



INAOE

**Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica
y Electrónica.**

**Medición de temperaturas
y nivel de agua para el
sistema de enfriamiento
de compresores de equipo
criogénico de 4 Kelvin.**

por

Dr. Daniel Ferrusca R.

Walfred Gerardo Sánchez Gabriel

REPORTE TÉCNICO

GTM-LMT

Sta. María Tonantzintla, Pue.

Noviembre, 2015

©INAOE 2015

Derechos Reservados

El autor otorga al INAOE el permiso de reproducir y distribuir copias de este reporte técnico en su totalidad o en partes mencionando la fuente.



ÍNDICE GENERAL

1. RESUMEN	2
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
A) Medición de temperaturas en tanques de agua.	2
B) Medición de nivel de agua en los tanques.....	3
3. JUSTIFICACION.....	3
4. OBJETIVOS	4
Objetivos generales del trabajo	4
Objetivos específicos.....	5
5. METODOLOGIA.....	5
6. MEDICIONES EXPERIMENTALES Y LOGROS ALCANZADOS	20
7. RESUMEN DE RESULTADOS.....	23
8. CONCLUSIONES	23
9. PERSPECTIVAS FUTURAS	24
10. REFERENCIAS.....	25
Apendice A: Lista de materiales	26
Apendice B: Programa para el sistema de adquisición de datos en plataforma arduino	27
Apendice C: Programa Labview.....	35
Apendice D: Diagrama eléctrico: Conexión de los sensores al arduino.	38

1. RESUMEN

El trabajo realizado consistió en la medición de la temperatura de dos tanques (agua fría y agua caliente) encargados de enviar agua pre-refrigerada por torres de enfriamiento en un circuito cerrado para disipar el calor de un compresor que a la vez refrigera helio ultra puro dentro de un criostato, para ello fueron instalados sensores de temperatura (termopares tipo K) a prueba de agua dentro de dichos tanques para tener conocimiento del calor que adquiere el agua en su paso por el compresor. El agua que pasa por dicho compresor no debe de sobrepasar los 26°C puesto que el compresor tiende a apagarse, apagando el criostato que detiene sus actividades por cuestiones de seguridad. La información proveniente de los sensores en los tanques es enviada por la red del instituto, de forma que cualquier computadora que esté conectada a dicha red, pueda acceder a la información de las temperaturas del agua de los tanques. Se implementó un pequeño servidor para enviar los datos por la red con el fin de minimizar los recursos, minimizando también el costo del proyecto.

Como una segunda parte del proyecto, fue propuesta una actualización del sistema que permite medir el nivel del agua en los tanques. Para dicho proyecto se utilizaron sensores ultrasónicos que permiten medir la distancia que existe desde la localización donde fueron instalados hasta donde se encuentre el agua dentro del tanque. Al igual que los medidores de temperatura toda la información correspondiente fue enviada a través de la red, pudiendo ingresar a ella desde cualquier dispositivo capaz de conectarse a internet que cuente con un navegador de internet. Se implemento además un instrumento virtual de National Instruments LabVIEW que ingresa automáticamente al servidor y muestra los datos de manera grafica.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A) MEDICIÓN DE TEMPERATURAS EN TANQUES DE AGUA.

1. El sistema de refrigeración de los criostatos en fase de prueba que se encuentran en el laboratorio, es una red de componentes que se enfrían unos a otros. Dos torres de enfriamiento se encargan de bajar la temperatura del agua que absorberá el calor provocado por un compresor, el cual a la vez esta encargado de refrigerar el criostato que se encuentre en función.
2. La cadena de refrigeración comienza con las torres encargadas de bajar la temperatura del agua. Este sistema esta compuesto por dos tanques a modo de cisterna, almacenando en uno de ellos el agua refrigerada que a pasado por las torres de enfriamiento, y en el otro el agua caliente que a pasado por el compresor

de helio. La temperatura que debe tener el agua fría antes de pasar por el compresor de helio debe de ser menor a los 26°C debido a que el compresor tiende a auto apagarse por motivos de seguridad.

3. Controlar la temperatura de una masa de agua tan grande como la que existe en dichos tanques requiere de sistemas de alto costo, por lo cual se opto por mantener un monitoreo constante de las temperaturas en los tanques de agua, con el fin de obtener datos sobre la tendencia de la temperatura que entra y sale del compresor.

4. Los criostatos manejados en el laboratorio se encuentran en distintos lugares, por lo cual, mover la instrumentación de medición de temperatura de un lado al otro no es algo factible. Se propuso la creación de un pequeño servidor de red, que permita a diferentes equipos acceder a la información de manera rápida y sencilla, pudiendo acceder directamente desde el navegador de internet, o desde un instrumento virtual, ya sea con red cableada o vía inalámbrica.

B) MEDICIÓN DE NIVEL DE AGUA EN LOS TANQUES

1. La refrigeración del agua es un sistema de ciclo cerrado, el agua que se enfría pasa directamente al compresor de helio y regresa al tanque de agua caliente, donde es bombeado a la torre de enfriamiento, y regresa al tanque de agua fría.

2. En teoría la cantidad de agua que circula por los tanques debería ser la misma. Sin embargo existen perdidas por la diferencia de temperaturas entre el ambiente y el agua caliente que sale del compresor, evaporándose. Ante este fenómeno, es necesario rellenar los tanques cada que se ha perdido una cantidad considerable de agua.

3. Los tanques cuentan con flotadores automáticos que controlan el flujo de agua que circula entre los tanques. Sin embargo, estos tienden a fallar por motivos de acumulación de sarro, haciendo que el agua escape de los tanques.

4. Se propuso el diseño de un sistema de medición de nivel que permita tener un fácil acceso a dicha información, además de poder caracterizar el flujo del agua en los tanques cuando un criostato esta en funcionamiento.

3. JUSTIFICACION

Al tratarse de dispositivos de refrigeración, la cantidad de calor disipada por ellos es de 10 a 15 KVA . Los criostatos en fase de pruebas dentro del laboratorio son capaces de bajar hasta una temperatura de 4° Kelvin, por lo cual los sistemas requeridos para la disipación de calor del sistema deben de ser constantes con la cantidad de temperatura que disipan. La cadena de refrigeración después del

criostato continua con los compresores de helio ultra puro, que a la vez son enfriados por agua fría proveniente de las torres de enfriamiento; al ser estas torres el inicio de la cadena, debe de haber certeza de que el agua que circula hacia el compresor sea menor a 26° centígrados, o se tiene el riesgo de que el sistema se apague. Sin embargo, al ser las torres de enfriamiento dispositivos que no retroalimenta la temperatura a la que se esta enfriando el agua, además de el intercambio térmico que ocurre con el calor proveniente del medio ambiente, sumado con la cantidad de calor contenido en el agua que se encuentra almacenada en el tanque y demás factores térmicos influyentes dentro del sistema, la certeza de que la temperatura del agua que circulará hacia el compresor es prácticamente nula. Para ello es necesario implementar un sistema que sea capaz de capturar la temperatura promedio del agua contenida en ambos tanques, de manera que se pueda tener conocimiento de la tendencia de la temperatura dentro de los tanques de agua cuando un criostato esta en funcionamiento, además de poderse alertar en caso de que el agua este sobrepasando los limites deseados.

La instrumentación dentro de criostatos manejados en el laboratorio se encuentran en fase de pruebas. Dichas fases de pruebas pueden durar días, en los cuales se obtienen datos de la instrumentación dentro de ellos. Es importante mantener los criostatos funcionando de manera estable y continua, de manera que el flujo de datos no se vea interrumpido.

4. OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES DEL TRABAJO

- El objetivo principal del trabajo es la creación de un sistema capaz de medir las temperaturas provenientes de los tanques. Dicho sistema debe de enviar los datos obtenidos por la red, pudiendo ser consultada desde cualquier navegador web, desde computadoras hasta dispositivos móviles, desde una red cableada Ethernet o vía inalámbrica (Wi-Fi).
- Implementación de un sistema de censado del nivel de agua en los tanques, pudiendo con esta información tener conocimiento de la cantidad de agua contenida y que dicha información pueda ser consultada en la red haciendo uso de un navegador de internet, o del instrumento virtual de National Instruments LabVIEW.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar un sistema de adquisición robusto para los termopares y los sensores de nivel.
- Implementar un servidor web Ethernet para el sistema de adquisición conectado a la red local de la institución.
- Implementar un servidor web Wi-Fi para el sistema de adquisición al cual se pueda acceder en toda la extensión del laboratorio.
- Implementar un instrumento virtual (National Instruments LabVIEW) para guardar los datos entrantes, además de poder visualizarlos de manera en un computador.
- Diseño de PCB's e impresión de placas correspondientes para el sistema propuesto.
- Instalación de los sensores en los tanques.
- Instalación del sistema de adquisición y servidores web dentro del laboratorio, cableado de red y localización del equipo finalizado.

5. METODOLOGIA

1. Para iniciar el proyecto, fue necesario conocer el funcionamiento de los termopares para aire/inmersión en agua tipo K, con un rango de 32° a 2282° Fahrenheit y 8 pies de largo (figura 1), los cuales fueron cableados, uno de ellos con cable solido especial para termopares tipo K, y el otro con cable solido especial para termopares tipo J, ambos con aislamiento de propileno etileno fluorado y 20 pies de largo (Figura 2 y 3)..



Figura 1 Termopar sumergible en agua tipo K, de 32° a 2282 ° Fahrenheit, 8 pies de largo.

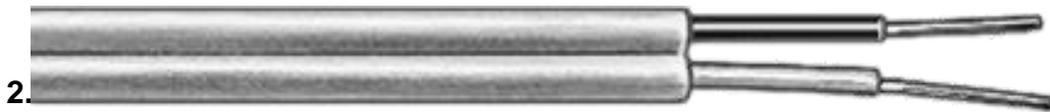


Figura 2 Cable solido con aislamiento de propileno etileno fluorado, para termopar tipo K, con 20 pies de largo.

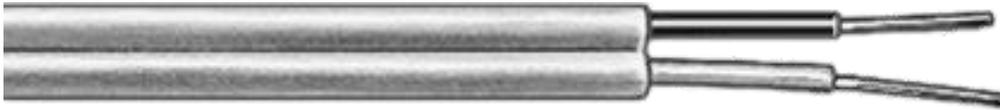


Figura 3 Cable solido con aislamiento de propileno etileno fluorado, para termopar tipo J, con 20 pies de largo.

2. Puesto que no se contaba con ningún dato correspondiente a dichos sensores, numero de serie, hoja de datos, o información directa del proveedor se experimento haciendo uso de una plancha eléctrica con el fin de inducir calor en el sensor y observar el cambio en la resistencia según la variación de temperatura. Sin embargo, se encontró una manera más sencilla de obtener datos del sensor mediante el uso del Chip Max 6675, el cual convierte la señal analógica entregada por el termopar tipo k, dando como salida una señal digital de 12 bits, y una resolución de .25°C.
3. Se seleccionaron, cotizaron y compraron los componentes adecuados para llevar a cabo el proyecto, tomando en cuenta el tipo de señales que serían adquiridas, la vía de la adquisición para los datos, fidelidad de los componentes, facilidad de manejo, autonomía, etc. Las piezas que fueron seleccionadas son las siguientes:

Arduino Uno¹ (Figura 4): Arduino es una plataforma de [hardware libre](#), basada en una [placa](#) con un [micro controlador](#) y un [entorno de desarrollo](#), diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

¹ <https://www.arduino.cc/>

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Tabla 1. Especificaciones técnicas de Arduino Uno.

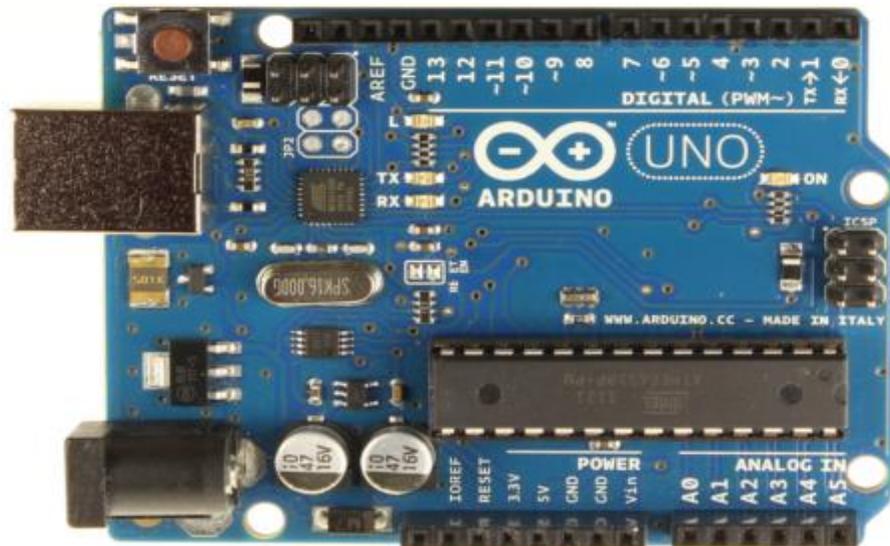


Figura 4 Arduino Uno.

Arduino Ethernet Shield V1² (Figura 5): Modulo dependiente de arduino que permite agregar funciones de red ethernet a la plataforma de desarrollo Arduino.

² <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShield>

- Requiere una placa Arduino.
- 5V Tensión de funcionamiento (suministrado por la tarjeta Arduino).
- Ethernet Controller: W5100 con buffer interno 16K.
- La velocidad de conexión: 10 / 100Mb.
- Conexión con Arduino en el puerto SPI.
- IEEE802.3F compatible.
- Circuito de protección contra sobre carga y corto circuito.

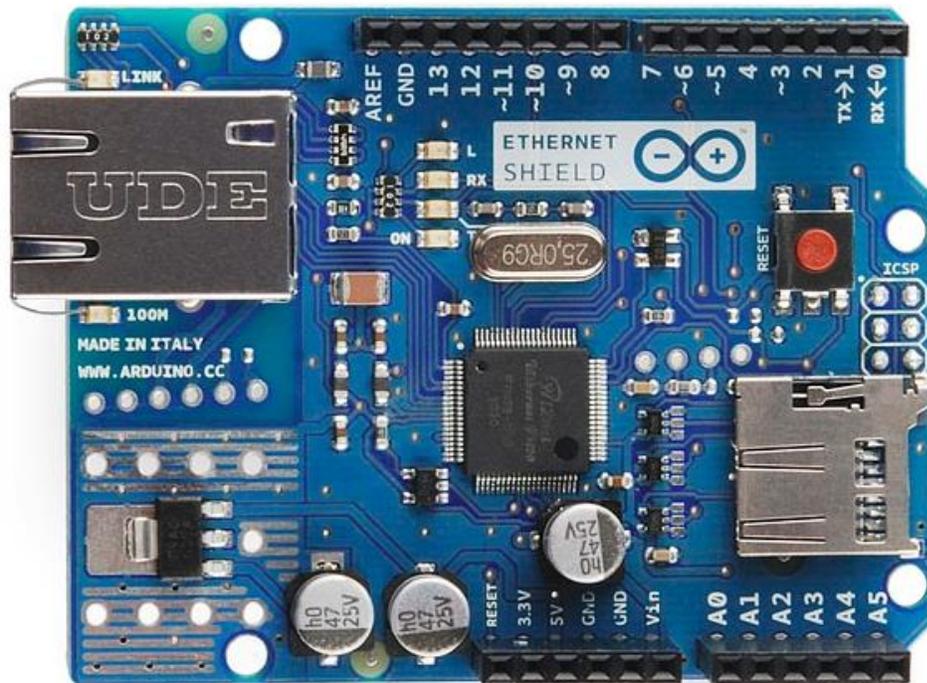


Figura 5 Arduino Ethernet Shield V1.

Esp8266³ (Figura 6): Modulo que permite agregar funciones de red Wi-Fi a la plataforma de desarrollo Arduino.

- Protocolos soportados: 802.11 b/g/n
- Wi-Fi Direct (P2P), Soft Access Point
- Stack TCP/IP integrado
- PLL, reguladores y unidades de manejo de energía integrados
- Potencia de salida: +19.5dBm en modo 802.11b
- Consumo en modo de baja energía: <10 uA

³ http://www.adafruit.com/datasheets/ESP8266_Specifications_English.pdf

- Procesador integrado de 32 bits, puede ser utilizado como procesador de aplicaciones.
- Alimentación con 3.3 v.

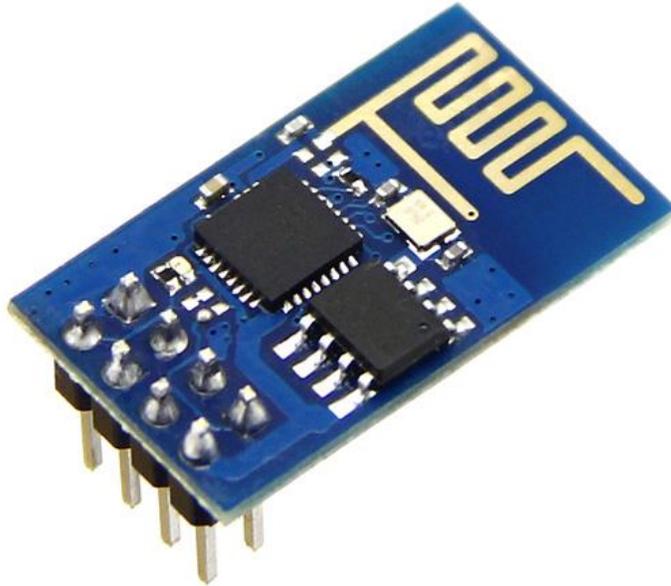


Figura 6 Esp8266 modulo Wi-Fi.

Max 6675⁴ (Figura 7): Circuito integrado que convierte la señal analógica de los termopares tipo K en una señal digital de 12 bits, con una resolución de $.25^{\circ}$. Permite lecturas mayores a 1024° centígrados.

⁴ <https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/MAX6675.pdf>

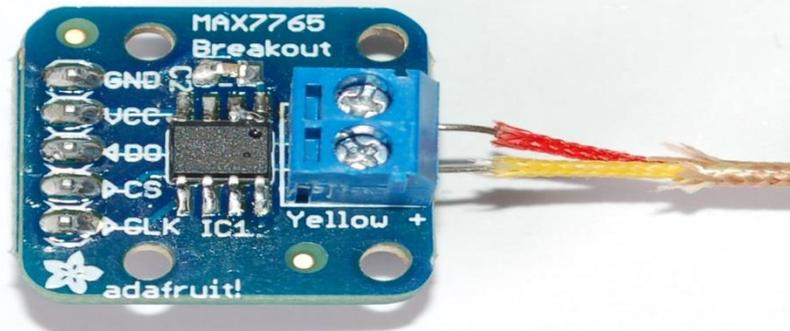


Figura 7 Circuito integrado Max 6675

4. Se dio inicio al programa para la adquisición de datos, haciendo distintos tipos de pruebas , comparando entre los datos arrojados por la adquisición de los termopares y otros sensores de temperatura existentes en el laboratorio, con el fin de disminuir el error en la lectura, calibrando los sensores.
5. Se programo el servidor web Ethernet (figura 5) con la dirección IP asignada por el servidor principal de la institución (192.168.81.33). Se hicieron pruebas de adquisición con el servidor en funcionamiento, se probaron los limites de clientes soportados por el servidor (2 al mismo tiempo) y se probó la robustez de la red.
6. Se programo el servidor web Wi-Fi, dándole una función como punto de conexión tipo router, siendo capaz de auto asignar direcciones IP dinámicas a los dispositivos que se conecten a ella. La información es arrojada directamente al navegador del dispositivo. Se realizaron pruebas de alcance máximo de la red, así como la estabilidad de la conexión, además de el correcto funcionamiento al mantener ambos servidores (Ethernet y Wi-Fi) al mismo tiempo. Sin embargo, presento una falla debido al voltaje de alimentación. Por tal motivo al final de la estancia quedo descartado del

proyecto, ante la necesidad comprar un nuevo modulo, y el tiempo restante para la finalización del proyecto.

7. Se realizo la instalación de los termopares en los tanques de agua, localizados fuera del laboratorio de instrumentación astronómica milimétrica del INAOE, haciendo uso de una guía para cable que permitiera la instalación del cableado desde dentro del laboratorio de instrumentación astronómica milimétrica hasta los tanques, que se encuentran conectados por tubería conduit, y se realizaron las pruebas de adquisición junto con los servidores web con el fin de realizar ajustes ante una posible perdida de datos debido a la distancia entre los sensores y el sistema de adquisición (7 metros aprox.).
8. Se implemento un instrumento virtual (figura 8) en National Instruments LabVIEW con capacidad para adquirir los datos enviados por el sistema de adquisición, guardarlos y graficarlos. Se realizaron pruebas para adquirir dichos datos en distintas computadoras, tanto como tiempos de adquisición, registro de datos y graficado de estos.

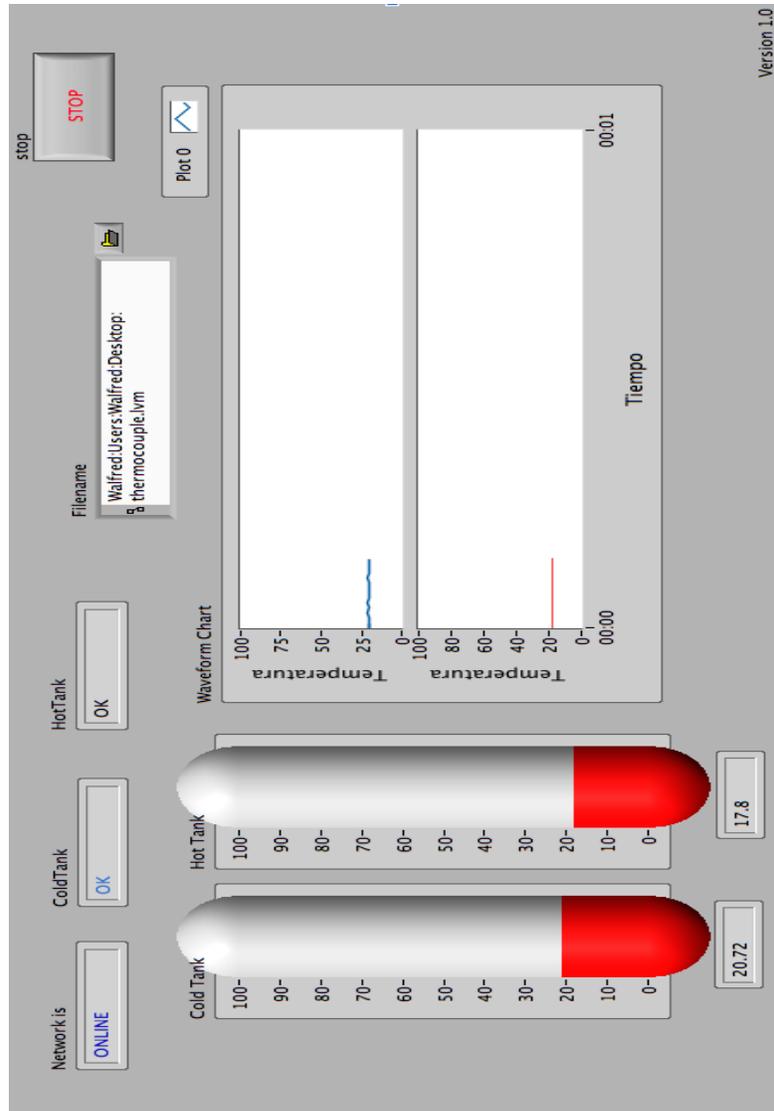


Figura 8 VI correspondiente al sistema de medición de temperaturas.

9. Fue diseñada un PCB (figuras 9 y 10) para conectar los sensores de temperatura y el modulo Wi-Fi con el sistema de adquisición principal. Dicha PCB fue diseñada con el software Fritzing. Tras varias revisiones se llevo a circuito impreso, se soldaron los componentes y se integraron los módulos de los servidores y termopares.

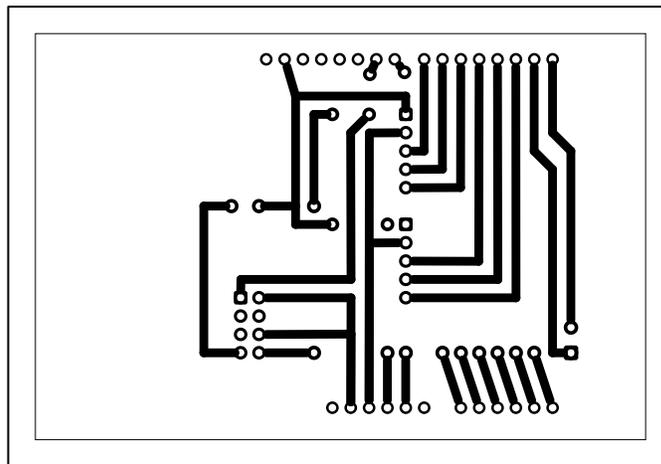


Figura 9 PCB para termopares tipo K y Modulo Wi-Fi Esp8266 realizado en el software Fritzing.

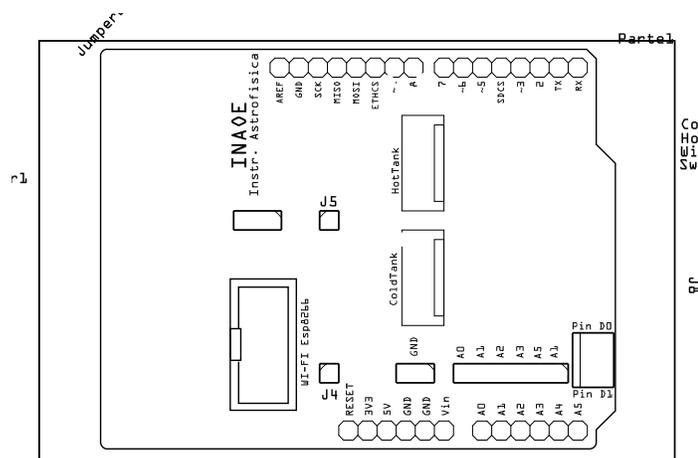


Figura 10 Layout del PCB para termopares tipo K y Modulo Wi-Fi Esp8266 (figura 9) realizado en el software Fritzing.

11. Fue propuesta una mejora para el sistema de medición de temperaturas, con el fin de que pudiera también medir los niveles de agua en los tanques. Debido a que para poder agregar nuevos sensores se necesitaban más pines para la adquisición, se propuso la adquisición de un arduino con más capacidad de procesamiento, y más pines de control, además de sensores ultrasónicos que se midieran el nivel de agua en los tanques:

Arduino MEGA⁵ (Figura 12):

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Tabla 2: Especificaciones técnicas de Arduino MEGA.

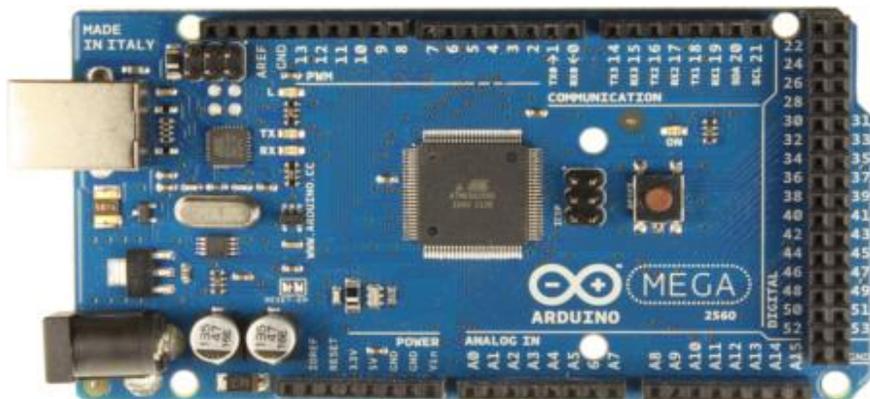


Figura 12. Arduino MEGA.

⁵ <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>

Sensor Ultrasónico hc-sr04⁶ (figura 14) : El HC-SR04 es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm. El sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. Su uso es tan sencillo como enviar el pulso de arranque y medir la anchura del pulso de retorno.

Características

- Dimensiones del circuito: 43 x 20 x 17 mm
- Tensión de alimentación: 5 Vcc
- Frecuencia de trabajo: 40 KHz
- Rango máximo: 4.5 m
- Rango mínimo: 1.7 cm
- Duración mínima del pulso de disparo (nivel TTL): 10 μ S.
- Duración del pulso eco de salida (nivel TTL): 100-25000 μ S.
- Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra 20 mS.



Figura 13 sensor ultrasónico HC-SR04

⁶ <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>

12. Se realizo un nuevo PCB (figura 14) que integra el nuevo sistema de adquisición para el nivel de agua en los tanques .

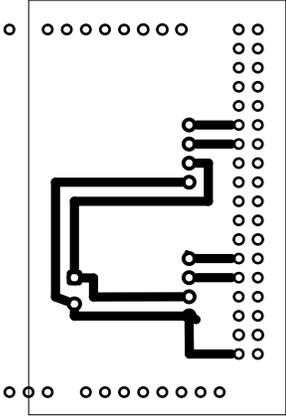


Figura 14 PCB para la conexión de sensores ultrasónicos al arduino realizada en el software Fritzing.

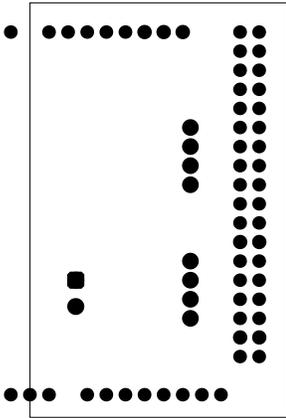


Figura 15 Layout de PCB para la conexión de sensores ultrasónicos al arduino realizada en el software Fritzing.

13. Los nuevos datos que se obtuvieron fueron integrados dentro del instrumento virtual antes creado, el cual fue optimizado para presentar los datos de los sensores ultrasónicos, al igual que las mediciones de temperatura.

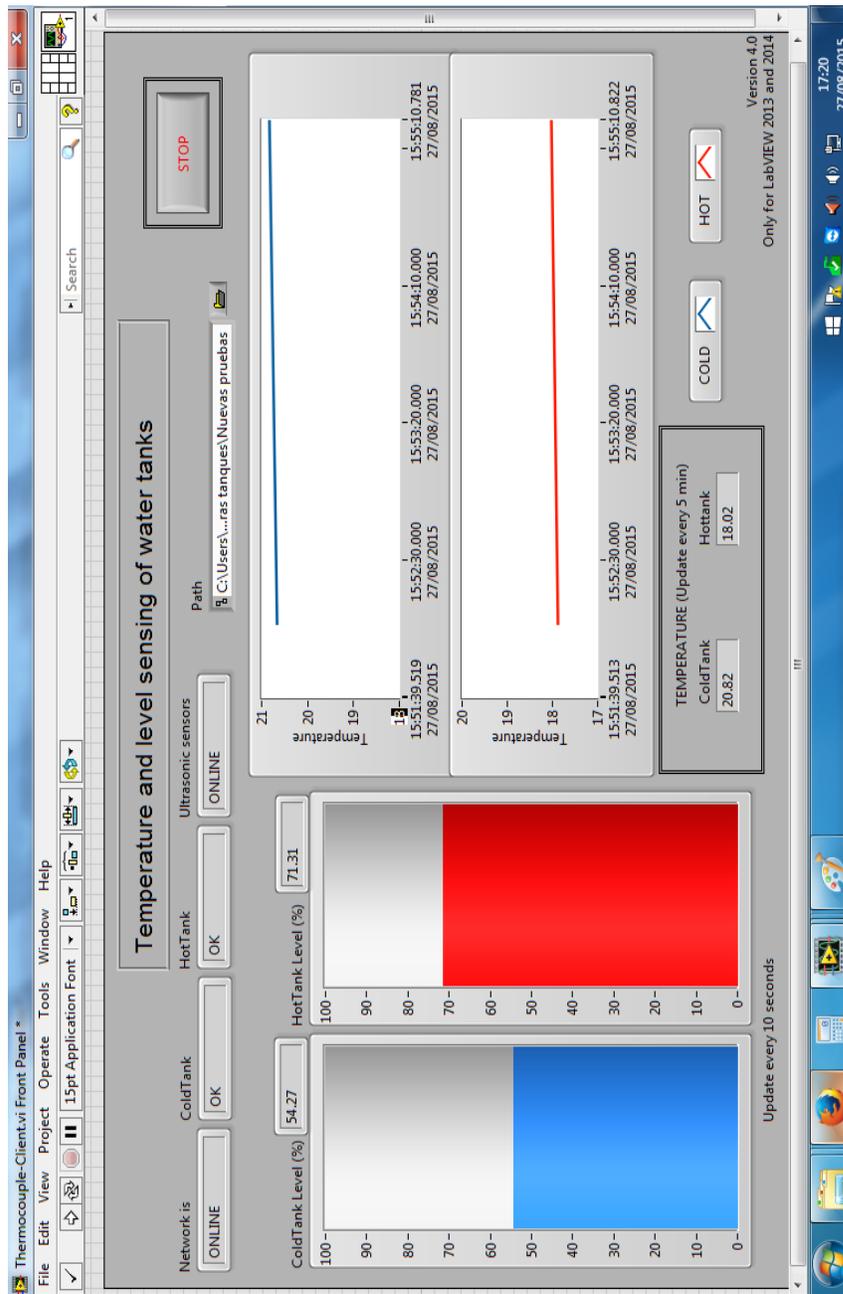


Figura 16 Instrumento virtual de LabVIEW con la integración de la información proveniente de los sensores ultrasónicos.

14. Se realizó la instalación final del nuevo producto, y se someterá a una nueva fase de pruebas con los criostatos en funcionamiento con el fin de poder hacer ajustes generales, y optimizando el sistema.

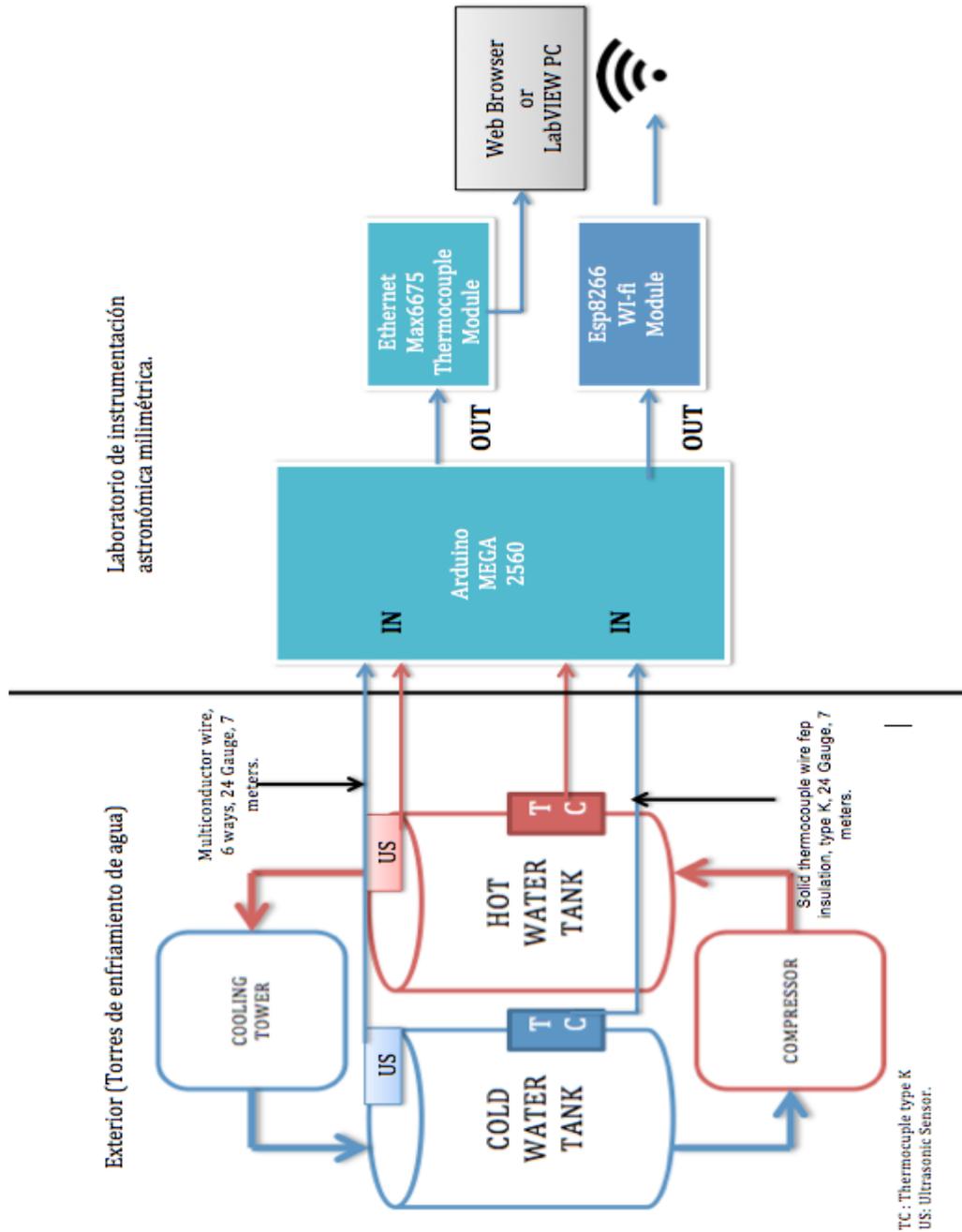


Figura 17 Diagrama general de la instalación final del proyecto.

15. Se realizó la entrega de las especificaciones técnicas del trabajo y la entrega del producto final, siendo la versión final del mismo, con el inconveniente del fallo del modulo Wi-Fi, el cual debe de ser reemplazado por uno nuevo, dándole la alimentación adecuada de 3.3v, evitando alimentarlo directamente desde el arduino. Requerirá de una fuente individual que le entregue una tensión sin ruido eléctrico ni variaciones en la tensión.

6. MEDICIONES EXPERIMENTALES Y LOGROS ALCANZADOS

Datos obtenidos de los sensores de temperatura durante una sesión de prueba, en los cuales se comprobó la estabilidad del servidor y el flujo de datos. Las gráficas 1 y 2 muestran una serie de datos con ruido, mientras que las gráficas 3 y 4 muestran los datos después de haber sido filtrados digitalmente.

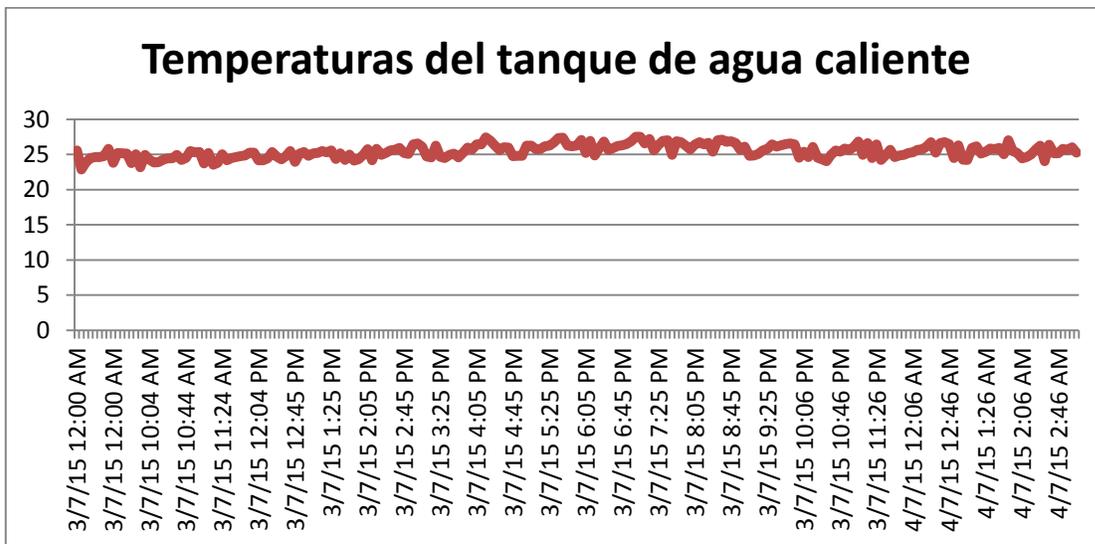


Figura 18 Temperaturas del tanque de agua caliente.

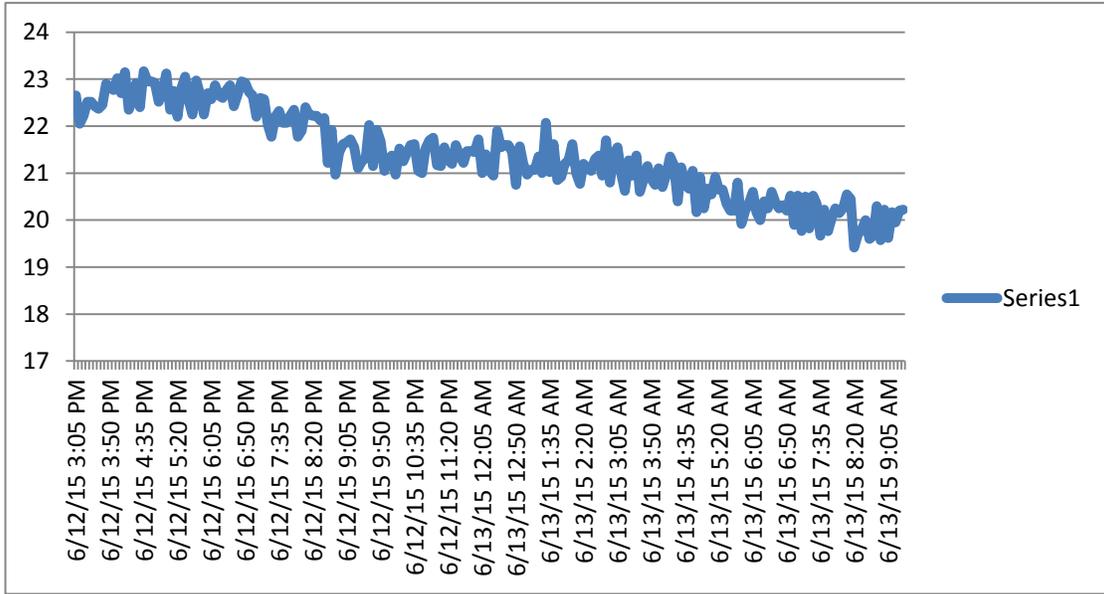


Figura 19 Temperaturas del tanque de agua fría.

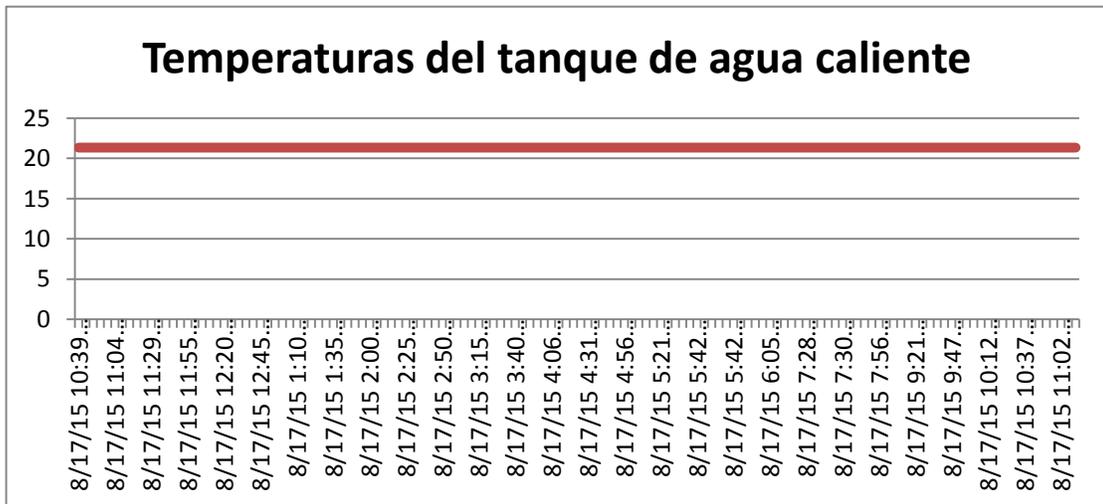


Figura 20 Temperaturas del tanque de agua fría (después de haber pasado por un filtro promediador).



Figura 21 Temperaturas del tanque de agua caliente (después de haber pasado por un filtro promediador).

LOGROS ALCANZADOS
1. Implementación del sistema de adquisición de temperaturas.
2. Implementación de los servidores Web.
3. Implementación y actualización del sistema para la lectura del nivel de agua en los tanques.
4. Obtención de resultados sobre la tendencia de la temperatura y niveles de agua en los tanques.
5. Implementación de instrumento virtual que muestre gráficamente la información enviada por la red del sistema de mediciones.

Tabla 3: Resumen de resultados obtenidos en el proyecto

7. RESUMEN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron los siguientes.

La implementación del sistema de adquisición de datos (temperatura) provenientes de 2 termopares tipo K instalados en los tanques de agua.

La implementación de un servidor Web Ethernet con capacidad para servir a dos clientes al mismo tiempo.

Implementación de un servidor Web Wi-Fi con la capacidad de asignar una IP variable a cualquier dispositivo que se conecte, además de transmitir los datos de temperatura.

Implementación de un instrumento virtual de National Instruments LabVIEW capaz de guardar un registro de los datos obtenidos por el núcleo central, mostrarlos de manera grafica, además de dar aviso ante el fallo, o desconexión de cualquiera de los sensores, caídas de red o el aumento no deseado de la temperatura en los tanques.

Implementación de sensores ultrasónicos HC-SR04 con el fin de medir el agua que se encuentra en los tanques.

Instalación de todos los sensores, cableado, tendido de red dentro de la cisterna donde se encuentran los tanques de agua, además de la instalación del sistema dentro del cuarto de maquinas del laboratorio.

8. CONCLUSIONES

El sistema funciona, y se actualizo conforme a los errores o mejoras que se esperaban del trabajo. A pesar del fallo del modulo Wi-Fi, mientras el sistema se encuentre conectado a la red cableada es posible acceder a los datos de las mediciones enviadas por el servidor.

A partir de constantes pruebas se elimino el ruido proveniente de los sensores de temperatura, y se probó la correcta lectura de los niveles de los tanques, y

los tiempos en los que se recibe la información tanto en el navegador de internet como en el instrumento virtual de LabVIEW.

El proyecto quedó correctamente instalado dentro del cuarto de máquinas del laboratorio de instrumentación astronómica milimétrica del INAOE. El instrumento virtual quedó instalado dentro de la computadora que recopila datos provenientes del criostato que trabaja el alumno de doctorado Salvador Ventura.

La instalación y el cableado probó ser fiable ante la lluvia, la humedad y otras condiciones climáticas. Los sensores ultrasónicos serán sometidos a prueba en cuanto el clima descienda, y los tanques emitan vapor por la diferencia de temperaturas.

A pesar de que mi trabajo no se centró directamente en las actividades que envuelven al laboratorio, como sería el manejo directo de los criostatos, tuve la oportunidad de complementar los sistemas que se encargan de mantenerlos en funcionamiento, haciendo uso tanto de los conocimientos aprendidos durante el tiempo que estude la ingeniería, tanto como de los nuevos conocimientos que aprendí trabajando, conocimientos que generalmente obtuve a partir de los errores que cometí, a los cuales siempre estuve sometido a “aprender a hacerlo bien”. Se necesita de una buena actitud y disposición para hacer los trabajos encomendados, además de la humildad suficiente para disponer del conocimiento de los demás cuando el conocimiento propio no logra resolver los trabajos propuestos.

9. PERSPECTIVAS FUTURAS

Como perspectiva para este pequeño proyecto, espero en primera instancia, puedan ser mejor implementadas las funciones Wi-Fi para que el sistema de mediciones no sea dependiente de la fluctuante red cableada del INAOE, y pueda contar con su propia red para adquisición.

Con la información de los niveles de agua en los tanques puede ser implementado un sistema de control que permita regular el flujo de agua que transita entre los tanques, además de poder detectar y caracterizar las pérdidas de agua en vapor cuando la temperatura ambiente de la zona donde se encuentra el INAOE baja, y a partir de ellas, crear un sistema de control más robusto que permita el rellenado de los tanques.

10. REFERENCIAS

Referencias electrónicas

- <https://www.arduino.cc/>

- <http://www.mcmaster.com/#8549kac/=uv5pyi>

- <https://www.sparkfun.com/products/13678>

- http://www.4oakton.com/PDF/WD_3227SP_72-77.indd.pdf

- <http://fritzing.org/home/>

APENDICE A: LISTA DE MATERIALES

Elemento	Cantidad
Arduino Mega 2560	X1 pieza
Arduino Ethernet Shield V1	X1 pieza
SparkFun Maxim - Max6675	X2 piezas
Ultrasonic Sensor HC-SR04	X2 piezas
Air/Inmersión probe w/wire lead type K, adjustable, 8' cable, 32 to 2282 deg. McMaster-Carr part number: 3860K59	X2 piezas
Solid thermocouple wire fep insulation, type K, 24 Gauge, 20'. McMaster-Carr part number: 3870K311	X1 piezas
Solid thermocouple wire fep insulation, type J, 24 Gauge, 20' McMaster-Carr part number: 3870K321	X1 piezas
Cable multiconductor con malla, mylar e hilo dren, de 6 vías, calibre 24 AWG Steren part number: M-06X24MMD-305	X 20 metros.
Arduino	Software Versión KDE 1.03
National Instruments LabVIEW	Versión 2013
Fritzing	Versión 0.9.0

Tabla 4: Listado de materiales utilizados en el proyecto

APENDICE B: PROGRAMA PARA EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS EN PLATAFORMA ARDUINO

Se incluye el código del programa realizado en la plataforma de desarrollo Arduino, que incluye la adquisición de datos proveniente de los termopares, el servidor web Ethernet, y el servidor web Wi-Fi. (Próxima optimización para el control de flujo de agua en los tanques).

```
// Librerias Ethernet

#include <SPI.h>

#include <Ethernet.h>

#include "max6675.h"

#include <NewPing.h>

//Librerias Wifi

#include <SoftwareSerial.h>

#define DEBUG true

SoftwareSerial esp8266(9,8);

//Pines de termopares y variables correspondientes

int thermoDO = 4;

int thermoCS = 3;

int thermoCLK = 2;

int thermoDO2 = 7;

int thermoCS2= 6;

int thermoCLK2= 5;

float Datacold[10];

float Datahot[10];
```

```

float promediocold;

float promediohot;

String buffercold[10];

//Sensor ultrasonico de tanque frio

#define echoPin 46

#define triggerPin 44

#define ledPin 49

int delaymili = 500;

int maximumRangeCm = 300;

int minimumRangeCm = 0;

float duration, distanceCm;

float porcentaje;

// Sensor Ultrasonico de tanque caliente.

int Trig=32;

int Echo=30;

float Dist;

float porcent, Distancia;

int maximumRangeCm2 = 300;

int minimumRangeCm2 = 0;

//Inicio de termopares en pines determinados

MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO); //Cold tank

MAX6675 thermocouple2(thermoCLK2, thermoCS2, thermoDO2); //Hot tank

```

```

//Asignacion de direccion mac
byte mac[] = {
    0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
IPAddress ip(192,168,81,33);

// Inicio del servidor Ethernet
EthernetServer server(80);

void setup() {
    pinMode(triggerPin, OUTPUT);
    pinMode(echoPin, INPUT);
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
    pinMode (Trig, OUTPUT);
    pinMode (Echo, INPUT);

    //configuracion inicial para arranque de ethernet
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial) {
        ;
    }
    Ethernet.begin(mac, ip);
    server.begin();
    Serial.print("server is at ");
    Serial.println(Ethernet.localIP());

```

```
}
```

```
void loop()
```

```
{
```

```
  percent=0;
```

```
  Distancia=0;
```

```
  porcentaje=0;
```

```
  duration=0;
```

```
  distanceCm=0;
```

```
    digitalWrite(triggerPin, LOW);
```

```
      delayMicroseconds(2);
```

```
      digitalWrite(triggerPin, HIGH);
```

```
      delayMicroseconds(10);
```

```
      digitalWrite(triggerPin, LOW);
```

```
      duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
```

```
      distanceCm = microsecCm(duration);
```

```
    if (distanceCm >= maximumRangeCm || distanceCm <= minimumRangeCm) {
```

```
      porcentaje= 0;
```

```
    }
```

```
    else {
```

```
      porcentaje= (125 - distanceCm) * 0.8222;
```

```

}

digitalWrite (Trig, LOW);

delay(10);

digitalWrite (Trig, HIGH);

delay(10);

digitalWrite (Trig, LOW);

Distancia= pulseIn (Echo, HIGH);

Distancia=Distancia/58;

if (Distancia <= maximumRangeCm2 && Distancia >= minimumRangeCm2) {

    percent= (125 - Distancia) * 0.82222;

}

if(percent>= 95)

{

    percent = 0;

}

for (int i; i<10; i++)

{

    Datacold [i]=thermocouple.readCelsius();

    Datahot [i]=thermocouple2.readCelsius();

    delay(500);

}

promediocold= ((Datacold[0] + Datacold[1] + Datacold[2] + Datacold[3] + Datacold[4] +
Datacold[5] + Datacold[6] + Datacold[7] + Datacold[8] + Datacold[9])/10)-1;

```

```
promediohot= ((Datahot[0] + Datahot[1] + Datahot[2] + Datahot[3] + Datahot[4] +
Datahot[5] + Datahot[6] + Datahot[7] + Datahot[8] + Datahot[9])/10)-1;
```

```
EthernetClient client = server.available();

if (client) {

  Serial.println("new client");

  // an http request ends with a blank line
  boolean currentLineIsBlank = true;
  while (client.connected()) {
    if (client.available()) {
      char c = client.read();

      Serial.write(c);

      if (c == '\n' && currentLineIsBlank) {

        client.println("HTTP/1.1 200 OK");
        client.println("Content-Type: text/html");

        client.println("Connection: close"); // the connection will be closed after completion of the
response

        client.println("Refresh: 5"); // refresh the page automatically every 5 sec

        client.println();
        client.println("<!DOCTYPE HTML>");
        client.println("<html>");
```

```

client.print("Temperature in Cold Tank: ");
client.print(promediocold);
client.println(" C" );
client.println("Temperature in Hot Tank: ");
client.print(promediohot);
client.print(" C");
client.print(" ");
client.print("Level TF(%): ");
client.print(porcentaje);
client.print(" ");
client.print(" | |");
client.print(" ");
client.print("Level TC(%): ");
client.print(porcent);
client.print(" ");
client.print(" | |");
client.print(" ");
client.print("<script type='text/javascript'> var d = new Date(); document.write(d.getDate()
+ '/' + (d.getMonth() +1) + '/' + d.getFullYear(), '
'+d.getHours(), ':'+d.getMinutes(), ':'+d.getSeconds()); </script>");
client.println("<br />");

client.println("</html>");

break;

server.print(promediocold);

```

```
    server.print(promediohot);
}
if (c == '\n') {
    // you're starting a new line
    currentLineIsBlank = true;
}
else if (c != '\r') {
    // you've gotten a character on the current line
    currentLineIsBlank = false;
}
}
}

delay(1);

client.stop();
Serial.println("client disconnected");
}

}

long microsecCm(long microsecond) {
    return microsecond / 58;
}
```

APENDICE C: PROGRAMA LABVIEW

Diagrama a bloques y panel frontal del instrumento virtual realizado en el software de National Instruments LabVIEW, implementado el indexado de la información enviadas por los servidores web.

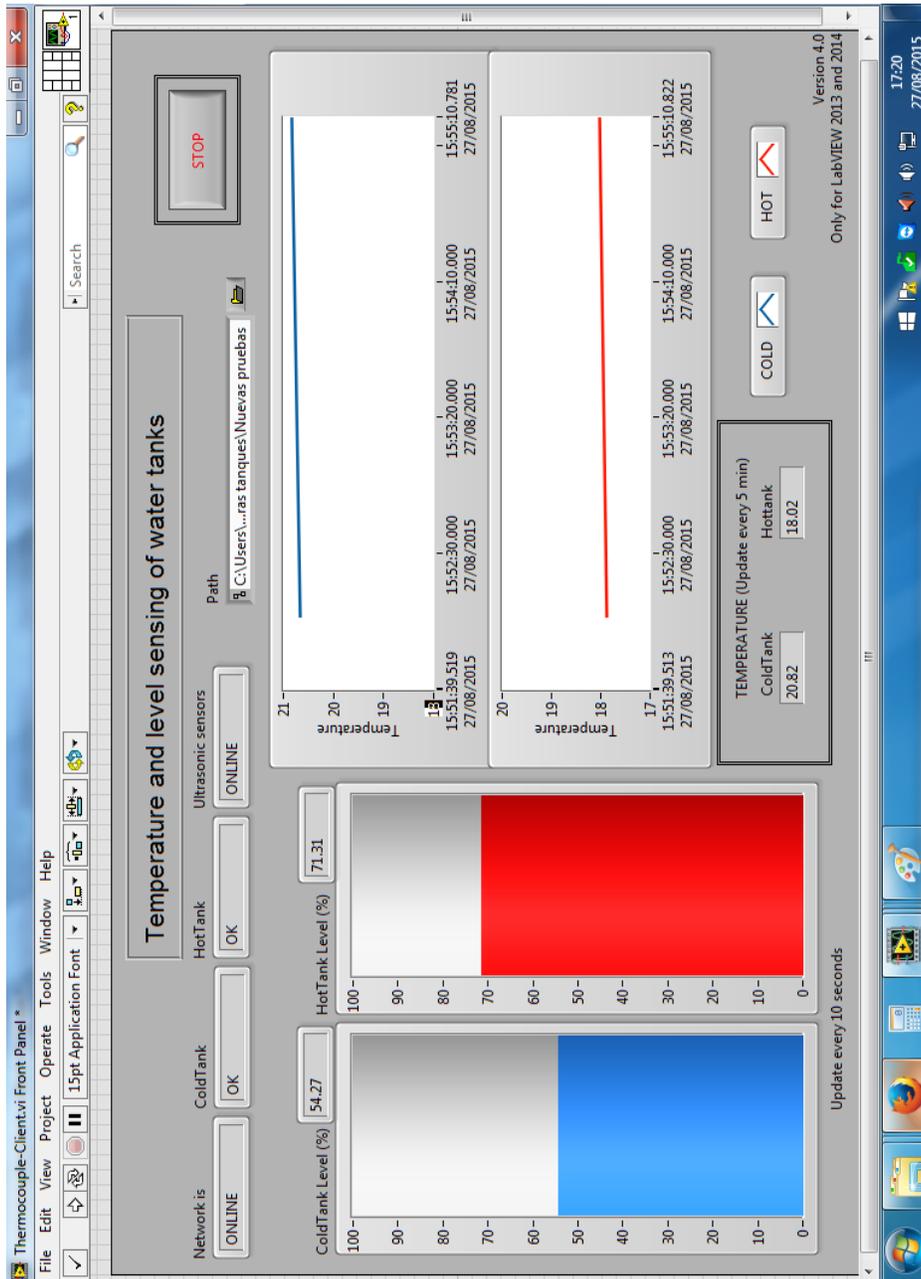


Figura 22 Panel frontal, National Instruments LabVIEW.

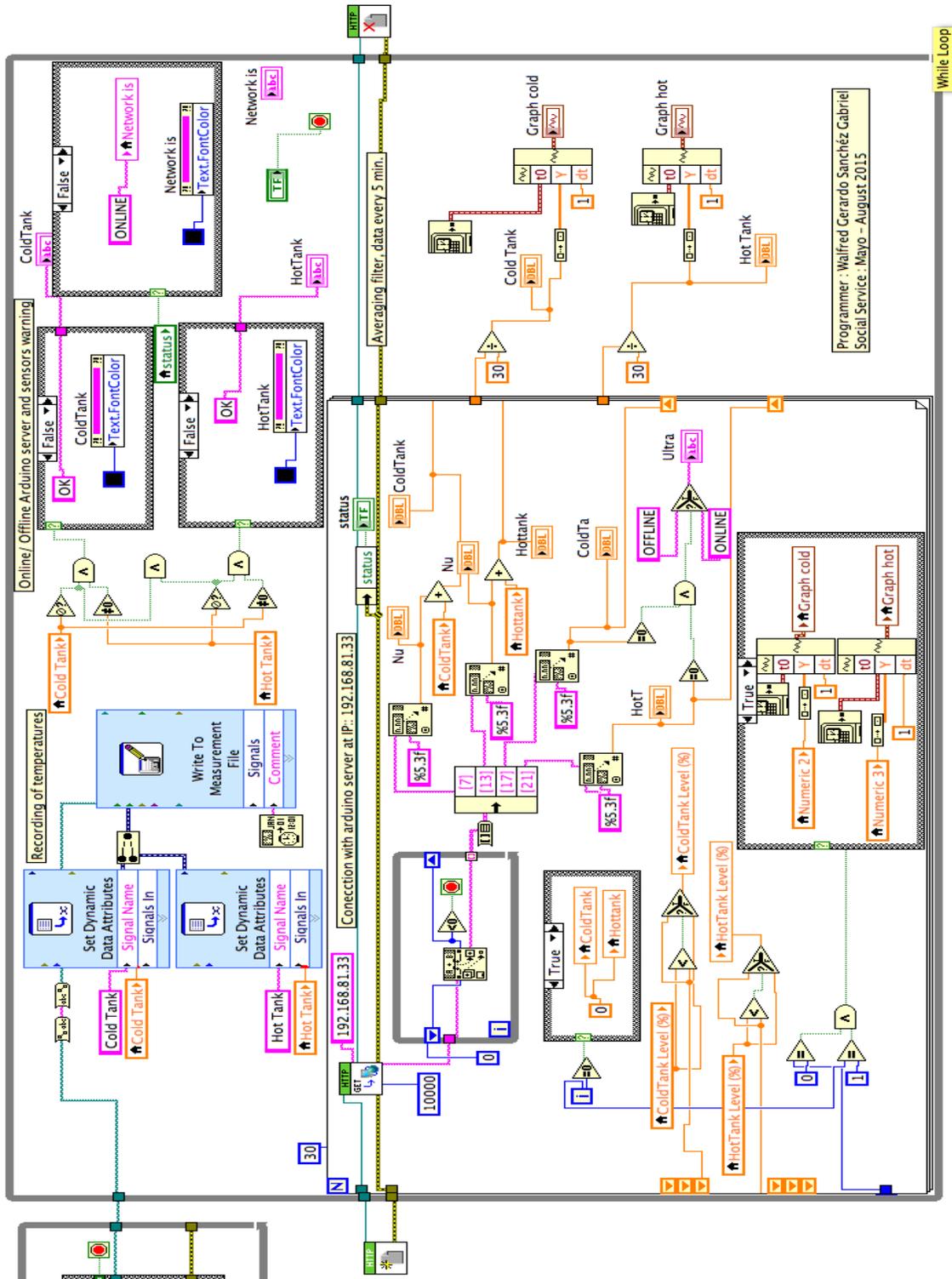


Figura 24 Diagrama de flujo, National Instruments LabVIEW Parte 2

APENDICE D: DIAGRAMA ELÉCTRICO: CONEXIÓN DE LOS SENSORES AL ARDUINO.

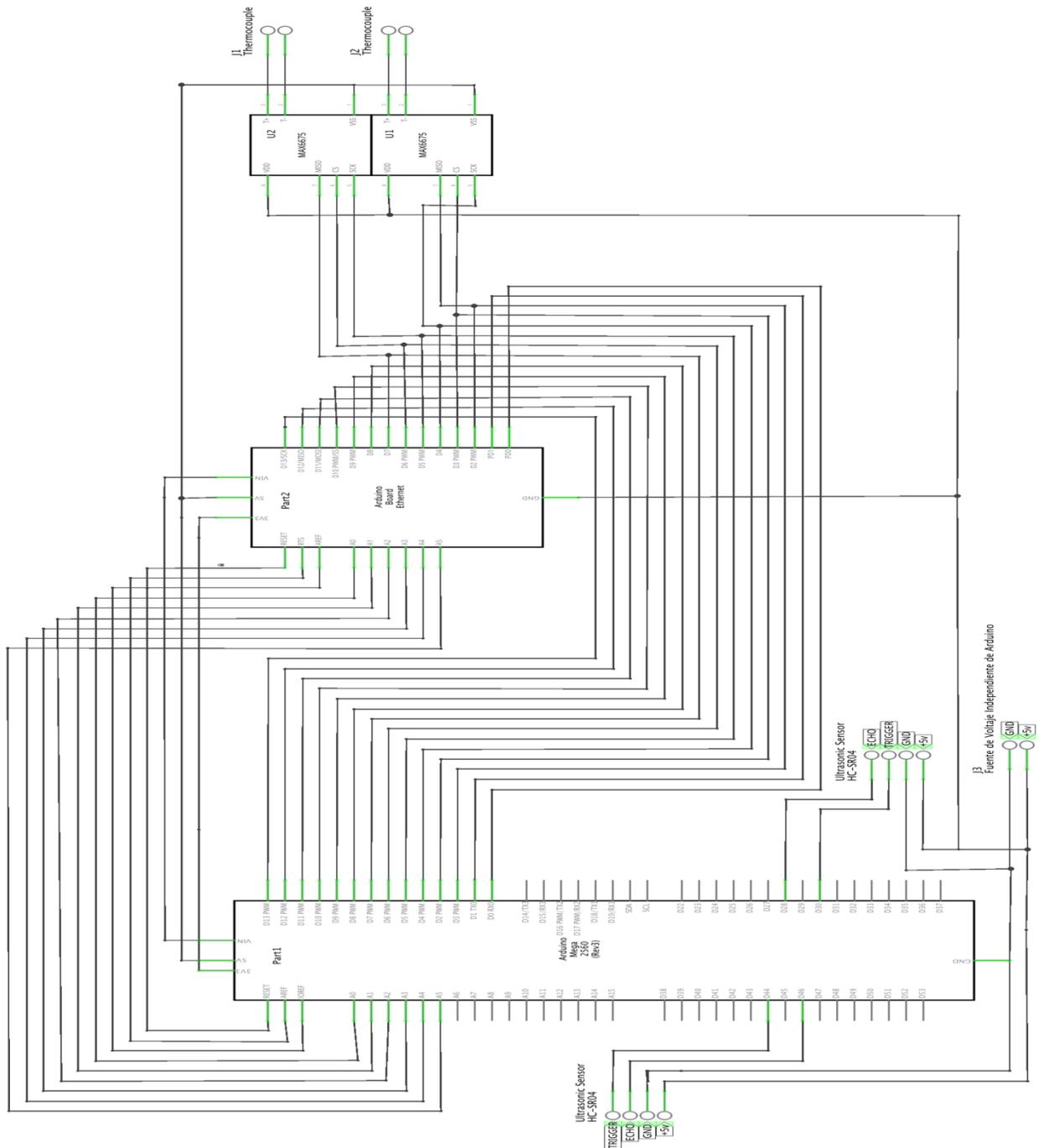


Figura 25 Diagrama electrico del proyecto.