



Control de Procesos Térmicos

Control Automático e Instrumentación

Eliot Izquierdo Balencia

Miguel Flores Zepeda

P7. Horno

Fecha en que se realizó: 29/04/2024

Fecha en que se entrega: 06/05/2024

Objetivo:

Hacer un horno eléctrico para calentar una lasaña, ya sea hecha en casa o precocida(de las que venden en los supermercados).

Introducción:

¿A qué temperatura se calienta la lasaña?

La temperatura a la que se calienta la lasaña puede variar dependiendo de la receta y del tipo de horno utilizado. Generalmente, las lasañas se cocinan en hornos precalentados a una temperatura que oscila entre los 175°C y los 200°C (aproximadamente 350°F a 400°F). Es importante seguir las instrucciones específicas de cada receta para obtener el resultado deseado.

<https://www.pastasgallo.es/cuanto-tiempo-tiene-que-estar-la-lasana-en-el-horno/>

¿Qué es la ley de Joule?

La Ley de Joule, también conocida como ley de Joule-Lenz, es un principio fundamental en la física que establece que la energía eléctrica convertida en calor por un conductor eléctrico es directamente proporcional a la resistencia eléctrica del conductor, al cuadrado de la corriente eléctrica que lo atraviesa y al tiempo durante el cual circula la corriente.

Matemáticamente, se expresa como $Q = I^2 * R * t$, donde Q es la cantidad de calor producido, I es la corriente eléctrica, R es la resistencia eléctrica y t es el tiempo.

<https://unicrom.com/ley-de-joule/>

¿Qué es la transferencia térmica?

La transferencia térmica es el proceso mediante el cual la energía térmica se transfiere de un cuerpo o sistema a otro debido a una diferencia de temperatura. Este proceso puede ocurrir de tres formas principales: conducción, convección y radiación. La conducción se refiere a la transferencia de calor a través de materiales sólidos, la convección se refiere a la transferencia de calor a través de un fluido (como aire o agua) y la radiación se refiere a la transferencia de calor a través de ondas electromagnéticas (como la radiación solar).

<https://concepto.de/transferencia-de-calor/>

¿Qué resistencia al calor tiene el ladrillo, el cemento y el metal?

La resistencia al calor de materiales como el ladrillo, el cemento y el metal varía dependiendo de sus propiedades específicas y de cómo se utilicen en aplicaciones térmicas. En general:

El ladrillo: Tiene una buena resistencia al calor debido a su estructura densa y capacidad para retener el calor. Puede soportar temperaturas elevadas, especialmente cuando se utiliza en la construcción de hornos u otras estructuras de alta temperatura.

El cemento: También tiene una buena resistencia al calor y se utiliza en aplicaciones donde se requiere una alta resistencia térmica, como en la construcción de hornos, chimeneas y revestimientos de superficies expuestas al calor.

El metal: La resistencia al calor de los metales puede variar ampliamente dependiendo del tipo de metal. Algunos metales como el acero inoxidable y el titanio tienen una buena resistencia al calor y se utilizan en aplicaciones de alta temperatura, mientras que otros metales pueden fundirse o deformarse a temperaturas relativamente bajas.

<https://scheminperu.com/blog/ladrillo-refractario-resistencia-ante-altas-temperaturas/>

Desarrollo:

Materiales:

- Arduino Nano.
- 3 Resistencias de 20Ω .
- Un termopar tipo K (con su módulo de comunicación SPI para Arduino).
- 45 ladrillos rojos.
- 3 tablas de madera de 0.4×1.5 m.
- 20kg de cemento gris.
- 25kg de arena.
- Un rollo de $0.5m \times 1.5m$ de fibra de vidrio con aluminio.
- Cable de alta temperatura calibre 18.
- Un final de carrera.
- Una lámina de acero inoxidable de 50×50 cm.
- Un ventilador de 12V DC.
- Terminales de conexión.
- Tornillos.
- Una pantalla LCD con un módulo de comunicación I2C.
- Un módulo de dos relés de 5V DC/10A.

Construcción:

Para empezar con el horno tuvimos que empezar por crear el cuerpo del horno, tuvimos varias ideas, pero nos fuimos al final por usar ladrillos rojos y hacer nuestro propio cemento refractario, este cemento fue hecho moliendo ladrillos rojos y usando cemento gris y arena tamizada, todo esto se mezcló con agua hasta alcanzar la consistencia deseada.

Para crear el cuerpo del horno tuvimos varias ideas y la primera era hacer como una casita pero al no tener soportes la estructura y por vibraciones del traslado de casa de Tapia al CETI

lo que construimos terminó sufriendo muchos daños estructurales y terminó rompiéndose.



En la segunda construcción cambiamos un poco de idea ahora los ladrillos iban a estar acostados en vez de estar de lado, para darle mayor estabilidad al igual que usamos una madera como base del horno y pusimos como 4 cm de cemento refractario en el centro de la estructura para que fuera más fuerte. Siendo así el inicio de la estructura.



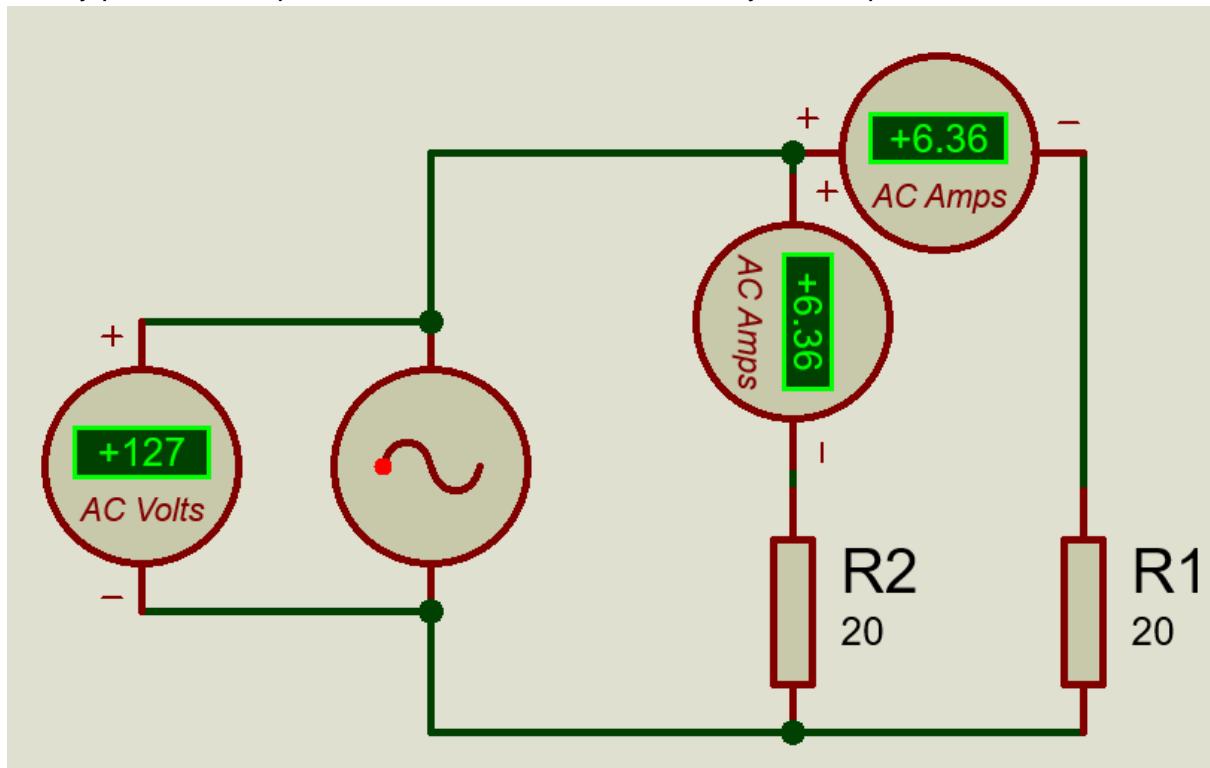
para acabar así:



Por cuestiones de tiempo decidimos poner un techo de madera para así, ya que investigue y si no está en contacto a la fuente de calor empieza a incendiarse a partir de los 400°C y por seguridad también le colocamos un aislante de fibra de vidrio para que no hubiera tanta pérdida de calor, en el techo y en la puerta y en la parte de atrás ya que en dicha parte estarían los cables y dispositivos que usaremos para controlar y mostrar la temperatura.

Parte de electrónica y control:

Empecemos por la parte de las resistencias vi que para los equipos que iban más adelantados esto estaba siendo mucho problema por lo que decidí hacer cálculos, primero necesitaba obtener la corriente que consume el circuito de resistencias e hice los cálculos para tres circuitos, el primero fue con dos resistencias en paralelo el segundo con dos resistencias en serie y para finalizar probé con dos resistencias en serie y una en paralelo a esas dos.



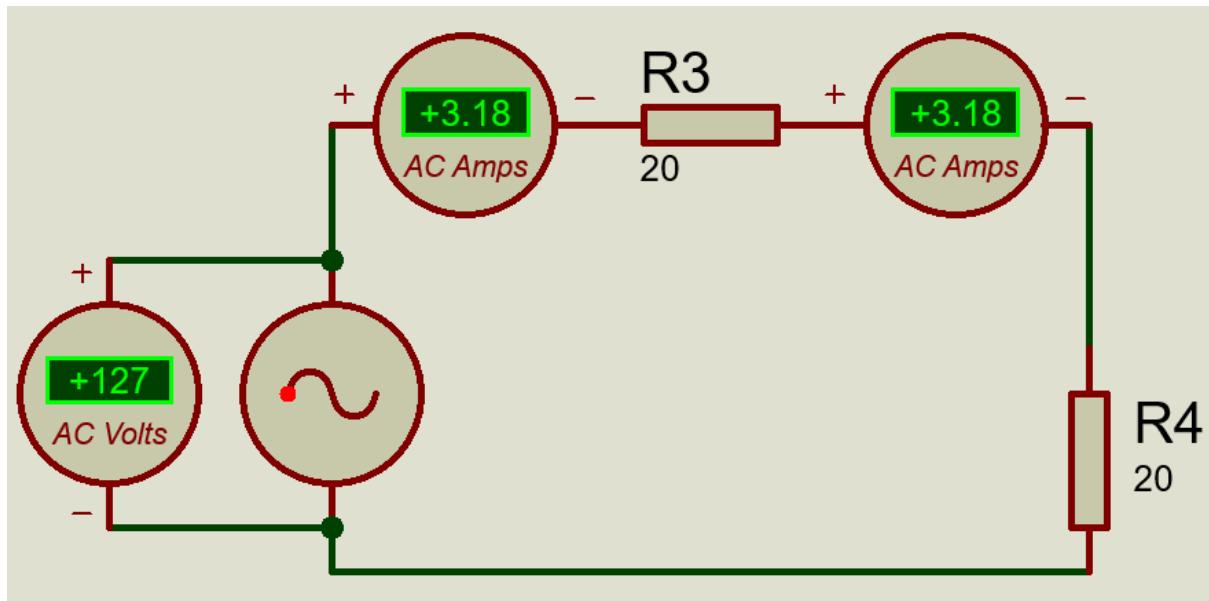
Primero tenía que obtener la corriente total que consumía el circuito para después con la ley de joule ver cual circuito producía más calor en el menor tiempo posible y que también la corriente no fuera mucha como para botar la pastilla.

Para comprobar los cálculos que hice utilicé Proteus para corroborar que estuvieran bien.

Cálculos:

$$RT = \frac{V}{IT} \rightarrow IT = \frac{V}{RT} = \frac{127v}{10\Omega} = 12.7A$$

$$Q = IT^2 * R * t = (12.7A)^2 * (10\Omega) * (60s) = 96,774 Joules$$

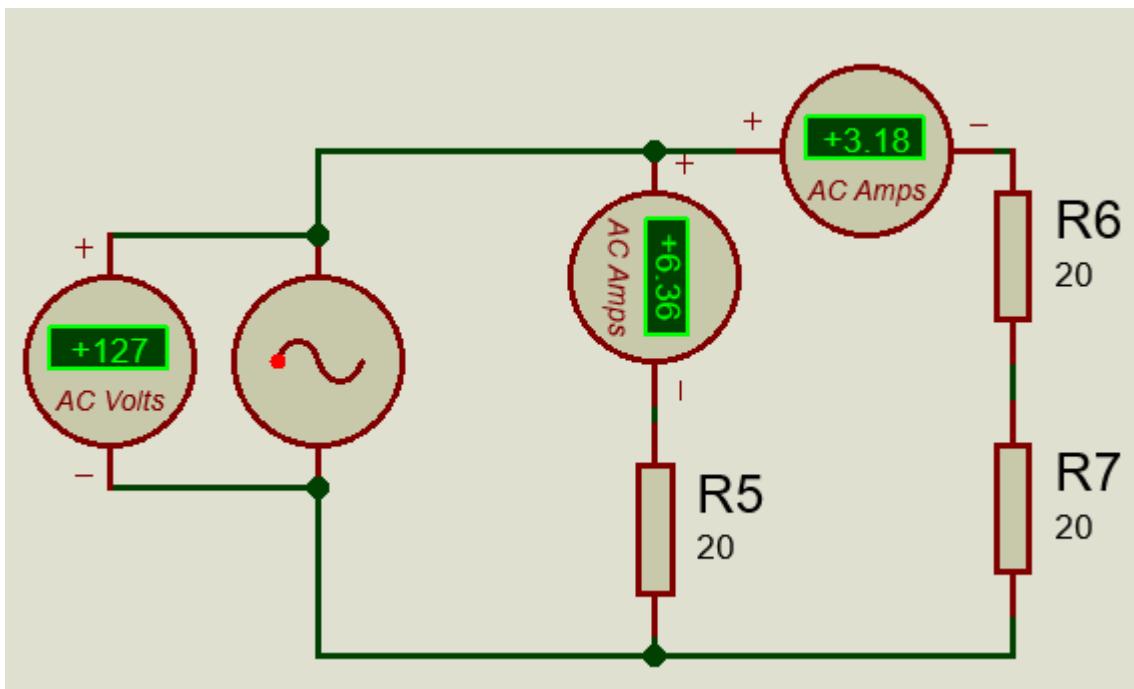


Para este punto ya podemos obtener algunas conclusiones como que el circuito en paralelo sería mucho más rápido calentando el horno en cambio el circuito en serie es más lento pero demanda mucha menos corriente, aquí es donde surgió mi idea del circuito mixto

Cálculos:

$$IT = \frac{V}{RT} = \frac{127v}{40\Omega} = 3.175A$$

$$Q = IT^2 * R * t = (3.175A)^2 * (40\Omega) * (60s) = 24,193.5 Joules$$



Aquí es donde decidí que este sería el circuito que usaría para calentar el horno ya que el calor que producía las resistencias era mucho y el consumo de la corriente todavía era aceptable.

Cálculos:

$$IT = \frac{V}{RT} = \frac{127v}{13.33\Omega} = 9.527A$$

$$Q = IT^2 * R * t = (9.527A)^2 * (13.33\Omega) * (60s) = 72,592.83 Joules$$

Ahora que ya teníamos el circuito de las resistencias solo era cuestión de controlar la temperatura esto fue hecho con un termopar de tipo K cuyo rango de temperatura va desde los -40°C hasta los 1000°C y para leer la temperatura usamos un módulo que funciona con comunicación SPI con el Arduino Nano, para encender y apagar las resistencias usamos un relevador y estos también fueron usados para encender y apagar el ventilador del techo, para mostrar la temperatura teníamos dos opciones la primera era un pantalla LCD y la otra era un termómetro como los de los asadores de carne que está en la puerta. Y para detectar si la puerta estaba abierta o no utilizamos un final de carrera que al cerrar la puerta se presionaba esto servía y un switch se usaron para cambiar el modo del horno de apagado a precalentado y a funcionamiento.



En el precalentado únicamente lo que hacía era llevar la temperatura del horno a unos 100°C para que introdujeras la lasaña y subieras el switch para que cambiara al modo de funcionamiento y la mantuviera la temperatura oscilando en 175°C con una banda de ±5°C,

esto hecho con un control ON-OFF que encendía el ventilador si la temperatura subía más allá de la banda y encendía las resistencias si la temperatura bajaba de la banda, en el momento en el que el horno iniciaba su funcionamiento iniciaba una cuenta regresiva que al finalizar significaría que la lasaña ya estaba lista y también teníamos indicadores, eran 3 leds que se usaban para saber en qué modo estaba el horno, y un buzzer que sonaba cuando el proceso de cocinado había terminado(pero estos no encendiero).

Código:

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <max6675.h>
#include <Wire.h>

//Codigo para horno

//definicion de pines para el termopar

#define CSK 12
#define CS 11
#define SO 10

MAX6675 termopar(CSK, CS, SO);

//se define el tamaño del display
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

float C = 0;           //variable para almacenar la temperatura en grados celcius.
volatile bool boton = false; //variable en la que se almacenara el cambio del final de carrera.
const int sensor = A0;    //definicion de pin de lectura del sensor.
float distancia = 0;     //variable para guardar la lectura del sensor.
bool objeto = false;     //variable que indicara si hay un objeto o no.
const int rele[2] = { 8, 9 }; //pines para usar un rele.

//Variables para proceso
unsigned long tdc = 0;
unsigned long tch = 2400000; //tiempo que tarda la lasaña en calentar.
const int bos = 6;         //Buzern que enciende al final del proceso.
const int swi = 2;          //Switch de encendido o apagado.
const int Fdc = 3;          //Final de carrera.
const int Leds[3] = { 4, 5, 7 }; //Leds R, B ,G (Precalentando, Proceso, Finalizado).
bool cocinando = false;
//pivotes para controles
const int pivot = 180;
const int pivot1 = 100;

void setup() {      //configuracion de Pines y comunicaciones
  lcd.begin();
  pinMode(rele[1], OUTPUT);
  pinMode(rele[0], OUTPUT);
  for (int i = 0; i < 3; i++) {
```

```

pinMode(Leds[3], OUTPUT);
}
pinMode(bos, OUTPUT);
pinMode(swi, INPUT_PULLUP);
pinMode(Fdc, INPUT_PULLUP);
}

void loop() { //Loop principal
    Proceso();
    Temperatura();
}

void Temperatura() { //Funcion para leer la temperatura
    C = termopar.readCelsius();
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Temperatura ");
    lcd.print(C);
    lcd.print("C");
    delay(1000);
    lcd.clear();
}

void ON_OFF() {
    if (cocinando) {
        if (C > pivot) {
            digitalWrite(rele[0], HIGH); //ventilador
            digitalWrite(rele[1], LOW); //resistencias
        } else if (C < pivot) {
            digitalWrite(rele[0], LOW);
            digitalWrite(rele[1], HIGH);
        }
    } else {
        if (C > pivot1) {
            digitalWrite(rele[0], LOW); //ventilador
            digitalWrite(rele[1], LOW); //resistencias
        } else if (C < pivot1) {
            digitalWrite(rele[0], LOW);
            digitalWrite(rele[1], LOW);
        }
    }
}

void Proceso() {
    if (digitalRead(swi) == 1 && digitalRead(Fdc) == 1) {
        tdc = millis();
        if (tdc >= tch) {
            Finalizado();
            lcd.setCursor(0, 0);
        }
    }
}

```

```

    lcd.print("Lasaña lista :D");
    digitalWrite(rele[2], HIGH);
    PGreen();
    Melodia();
} else { //Proceso de funcionamiento
    cocinando = true;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Cocinando");
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("Tiempo faltante:");
    lcd.print(tch - tdc / 1000);
    lcd.print("s");
    LedB();
    ON_OFF();
}
} else if (digitalRead(swi) == 0 && digitalRead(Fdc) == 1) { //Proceso de precalentado
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Precalentando");
    ON_OFF();
    LedR();
    tdc = 0;
    cocinando = false;
} else if (digitalRead(swi) == 0 && digitalRead(Fdc) == 0) { //Horno apagado
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Bienvenido");
}
}

void PGreen() { //Funcion para hacer parpadear led verde
    digitalWrite(Leds[2], HIGH);
    delay(500);
    digitalWrite(Leds[2], LOW);
    delay(500);
    digitalWrite(rele[1], LOW);
    digitalWrite(rele[0], LOW);
}

void LedB() { //Funcion para encender led blanco
    digitalWrite(rele[1], HIGH);
    digitalWrite(rele[0], LOW);
    digitalWrite(rele[2], LOW);
}

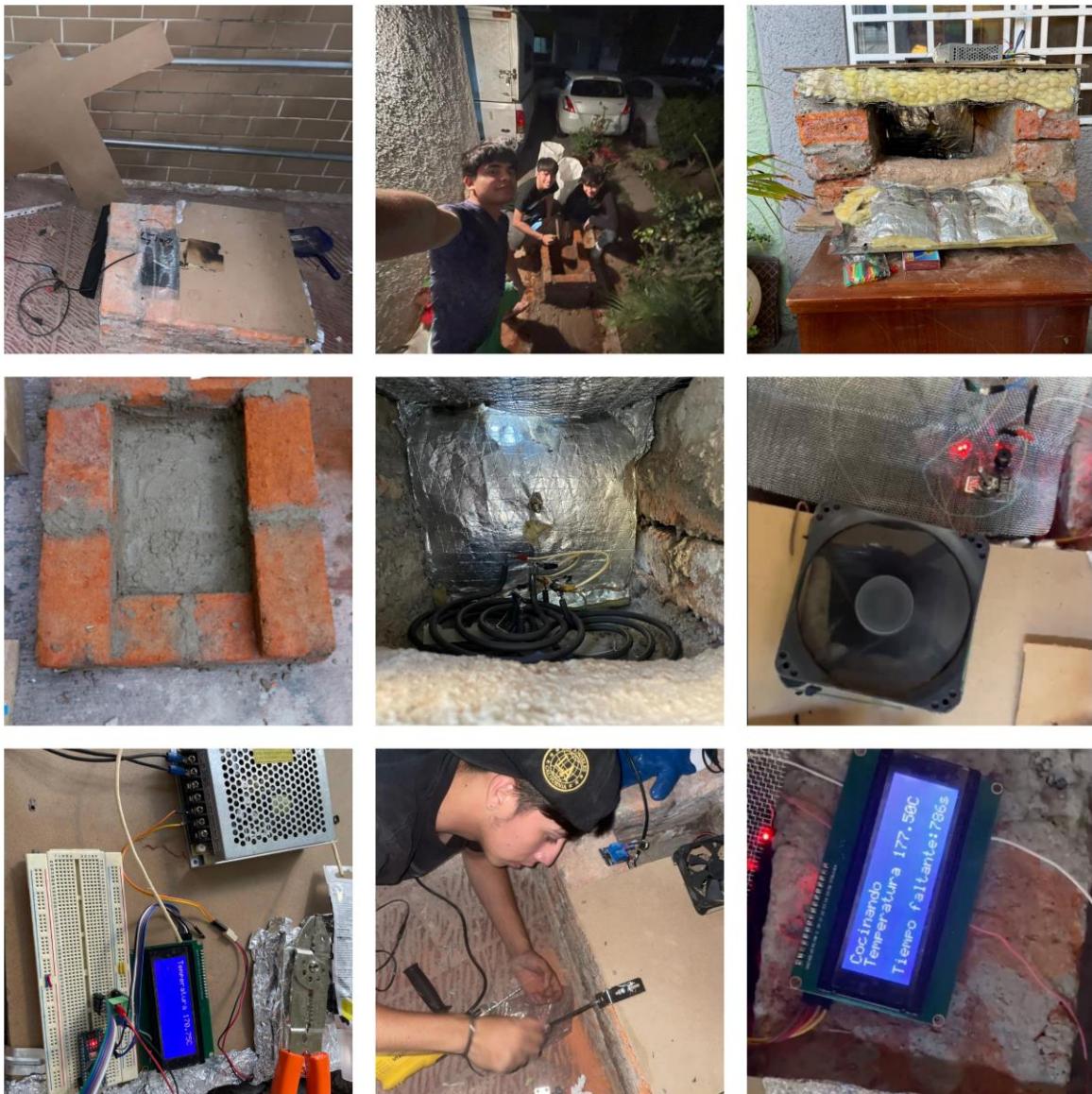
void LedR() { //Funcion para encender led rojo
    digitalWrite(rele[0], HIGH);
    digitalWrite(rele[1], LOW);
    digitalWrite(rele[2], LOW);
}

```

```
void Melodia() { //Tono de buzzer
    analogWrite(bos, 100);
    analogWrite(bos, 150);
    analogWrite(bos, 50);
    analogWrite(bos, 0);
}

void Finalizado() {
    digitalWrite(rele[0], HIGH); //ventilador
    digitalWrite(rele[1], LOW); //resitencias
}
Fotos de lasaña:
```





Lamentablemente se nos olvidó tomarle foto a la lasaña ya calentada.

Conclusión:

Este proyecto la verdad fue bastante diferente a lo que la mayoría estábamos acostumbrados ya que requería de armar un horno casi desde 0 pero el reto que nos dimos al hacerlo con materiales de construcción fue mayor ya que muy pocos habían trabajado alguna vez con ellos es por eso que tardamos bastante haciendo el cuerpo de horno pero por la parte de electronica y control casi no tuvimos problemas únicamente el problema que se me presentó fue que los leds y el buzzer que eran para indicar en qué proceso se encontraba el horno, no funcionaron tengo la teoría de que era por que le exigía mucho al arduino, otro problema que tuvimos fue que la lasaña no se calentó del todo ya que por los costados del techo teníamos fugas de calor que hicieron que la una de las orillas de la pasta de la lasaña quedara muy dura pero fuera de eso el funcionamiento del horno fue el óptimo y el que se esperaba. Tambien teníamos planeado el implementar la puerta automática y la banda automática pero por cuestión de tiempo ya no la implementamos aunque ya tenía un código que funcionaba para la banda solo me faltaba hacer el código para la puerta. Ya para concluir quiero decir que

me gusto mucho la el proyecto y todo el conocimiento que me dejo, la verdad a mi no me gustaba para nada la construcción pero con esto ya no le tengo tanto disgusto al igual que me deja con un proyecto pendiente por terminar en su totalidad con mis amigos en algún otro momento.