea calentar el líquido que es de 30 minutos y se obtiene la potencia.

$$P = 1884344\,J/1800$$

P = 1046.857 w

La resistencia eléctrica fue diseñada exclusivamente para el proceso con las siguientes características:

- Su longitud no podía superar los 37cm ya que existía la posibilidad de topar al agitador por lo cual su longitud de diseño es de 35cm.
- La instalación no sumergía totalmente a la resistencia por lo cual se fabricó una zona frio a 10 cm desde los cables de conexión.
- La potencia máxima de fabricación es de 1kw a 110V.

La instalación se realizó en el plato que sirve de soporte para la bandeja de termómetros como se observa en la Figura 2.41.

Figura 2. 41 Instalación de la resistencia eléctrica.

Salidas tipo relé	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
NI 9481	**OUT 02**	**Calentador**

Tabla 2.12 Conexión módulo NI 9481 CompactDAQ.

2.7. CONEXIÓN DEL MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES NI 9472

El NI 9472 es un módulo de salida digital (DO) de 8 canales, compatible con señales de 6 a 30V.

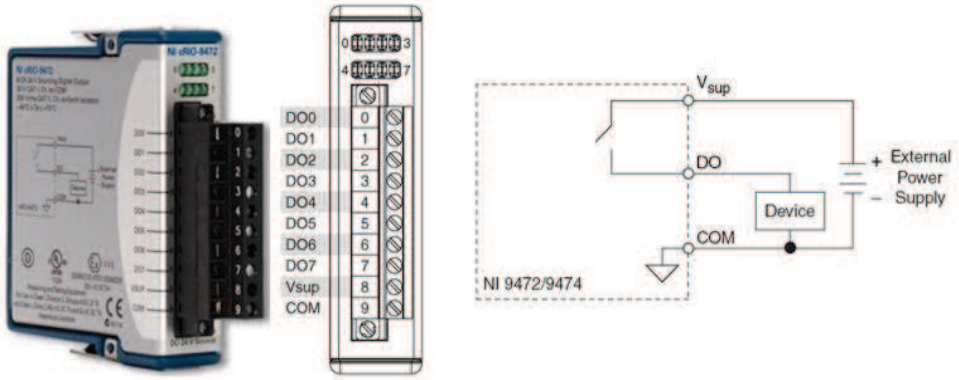


Figura 2.42 Módulo NI 9472.

En el módulo se encuentran conectados: el driver del motor a pasos (el cual gira la bandeja de termómetros), un driver que maneja la bomba de carga-descarga, una bomba para el filtrado del líquido calorimétrico y la iluminación del visor de termómetros.

Salidas digitales	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
NI 9472	OUT 00	motor pasos
	OUT 01	motor pasos
	OUT 02	motor pasos
	OUT 03	motor pasos
	OUT 04	descarga liquido (bomba 1)
	OUT 05	Carga líquido (bomba 1)
	OUT 06	Filtrado (bomba 2)
	OUT 07	Luces LED

Tabla 2.13 Conexiones módulo NI 9472 CompactDAQ.

2.7.1. MOTOR PASO A PASO

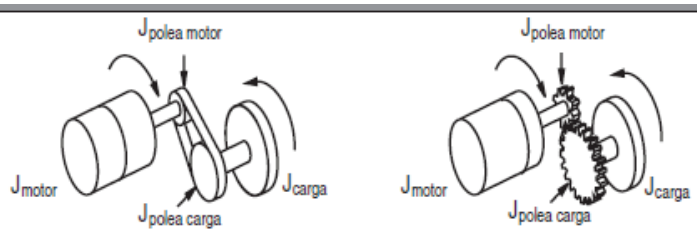
El motor a pasos se usa para mover la bandeja de termómetros y ubicar cada termómetro en el visor. Para determinar el torque requerido para mover la bandeja de termómetros se debe considerar el peso de cada termómetro el cual es 113 gramos y en la bandeja hay 23 localidades para termómetros más el peso de la bandeja y más el peso del conjunto corona-piñón fabricado para girar la bandeja de termómetros da un total de 3,5 Kg.

Figura 2. 43 Corona con cremallera para giro de bandeja de los termómetros.

Los datos que se tienen para dimensionar el motor a pasos son:

- Peso de la corona y de la bandeja con 23 termómetros = 3,5[Kg]
- Fuerza externa = 0 [Kg]
- Diámetro de la corona= 220 mm o 0,22 [metro]
- Grueso del piñón = 20 mm o 0,02 [metro]
- Material del piñón = acero
- Material de corona = aluminio
- Reducción de velocidad = 1:1
- Tiempo de movimiento = 120,0 [segundos]
- Inercia del piñón-motor = estimada en cero (caso ideal).
- Tiempo de aceleración y desaceleración: 0,15 segundos.
- Coeficiente de fricción de superficies que se deslizamiento = 0,78

Las fórmulas utilizadas para dimensionar el motor paso a paso con engranajes están en la Figura 2.44.



Descripción:	Fórmulas:
RPM del motor	$n_{motor} = n_{carga} * i$
Torque requerido para acelerar y desacelerar la carga	$T_{acel}[N\text{-}m] = J_{total}[Kg\text{-}m^2] * (\Delta_{velocidad}[RPM] \div \Delta_{tiempo}[s]) * 2 * \pi \div 60$
Inercia de la carga	$J_{total}\ [Kg\text{-}m^2] = J_{motor} + J_{poleamotor} + ((J_{poleacarga} + J_{carga}) \div i^2)$
Torque motor	$T_{motor} * i = T_{carga[N\text{-}m]}$

Definiciones
d_{carga} =desplazamiento o distancia que se mueve la carga por rotación del eje del motor (P = paso = $1/d_{carga}$)
D_{total} = distancia total del movimiento
θ_{Paso} = resolución del paso (pasos/rev_{motor})
i = relación de reducción del reductor ($rev_{motor}/rev_{reductor}$)
T_{acel} = torque necesario para acelerar y desacelerar la inercia total del sistema (incluye la inercia del motor)
T_{resist} = torque necesario para mover el mecanismo por las resistencias de fricción, fuerzas externas, etc.
t_{total} = tiempo de movimiento

Figura 2. 44 Fórmulas de reductores con engranajes.[9]

Para determinar el torque es necesario calcular la inercia para mover la carga, se usa la siguiente fórmula:

$$J_{total} = J_{motor} + J_{piñon-motor} + ((J_{piñon-carga} + J_{carga}) \div i^2)$$

Ecuación 2.6 Ecuación para el cálculo de la inercia total.

La inercia del motor es cero debido a que se está dimensionando el motor y esta característica depende del motor que se seleccione.

[9] Fuente: Automationdirect.com.; MANUAL Sistema de motores paso a paso; SURESTEP; SEGUNDA EDICIÓN; p. A-9

El grueso del piñón $\boldsymbol{L = 0,02\ m}$, el piñón esta hecho de acero y su densidad es $\boldsymbol{\rho}$ = *7700* Kg/m3, el radio del piñón es $\boldsymbol{r}$ = 5mm, razón de reducción de engranaje i =1:

$$\boldsymbol{J_{piñón-carga} \approx \pi \times L \times \rho \times r^4}$$

Ecuación 2.7 Ecuación de la inercia piñon-carga.

$$\boldsymbol{J_{piñón-carga} \approx \pi \times 0,02[m] \times 7700[Kg/m^3] \times 0,000000000625[m^4]}$$

$$\boldsymbol{J_{piñón-carga} \approx 3,025\ e-7[kg-m^2]}$$

La inercia de la carga:

$$\boldsymbol{J_W = Peso \times r^2}$$

Ecuación 2.8 Ecuación de la inercia de la carga.

$$\boldsymbol{J_W = 3,5[Kg] \times 0,000025[m^2]}$$

$$\boldsymbol{J_W = 0,0000875[Kg-m^2]}$$

La inercia total reflejada al motor es:

$$\boldsymbol{J_{total} \approx ((J_{piñon-carga} + J_w) \div i^2)}$$

$$\boldsymbol{J_{total} \approx ((3,025e-7+0,0000875\ ) \div 1^2)}$$

$$\boldsymbol{J_{total} \approx 8,78e-5[Kg-m^2]}$$

El número total de pulsos para hacer un giro de 360º del conjunto piñón-corona es 2645 pulsos, que se obtuvo de forma experimental con un motor paso a paso de incremento angular 1.8°.

$$\boldsymbol{P_{total} = 2645}$$

La resolución del paso se calcula:

$$\boldsymbol{\theta_{paso} = (d_{carga} \div i) \div L_\theta}$$

$$\boldsymbol{\theta_{paso} = (360^0 \div 1) \div 1,8^0}$$

$$\boldsymbol{\theta_{paso} = 200\ \frac{pasos}{rev}}$$

Para la frecuencia máxima se aplica la siguiente formula:

$$\boldsymbol{f_{max} = (P_{total} - (f_o * t_{acel})) \div (t_{total} - t_{acel})}$$

Ecuación 2.9 Ecuación para el cálculo de la frecuencia máxima del motor paso a paso.

La frecuencia es constante en la bandeja de termómetros y parte del reposo por lo tanto la frecuencia inicial es cero, el tiempo de aceleración es 0,15 segundos.

$$\boldsymbol{f_{max} = (2645) \div (120 - 0,15)}$$

$$\boldsymbol{f_{max} = 22,069Hz}$$

$$\boldsymbol{\Delta_{velocidad} \approx 22,069Hz * \left(60\frac{segundo}{minuto}\right) \div 200\frac{pulsos}{rev}}$$

$$\boldsymbol{\Delta_{velocidad} \approx 6,6207\ RPM}$$

Para calcular el torque necesario para acelerar la inercia, se aplica la fórmula:

$$\boldsymbol{T_{acel}[N-m] \approx J_{total}[Kg-m^2] \times (\Delta_{velocidad}[RPM] \div \Delta_{tiempo-acele}[s]) \times 2\pi \div 60}$$

Ecuación 2.10 Ecuación para el cálculo del torque de aceleración.

$$\boldsymbol{T_{acel}[N-m] \approx 8,78e-5[Kg-m^2] \times (6,6207RPM \div 0,15seg) \times 2\pi \div 60}$$

$$\boldsymbol{T_{acel}[N-m] \approx 0,0004058\ [N-m]}$$

Para calcular el torque de resistencia durante el movimiento, se toma en cuenta que no hay fuerza externa que afecte al sistema, la fuerza de fricción se encuentra presente en el sistema y es igual a $\boldsymbol{F_{FRICCIÓN} = \mu \times mg}$, la distancia de contacto es aproximadamente D ≈ 0,032 m

$$T_{resistencia} = (F_{total} \times D) \div i^2$$

Ecuación 2.11 Ecuación para el cálculo del torque de resistencia.

$$F_{total} = F_{ext} + F_{FRICCIÓN}$$

$$F_{total} = 0 + \mu \times m \times g$$

$$F_{total} = 0,78 \times 3,5[Kg] \times 9,81[\mathrm{N/kg}]$$

$$F_{total} = 26,78[N]$$

$$T_{resist} = 26,78[N] \times 0,032[m]$$

$$T_{resist} = 0,84[N-m]$$

$$T_{MOTOR} = T_{acel} + T_{resist}$$

Ecuación 2.11 Ecuación para el cálculo del torque del motor.

$$T_{MOTOR} = 0,0004058[N-m] + 0,84[N-m]$$

$$T_{MOTOR} = 0,84[N-m]$$

Sin embargo, este es el torque requerido antes de que se haya escogido un motor y no se ha incluido la inercia del motor. El motor paso a paso de imán permanente en conexión bipolar Vexta PK266-02A se seleccionó, ya que cumple con lo requerido.

Especificaciones Técnicas:

- NEMA 23.
- Modelo: PK266-02A.
- Incremento angular: 1,8 ° (200 pasos / vuelta).
- Voltaje: 3.6VDC unipolar / 5VDC bipolar-series.

- Corriente: 2.0A unipolar / 1.4A bipolar-series.
- Resistencia/fase: 1,8Ω (ohm/fase) unipolar / 3,6Ω (ohm/fase) bipolar.
- Torque: 127 oz-in (0,9 Nm) unipolar / 166 oz-in (1,17 N-m) bipolar-serie.
- Inductancia: 2.5mH unipolar / 10mH bipolar-series.
- Conductores: 6 cables.
- Inercia de rotor: 1,64 oz-in2 /3 g-cm2.

La inercia del motor que se selecciono es 0,0000003 kg-m2, con la inercia del motor se calcula el valor real del torque del motor.

$$\boldsymbol{T_{acel}[N-m] \approx J_{total}[Kg-m^2] \times (\Delta_{velocidad}[RPM] \div \Delta_{tiempo-acele}[s]) \times 2\pi \div 60}$$

$$\boldsymbol{T_{acel}[N-m] \approx (3e-7+8,78e-5[Kg-m^2]) \times (6,6207RPM \div 0,15seg) \times 2\pi \div 60}$$

$$\boldsymbol{T_{acel}[N-m] \approx 0,000707[N-m]}$$

$$\boldsymbol{T_{MOTOR} = T_{acel} + T_{resist}}$$

$$\boldsymbol{T_{MOTOR} = 0,000407[N-m] + 0,84[N-m]}$$

$$\boldsymbol{T_{MOTOR} = 0,84[N-m]}$$

De acuerdo con las características de torque y velocidad de avance, el motor paso a paso de imán permanente en conexión bipolar Vexta PK266-02A tiene un torque de 1,17N-m que satisface las necesidades del torque del motor.

2.7.2. MANEJO DEL MOTOR PASO A PASO BIPOLAR

Los motores paso a paso conexión bipolar necesita la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada para moverse.

Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida.

Esta secuencia de activación (Tabla 2.14.) garantiza el máximo torque del motor.

PASO	TERMINALES			
	A	**B**	**C**	**D**
1	**+V**	**-V**	**+V**	**-V**
2	**+V**	**-V**	**-V**	**+V**
3	**-V**	**+V**	**-V**	**+V**
4	**-V**	**+V**	**+V**	**-V**

Tabla 2.14 Secuencia para manejar motores paso a paso bipolares.

Para controlar el motor se utiliza el módulo L298N que se encuentra conectado desde OUT 00 a OUT 03 del módulo NI 9472. Tiene un puente completo dual (2 puentes H completos) que sirven para alimentar las bobinas con una corriente máxima de 2A a sus salidas acorde a las especificaciones del motor a pasos bipolar.

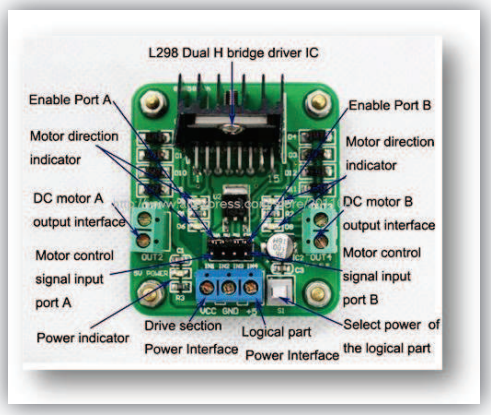


Figura 2. 45 Módulo L298N para motores paso a paso.

El driver posee una entrada de alimentación adicional a nivel lógico TTL y maneja cargas inductivas. Tiene dos entradas de habilitación para activar o desactivar el al driver de forma independientemente de las señales de entrada.

Para la habilitación de las bobinas A-B-C-D se envía un uno lógico a EA-EB. Las salidas de las bobinas A-B son IA-0A y las salidas de las bobinas C-D son IB-OB, los valores que tienen que ser enviados para que el motor se encuentre en avance o retroceso se observa en la Tabla 2.15.

EA = 1 IA = 1 0A = 0	Giro en avance Bobinas A-B	EB = 1 IB = 1 0B = 0	Giro en avance Bobinas C-D
EA = 1 IA = 0 0A = 1	Giro en retroceso Bobinas A-B	**EB = 1** **IB = 0 0B = 1**	Giro en retroceso Bobinas C-D
EA = 0	Están paradas Bobinas A-B	**EB= 0**	Están paradas Bobinas C - D

Tabla 2.15 Habilitación del módulo L298N para control de inversión de giro.

2.7.3. MONTAJE DEL MOTOR PASO A PASO

Para el funcionamiento automático se le adaptó un piñón, como se observa en la Figura 2.46. Este piñón interacciona con una corona con cremallera interna en forma de anillo que rodea toda la bandeja de termómetros permitiendo el movimiento de 360° para la ubicación de cada termómetro.

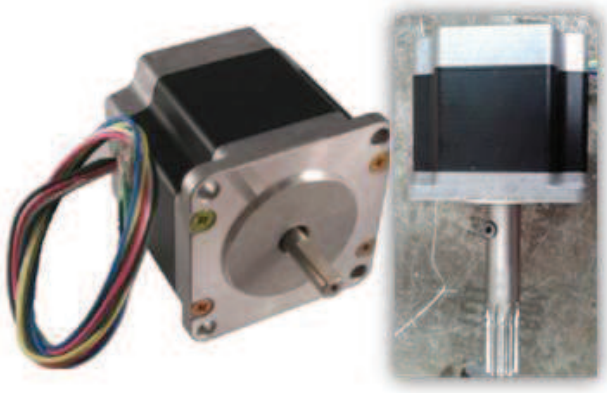


Figura 2.46 Montaje del piñón al motor paso a paso.

Mediante pruebas se determinó el número de pasos que debe realizar el motor, para pasar de un termómetro a otro, el cual es de 115 pasos dando como total 2645 pasos en una vuelta de la corona de 360°.

El montaje en conjunto corona y piñón de la bandeja de termómetros se la puede observar en la Figura 2.47.

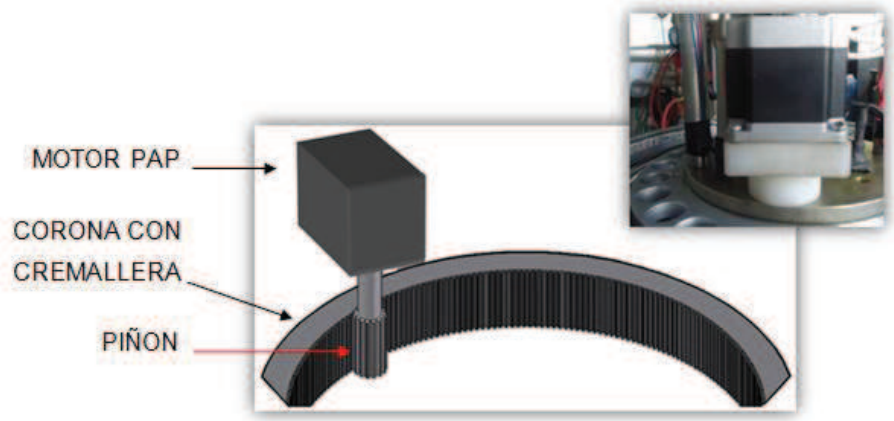


Figura 2.47 Montaje corona-piñón de la bandeja de termómetros.

Salidas digitales	DIRECCIÓN	L289N	MOTOR
NI 9472	OUT 00	**IA**	motor pasos (Cable negro)
	OUT 01	**0A**	motor pasos (Cable verd
	OUT 02	**IB**	motor pasos (Cable rojo
	OUT 03	**0B**	motor pasos (Cable

Tabla 2.16 Conexiones módulo NI 9472, L298N y motor.

2.7.4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

Una bomba peristáltica es un tipo de bomba de desplazamiento positivo usada para bombear fluidos. El fluido es contenido dentro de un tubo flexible empotrado dentro de una cubierta circular de la bomba. Un rotor con un número de 'rodillos' unidos a la circunferencia externa comprimen el tubo flexible. Mientras que el rotor da vuelta, la parte del tubo bajo se cierra forzando, de esta manera, al fluido a ser bombeado para moverse a través del tubo. Adicionalmente, mientras el tubo se vuelve a abrir a su estado natural después del paso del rodillo ('restitución'), el flujo del fluido es inducido a la bomba como se observa en la Figura 2.48.

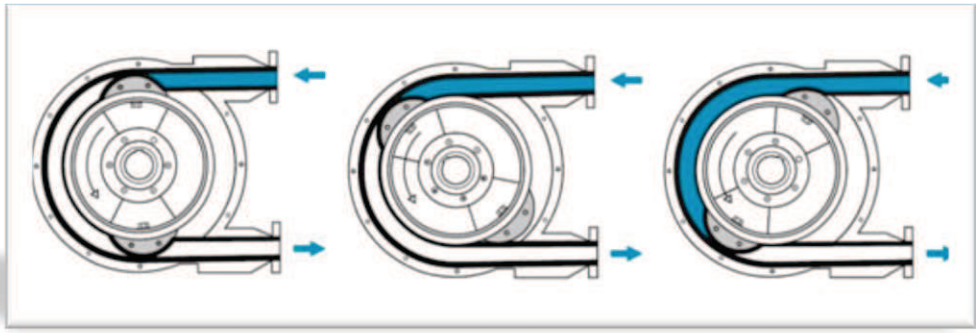


Figura 2.48 Secuencia de funcionamiento de una bomba peristáltica.

La cámara termométrica no tenía un sistema que le permita la extracción del líquido calorimétrico ya que para hacerlo se debía desarmar la estructura en gran parte lo cual no permitía dar un mantenimiento adecuado al vaso de Dewar. Para facilitar este proceso se decidió instalar dos bombas peristálticas que permitan la extracción del líquido o la recirculación del mismo haciéndolo pasar por un filtro para limpiar impurezas como se observa en la Figura 2.49.

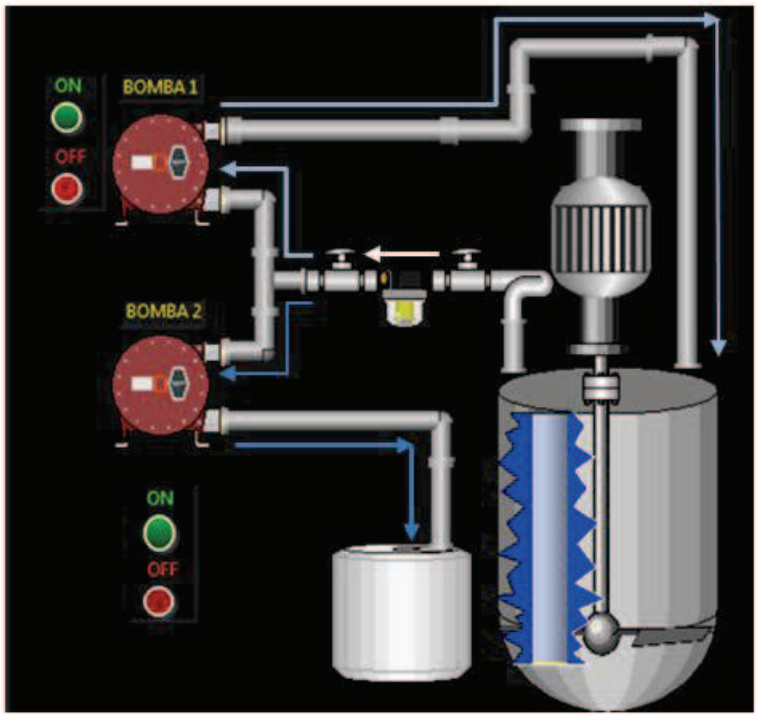


Figura 2.49 Diagrama del sistema de bombeo del líquido.

Como se puede observar en la figura se tienen los dos caminos por los cuales puede circular el líquido ya sea para extraer o depositar el líquido o para recirculación.

Debido al costo del líquido calorimétrico es importante evitar derrames por lo cual es necesario el uso de una bomba que evite estar en contacto con el líquido

Esta bomba puede funcionar indefinidamente en seco sin deterioro, así como girar en cualquier sentido de la marcha, fáciles de instalar y hacer mantenimiento.

Incluso en condiciones de trabajo continuo su mantenimiento es tan sencillo como un simple cambio de manguera (el único componente de la bomba sujeto a desgaste), que se realiza en pocos minutos. Sus costos de funcionamiento y el costo total de operación son extremadamente bajos en comparación con otras tecnologías de bombeo.

Debido a la cantidad del líquido que es de 20 litros se escogió un tiempo para vaciar el vaso de Dewar de aproximadamente 15 minutos con lo cual se obtuvo el caudal de la bomba

$$\boldsymbol{Q = \frac{V}{t}}$$

Ecuación 2. 12 Formula del caudal de un líquido

$$\boldsymbol{Q = \frac{20000\ ml}{15}}$$

$$\boldsymbol{Q = 1333.3\ ml/min}$$

Con estos datos la bomba instalada es una peristáltica que tiene las siguientes características.

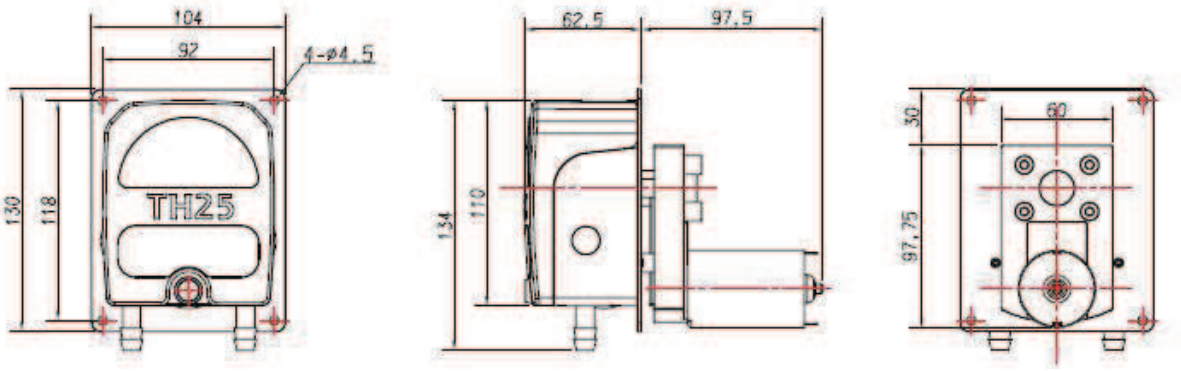


Figura 2.50 Dimensiones físicas de la bomba peristáltica.

Modelo	**TH25 DC motor**
Velocidad	**120rpm**
Tamaño de Tubería	**Wall thickness 2.4mm, inner diameter 9.6mm**
Flow rate	**0~1900ml/min**
Potencia	**5~18W**
Motor	**DC motor**
Voltaje	**12V**

Tabla 2.17 Características técnicas bomba peristáltica.

El sistema de bombeo instalado está compuesta por dos bombas peristálticas instaladas en la estructura de la cámara termométrica, como se observa en la Figura 2.51, adicionalmente se tiene un filtro para el mantenimiento del líquido calorimétrico.

Los elementos del sistema de bombeo se conectaron con una manguera transparente de 1/4 que se sumerge hasta el fondo del vaso y es capaz de soportar la temperatura con la que trabaja el equipo

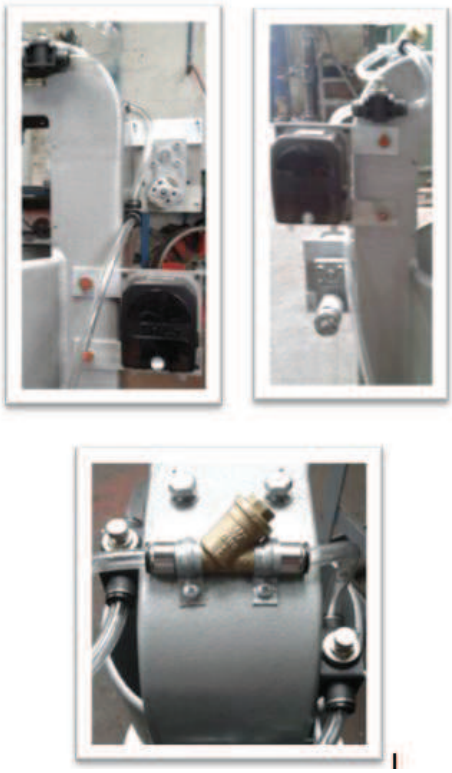


Figura 2.51 Sistema de bombas y filtro.

La carga del líquido así como su descarga en el vaso de Dewar tiene un tiempo de duración de aproximadamente 15 minutos, este tiempo es suficiente para el filtrado de las partículas de polvo que es muy necesario ya que no se dispone de ninguna protección en la parte superior de la máquina, lo que la hace muy propensa a ensuciarse con polvo y partículas del ambiente.

Para controlar las dos bombas peristálticas se utiliza el circuito integrado L298N (cabe aclarar que es otro circuito integrado de iguales características al utilizado en el manejo del motor a pasos), se encuentra conectado desde OUT 04 a OUT 06 del módulo NI 9472. Tiene un puente completo dual que sirve para alimentar las bobinas con una corriente máxima de 2A a sus salidas acorde a las especificaciones de los motores DC de las bombas.

La parte de control del driver posee una entrada de alimentación adicional a nivel lógico TTL. Tiene dos entradas de habilitación para activar o desactivar el driver de forma independientemente de las señales de entrada.

Para la habilitación del motor A-B se envía un uno lógico a EA-EB. Las salidas del motor A son IA-OA y las salidas del motor B son IB-OB, los valores que tienen que ser enviados para que el motor se encuentre en avance o retroceso se observa en la Tabla 2.18.

EA = 1 IA = 1 0A = 0	Motor A giro en avance	EB = 1 IB = 1 0B = 0	Motor B giro en avance
EA = 1 IA = 0 0A = 1	Motor A giro en retroceso	**EB = 1** **IB = 0 0B = 1**	Motor B Giro en retroceso
EA = 0	Motor A está parado	**EB= 0**	Motor B está parado

Tabla 2.18 Habilitación del módulo L298N para control de inversión de giro.

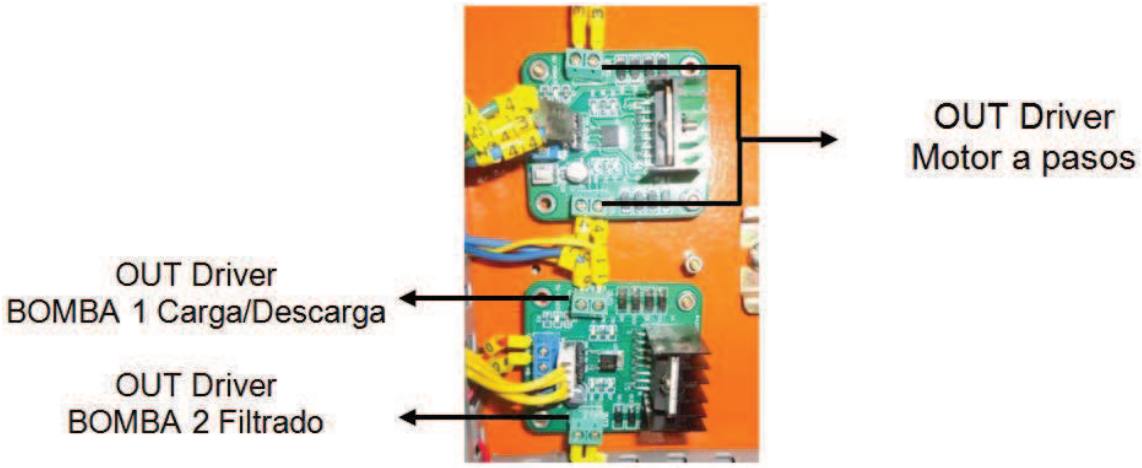


Figura 2.52 Driver para las bombas y Motor a pasos.

Salidas digitales	**DIRECCIÓN**	**L289N**	**BOMBAS**
NI 9472	OUT 04	**IA**	Descarga liquido (bomba1)
	OUT 05	**0A**	Carga líquido (bomba1)
	OUT 06	**IB**	Filtrado (bomba 2)

Tabla 2.19 Conexiones módulo NI 9472, L298N y bombas.

2.7.5. ILUMINACIÓN

La iluminación en la visualización de los termómetros es esencial para una buena apreciación de las escalas de cada termómetro, por lo que se usa una cinta LED, la cual funciona con un nivel de voltaje de 5V y proporciona la suficiente claridad para el observador.

Su instalación se realizó en el visor de termómetros y alrededor del vaso para tener la mayor iluminación posible como se observa en la Figura 2.53.

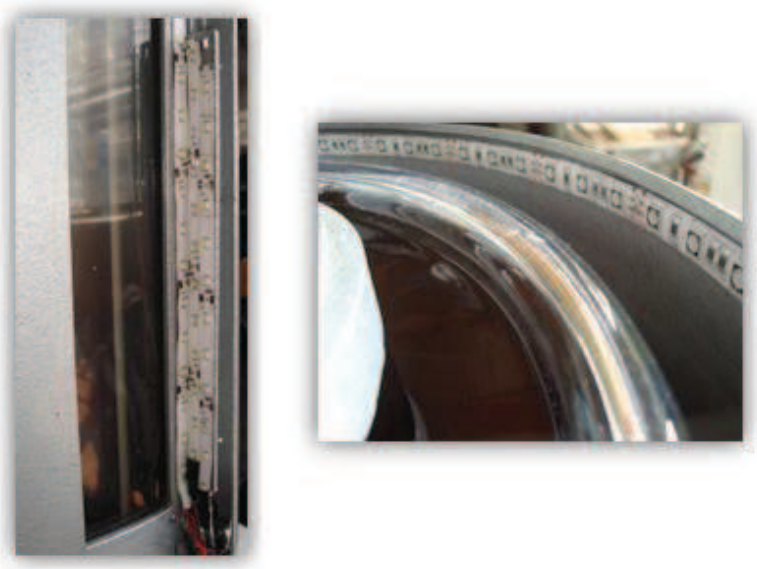


Figura 2.53 Sistema de iluminación (cinta LED).

La cinta LED se encuentra conectada a OUT 07 del módulo NI 9472, contiene 41 leds, cada uno con una potencia de 0.06W alimentada con una fuente de 5V, lo que da una potencia total de 2.46W, con un consumo de 0.49A.

Salidas digitales	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
NI 9472	OUT 07	Luces LED

Tabla 2.20 Conexiones módulo NI 9472.

2.8. TABLERO DE CONTROL

La instalación de los elementos de control se realizó en un gabinete BEAUCOUP cómo se indica en la Figura 2.54.

CODIGO	REFERENCIA	ALTO	ANCHO	PROFUNDIDAD	EMBALAJE	PESO APROX. KG.
I-0302	CL-32-16	300	200	160	12 u.	2.5

Figura 2.54 Gabinete para tablero de control.

La instalación está distribuida de la siguiente forma:

En la parte superior se tiene un riel din 35 x 7.5 que sostiene el chasis de la CompactDAQ como se observa en la figura 2.55, con cada uno de los módulos de control en el siguiente orden: salidas digitales (NI 9472), entradas análogas (NI 9201), salidas análogas (NI 9263), entradas análogas PRT (NI 9217), salidas tipo relé (NI 9481) como se observa en la Figura 2.56.

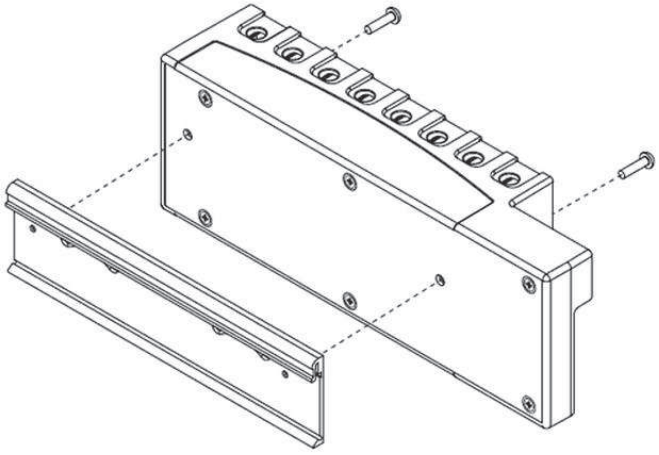


Figura 2.55 Instalación de riel DIN en CompactDAQ 9178.

En la parte derecha del mismo riel se tiene dos relés encapsulados que son los encargados de soportar la carga del sistema de refrigeración y la resistencia eléctrica. Estos relés se activan con 12 voltios y soportan corrientes de hasta 6 amperios.

Figura 2.56 Instalación CompactDAQ.

El cableado de los distintos módulos está dirigido a las canaletas y posteriormente se conecta con las borneras en las que se colocan los elementos que van fuera del tablero de control.

En la parte inferior del tablero se observa en el sector izquierdo los driver de control tanto para las bombas peristálticas y el motor a pasos como se observa en la Figura 2.57. Además se encuentra una fuente de voltaje DC con salidas de 5 y

12 voltios que serán usadas tanto para la alimentación de los sensores como para las bombas y el motor a pasos respectivamente.

En el sector derecho se observa el variador de velocidad que controlará el motor y un guarda-motor para su protección del motor.

El cableado de las señales de control se realizó con cable #18 y #22 en múltiples colores, y las demás conexiones que funcionan a 110/220 VAC se la hizo con cable #14, incluida la conexión del motor para el agitador.

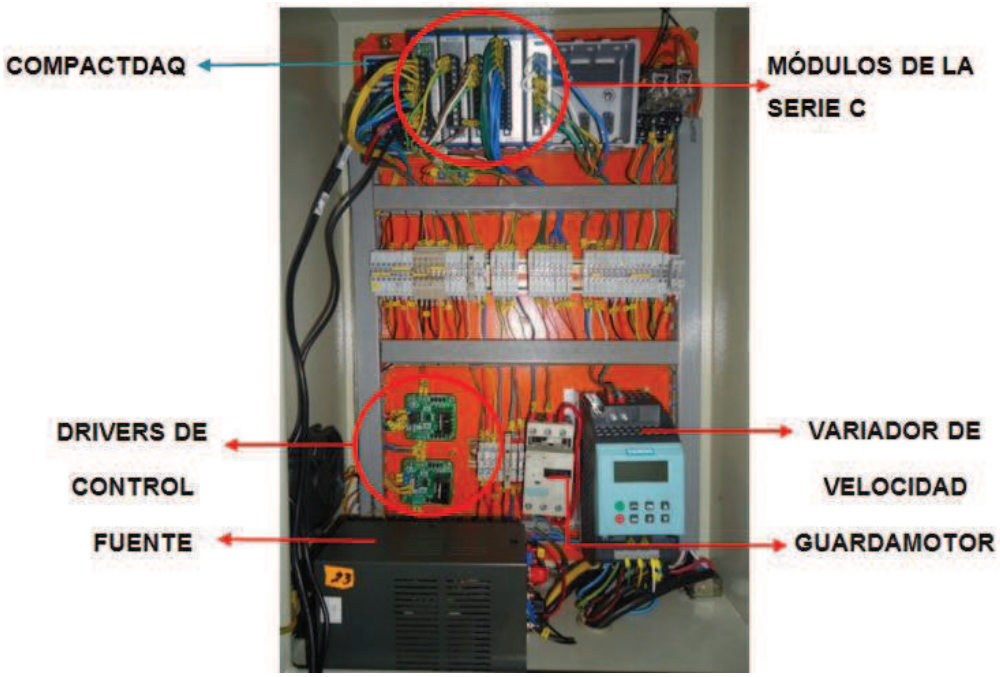
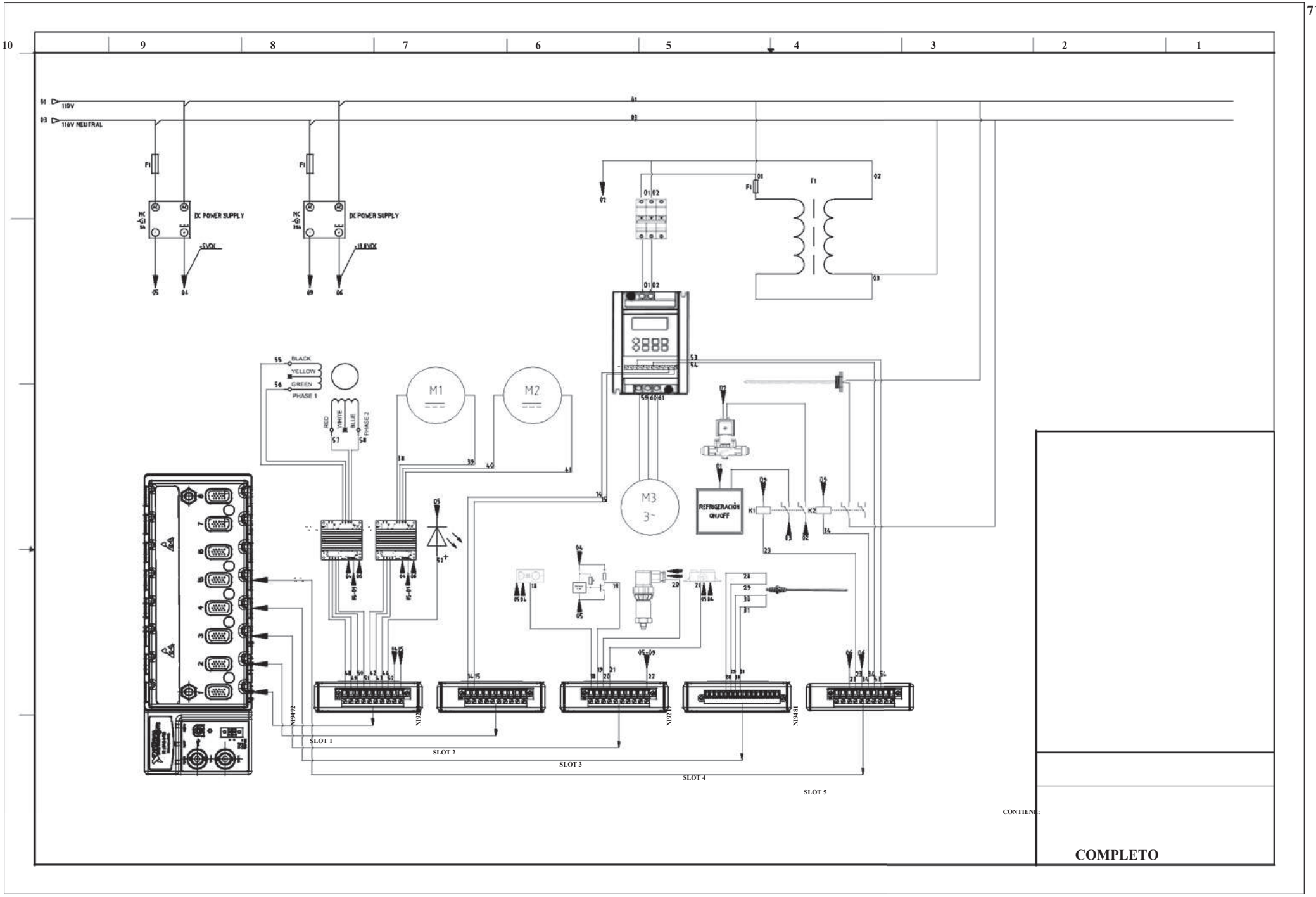


Figura 2.57 Tablero de control.


110V
110V NEUTRAL
DC POWER SUPPLY
DC POWER SUPPLY
BLACK
YELLOW
GREEN
PHASE 1
RED
WHITE
BLUE
PHASE 2
M1
M2
M3
REFRIGERACIÓN ON/OFF
K1
K2
SLOT 1
SLOT 2
SLOT 3
SLOT 4
SLOT 5
CONTIENE:
COMPLETO

CAPITULO 3

DISEÑO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA

El proyecto requiere de la implementación de un sistema de control que permita adquirir e ingresar datos para controlar las distintas variables de entradas y salidas, por lo cual es necesario el diseño de una HMI que brinde las facilidades para cumplir con los objetivos del proyecto.

Con estos antecedentes, la herramienta computacional que se adaptó a estos requerimientos es la plataforma LabVIEW, tanto para el sistema de control como para la elaboración de la HMI que permitirá el monitoreo del proceso.

Es necesario mencionar que el software y la licencia necesarios para el funcionamiento del programa ya se encontraban adquiridos por el INAMHI motivo por el cual se hizo uso de la versión 2012.

3.1 DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL

3.1.1 SOFWARE DE APLICACIÓN PARA EL SISTEMA DE CONTROL

La palabra LabVIEW viene de las siglas en inglés *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench.* Es una plataforma de programación basada en lenguaje gráfico para el diseño de aplicaciones de adquisición de datos, instrumentación y control principalmente. LabVIEW permite diseñar interfaces de usuario mediante Instrumentos Virtuales (VI) llamados así por su semejanza a un instrumento de laboratorio. Tiene la ventaja que permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos.

La programación en LabVIEW se realiza mediante la interconexión de bloques de control, de medición, indicadores y gráficas. Los programas en LabVIEW constan de tres partes principales:

- *Panel Frontal*: Permite la interacción del usuario con el instrumento virtual, controlando y observando las acciones del mismo. Constituye la interface de usuario.
- *Diagrama a bloques*: Nombre utilizado para referirse al código del instrumento virtual.
- *Cables*: Son las líneas o cableado que definen la interacción entre los distintos bloques.

Dentro del código del programa los bloques de control son observados en el panel frontal por medio de una terminal que permite su modificación aun cuando el programa se esté ejecutando, los valores fluyen a través de las líneas conectadas con otros bloques, que posteriormente podrán ser mostrados en indicadores que también tienen una terminal en el panel frontal.

3.1.2 ENTORNO NORMATIVO PARA EL DISEÑO DE HMI

A continuación se analizará el concepto de interfaz hombre – máquina (HMI), sus distintos modelos, reglas para el diseño de interfaces de usuario, que son las guías de diseño, cómo realizar un correcto análisis y modelación de tareas y algunas consideraciones al momento de diseñar una HMI, basándonos en documentos y publicaciones referidos a la norma ISA SP-110.

A nivel internacional no ha existido hasta ahora una línea clara acerca de diseño de los interfaces HMI. En julio del 2005 se crea el comité ISA-SP101 con el objetivo de establecer estándares, prácticas recomendadas y apoyo técnico, que permitan normalizar el campo de las interfases hombre-máquina en los procesos. Su trabajo fue destinado a los responsables de diseñar, implementar o utilizar interfases HMI en todo tipo de procesos industriales.

Los principales objetivos de este comité son:

- Disminuir la tasa de errores de los operarios gracias a unas representaciones claras e intuitivas de las interfaces de control.

- Reducir los tiempos de aprendizaje de los nuevos operadores y conseguir que los tiempos de formación sean acumulativos, permitiendo el cambio de un sistema a otro con el mínimo entrenamiento gracias a la estandarización de la interfaz de control.
- Reducir costes de rediseño al estandarizar procedimientos.

Los ámbitos que involucra el comité son todos aquellos elementos relacionados con este tipo de interfaces: menús, convenciones de diseño de pantallas, utilización de colores, etiquetas, animaciones, gestión de alarmas, archivado, redes, etc.

3.1.2.1 Reglas para el diseño de la HMI

Existen reglas muy importantes que se deben tomar en cuenta para el diseño de una HMI:

• Dar control al usuario.
• Reducir la carga de memoria del usuario.
• Consistencia.

Dar control al usuario.

El diseñador debe dar al usuario la posibilidad de hacer su trabajo, en lugar de suponer qué es lo que éste desea hacer. La interfaz debe ser suficientemente flexible para adaptarse a las exigencias de los distintos usuarios del programa.

Reducir la carga de memoria del usuario.

La interfaz debe evitar que el usuario tenga que almacenar y recordar información.

Consistencia.

Permite al usuario utilizar conocimiento adquirido en otros programas. Ejemplo: mostrar siempre el mismo mensaje ante un mismo tipo de situación, aunque se produzca en distintos lugares.

3.1.2.2 Consideraciones del diseño

Existen diversas guías de diseño obtenidas de expertos y comités, que complementan a las reglas estudiadas anteriormente. Por citar algunas de ellas se tiene:

- No se deben colocar demasiados objetos en la pantalla, y los que existen deben estar bien distribuidos.
- Cada elemento visual influye en el usuario no sólo por sí mismo, sino también por su combinación con el resto de elementos presentes en la pantalla.
- Demasiada simetría puede hacer las pantallas difíciles de leer.
- Si se ponen objetos sin alinear, hacerlo drásticamente.
- Asimetría = activo, simetría = sereno.
- Elementos de tamaño y color similares se perciben como pertenecientes a un grupo.
- Diseñar para el usuario, no para demostrar los propios conocimientos tecnológicos.
- Unos gráficos espectaculares no salvarán a una mala interfaz.

Finalmente es necesario considerar que los usuarios finales son los que realmente saben cómo deben ser sus pantallas de visualización ideales, cosa que no siempre se tiene en cuenta. Realmente son los más indicados para señalar las necesidades de su aplicación y no estaría de más conocer su opinión acerca de la distribución y estética de la HMI antes de implementarlo.

Con todos estos antecedentes el primer punto que se consideró en la elaboración de la HMI del proyecto es la opinión de los ingenieros físicos a cargo del laboratorio de metrología.

El ingreso de varios valores de temperatura y la detección de termómetros de forma automática evitan que el usuario tenga que memorizar estos datos debido a que quedan registrados en la HMI

La organización de los elementos en pantalla se hizo por grupos y de forma simétrica de tal manera que se diferencie los unos de los otros.

Para un fácil uso se le proporciona una ayuda o guía rápida que se encuentra en la parte derecha de la HMI con la finalidad de guiar al usuario en los pasos que debe seguir y adicionalmente mensajes de aviso en la HMI.

Finalmente se colocó los datos necesarios para el funcionamiento de la cámara termométrica intentando no exceder con mucha información y evitar confundir al usuario.

3.1.3 DESARROLLO DEL SOFWARE DE CONTROL

3.1.3.1 Configuración inicial de parámetros

Para usar los módulos NI CompactDAQ se debe realizar una configuración inicial de parámetros que se dan a conocer a continuación:

- Inicialmente se debe instalar el software para cada dispositivo al abrir el Asistente de Nuevo Hardware Encontrado.

- Se debe asegurar que el Monitor del Dispositivo esté en ejecución. Después que Windows detecta dispositivos NI USB recién instalados, debe ejecutarse automáticamente. Si no se ejecuta, desconectar su dispositivo, reiniciar el Monitor del Dispositivo al seleccionar Start» All Programs» National Instruments» NI-DAQ» NI Device Monitor, y conectar su dispositivo. El Monitor del Dispositivo le pide seleccionar entre una lista de opciones.

- Hacer clic en **Configure and Test This Device** para abrir Measurement & Automation Explorer (MAX).

- En la ventana que se abre se despliega Devices and Interfaces para confirmar el chasis cDAQ-9178 que está enlistado. También se debe ver

los módulos de la Serie C enlistados debajo del chasis. Si los dispositivos no aparecen, presionar para actualizar la vista en MAX.

- Hacer clic con el botón derecho en el dispositivo y seleccionar Self-Test. Cuando la auto-prueba termina, un mensaje indica la correcta verificación o si ha ocurrido un error se observa en una pantalla.

Una vez configurado los parámetros que permiten la comunicación con el modulo NI CompactDAQ**,** únicamente queda abrir la plataforma de programación de LabVIEW en la cual se selecciona la opción Create Project.

Inmediatamente se procede a guardar el Project con un nombre. En esta ventana se puede crear los VI's que sean necesarios para realizar el control del proyecto.

3.1.3.2 Subrutina de Inicialización

Para el sistema de control de temperatura se usó un sensor de temperatura PTR-PT100 (5616) de la marca FLUKE, interconectado al módulo de entradas análogas NI 9217.

El programa en Labview desarrollado comienza con una subrutina de inicialización que tiene como fin ubicar el termómetro uno de la bandeja en el visualizador del vaso Dewar, esta etapa se realiza con la ayuda del sensor de efecto hall instalado en la bandeja.

Primeramente se activa el motor a pasos para dar un número de pasos indefinido hasta que el sensor de efecto hall dé una señal mayor a 3.5V, lo cual indica que el termómetro uno de la bandeja se encuentra en el visualizador.

Una vez posicionada la bandeja se realiza la lectura del volumen del líquido calorimétrico para verificar que se encuentre en niveles adecuados. Si el líquido no llega al nivel se muestra un mensaje que indica nivel bajo del líquido y si el líquido sobrepasa el nivel aparece un mensaje indicando nivel alto del líquido como se observa en el diagrama de flujo de la Figura 3.1.

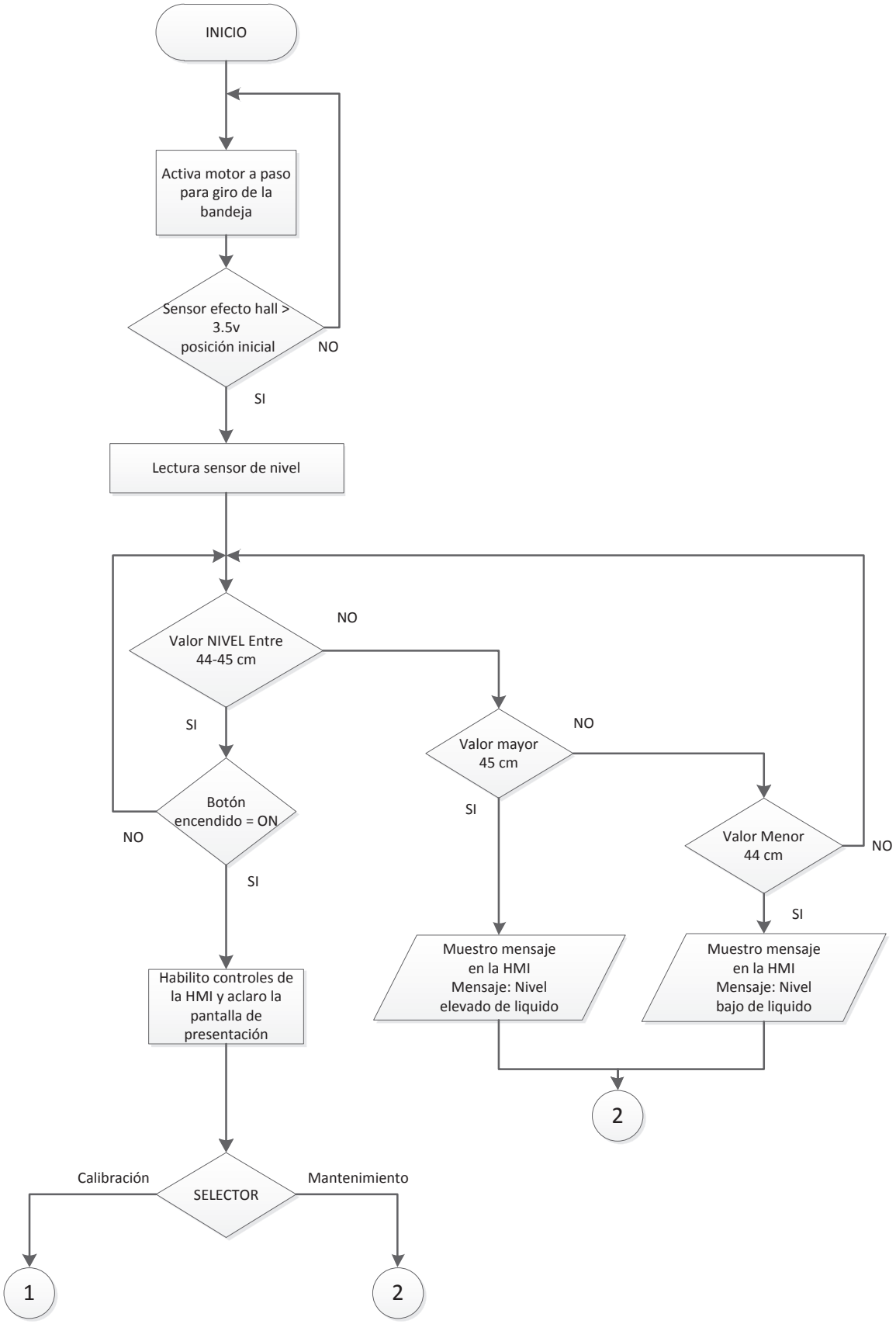


Figura 3. 1 Diagrama de flujo subrutina de inicialización.

Una vez inicializado el proceso se puede seleccionar entre las opciones: CALIBRACIÓN o MANTENIMIENTO.

3.1.3.3 Subrutina de Calibración y Control de Temperatura

El control de temperatura se encuentra en la opción de CALIBRACIÓN, en donde se realizan múltiples acciones que permiten el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración o de calentamiento del líquido calorimétrico.

Inicialmente se tiene el ingreso de datos de temperatura en donde se escribe los valores de temperatura a los que debe llegar el líquido calorimétrico. Este conjunto de valores es ordenado en forma ascendente con la finalidad de variar la temperatura del líquido calorimétrico en valores secuenciales independientemente del orden en el que el usuario ingrese dichos valores.

Con los datos disponibles de forma ordenada el usuario tiene la opción de seleccionar con qué valor de temperatura desea iniciar en el caso que los valores ingresados sean mayores a uno o de lo contrario se iniciará con el primer valor registrado.

Se tiene la opción de activar el botón detección que inicia la subrutina DETECCIÓN DE TERMÓMETROS la cual permite detectar cuantos termómetros se colocaron en la bandeja y la posición que serán mostrados en la HMI.

Se espera la activación del botón START para iniciar el proceso con el que se bloquea la pestaña de selección CALIBRACIÓN / MANTENIMIENTO, el ingreso de datos y la selección de temperaturas con la finalidad de evitar poner en funcionamiento otro proceso diferente al que ya se está realizando.

El valor de temperatura seleccionado se compara con el valor registrado por el termómetro patrón 1.

En el caso de que el valor de temperatura seleccionado sea mayor que el del patrón se enciende la resistencia eléctrica para calentar, el agitador y se muestra adicionalmente un mensaje con la palabra CALENTANDO. Esta acción se realiza

hasta que la temperatura registrada sea de -0,4 °C del valor seleccionado; una vez en este rango se apaga la resistencia eléctrica y se mantiene encendido el agitador para distribuir adecuadamente la temperatura.

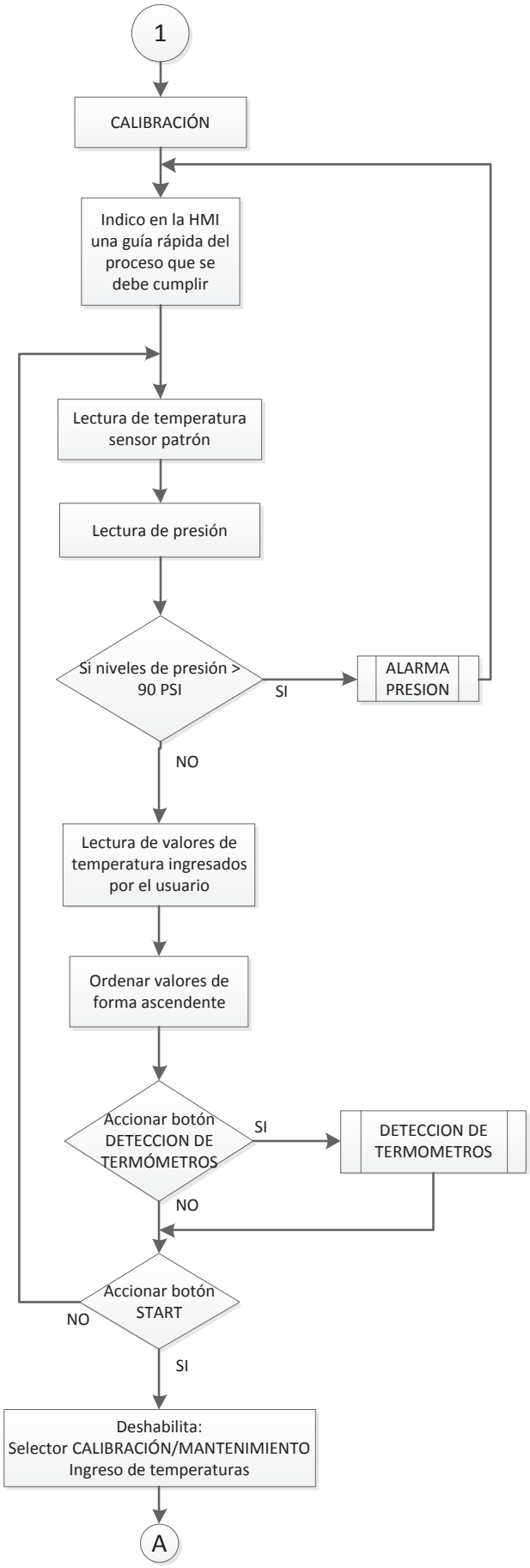
En el caso que el valor de temperatura seleccionada sea menor se enciende el sistema de refrigeración y el agitador y se muestra la palabra ENFRIANDO hasta que la temperatura registrada sea de + 0,3 °C del valor seleccionado. Al llegar al rango se apaga el sistema de refrigeración y se mantiene el agitador encendido.

Si la variación de temperatura solicitada es menor a ±0,5°C se enciende el agitador a una velocidad de 1200 rpm para distribuir la temperatura de inicio en todo el vaso y se da un tiempo de espera de 20 segundos. se procede a encender el sistema requerido por cortos intervalos de tiempo hasta conseguir la temperatura deseada.

Estas condiciones y acciones realizadas se las aplica con la lectura del termómetro patrón uno. El termómetro dos una vez realizada la compra e instalación únicamente se usará para verificación de la lectura de temperatura.

Las velocidades de agitación son seleccionadas en la subrutina SISTEMA DE AGITACIÓN, en la que dependiendo a los niveles de temperatura tendrán distintos valores.

Una vez que se llegue al valor de la temperatura seleccionado se activa un lazo de histéresis de ±0,1°C a la temperatura selecciona, en caso de que la temperatura se salga de este rango se realiza las acciones de control antes mencionadas.


1
CALIBRACIÓN
Indico en la HMI una guía rápida del proceso que se debe cumplir
Lectura de temperatura sensor patrón
Lectura de presión
Si niveles de presión > 90 PSI
SI
ALARMA PRESION
NO
Lectura de valores de temperatura ingresados por el usuario
Ordenar valores de forma ascendente
Accionar botón DETECCION DE TERMÓMETROS
SI
DETECCION DE TERMOMETROS
NO
Accionar botón START
NO
SI
Deshabilita:
Selector CALIBRACIÓN/MANTENIMIENTO
Ingreso de temperaturas
A

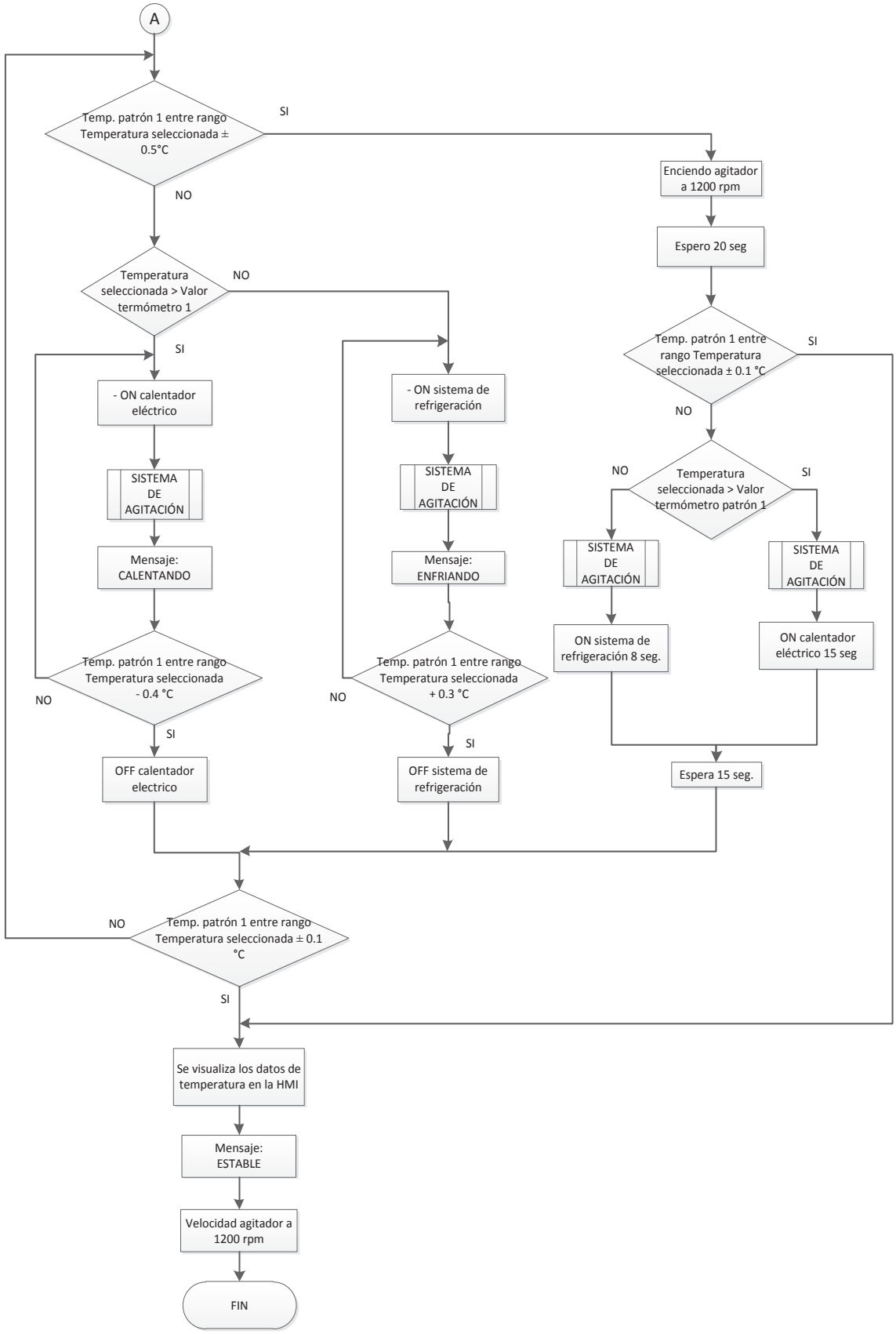


Figura 3. 2 Diagrama de flujo del sistema de control.

3.1.3.4 Subrutina de Cambios de Unidad y Alarmas

Para facilidad del usuario la medición de temperatura tiene una opción que permite el cambio de unidades de medida de los valores registrados por los termómetros, es decir dichos valores podrán ser observados en unidades de medición de grados Celsius, Fahrenheit y Kelvin. Este cambio se realiza por medio de una pestaña ubicada en la HMI

Al seleccionar una de las unidades mencionadas se procede a cambiar los niveles de temperatura que se pueden observar en los gráficos que representan a los termómetros, con el fin de tener una mejor apreciación de estas lecturas. Además se realiza las operaciones necesarias para la conversión de las unidades de lectura obedeciendo a las siguientes fórmulas:

$$\boldsymbol{F = \left(\frac{9}{5} \times °C\right) + 32}$$

$$\boldsymbol{K = 273 + °C}$$

C = la temperatura en grados Celsius.

F = la temperatura en grados Fahrenheit.

K = la temperatura en grados Kelvin.

Una vez realizada esta operación se continúa con las condiciones que envían una señal de alarma en caso de que el nivel de temperatura sobrepase los rangos máximos. Si el rango de temperatura se encuentra en los niveles aceptables se continúa con las condiciones que realizan el cambio de color a azul para niveles menores a cero de los diagramas que indican el nivel de los termómetros.

Existen dos alarmas en nuestro sistema una de nivel elevado de presión y una de temperatura, cuando se supera el nivel de presión se enciende una luz de alerta de sobre-presión y se muestra un mensaje en la pantalla, adicionalmente se desactiva el sistema de refrigeración, calentamiento, variador y motor a pasos. Si la alarma activada es de temperatura se enciende una luz de sobre-temperatura mostrando un mensaje que depende si el sistema ha superado el nivel máximo o mínimo de temperatura y se desactiva los mismos sistemas que en el caso anterior.

El programa que realiza todas las operaciones necesarias para la transformación de unidades y las de alarmas se detallan en los diagramas de flujo de las Figuras. 3.3 y 3.4.

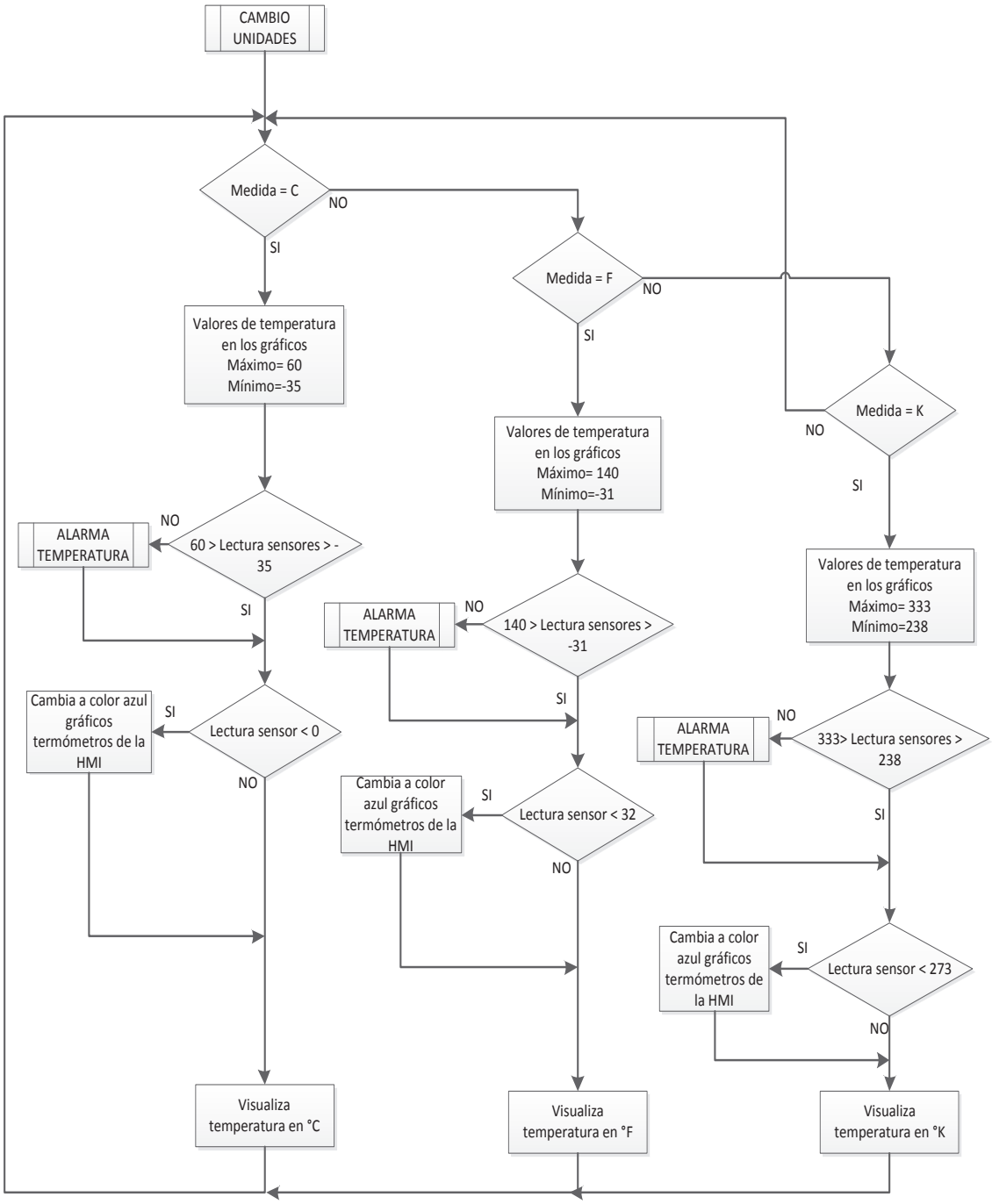


Figura 3. 3 Diagrama de flujo de cambio de unidades.

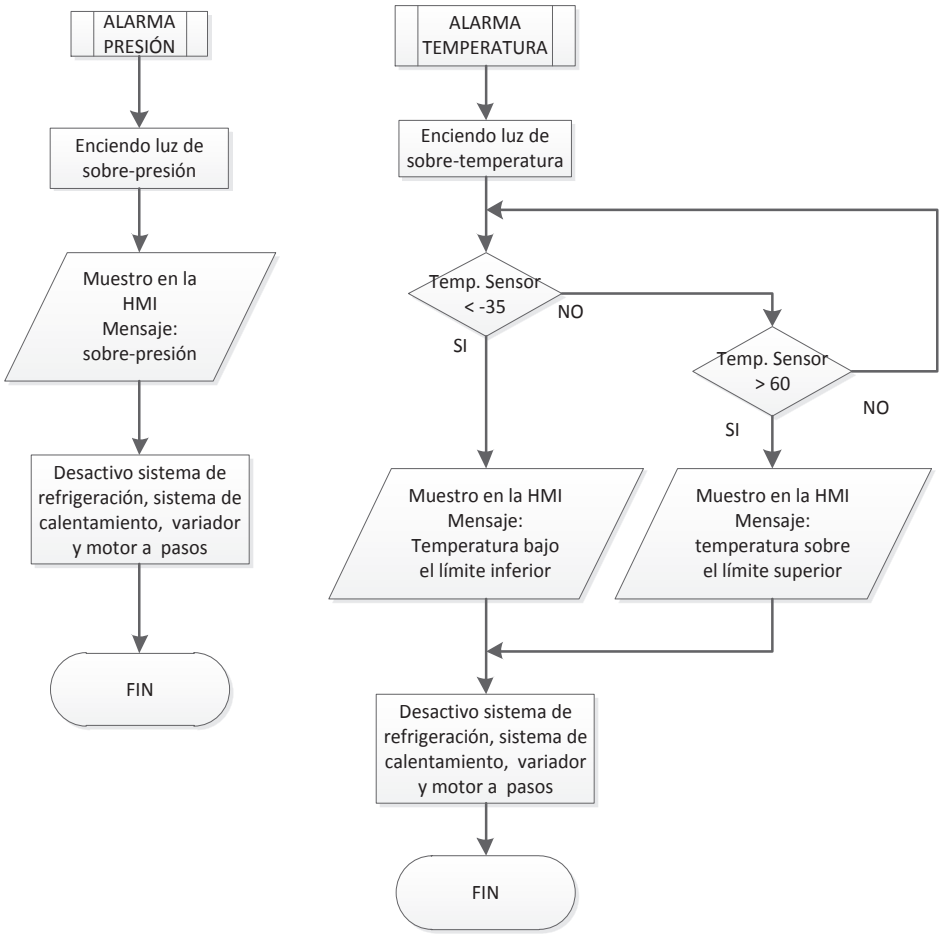


Figura 3. 4 Diagrama de flujo de alarmas.

3.1.3.5 Detección automática de termómetros en la bandeja

Para facilidad del usuario se implementó un control que permite la detección de los termómetros que han sido ubicados en la bandeja, con la finalidad que cuando gire dicha bandeja se ubiquen en el visualizador del vaso de Dewar los puestos ocupados y los que están vacíos (sin termómetros).

Una vez iniciado el proceso se ubica la bandeja en la posición inicial lo que se consigue con la ayuda del sensor de efecto hall que proporciona una señal > 3.5V, cuando el termómetro uno se encuentra en el visualizador del vaso Dewar.

A continuación se activa nuevamente el motor a pasos para dar una vuelta completa (2645 pasos) y se procede a la lectura del sensor infrarrojo. Cuando el sensor envía una señal < 1V, compara si el número de pasos del motor está entre un múltiplo de 115 +/- 10 pasos. Esta condición se debe a que el espacio entre

termómetros es de 115 pasos; al cumplirse las condiciones antes mencionadas se puede determinar que existe un termómetro, se procede a almacenar la ubicación de dicho termómetro y se muestra en la gráfica del HMI.

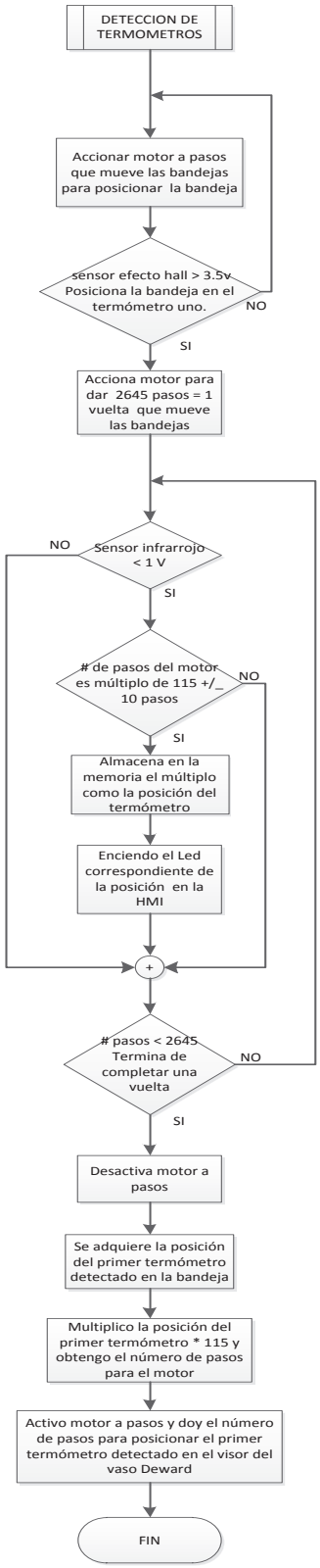


Figura 3. 5 Visualización de termómetros en la HMI.

Una vez completa la vuelta y detectados los termómetros se gira la bandeja hasta posicionarse en una ubicación que contenga un termómetro. Las condiciones de programación se indican en el diagrama de flujo de la Figura 3.5.

3.1.3.6 Subrutina Mantenimiento

La Medición de nivel se lo realiza con un sensor de distancia Analógico, antes de utilizar la Cámara Termométrica M340 con el fin de iniciar el proceso con un nivel que se encuentre dentro de los parámetros.

Una vez inicializado el proceso se debe determinar el nivel del vaso Dewar tomando en cuenta 3 niveles: alto 44 - 45 cm, medio 44 - 17 cm y bajo 17 cm. Cada nivel tiene su alarma para que el operador pueda saber en qué punto se encuentra. Si no se encuentra en el nivel adecuado se puede ingresar a carga o descarga pero se debe cumplir que la temperatura del líquido calorimétrico esté en un rango de 15 a 30 grados centígrados. Si la temperatura del líquido no se encuentra en el rango de 15 a 30 grados centígrados no puede pasar a mantenimiento como se observa en el diagrama de flujo Figura 3.6.

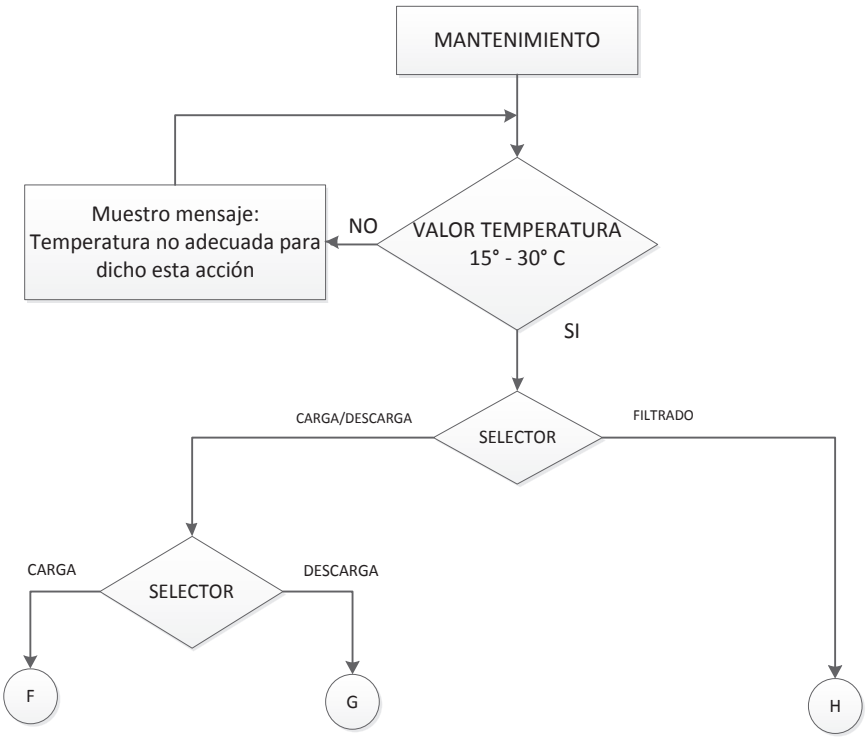


Figura 3. 6 Subrutina de carga-descarga y filtrado.

La Figura 3.6 indica las dos opciones una vez medido la temperatura, la primera es ingresar a filtrado que se lo realiza por partículas en suspensión del líquido o ingresar a carga-descarga antes de iniciar el proceso de calibración de termómetros.

3.1.3.7 Subrutina de Carga

El líquido calorimétrico de prueba (propilenglicol) se evapora y por lo tanto no se tiene un volumen constante. Es por esto que la bomba peristáltica 1 carga el volumen faltante, por la cual es importante tomar en cuenta el volumen al iniciar el funcionamiento del equipo.

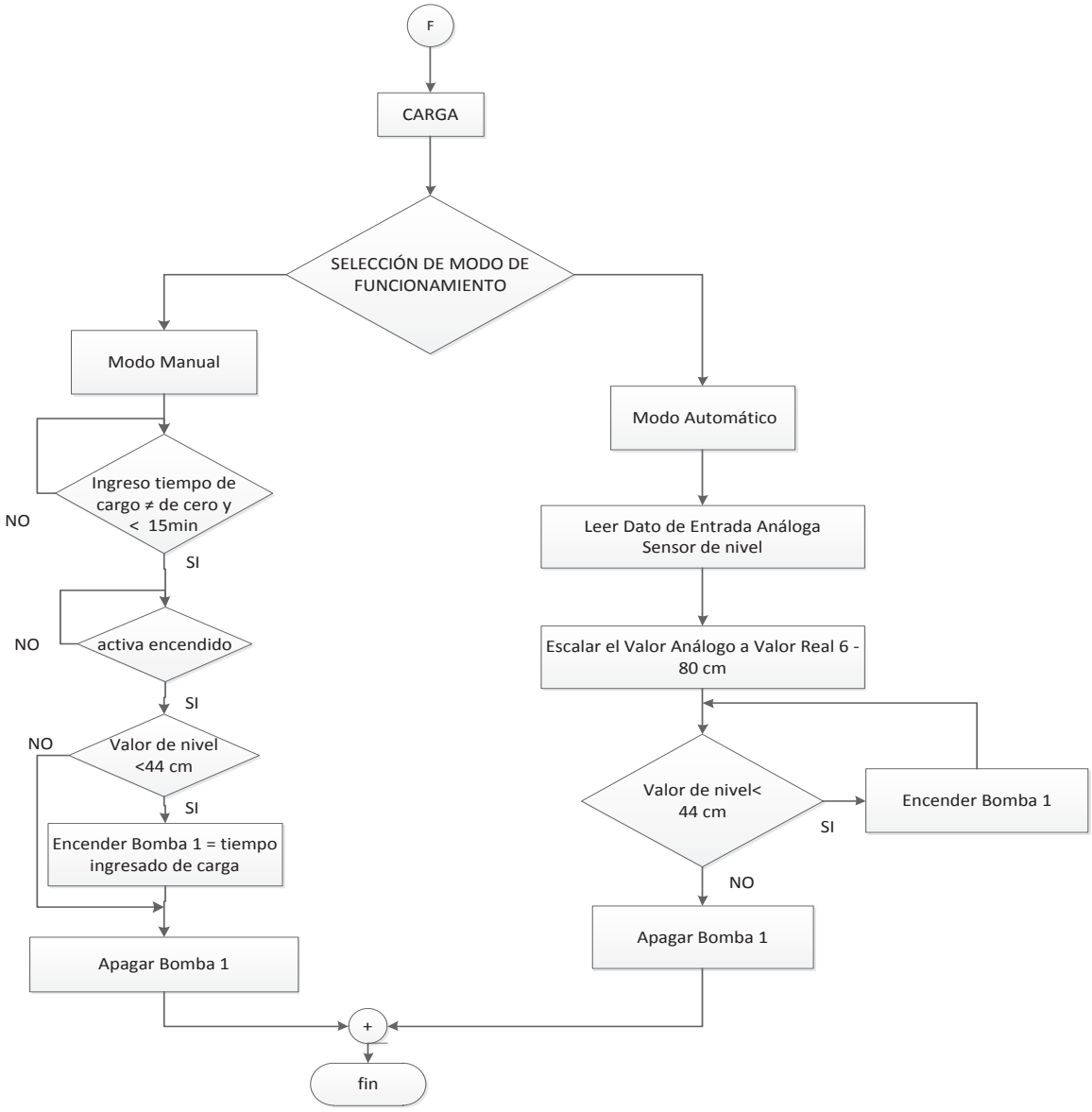


Figura 3. 7 Subrutina para carga

La subrutina para carga tiene dos modos de operación, manual y automático. En modo manual el operario tiene que ingresar el tiempo de carga con un valor menor a 15 minutos y activar el botón de carga. El modo automático utiliza el sensor infrarrojo para medir el nivel. Para describir gráficamente como se realiza el programa se utiliza el diagrama de flujo de la Figura 3.7.

3.1.3.8 Subrutina de Descarga

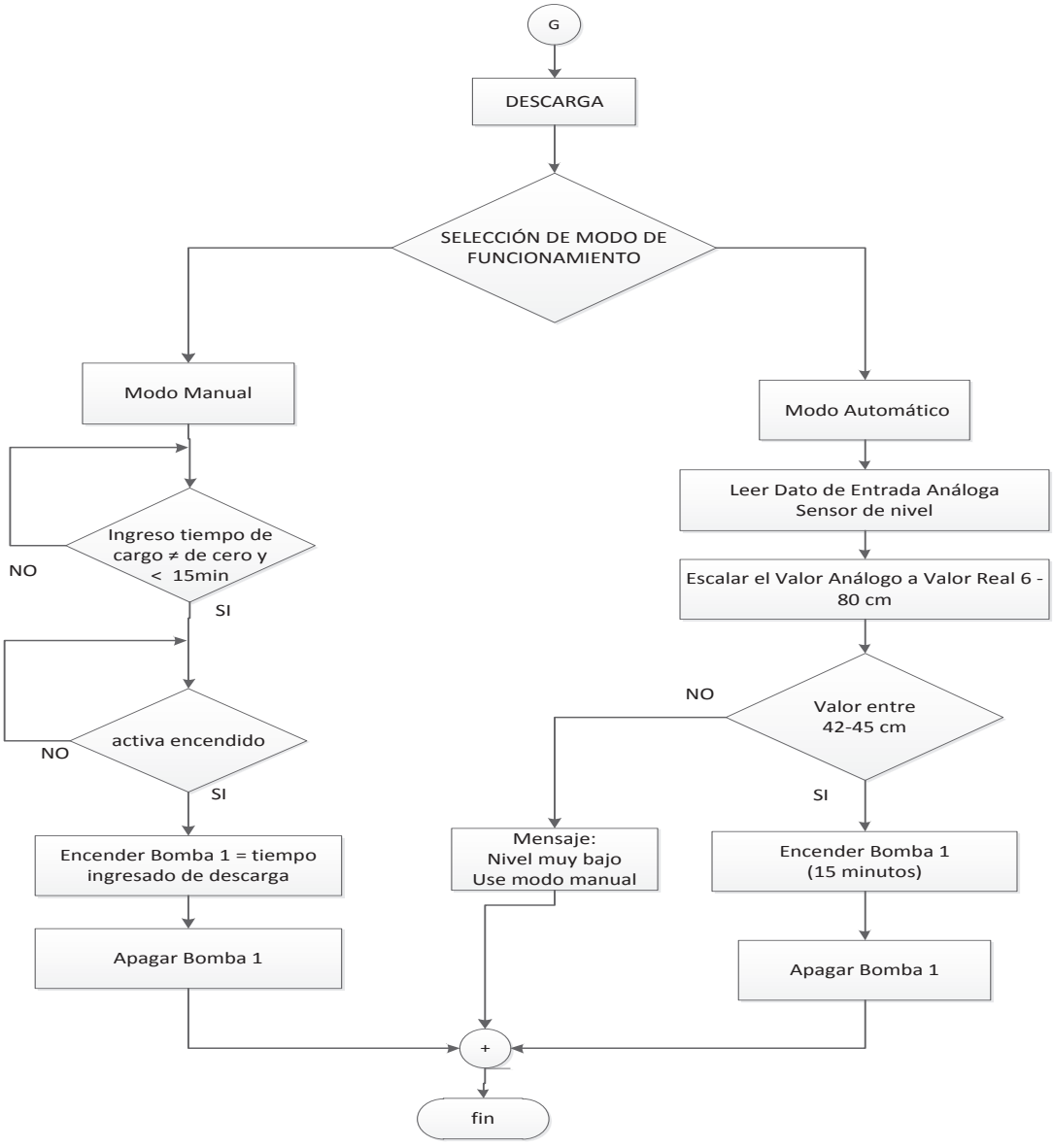


Figura 3. 8 Subrutina para descarga.

La subrutina para descarga tiene dos modos de operación, manual y automático. En la operación manual el operario tiene que ingresar el tiempo de descarga del

líquido calorimétrico, el cual tiene que ser menor a 15 minutos debido a que es el tiempo límite de descarga. El modo automático utiliza el sensor infrarrojo para medir el nivel; si cumple el parámetro de nivel (42-45 cm) se enciende la bomba 15 minutos; si no cumple muestra un mensaje para uso en modo manual.

3.1.3.9 Subrutina de Filtrado

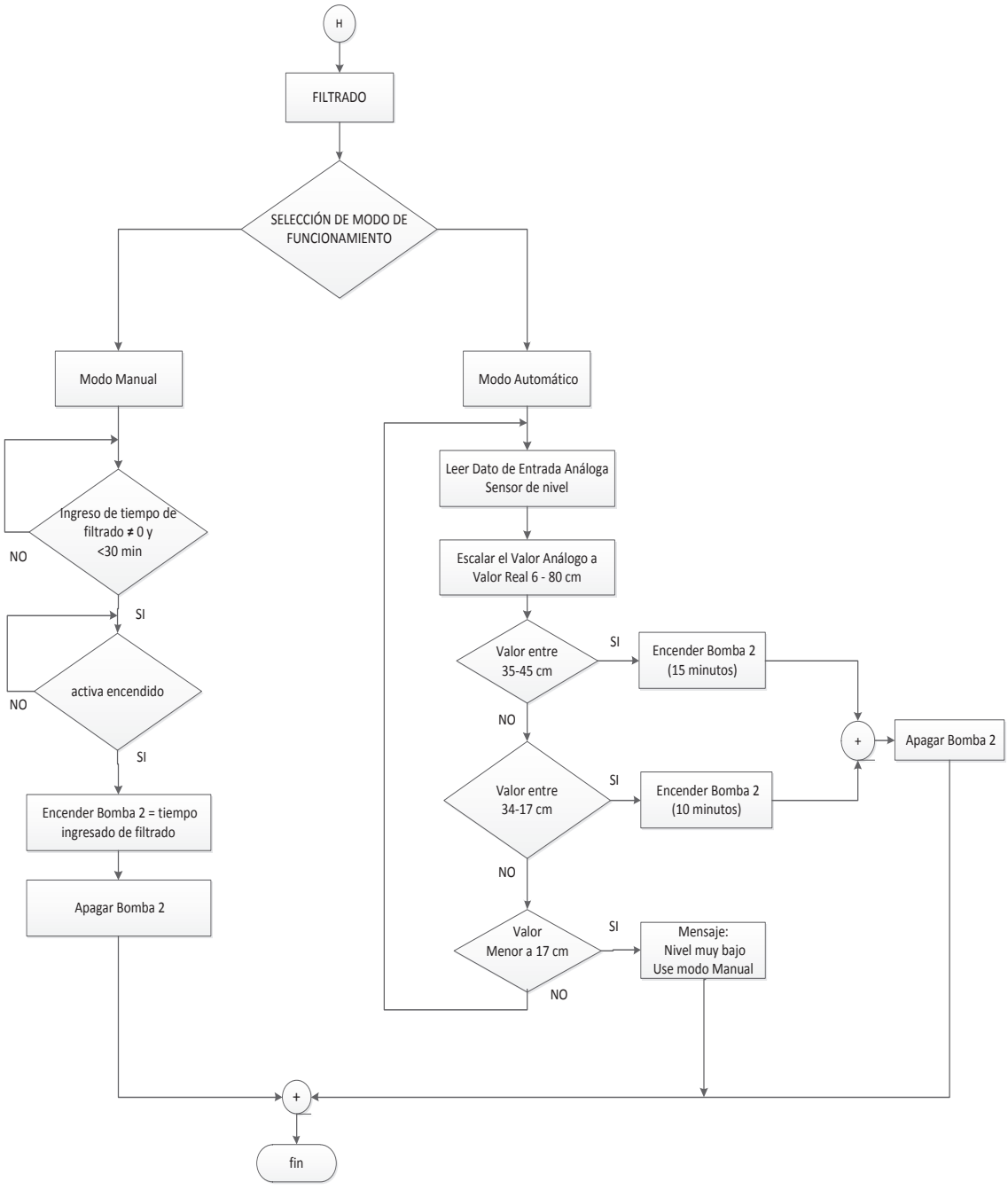


Figura 3. 9 Subrutina para filtrado.

El proceso de filtrado tiene como fin hacer circular el líquido calorimétrico a través de un filtro que se encuentra en el sistema, el cual es impulsado por la bomba peristáltica 2. Tiene dos opciones: manual y automático. El modo automático utiliza el sensor infrarrojo para medir el nivel; si cumple el parámetro de nivel (35-45 cm) se enciende la bomba 15 minutos; si cumple el parámetro de nivel (34-17 cm) se enciende 10 minutos; mientras que en el modo manual el operario podrá ingresar el tiempo que crea conveniente para realizar dicho proceso con un máximo de 30 minutos. Para describir gráficamente como se realiza el programa se utiliza el diagrama de flujo de la Figura 3.9.

3.1.3.10 Control del Sistema de Agitación

La agitación tiene como objetivo mejorar la transferencia de calor (calentamiento o enfriamiento). Al usar las palas de la hélice friccionan vigorosamente el líquido y produce burbujas que son producto de la evaporación, viscosidad y del trabajo mecánico que se convierte en trabajo y calor como se puede observar en la Figura 3.10.

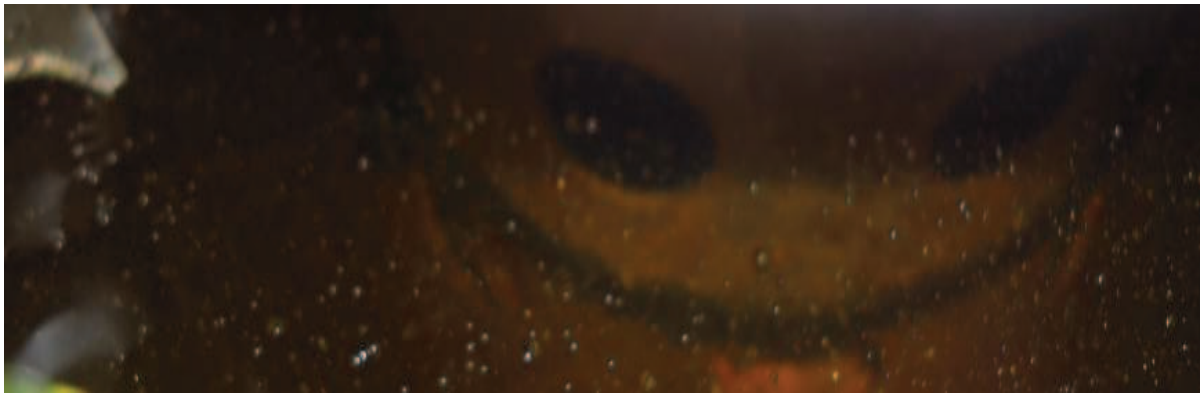


Figura 3. 10 Burbujas que se produce por el sistema de agitación.

La primera ley de la termodinámica, establece que si se realiza trabajo sobre un sistema o si éste intercambia calor con otro, la energía interna del sistema cambiará. Visto de otra forma, esta ley permite definir el calor como la energía necesaria que debe intercambiar el sistema para compensar las diferencias entre trabajo y energía interna. La ecuación general de la conservación de la energía es la siguiente:

$$E_{\text{entra}} - E_{\text{sale}} = \Delta E_{\text{sistema}}$$

Ecuación 3.2 Ecuación general de la conservación de la energía.

Que aplicada a la termodinámica tomando en cuenta el criterio de signos termodinámico, queda de la forma:

$$\Delta U = Q - W$$

Ecuación 3.2 Primera ley de la termodinámica.

Donde U es la energía interna del sistema (aislado), Q es la cantidad de calor aportado al sistema y W es el trabajo realizado por el sistema y puede ser positivo o negativo.

- *Positivo* (+), para el trabajo y el calor entregado al sistema.
- *Negativo* (-), para el trabajo y el calor cedido por el sistema.

Aplicando la ecuación general de la conservación de la energía al sistema de agitación se tiene $\boldsymbol{E_e = E_i + E_d}$ donde $\boldsymbol{E_e}$ es la energía externa del sistema, $\boldsymbol{E_i}$ es la energía interna y $\boldsymbol{E_d}$ es la energía de disipación que es despreciable con lo que se obtiene $\boldsymbol{E_e = E_i}$.

Aplicando la primera ley de termodinámica y comparándola con la ecuación de la conservación de la energía a nuestro sistema de agitación: $\boldsymbol{E_e}$ es igual a W trabajo realizado por el sistema que en este caso sería el trabajo que entrega las aspas del sistema de agitación, $\boldsymbol{E_i}$ es igual a $\boldsymbol{E_i = Q + W}$ donde Q es la cantidad de calor aportado al sistema que se ve reflejado en la aparición de burbujas debido a la evaporación y fricción del líquido, W es el movimiento interno que es la agitación.

Para evitar dichas burbujas se realizó una serie de pruebas con el fin de hallar de manera experimental la velocidad adecuada del agitador. En un rango de 60 a -

35℃ a diferentes velocidades del sistema de agitación**.** La Tabla 3.2 muestra las velocidades para un intercambio de calor uniforme de temperatura.

TEMPERATURA ℃	**FRECUENCIA Hz**	**VELOCIDAD rpm**
60 - 50	**47,3**	**2700**
50 - 40	**37**	**2115**
40 - 10	**35**	**2000**
10 - 0	**39**	**2229**
0 - (-10)	**40**	**2286**
-10 - (-35)	**47,3**	**2700**

Tabla 3.2 Velocidad experimental de 60℃ a -30℃ .

Con estas velocidades se obtuvo una reducción considerable de burbujas como se muestra en la Figura 3.11.

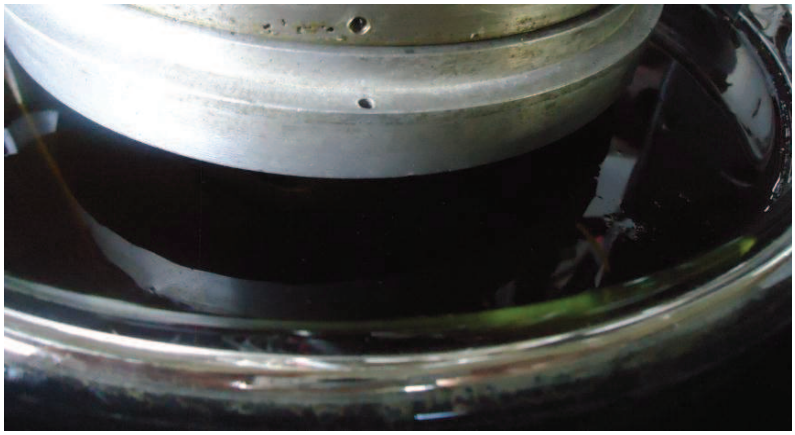


Figura 3. 11 Reducción de burbujas con velocidad experimental en el sistema de agitación.

Para evitar que se afecte de alguna manera la temperatura del líquido calorimétrico, se reduce un 70% la velocidad nominal del agitador al llegar al setpoint y se obtienen la siguiente velocidad como se observa en la siguiente Tabla 3.3.

TEMPERATURA ℃	VELOCIDAD rpm
-35 a 60	**1200**

Tabla 3.3 Velocidad en setpoint de 60℃ a -30℃ .

Cabe destacar que en temperatura ambiente el propilenglicol no es viscoso. Al llegar a -1 grado centígrado las propiedades físicas del líquido calorimétrico cambian y se vuelve viscoso como se observa en la Figura 3.12

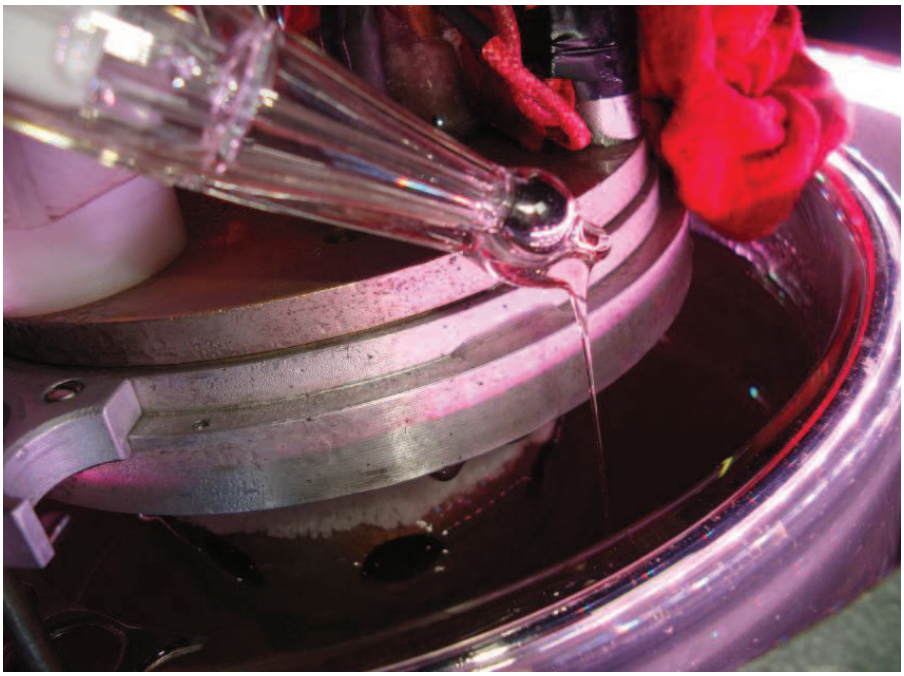


Figura 3. 12 Cambio de propiedades físicas del líquido calorimétrico.

La subrutina para controlar la velocidad del motor del agitador y evitar las burbujas es la de la Figura 3.13, el cual toma en cuenta la temperatura del líquido calorimétrico y si el sistema de refrigeración o calentamiento se encuentran activados.

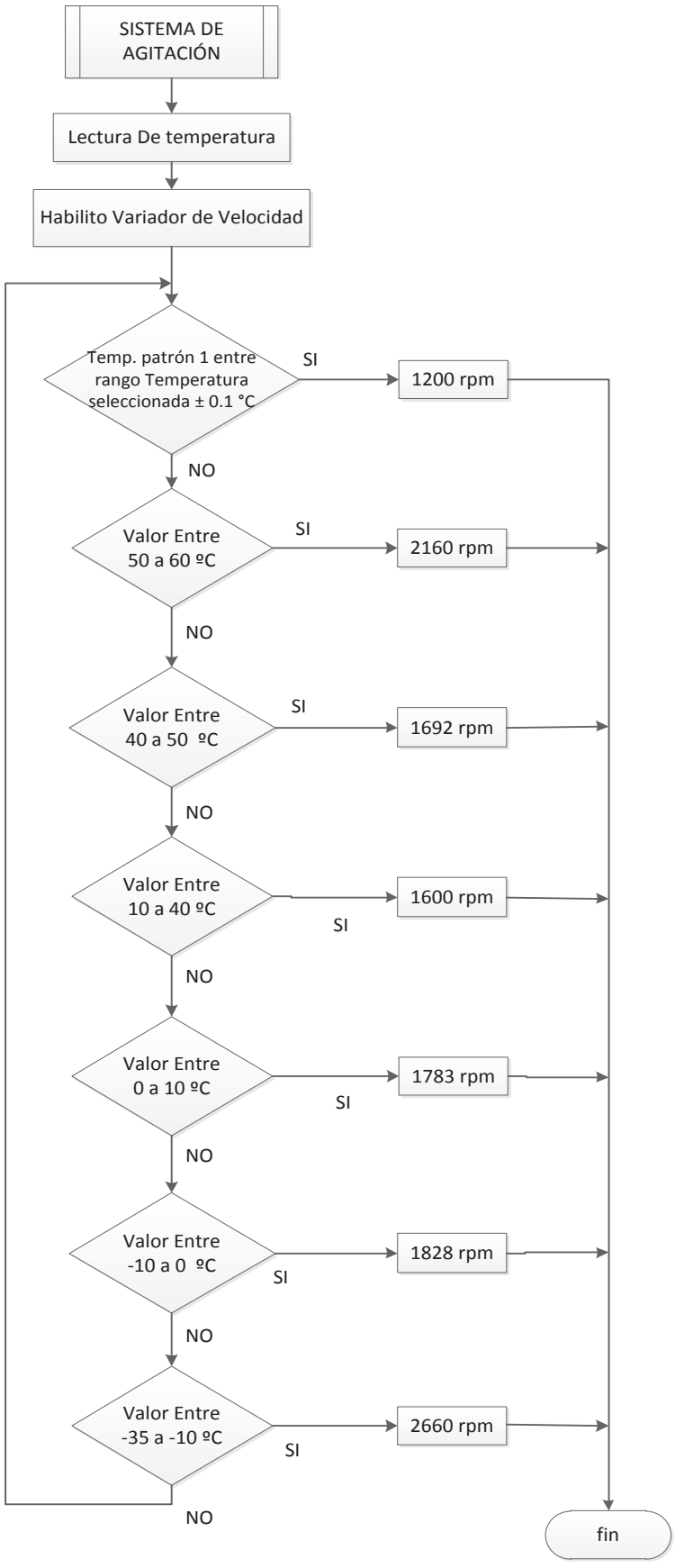


Figura 3. 13 Subrutina para sistema de agitación.

3.2 PANTALLAS DESARROLLADAS.

3.2.1 Pantalla Principal

La pantalla principal de la HMI está dividida en dos secciones, en la izquierda se tiene una pantalla que permite el encendido y activación de los controles y a la derecha el sector de ingreso y visualización de datos (Figura 3.14).

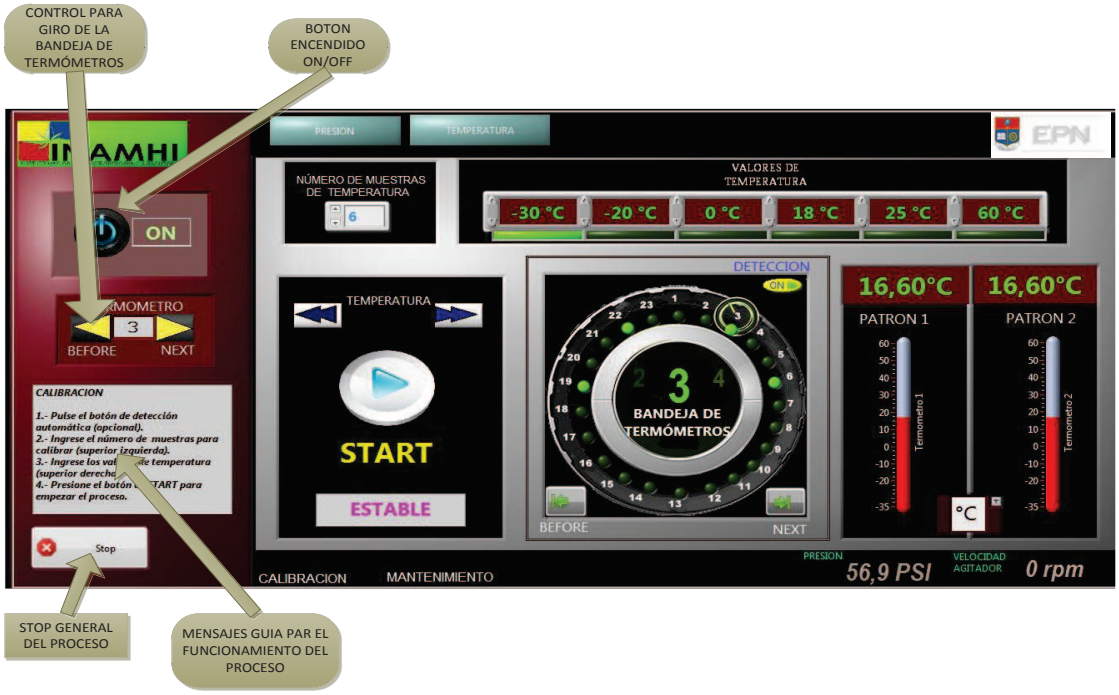


Figura 3. 14 Pantalla principal HMI

En la primera sección se tiene el botón de encendido, el cual una vez activado permite observar el estado del HMI (en este caso ON) y aclara el color de la pantalla de fondo del sector de control e ingreso de dato. Además se activarán todos los controles en la pantalla, permitiendo manipular las variables necesarias para el inicio del proceso.

Se puede observar adicionalmente dos botones denominados NEXT y BEFORE, los cuales permiten mover la bandeja de termómetros y en el centro se indica el termómetro que se encuentra en el visor de la cámara.

Más abajo se tiene un cuadro de diálogo que da indicaciones y pasos para la operación del sistema.

Por si ocurre alguna emergencia y se requiere detener el proceso se tiene al final un botón de emergencia, que detiene automáticamente cualquier acción que se esté realizando en ese momento.

3.2.2 Pantalla de Ingreso y Visualización de Datos

En la parte derecha de la HMI se tiene:

(1) En la parte superior, las luces de emergencia de sobre-presión en las tuberías del sistema de refrigeración al superar las 90 PSI de presión. Un segundo botón muestra una alarma de sobre-temperatura que se activa en caso de que el líquido calorimétrico supere los niveles de temperatura límite. Para ambos casos de alarma las luces se encenderán y apagarán cambiado de color amarillo a rojo.

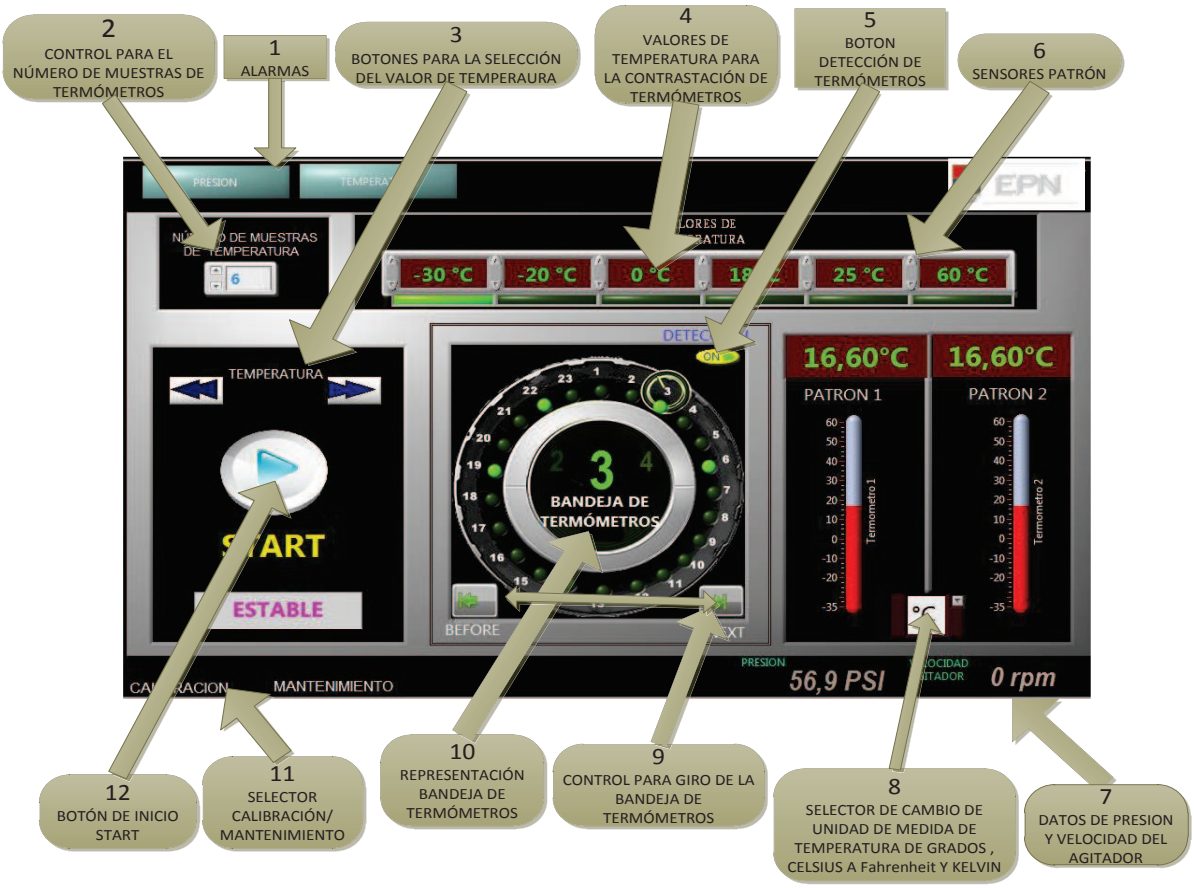


Figura 3. 15 Pantalla de CALIBRACION.

(2) En la parte inferior a las luces de emergencia se observa una sección que permite ingresar los niveles de temperatura con un máximo de ocho valores.

(3) En el sector izquierdo central se tiene dos pulsadores que sirven para seleccionar el nivel de temperatura, al que se desea llegar.

(4) A la derecha se tiene valores de temperatura (set point) con rangos que van desde 60 °C a -35°C, si se ingresa un valor que esta fuera de este rango el dato será corregido automáticamente al límite máximo que se puede ingresar.

(6) En el sector derecho de esta pantalla se tiene dos gráficas de termómetros que representan los PRT que serán instalados en la cámara calorimétrica, con niveles de temperatura que van desde 60 °C a -35 °C o su equivalente en Fahrenheit o Kelvin, arriba de cada termómetro se representa el valor que marcan en números decimales.

(7) Dos indicadores, en la parte inferior de la pantalla muestran el monitoreo de la presión que se tiene en la tubería del sistema de refrigeración y la velocidad de giro del agitador.

(8) Selector que permite el cambio de unidad de mediada de a °C, °F, °K.

(9) Los botones BEFORE y NEXT, sirven para selecciona el termómetro ubicado en el visualizador del vaso de Dewar. En el centro se observa el número del mismo, además una imagen que sobrepone un círculo sobre el número de termómetro seleccionado.

(10) En la parte central se aprecia un gráfico circular enumerado a su alrededor desde el uno al veinte y tres con un led en el sector inferior de cada número, que representa los termómetros en la bandeja de la cámara termométrica.

(11) Selector de la pantalla CALIBRACIÖN/MANTENIMIENO.

(12) Botón START que inicia el proceso de calentar o enfriar el líquido calorimétrico

CAPITULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

Con el sistema totalmente armado y en funcionamiento se realizaron las pruebas que permiten comprobar el funcionamiento del software y del hardware.

Se iniciará con la pruebas a cada una de las etapas de manera separada con la finalidad de corregir errores en caso de existir, una vez comprobado que las distintas etapas funcionen correctamente se probará el proceso de forma completa, analizando los resultados obtenidos y realizando las correcciones correspondiente para un perfecto funcionamiento.

4.1 PRUEBAS DE CALENTAMIENTO DEL LÍQUIDO CALORIMÉTRICO

El líquido calorimétrico se calienta rápidamente utilizando un calentador eléctrico de inmersión cuya varilla va introducida en el líquido.

Dentro del vaso se encuentra instalado un sistema de agitación que mueve y mezcla el líquido, el cual está impulsado por un motor eléctrico, conectado a un variador de velocidad para regular la velocidad del agitador, según la consistencia y temperatura del líquido calorimétrico.

Para realizar las pruebas se inicia con temperaturas mayores a la ambiente, con lo que se verifica la efectividad de la resistencia eléctrica y se estima un tiempo de calentamiento por cada grado.

En la Figura 4.1 se observa la variación de la temperatura en el líquido calorimétrico una vez encendida la resistencia instalada para este fin

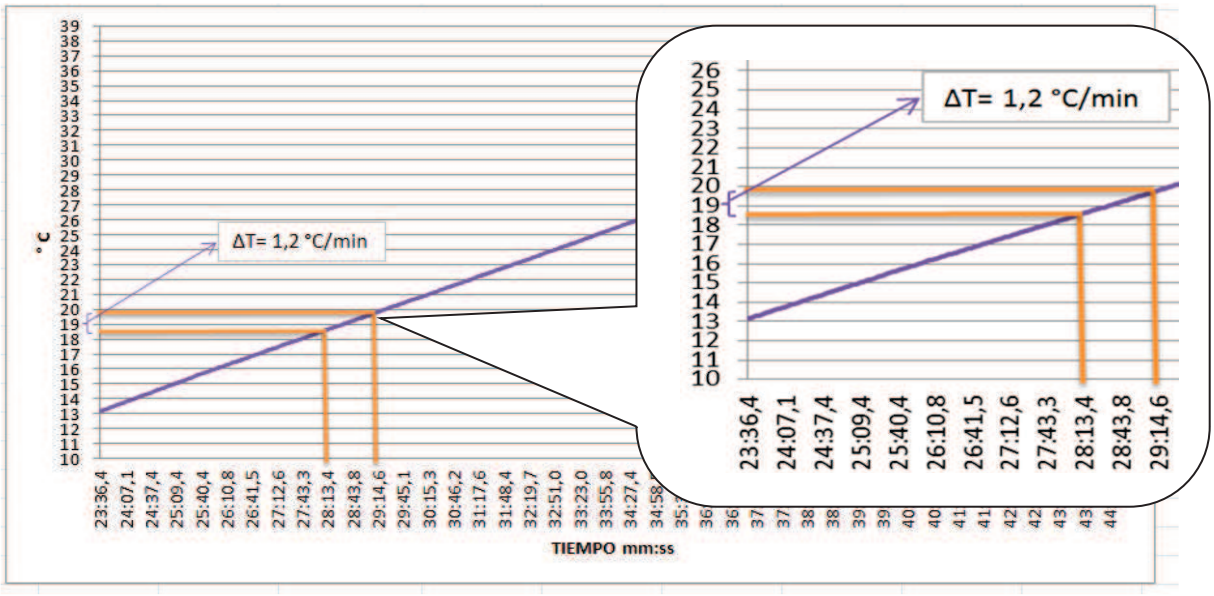


Figura 4.1 Grafica de la temperatura en función del tiempo

La variación de las temperaturas se muestra en las siguientes tablas.

TIEMPO mm:ss	°C
23:36,4	13,1517
24:07,1	13,7698
24:37,4	14,3915
25:09,4	15,0222
25:40,4	15,6578
26:10,8	16,2512
26:41,5	16,8341
27:12,6	17,4289
27:43,3	18,0256
28:13,4	18,6299
28:43,8	19,206
29:14,6	19,8115
29:45,1	20,4085
30:15,3	20,9806
30:46,2	21,5937
31:17,6	22,1988
31:48,4	22,78
32:19,7	23,3605
32:51,0	23,9842
33:23,0	24,5663
33:55,8	25,1907

TIEMPO mm:ss	°C
34:27,4	25,7956
34:58,5	26,3644
35:30,7	26,986
36:01,1	27,5295
36:31,4	28,088
37:03,1	28,6783
37:34,5	29,2675
38:04,5	29,8315
38:34,0	30,3588
39:03,4	30,8849
39:33,4	31,4549
40:04,7	32,0319
40:33,9	32,5544
41:04,4	33,0867
41:34,4	33,6178
42:04,6	34,1897
42:35,1	34,7235
43:04,5	35,2506
43:33,7	35,7654
44:02,2	36,2845

Tabla 4.1 Aumento de temperatura.

Se puede observar la variación de la temperatura a distintos niveles. El cambio de temperatura es en promedio de 1.2 °C por minuto y en total se tiene un cambio de temperatura desde 13.15 °C a 36.28°C en un tiempo aproximado de 20 minutos.

Uno de los objetivos del vaso de Dewar es mantener estable la temperatura del líquido calorimétrico, por lo cual se analizará la temperatura de descenso del líquido para ver si esto se cumple.

Se inicia con la tabla de variación de la temperatura en función del tiempo que va desde el valor máximo en descenso.

TIEMPO mm:ss	°C
11:54,4	60,0513
12:23,0	59,9917
12:51,1	59,9343
13:19,2	59,8734
13:47,5	59,8193
14:15,5	59,7596
14:44,1	59,7028
15:12,4	59,6448
15:40,4	59,5886
16:08,3	59,5336
16:36,4	59,4807
17:04,7	59,4207
17:32,7	59,3661
18:00,7	59,314
18:29,0	59,2613
18:56,8	59,2086
19:24,8	59,1543
19:52,7	59,1012
20:21,0	59,0453
20:49,1	58,9923
21:17,7	58,9335

TIEMPO mm:ss	°C
21:45,7	58,8795
22:14,9	58,8227
22:42,8	58,7665
23:11,1	58,7113
23:39,2	58,6562
24:07,3	58,6013
24:35,5	58,5452
25:03,6	58,4909
25:31,6	58,4388
25:59,7	58,3897
26:27,7	58,3395
26:56,1	58,2848
27:24,2	58,2329
27:52,3	58,179
28:20,5	58,1248
28:48,5	58,0729
29:17,5	58,019
29:46,4	57,9655
30:14,6	57,9147
30:43,2	57,8659

Tabla 4.2 Datos descenso de temperatura.

Con los datos se tiene que la temperatura desciende desde 60 °C aproximadamente a 59°C en un tiempo promedio de 8 minutos, lo cual es muy satisfactorio porque es clara la conservación de la temperatura dentro del vaso de Dewar.

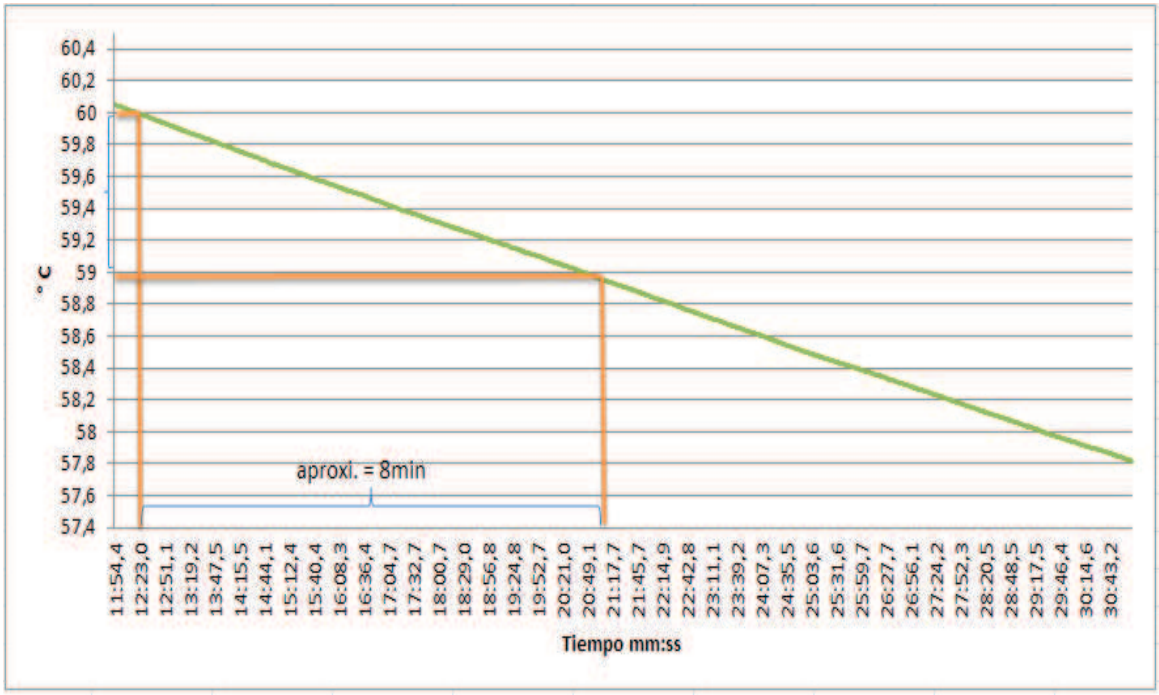


Figura 4.2 Gráfica descenso de temperatura.

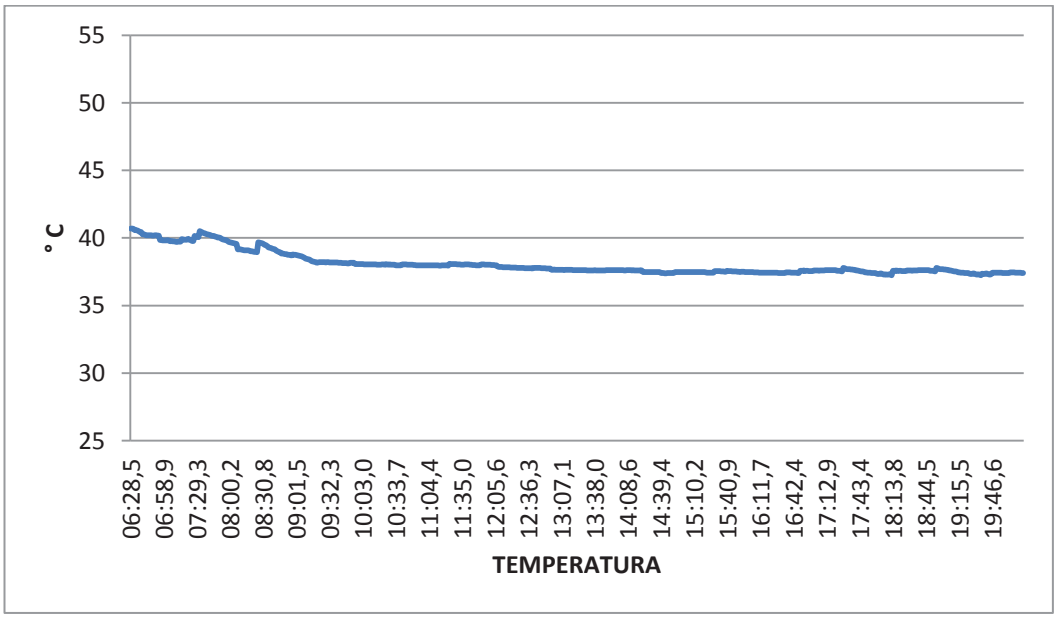


Figura 4.3 Presión registrada (calentar).

La presión se mantuvo en valores de aproximadamente 38 PSI durante todo el proceso, lo cual es de esperarse ya que no se ha encendido el sistema de refrigeración y está dentro de los niveles de presión recomendados por los técnicos que realizaron la instalación del sistema.

Con estos datos se puede concluir que el sistema en conjunto realiza correctamente su función calentando el líquido y manteniendo dicha temperatura por un tiempo aproximado de 8 minutos por cada grado en el descenso.

4.2 PRUEBAS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Se inició con el descenso de la temperatura encendiendo el compresor para que descienda hasta el límite inferior. El líquido empezó a enfriar desde 23 °C aproximadamente y la gráfica que describió se presenta a continuación.

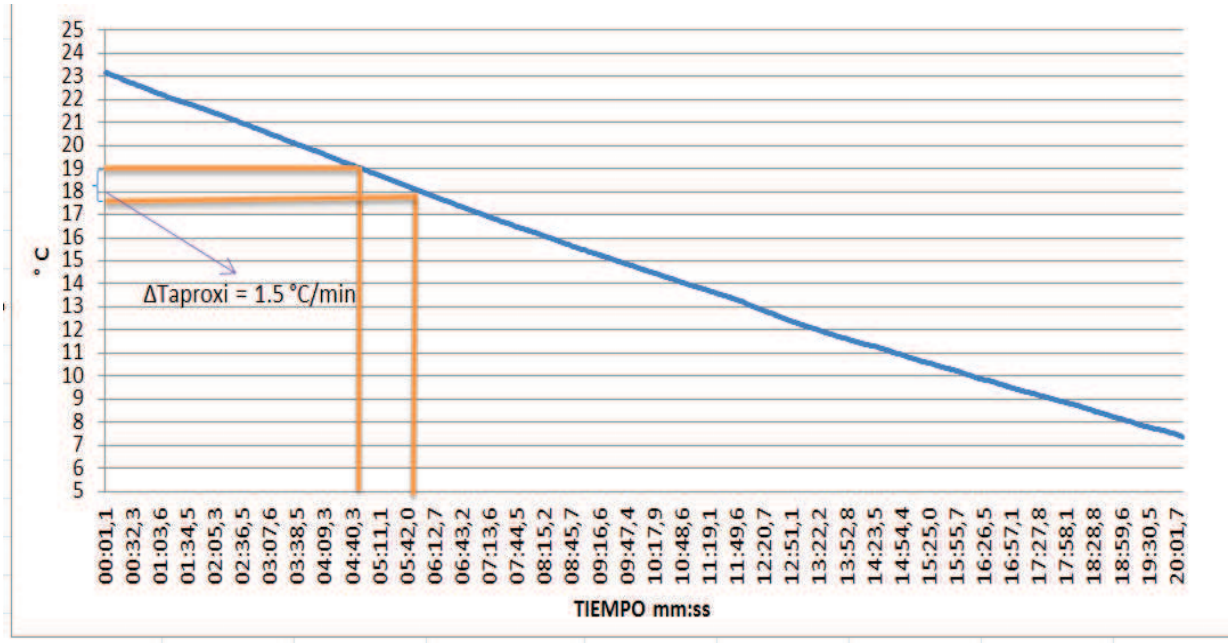


Figura 4.4 Gráfica descenso de temperatura encendido sistema de refrigeración.

En las medidas realizadas obtuvimos datos que se muestran en las tablas.

TIEMPO mm:ss	°C
00:01,1	23,1761
00:32,3	22,6922
01:03,6	22,1637
01:34,5	21,7065
02:05,3	21,212
02:36,5	20,8437
03:07,6	20,6981
03:38,5	20,1492
04:09,3	19,6391
04:40,3	19,1152
05:11,1	18,8234
05:42,0	18,5963
06:12,7	18,0631
06:43,2	17,5426
07:13,6	17,0334
07:44,5	16,5395
08:15,2	16,0772
08:45,7	15,5761
09:16,6	15,1294
09:47,4	14,9432

TIEMPO mm:ss	°C
10:17,9	14,6751
10:48,6	14,2166
11:19,1	13,7833
11:49,6	13,3415
12:20,7	12,7979
12:51,1	12,2802
13:22,2	11,8302
14:23,5	11,4231
14:54,4	11,0322
15:25,0	10,614
15:55,7	10,2238
16:26,5	9,81134
16:57,1	9,39072
17:27,8	9,01772
17:58,1	8,63968
18:59,6	8,20694
17:58,3	7,80641
19:30,5	7,44331
20:01,7	7,12311

Tabla 4. 3 Tablas de descenso de temperatura

Como se observa en los datos de las tablas anteriores la variación de la temperatura de descenso es de 1.5 °C por minuto aproximadamente, con lo que se procedió con temperaturas bajas.

TIEMPO mm:ss	°C
20:35,7	7,147792
22:22,0	6,067792
24:08,4	4,987792
25:54,8	3,907792
27:41,2	2,827792
29:27,6	1,747792
31:13,9	0,667792
31:35,2	0,451792
31:55,4	0,289792
32:06,1	0,181792
32:07,1	0,127792
32:16,7	0,073792

TIEMPO mm:ss	°C
32:17,8	0,019792
32:27,3	-0,034208
32:28,4	-0,088208
32:38,0	-0,142208
32:39,0	-0,196208
32:48,6	-0,250208
33:03,9	-0,450401
33:12,2	-0,532155
33:35,7	-0,754284
33:59,8	-0,974758
34:25,3	-1,20894
34:50,2	-1,42834

Tabla 4.4 Descenso temperatura niveles bajo 0 °C

Ahora al comparar las tablas 4.4 y 4.5 se puede comprobar que el tiempo de refrigeración para llegar desde 23°C a 0°C es de aproximando 32 minutos.

Una vez llegada a esta temperatura el descenso fue más lento hasta llegar a los siguientes niveles.

TIEMPO hh:mm:ss	°C
1:35:54	-19,8652
1:36:24	-19,9843
1:36:55	-20,1046
1:37:25	-20,2244
1:37:55	-20,3395
1:38:25	-20,447
1:38:55	-20,5543
1:38:56	-20,5592
1:39:25	-20,6611
1:39:55	-20,7647
1:40:25	-20,8641
1:40:55	-20,9645
1:41:25	-21,0697
1:41:55	-21,1695
1:42:26	-21,2675

TIEMPO hh:mm:ss	°C
1:43:29	-21,4704
1:44:02	-21,5706
1:44:35	-21,6725
1:45:08	-21,7737
1:45:43	-21,8795
1:46:17	-21,9789
1:46:51	-22,0731
1:47:26	-22,1705
1:48:00	-22,2656
1:48:31	-22,3483
1:49:03	-22,4303
1:49:36	-22,51
1:50:10	-22,5968
1:50:46	-22,6858
1:51:19	-22,7692

Tabla 4.5 Descenso temperatura niveles - 20 °C

El descenso de la temperatura fue mucho más lento debido a que el líquido de prueba (propilenglicol) llegó a niveles muy altos de viscosidad lo que dificultaba la distribución de calor por todo el líquido.

TIEMPO hh:mm:ss	°C
4:13:28	-29,0021
4:21:15	-29,2008
4:21:46	-29,2314
4:22:29	-29,2718
4:23:21	-29,3212
4:24:13	-29,371
4:24:56	-29,4161
4:25:34	-29,4525
4:26:13	-29,492
4:26:54	-29,5349
4:27:21	-29,5615
4:27:51	-29,5902
4:28:19	-29,6174
4:28:45	-29,6435
4:29:11	-29,6697
4:29:34	-29,6938
4:29:54	-29,7138
4:30:17	-29,7392
4:30:55	-29,7713

TIEMPO hh:mm:ss	°C
4:31:20	-29,7967
4:31:45	-29,8193
4:32:15	-29,8465
4:32:45	-29,8737
4:33:20	-29,9067
4:33:46	-29,9308
4:34:11	-29,9542
4:34:33	-29,9768
4:34:52	-29,9956
4:34:53	-29,9976
4:34:54	-29,9991
4:34:55	-30
4:34:57	-30,0016
4:34:58	-30,0027
4:34:59	-30,0049
4:35:01	-30,004
4:35:02	-30,0055
4:35:07	-30,0111
4:35:15	-30,0191

Tabla 4.6 Descenso temperatura niveles -30 °C

El nivel podía seguir en descenso pero no fue adecuado seguir debido a que se demoraba mucho tiempo, una de las razones principales es que el líquido usado para estas pruebas (propilenglicol) no era el adecuado debido a que a niveles muy bajos de temperatura se volvió muy viscoso.

Una vez en el valor máximo alcanzado se esperó un tiempo de estabilización del líquido y se registró los valores de temperatura para verificar si se mantenía la temperatura a la que se llegó.

TIEMPO mm:ss	°C
41:22,1	-30,3328
41:56,5	-30,3172
42:31,3	-30,2936
43:05,7	-30,252
43:40,6	-30,1991
44:15,3	-30,1329
44:50,0	-30,0622
45:25,1	-29,9913
46:01,7	-29,915
46:39,4	-29,8371
47:17,1	-29,7614
47:55,5	-29,6879
48:33,0	-29,615
49:10,7	-29,5452
49:48,4	-29,4725
50:26,3	-29,3966
51:04,7	-29,3227
51:42,5	-29,2465

TIEMPO mm:ss	°C
52:20,1	-29,1751
52:58,0	-29,1025
53:35,8	-29,0308
54:13,4	-28,9623
54:51,3	-28,8922
55:28,9	-28,8267
56:07,4	-28,7637
56:44,9	-28,7017
57:21,7	-28,642
57:56,7	-28,5871
58:31,6	-28,5031
59:06,9	-28,4577
59:42,1	-28,4124
1:00:17	-28,3698
1:00:52	-28,3248
1:01:27	-28,274
1:02:02	-28,2213
1:02:38	-28,1624

Tabla 4.7 Ascenso de la temperatura con el compresor apagado.

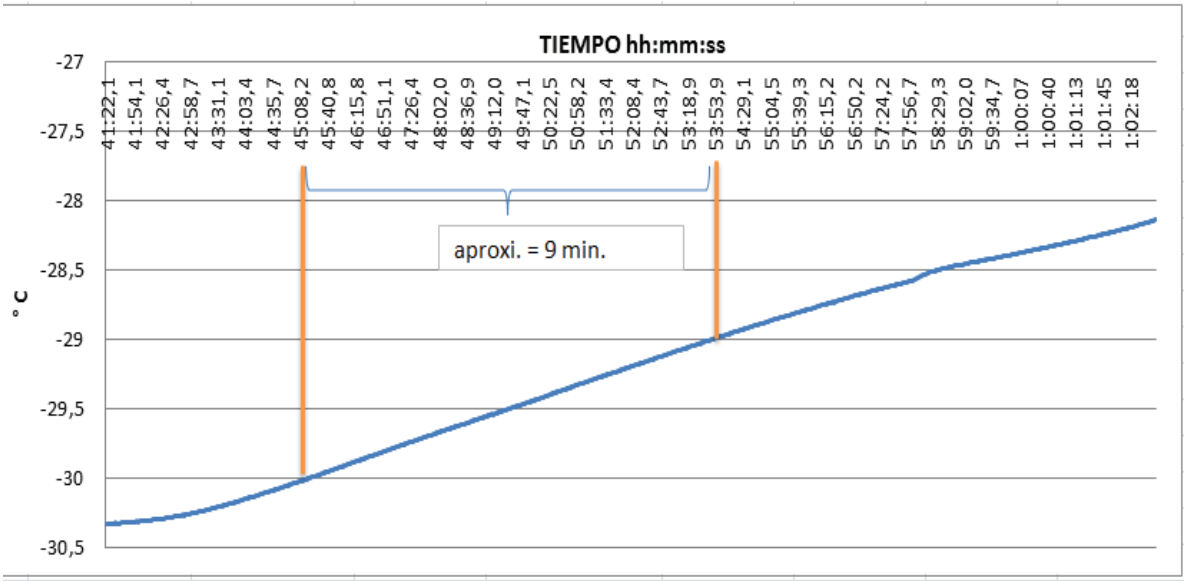


Figura 4.5 Gráfica ascenso de temperatura compresor apagado.

Como se observa en la gráfica y en los datos de las Tablas 4.7 anteriores se tiene un ascenso de la temperatura de 1°C en 9 minutos aproximadamente.

La presión se mantuvo constante en la mayoría de niveles de temperatura, pero al acercarnos a los -25°C descendió a 9 PSI en donde se mantuvo.

Este dato de presión ayudó a determinar la existencia de una fuga del gas refrigerante en la manguera que permite la medida de esta variable, lo que fue corregido posteriormente para obtener los resultados deseados.

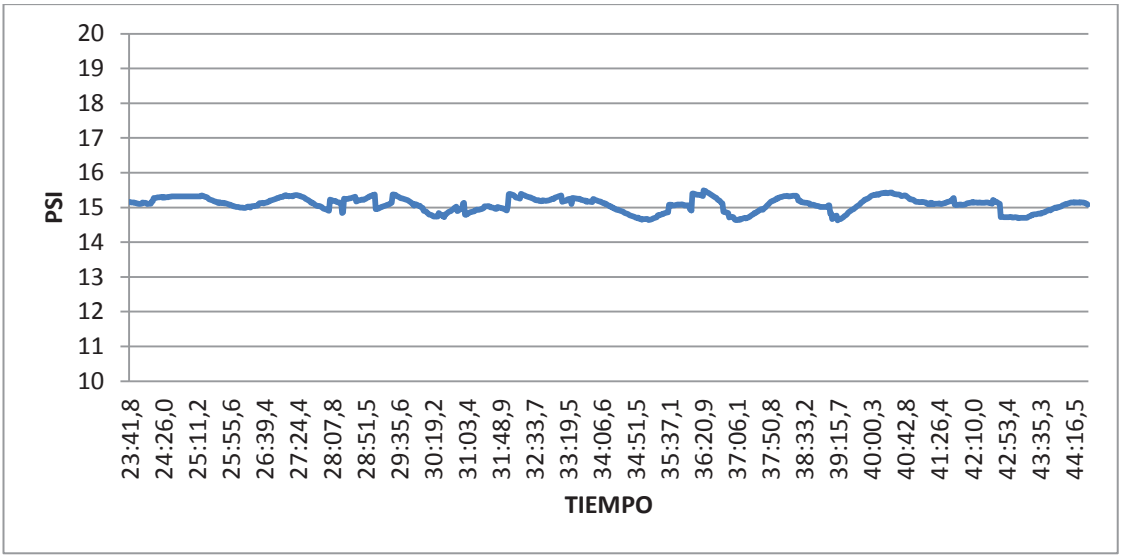


Figura 4.6 Presión registrada.

Se concluye que la cámara termométrica es capaz de cumplir con sus objetivos ya que llegó a los niveles de temperatura deseados.

4.3 PRUEBAS DEL SISTEMA DE CONTROL

La primera prueba fue la detección de termómetros, el proceso inicia cuando se activa el botón con el nombre DETECCIÓN. En este caso se colocó 4 termómetros en posiciones aleatorias y el resultado se muestra en las siguientes figuras.

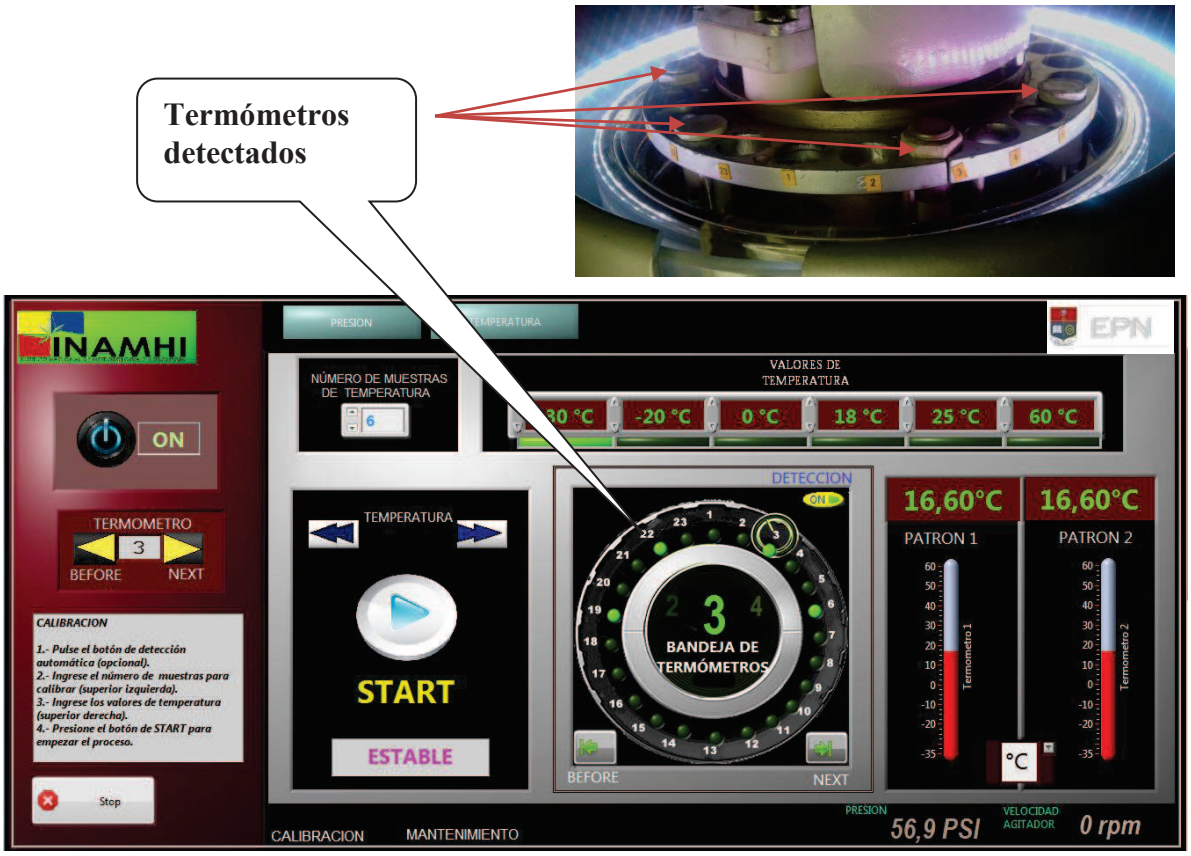


Figura 4.7 HMI detección de termómetros.

Como se observa en la parte central de la HMI en la Figura 4.7 se encuentran señalados los termómetros que están en las posiciones 3, 6, 19 y 22. Una vez detectados los termómetros, la bandeja se traslada al termómetro más cercano que en este caso fue el tres.

Se ingresó 6 valores de temperatura que inmediatamente fueron ordenados en forma ascendente por el programa. Se seleccionó un valor mayor al registrado por el termómetro patrón para verificar el funcionamiento del calentador eléctrico.

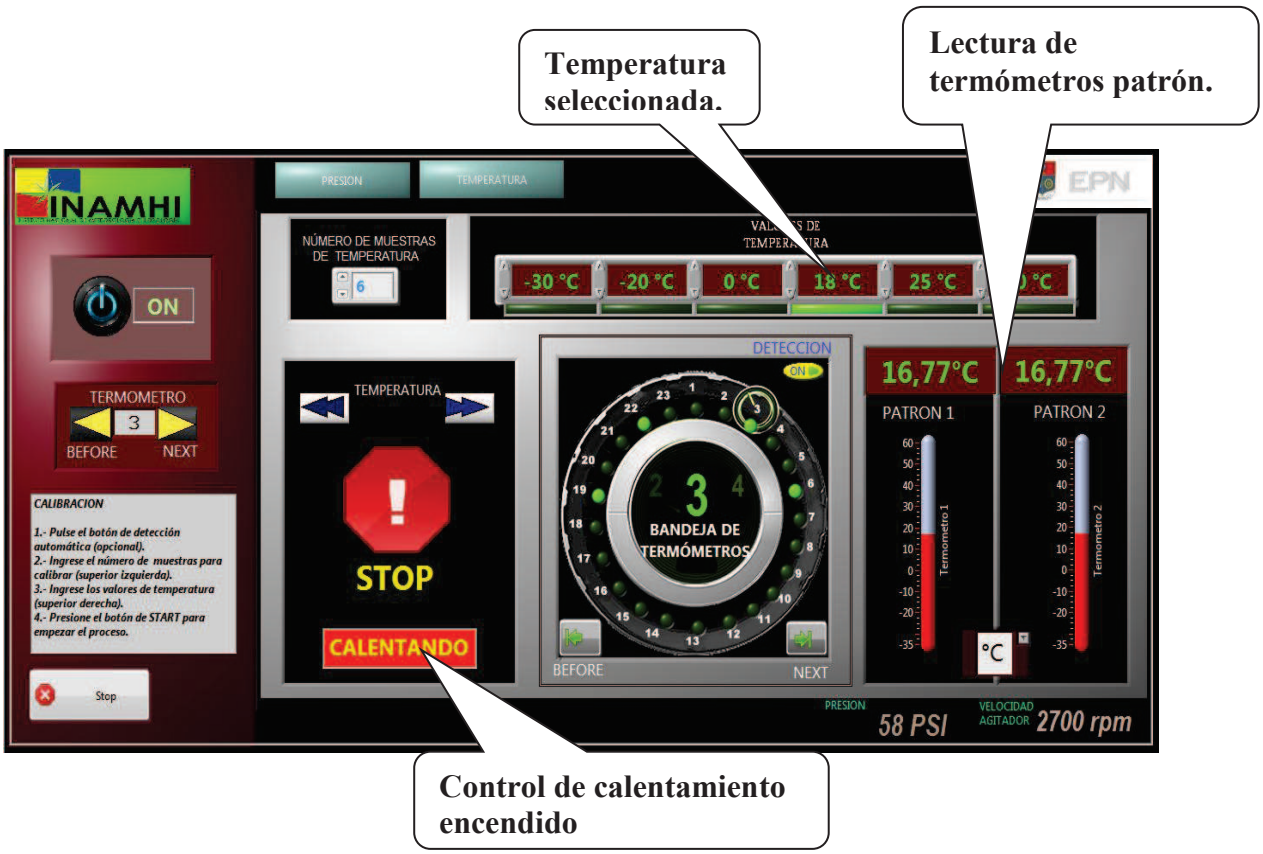


Figura 4.8 HMI accionamiento control de temperatura.

En este caso la temperatura seleccionada es 18 °C y la registrada por los termómetros patrón es de 16.77 °C, en consecuencia el control activado es el calentador como se observa en la figura anterior.

Para comprobar el funcionamiento del sistema de refrigeración se seleccionó un valor inferior, para este caso -30 °C mientras que el registrado por los termómetros es de 16.60 °C por ende el control que se enciende es el de refrigeración como se indica en la siguiente figura.

Figura 4.9 HMI accionamiento control de temperatura.

En la etapa de MANTENIMIENTO también se probó el funcionamiento realizando el filtrado del líquido calorimétrico como se observa en la Figura 4.10. Las indicaciones de qué acción se puede realizar en este etapa aparecen en la izquierda de la pantalla.

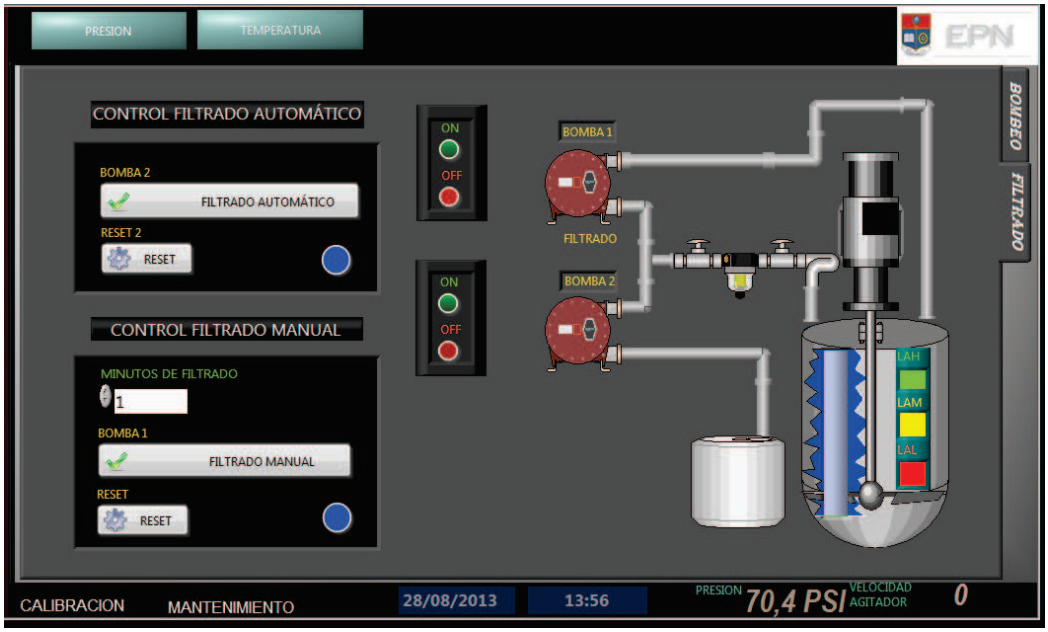


Figura 4.10 HMI etapa de filtrado.

Cuando se acciona el botón de filtrado se indica en el diagrama del proceso a la derecha la acción que se realiza en ese momento.

Las alarmas mostradas en el proceso nunca se activaron debido a que el equipo no sobrepasó los parámetros establecidos, por lo cual se comprobó su funcionamiento de manera simulada.

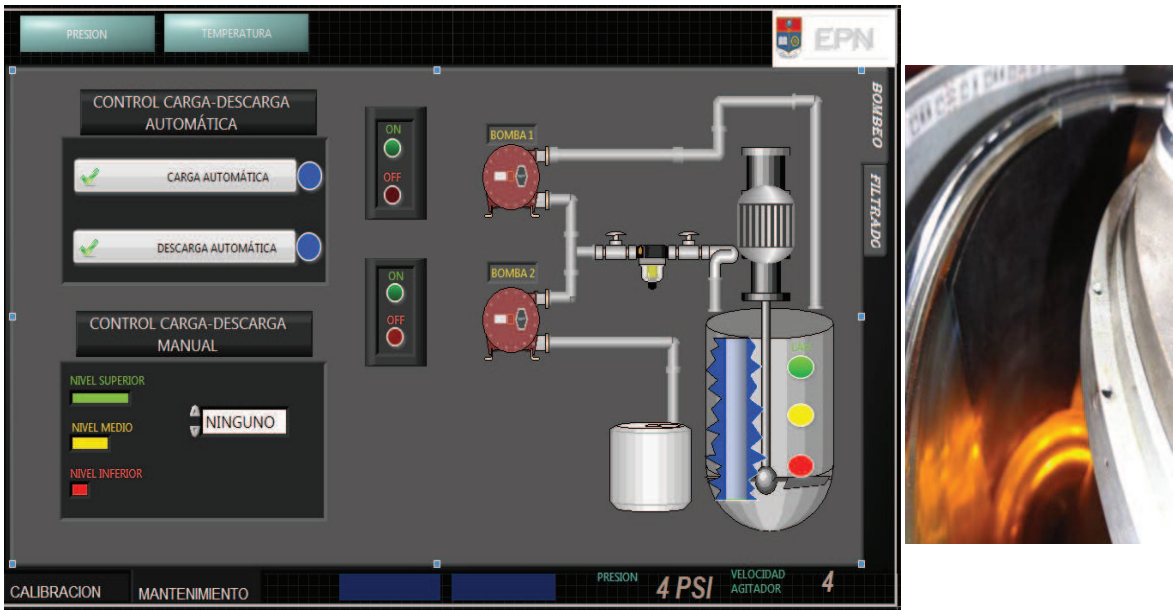


Figura 4.11 HMI etapa de carga/descarga.

El sensor infrarrojo que controla la bomba de carga-descarga no funcionaba en su rango debido a que el vaso Dewar tiene una capa de espejo en su interior, razón por la cual su valor cambiaba de manera abrupta, debido a lo cual se puso una lámina para evitar la reflexión de su haz consiguiendo un rango adecuado para la aplicación.

Para la prueba del control implementado se seleccionó cuatro valores de temperatura y se graficó los resultados registrados por el termómetro patrón ya que este registra la temperatura del líquido calorimétrico.

Las gráficas de respuesta del sistema de los primeros valores de temperatura de 18° C y 25°C se indican en la Figura 4.12.

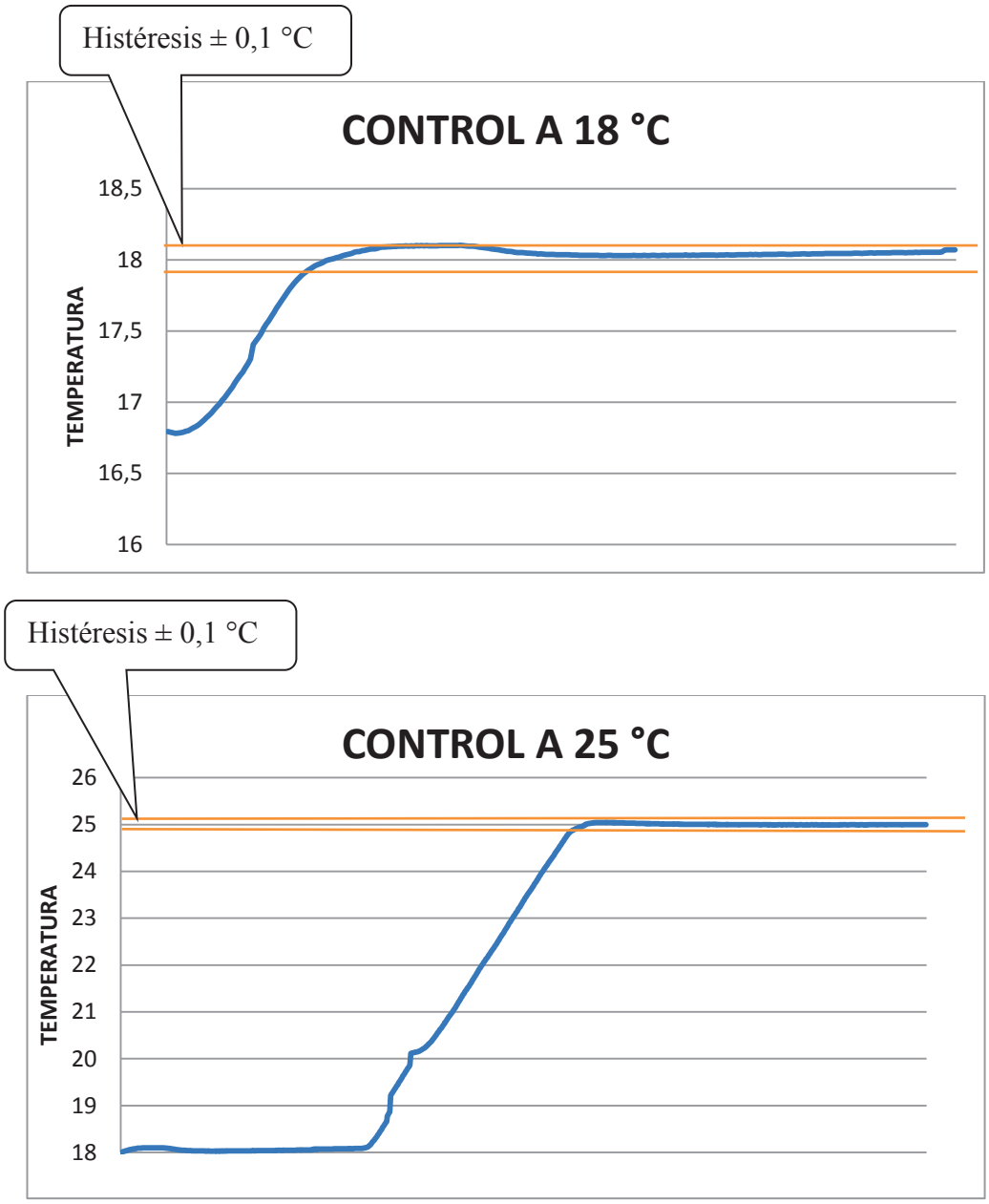


Figura 4.12 Gráficas de respuesta del sistema.

En las gráficas se observa que una vez activado el calentador, la temperatura sube de manera uniforme hasta llegar al valor deseado en donde se estabiliza y se mantiene hasta una nueva orden. Es necesario tomar en cuenta que estas gráficas no se tratan de respuestas instantáneas del sistema ya que el tiempo de subida de la temperatura es de más o menos 1.5 minutos por °C.

Para los valores de temperatura bajas se escogió 10 °C y -5°C con los que se obtuvo las siguientes gráficas.

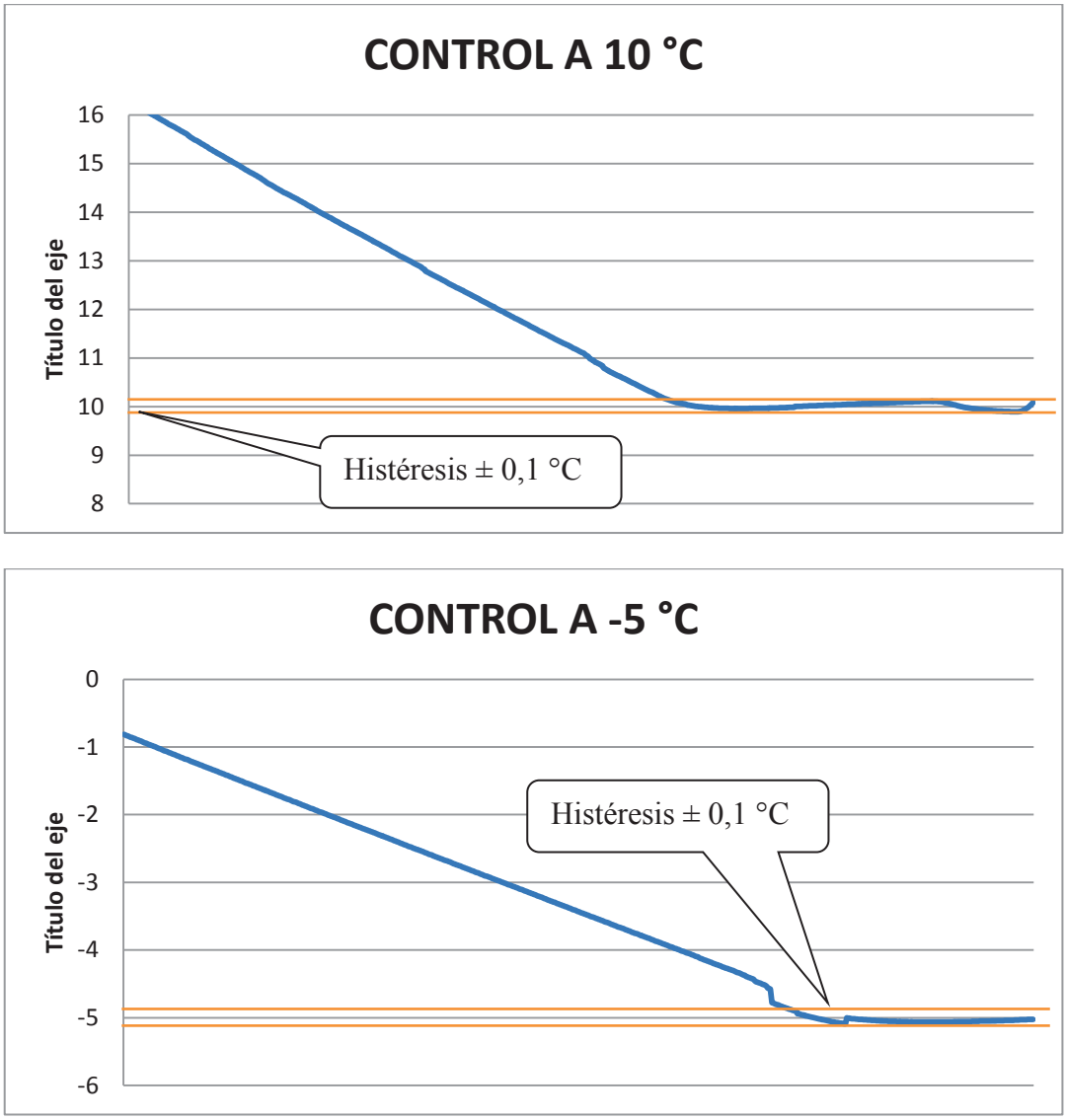


Figura 4.13 Respuesta del sistema niveles bajos de temperatura.

De igual manera se observa que al encender el sistema de refrigeración la temperatura empieza a descender hasta llegar al valor solicitado en donde el sistema de control se encarga de mantener constante.

4.4 PRUEBAS DE CONTRASTACIÓN DE TERMÓMETROS DE MERCURIO

Los procedimientos y cálculos hechos a continuación son realizados para verificar el correcto funcionamiento de los termómetros de mercurio, mediante las pruebas

de contrastación en las que se sigue el procedimiento redactado a continuación que hace referencia al OMM-No 622. (Organización Mundial de Meteorología).

4.4.1 PROCEDIMIENTO DE CONTRASTACIÓN.

a) Seleccionar la temperatura a la que se desea comparar los termómetros. Para ello escoger la temperatura de uso o tres temperaturas que abarquen la escala del termómetro a contrastar. Se recomienda realizar la contrastación a temperaturas crecientes.

b) Sumergir el termómetro a calibrar y la sonda patrón. Colocarlos cerca pero con suficiente espacio entre ellos para asegurar la circulación del líquido.

c) Esperar que la temperatura se estabilice y leer la indicación de temperatura en ambos termómetros, 5 veces, de forma alternativa y dejando unos 10 segundos entre lecturas. Anotar las indicaciones del patrón (tpi) y las indicaciones del termómetro a contrastar (txi).

Se seleccionó tres valores de temperatura: un nivel bajo de -10°C, un nivel medio de 20 °C y un alto de 50°C los cuales están dentro del rango de medición y se ingresó en la HMI.

Los datos obtenidos deberán ser presentados en hojas con el formato establecido por el INAMHI. Se dará un ejemplo de cómo ubicar estos datos en dichas hojas y por fines prácticos y mayor comodidad se presentarán los datos restantes en las tablas 4.8. y 4.9.

La hoja de datos proporcionada por INAMHI inicialmente requiere el ingreso de la fecha, responsable del proceso, la hora de inicio y final. A continuación se debe especificar el tipo de termómetro de mercurio, medida del sensor patrón y de los termómetros a ser contrastados, si se tiene alguna observación y finalmente el estado de los mismos. En la parte derecha la gráfica de las lecturas.

Estas hojas deberán ser realizadas para cada valor de temperatura. En este caso el ejemplo se hizo para tres termómetros a una temperatura de -10°C.

INAMHI INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

Fecha: 17 de abril del 2013

Responsable (Nombre del operador): Ramón Chango

Hora inicio: 2:00 pm

Hora final: 6:00 pm

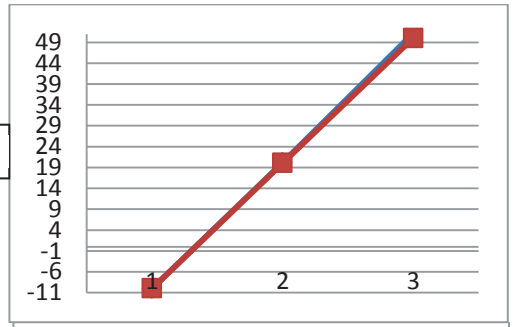
Características Sensor Patrón:

Marca: FLUKE **Rango de Temperatura**:-200 A 420 °C. .

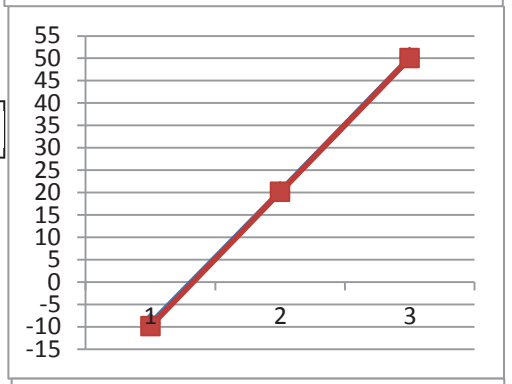
Precisión: 0.01°C

Tipo Termómetro	Temp. Patrón	Muestras	T1: Código:	δ	T2: Código:	δ	T3: Código:	δ	Observaciones
Bulbo seco	**-9,9**	1	**-10**	**-0,05**	**-9,8**	**0,1**	**-9,8**	**0,1**	**ninguna**
Bulbo seco	**20,08**	2	**20,2**	**0,06**	**20,2**	**0,06**	**20,3**	**0,11**	**ninguna**
Bulbo seco	**50,02**	3	**50,2**	**0,18**	**50,4**	**0,19**	**50,2**	**0,18**	**ninguna**
		4							
		5							
		6							
		7							
				0,063		0,113		0,13	

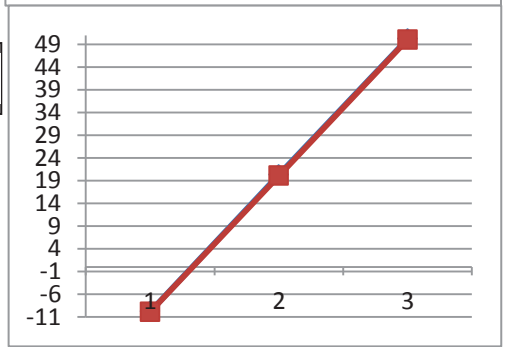
T1



T2



T3



Visto Bueno:

T1	**Buen estado**
T2	**Buen estado**
T3	**Buen estado**

T1 = termómetro 1
T2 = termómetro 2
T3 = termómetro 3

Firma Encargado.

Se obtuvo los datos expuestos en las tablas siguientes: en la primera fila se tiene el número de termómetro, en la segunda el dato registrado por el termómetro de mercurio y a continuación el valor del termómetro patrón, de igual forma para cada una de las temperaturas seleccionadas para la contrastación.

TERMÓMETRO	T1 °C	PATRON	T2 °C	PATRON	T3 °C	PATRON
	-10		20		50	
BULBO SECO	-9,9	-9,9	20,2	20,08	50,2	50,02
	-9,9	-9,89	20,2	20,09	50,1	50,1
T1	-9,8	-9,93	20,1	20,04	50,1	49,97
	-9,9	-9,92	20,1	20,01	50	49,93
	-10	-10,06	20,1	20	50,02	50
BULBO SECO	-9,8	-9,9	20,2	20,05	50,4	50
	-9,6	-9,88	20,2	20,02	50,3	50,1
T2	-9,8	-9,95	20,3	20,03	50,3	49,89
	-9,8	-9,95	20,3	20,04	50,4	49,99
	-9,8	-9,1	20,3	20,04	50,2	50,03
BULBO HUMEDO	-9,8	-9,88	20,3	20,04	50,2	49,93
	-10	-10	20,2	20,05	50,1	49,96
T3	-10,1	-10,05	20,3	20,05	50,1	50,02
	-9,9	-9,96	20,3	20,05	50	49,98
	-9,8	-9,95	20,2	20,05	50,2	50,04
BULBO SECO	-9,4	-9,9	20,3	20,04	50,2	50,1
	-9,6	-9,96	20,2	20,05	50,3	50,03
T6	-9,2	-9,46	20,3	20,07	50,2	49,91
	-9,4	-9,94	20,3	20,07	50,4	49,98
	-9,4	-9,6	20,3	20,08	50,2	49,92

Tabla 4.8 Datos medidos de temperatura.

Al tener termómetros de distintos tipos como se indica en la tabla anterior se estableció niveles de temperatura para los termómetros de máxima y mínima obteniendo los siguientes resultados.

TERMÓMETRO	T1 °C	PATRON	T2 °C	PATRON	T3 °C	PATRON
	20		30		50	
máxima	20,3	20,07	30,1	30,02	50,2	50,01
	20,2	20,08	30,2	30	50,2	50
T4	20,2	20,07	30,3	30,04	50,3	49,97
	20,3	20,07	30,3	30	50,2	49,94
	20,2	20,09	30,2	30,02	50,2	49,93

TERMÓMETRO	T1 °C	PATRON	T2 °C	PATRON	T3 °C	PATRON
	20		0		-10	
mínima	5	20,02	5	0	-3	-10,2
	5	20,03	5	-0,01	-3,2	-10,05
T5	5	20,05	5	0,01	-3	-10,03
	5	20,01	5	0,03	-3	-10,01
	5	20,09	5	-0,01	-3	-9,93
mínima	20,3	20,02	0,2	0,01	-9,8	-10
	20,3	20,03	0	-0,02	-9,9	-10,05
T8	20,2	20,05	0,1	-0,01	-9,9	-10,03
	20,3	20,01	0,2	-0,01	-9,8	-10,05
	20,2	20,09	0,2	0,01	-9,8	-9,97

Tabla 4.9 Datos medidos termómetro de mínima y máxima.

Una vez adquirido los datos de medida de temperatura de cada termómetro procedemos con el análisis y cálculo del error en cada valor de temperatura.

4.4.2 CÁLCULOS DE LA INCERTIDUMBRE [10]

Las medidas realizadas con los termómetros, tienen las siguientes fuentes de incertidumbre (u):

a) **(sp)** *Incertidumbre asociada a la dispersión de las lecturas de sensor patrón* y **(sx)** *Incertidumbre asociada a la dispersión de las lecturas del sensor a ser contrastado* se las calcula a partir de la desviación típica (s) de 5 medidas repetidas.

[10] Fuente: J. Batista Castelli, Procedimiento recomendado para la Calibración de Termómetros, 2009

$$s = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5} si$$

Ecuación 4. 1 Desviación típica.

b) ***(Ur)*** *Incertidumbre asociada a la resolución*: *la resolución del termómetro patrón* ***(rp)*** y *la del termómetro a contrastar* ***(rx)*** las cuales ocasionan errores aleatorios de redondeo.

La amplitud de la distribución de posibles errores es igual a la resolución y, en ese intervalo, cualquier valor tiene las mismas probabilidades de producirse (distribución rectangular o uniforme). En este tipo de distribución, la desviación típica es igual a la amplitud de la distribución dividida por la raíz cuadrada de 12.

(Urp) *Incertidumbre asociada a la resolución del termómetro patrón.*

$$\mathbf{Urp} = \frac{\mathbf{rp}}{\sqrt{\mathbf{12}}} = \mathbf{0,29\ rp}$$

Ecuación 4. 2 Incertidumbre asociada a la resolución del termómetro patrón

(Urx) *Incertidumbre asociada a la resolución del termómetro a contrastar.*

$$\mathbf{Urx} = \frac{\mathbf{rp}}{\sqrt{\mathbf{12}}} = \mathbf{0,29\ rx}$$

Ecuación 4. 3 Incertidumbre asociada a la resolución del termómetro a calibrar.

c) (**up***) La incertidumbre asociada a la calibración del termómetro patrón*: Se calcula a partir de los datos que proporciona el certificado del termómetro patrón. **(Up)** *La incertidumbre expandida* (generalmente para el 95% de confianza) con un valor del factor de cobertura empleado es: kp = 2.

$$u_p = \frac{U_p}{k_p} = \frac{U_p}{2}$$

up = 0.5 Up

Ecuación 4. 4 Incertidumbre asociada a la calibración del termómetro patrón

d) Otros componentes de la incertidumbre como por ejemplo el asociado a la deriva de las sondas y los termómetros, así como la homogeneidad y estabilidad del baño, pueden ser ignorados por su escasa relevancia en las aplicaciones habituales del laboratorio.

e) **(Uc)** *La incertidumbre combinada típica* se calcula a partir de la suma de cuadrados de las incertidumbres de cada componente:

$$\mathbf{Uc} = \sqrt{\mathbf{sp^2} + \mathbf{sx^2} + \mathbf{urp^2} + \mathbf{urx^2} + \mathbf{up^2}}$$

$$\mathbf{Uc} = \sqrt{\mathbf{sp^2} + \mathbf{sx^2} + (\mathbf{0,29\ rp})^2 + (\mathbf{0,29\ rx})^2 + (\mathbf{0,5\ Up})^2}$$

Ecuación 4.5 Incertidumbre combinada típica.

f) La incertidumbre combinada expandida (Uc) para el intervalo de confianza de aproximadamente el 95% resulta de multiplicar la anterior por el factor de cobertura 2.

$$\mathbf{Uc} = \mathbf{2} \times \sqrt{\mathbf{sp^2} + \mathbf{sx^2} + (\mathbf{0,29\ rp})^2 + (\mathbf{0,29\ rx})^2 + (\mathbf{0,5\ Up})^2}$$

Ecuación 4.6 Incertidumbre combinada expandida.

Estos cálculos se presentan en la siguiente tabla.

Datos del termómetro patrón	
rp	0,011
rx	0,2
Kp	2
Incertidumbre de calibración	0,01

Datos técnicos obtenidos de las especificaciones del termómetro digital PRT.

En la taba puede ver en la primera fila el número de termómetro a contrastar, en la segunda fila la temperatura de contrastación y a continuación las incertidumbres **sx, sp, Urp, Urx, Up** y **Uc**. A continuación se tiene el error simple de las medidas **Es** que es igual a la diferencia entre la lectura del termómetro de mercurio y el patrón, finalmente el error total **E-TOTAL** que es la suma de Es y Uc.

TIPO TERMÓMETRO	TEMPERATURA	Sx	Sp	Urp	Urx	Up	Uc	Es	E-TOTAL
T1	(-)10 °C	0,0632	0,0616	0,00319	0,058	0,005	0,2117	-0,04	0,1717
	20 °C	0,0490	0,0361	0,00319	0,058	0,005	0,1686	-0,096	0,0726
	50 °C	0,0709	0,0568	0,00319	0,058	0,005	0,2158	-0,08	0,1358
T2	(-)10 °C	0,0800	0,3292	0,00319	0,058	0,005	0,6874	0,004	0,6914
	20 °C	0,0490	0,0102	0,00319	0,058	0,005	0,1537	-0,224	-0,0703
	50 °C	0,0748	0,0679	0,00319	0,058	0,005	0,2334	-0,318	-0,0846
T3	(-)10 °C	0,1166	0,0354	0,00319	0,058	0,005	0,2702	-0,068	0,2022
	20 °C	0,0490	0,0040	0,00319	0,058	0,005	0,1525	-0,192	-0,0395
	50 °C	0,0748	0,0398	0,00319	0,058	0,005	0,2057	-0,134	0,0717
T6	(-)10 °C	0,1265	0,2034	0,00319	0,058	0,005	0,4931	-0,372	0,1211
	20 °C	0,0400	0,0147	0,00319	0,058	0,005	0,1444	-0,218	-0,0736
	50 °C	0,0800	0,0708	0,00319	0,058	0,005	0,2434	-0,272	-0,0286
máxima T4	20 °C	0,0490	0,0080	0,00319	0,058	0,005	0,1531	-0,164	-0,0109
	30 °C	0,0748	0,0150	0,00319	0,058	0,005	0,1921	-0,204	-0,0119
	50 °C	0,0400	0,0316	0,00319	0,058	0,005	0,1549	-0,25	-0,0951
mínima T5	20 °C	0,0000	0,0283	0,00319	0,058	0,005	0,1296	15,04	15,1696
	0 °C	0,0000	0,0150	0,00319	0,058	0,005	0,1204	-4,996	-4,8756
	(-)10 °C	0,0800	0,0880	0,00319	0,058	0,005	0,2649	-7,004	-6,7391
mínima T7	20 °C	0,0490	0,0283	0,00319	0,058	0,005	0,1625	-0,22	-0,0575
	0 °C	0,0800	0,0120	0,00319	0,058	0,005	0,1994	-0,144	0,0554
	(-)10 °C	0,0490	0,0310	0,00319	0,058	0,005	0,1644	-0,18	-0,0156

Tabla 4.10 Errores calculados.

Los termómetros que presenten un error de mayor al E-TOTAL= +/- 0,3% en algunas de sus medidas serán puesto fuera de servicio.

TERMÓMETROS	Temperatura	Uc	Observación.
T1	(-)10 °C	0,2117	No presento valores fuera de rango
	20 °C	0,1686	
	50 °C	0,2158	
T2	(-)10 °C	0,6874	**fuera de rango**
T3	(-)10 °C	0,2702	No presento valores fuera de rango
	20 °C	0,1525	
	50 °C	0,2057	
T4	20 °C	0,1531	No presento valores fuera de rango
	30 °C	0,1921	
	50 °C	0,1549	
T5	20 °C	15,04	**Valores fuera de rango**
	0 °C	-4,996	
	(-)10 °C	-7,004	
T6	(-)10 °C	0,1211	No presento valores fuera de rango
	20 °C	-0,0736	
	50 °C	-0,0286	
T7	20 °C	0,1625	No presento valores fuera de rango
	0 °C	0,1994	
	(-)10 °C	0,1644	

Tabla 4.11 Resumen de errores.

Al observar la Tabla 4.12 se puede llegar a la conclusión que **los termómetros 2, 5** sobrepasan el error mínimo requerido, por lo que son puestos fuera de servicio y los **termómetros 1, 3, 4, 6, 7**, se encuentran en buen estado.

4.5 ANALISIS DE COSTOS DEL PROYECTO.

A continuación se presenta el detalle de la lista de precios de los equipos usados en el proyecto y de los servicios técnicos que fueron requeridos para el mejoramiento de la estructura.

ELEMENTOS	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO
sensores temperatura Patrón	2	PRT 5616 FLUKE	en proceso
Líquido calorimétrico	20	20 litros, aceite de silicona	en proceso
Relé	2	sistema refrigeración, calentador, 12v, 220v, 15A	16
CompactDAQ	1	Chasis, módulos NI 9201, NI 9217, NI 9263, NI 9481, NI 9472	4800
Sensor infrarrojo nivel 10-80 cm	1	Sensor infrarrojo, 5v, 10 -80 cm	42
Sensor infrarrojo 8-10 cm	1	Sensor infrarrojo, 5v, 8 -10 cm	21
Sensor efecto hall	1	Sensor efecto hall, 5v	5
Transmisor de precio	1	12v, 5 atmosferas	204,11
Fuente 12v	1	Fuente 12v, 4A	200
Motor Ac siemens	1	220v, 3600 rpm, 0.75hp	136
Variador de velocidad	1	220 v, 1Hp	188
Sistema de refrigeración	1	compresor 1/2 Hp, 110v, incluye instalación	1230,11
Resistencia eléctrica	1	110v, 1kw, 35cm	60
Bombas peristálticas	2	1.9 l/min, 12v, 120 rpm	434
Motor a pasos	1	bandeja de termómetros	55,5
Driver puente H	4	12v, TTL, 2A	135,2
Luces LED	1	1 metro, cinta LED RGB	27
Tablero	1	300 x 200 x 160 mm	65
Canaletas	1	35 x 7.5 mm	1,5
Riel Din	1	1.5 m, 35 x 7.5 mm	4,75
Borneras	50	110v	60
Servicio Técnico (mecánica)			500
Costo de ingeniería			5000
		TOTAL	13177,17

Tabla 4. 12 Costos de materiales y servicios prestados en la Cámara termométrica M340

Como se observa en la tabla anterior se tiene la lista de todos los elementos instalados en la cámara, en esta tabla también se puede observar al inicio dos sensores patrón PRT y 20 litros de aceite de silicona de la marca Fluke los cuales se mantiene en proceso de compra, motivo por el cual no se puede dar el precio exacto de adquisición pero se estima un costo en mercado de $15000.

El detalle del servicio técnico mecánico incluye: instalación de bombas peristálticas, fabricación del eje de agitación, corona dentada para el movimiento de la bandeja de termómetros, instalación motor para agitador con el costo indicado en la Tabla 4.13.

El servicio de ingeniería el cual fue realizado por nuestra parte, incluye: diseño de la HMI, montaje de equipos en el tablero de control, montaje y cableado de los sensores en la cámara, pruebas del sistema completo y su precio se indica en la Tabla 4.13.

El costo total de se indica en la parte inferior de la tabla al cual una vez realizada la adquisición de los sensores y el líquido calorimétrico se podrá realizar la suma total.

4.6 MODULO COMPLETO.

A continuación se colocan fotografías que indican el módulo completo.

Figura 4.14 Cámara completa.

Figura 4.15 Lupa para mejorar la visualización de los termómetros.

Figura 4.16 Tablero de control.

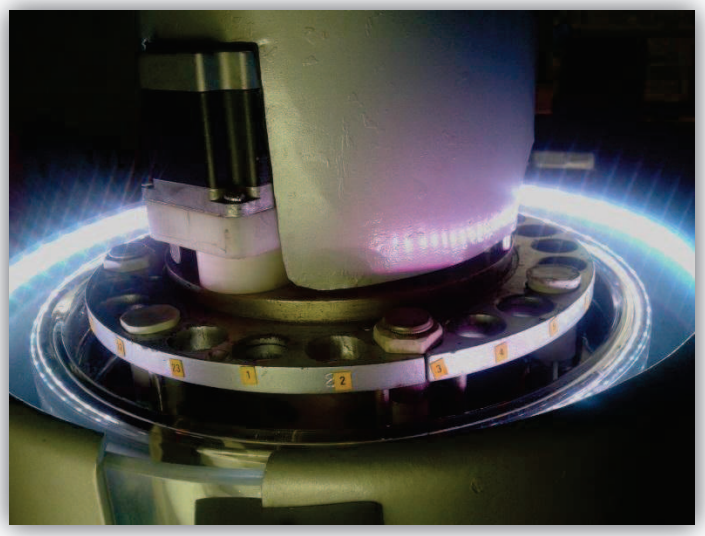


Figura 4.17 Motor a paso para el movimiento de la bandeja.

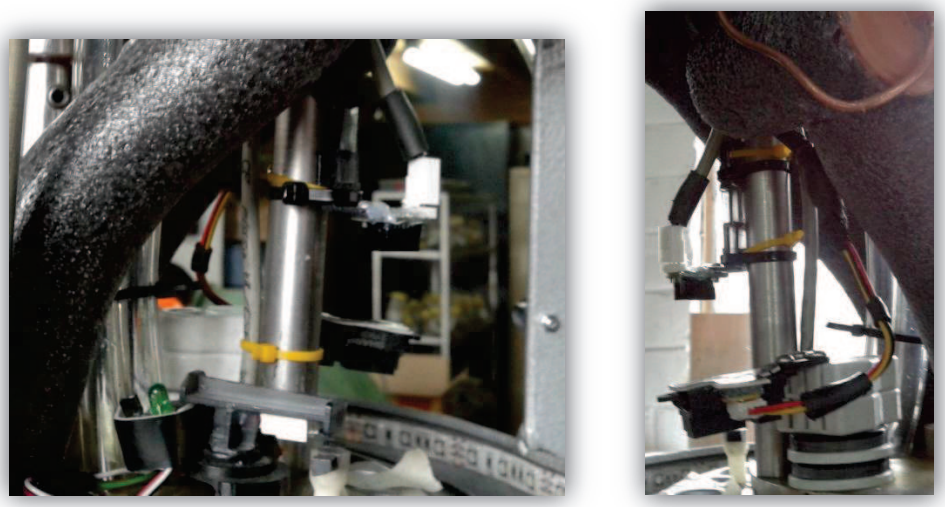


Figura 4.18 Sensores infrarrojo y de efecto hall.

Figura 4.19 Sistema de refrigeración.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En el presente capítulo se presentan las diferentes conclusiones y recomendaciones que se han obtenido en el desarrollo del proyecto de titulación.

5.1 CONCLUSIONES

- El diseño de la HMI facilita la interacción y simplifica las tareas de la actividad que esté realizando al permitir al usuario visualizar alertas y poder controlar o monitorear el proceso de una manera eficiente, con controles necesarios para su manejo y utilización, brindando seguridad al usuario.

- La Cámara termométrica M340 utiliza un termómetro patrón Pt 100 que satisface plenamente al sistema para analizar el comportamiento de la variable temperatura en el interior del líquido calorimétrico debido a que su respuesta es lineal.

- Se elaboró un programa de control de forma modular con secuencias que garanticen la correcta interrelación entre los diferentes procesos, permitan la depuración de errores y aseguren que procesos secuenciales no puedan ser detenidos de manera tempestiva y en caso de emergencia garantice la integridad del usuario.

- El laboratorio debe asegurar que las condiciones ambientales no invaliden los resultados ni comprometan la calidad requerida en las mediciones, realizando un seguimiento, controlando y registrando las condiciones ambientales según lo requieran las especificaciones y procedimientos correspondientes.

- El sistema de contrastación realiza su trabajo desde niveles inferiores de temperatura a niveles superiores, con el fin de no realizar cambios muy

extremos de temperatura los cuales podría fracturar el vaso de Dewar, ya que si este vaso se encuentra a niveles muy bajos de temperatura lo recomendable es dejar que el sistema llegue a niveles de temperatura ambiente por su propia cuenta.

- Un buen diseño y la funcionalidad con la estética está basado en conocimientos fundados sobre la percepción humana. Existen reglas de fácil aplicación, estándares y guías de estilo que facilitan el diseño de interfaces y además facilitan el aprendizaje y reducen los errores al permitir al usuario aprovechar el conocimiento adquirido en otros equipos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Antes de utilizar la Cámara Termométrica M340 se debe analizar los componentes del que está conformado para evitar su mala utilización y deterioro.

- Nunca se debe poner en funcionamiento la Cámara Termométrica M340 en modo de CALIBRACIÓN, sin antes llenar el vaso Dewar con líquido calorimétrico, debido a que el sistema dará una alarma y no continuará hasta que el error sea corregido.

- Al llenar el vaso con el líquido calorimétrico, es importante que su superficie libre quede aproximadamente 2 cm por encima del nivel que define el anillo inferior del soporte de los termómetros, porque al trabajar a bajas temperaturas hay una contracción apreciable del líquido calorimétrico y si no hay suficiente cantidad los termómetros pueden quedar fuera de él. Tampoco debe ponerse una cantidad excesiva porque al trabajar a temperaturas altas el líquido calorimétrico se dilata y puede derramarse.

- Cuando accidentalmente se produzcan roturas en los termómetros que se están calibrando y caigan trozos en el vaso, estos restos se pueden extraer

si previamente se retira el anillo portatermómetros, evitando utilizar el sistema de bombeo.

- Se debe realizar un mantenimiento periódico que garantice la vida útil del módulo M340, esto comprende la revisión y comprobación de sus partes, análisis de conexiones eléctricas entre otras.

- Se debe tener cuidado con la NI CompactDAQ debido a que si se produce una sobrecarga de voltaje o erróneamente se conecta una alimentación mayor de la necesaria puede ocasionar daños en su elementos internos.

- Tomar en cuenta que los conectores de los módulos de entrada y salida análogas, digitales de la NI CompactDAQ estén debidamente ajustados y aislados antes de energizar el equipo para evitar posibles cortocircuitos ya que el equipo es costoso.

- Se debe evitar vibración en el sistema de refrigeración ya que puede provocar fallas en las uniones de la tubería y producirse fugas.

- El sistema de refrigeración cuenta con un motor en la parte inferior de la Cámara Termométrica M340 que está refrigerado por aire, por lo que su toma de aire debe estar despejada asegurando una buena circulación de aire.

- Se debe engrasar todos los puntos donde hay movimiento, rotaciones en función de la utilización de la Cámara Termométrica M340.

- El ambiente en el que se desarrolla el proceso de calibración influye inmensamente en el proceso de variación de temperatura, por lo que se debe procurar realizar las calibraciones en ambientes adecuados para la misma, en los que la temperatura pueda mantenerse lo más estable posible.

- Al utilizar el propilinglicol es necesario una campana de extracción de humo ya que su evaporación puede producir irritación, no debe tener contacto con la piel y de producirse, lavarse las manos con abundante agua, se recomienda el uso de guantes si se va a maniobrar los termómetros que estuvieron en contacto con el líquido calorimétrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] J, Puebla, "*Manual de buenas prácticas en refrigeración"*. 1ª edición. Impresión: Imprenta Negrín Central, Venezuela, 2009.

[2] P, Aquilino. "*Sistemas Scada"*. 2da edición. Editoriales Marcombo ediciones ténicas 2007 Marcombo S.A, Barcelona España, 2007.

[3] A, Fourty. M, Bertinetti, A, Foussats***. "****Medición de Temperatura Cátedra: Física II", **2003***

[4] *J, Mosquera, "Guía técnica sobre trazabilidad e incertidumbre en la calibración de termómetros de líquido en vidrio en baños de líquido controlado térmicamente"*, México, Abril 2008, CENAM (centro nacional de meteorología)

[5] ERASO, Fredy. 1.997. "*Manual práctico del taller de refrigeración doméstica"*. Servicio Nacional de aprendizaje Sena, San Andrés de Tumaco, México, 1.997

[6] P, Rodríguez***, "****Diseño de Interfaces Hombre - Máquina (HMI)".* Instituto de Electricidad y Electrónica – Universidad Austral de Chile**,** General Lagos - Valdivia –Chile, 2009.

[7] CEM (Centro Español de Metrología), **"***Procedimiento th-004 para la calibración por comparación de termómetros de columna de líquido" , 2004,*

[8] OMM (Organización Mundial de Meteorología), ""*Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation"*, 2006

[9] G, Holguin, PÉREZ, "Sandra. *Curso básico LabView"*, Impreso en Pereira, 2002.

[10] R, Treybal, “Operaciones de Transferencia de Masa”. 2 ª edición. McGraw-Hill, 1988.

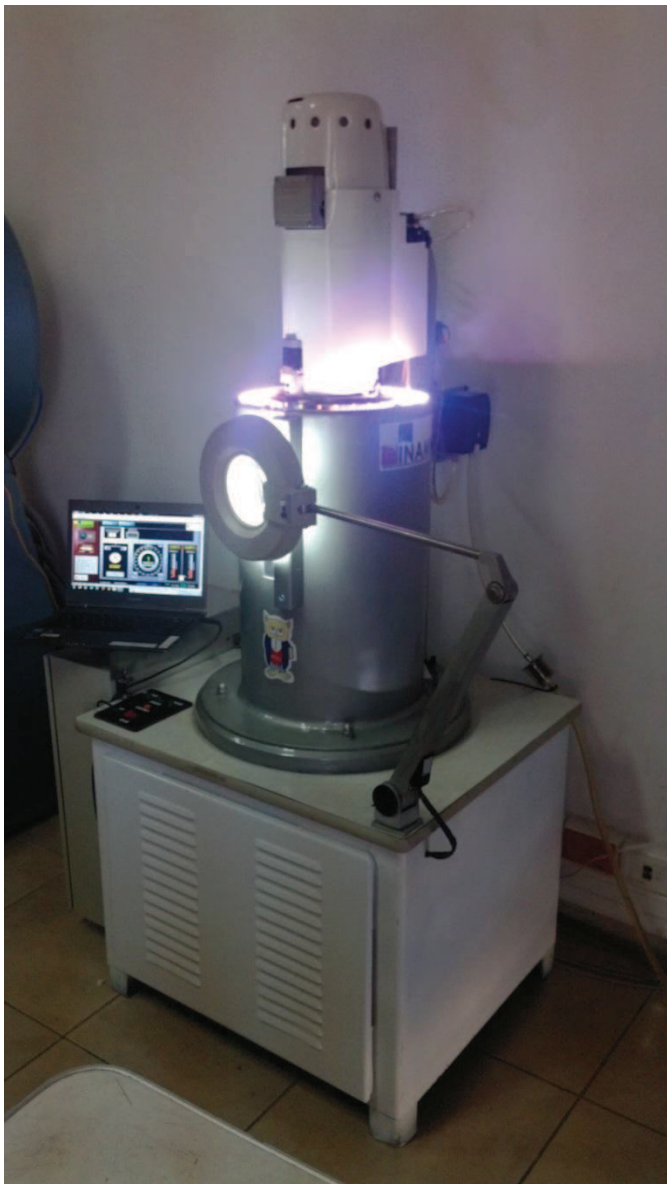
[11] J, Lajara, J, Pelegrí, “LabVIEW Entorno gráfico de programación”. 1ª edición. Alfaomega, Marcombo S.A, 2007.

[12] SIMIDCHIEV. D.A. “Compendio de Apuntes sobre Instrumentos Meteorológicos para la Formación del Personal Meteorológico de las Clases III y IV”. Volumen I, OMM, 1996.

ANEXOS

ANEXO 1: MANUAL DE USUARIO.

MANUAL DE USUARIO CÁMARA TERMOMÉTROCA M340.



William Wladimir Ortiz Fernández, Javier Alexander Castro Haro
Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
wladimirwof@hotmail.com, jach1404_@hotmail.com

INDICE

MANUAL DE USUARIO CÁMARA TERMOMÉTROCA M340. .... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

1 HARDWARE DEL SISTEMA ..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

1.1 NI CompactDAQ-9178 USB ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.2 Módulos de la Serie C ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.3 Motor a pasos ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.4 Bombas peristálticas ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.5 Sensor de distancia digital GP2Y0D810Z0F ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.6 Sensor efecto hall ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.7 Sensores de presión ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.8 Sensor de distancia analógico GP2Y0A21YK para nivel ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.9 Iluminación ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.10 Montaje del Sistema de Agitación ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.11 Calentador (Resistencia Eléctrica) ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.12 Tablero de control ..... **¡Error! Marcador no definido.**

2 HMI PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO 150

2.1 Pantalla Principal 150

2.2 Inicio de la HMI 151

2.3 Encendido de la HMI 151

2.4 Apagado del sistema 152

2.5 Precauciones 153

2.6 Pantalla de Control de CALIBRACION 153

2.7 Pantalla de Control de MANTENIMIENTO 154

3 ERRORES POSIBLES Y SOLUCIONES 156

3.1 Sobrepresión 156

3.2 Sobre temperatura 157

3.3 Variación abrupta de valores de temperatura 157

3.4 Error E236 variador 157

3.5 Error por activar filtrado automático y filtrado manual 158

3.6 Error por activar carga automático y descarga manual 158

3.7 Error por activar carga automático y carga manual 159

3.8 Error por activar carga automático, descarga automática y carga manual 159

4 PROBLEMAS FÍSICOS 159

4.1 No enciende el sistema 159

4.2 PROBLEMA CON EL FUNCIONAMIENTO DE LOS SENSORES DEL SISTEMA 160
4.3 PROBLEMA CON EL TERMÓMETRO PATRÓN DE LA CÁMARA TERMOMÉTRICA 160
4.4 PROBLEMAS CON EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y CALENTAMIENTO 160

MANUAL DE USUARIO CÁMARA TERMOMÉTROCA M340.

1. HARDWARE DEL SISTEMA.

Es necesario definir los equipos que constituyen la cámara termométrica M340 y la función que cumple en el sistema.

Los equipos son:

- ✓ CompactDAQ Tarjeta de adquisición de datos.
- ✓ Cinco Módulos de la serie C.
- ✓ Sensor infrarrojo Detección de termómetros.
- ✓ Sensor efecto Hall para inicializar la bandeja de termómetros.
- ✓ Sensor infrarrojo para la medida de nivel del líquido calorimétrico.
- ✓ Motor a pasos para el movimiento de la bandeja de termómetros.
- ✓ Sensor de presión para el sistema de refrigeración.
- ✓ Bombas peristálticas para el bombeo y filtrado del líquido.
- ✓ Resistencia eléctrica para calentar el líquido calorimétrico.
- ✓ Sistema de agitación constituido de un motor y el variador de velocidad.

En la Figura 1 se observa como está distribuido el hardware del sistema en la módulo M340:

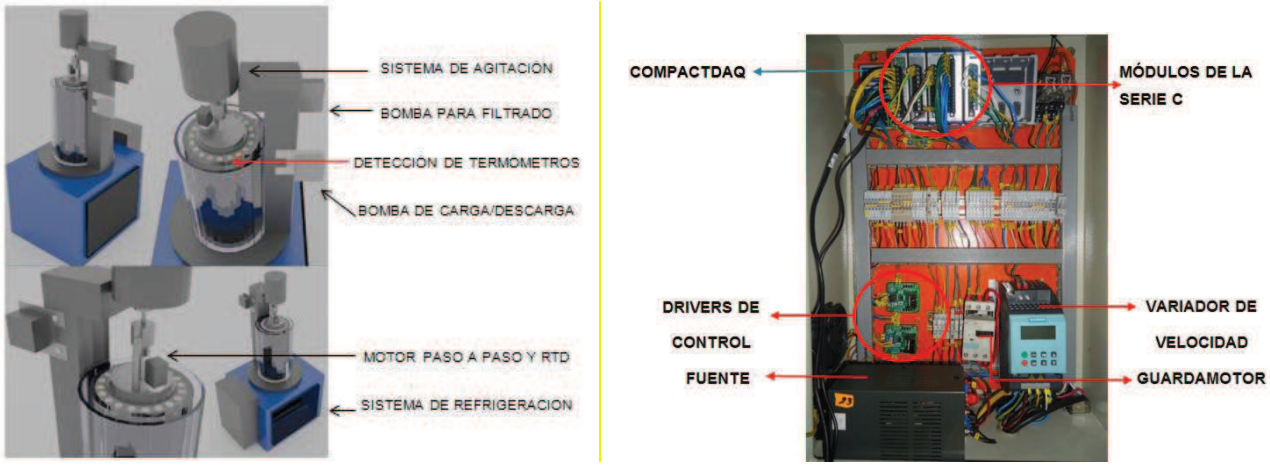


Figura 7. Diagrama del sistema.

1.1 NI CompactDAQ-9178 USB

El chasis tiene 8 ranuras como se muestra en la Figura 2, Están diseñados para contener ocho módulos de I/O de la serie C de los cuales se utilizan 5 módulos que van a realizar la automatización de la cámara termométrica M340.

El chasis está constituido por:

1. Conector USB.
2. TRIG 0 y 1 Conector BNC
3. Cable USB para Liberación de Tensión.
4. Conector de Potencia de 9-30 VDC.
5. Ranuras del Módulo.
6. Módulos de la Serie C adicionados al chasis son NI 9201, NI 9217, NI 9263, NI 9481, NI 9472.
7. Tornillo a Tierra

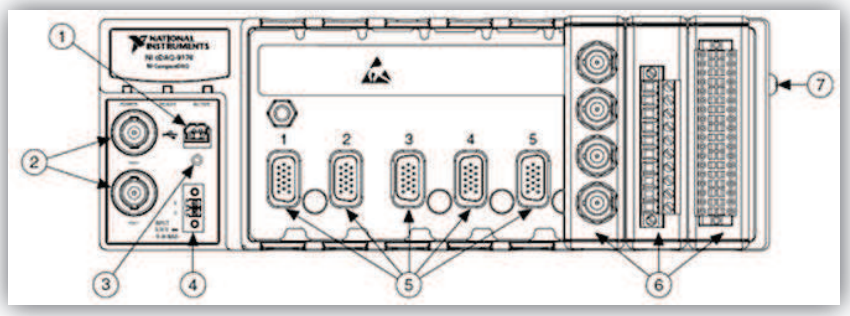


Figura 2. Chasis NI cDAQ-9178.

La terminal a tierra está a un lado del chasis como se observa en la Figura 3.

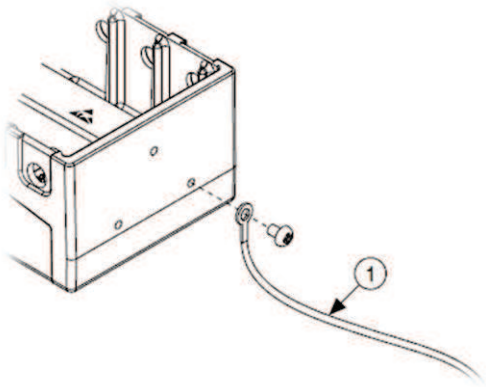


Figura 3. Terminal a tierra del sistema.

1.2 Módulos de la Serie C

Los módulos de la serie C que se utiliza son los siguientes:

- Módulo de entradas analógicas NI 9201.
- Módulo de entradas analógicas RTD NI 9217.
- Módulo de salida analógica de Actualización Simultánea NI 9263.
- Módulo de Relés SPST EM Forma A de 4 Canales NI 9481.
- Módulo de salidas digitales NI 9472.

Pueden ser intercambiados en vivo y detectados automáticamente por el chasis NI, en general las dimensiones de los módulos son las mismas 70.7mm x 22,9mm como se observa en la Figura 4.

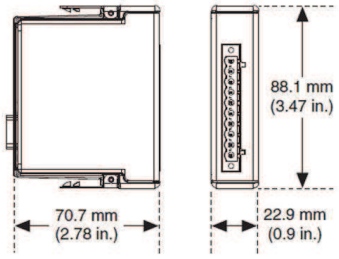


Figura 4. Dimensiones de los módulos serie C.

Se debe insertar cada módulo de I/O al apretar ambos seguros del módulo, colocando el módulo de I/O en la ranura del módulo vacía y presionando hasta que aseguren el módulo en su lugar como se observa en la Figura 5.

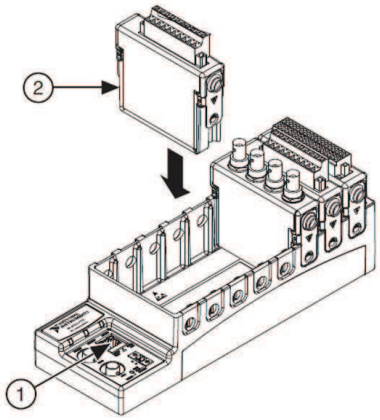


Figura 5. Instalación de módulos de I/O de la serie C.

Las entradas y salidas del sistema de control se describen a continuación en la Figura 6 y las direcciones que tiene cada elemento en la tarjeta de adquisición de datos se describen en la Tabla 1.

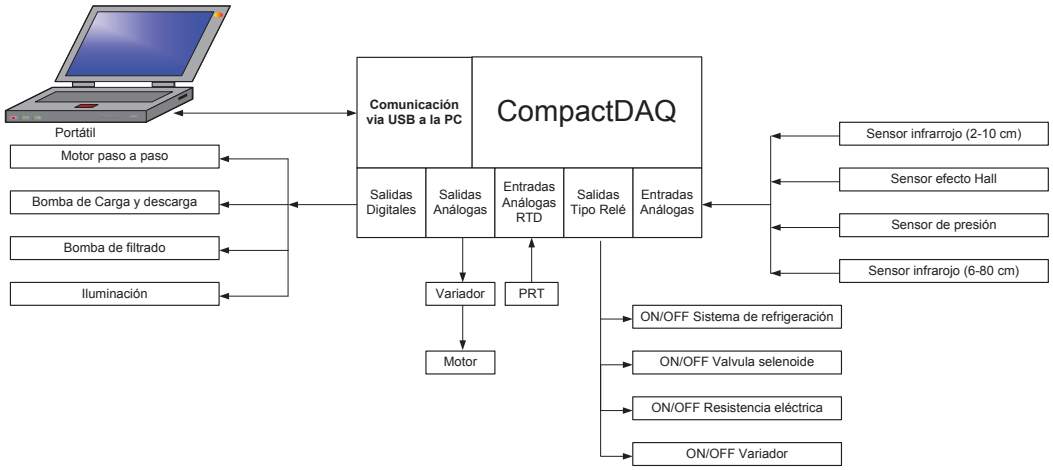


Figura 6. Diagrama de bloques de las entradas y salidas del sistema

	DESCRIPCION	ITEM
SALIDA DIGITAL	motor pasos	DO-00
	motor pasos	DO-01
	motor pasos	DO-02
	motor pasos	DO-03
	depositar líquido (bombas)	DO-04
	extraer líquido (bombas)	DO-05
	Filtrado (bombas)	DO-06
	Luces LED	DO-07
SALIDA ANÁLOGICA	Control de velocidad	AO-00
ENTRADAS ANÁLOGAS	Sensor infrarrojo detección de termómetros	AI-00
	Sensor efecto hall	AI-01
	Sensor de presión	AI-02
	Sensor infrarrojo nivel	AI-03
ENTRADAS ANÁLOGAS PRT	PRT2	AI-PRT-02
SALIDAS TIPO RELÉ	Válvula solenoide	DO-RELÉ-00
	Refrigeración	DO-RELÉ-01
	Calentador	DO-RELÉ-02
	ON/OFF variador	DO-RELE-03

TABLA 1. Tabla de entradas y salidas del sistema.

1.3 Motor a pasos.

El motor paso a paso mueve la bandeja de termómetros como se observa en la Figura 7.

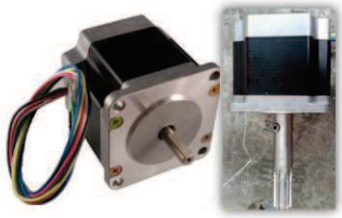


Figura 7. Montaje del piñón al motor paso a paso.

Este piñón interacciona con una corona con cremallera interna en forma de anillo que rodea toda la bandeja de termómetros permitiendo el movimiento de 360° para la ubicación de cada termómetro como se observa en la Figura 8, y el montaje del conjunto corona-piñón se observa en la Figura 9.

Figura 8. Corona con cremallera para giro de bandeja de los termómetros.

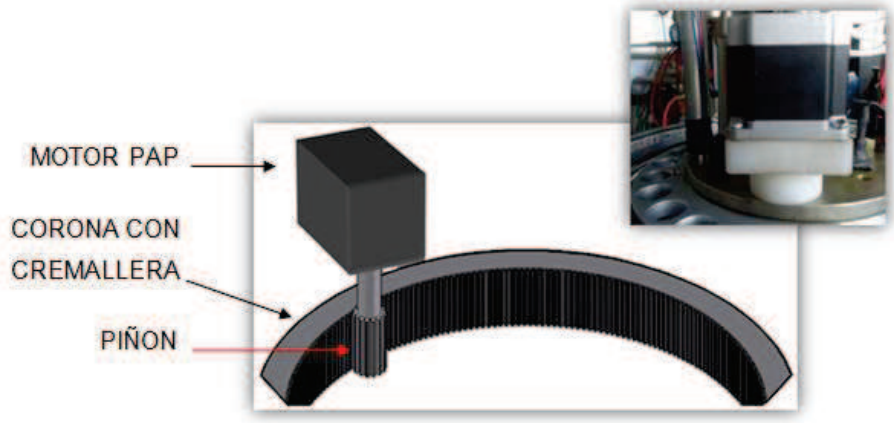


Figura 9. Montaje corona-piñón de la bandeja de termómetros.

Para controlar el motor se utiliza el módulo L298N (2 puentes H completos).

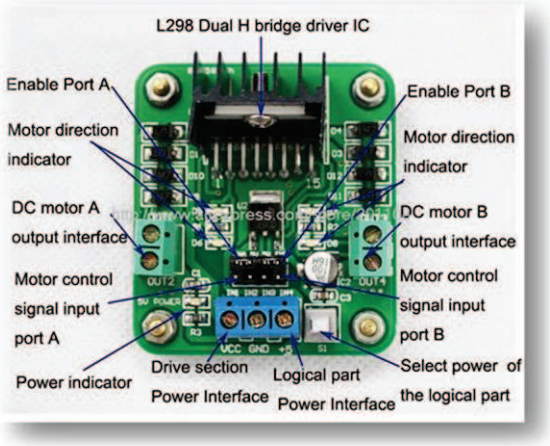


Figura 10. Módulo L298N para motores paso a paso.

1.4 Bombas peristálticas.

La cámara termométrica tiene dos bombas peristálticas con las características que se observa en la Figura 11, la primera bomba peristáltica permita la cargar o descargar del líquido y la otra permite la recirculación del mismo haciéndolo pasar por un filtro para limpiar impurezas, la implementación de las dos bombas se observa en la Figura 12.

Modelo	**TH25 DC motor**
Velocidad	**46,67,120,160r**
Tamaño de Tubería	**Wall thickness 2.4mm, inner diameter 9.6mm**
Flow rate	**0~1900ml/min**
Potencia	**5~18W**
Motor	**DC motor**
Voltaje	**12V**

Figura 11. Características de la Bomba peristáltica

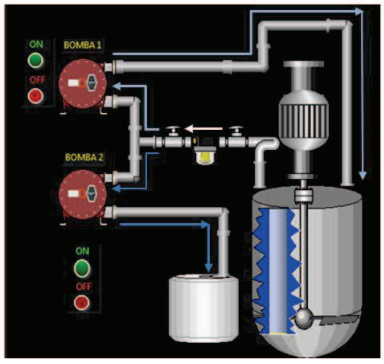


Figura 12. Diagrama del sistema de bombeo del líquido.

1.5 Sensor de distancia digital GP2Y0D810Z0F.

El sensor se utiliza en la detección de termómetros, el rango de detección va desde (8 - 13) cm debido a lo cual se instaló a 8 centímetros de la bandeja de termómetros, como se observa en la Figura 13.

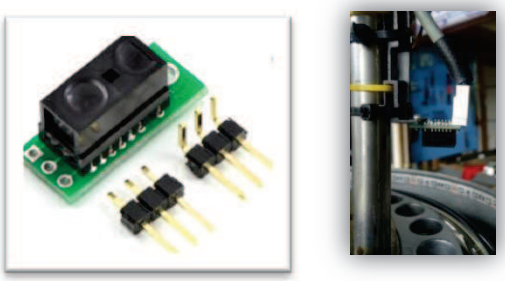


Figura 13. Diagrama esquemático de conexión del sensor GP2Y0D810Z0F.

1.6 Sensor efecto hall.

Se utiliza en combinación con un imán e indica una revolución en la bandeja de termómetros que se realiza con 2645 pasos del motor paso a paso, al realizar una revolución proporciona un pulso el cual señala que se encuentra en la posición inicial de la bandeja de termómetros como se puede observar en la Figura 14.

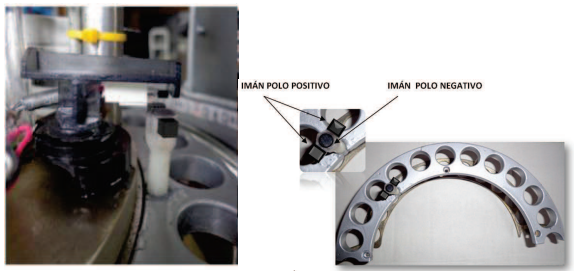


Figura 14. Instalación del sensor efecto hall a la bandeja de termómetros.

1.7 Sensores de presión.

Para medir la presión en el sistema de refrigeración se instaló un manómetro para la visualización directa de este dato que puede variar entre 0 – 90 PSI.

Figura 15. Acople sensores de presión.

Para visualizar la presión en nuestro HMI se colocó un transmisor de presión que cumple la misma función del manómetro, el sensor proporciona una señal de voltaje que varía de 0 a 10 voltios con lo cual se hizo una relación con la presión y se obtuvo la presión del sistema.

1.8 Sensor de distancia analógico GP2Y0A21YK para nivel.

Es un sensor medidor de distancia, se utilizar para medir el nivel del vaso Dewar, que contiene el líquido calorimétrico, el sensor indicará el nivel adecuado para el funcionamiento del sistema, de esta manera podemos evitar iniciar el funcionamiento sin la cantidad necesaria de líquido o posibles derrames.

Figura 16. Sensor opto electrónico GP2Y0A21YK.

1.9 Iluminación.

La iluminación de los termómetros es esencial para una buena apreciación de las escalas de cada termómetro, la iluminación la realiza la cinta LED. La cinta funciona con un nivel de voltaje de 12V.

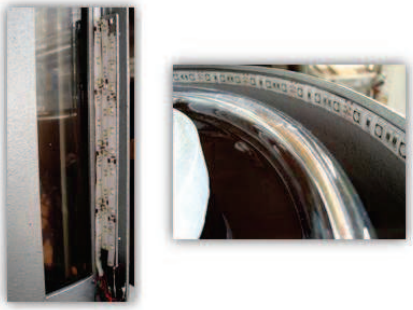


Figura 17. Sistema de iluminación (cinta LED).

1.10 Montaje del Sistema de Agitación

El sistema de agitación está constituido por el vaso Dewar, un agitador mecánico montado en un eje y accionando por un motor eléctrico, un bocín que tiene un montaje con el acople de cruceta y el acople de cruceta tiene un montaje con el bocín del eje de agitación, como se puede observar en la Figura 18.

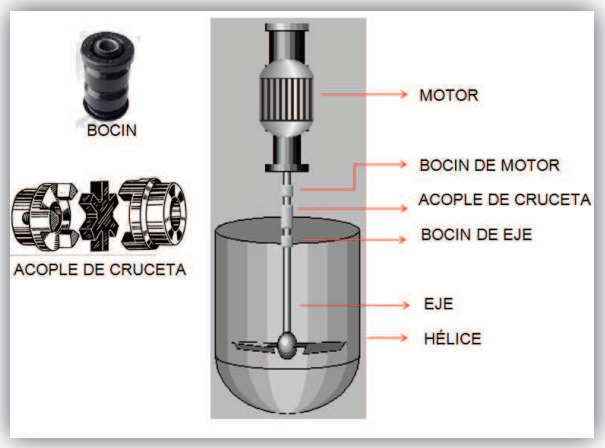


Figura 18. Esquema del Sistema de Agitación.

El encendido y apagado del variador ON/OFF (I/O) se encuentra en el borne externo 3 (DIN0), el encendido y apagado lo realiza el módulo NI9481 (módulo de relés) dirección OUT 03 de la CompactDAQ, la forma de conexión realizada se muestra en la Figura 19.

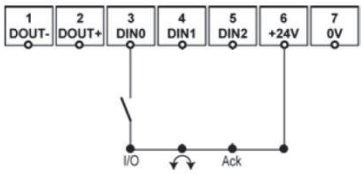


Figura 19. Conexiones de encendido y apagado del variador.

El control de velocidad del motor se lleva a cabo a través de las entradas analógicas, las cuales permiten regular la frecuencia y por tanto la velocidad del motor. Las entradas analógicas del variador se encuentra en los bornes externos son 9 (ADC1) y 10 (0V). Está conectado como se muestra en la Figura 20.

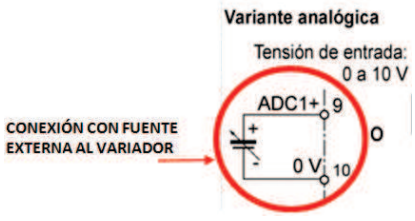


Figura 20. Conexiones de control de velocidad.

Para manejar el control de velocidad se utiliza el módulo NI 9263 (módulo de salida análoga de voltaje) dirección OA-00 de la compactDAQ, con lo que se varia la velocidad del motor con un voltaje variable de 0 a 10V.

Figura 21. Conexión de bornes del variador G110.

1.11 Calentador (Resistencia Eléctrica)

Eleva la temperatura en el líquido calorimétrico cuando el usuario lo requiera.

Figura 22. Instalación de la resistencia eléctrica.

1.12 Tablero de control.

La instalación de nuestros elementos de control se realizó en un gabinete BEAUCOUP cómo se indica en la Figura 23.

CODIGO	REFERENCIA	ALTO	ANCHO	PROFUNDIDAD	EMBALAJE	PESO APROX. KG.
I-0302	CL-32-16	300	200	160	12 u.	2.5

Figura 23. Gabinete para tablero de control.

La instalación está distribuida de la siguiente forma:

En la parte superior tenemos un riel din 35 x 7.5 que sostiene el chasis de la CompactDAQ, con cada uno de los módulos de control en el siguiente orden: salidas digitales (NI 9472), entradas análogas (NI 9201), salidas análogas (NI 9263), entradas análogas RTD (NI 9217), salidas tipo relé (NI 9481) como se observa en la Figura 24.

En la parte derecha del mismo riel tenemos dos relés encapsulados que son los encargados de soportar la carga del sistema de refrigeración y la resistencia eléctrica. Estos relés se activan con 12 voltios y soportan corrientes de hasta 6 amperios.

Figura 24. Instalación CompactDAQ.

2. HMI PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

El desarrollo del software de control se lo realizo en la plataforma de programación Labview.

2.1 Pantalla Principal

La pantalla principal de la HMI está dividida en dos secciones, en la izquierda se tiene una pantalla que permite el encendido y activación de los controles y a la derecha el sector de ingreso y visualización de datos como se observa en la Figura 25.

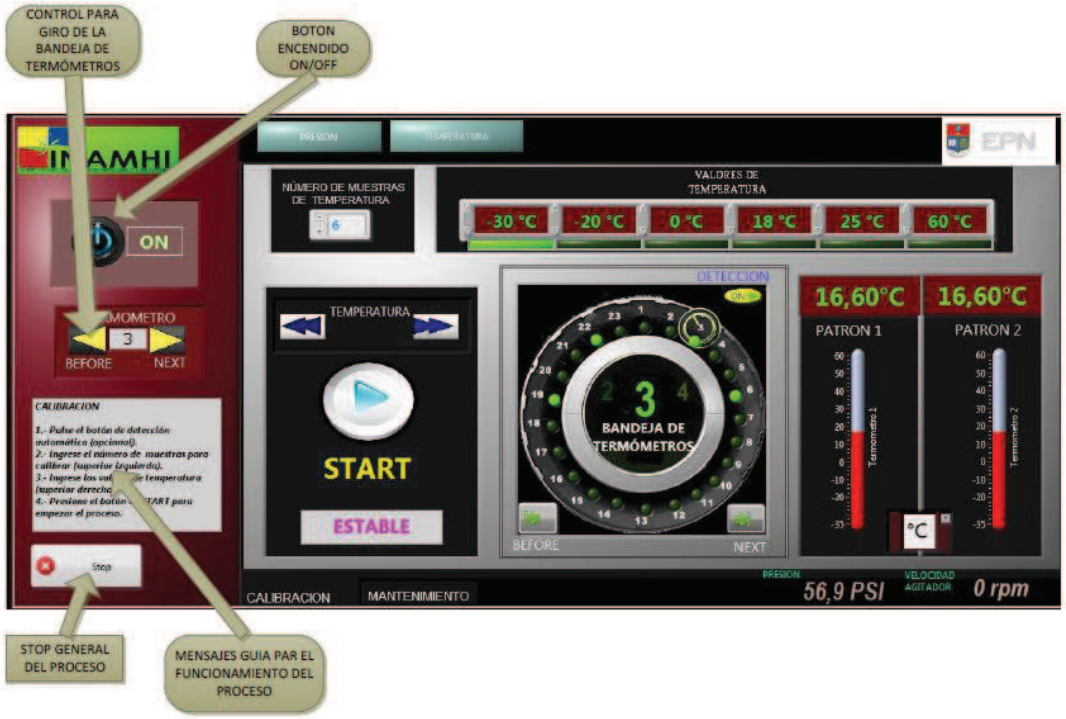


Figura 25. Pantalla principal HMI.

En la primera sección se tiene el botón de encendido, al cual una vez activado permite observar el estado del HMI en este caso ON y aclara el color de la pantalla de fondo del sector de control e ingreso de dato además se activará todos los controles en la pantalla, permitiendo manipular las variables necesarias para el inicio del proceso.

Se puede observar adicionalmente dos botones denominados NEXT y BEFORE, los cuales permiten mover la bandeja de termómetros y en el centro se indica el termómetro que se encuentra en el visor de la cámara, más abajo se tiene un cuadro de diálogo que da indicaciones y pasos para la operación del sistema.

Por si ocurre alguna emergencia y se requiere detener el proceso se tiene al final un botón de emergencia, que detiene automáticamente cualquier acción que se esté realizando en ese momento.

2.2 Inicio de la HMI

Para iniciar el proceso se debe ir a la carpeta CAMARA TERMÓMETRICA la que contiene dos carpetas, INSTALADOR y EJECUTABLE.

Si se dispone de una versión previamente instalada de Labview ingresar a la carpeta EJECUTABLE y dar clic sobre el icono CAMARA TERMÓMETRICA M340

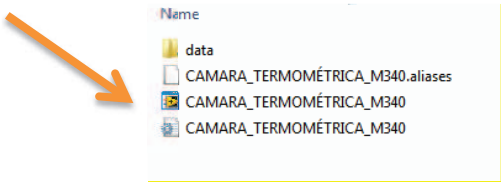


Figura 26. Ejecutable del HMI.

Si no se dispone de una versión de Labview acceder a la carpeta INSTALADOR y dar clic sobre el icono setup. Una vez realizada esta acción realizar el proceso anterior.

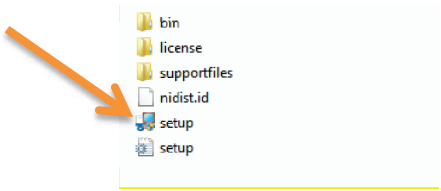


Figura 27. Setup de Labview.

2.3 Encendido de la HMI

Una vez que la pantalla de la HMI sea ejecutada, el programa iniciará el posicionamiento del motor a pasos y lectura de los sensores. Al culminar este proceso la pantalla permitirá manipular los controles para el cual el primer paso a seguir es dar clic sobre el botón de encendido que señala el estado de OFF.

Figura 28. Encendido del HMI.

Con el cual se aclara la pantalla se aclara y se desbloquea los botones restante que permiten el funcionamiento del sistema.

2.4 Apagado del sistema

Una ver que terminado las acciones de verificación de los sensores de temperatura y se desea apagar el sistema se debe primeramente considerar:

Verificar que los botones que inicien algún proceso en la cámara estecen apagados, si esta etapa no se cumple el botón de apagado no permitirá terminar con el proceso debido a que su estado será deshabilitado.

Una vez verificado que ningún proceso estece funcionando se procederá a presionar el botón ON para apagar la pantalla del HMI con la cual se observa el oscurecimiento de la misma.

Al realizar los dos pasos anteriores se puede dar clic sobre el icono RUN que permite detener a la pantalla en su totalidad.

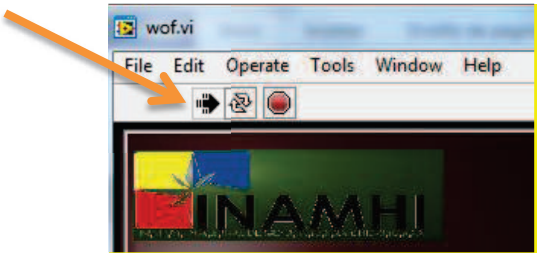


Figura 29. Apagado del HMI.

2.5 Precauciones

Si se deja de correr el sistema presionando el icono RUN antes de realizar el proceso de apaga, todos los contarles o procesos iniciados permanecerán en el último estado, para lo cual es se recomienda volver a ejecutar el programa presionando nuevamente el icono RUN con lo cual el sistema volverá a condiciones iniciales que apagaran cualquier proceso que se ejecute en ese momento.

2.6 Pantalla de Control de CALIBRACION

En la otra etapa de la interfaz se tiene en la parte superior, las luces de emergencia una para indicar cuando ocurre una sobre-presión en las tuberías del sistema de refrigeración, se activará al superar los 90 psi.

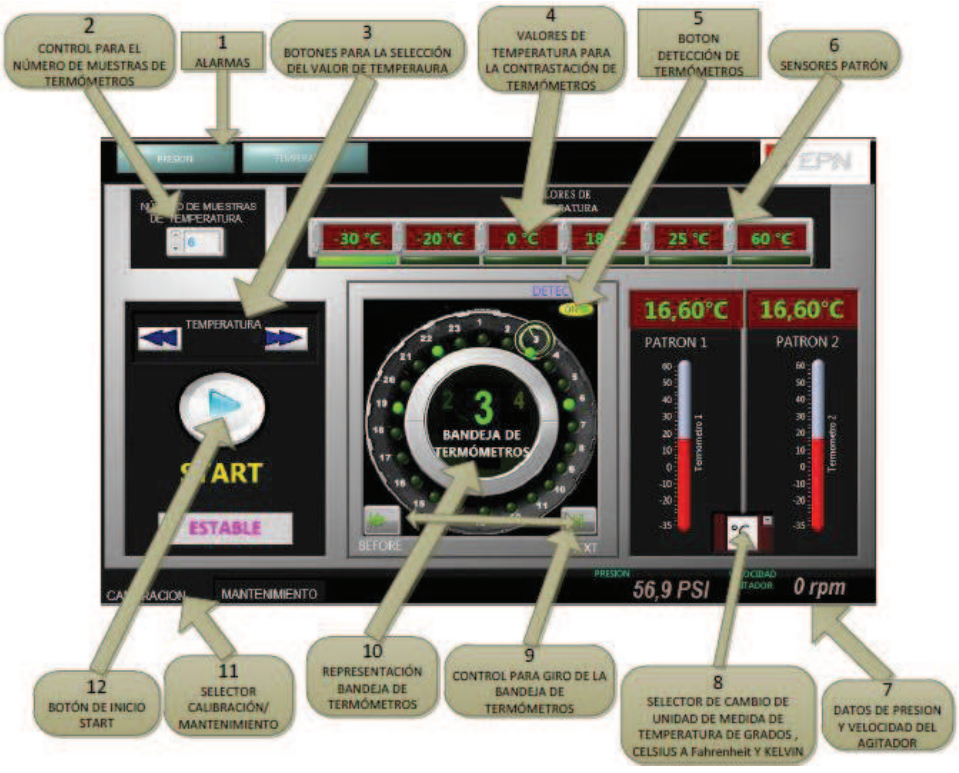


Figura 30. Pantalla de CALIBRACIÓN.

Un segundo botón muestra una alarma de sobre-temperatura que se activa en caso de que el líquido calorimétrico supere los niveles de temperatura límite. Para ambos casos de alarma las luces se encenderán y apagarán cambiado de color amarillo a rojo.

En la parte inferior se observa una sección que permite ingresar los niveles de temperatura con un máximo de seis valores, los rangos van desde 60 °C a -35°C y si se ingresa un valor que esta fuera de este rango el dato será corregido automáticamente al límite máximo que se puede ingresar.

En el sector derecho de esta pantalla se tiene dos graficas de termómetros que representan los PRTs instalados en la cámara calorimétrica, con niveles de temperatura que van desde 60 °C a -35 °C o su equivalente en Fahrenheit o Kelvin, arriba de cada termómetro se representa el valor que marcan en números decimales.

En la parte central se aprecia un gráfico circular enumerado a su alrededor desde el uno al veinte y tres con un led en el sector inferior de cada número, que representa los termómetros en la bandeja de la cámara termométrica.

Con los botones BEFORE y NEXT, se selecciona el termómetro ubicado en el visualizador del vaso Dewar. En el centro se observa el número del mismo, además una imagen que sobrepone un círculo sobre el número de termómetro seleccionado.

En el sector izquierdo se tiene dos pulsadores que sirven para seleccionar el nivel de temperatura, al que se desea llegar.

Dos indicadores, en la parte inferior de la pantalla muestran el monitoreo de la presión que se tiene en la tubería del sistema de refrigeración y la velocidad de giro del agitador.

2.7 Pantalla de Control de MANTENIMIENTO

La Medición de nivel se lo realiza con un sensor de distancia Analógico, antes de utilizar la Cámara Termométrica M340 con el fin de iniciar el proceso con un nivel que se encuentre dentro de los parámetros.

Una vez inicializado el proceso se debe determinar el nivel del vaso Dewar tomando en cuenta 3 niveles: alto 44 - 45 cm, medio 44 - 17 cm y bajo 17 cm. Cada nivel tiene su alarma para que el operador pueda saber en qué punto se encuentra. Si no se encuentra en el nivel adecuado se puede ingresar a carga o descarga pero se debe cumplir que la temperatura del líquido calorimétrico esté en un rango de 15 a 30 grados centígrados. Si la

temperatura del líquido no se encuentra en el rango de 15 a 30 grados centígrados no puede pasar a mantenimiento.

El proceso de filtrado tiene como fin hacer circular el líquido calorimétrico a través de un filtro que se encuentra en el sistema, el cual es impulsado por la bomba peristáltica 1. Tiene dos opciones: manual y automático. El modo automático utiliza el sensor infrarrojo para medir el nivel; si cumple el parámetro de nivel (35- 45 cm) se enciende la bomba 15 minutos; si cumple el parámetro de nivel (34-17 cm) se enciende 10 minutos; mientras que en el modo manual el operario podrá ingresar el tiempo que crea conveniente para realizar dicho proceso con un máximo de 30 minutos.

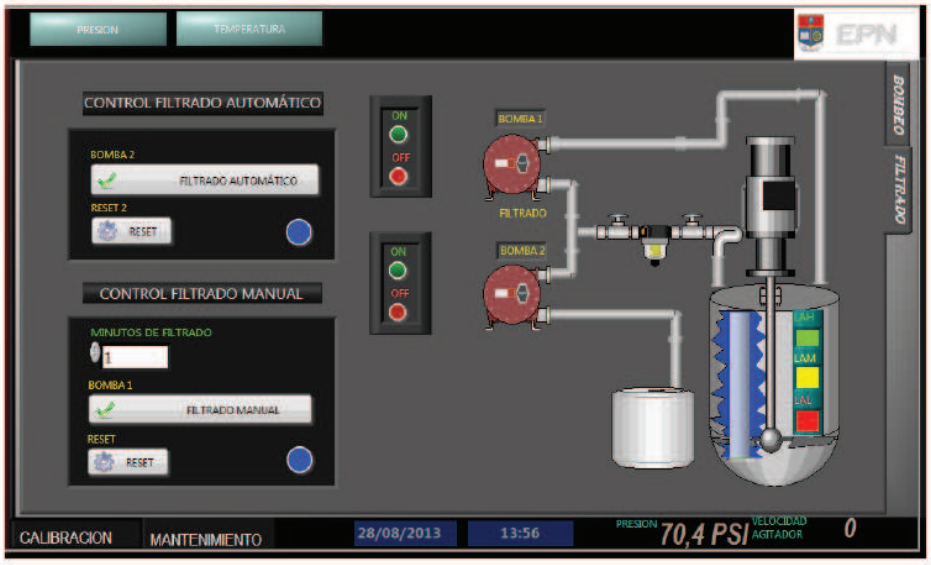


Figura 31. Pantalla de FILTRADO.

El líquido calorimétrico de prueba (propilenglicol) se evapora y por lo tanto no se tiene un volumen constante. Es por esto que la bomba peristáltica 2 carga el volumen faltante, por la cual es importante tomar en cuenta el volumen al iniciar el funcionamiento del equipo.

La subrutina para carga tiene dos modos de operación, manual y automático. En modo manual el operario tiene que ingresar el tiempo de carga con un valor menor a 15 minutos y activar el botón de carga. El modo automático utiliza el sensor infrarrojo para medir el nivel.

La subrutina para descarga tiene dos modos de operación, manual y automático. En la operación manual el operario tiene que ingresar el tiempo de descarga del líquido calorimétrico, el cual tiene que ser menor a 15 minutos debido a que es el tiempo límite de

descarga. El modo automático utiliza el sensor infrarrojo para medir el nivel; si cumple el parámetro de nivel (42-45 cm) se enciende la bomba 15 minutos; si no cumple muestra un mensaje para uso en modo manual.

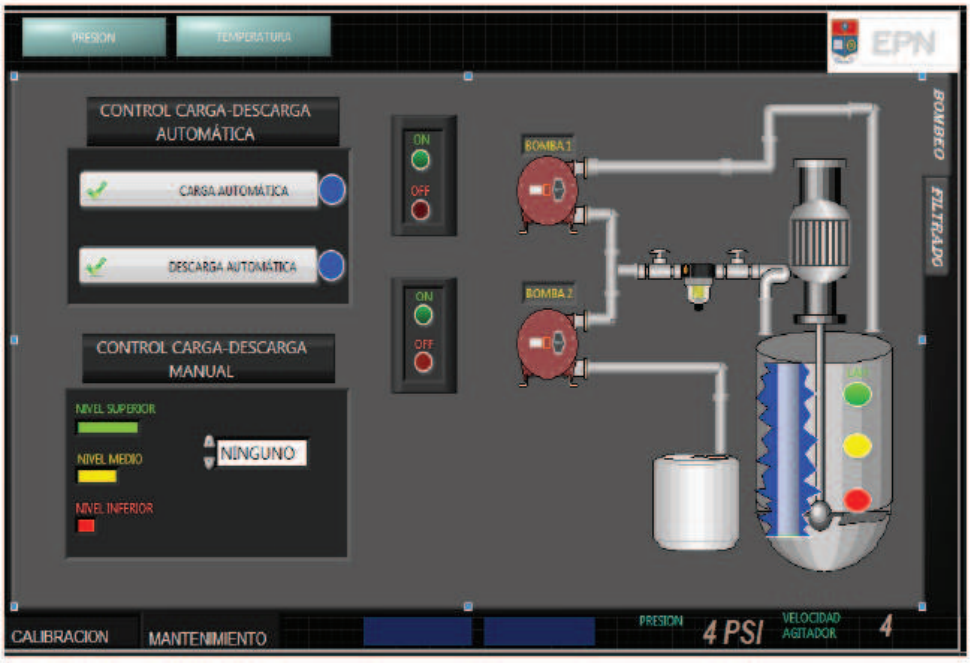


Figura 32. Pantalla de CARGA-DESCARGA.

3. ERRORES POSIBLES Y SOLUCIONES

3.1 Sobrepresión

Si el sistema de refrigeración excede los 90 Psi, se enciende un cuadro parpadeante en el HMI indicando la alarma, con lo cual se desactiva el sistema de refrigeración, de calentamiento y el motor del agitador.

Acciones a tomar

Al suceder esta alarma se debe suspender cualquier acción que se realice en ese momento y verificar que el dato coincida con el valor del manómetro ubicado en la tubería del sistema de refrigeración.

Si esto sucede se habrá comprobado que la presión del sistema ese correcta y se recomienda primeramente verificar el funcionamiento de la válvula solenoide, que si no se activa podría producir la sobrepresión del mismo, he iniciar nuevamente el proceso y si el problema persiste verificar que no se encuentre taponadas las tuberías.

3.2 Sobre temperatura

Si la temperatura sale de los rangos de -35 y de 60 °C, se enciende una alarma indicando el problema mientras el sistema desactiva el sistema de refrigeración, calentamiento y agitador

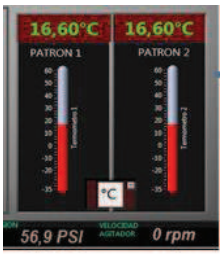
Acción a tomar

Al suceder esta alarma se debe suspender cualquier acción que se realice en ese momento y verificar que el dato coincida con un termómetro externo a sistema.

Si esto sucede, se recomienda dejar el sistema apagado por un tiempo prudente aproximadamente una hora, para que el sistema vuelva a valores aceptables y reiniciar el proceso.

Si el valor del termómetro externo no coincide, se recomienda verificar las conexiones de los sensores de temperatura y el estado de los mismos.

3.3 Variación abrupta de valores de temperatura



Podría darse el caso que los valores de temperatura varían desde niveles muy bajos (negativos) a niveles que sobrepasen los 100°C y viceversa.

Acción a tomar

Si esta acción sucede se debe a que algunos de los pines del sensor de temperatura no está haciendo el contacto adecuado por lo cual se recomienda verificar las conexiones desde el sensor hasta las entradas de la compactDAQ.

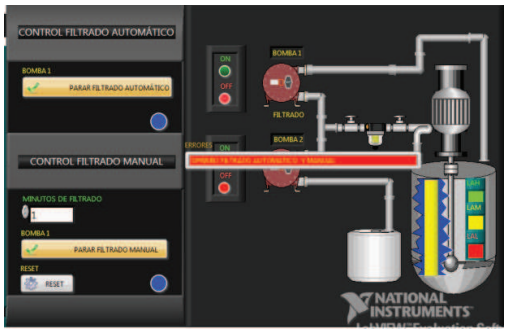
3.4 Error E236 variador

Si al sistema se le corta abruptamente la energía mientras esta encendido el variador, y se le repone sin esperar un tiempo pertinente aparecerá en la pantalla del variado E236, que hace referencia a problema y no permitirá el funcionamiento del mismo.

Acción a tomar

Cuando esto sucede se debe apagar el sistema y desconectarlo de la energía un pequeño tiempo permitiéndole al variador apagarse totalmente para resetear este error y ejecutarse nuevamente los valores de velocidad enviados al variador.

3.5 Error por activar filtrado automático y filtrado manual

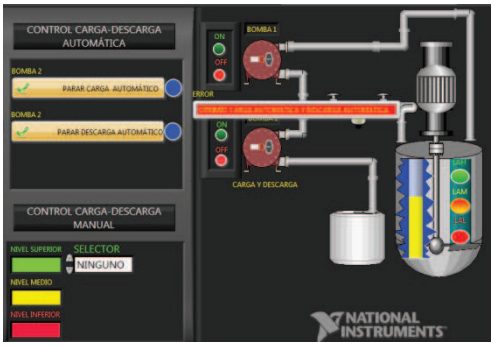


El usuario puede elegir si desea filtrado automático o manual, si por descuido activo los dos pulsadores el sistema bloquea la bomba peristáltica e indica un mensaje indicando el error en el que se incurrió.

Acción a tomar

El usuario tiene que desactivar el pulsador del filtrado automático o filtrado manual para que el sistema vuelva al normal funcionamiento.

3.6 Error por activar carga automático y descarga manual

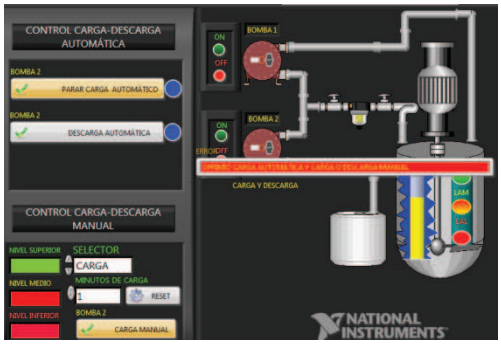


El usuario puede elegir si desea carga automático o descarga automática, si por descuido activo los dos pulsadores el sistema bloquea a las dos bombas peristálticas e indica un mensaje indicando el error en el que se incurrió.

Acción a tomar

El usuario tiene que desactivar el pulsador de carga automática o descarga automática para que el sistema vuelva al normal funcionamiento.

3.7 *Error por activar carga automático y carga manual*

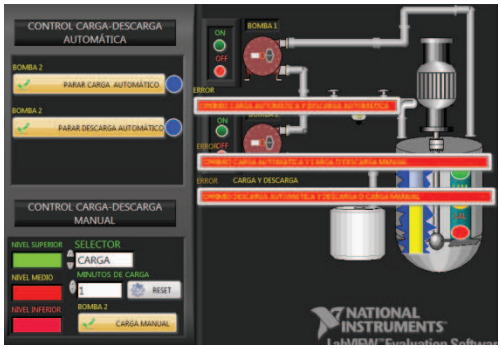


El usuario puede elegir si desea carga automático o carga manual, si por descuido activo los dos pulsadores el sistema bloquea a la bomba peristáltica e indica un mensaje indicando el error en el que se incurrió.

Acción a tomar

El usuario tiene que desactivar el pulsador de carga automática o carga manual para que el sistema vuelva al normal funcionamiento.

3.8 Error por activar carga automático, descarga automática y carga manual



El usuario puede elegir si desea carga automático o descarga automática o carga manual, si por descuido activo los tres pulsadores el sistema bloquea las dos bombas peristálticas e indica un mensaje indicando el error en el que se incurrió.

Acción a tomar

El usuario tiene que desactivar el pulsador de carga automática y carga manual o descarga automática y carga automática para que el sistema vuelva al normal funcionamiento.

4 PROBLEMAS FÍSICOS

4.1 No enciende el sistema

Una vez presionado el boto ON/OFF sede encender la luz indicadora que señala que el sistema esta energizado, si esto no ocurre se recomienda:

- Verificar la conexión del cable de poder colocado a un costado de la cámara de termométrica.

- Verificar los fusibles de la cámara que se ubican junta al sistema de refrigeración en la parte inferior derecha de la cámara.

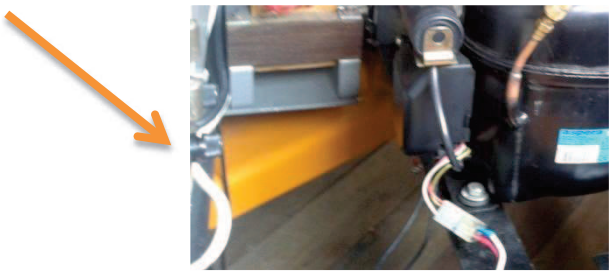


Figura 33. Ubicación de los fusibles del Sistema.

4.2 Problema con el funcionamiento de los sensores del sistema

En caso de que se detecte el mal funcionamiento de alguno de los sensores de la cámara, es recomendable iniciar verificando la conexión de los mismos para lo cual debemos guiarnos en el PLANO DE CONEXIONES, donde se indica el número de cables y la marquilla correspondiente para su instalación.

4.3 Problema con el Termómetro patrón de la Cámara Termométrica

Si el ingreso del dato de temperatura en el HMI es de forma variable y cambia de valor rápidamente se debe a que se encuentra desconectado el TERMÓMETRO PATRÓN del sistema, razón por la cual se presenta este ingreso de valores aleatorios, se recomienda:

- Apagar el sistema ya que va a activar las alarmas de temperatura.
- Conectar el TERMÓMETRO PATRÓN, guiándose en el PLANO DE CONEXIONES, donde se encuentra el número de cables del sensor y las marquillas correspondientes para su instalación.

4.4 Problemas con el sistema de refrigeración y calentamiento

Si deja de funcionar el sistema de refrigeración o calentamiento revise los relés que conectan cada sistema de forma independiente, si se encuentran que el relé está con desperfecto cámbielo con uno de iguales características.

ANEXO 2: PLAN DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.

Operación	Semanal	Mensual	Semestral	Anual
Sistema de Refrigeración.				
Realizar la inspección general del equipo.		X		
Verificar el compresor y la válvula solenoide.		X		
Limpieza exterior		X		
Limpieza serpentín y vaso Dewar				X
Resistencia Eléctrica.				
Limpieza			X	
Filtro				
Limpieza		X		
Sustitución			X	
Bombas peristálticas				
Funcionamiento		X		
Revisión de fugas en las mangueras y Racores.		X		
Agitador				
Acoples del eje			X	
Hélices				X

ANEXO 3: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS.

Especificaciones técnicas del módulo NI 9263

General	
Familia de Productos	E/S Industrial
Formato Físico	CompactDAQ , CompactRIO
Sistema Operativo/Objetivo	Real-Time , Windows
Tipos de Medida	Voltaje
Tipo de Aislamiento	Aislamiento de Canal a Tierra
Compatibilidad con RoHS	Sí
Salida Analógica	
Canales	4
Resolución	16 bits
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	10 V
Rango de Voltaje Máximo	-10 V - 10 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	0.11 V
Rango de Voltaje Mínimo	-10 V - 10 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	0.11 V
Razón de Actualización	100 kS/s
Especificaciones Físicas	
Longitud	9 cm
Ancho	2.3 cm
Conector de E/S	Terminales de tornillo
Temperatura de Operación	-40 °C
Temperatura de Operación	70 °C
Temperatura de Almacenamiento	-40 °C
Temperatura de Almacenamiento	85 °C
Temporización/Disparo/Sincronización	
Dispara Chasis cDAQ	NO

Especificaciones técnicas del módulo NI 9201

General	
Familia de Productos	E/S Industrial
Formato Físico	CompactDAQ , CompactRIO
Sistema Operativo/Objetivo	Real-Time , Windows
Tipos de Medida	Voltaje
Tipo de Aislamiento	Aislamiento de Canal a Tierra
Compatibilidad con RoHS	Sí
Entrada Analógica	
Canales	0 , 8
Canales de una sola terminal	8
Resolución	12 bits
Velocidad de Muestreo	500 kS/s
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	10 V
Rango de Voltaje Máximo	-10 V - 10 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	0.053 V
Rango de Voltaje Mínimo	-10 V - 10 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	0.053 V
Muestreo Simultáneo	No
Especificaciones Físicas	
Longitud	9 cm
Ancho	2.3 cm
Conector de E/S	Terminales de tornillo
Temperatura de Operación	-40 °C
Temperatura de Operación	70 °C
Temperatura de Almacenamiento	-40 °C
Temperatura de Almacenamiento	85 °C
Temporización/Disparo/Sincronización	
Dispara Chasis cDAQ	NO

Especificaciones técnicas del módulo NI 9217

General	
Familia de Productos	E/S Industrial
Formato Físico	CompactDAQ , CompactRIO
Sistema Operativo/Objetivo	Real-Time , Windows
Tipos de Medida	RTD, Temperatura
Tipo de Aislamiento	Aislamiento de Canal a Tierra
Compatibilidad con RoHS	Sí
Acondicionamiento de Señales	Excitación de corriente
Entrada Analógica	
Canales	4,0
Canales de una sola terminal	0
Canales Diferenciales	4
Resolución	24 bits
Velocidad de Muestreo	400 S/s
Muestreo Simultáneo	No
Excitación de Corriente	1 mA
Especificaciones Físicas	
Longitud	9 cm
Ancho	2.3 cm
Conector de E/S	Terminales de tornillo
Temperatura de Operación	-40 °C
Temperatura de Operación	70 °C
Temperatura de Almacenamiento	-40 °C
Temperatura de Almacenamiento	85 °C
Temporización/Disparo/Sincronización	
Dispara Chasis cDAQ	NO

Especificaciones técnicas del módulo NI 9481.

Características de las salidas	
Número de canales	**4 canales de relés electromecánicos.**
Tipo de relé	**Un solo polo un solo tiro (SPST)**
Capacidad de conmutación (carga resistiva)	
Tensión de conmutación	**60 VDC máx, 250 Vrms máx**
Corriente de switching por canal	
Un canal encendido	**4 A max at 30 VDC, 1 A max at 60 VDC, 4 A max at 250 Vrms**
Todos los canales encendidos	**2 A max at 30 VDC, 1 A max at 60 VDC, 2 A max at 250 Vrms**
Resistencia por canal, canal encendido	**50 mΩ**
Frecuencia de conmutación	**1 operación por segundo.**
Tiempo de repuesta	
Entre la energización de la bobina y la acción de los contactos.	**10 ms max**
Entre la desenergización de la bobina y la acción de los contactos.	**5 ms max**
Tiempo de rebote del relé	**3 ms**
Durabilidad mecánica y eléctrica	
Mecánica (sin carga)	**20,000,000 operaciones**
Eléctrica (conexión a la carga)	**100,000 operaciones**
Especificaciones Físicas	
Longitud	**9 cm**
Ancho	**2.3 cm**
Temperatura de Operación	**-40 °C**
Temperatura de Operación	**70 °C**
Temperatura de Almacenamiento	**-40 °C**
Temperatura de Almacenamiento	**85 °C**

Especificaciones técnicas del módulo NI 9472

General	
Familia de Productos	**E/S Industrial**
Formato Físico	**CompactDAQ , CompactRIO**
Sistema Operativo/Objetivo	**Real-Time , Windows**
Tipos de Medida	**Digital**
Tipo de Aislamiento	**Aislamiento de Canal a Tierra**
E/S Digital	
Canales de Salida Únicamente	**8**
Máximo Rango de Tiempo	**10 kHz**
Niveles Lógicos	**24 V , Otro , Requires External Power Supply**
Salida de Flujo de Corriente	**Sourcing**
Capacidad de Corriente Simple	**0.75 A**
Capacidad de Corriente Total	**6 A**
¿Soporta Protocolo de Sincronización para E/S?	**Sí**
¿Soporta E/S de Patrones?	**Sí**
Máximo Rango de Salida	**6 V - 30 V**
Especificaciones Físicas	
Longitud	**9 cm**
Ancho	**2.3 cm**
Conector de E/S	**D-Sub de 25 pines , Terminales de tornillo**
Temperatura de Operación	**-40 °C a 70 °C**
Temperatura de Almacenamiento	**-40 °C a 85 °C**
Temporización/Disparo/Sincronización	
Disparo	**Digital**
Dispara Chasis cDAQ	**Sí**

Especificaciones técnicas del chasis NI 9178

General	
Producto	cDAQ-9178
Formato Físico	USB , CompactDAQ
Tipo de Producto	Chassis
Número de Parte	781156-01
Sistema Operativo/Objetivo	Real-Time , Windows
Soporte para LabVIEW RT	No
Humedad Relativa de Operación	10 percent - 90 percent
Chasis	
Número de Ranuras	8
Potencia Total Disponible	15 W
Rango de Entrada de Voltaje	9 V - 30 V
Disparo Integrado	Sí
Contadores/Temporizadores	
Número de Contadores/Temporizadores	4
Resolución	32 bits
Interfaz de Bus	
Especificaciones de USB	USB 2.0 de Alta Velocidad
Transferencias de Datos de Alto Rendimiento	7
Tipos Disponibles	Salida Digital , Entrada de Contador/Temporizador , Salida Analógica , Entrada Digital , Entrada Analógica
Impacto y Vibración	
Impacto Operacional	30 g
Rango Aleatorio de Frecuencia de Operación	5 Hz - 500 Hz
Vibración Aleatoria	0.3 g

Especificaciones Físicas	
Longitud	25.4 cm
Ancho	8.81 cm
Altura	5.89 cm
Peso	878 gram
Temperatura de Operación	-20 °C
Temperatura de Operación	55 °C
Máxima Altitud	5000 m

Especificaciones técnicas PRT 5616.

FLUKE®
Hart Scientific®

Specifications

Parameter	Value
Temperature range	–200 °C to 420 °C
Nominal resistance at 0.01 °C	100 Ω ± 0.5 Ω
Temperature coefficient	0.003925 Ω/Ω/°C nominal
Accuracy[1]	See footnote
Short-term repeatability[2]	± 0.010 °C at 0.010 °C (see footnote)
Drift[3]	± 0.010 °C at 0.010 °C (see footnote)
Hysteresis	± 0.010 °C maximum
Sensor length	50.8 mm (2.0 in)
Sensor location	6.0 mm ± 2.5 mm from tip (0.24 in ± 0.10 in)
Sheath diameter tolerance	± 0.08 mm (± 0.003 in)
Sheath material	INCONEL® 600
Minimum insulation resistance	500 MΩ at 23 °C
Transition junction temperature range[4]	–50 °C to 150 °C (see footnote)
Transition junction dimensions	76.2 mm x 9.5 mm (3.00 in x 0.375 in)
Minimum immersion length[5] (< 5 mK error)	102 mm (4.0 in)
Maximum immersion length	254 mm (10 in)
Response time[5]	8 seconds typical
Self heating (in 0 °C bath)	60 mW/°C
Lead-wire cable type	Teflon®-jacketed cable, Teflon® insulated conductors, 24 AWG stranded, silver plated copper
Lead-wire length	182.9 cm ± 2.5 cm (72.0 in ± 1.0 in)
Lead-wire temperature range	–50 °C to 150 °C
Calibration	NIST-traceable calibration

[1]"Accuracy" is a difficult term when used to describe a resistance thermometer. The simplest way to derive basic "accuracy" is to combine the probe drift specification and calibration uncertainty with readout accuracy at a given temperature.
[2]Three thermal cycles from min to max temp, includes hysteresis, 99.8 % confidence
[3]After 100 hrs at max temp, 99.8 % confidence
[4]Temperatures outside this range will cause irreparable damage. For best performance, transition junction should not be too hot to touch.
[5]Per ASTM E 644

Calibration Uncertainty	
Temperature	Expanded Uncertainty (k=2)
–197 °C	0.012 °C
–80 °C	0.012 °C
–38 °C	0.011 °C
0 °C	0.009 °C
156 °C	0.011 °C
230 °C	0.013 °C
420 °C	0.021 °C

Note: Laboratories may periodically reevaluate their uncertainties. Calibration uncertainties depend on the calibration process, the standards used, and the instrument performance.

Especificaciones técnicas variador SINAMICS G110.

Características	Datos técnicos
Tensión de red y márgenes de Potencia	200 V a 240 V (±10%) 1AC 120 W a 3.0 Kw
Frecuencia de red	47 a 63 Hz
Frecuencia de salida	0 Hz a 650 Hz
Cos phi	≥0,95
Grado de rendimiento del convertidor	En equipos < 750 W: 90% a 94% En equipos ≥750W: ≥95%
Capacidad de sobrecarga	Sobrecorriente = 1,5 x corriente de salida nominal (o sea 150 % sobrecarga) durante 60 s, después 0,85 x corriente de salida nominal durante 240 s, tiempo de ciclo 300 segundos
Corriente de precarga	Menor que la corriente de entrada nominal
Métodos de control/regulación	• Característica V/f lineal (con elevación de tensión parametrizable) • Característica V/f cuadrática • Característica multipunto (característica V/f parametrizable)
Frecuencia de pulsación	8 kHz (estándar); 2 kHz a16 kHz (en escalones de 2 kHz)
Frecuencias fijas	3, parametrizable
Inhibición de frecuencia	1, parametrizable
Entradas digitales	Hasta 4
Entrada analógica	Variante con una entrada analógica (también utilizable como entrada digital)
Salida digital	1 salida por optoacoplador con aislamiento galvánico (24 V DC, 50 mA, óhm., tipo NPN)
Interfaces de comunicación	Variante con interfaz serie RS485 para funcionar con protocolo USS
Longitud cables motor	Máx. 25 m (apantallado) máx. 50 m (no apantallado)
Grado de protección	IP20
Temperatura en servicio	10 a 40 °C, hasta +50 °C con reducción de potencia

Especificaciones técnicas transmisor de presión P200.

Características Técnicas.	
Medición de presión absoluta	**Líquidos, gases y vapores**
Material de las piezas sin contacto con el fluido.	**Acero inoxidable**
Material de las piezas en contacto con el fluido.	**Cerámica y acero inoxidable + material de la junta**
Modo de operación.	
Principio de medición Célula de medida piezorresistiva (membrana cerámica)	**Magnitud de medida Presión relativa y absoluta**
Entrada	
Rango de medida Para presión Absoluta.	**(0 ... 100 psi)**
Salida	**0 ... 10 V; conexión a tres hilos; alimentación auxiliar 12 ... 33 V CC**
Grado de protección según IEC 60529	**IP 65**
Tiempo de respuesta transitoria T99	**< 5 ms**
Sin Protección contra explosiones (solo 4 ... 20 mA)	
Conexión eléctrica Cable de 2 o 3 hilos (0.5 mm^2) (Ø ± 5.4 mm), rosca de prensaestopas M16 (con acoplamiento).	

Especificaciones técnicas bombas peristálticas. TH25

Modelo	**TH25 DC motor**
Velocidad	46,67,120,160r
Tamaño de Tubería	Wall thickness 2.4mm, inner diameter 9.6mm
Flow rate	0~1900ml/min
Potencia	5~18W
Motor	DC motor
Voltaje	12V

Especificaciones técnicas sensor de distancia analógico

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Absolute Maximum Ratings

Ta = 25°C, V_{CC} = 5 VDC

PARAMETER	SYMBOL	RATING	UNIT
Supply Voltage	V_{CC}	-0.3 to +7	V
Output Terminal Voltage	V_O	-0.3 to (V_{CC} +0.3)	V
Operating Temperature	Topr	-10 to +60	°C
Storage Temperature	Tstg	-40 to +70	°C

Operating Supply Voltage

PARAMETER	SYMBOL	RATING	UNIT
Operating Supply Voltage	V_{CC}	4.5 to 5.5	V

Electro-optical Characteristics

Ta = 25°C, V_{CC} = 5 VDC

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	NOTES
Measuring Distance Range	ΔL		10	-	80	cm	1, 2
Output Terminal Voltage	V_O	L = 80 cm	0.25	0.4	0.55	V	1, 2
Output Voltage Difference	ΔV_O	Output change at ΔL (80 cm - 10 cm)	1.65	1.9	2.15	V	1, 2
Average Supply Current	I_{CC}	L = 80 cm	-	30	40	mA	1, 2

NOTES:
1. Using reflective object: white paper (made by Kodak Co. Ltd.) gray cards R-27, white face, reflective ratio: 90%
2. L = Distance to reflective object.

Especificaciones técnicas sensor de distancia

SHARP GP2Y0D810Z0F

■Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V_{CC}	-0.3 to +7	V
Output terminal voltage	V_O	-0.3 to V_{CC}+0.3	V
Input terminal voltage	V_{in}	-0.3 to V_{CC}+0.3	V
Operating temperature	T_{opr}	-10 to +60	℃
Storage temperature	T_{stg}	-20 to +70	℃
* Soldering temperature	T_{sol}	260	℃

■Electro-optical Characteristics

(T_a=25℃,V_{CC}=5V)

Parameter	Symbol	Rating	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Average supply current	I_{CC1}	V_{CC}=5V, V_{in}=5V, R_L=4.3Ω (*1)	—	5	6.5	mA
Average supply current	I_{CC2}	V_{CC}=5V, V_{in}=5V, R_L=4.3Ω (*1)	—	9	10.5	mA
Stand-by supply current	I_{CC3}	V_{CC}=5V, V_{in}=0V	—	5	8	μA
Output voltage	V_{OH}	Output voltage at high level	V_{CC}-0.6	—	—	V
	V_{OL}	Output voltage at low level	—	—	0.6	V
Detecting distance	L	(*2)(*3)	80	100	130	mm

(*1) I_{CC1} : (LED Emitting time : Typ. 20 μs × 8 times), I_{CC2} : (Emitting time : Typ. 20 μs × 15 times),
LED Pulse Current : Typ. 70 mA
(*2) Using reflective object : White paper (Made by Kodak Co., Ltd. gray cards R-27 white face, reflectance ; 90%)
(*3) Output voltage switch has a hysteresis width. The distance specified by L should be
the distance which the output turns from L to H in case an object moves to the sensor.

■Recommended operating conditions

Parameter	Symbol	Conditions	Rating	Unit
Supply voltage	V_{CC}		2.7 to 6.2	V
High level input voltage	V_{inH}	CMOS level signal. Operating	MIN V_{CC}-0.2	V
Low level input voltage	V_{inL}	CMOS level signal. Standby state	MAX 0.2	V

Especificaciones técnicas del Propilenglicol

Características y Propiedades Químicas y Físicas

Aspecto: líquido
Color: incoloro
Olor: inodoro
Punto de ebullición: 189 º c
Punto de congelación: > - 60º c
Punto de inflamación: 98,9 º c
Auto inflamabilidad: 400 º c
Propiedades explosivas: límite inferior explosivo: 2,6 %, límite superior
Explosivo: 12,6 %
Presión de vapor: 0,07 mm hg
Densidad: 1,0361 g/cm3 a 20 º c
Tensión superficial: 40,1 dinas/cm a 25 º c
Densidad de vapor: 2,62
Calor de vaporización: 168,6 cal/g
Hidrosolubilidad: soluble
Peso molecular: 76,11 g/mol
Viscosidad: 0,581 poise a 20 º c

Estabilidad e Identificación de Riesgos (TOXICOLOGÍA)

La inhalación de vapores o nieblas (sólo cuando el material se calienta o es violentamente agitado). Contacto directo con la piel y ojos. La ingestión ocurre de modo accidental.

- En caso de inhalación: Puede causar irritación respiratoria.
- En caso de contacto con la piel: Puede causar irritación de la piel
- En caso de contacto con los ojos: Puede causar irritación en los ojos.

- En caso de ingestión: Ninguno conocido
- Efectos crónicos: Existen datos que indican que el producto puede causar efectos sobre la reproducción.

Manipuleo y Almacenamiento

Almacenamiento: A altas temperaturas el producto se descompone produciendo humos tóxicos e irritantes. Almacenar en recipientes resistentes al producto, correctamente sellados y etiquetados, dispuestos en lugares frescos y bien ventilados. Almacenar a temperatura ambiente, entre 20 y 30 º C. Materiales incompatibles: materiales oxidantes, metales.

Manipulación: Llevar equipos adecuados, para evitar el contacto o la inhalación prolongada de vapores. No fumar, comer ni beber durante la manipulación del producto. Lavarse las manos usando un jabón. Eliminar todas las posibles fuentes de ignición del área de manejo y almacenamiento del material, evitar chispas, llamas, electricidad estática.

Medidas de Seguridad Industrial.

En caso de incendio: Combatir con espuma química y niebla de agua.

Productos de combustión: CO2, H2O, y CO (en ausencia de oxígeno).

Medidas especiales: Sacar el recipiente de la zona afectada por el fuego, si puede hacerse sin riesgo. El agua pulverizada aplicada sobre la superficie da lugar a la formación de espumas que ayudan a sofocar el incendio.

Peligros especiales: El producto presenta un bajo peligro de incendio y debe ser calentado previamente para que la ignición ocurra. Se pueden producir compuestos tóxicos e irritantes por descomposición térmica.

Equipos de protección: Guantes y trajes resistentes al calor. Aparato de respiración autónomo en caso de elevadas concentraciones de vapores o humos densos.

Protección Personal

Para la protección respiratoria: No es necesario.
Para la protección para las manos: Cubrir las zonas expuestas.
Para la protección de la piel: Cubrir las zonas expuestas.
Para la protección para ojos: use antiparras ajustables. Leve irritación por salpicaduras.

Primeros Auxilios

En caso de inhalación: No genera vapores a temperatura ambiente. Llevar al paciente al aire libre. Llevar al médico si el malestar persiste.

En caso de contacto con la piel: Lave con agua y jabón. Retirar la ropa contaminada. Si la irritación persiste o el contacto ha sido prolongado procure atención médica.

En caso de contacto con los ojos: lave de inmediato con un chorro de agua abundante hasta que ceda la irritación.

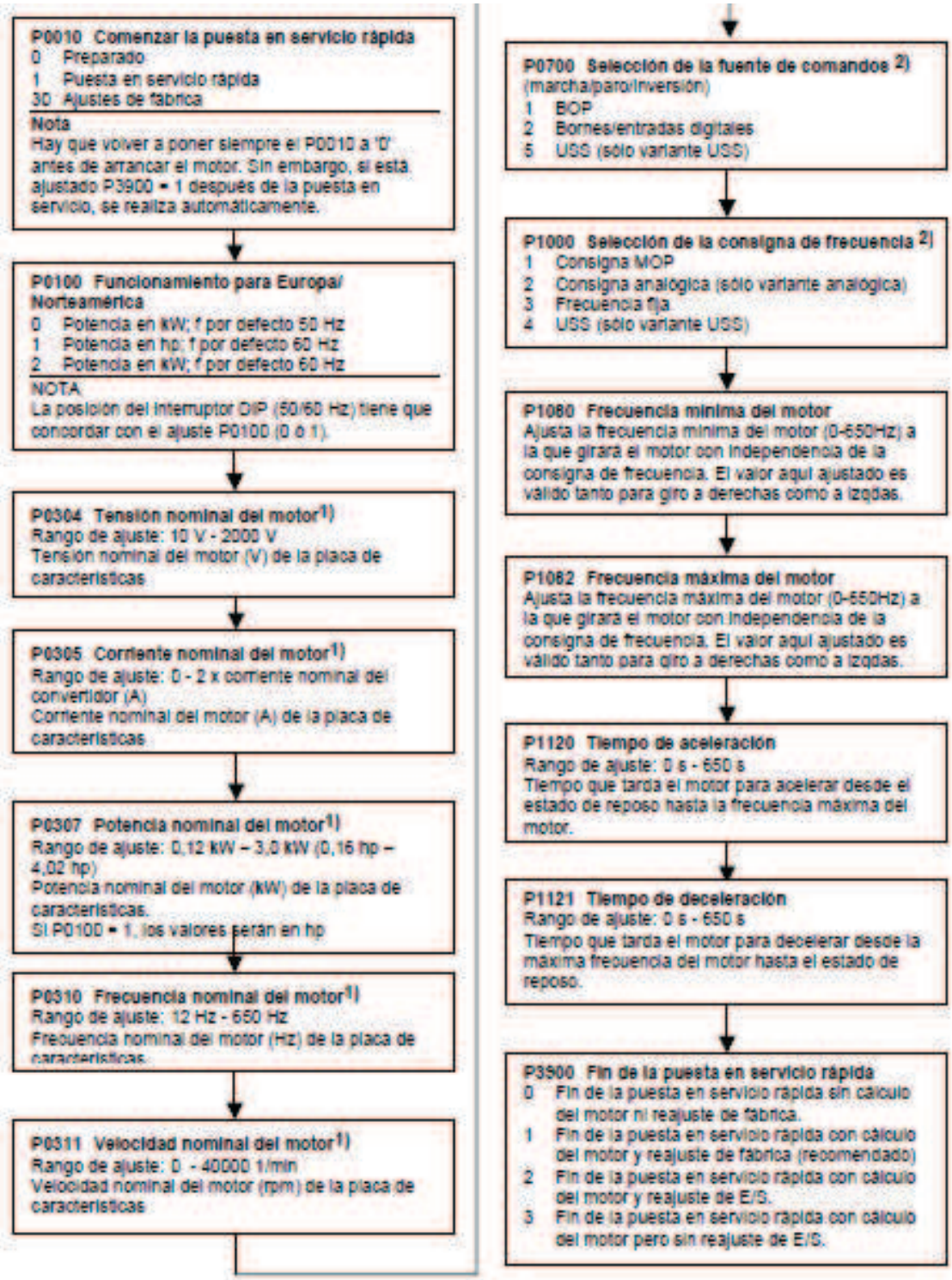
En caso de ingestión: Si la persona está consciente suministrar dos vasos con agua y provocar el vómito. Acudir al médico inmediatamente.

Especificaciones técnicas del HFE 7500 5023

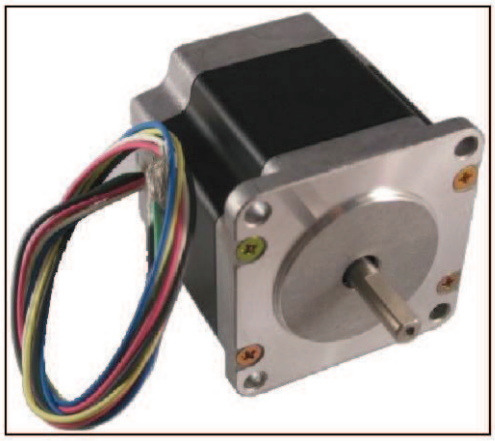
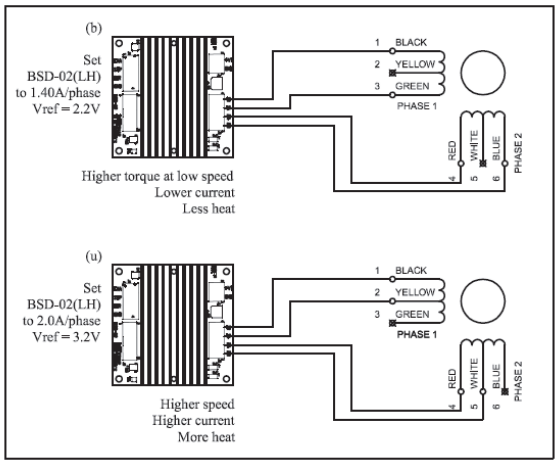
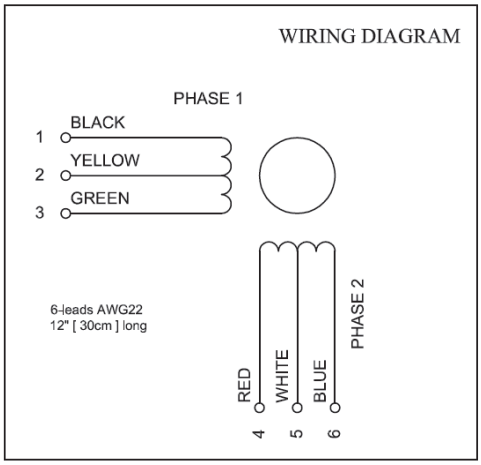
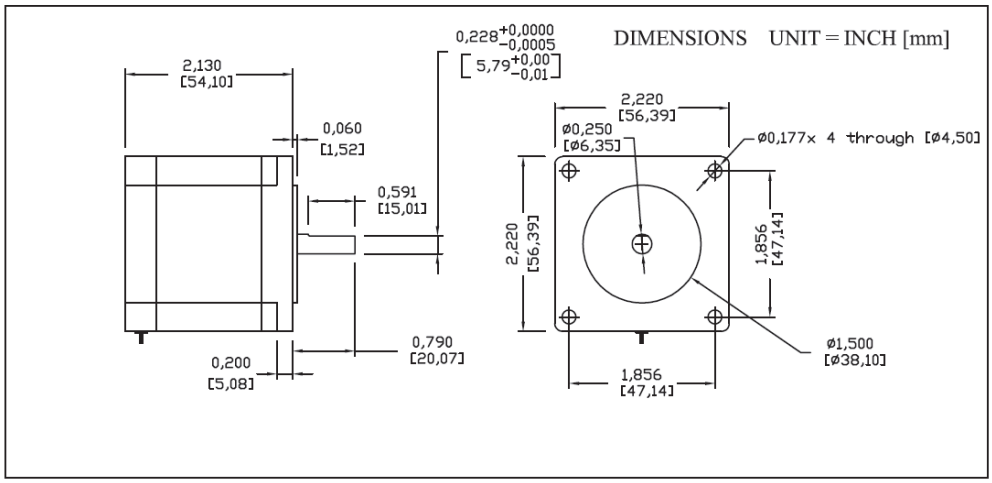
Características y Propiedades Químicas y Físicas

Specific Physical Form:	liquid
Odor, Color, Grade:	clear colorless, very faint sweet odor
General Physical Form:	Liquid
Autoignition temperature	332 °C
Flash Point	*Not Applicable*
Flammable Limits - LEL	*Not Applicable*
Flammable Limits - UEL	*Not Applicable*
Boiling point	130 °C
Density	1.61 g/ml
Vapor Density	Approximately 14.3 [*Ref Std:* AIR=1]
Vapor Pressure	6 mmHg [@ 20 °C]
Specific Gravity	1.61 [*Ref Std:* WATER=1]
pH	*Not Applicable*
Melting point	-100 °C
Solubility In Water	[*Details:* <6 PPB]
Evaporation rate	*No Data Available*
Volatile Organic Compounds	100 %
Kow - Oct/Water partition coef	*No Data Available*
Percent volatile	100 %
VOC Less H2O & Exempt Solvents	100 %
Viscosity	.77 centistoke [@ 25 °C]

ANEXO 4: GUIA DE PROGRAMACIÓN PARA PUESTA EN MARCHA DEL VARIADOR.



ANEXO 5: Especificaciones técnicas del motor paso a paso.



SPECIFICATIONS		(u)-unipolar connection (b)-bipolar series connection
Step Angle	deg	1.8
Voltage	V DC	3.6 (u), 5.0 (b)
Current / phase	A / phase	2.0 (u), 1.4 (b)
Resistance / phase	ohm / phase	1.8 (u), 3.6 (b)
Inductance / phase	mH / phase	2.5 (u), 10 (b)
Holding Torque	oz-in	127 (u), 166 (b)
	N-cm	90 (u), 117 (b)
Detent Torque	oz-in	N/A
	N-cm	N/A
Rotor Inertia	oz-in2	1.64
	g-cm2	3
Weight	lbs	1.5
	kg	0.7