

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01- 27

**Banco De prueba Torre Enfriamiento de Tiro Inducido Para Laboratorios Del ITM**

**Javier Andrés Cadavid Arboleda**

**Fredy Adolfo Cruz Restrepo**

**Ingeniería Electromecánica**

**Daniel Sanín**

**Director(es) del trabajo de grado**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**2019**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

Las torres de enfriamiento se han desarrollado paulatinamente en la industria con el fin de enfriar grandes volúmenes de agua en procesos donde se requiera de la constante recirculación de este fluido, su principal característica es extraer el calor adquirido en diferentes tipos de procesos. Este procedimiento lo realiza mediante un mecanismo de transferencia de calor conocido como evaporación, el cual es un proceso físico en donde una pequeña parte del agua cambia de estado líquido a un estado gaseoso y de esta forma el vapor y el aire adquieren la energía en forma de calor contenida inicialmente en el agua líquida.

En el presente trabajo se desarrolla un modelo operacional para una Torre de Enfriamiento de tiro inducido con el fin de ser implementada y adecuada en el laboratorio de fluidos de ITM (Instituto Tecnológico Metropolitano), la cual ofrece la posibilidad al estudiante de observar el proceso de enfriamiento de agua mediante la transferencia de calor, con esto se pretende apoyar al departamento de Ingeniería y tecnología de electromecánica en la formación de estudiantes con competencias en gestión energética y termodinámica buscando que los estudiantes adquieran experiencia y confianza al utilizar esta clase de sistemas. En el desarrollo del equipo se logró eliminar mecanismos, reducir costos y facilitar el mantenimiento teniendo como referencia torres de tipo industrial.

La parte de control del sistema se realiza con un Arduino mega el cual controlara y monitorea temperatura para calentamiento del agua, reporta la medición de caudal, la medición de temperatura de entrada y salida de la torre y la humedad relativa a la salida del ventilador.

**Palabras clave:** Torre Enfriamiento, Arduino, Tiro Inducido

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

Agradecemos primeramente a Dios por la oportunidad de cumplir este sueño, a nuestras familias por su apoyo y sacrificio de tiempo en nuestro proceso de formación académica, al Profesor Daniel Sanín Docente ITM por apoyarnos para el diseño de este producto de laboratorio y por su asesoría en la trayectoria del mismo, a Vladimir Imbol responsable de laboratorio de fluidos, por su apoyo incondicional y asesoría durante este proyecto. Además, al ITM por brindarnos la posibilidad de adquirir los conocimientos respectivos a nuestra ingeniería que nos permitieron llevar a cabo este proyecto y a la empresa Glaciar por su apoyo y asesoría durante todo el proceso de este proyecto.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## ACRÓNIMOS

---

### TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. OBJETIVOS.....	6
3. MARCO TEÓRICO .....	7
4. TABLA DE PRESUPUESTO Y COMPONENTES .....	15
5. METODOLOGÍA .....	25
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
7. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	39
REFERENCIAS .....	41
APÉNDICE A.....	43
APÉNDICE B.....	52

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 1. INTRODUCCIÓN

Se identifica la necesidad de implementar una torre De enfriamiento a escala para realizar prácticas en el laboratorio de fluidos del ITM sede robledo, este laboratorio no cuenta con dicho equipo el cual es muy común en la industria y los estudiantes de la institución no tienen disponibilidad para interactuar y practicar, lo cual podría ser una desventaja con relación a otras instituciones donde los estudiantes tienen estas prácticas en sus asignaturas. Se presenta la propuesta al comité de trabajo de grado y se obtuvo aprobación.

La construcción de un prototipo de una Torre de Enfriamiento de tiro inducido a Contraflujo se fabricará en una estructura en acero inoxidable 304, la parte frontal será en acrílico para visualizar el material de relleno y la forma de comportarse el agua después de salir de la boquilla, el control se realizará con un Arduino mega el cual permitirá monitorear las variables de interés como caudal, temperatura y humedad.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01- 22

## 2. OBJETIVOS

---

### Objetivo General

- Construir un prototipo de torre enfriamiento tiro inducido para laboratorio fluidos de ITM.

### Objetivos Específicos

- Elaborar una guía de laboratorio donde los estudiantes puedan corroborar datos teóricos con prácticos.
- Evaluación de comportamiento de variables como temperatura, humedad y flujo en proceso evaporativos.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. MARCO TEÓRICO

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en grandes volúmenes porque, son el medio más económico y eficiente para hacerlo, al comparar con otros equipos de enfriamiento como los intercambiadores de calor donde el enfriamiento ocurre a través de una pared. Este proceso se viene realizando hace más de 100 años utilizando los principios evaporativos y termodinámicos. Las industrias utilizan torres de enfriamiento para mejorar el confort del ambiente que se ven afectado por diferentes procesos en sus plantas. Como resultado, existen distintas configuraciones de torres de enfriamiento, cada industria elige la que mejor le convenga. Existen torres de enfriamiento para la producción de agua de proceso que solo se puede utilizar una vez, antes de su descarga, así como torres de enfriamiento que puede reutilizarse el agua en el proceso. En la Figura 1 se presenta la configuración de las diferentes torres de enfriamiento.



Figura 1. Configuración Torres De Enfriamiento. Copyright (Glaciar Ingeniería S.A.S, 2018).

En el interior de las torres se monta un empaque o relleno con el propósito de aumentar la superficie de contacto entre el agua caliente y el aire que la enfría. En las torres se colocan deflectores o eliminadores de gotas o niebla que atrapan las gotas de agua que fluyen con la corriente de aire hacia la salida de la torre, con el objeto de disminuir la posible pérdida de agua.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El agua se introduce por el domo de la torre por medio de vertederos o por boquillas para distribuir el agua en la mayor superficie posible.

El enfriamiento ocurre cuando el agua, al caer a través de la torre, se pone en contacto directo con una corriente de aire que fluye a contracorriente o a flujo cruzado, con una temperatura de bulbo húmedo inferior a la temperatura del agua caliente, en estas condiciones, el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación) y por transferencia de calor sensible y latente del agua al aire, lo anterior origina que la temperatura del aire y su humedad aumenten y que la temperatura del agua descienda; la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre.

## **CLASIFICACION DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO**

Las torres de enfriamiento son un tipo de intercambiadores de calor que tienen como finalidad retirar el calor de una corriente de agua caliente, mediante aire seco y frío, que circula por la torre. El agua caliente puede caer en forma de lluvia intercambiando calor con el aire frío, vaporiza una parte de ella, eliminándose de la torre en forma de vapor de agua. Las torres de enfriamiento se clasifican según la forma de funcionamiento de aire:

### **Torres de circulación natural.**

La cantidad del flujo de aire necesario es el resultado de la diferencia de densidades, entre el aire más frío del exterior y húmedo del interior de la torre. Regularmente se caracterizan por tener chimeneas de gran altura lo cual les permite obtener el tiro deseado y a su vez manejar grandes caudales de agua siendo muy utilizadas en las centrales térmicas.

**Atmosféricas:** Este tipo de torres están condicionadas al movimiento del aire por este motivo depende del viento y del efecto aspirante de las boquillas aspersores. Son utilizadas en pequeñas instalaciones. Depende de los vientos predominantes para el movimiento del aire. En la Figura 2 se puede observar la torre atmosférica.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

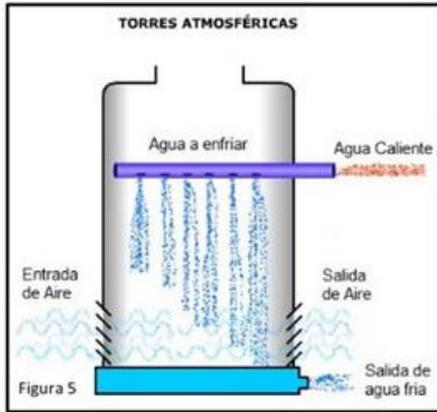


Figura 2. Torres Atmosférica. Copyright (Castaño, 2015)

**Tiro natural:** El flujo de aire necesario se obtiene como resultado de la diferencia de densidades, entre el aire más frío del exterior y húmedo del interior de la torre. Utilizan chimeneas de gran altura para lograr el tiro deseado. Debido al inmenso tamaño de estas torres, son ampliamente utilizadas en las centrales térmicas. En la Figura 3 se visualiza una torre de circulación natural

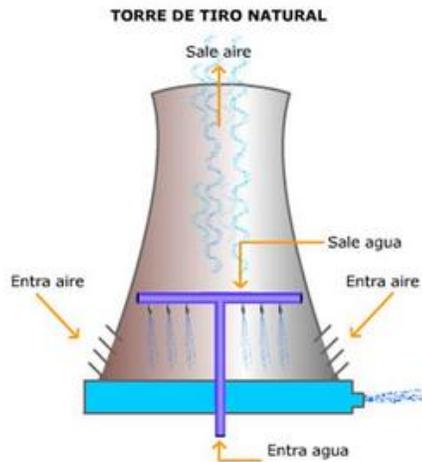


Figura 3. Torres Tiro Natural. Copyright (Castaño, 2015)

**Torres de enfriamiento tiro mecánico.**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El agua de proceso la cual está caliente llega a la parte superior de la torre de enfriamiento para después distribuirse por boquillas aspersoras y luego por un material de relleno el cual dejan pasar el flujo de agua a través de unos orificios. Paralelo a esto hay una circulación de aire usado para enfriar el agua caliente, este aire es extraído de la torre, en cualquiera de las dos formas siguientes:

**Tiro Inducido:** El aire se succiona a través de la torre mediante un ventilador situado en la parte superior de la torre. Son las más utilizadas. En la Figura 4 se visualiza una torre de tiro inducido.

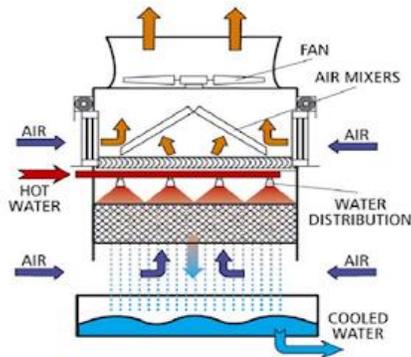


Figura 4. Torres Tiro Inducido. Copyright (Miranda, 2015)

**Tiro forzado:** El aire ingresa por un ventilador situado en la parte inferior de la torre obligando o forzando a pasar por el material de relleno y en contra flujo del agua caliente esparcidas por las boquillas para después descargar por la parte superior. Estas torres están sujetas particularmente a la recirculación del aire caliente y húmedo que es descargado, dentro de la toma del ventilador, debido a la baja velocidad de descarga y que materialmente reduce la efectividad de la torre. El tiro inducido con el ventilador en la parte superior de la torre evita esto y además permite una distribución interna más uniforme del aire. En la Figura 5 se visualiza una torre de tiro inducido.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

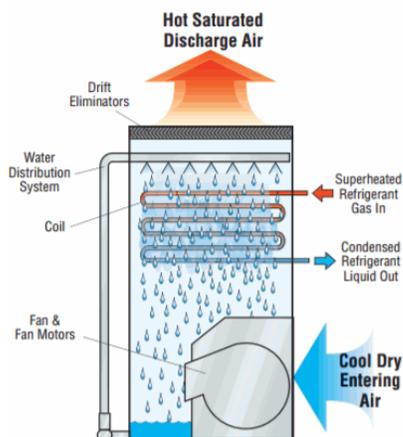


Figura 5. Torres Tiro Forzado Copyright (Evapco, 2019)

### **Torres de enfriamiento de flujo cruzado**

El aire entra a los lados de la torre fluyendo horizontalmente a través del agua que cae. Las corrientes de aire laterales se unen en un pasaje interno y dejan la torre por el tope. Las torres de flujo cruzado requieren más aire y tienen un costo de operación más bajo que las torres a contracorriente.

### **Estructura torres de enfriamiento**

Las torres de enfriamiento se componen generalmente por los siguientes elementos:

#### **Ventilador**

Es el encargado de extraer la cantidad de masa de aire caliente desde el interior de la torre hacia el exterior, según los álabes del equipo su eficiente será mejor.

#### **Bomba de Circulación**

Genera circulación del fluido en el interior de la torre con la finalidad de ejercer un intercambio de temperatura.

#### **Rellenos**

Son los encargados de disipar el calor latente que viaja desde la parte superior hasta la inferior de la torre, según el diseño de estos elementos el calor se disipará por un intervalo de tiempo.

#### **Rociadores**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Es el encargado de fluir el agua en el interior de la torre, según su diseño mecánico se optimizará los recursos de enfriamiento en la torre.

### **Calentador**

Es el encargado de generar calor al fluido para que el proceso termodinámico de transferencia de calor comience a actuar en el equipo.

### **Estructura**

Es la armadura central del equipo donde debe presentar una rigidez para soportar el peso de todos los elementos que conforman el equipo, usualmente se la construye con planchas metálicas de acero para exigir resistencia mecánica al momento de funcionar.

### **Medidor de Caudal**

Es el encargado de medir la cantidad de caudal que ingresa y sale de la torre en un cierto intervalo de tiempo.

### **Sensores de Temperatura**

Miden la temperatura de ingreso y salida del agua hacia la torre, se verifica el modelo de transición con los gradientes de temperatura a medida que el tiempo incremento.

### **Sensores de Humedad**

Se encuentra ubicado después del ventilador es el encargado de medir la humedad a la salida del ventilador. (Gallardo Segura & Mendoza Cabrera, 2016)

### **Ejemplo de Cálculos de psicrometría en una Torre de Enfriamiento:**

#### **Enfriamiento en una central eléctrica mediante una torre de enfriamiento**

Del condensador de una central eléctrica sale agua de enfriamiento y entra a una torre de enfriamiento húmedo a 35 °C, con un flujo másico de 100 kg/s. El agua se enfría hasta 22 °C en la torre de enfriamiento con aire que entra a la torre a 1 atm, 20 °C, con 60 por ciento de humedad relativa, y sale saturado a 30 °C, como se muestra en la Figura 6. Ignore la entrada de potencia al ventilador y determine *a*) el flujo volumétrico del aire en la torre de enfriamiento y *b*) el flujo másico del agua de reposición requerido. (Cengel & Boles, 2012)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

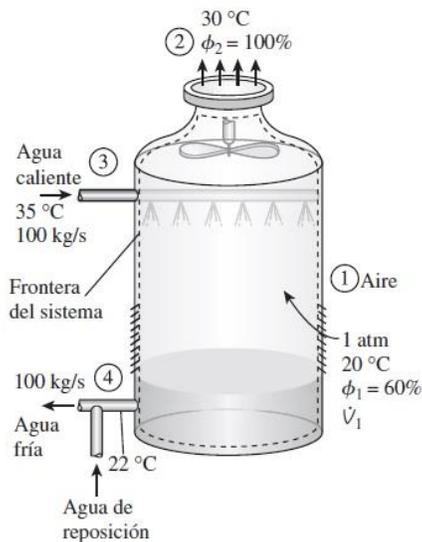


Figura 6. Torre de enfriamiento. Copyright (Cengel & Boles, 2012)

**Solución** Se enfría agua de enfriamiento de una central eléctrica en una torre de enfriamiento húmedo. Se busca determinar el flujo volumétrico del aire y el másico del agua de reposición.

### Suposiciones

- 1 Existen condiciones estacionarias de operación y, por lo tanto, el flujo másico del aire seco permanece constante durante todo el proceso.
- 2 El aire seco y el vapor de agua son gases ideales.
- 3 Los cambios en las energías cinética y potencial son insignificantes.
- 4 La torre de enfriamiento es adiabática.

### Propiedades

La entalpía del agua líquida saturada es de 92.28 kJ/kg a 22 °C y 146.64 kJ/kg a 35 °C (tabla A-4). De la carta psicrométrica se tiene:  $h_1 = 42.2$  kJ/kg aire seco  $h_2 = 100.0$  kJ/kg aire seco

$$v_1 = 0.0087 \text{ kg H}_2\text{O/kg aire seco} \quad v_2 = 0.0273 \text{ kg H}_2\text{O/kg aire seco}$$

$$v_1 = 0.842 \text{ m}^3/\text{kg aire seco}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Análisis** Considere la *torre de enfriamiento* como el sistema, representado de manera esquemática en la figura. Advierta que el flujo másico del agua líquida disminuye en una cantidad igual a la cantidad de agua que se evapora en la torre durante el proceso de enfriamiento. El agua que se pierde por evaporación debe restituirse después en el ciclo para mantener la operación estacionaria. a) Al aplicar los balances de energía y de masa a la torre de enfriamiento se obtiene

Balance de masas de aire seco  $\dot{m}_{a_1} = \dot{m}_{a_2} = \dot{m}_a$

Balance de masas de agua  $\dot{m}_3 + \dot{m}_a \omega_1 = \dot{m}_4 + \dot{m}_a \omega_2$

o  $\dot{m}_3 - \dot{m}_4 = \dot{m}_a (\omega_2 - \omega_1) = \dot{m}_{reemplazo}$

Balance de energía  $\sum_{ent} \dot{m}h = \sum_{sal} \dot{m}h \rightarrow \dot{m}_a h_1 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_a h_2 + \dot{m}_4 h_4$

o  $\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_a (h_2 - h_1) + (\dot{m}_3 - \dot{m}_{reemplazo}) h_4$

Al despejar  $\dot{m}_a$  resulta 
$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_3 (h_3 - h_4)}{(h_2 - h_1) - (\omega_2 - \omega_1) h_4}$$

Al sustituir 
$$\dot{m}_a = \frac{(100 \text{ kg/s}) [(146.64 - 92.28) \text{ kJ/kg}]}{[(100 - 42.2) \text{ kJ/kg}] - [(0.0273 - 0.0087)(92.28) \text{ kJ/kg}]} = 96.9 \text{ kg/s}$$

Entonces, el flujo volumétrico de aire en la torre de enfriamiento es

$$\dot{V}_1 = \dot{m}_a v_1 = (96.9 \text{ kg/s})(0.842 \text{ m}^3/\text{kg}) = 81.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

El flujo másico del agua de reposo se determina de

$$\dot{m}_{reemplazo} = \dot{m}_a (\omega_2 - \omega_1) = (96.9 \text{ kg/s})(0.0273 - 0.0087) = 1.80 \text{ kg/s}$$

**Comentario:** Por consiguiente, más de 98 por ciento del agua de enfriamiento se recupera y recircula en este caso.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4. TABLA DE PRESUPUESTO Y COMPONENTES

##### 4.1 Tabla de presupuesto

En el siguiente se puede visualizar los costos asociados al desarrollo de este producto, en la primera columna se encuentra el ítem, en la segunda las cantidades en la tercera la unidad de medida y en la última el valor unitario incluyendo el IVA.

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	VALOR
1	1	Estructura en acero inoxidable 304	\$900.000
2	1	Boquilla	\$ 50.000
3	1	Ventilador axial EXLE-200 8"	\$220.000
4	1	Bomba Marquis MKP 60-1	\$200.000
5	1	Resistencia 1600 Watt	\$80.000
6	1	Arduino MEGA 2560	\$50.000
7	1	Gabinete Metálico 30*30*15	\$60.000
8	3	Sensor Temperatura Sumergible DS18B20	\$24.000
9	1	Sensor Humedad DHT11	\$12.000
10	1	Medidor de Caudal YF S201	\$ 15.000
11	1	Guarda-Motor SIEMENS	
12	1	Accesorios PVC pavco	\$ 60.000
13	1	Pantalla Display LCD 16x2	\$12.000
14	1	Pulsadores	\$12.000
15	1	Contactador SIEMENS	\$50.000
16	2	Re le EBCHQ 47700 10A	\$30.000
17	1	Varios	\$100.000
		Total	\$1.875.000

*Tabla 1.* Presupuesto del proyecto. Elaboración Propia.

##### 4.2 Componentes

###### Sensor de Temperatura DS18B20

Es un termómetro digital encapsulado que entrega mediciones de temperatura en grados Celsius en resolución entre 9 y 8 bit tiene una función de alarma que puede ser programable para temperaturas superiores o inferiores de las programadas, la comunicación se efectúa a través de

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

un solo cable. En la Figura 7 se visualiza las presentaciones del sensor, adicionalmente en la Tabla 2 se encuentran las principales características. (Maxim Integrated Product, Inc., 2019)

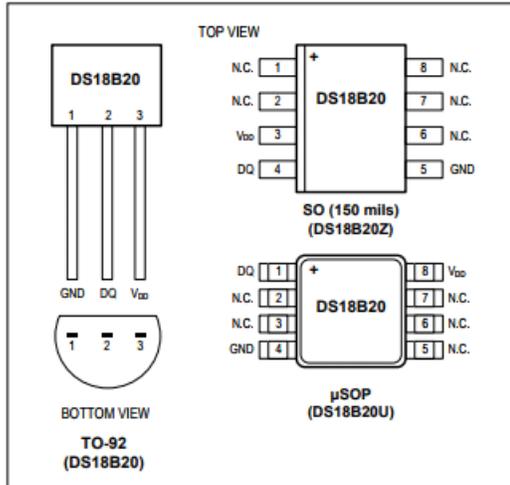


Figura 7. Configuración de pines DS18B20. Copyright (Maxim Integrated Product, Inc., 2019)

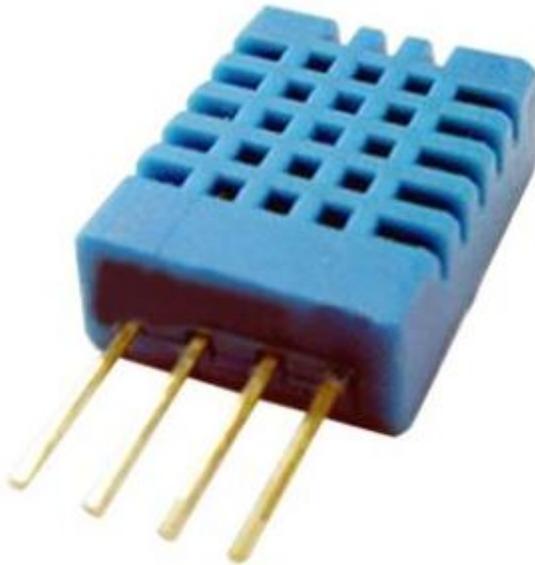
CARACTERÍSTICA	VALOR
Voltaje de alimentación	3V a 5,5V
VDD	voltaje de alimentación
GND	Tierra
DQ	Datos
Rango de temperaturas	-55°C a 125°C
Error (-10°C a 85°C)	±0,5°C
Error (-55°C a 125°C)	±2°C
Resolución programable	9-bit, 10-bit, 11-bit o 12-bit (default)

Tabla 2. Resumen de Características Técnicas DS 18B20. Copyright (Hernández, 2017)

## Sensor de humedad y temperatura DHT 11

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los sensores DHT11 son los más básicos y los más utilizados para implementarlos con Arduino, estos sensores están compuestos en dos partes, un sensor de humedad capacitivo y un termistor, también constan de un circuito integrado básico en el interior que hace la conversión de analógico a digital y este envía una señal digital con la temperatura y la humedad En la Figura 8 se visualiza la presentación del sensor. (D-Robotics, 2010).



*Figura 8.* Sensor de Temperatura y Humedad DHT11. Copyright (D-Robotics, 2010)

Las características principales son:

- Rango de medición humedad: 20% a 90% RH
- Rango de medición temperatura: 0°C a +50°C
- Resolución humedad: +/- 5.0% RH
- Resolución temperatura: +/- 2.0°C
- Tamaño compacto: 2.3cm x 1.2cm x 0.5cm

### **Sensor de flujo YF-S201**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Sensor de flujo de agua YF-S201 se puede utilizar para medir el flujo de líquidos en aplicaciones industriales y domésticas. Este sensor consiste básicamente en un cuerpo de válvula de plástico, un rotor y un sensor de efecto Hall, como se muestra en la Figura 9. El rotor de molinete gira cuando el agua / líquido fluye a través de la válvula y su velocidad será directamente proporcional a la velocidad de flujo. El sensor de efecto Hall proporcionará un impulso eléctrico con cada revolución del rotor de molinete. Este módulo sensor de flujo de agua puede ser fácilmente conectado con microcontroladores, placas Arduino y Raspberry Pi. (Micro JMP, 2018)



Figura 9. Sensor de flujo YF-S201. Copyright (Micro JMP, 2018)

#### Características

- Tipo: Sensor de efecto Hall
- Voltaje de funcionamiento: 5V~18V
- Corriente de operación: 15mA (5V)
- Q, Caudal: 1 – 30 Lpm
- Pulsos por litro: 450
- Presión del líquido: 1.75Mpa
- Humedad de trabajo: 25%RH~95%RH
- Temperatura de operación: -25°C~80°C

#### Arduino MEGA 2560

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El Arduino Mega es probablemente el microcontrolador más capaz de la familia Arduino. Posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reset y una entrada para la alimentación de la placa. La comunicación entre la computadora y Arduino se produce a través del puerto serie, sin embargo, posee un convertidor USB-SERIE, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB como el que utilizan las impresoras. En la Figura 10 se visualiza un Arduino Mega 2560. (Arduino, 2019)



*Figura 10.* Arduino MEGA 2560. Copyright (Arduino, 2019)

### Características

- Microcontrolador: ATmega2560.
- Voltaje Operativo: 5V.
- Voltaje de Entrada: 7-12V.
- Voltaje de Entrada (límites): 6-20V.
- Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM).
- Pines análogos de entrada: 16.
- Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA.
- Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA.
- Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader).
- SRAM: 8KB.
- EEPROM: 4KB.
- Clock Speed: 16 MHz

### **Bomba Marquis MKP60-01**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La serie Marquis está constituida por electrobombas periféricas centrifugas y autoaspirantes, la subserie MKP es ideal para alcanzar altas presiones con pequeñas potencias instaladas. El material de construcción del cuerpo es hierro fundido, los sellos mecánicos son fabricados en grafito, con un eje de acero inoxidable e impulsor radial en bronce; es ideal para aplicaciones como abastecimiento de agua potable y presurización en hogares, abastecimiento de tanques y reservorios, riego de jardines, vaciado y llenado de fuentes y piscinas entre otros. En la Figura 11 podemos ver la estética de la bomba y en la Figura 12 se puede visualizar la curva de performance. (RotorPump, 2018)



*Figura 11.* Bomba Marquis MKP60-1. Copyright (RotorPump, 2018)

#### Especificaciones técnicas:

- Caudal: hasta 2.4 m<sup>3</sup>/h
- Altura de Elevación: hasta 38m
- Boca de salida: Ø1"
- Temperatura máxima del líquido: 60°C
- Potencia de motor: 0.5 HP
- Protección eléctrica: IP44
- Dimensiones: 120 mm x 152 mm x 243 mm

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

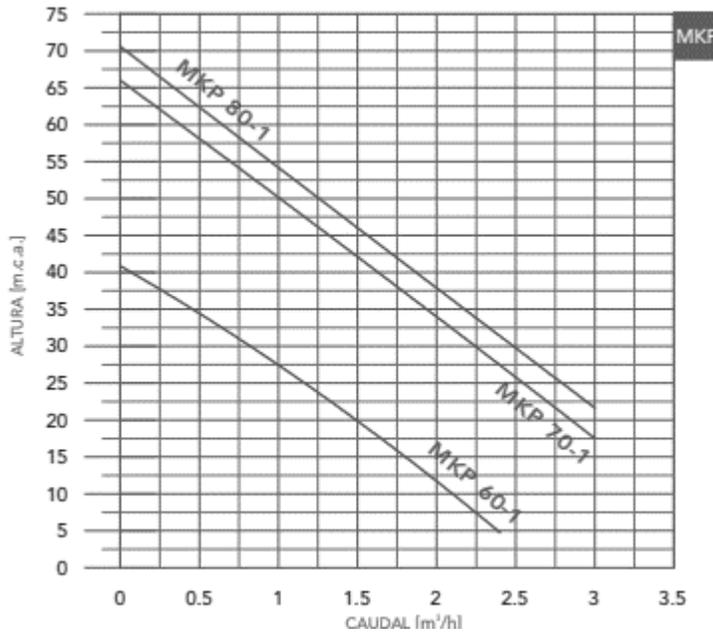


Figura 12. Curva de performance de la Bomba Marquis MKP60-1. Copyright (RotorPump, 2018)

### Pantalla Display LCD 16x2 TC1602A-09T-W

El display LCD puede ser controlado por procesadores de 8 bits, permite visualizar la información digitalizada del procesador o controlador. En la Figura 13 podemos ver un LCD de 16 caracteres 2 líneas.

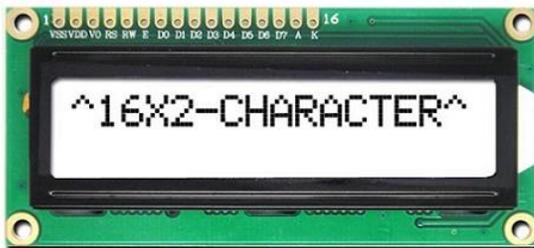


Figura 13. Display LCD 16x2 TC1602A-09T-W. Copyright (Electrónica I+D, 2019)

Características:

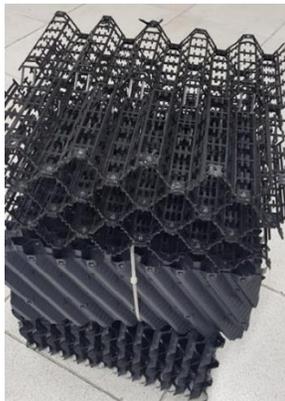
- Construcción: COB (Chip-on-Board)
- Formato de presentación: Carácter 16x2

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Tipo de pantalla: STN, Reflective
- Controlador: SPLC780D1 o controlador equivalente
- Interfaz: 4-bit 8-bit de interfaz paralelo
- Color carácter: Negro
- Dirección de la vista: 6:00
- Esquema de conducción: 1/16 Ciclo de trabajo, 1/5 Bias
- Voltaje de alimentación: 5,0 V
- $V_{LCD}$  ajustable para el mejor contraste: 5,0 V (VOP).
- Temperatura de funcionamiento:  $-10^{\circ}C$  a  $+60^{\circ}C$

#### Relleno CF1200MA

El CF1200MA fabricado en PVC auto-extinguible es usado en torres de enfriamiento de contraflujo cuadradas y circulares. La calidad del agua debe ser buena, con un máximo de 25 ppm de sólidos en suspensión y sin contaminación por grasas y/o aceites. Se suministran en cubos de 6x1x1 pies y su temperatura máxima de operación es de  $60^{\circ}C$ . En la Figura 14 se puede ver el material de relleno.



*Figura 14.* Material de relleno CF1200MA. Elaboración Propia.

#### **Ventilador Axial Modelo EXLE-200 8”**

La serie de ventiladores Exle están desarrollados con aspas en plástico y carcasa fabricada en lámina de calibre 18. Con recubrimiento en pintura electrostática que brindan resistencia a la corrosión. En la Figura 15 podemos visualizar el ventilador.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Figura 15.* Ventilador Axial Exle-200. Elaboración Propia.

#### Características

- Diámetro: 8"
- Voltaje: 110v
- Amperaje: 0.7A
- Frecuencia: 60Hz
- Caudal aire: 0.35 m<sup>3</sup>/h
- RPM: 1800

#### Resistencia Tubular

La empresa Procal desarrolla resistencias tubulares de inmersión de acuerdo a las necesidades del comprador, basando su construcción en volumen, tiempo, tipo de líquido a trabajar entre otros factores. En la figura 16 se visualiza la resistencia tubular fabricada.



*Figura 16.* Resistencia tubular Procal. Elaboración Propia.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Características

Voltaje: 110v  
 Vatios: 1500watt  
 Amperaje: 14<sup>a</sup>  
 Material: Acero Inoxidable.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. METODOLOGÍA

Se identifica la necesidad de un producto para prácticas de termodinámica

1) Se revisan fuentes bibliográficas donde se observan diversos equipos para realizar dichas prácticas, se valida usos en la industria y número de variables a manejar, finalmente se formalizó la propuesta de una torre enfriamiento para el laboratorio fluidos ITM, después de recopilar todo el material teórico para la construcción de este equipo se programan visitas técnicas.

2) La primera visita se programó al laboratorio de refrigeración del pascual bravo, donde se visualiza el prototipo de torre de enfriamiento generando una idea global de lo que se podía diseñar, la segunda visita se realiza a la empresa glaciaria que está ubicada en el municipio de La Estrella, Antioquia y está dedicada por más de 30 años a la elaboración de estos equipos, el ejecutivo comercial Luis Felipe Romero nos atiende y asesora con todo lo necesario para realizar el proyecto incluyendo consecución de algunos materiales. También se realiza visita a planta de corona en el municipio de sabaneta donde se observa el funcionamiento real del equipo enfriando agua de proceso y visitas al laboratorio para revisar las áreas disponibles.

3) Recopilando las indicaciones y conclusiones de las visitas se realiza el dimensionamiento del producto el cual tiene una limitante de espacio en el laboratorio, se realiza el diseño en el programa CAD; también se proyecta como un equipo didáctico, se opta por construir la torre modular en un material resistente a la humedad, temperatura y al desgaste, al evaluar estas características y el costo beneficio se selecciona para la estructura el material acero inoxidable 304, con la parte frontal en acrílico en forma de compuerta lo que permite intercambiar material de relleno, realizar limpieza y visualización del proceso evaporativos.

4) Después de realizados los planos se inicia con la fabricación estructura acorde a los diseños elaborados en Solid Work®, se elabora una lista de materiales, se contactan proveedores, se realiza cotizaciones y posterior la compra, con los materiales se ubica un taller donde prestan las herramientas y algunos servicios como el doblado y corte y soldadura de lámina, se comienza a realizar los cortes y a fabricar la estructura en tubo cuadrado 1" x 1" inoxidable 304 con soldadura TIG, en la Figura 17 se puede ver la estructura.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Figura 17. Estructura Superior Torre. Elaboración Propia.*

Posteriormente se fabricó la base inferior de la torre en lámina calibre 22 doblada, con 4 ruedas de 2" con freno y estructura en tubo cuadrado de 1" \* 1", en la Figura 18 se muestra la base elaborada.



*Figura 18. Estructura Inferior Torre. Elaboración Propia.*

Se continúa con la instalación de la lámina calibre 22 doblada por el perímetro de la estructura superior de la torre y la campana, el proceso se puede ver en la Figura 19.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Figura 19.* Campana y Recubrimiento Perimetral Superior. Elaboración Propia.

Se instala ventilador en la campana, se finaliza la parte estructural, el cuerpo de la torre y el depósito, el ensamble se muestra en la Figura 20.



*Figura 20.* Estructura Torre con depósito, campana y ventilador. Elaboración Propia.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En el proceso de ensamble se inicia con la ubicación de la bomba y el tanque para simulación del proceso. Se presenta la tubería en PVC alta presión con diámetro de 1” para la succión y de 1/2” para la descarga. Según las recomendaciones para tuberías de conducción de fluido, donde la línea de succión debe ser mayor a la línea de descarga para reducir perdidas de energía.

Se realizan las perforaciones para asegurar la bomba a la estructura, para efectos de control de vibraciones producida por la bomba en la estructura, se instala en el intermedio de la bomba y la estructura una placa de neopreno de 1/4 “con una medida de 120 mm\* 100 mm. En la Figura 21 se puede ver la bomba y tubería instalada en la estructura.



*Figura 21.* Estructura Completa Torre Instalación de Bomba. Elaboración Propia.

Luego se procede con la adaptación del tanque para la simulación del proceso de calentamiento, se utiliza una caneca plástica reciclada de 40 de litros, a esta se le realizan 2 perforaciones de 1 1/4” para instalar adaptadores pasa tubos, en la primera se instala la tubería de succión que se encuentra conectada a la bomba como se puede ver en la Figura 22.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Figura 22.* Torre con recipiente plástico donde se calienta H<sub>2</sub>O, tubería de succión y descarga. Elaboración Propia.

En la segunda perforación incrusta la resistencia eléctrica, adicionalmente se realiza una tercera perforación de 3/8” para la instalación del sensor de temperatura como se puede ver en la Figura 23.



*Figura 23.* Resistencia y sensor de temperatura simulación proceso. Elaboración Propia.

Con el sistema de succión y descarga pre instalados, se procede a instalar boquilla de aspersión; inicialmente se fabricó una para realizar de ensayo, como se puede ver en la Figura 24a; sin embargo, se encuentra que la descarga no es adecuada. En la visita técnica a la empresa el

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

personal recomienda la boquilla adecuada para este equipo, como se puede ver en la Figura 24b, la cual esparcen el fluido sobre el material de relleno seleccionado.

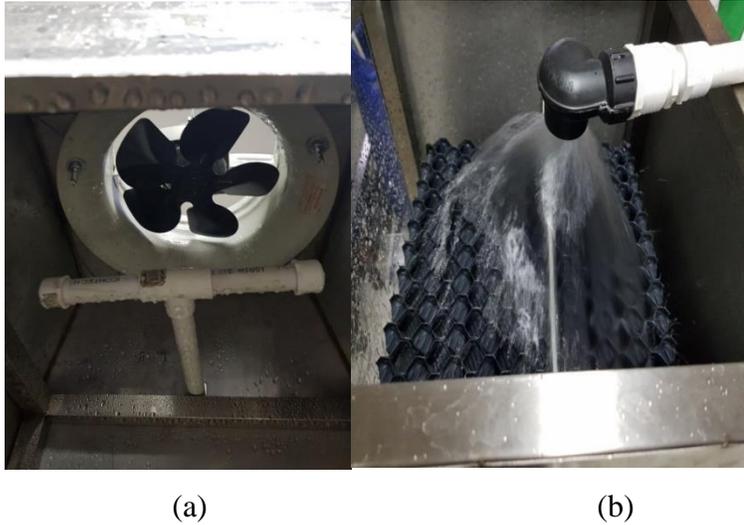
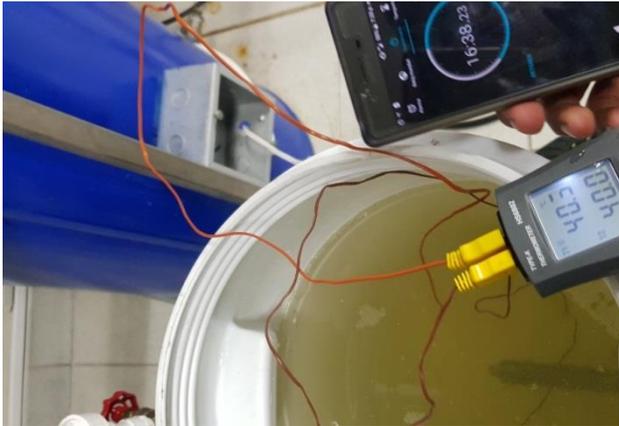


Figura 24. Boquilla de aspersión. Elaboración Propia.

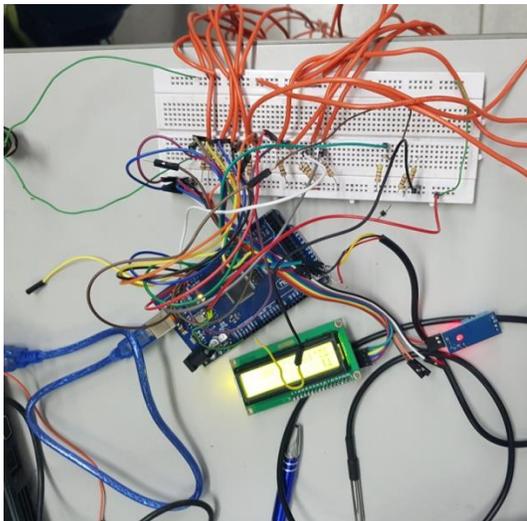
Con el sistema preinstalado, se procede a realizar pruebas con conexiones provisionales en los componentes principales como en la bomba, extractor y resistencia, con el equipo de medición temperatura del laboratorio de fluidos se monitorea la temperatura del agua y el cambio de la misma en sus diferentes etapas, inicialmente se inspecciona el tiempo real que se demora la resistencia en calentar el agua contenida en la caneca que son alrededor de los 30 litros, obteniendo como resultado que el agua subió de los 23°C a 40°C en un lazo de 16 min, prueba que se evidencia en la Figura 25, luego se acciona el ventilador y la bomba de recirculación en donde nos muestra que el sistema enfrió el agua o la llevo a la temperatura inicial en (26 grados) en un lazo de 5 min.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Figura 25.* Prueba medición de temperatura. Elaboración Propia.

El siguiente paso es elaborar la etapa de control, se selecciona el Arduino Mega, por su bajo costo además ofrecer buena capacidad y flexibilidad de conexiones para los diferentes sensores de las variables que se emplean. En primera instancia se desarrolla un programa base a las necesidades del equipo, posteriormente se fueron desarrollando subrutinas por separado para realizar pruebas de los diferentes componentes y así mismo verificar su buen funcionamiento, además de la veracidad de la información entregada, este proceso se evidencia en la Figura 26.



*Figura 26.* Conexiones de Arduino y ensayo de componentes medición de variables. Elaboración Propia.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Posterior a la finalización del programa se procede con la instalación de cada uno de los componentes de medición en la torre de enfriamiento. En la Figura 27 se visualiza la posición final del sensor de temperatura dentro de la estructura superior en la cavidad donde se ubica el material de relleno.



*Figura 27.* Sensor temperatura instalado en cavidad de enfriamiento. Elaboración Propia.

El sensor de flujo es instalado en la tubería de descarga, entre la bomba de circulación y la boquilla de aspersión, como se evidencia en la Figura 28.



*Figura 28.* Sensor de flujo instalado en tubería de descarga. Elaboración Propia.

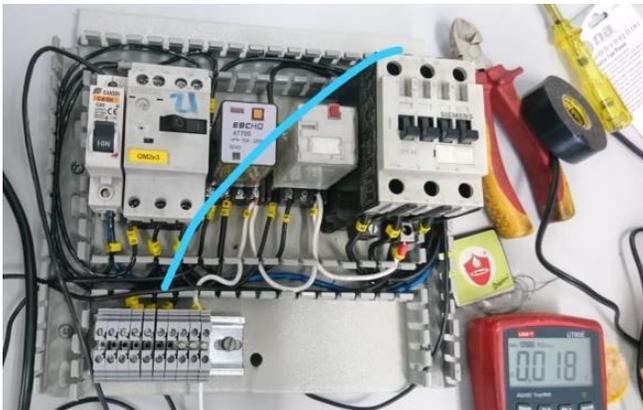
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Figura 29 se puede ver instalación un sensor de temperatura y un sensor de humedad en la parte superior de la campana del ventilador.



*Figura 29.* Sensor de húmeda y temperatura instalados en campana. Elaboración Propia.

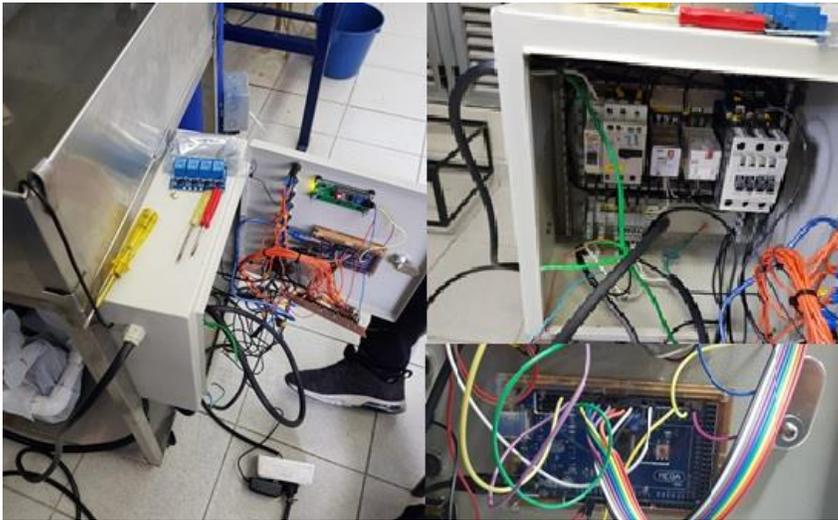
Luego de realizar pruebas con el control, se procede con la instalación de la etapa de potencia, se selecciona una caja eléctrica en lámina de 40\*40\*/19 cm, donde se ubica los componentes eléctricos de la parte de potencia entre ellos los contactores, relés, guarda motores y disyuntor, seguido de sus conexiones cableadas y prueba de cada uno de ellos, este proceso se puede evidenciar en la Figura 30.



*Figura 30.* Instalación de componentes de potencia. Elaboración Propia.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se realiza instalación del tablero en la parte frontal de la torre, se ubica en su interior la etapa de potencia y se realiza prueba en conjunto de los componentes, posteriormente se instala el Arduino y los diferentes componentes asociados a la parte de control como lo son los pulsadores, display y sensores en la tapa del tablero. En la Figura 31 se puede ver la instalación del tablero de control.



*Figura 31.* Instalación tablero de control. Elaboración Propia.

Finalmente, en la Figura 32 podemos ver la forma final de la torre de enfriamiento con todos sus módulos instalados.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01- 22



*Figura 32.* Torre de enfriamiento laboratorio de fluidos. Elaboración Propia.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

En el desarrollo del proyecto se realizaron pruebas individuales a los diferentes módulos en cada una de las etapas de construcción, para verificar el correcto funcionamiento, después de ensamblar la estructura, tuberías y bombas se realizaron ensayos con el sistema de aspersión, boquilla que fue construida con PVC de ½” y perforaciones aleatorias de 1mm cubriendo el área de la parte superior del material de relleno, para así lograr una distribución uniforme del agua. Sin embargo, se observa que caudal de agua no era el deseado, se revisan todas las condiciones del equipo encontrando una mala marcación en la bornera de conexión de la bomba ocasionando por adecuado ocasionando energéticas e ineficiencia. En pruebas posteriores a la corrección de la conexión eléctrica del motor se evidencia que la aspersión de la boquilla fabricada en tubería de ½” con perforaciones de un milímetro no era la adecuada porque generaba una caída de presión en el sistema por no pulverizar lo suficiente. En la visita empresarial realizada en la empresa glaciador se validaron las condiciones del sistema y se recomienda la utilización de una boquilla que comercializan la cual fue donada al proyecto; se realiza el montaje de la nueva boquilla y el desempeño en pruebas es el óptimo con un caudal de 18 lpm.

Para simular el proceso se acondiciono un recipiente plástico con capacidad de 40 litros y una resistencia tubular de 1500w, la cual calienta el agua de una temperatura ambiente de 23 ° c a una temperatura final de 40 °C 16 minutos con una gradiente de temperatura de 1°c por minuto después de obtener la temperatura se realiza el proceso de enfriamiento accionando el ventilador y bomba de recirculación logrando una disminución de 14 °C en 5 minutos

En la programación y la parte de control no se presentaron mayores complicaciones y se obtienen los resultados esperados.

El esquema empleado para la construcción de la torre de enfriamiento se puede ver en la Figura 31, el esquema de conexión del Arduino Mega 2560 se visualiza en la Figura 32, los planos estructurales se encuentran tras disponibles en el Apéndice A.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

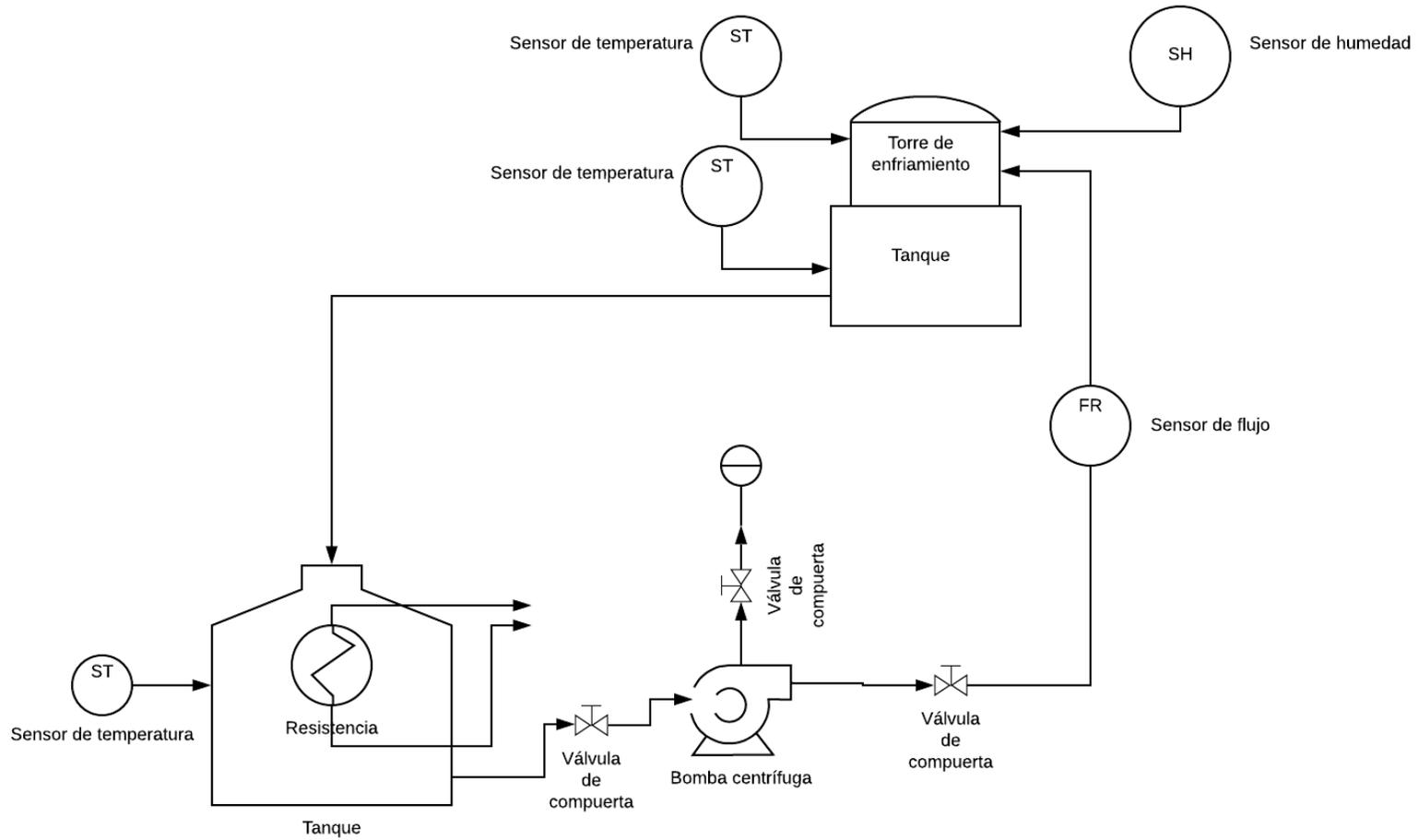


Figura 30. Esquema torre de enfriamiento laboratorio de fluidos. Elaboración Propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

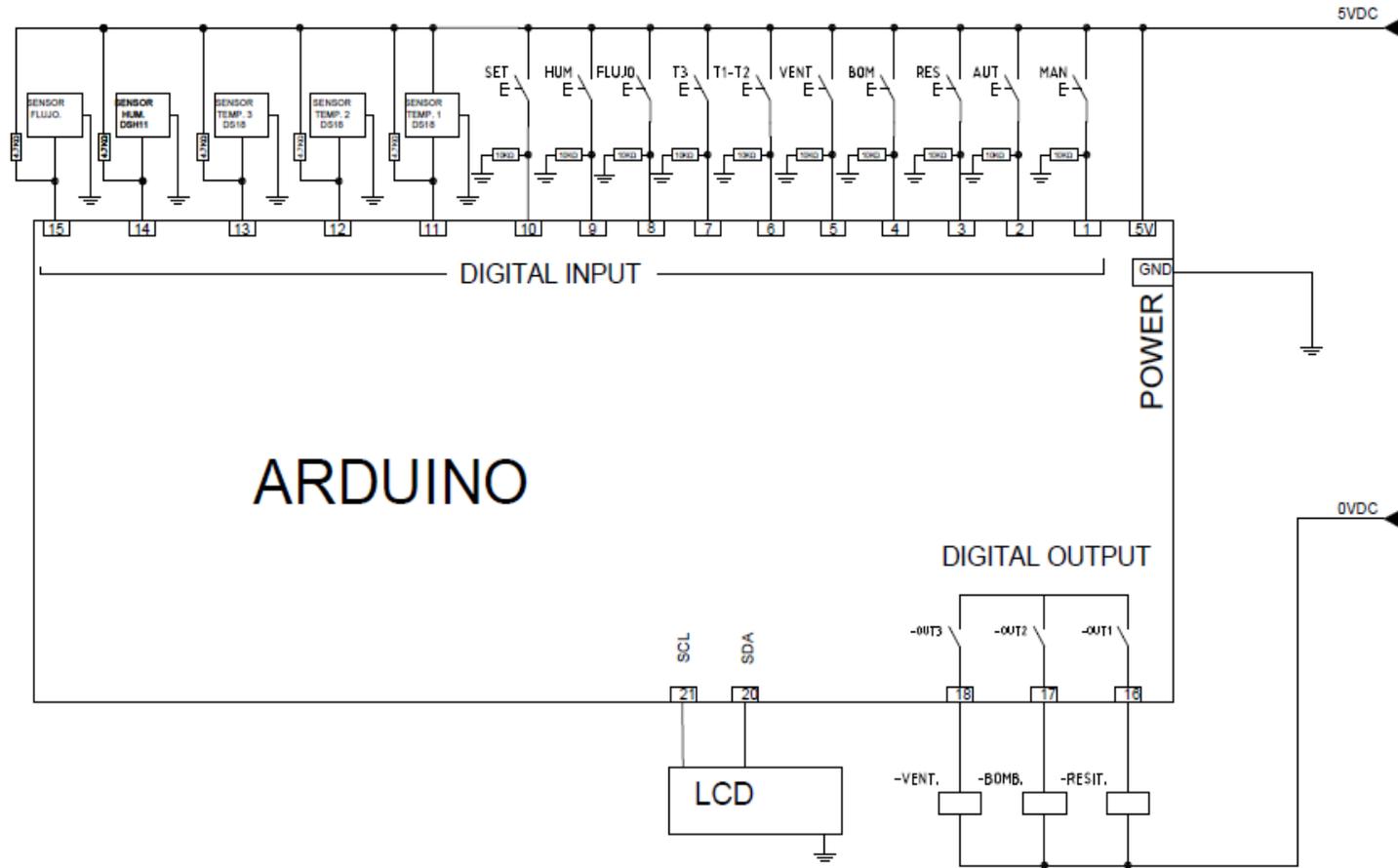


Figura 32. Esquema de conexión Arduino Mega 2560. Elaboración Propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## 7. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

### Conclusiones

- Se diseña y construye una torre de enfriamiento a escala para laboratorio de fluidos del ITM. Este equipo está diseñado para simular las condiciones de trabajo en una planta donde recircula un flujo de agua que ingresa a 40°C y reduciendo su temperatura en más de 10°C respecto a la entrada. Además, se fabrica el panel frontal de la torre en acrílico, lo que permite visualizar el proceso de aspersion y el recorrido del fluido a través del material de relleno.
- Se desarrolla un modelo para la guía de laboratorio donde se presentan recomendaciones operacionales y el procedimiento experimental permitiendo afianzar los conocimientos de transferencia de calor en Termodinámica y asignaturas asociadas.
- El equipo está diseñado para evaluar la temperatura del agua en diferentes etapas del proceso, así como el flujo del líquido que ingresa a la torre y la humedad resultante del proceso de evaporación en la parte superior del ventilador.
- El material seleccionado fue acero inoxidable AISI 304, a fin de prevenir el desgaste o deterioro del equipo por corrosión.
- El costo de implementación de la torre fue de \$1800.000 pesos colombianos
- Se desarrolla un modelo para la guía de laboratorio donde se presentan recomendaciones operacionales y el procedimiento experimental.

### Recomendaciones

- Se visualiza la oportunidad de implementar válvulas de drenaje en la tina y en el recipiente plástico de calentamiento, para facilitar la limpieza y cambio de agua del equipo.
- Antes de conectar el equipo al fluido eléctrico se debe garantizar que el recipiente plástico que simula el proceso esté lleno y la resistencia está sumergida en el agua.
- Realizar mantenimiento mensual al sistema de bombeo para evitar incrustación entre la parte móviles lo que generaría bloqueo en la bomba.
- Drenar el sistema si el periodo de inactividad es superior a 2 semanas para evitar daños en los componentes y proliferación de enfermedades
- Para optimizar el llenado se debe instalar una válvula controlada y un sensor de flujo para abastecer el recipiente plástico de calentamiento y reponer las pérdidas del fluido en el proceso evaporativo.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Se presenta la oportunidad instalar una luz en el interior de la torre de enfriamiento para visualizar el comportamiento del fluido en la etapa de aspersion y evaporación.

### **Trabajo a futuro**

Se presenta la oportunidad de adaptar en el equipo un sistema de adquisición de datos, también un sistema de control y monitoreo remoto en varios proyectos de laboratorio futuro, el cual permita a los desarrolladores afianzar sus conocimientos en automatización industrial. Así mismo facilitar al estudiante conocer en tiempo real las condiciones del sistema, almacenar históricos de comportamiento y contextualizarlo con las tecnologías que se encuentran en la industria; con en esta información realizar análisis más profundos los cuales apalancarían proyectos de investigación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

- Arduino. (23 de 01 de 2019). *Arduino Mega 2560 REV3*. Recuperado el 25 de 04 de 2019, de <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>
- Castaño, A. (15 de 06 de 2015). *Torres De Enfriamiento*. Recuperado el 15 de 6 de 2019, de <//slideplayer.es/slide/3914508/>
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinamica 7a ed.* Mexico: Mc Graw Hill.
- DEWITT, D. P., & INCROPERA, F. P. (1999). *Fundamentos de la Transferencia de Calor 4ª ed.* México: Prentice Hall.
- D-Robotics. (30 de 7 de 2010). *DHT11 Humidity & Temperature Sensor*. Obtenido de <http://www.abcelectronica.net/app/download/2393635619/dht11.pdf?t=1313779863>
- Ecodyne Technologies S.A de C.V. (18 de 02 de 2018). *Tipos de relleno para torre de enfriamiento ECODYNE*. Obtenido de [www.ecodyne.com.mx/2018/02/18/tipos-de-relleno-para-torre-de-enfriamiento-ecodyne/](http://www.ecodyne.com.mx/2018/02/18/tipos-de-relleno-para-torre-de-enfriamiento-ecodyne/)
- Electrónica I+D. (2019). *Display LCD Blanco 16x2*. Recuperado el 01 de 05 de 2019, de <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/optoelectronica/displays-lcd/caracteres/display-lcd-pantalla-caracteres-16x2-di-020-1511-3677-detail>
- Evapco. (2019). *Torres De Enfriamiento LSTE*. Recuperado el 7 de 7 de 2019, de [www.evapco.com/es/products/cooling-towers-factory-assembled/torre-de-enfriamiento-lste](http://www.evapco.com/es/products/cooling-towers-factory-assembled/torre-de-enfriamiento-lste)
- Gallardo Segura, A. R., & Mendoza Cabrera, J. D. (2016). *Diseño y Construcción de un prototipo de Torre de Enfriamiento de Tiro Inducido a Contraflujo*. Guayaquil, Ecuador.
- Glaciar Ingeniería S.A.S. (22 de 06 de 2018). *Tipos de torres de enfriamiento y sus características*. Obtenido de <https://glaciaringenieria.com.co/tipos-de-torres-de-enfriamiento-y-sus-caracteristicas/>
- Hernández, L. d. (2017). *DS18B20 sensor de temperatura para líquidos con Arduino*. Recuperado el 25 de 04 de 2019, de Programa Facil: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Maxim Integrated Product, Inc. (2019). *DS18B20*. Recuperado el 25 de 6 de 2019, de <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

Micro JMP. (2018). *YF-S201 Water Flow Sensor*. Recuperado el 25 de 04 de 2019, de <https://www.microjpm.com/products/yf-s201-water-flow-sensor/>

Miranda, M. A. (2015). *Torres De Enfriamiento*. Recuperado el 15 de 5 de 2019, de <//slideplayer.es/slide/5534349/>

RotorPump. (2018). *Electrobombas periféricas*. Recuperado el 01 de 05 de 2019, de [http://www.rotorump.com/pdf/Marquis%20centr%C3%ADfugas.pdf\\_2785.pdf](http://www.rotorump.com/pdf/Marquis%20centr%C3%ADfugas.pdf_2785.pdf)

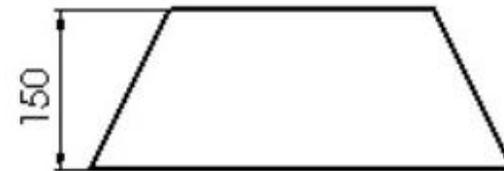
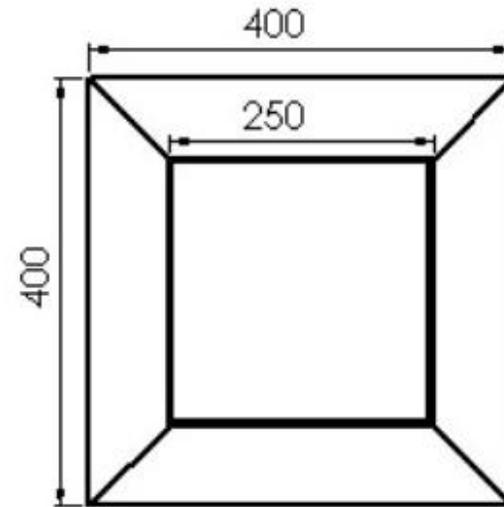
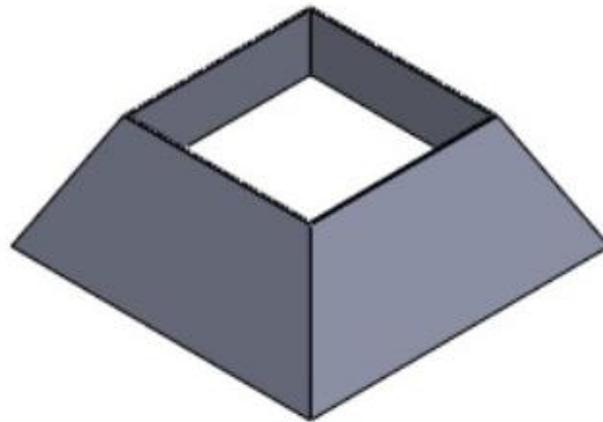
SPX Cooling Technologies, Inc. (2009). *Cooling Tower Fundamentals*. Obtenido de <https://spxcooling.com/pdf/Cooling-Tower-Fundamentals.pdf>

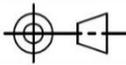
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01- 22

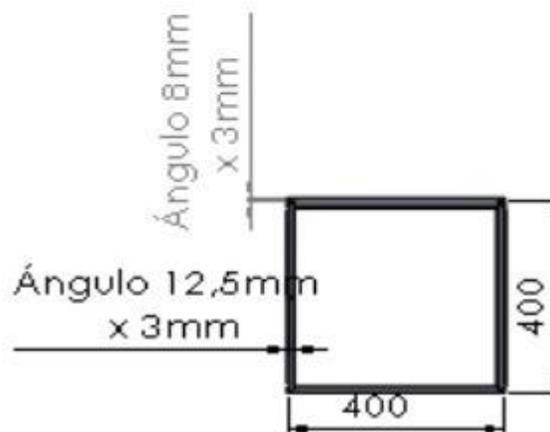
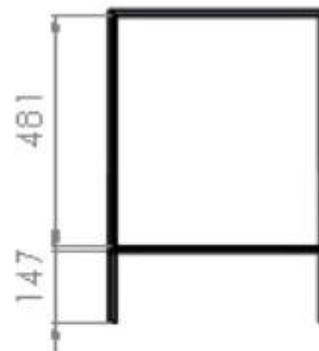
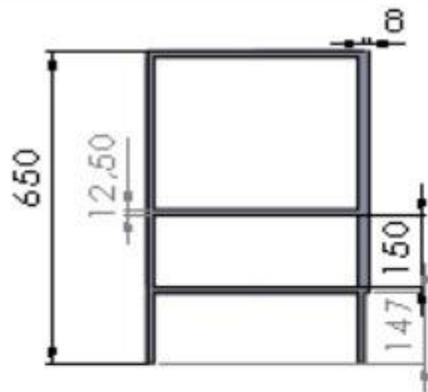
## APÉNDICE A

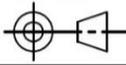
---

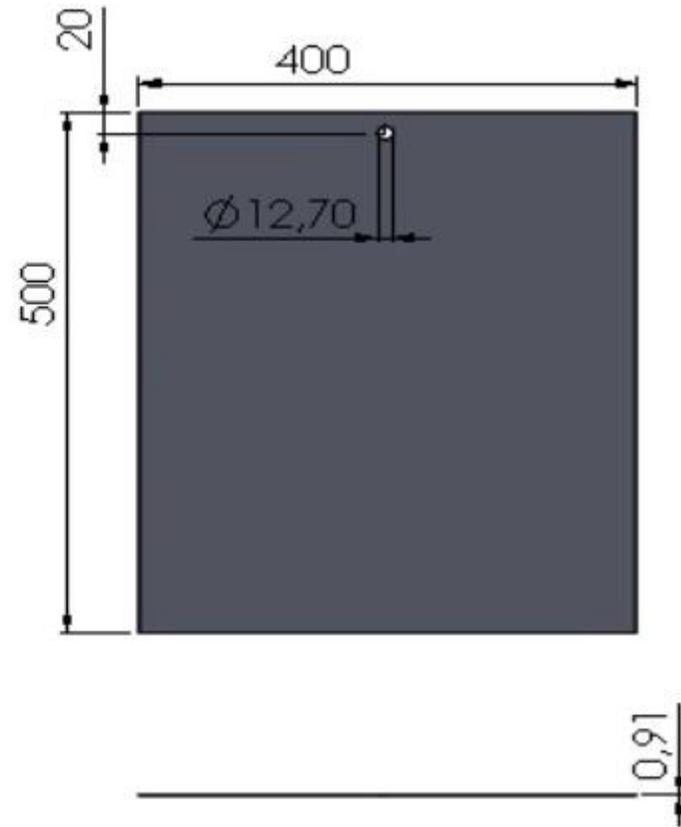
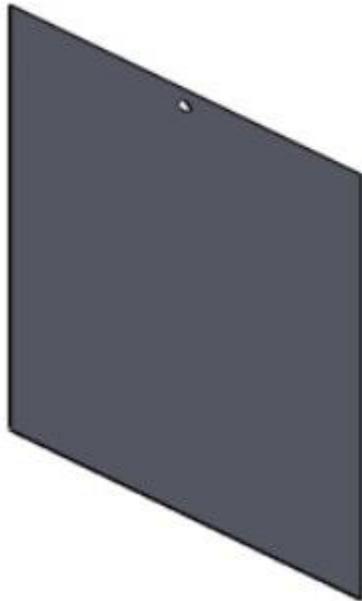
### **Planos Estructurales.**

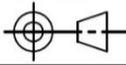


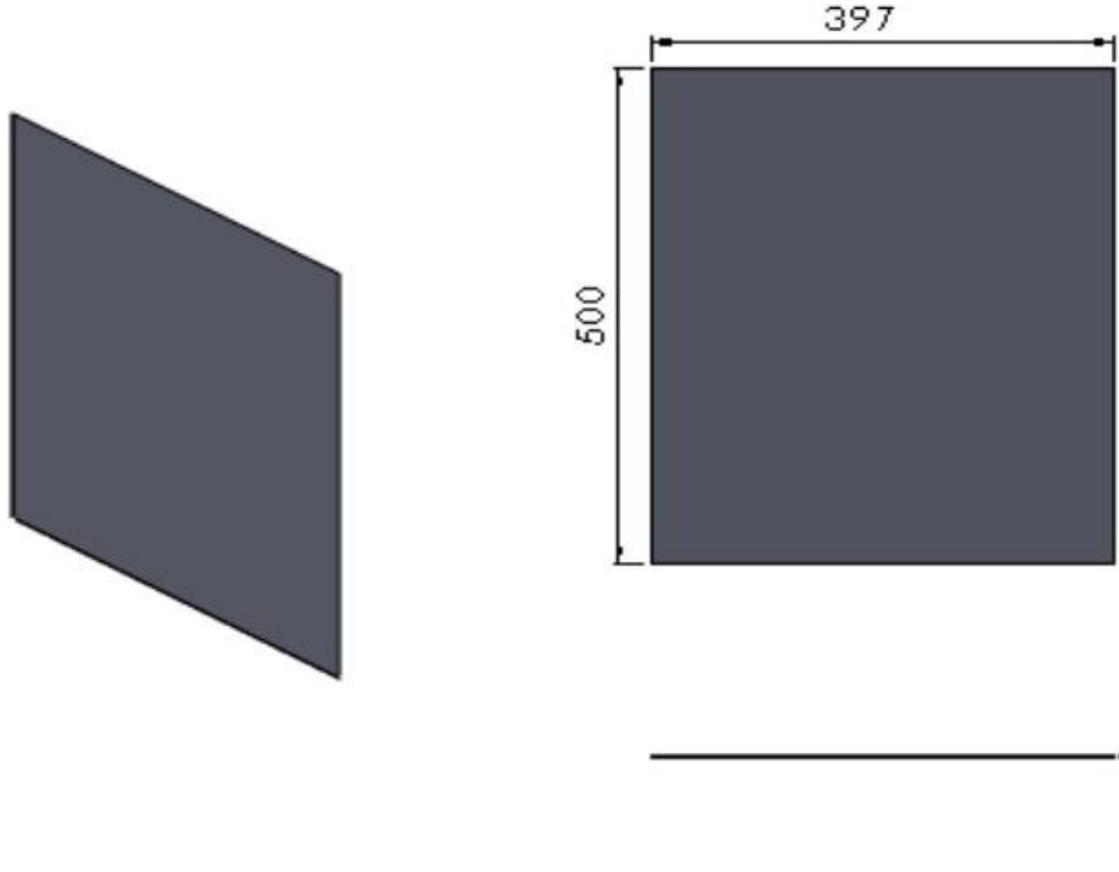
Created by: <b>Javier Cadavid, Fredy Cruz</b>	Title: <b>CAMPANA</b>	Size: <b>A4</b>	Sheet: <b>1 / 8</b>	Scale: <b>1:5</b>
Supplementary information: <b>Material: Acero inoxidable 304</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Proyecto: Diseño Torre Enfriamiento</b>		Part number: <b>1</b>	Tercer cuadrante 	
 Institución Universitaria Acreditado en Alta Calidad		Drawing no.: <b>1</b>	Date: <b>31/01/2019</b>	ISO A

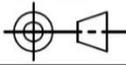


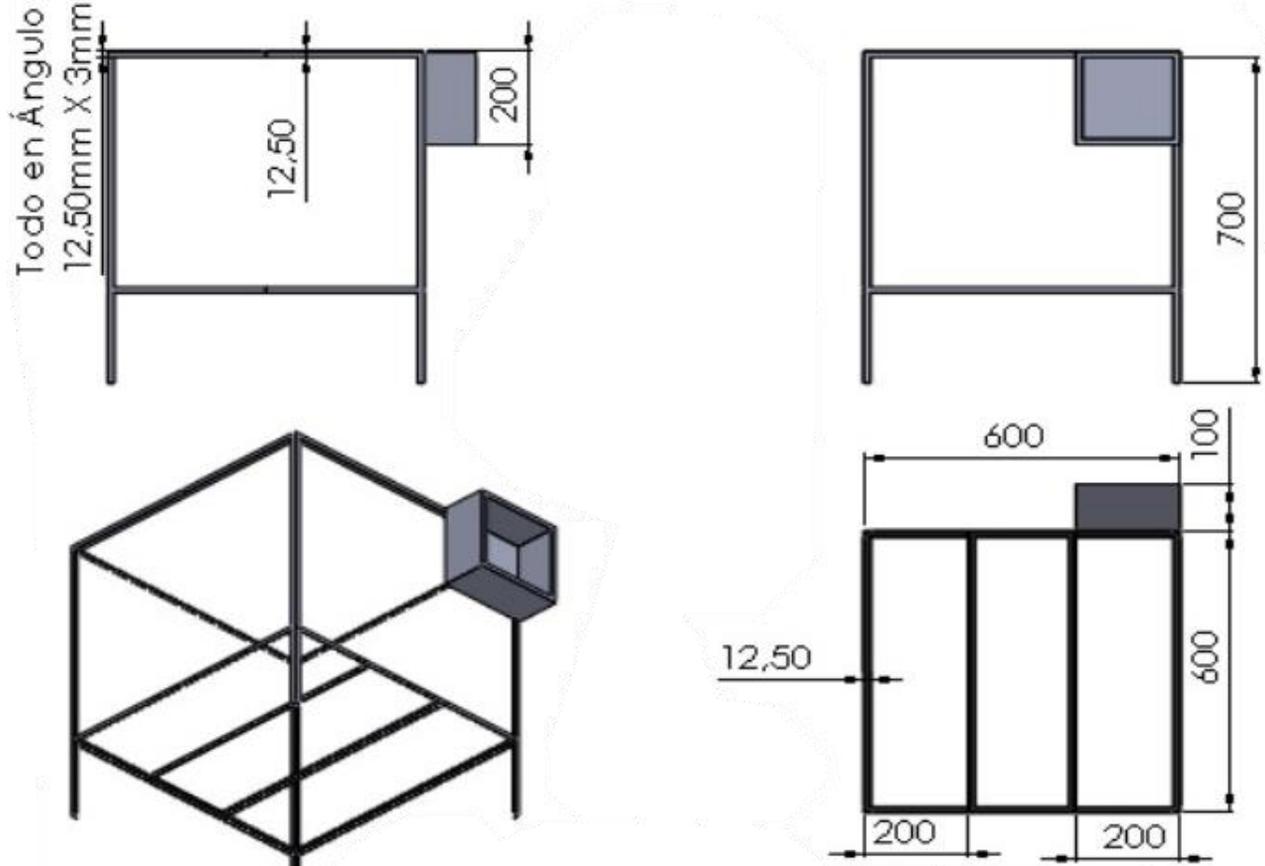
Created by: <b>Javier Cadavid, Fredy Cruz</b>	Title: <b>ESTRUCTURA TORRE</b>	Size: <b>A4</b>	Sheet: <b>2 / 8</b>	Scale: <b>1:10</b>
Supplementary information: <b>Material: Acero inoxidable 304</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Proyecto: Diseño Torre Enfriamiento</b>		Part number: <b>2</b> Drawing no.: <b>1</b>	Tercer cuadrante 	
 Institución Universitaria Acreditado en Alta Calidad		Date: <b>31/01/2019</b>	ISO A	

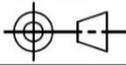


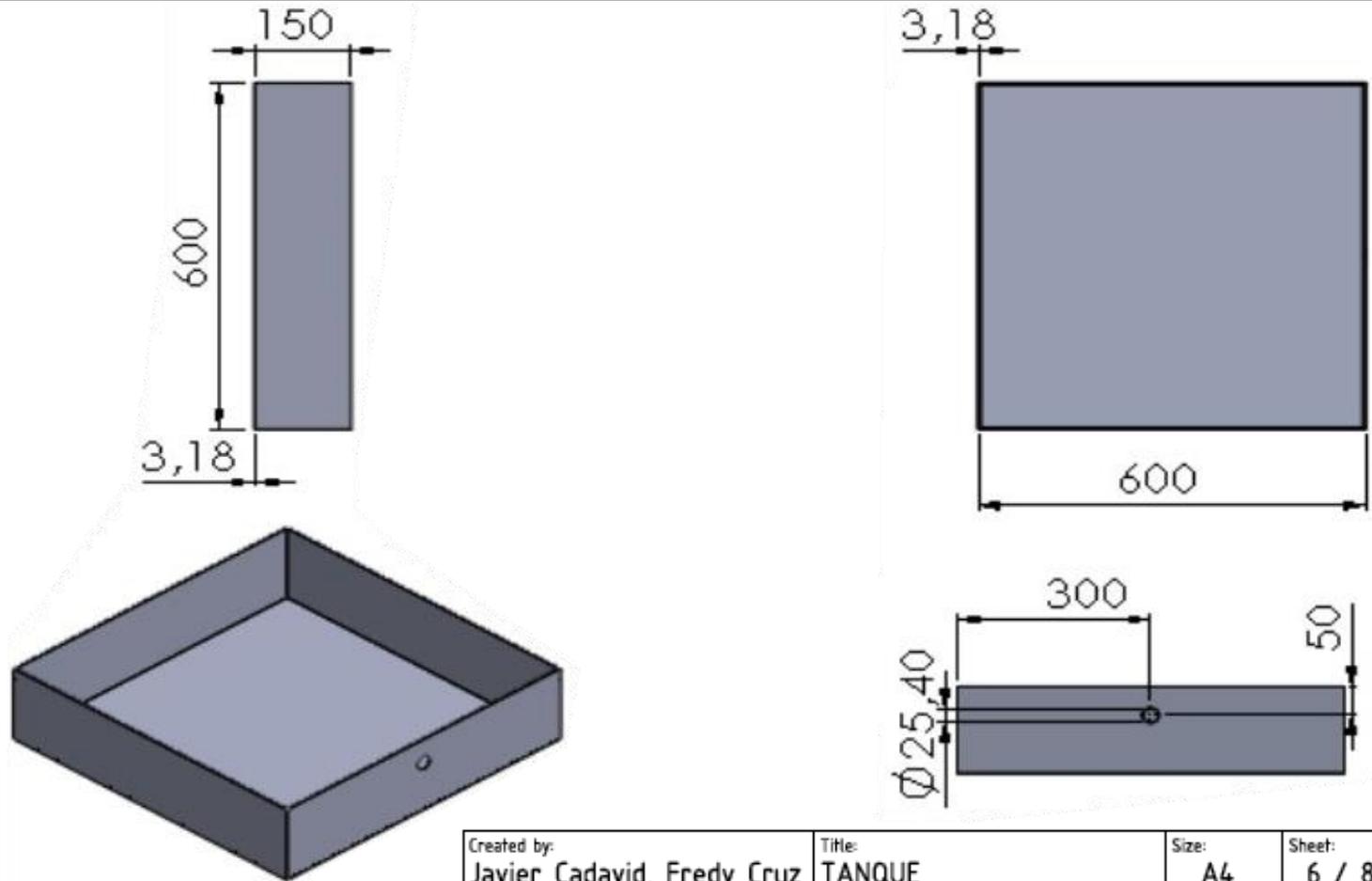
Created by: <b>Javier Cadavid, Fredy Cruz</b>	Title: <b>LÁMINA POSTERIOR</b>	Size: <b>A4</b>	Sheet: <b>3 / 8</b>	Scale: <b>1:5</b>
Supplementary information: <b>Material: Acero inoxidable 304</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Proyecto: Diseño Torre Enfriamiento</b>		Part number: <b>3</b>	Tercer cuadrante 	
 Institución Universitaria Acreditado en Alta Calidad		Drawing no.: <b>1</b>	Date: <b>31/01/2019</b>	ISO A

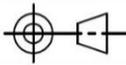


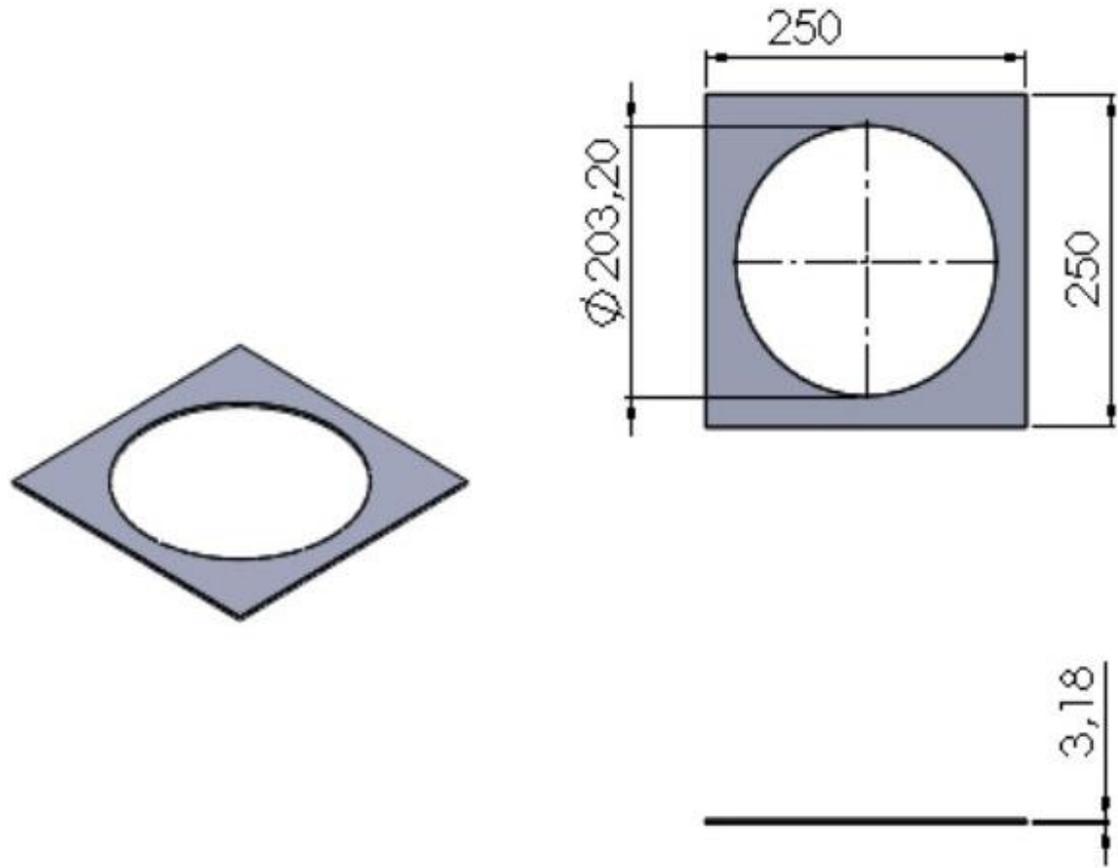
Created by: <b>Javier Cadavid, Fredy Cruz</b>	Title: <b>LÁMINA LATERAL</b>	Size: <b>A4</b>	Sheet: <b>4 / 8</b>	Scale: <b>1:5</b>
Supplementary information: <b>Material: Acero inoxidable 304</b> <b>Cantidad: 2</b> <b>Proyecto: Diseño Torre Enfriamiento</b>		Part number: <b>4</b>	Tercer cuadrante 	
 Institución Universitaria Acreditada en Alta Calidad		Drawing no.: <b>1</b>	Date: <b>31/01/2019</b>	ISO A

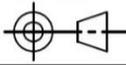


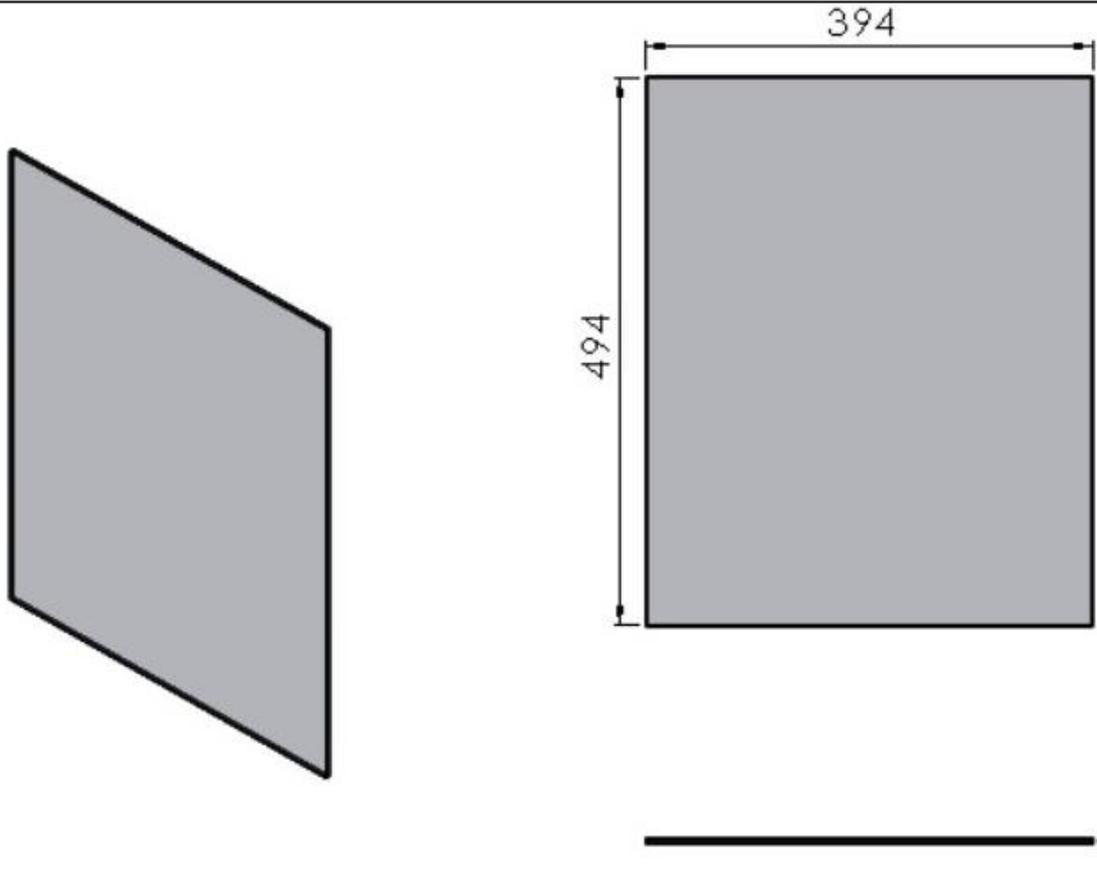
Created by: <b>Javier Cadavid, Fredy Cruz</b>	Title: <b>MESA SOPORTE</b>	Size: <b>A4</b>	Sheet: <b>5 / 8</b>	Scale: <b>1:10</b>
Supplementary information: <b>Material: Acero inoxidable 304</b> <b>Cantidad 1</b> <b>Proyecto: Diseño Torre Enfriamiento</b>		Part number: <b>5</b>	Tercer cuadrante	
		Drawing no.: <b>1</b>		
		Date: <b>31/01/2019</b>		

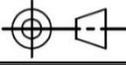


Created by: <b>Javier Cadavid, Fredy Cruz</b>	Title: <b>TANQUE</b>	Size: <b>A4</b>	Sheet: <b>6 / 8</b>	Scale: <b>1:10</b>
Supplementary information: <b>Material: Acero inoxidable 304</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Proyecto: Diseño Torre Enfriamiento</b>		Part number: <b>6</b>	Tercer cuadrante 	
 Institución Universitaria Acreditada en Alta Calidad		Drawing no.: <b>1</b>	Date: <b>31/01/2019</b>	ISO A



Created by: <b>Javier Cadavid, Fredy Cruz</b>	Title: <b>TAPA CAMPANA</b>	Size: <b>A4</b>	Sheet: <b>7 / 8</b>	Scale: <b>1:5</b>
Supplementary information: <b>Material: Acero inoxidable 304</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Proyecto: Diseño Torre Enfriamiento</b>		Part number: <b>7</b>	Tercer cuadrante 	
 Institución Universitaria Acreditada en Alta Calidad		Drawing no.: <b>1</b>	Date: <b>31/01/2019</b>	ISO A



Created by: <b>Javier Cadavid, Fredy Cruz</b>	Title: <b>LÁMINA FRONTAL</b>	Size: <b>A4</b>	Sheet: <b>8 / 8</b>	Scale: <b>1:5</b>
Supplementary information: <b>Material: Acrílico</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Proyecto: Diseño Torre Enfriamiento</b>		Part number: <b>8</b>	Tercer cuadrante 	
 Institución Universitaria Acreditada en Alta Calidad		Drawing no.: <b>1</b>	Date: <b>31/01/2019</b>	ISO A

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## APÉNDICE B

Este es el código de programación para el Arduino mega 2560, utilizado para visualización variables en equipo torre enfriamiento

```

include <LiquidCrystal_I2C.h>                                // Librería LCD_I2C display 2 *16 4
pins
#include <DHT.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>                             // ds18b se necesita circuito con
resistencia 10 k ohmios para marcar temperatura

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

#define DHT11_PIN 14
#define DHTTYPE DHT11                                     // DHT 11 sensor temperatura y
humedad
DHT dht(DHT11_PIN, DHTTYPE);

const int Pinflujo = 18;
const int measureInterval = 100;
volatile int pulseConter;
const float factorK = 7.5;                                // YF-S201
float volume = 0;
long t0 = 0;

const int pinTemp1 = 11;                                   // Pin donde se conecta el bus 1-Wire
const int pinTemp2 = 12;
const int pinTemp3 = 13;
OneWire oneWireObjeto1(pinTemp1);                         // Instancia a las clases OneWire y
DallasTemperature

```

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

OneWire oneWireObjeto2(pinTemp2);
OneWire oneWireObjeto3(pinTemp3);
DallasTemperature sensor1(&oneWireObjeto1);
DallasTemperature sensor2(&oneWireObjeto2);
DallasTemperature sensor3(&oneWireObjeto3);

```

```

const int manual = 1;
const int autom = 2;
const int resis = 3;
const int pump = 4;
const int vent = 5;
const int bott12 = 6;
const int bott3 = 7;
const int botf = 8;
const int both = 9;
const int botset = 10;
const int relr = 16;
const int relp = 17;
const int relv = 18;

```

```

float Humedad;
float Temp1;
float Temp2;
float Temp3;
int var = 0;
int vlrset = 0;

```

```

void ISRCountPulse()

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

{
pulseConter++;
}

float GetFrequency()
{
pulseConter = 0;
interrupts();
delay(measureInterval);
noInterrupts();

return (float)pulseConter * 1000 / measureInterval;
}

void SumVolume(float dV)
{
volume += dV / 60 * (millis() - t0) / 1000.0;
t0 = millis();
}

void setup() {
Serial.begin(9600);
pinMode(manual,INPUT);
pinMode(autom,INPUT);
pinMode(resis,INPUT);
pinMode(pump,INPUT);
pinMode(vent,INPUT);
pinMode(bott12,INPUT);

```

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```
pinMode(bott3,INPUT);
pinMode(botf,INPUT);
pinMode(both,INPUT);
pinMode(botset,INPUT);
pinMode(relr,OUTPUT);
pinMode(relp,OUTPUT);
pinMode(relv,OUTPUT);
```

```
lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Hola");
dht.begin();
```

```
sensort1.begin();
sensort2.begin();
sensort3.begin();
```

```
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(Pinflujo), ISRCountPulse, RISING);
t0 = millis();
}
```

```
void loop() {
  Humedad = dht.readHumidity();

  sensort1.requestTemperatures();
  sensort2.requestTemperatures();
```

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

sensort3.requestTemperatures();
Temp1 = sensort1.getTempCByIndex(0);
Temp2 = sensort2.getTempCByIndex(0);
Temp3 = sensort3.getTempCByIndex(0);

float frequency = GetFrequency();           // obtener frecuencia en Hz
float flow_Lmin = frequency / factorK;      // calcular caudal L/min
SumVolume(flow_Lmin);

if(digitalRead(bott12) == HIGH){
    var = 1;
}
if(digitalRead(bott3) == HIGH){
    var = 2;
}
if(digitalRead(botf) == HIGH){
    var = 3;
}
if(digitalRead(both) == HIGH){
    var = 4;
}
if(digitalRead(botset) == HIGH){
    var = 5;
    vlrset++;
    if(vlrset>5){
        vlrset = 1;
    }
}

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

Serial.println(var);
switch (var){
  case 0:
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Select var.");
    break;
  case 1:
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("T1");
    lcd.setCursor(6,0);
    lcd.print("T2");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(Temp1);
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print(Temp2);
    break;
  case 2:
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("T3");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(Temp3);
    break;
  case 3:
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

lcd.print("Flujo");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(flow_Lmin);
break;
case 4:
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Humedad");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(Humedad);
break;
case 5:
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Set");
switch (vlrset){
case 1:
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("30 C");
break;
case 2:
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("35 C");
break;
case 3:
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("40 C");
break;

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01- 22

case 4:

```
lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print("45 C");
```

```
break;
```

case 5:

```
lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print("50 C");
```

```
break;
```

```
}
```

```
break;
```

```
}
```

```
}
```

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

FIRMA ASESOR *David S. V.* \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO \_\_\_\_\_ ACEPTADO \_\_\_\_\_ ACEPTADO CON MODIFICACIONES \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_