CANSAT

CRITICAL DESIGN REVIEW

IES Seritium - A4I

Curso 2021-2022

Índice

= = = = = = = = = =

Introducción

¿Construir un satélite e intentar que aterrice y que no se destroce? ¿Que nos envíe datos de la atmósfera? ¿Y ya puestos, por qué no tomar fotos del terreno? ¡Y que nos lo meten en un cohete y todo eso, y nos lo lanzan a un kilómetro de altura, o… dos, o tres…, bueno…, "muy alto"? ¡¡Nos apuntamos!!

Organización y roles del equipo

1. Adrián Durán Perdigones
2. Iker Espinosa Algeciras
3. Alejandro Chacón Pérez
4. Antonio Jesús Suárez Gómez
5. David García Vázquez y Aurelio Gallardo Rodríguez → profesores

Hemos dedicado 4 horas semanales como si fueran TIC y TIN desde el primer trimestre, y alguna hora más en los recreos y en casa. Alejandro se ha encargado del código, Antonio e Iker de la fabricación de la placa y modelo del Cansat, y Adrián del vídeo y diseños.

Objetivos de la misión

1. Objetivo 1: Analizar con precisión el clima y terreno.
2. Objetivo 2: Aprender la funcionalidad de un satélite en miniatura.
3. Objetivo 3: Pasarlo bien.

Descripción del proyecto CANSAT

Esquema de la misión

Los datos serán recogidos durante el lanzamiento gracias a la telemetría menos las fotos que serán guardadas en una tarjeta SD para no saturar el envío. Esperamos que todos los datos nos lo ofrezcan con la mayor exactitud y al momento; mientras cae haga algunas fotos dependiendo de la altura y obtengamos una análisis completo de todo.

1. **Misión primaria:** presión, temperatura, altura y telemetría.
2. **Misión secundaria:** lo demás, GPS, acelerómetro y toma de fotos.

Proyecto Científico

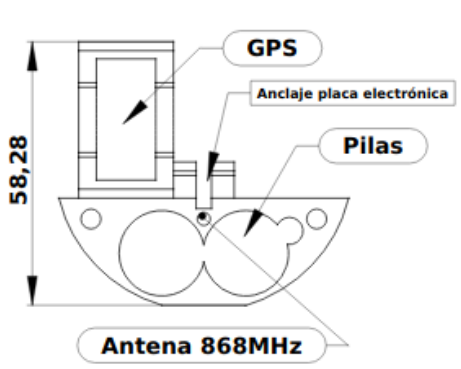
La fotografía aérea tiene múltiples aplicaciones: topografía/cartografía, análisis de cultivos o masas forestales, aspectos geológicos, hidrológicos, análisis de la actividad humana y prevención de riesgos, e incluso análisis arqueológicos.

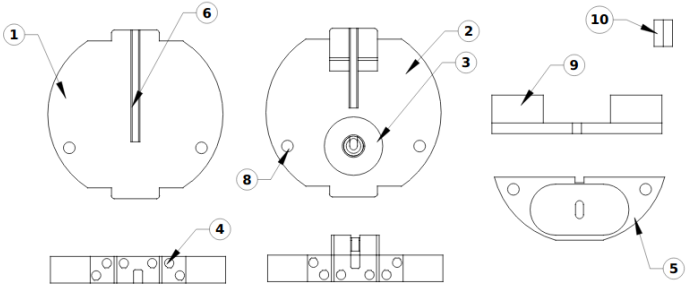
Usamos el GPS para saber dónde está el Cansat al caer, las fotos para analizar campos de cultivos o un terreno; presión, temperatura y altura para analizar el clima y realice una función de satélite; el acelerómetro para calcular la velocidad a la que se encuentra el Cansat y su posible orientación, y la telemetría para que nos llegue los datos en vivo.

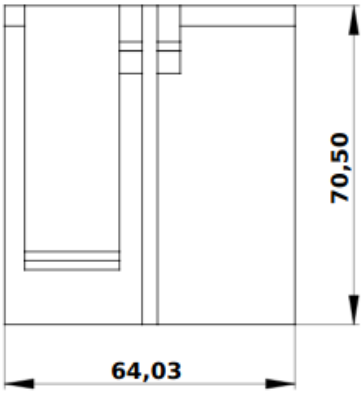
Diseño de la estructura

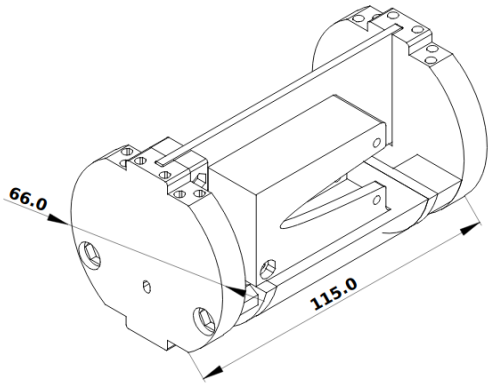
Planos de la estructura. En vertical, pieza donde se alojan las pilas (habitáculo pilas), la antena emisora, el módulo GPS y ranura y anclaje de la placa electrónica. En horizontal, resto de piezas y perspectiva general.

Leyenda: Lateral A (1) , Lateral B (2), Base antena - ground (3), Agujeros cordajes paracaídas (4), Tapa habitáculo pilas (5), ranura placa electrónica (6), agujeros pasantes para varillas roscadas de la estructura (7) y (8), Superficie donde irá la cámara (9), Separador (10).

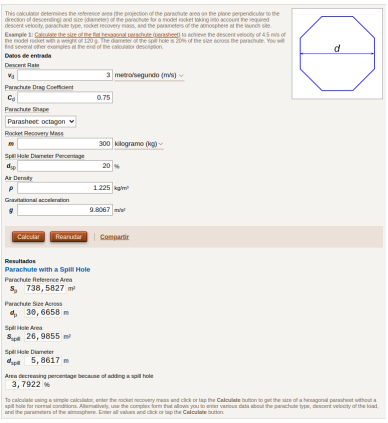








Paracaídas



Cordaje: tanza 80LB (36.3Kgf). Tensión máxima que soporta.

Tela paracaídas: taffta nylon. 70D (unidades deniers) y entre 190/210T (trenzado de líneas horizontales/verticales). Tela

especial para paracaídas y tiendas de campaña: ver bibliografía.

Diseño eléctrico

Consumo teórico de componentes importantes:

- Arduino Pro Mini: 200mA máximo en el chip
- ESP32 CAM: 180mA sin flash
- GY-87 (Acelerómetro): MPU6050 → 10 mA máximo. BMP180 → 1mA pico
- LORA 868MHz: 130mA máximo transmitiendo
- NEO6 GPS: 45mA
- LED: menos de 70mA

I_T teórico < 636mA
Consumo total de la placa en funcionamiento: I_T = 220 mA max, medido con amperímetro, con LED encendido.

Carga de las pilas (tantalato litio): $Q = I \cdot t = 3000mAh \cdot 2 = 6000\,mAh$ ().
Con pilas estándar 18650, $Q = I \cdot t = 2200mAh \cdot 2 = 4400\,mAh$

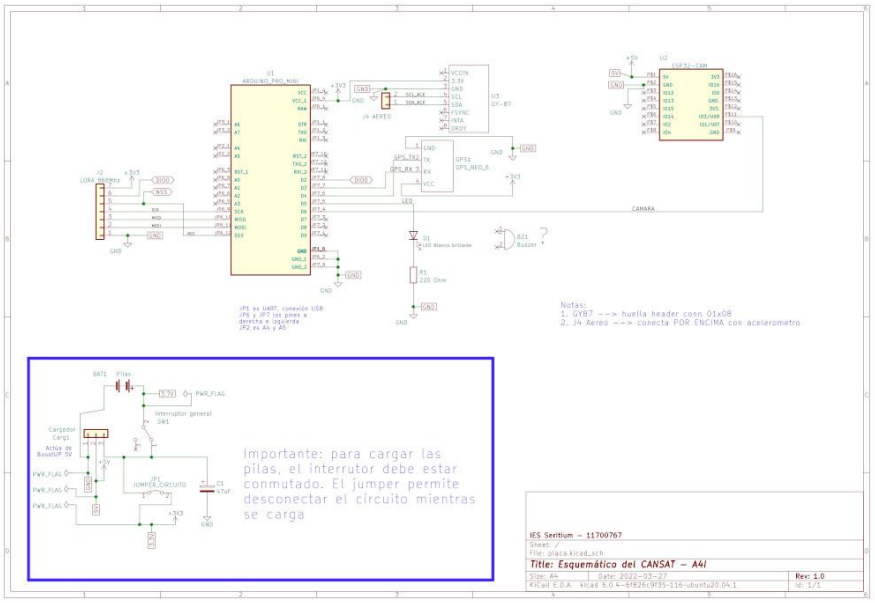
Tiempo de encendido teórico: $t > Q/I = 4400mAh/636mA = 6.9h$ y $t > Q/I = 6000mAh/636mA = 9.4h$ con pilas estándar y tantalato de litio, respectivamente.

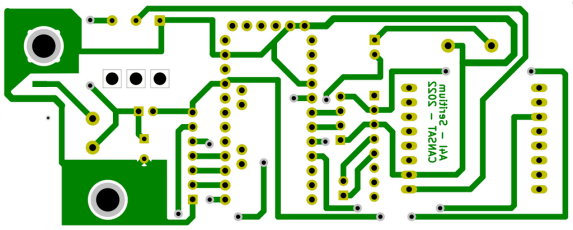
Tiempo de encendido práctico:
$t > Q/I = 4400mAh/\,200\,mA = 22h\ y\ t > Q/I = 6000mAh/\,200mA = 60h$

Enlaces a componentes; intensidades máximas teóricas:

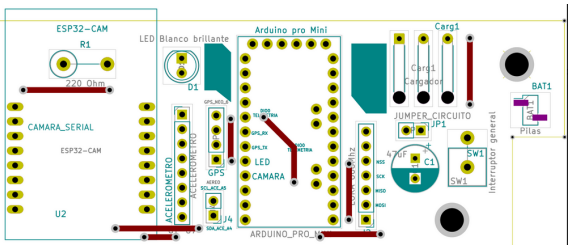
-Arduino: https://components101.com/microcontrollers/arduino-pro-mini
-Módulo Lora:https://learn.sparkfun.com/tutorials/rfm69hcw-hookup-guide/all
-GY-87: MPU6050 → 10 mA máximo
(https://www.elecrow.com/crowtail-mpu6050-accelerometer-gyro.html)
BMP180 → 1mA pico
(https://components101.com/sensors/bmp180-atmospheric-pressure-sensor)
-ESP32 cam:https://loboris.eu/ESP32/ESP32-CAM%20Product%20Specification.pdf
-NEO6 GPS:https://lastminuteengineers.com/neo6m-gps-arduino-tutorial/
-Baterías:https://es.aliexpress.com/item/32835795441.html?gatewayAdapt=glo2esp&spm=a2g0o.order_list.0.0.21ef194dWV3ghg

Esquemático eléctrico / electrónico





Pistas cobre

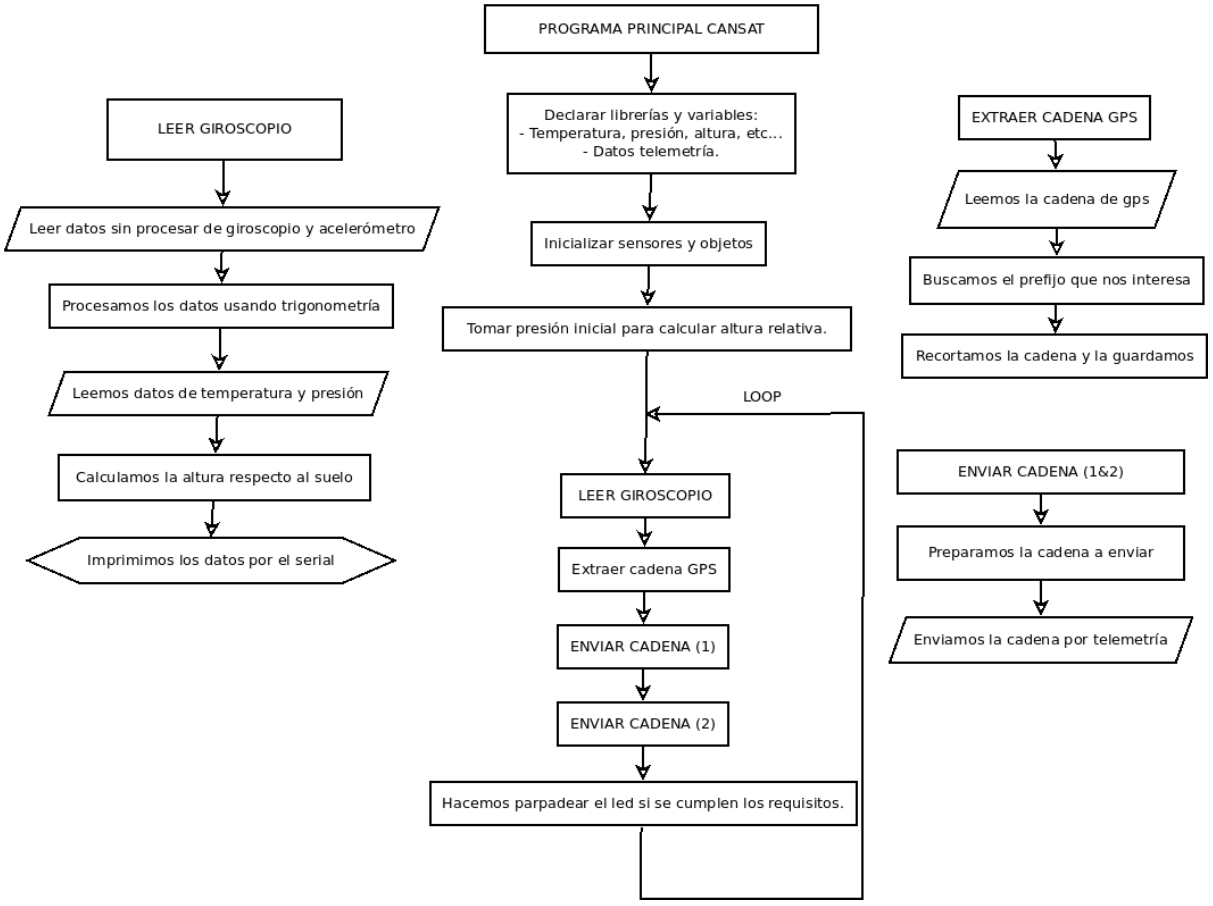


Serigrafía superior / puentes

Software

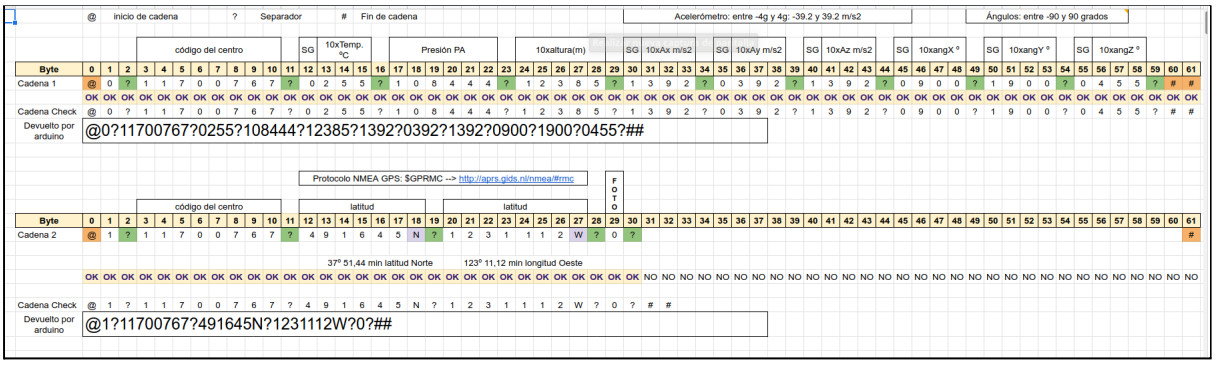
Hemos usado arduino como entorno de desarrollo, programando con su IDE oficial. Para enviar a tierra los datos, los encriptamos y los enviamos mediante el módulo RFM69 a la estación de tierra. Los datos recopilados son divididos en 2 grupos,que se envían en dos cadenas distintas: La primera, con datos de aceleración y giros en los 3 ejes, presión (Y, derivada de esta, la altitud del CanSat), y temperatura; y la segunda, con datos de posicionamiento GPS y informe sobre si se ha tomado foto o no.

Diagrama de flujo



Estructura de datos

Seguir el enlace:
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1UBlOgZCoYUfe1Wo4PusJnSwNe_fxC9lOaQ9bJyCvJZQ/edit?usp=sharing



Se envían dos cadenas alternas. Descripción informaciones:

1. Código de cadena, código del centro, temperatura ºC, presión PA, 10xaltura m, 10xAx, 10xAy, 10xAz (m/s2), 10xangX, 10xangY, 10xangZ (º)
2. Código de cadena, código del centro,latitud, longitud, Si se ha tomado o no foto.

Sistema de recuperación

La idea es que al caer sepamos donde está mediante los datos de GPS, y cuando estemos cerca podamos ver la luz parpadeando ya que el GPS no da información tan exacta.

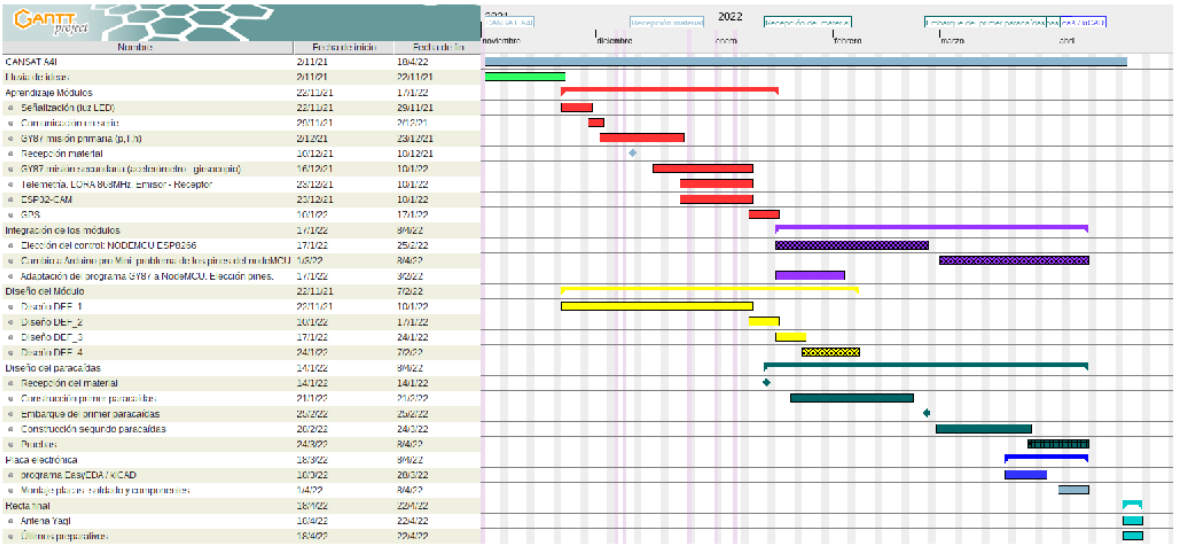
Estación de tierra

Los datos llegarán a través de telemetría y se mostrarán en la pantalla serie del arduino en vivo. Estos no serán analizados en el momento: podremos recuperarlos y analizarlos posteriormente si es necesario. La indicación de los últimos datos una vez aterrizado sobre su posición GPS servirá para localizarlo.

Intentaremos captar la señal con una antena Yagi aunque en el momento de entrega de este documento está en fase de construcción.

Planificación del proyecto CANSAT

Diagrama de GANTT (cronograma)



Presupuesto del CANSAT

(*) Estación de tierra.

Concepto	Valor / Observaciones	Cantidad	Precio (€)
Led	Para señalización	1	0,01 €
Buzzer activo		1	0,1 €
Interruptor	Mini para placa	1	0,01 €
Resistencia		1	0,01 €
Cond. electrolítico	47uF	1+1(*)	0,02 €
NodeMCU V2	ESP8266	1 (*)	3 €
Arduino pro mini	Logic 3.3V	1	5 €
ESP32-CAM	Con cámara OV2640 75 mm 2MP	1	6€ + 3,5€ = 9,5€
LORA 868MHz		1 + 1(*)	3€
GY-87	acelerómetro + giroscopio + presión + temperatura	1	5,5€
NEO6 GPS		1	4€
Piezas 3D 45g al 25% densidad + 56g al 50% = 101g	Habitáculo pilas (56g/50%)	1	PLA Amarillo 1 Kg a ~17€ ~1,7€
	Separador	2	
	Tapa habitáculo pilas	1	
	Lateral A (Antena)	1	
	Lateral B	1	
Tornillería, cableado, conectores. Estaño.	Disponibles en el taller	?	1€
Antena emisora y receptora, para CANSAT y estación tierra	Construidas con materiales del taller: arandelas y alma de cobre de cables de D1.5	2	2 x 0,5€ = 1 €
Placa electrónica 41 x 104 mm	70 x 100 mm	1	1 €

Pilas 18650	Tantalato de litio	2	15,4€/ 2 = 7,7 €
Módulo de carga	Equivalente TP4056	1	0,5€
Tarjeta microSD	32GB	1	3€
Tela paracaídas		1	2,74 € x 1,5m2
Tanza pesca 4 hebras		1	5,5€
		TOTAL:	**55,29€**

Apoyo externo

En principio, hemos contado con recursos propios y material suministrado por los profesores.

Pruebas realizadas

En el enlace: https://www.seritium.es/wordpress/index.php/2022/03/24/proyecto-cansat-2022/

Difusión del proyecto

1. Página web: www.seritium.es
2. Facebook: https://www.facebook.com/ies.seritium.jerez
3. Twitter: @IesSeritium

Bibliografía / Referencias / Recursos

1. Modelización del paracaídas: https://www.translatorscafe.com/unit-converter/es-ES/calculator/parachute-size/
2. Cordaje paracaídas: https://es.aliexpress.com/item/1549494151.html?gatewayAdapt=glo2esp&spm=a2g0o.order_list.0.0.21ef194dWV3ghg
3. GY-87: https://www.luisllamas.es/arduino-orientacion-imu-mpu-6050/ , https://electropeak.com/learn/interfacing-gy-87-10dof-imu-mpu6050-hmc5883l-bmp085-module-with-arduino/, https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html
4. ESP32-CAM: https://randomnerdtutorials.com/esp32-cam-video-streaming-face-recognition-arduino-ide/
5. Telemetría: https://learn.sparkfun.com/tutorials/rfm69hcw-hookup-guide/all, https://iot.uy/conectar-la-radio-rfm69-hcw-al-esp8266/, https://www.openhardware.io/view/171/Connecting-the-Radio, https://learn.adafruit.com/adafruit-rfm69hcw-and-rfm96-rfm95-rfm98-lora-packet-padio-breakouts/overview, https://forum.arduino.cc/t/nodemcu-and-rfm69hw-s2/599219/16
6. GPS: https://www.luisllamas.es/localizacion-gps-con-arduino-y-los-modulos-gps-neo-6/
7. Antena Yagi: https://www.changpuak.ch/electronics/yagi_uda_antenna_DL6WU.php

Anexos PROGRAMAS

Programas en el emisor (satélite CANSAT)

```
/*** CanSat Unificado ***/

/*  Programa unificado para el proyecto CanSat 2021/2022
 *  Dispositivo: Arduino Pro Mini (3.3v)
 *  Fecha: 8/1/2022
 */

/*          -=- Por hacer -=-
 * - Cámara así? Más pruebas?
 */

/*          -=- Changelog -=-
 * - 31/03/2022: Añadida la lectura de giro en el eje z. Añadido el envío de altura para la cámara.
Limpieza de código.
 * - 11/04/2022: Eliminada la función de envio de datos a la cámara. Por ahora lo dejamos así.
 */

/* -=- PINOUT -=-
 *  RX ----------3
 *  TX ----------4
 *  SDA ----------A4
 *  SCL ----------A5
 *  MOSI----------11
 *  MISO ---------12
 *  SCK ----------13
 *  NSS ----------10
 *  DIO0----------2
 *  ESP32-CAM-----6
 */

#include <RFM69.h>
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_BMP085.h>
#include "I2Cdev.h"
#include "MPU6050.h"
#include "Wire.h"
#include <SoftwareSerial.h>


                                                    // Addresses for this node. CHANGE
THESE FOR EACH NODE!

#define NETWORKID     100                                   // Must be the same
for all nodes --> esta es la red.
#define MYNODEID      10                                    // My node ID -->
este es el nodo de mi dispositivo
#define TONODEID      20                                    // Destination node
ID --> este es el nodo del otro dispositivo
```

```
#define FREQUENCY   RF69_868MHZ
#define FREQUENCY_E   868001000UL                                   // frecuencia
exacta

// AES encryption (or not):

#define ENCRYPT       true                                          // Set to "true" to
use encryption
#define ENCRYPTKEY  "123456789"                                     // Use the same
16-byte key on all nodes --> clave secreta

// Use ACKnowledge when sending messages (or not):

#define USEACK        false // Request ACKs or not

// Según la web https://iot.uy/conectar-la-radio-rfm69-hcw-al-esp8266/
#define SPI_CS          10                                  //NSS
#define IRQ_PIN         2                                   // DIO0
#define IRQ_NUM         2                                   //IRQ igual al pin

#define IS_RFM69HCW true                                            // Si tu radio es
RFM69HCW entonces va "true"
#define POWER_LEVEL 31                                              // Valor máximo de
potencia

// -=- OBJETOS -=-

RFM69 radio = RFM69(SPI_CS, IRQ_PIN, IS_RFM69HCW, IRQ_NUM);
MPU6050 sensor;                                             // Iniciamos sensor
mpu6050
Adafruit_BMP085 bmp;                                                // Iniciamos el
BMP180
SoftwareSerial gps (3, 4);                                  // Iniciamos el GPS (rxPIN,
txPIN)
//SoftwareSerial cam(7, 6);                                         // Iniciamos la
comunicación con la cámara (Chequear pines)
const int led = 5;

// -=- DATOS A REGISTRAR -=-

                                                        // Cadena del GPS -->
$GPRMC,225446,A,4916.45,N,12311.12,W,000.5,054.7,191194,020.3,E*68
String cadenaGPS = "";                                              // Cadena GPS
const unsigned int codigoSeritium = 11700767;                               // Código
del centro
float temperatura = -99.9;                                  // Ejemplo de temperatura
con signo (2 dígitos + 1 decimal)
unsigned int presion = 999999;                                      // Ejemplo de
presión atmosférica. Entero positivo sin decimales.
float altura = 9999.9;                                      // Ejemplo de altura. Positivo
sin signo (4 dígitos + 1 decimal)
float alturaPrev = 9999.9;
float ace[3] = {+39.2,-39.2,+39.2};                                 // valores entre -4g y
4g, en m/s2. Con signo (2 dígitos + 1 decimal)
float ang[3] = {-90.0,+90.0,-45.5};                                 // valores entre -90 y
90, en grados. Con signo (2 dígitos + 1 decimal)
```

```
bool foto = false;                                                    // Si el programa ha tomado
o no fotografías.

// -=- DATOS DEL GIRSOCOPIO -=-
short int ax, ay, az;
short int gx, gy, gz;                                                 // Valores sin procesar del
acelarómetro y giroscopio.
long p0;                                                              // Valor de la presión inicial.
long tiempo_prev;
float dt;                                                             // Variables que calculan el
tiempo (Cálculos aceleromtro/giroscopio)
float ang_x, ang_y, ang_z;
float ang_x_prev, ang_y_prev, ang_z_prev;                                     // Variables
para calcular los ángulos relativos de rotación.

//-=- Variables para el LED
unsigned long t = 0;


// ======================
// SETUP
// ======================

void setup() {

  delay(2000);
  pinMode(led, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("Node ");
  Serial.print(MYNODEID,DEC);
  Serial.println(" ready");
  Wire.begin();
  gps.begin(9600);
  //cam.begin(115200);
  sensor.initialize();
  if(sensor.testConnection()){
          Serial.println("Sensor MPU6050 iniciado correctamente");
  }
  else{
          Serial.println("Error al iniciar el sensor MPU6050");
  }
  if(!bmp.begin()){
          Serial.print("Error al iniciar el sensor BMP180");
  }
  else{
          Serial.println("Sensor BMP180 iniciado correctamente");
  }                                                                   //Inicializamos comunicación Serial y
ambos sensores.
  p0 = bmp.readPressure();
  Serial.print("Presión inicial = ");
  Serial.println(p0);
  Serial.println("----------------------------------------");                    //Tomamos la
presión inical, que usaremos para calcular la altura.

  radio.initialize(FREQUENCY, MYNODEID, NETWORKID);
  radio.setHighPower(); // Always use this for RFM69HCW
```

```
  // afinar frecuencia
  radio.setFrequency(FREQUENCY_E);
  // Saber más en: https://www.aprendiendoarduino.com/tag/banda-ism/
  // rango de 863 a 870 MHz

  // Turn on encryption if desired:

  if (ENCRYPT) {
          radio.encrypt(ENCRYPTKEY); }

  Serial.println("Terminado SETUP...");

}

// ======================
// LOOP
// ======================

void loop() {
  leerGY87();
  extraerCadenaGPS();
  delay(800);                                                   // Cada 500 milisegundos
  enviarDatos(cadenaParaEnviar(1));                             // Primero llama a la
funcion cadenaParaEnviar con valor 1,
                                                                // que formatea los datos de
temperatura, presión, altura, aceleración, ángulos.
                                                                // Los concatena en una cadena que
empieza por @ y termina por #. Tamaño máximo 61 caracteres.
                                                                // Al principio incluye un 0, primer
dato, y separado por ? el código del centro IES Seritium,
                                                                // Posteriormente, separado por ?, el
resto de los datos. Acaba con #
  delay(800);                                                   // cada 500 milisegundos
  enviarDatos(cadenaParaEnviar(2));                             // Idem caso anterior
pero con valor 2.
                                                                // envía la latitud, la longitud y si se
ha sacado o no foto.
  t = millis();
  digitalWrite(led, ((t/2500)%2)*((t/200)%2)*(altura<= 100));                   //Hace
parpadear al LED 2 veces cada 10 segundos.
  //if(((int(altura) /*% 10*/) == 0)/* and (altura =! alturaPrev) and (altura >30)*/){
//Envio de datos de altura a la cámara.
  /*if((t % 20000) == 0){
          cam.print(0);
          cam.flush();
          alturaPrev = altura;
  }*/
  digitalWrite(6, LOW);

}

// ======================
// Funciones
// ======================
```

```
// ********************************
// Enviando cadena
// ********************************
void enviarDatos(String datos) {

  // Envío de datos
  static char sendbuffer[62];
  static int sendlength = 0;

  sendlength = datos.length();
  datos.toCharArray(sendbuffer,sendlength);
  Serial.println(datos);


  if (USEACK){
  if (radio.sendWithRetry(TONODEID, sendbuffer, sendlength))
          Serial.println("ACK received!");

  else
          Serial.println("no ACK received");
  }

  // If you don't need acknowledgements, just use send():

  else // don't use ACK
  {
  radio.send(TONODEID, sendbuffer, sendlength);
  Serial.println("Enviado...");
  }

  sendlength=0;
}

void leerGY87(){
  sensor.getAcceleration(&ax, &ay, &az);
  sensor.getRotation(&gx, &gy, &gz);                                    //Obtenemos las
lecturas de aceleración y girsocopio.
  dt = (millis()-tiempo_prev)/1000.0;
  tiempo_prev = millis();                                               //Calculamos el tiempo
pasado entre cada medición.
  float ang_x_accel = atan(ax/sqrt(pow(ay,2) + pow(az,2)))*(180.0/3.14);
  float ang_y_accel = atan(ay/sqrt(pow(az,2) + pow(ax,2)))*(180.0/3.14);
  float ang_z_accel = atan(az/sqrt(pow(ax,2) + pow(ay,2)))*(180.0/3.14);
//Calculamos los angulos de inclinación en los ejes usando el acelerómetro.
  ang_x = 0.98*(ang_x_prev+(gx/131)*dt) + 0.02*ang_x_accel;
  ang_y = 0.98*(ang_y_prev+(gy/131)*dt) + 0.02*ang_y_accel;
  ang_z = 0.98*(ang_z_prev+(gy/131)*dt) + 0.02*ang_z_accel;
//Calculamos la rotación usando tanto el girsocopio como el acelerómetro para eliminar errores.
  ang_x_prev = ang_x;
  ang_y_prev = ang_y;
  ang_z_prev = ang_z;
  ace[2] = az * (9.81/16384.0);
  ace[1] = ay * (9.81/16384.0);
  ace[0] = ax * (9.81/16384.0);                                         //Calculamos la
aceleración en m/s2 en los tres ejes
  ang[0] = ang_x_accel;
```

```
  ang[1] = ang_y_accel;
  ang[2] = ang_z_accel;
  altura = bmp.readAltitude(p0);
  presion = bmp.readPressure();
  //float m_az_ax = sqrt(pow(sqrt((pow(ax_ms2, 2)) + (pow(az_ms2, 2))), 2) + (pow(ay_ms2, 2)));
          //Calculamos el módulo de los 3 vectores, para así obtener la aceleración que
experimenta.--> NO SE USA POR AHORA.
  Serial.print("Rotación en X: ");
  Serial.print(ang[0]);
  Serial.print("º\tRotación en Y: ");
  Serial.print(ang[1]);
  Serial.print("º \tAceleración de caída(m/s2): ");
  Serial.print(ace[2]);
  Serial.print("\tTemperatura = ");
  temperatura = bmp.readTemperature();
  Serial.print(temperatura);
  Serial.print("ºC\tPresión = ");
  Serial.print(presion);
  Serial.print("\tAltitud respecto al suelo = ");
  Serial.print(altura);
  Serial.println("m");                                                    //Mostramos por puerto
serie los datos obtenidos.
}

void extraerCadenaGPS(){
  if(gps.available()){
          String cadenaFinal = gps.readStringUntil('\n');                                    //Leemos lo
que nos ha llegado hasta el salto de línea.
          if (cadenaFinal.startsWith("$GPRMC")) {
          int pos = cadenaFinal.indexOf("$GPRMC");                                           //Si empieza
por el código que queremos, pillamos la posición de inicio.
          if (pos == 0) {
          cadenaGPS = cadenaFinal;
          Serial.println(cadenaFinal);                                                  //Si la posición es 1,
significa que tenemos toda la cadena, así que la recortamos y la imprimimos.
          }
          }
  }
}



// ********************************
// cadena ya formateada para enviar
// ********************************
String cadenaParaEnviar (int cual) {
  char tmp[62]; // variable de 62 bytes, del 0 al 61
  switch (cual) {

          // en este caso formateo los datos de temperatura, presión, altura, aceleración, ángulos.
          case 1:

sprintf(tmp,"@%1d?%8d?%1d%3d?%6d?%5d?%1d%3d?%1d%3d?%1d%3d?%1d%3d?%1d%3d?%
1d%3d?#",cual,codigoSeritium
          ,(temperatura>=0),(int) (abs(temperatura*10))
          ,presion,(int) (altura*10)
```

```
        ,(ace[0]>=0), (int) abs(ace[0]*10),(ace[1]>=0), (int) abs(ace[1]*10),(ace[2]>=0), (int)
abs(ace[2]*10)
        ,(ang[0]>=0), (int) abs(ang[0]*10),(ang[1]>=0), (int) abs(ang[1]*10),(ang[2]>=0), (int)
abs(ang[2]*10) );
        break;

        // en este caso envío los datos de latitud, longitud y si se ha sacado una foto
        case 2:
        sprintf(tmp,"@%1d?%8d?%6d%1s?%7d%1s?%1d?#",cual,codigoSeritium
                ,(int) ( 100.0 * parte(cadenaGPS,',',3).toFloat() ), parte(cadenaGPS,',',4)
                ,(int) ( 100.0 * parte(cadenaGPS,',',5).toFloat() ), parte(cadenaGPS,',',6)
                ,(int) foto);
        // Serial.println(parte(cadenaGPS,',',0)); // importante usar simple quotas ' ' ' '
        break;

        // por defecto
        default:
        break;
 }
 return tmp; // devuelve el conjunto de caracteres
}

// ********************************
// encuentra parte de una cadena
// ********************************
String parte(String data, char separator, int index)
{
 int found = 0;
 int strIndex[] = {0, -1};
 int maxIndex = data.length()-1;

 for(int i=0; i<=maxIndex && found<=index; i++){
        if(data.charAt(i)==separator || i==maxIndex){
        found++;
        strIndex[0] = strIndex[1]+1;
        strIndex[1] = (i == maxIndex) ? i+1 : i;
        }
 }

 return found>index ? data.substring(strIndex[0], strIndex[1]) : "";
}
```

==========

Programa en el receptor (estación TIERRA)

```
/*
 *  Ejemplo de envío de datos por telemetría
 *  Dispositivo: NodeMCU con valores lógicos a 3.3V
 *  Fecha: 8/1/2022
 */

 // Include the RFM69 and SPI libraries:

#include <RFM69.h>
#include <SPI.h>
```

```
// Addresses for this node. CHANGE THESE FOR EACH NODE!

#define NETWORKID    100   // Must be the same for all nodes --> esta es la red.
#define MYNODEID     20   // My node ID --> este es el nodo de mi dispositivo
#define TONODEID     10   // Destination node ID --> este es el nodo del otro dispositivo

// RFM69 frequency, uncomment the frequency of your module:

//#define FREQUENCY   RF69_433MHZ
// #define FREQUENCY  RF69_915MHZ
#define FREQUENCY    RF69_868MHZ
#define FREQUENCY_E   868001000UL // frecuencia exacta

// AES encryption (or not):

#define ENCRYPT      true // Set to "true" to use encryption
#define ENCRYPTKEY  "123456789" // Use the same 16-byte key on all nodes --> clave secreta

// Use ACKnowledge when sending messages (or not):

#define USEACK       false // Request ACKs or not

// Packet sent/received indicator LED (optional):

// #define LED          9 // LED positive pin
// #define GND          8 // LED ground pin

// Según la web https://iot.uy/conectar-la-radio-rfm69-hcw-al-esp8266/
#define SPI_CS       D8 //NSS o Cable Select al GPIO15 o D8
#define IRQ_PIN      D1 // DIO0 conectado a GPIO4
#define IRQ_NUM      D1 //IRQ igual al pin

#define IS_RFM69HCW true // Si tu radio es RFM69HCW entonces va "true"
#define POWER_LEVEL 31 // Valor máximo de potencia

// Create a library object for our RFM69HCW module:

RFM69 radio = RFM69(SPI_CS, IRQ_PIN, IS_RFM69HCW, IRQ_NUM);

// Datos que deben ser registrados
// GPS -->
String latitud ="";
String longitud="";
// Valores
unsigned int codigoSeritium = 0; // Código del centro
float temperatura = 0.0; // Ejemplo de temperatura con signo (2 dígitos + 1 decimal)
unsigned int presion = 0; // Ejemplo de presión atmosférica. Entero positivo sin decimales.
float altura = 0.0; // Ejemplo de altura. Positivo sin signo (4 dígitos + 1 decimal)
float ace[3] = {0.0, 0.0, 0.0}; // valores entre -4g y 4g, en m/s2. Con signo (2 dígitos + 1 decimal)
float ang[3] = {0.0, 0.0, 0.0}; // valores entre -90 y 90, en grados. Con signo (2 dígitos + 1 decimal)
bool foto = false; // Si el programa ha tomado o no fotografías.
// potencia recibida
int potencia = 0;

// ======================
```

```
// SETUP
// ======================

void setup() {

  delay(2000);

  Serial.begin(9600);
  Serial.print("Node ");
  Serial.print(MYNODEID,DEC);
  Serial.println(" ready");

        // Initialize the RFM69HCW:
  // radio.setCS(10);  //uncomment this if using Pro Micro

  radio.initialize(FREQUENCY, MYNODEID, NETWORKID);
  radio.setHighPower(); // Always use this for RFM69HCW

  // afinar frecuencia
  radio.setFrequency(FREQUENCY_E);
  // Saber más en: https://www.aprendiendoarduino.com/tag/banda-ism/
  // rango de 863 a 870 MHz

  // Turn on encryption if desired:

  if (ENCRYPT) {
        radio.encrypt(ENCRYPTKEY); }

  Serial.println("Terminado SETUP...");

}

// ======================
// LOOP
// ======================

void loop() {

  delay(100); // tiene que ser más rápido que el envío de datos... Si se envían cada 500 ms, por
ejemplo,
        // aquí ponemos la mitad o así...
  String cadena = recibirDatos();
  if (cadena.length()>2) {analizaCadena(cadena); } // lama a la función que empieza a leer los datos.

} // Fin del LOOP

// ======================
// Funciones
// ======================

// ********************************
// Recibiendo cadena
// ********************************
String recibirDatos() {

  char temp[63]; // un byte más de lo necesario
```

```
// String tmp;

if (radio.receiveDone()) // Got one!
{
        // Print out the information:

        // Serial.println( (int) radio.DATALEN);
        // Serial.println(radio.DATA);

        // The actual message is contained in the DATA array,
        // and is DATALEN bytes in size:

        for (byte i = 0; i < radio.DATALEN; i++) {
        char n = (char)radio.DATA[i];
        if (n=='#') {
        temp[i]=NULL ; break;
        } else if (n=='@') {
        temp[i]='?';
        } else {
        temp[i]= n;
        }
        // Serial.print((char)radio.DATA[i]);
        // Serial.print(temp[i]);
        // tmp.concat(temp[i]);
        }

        // int bufferLength = sizeof(temp);
        // Serial.println("Tamaño del buffer: " + (String) bufferLength);

        // Serial.print("received from node ");
        // Serial.print(radio.SENDERID, DEC);
        // Serial.print(", message [");
        // for (int j=0; j<bufferLength; j++) {
        // Serial.print(temp[j]);
        // }

        // RSSI is the "Receive Signal Strength Indicator",
        // smaller numbers mean higher power.

        // Serial.print("], RSSI ");
        // Serial.println(radio.RSSI);
        potencia = (int) radio.RSSI;

        // Send an ACK if requested.
        // (You don't need this code if you're not using ACKs.)

        if (radio.ACKRequested())
        {
        radio.sendACK();
        Serial.println("ACK sent");
        }

}

return String(temp);
// return tmp;
```

```
}

// ********************************
// análisis de cadena
// ********************************

void analizaCadena (String trama) {

  String d; // dato que recibe
  String comodin; // cadena comodin
  d = parte(trama,'?',1); // debe recibir o un 1 o un 2
  codigoSeritium = parte(trama,'?',2).toInt();

  switch (d.toInt()) {

          // recibo la primera cadena
          case 1:
          Serial.println("Potencia: " + (String) potencia + " // Cadena 1 --> " + trama);
          Serial.println("Recibido para el centro: "+ (String) codigoSeritium);
          // Temperatura
          temperatura = recValorFloat (parte(trama,'?',3), 10, true); // cadena a recuperar, divisor, si
tiene signo
          // Presión
          comodin = parte(trama,'?',4);
          presion = comodin.toInt();
          // Altura
          altura = recValorFloat (parte(trama,'?',5), 10, false);
          // Aceleracion
          comodin ="Aceleraciones: ";
          for (int i=0;i<3;i++) {
          ace[i]=recValorFloat (parte(trama,'?',i+6), 10, true); // valores 6, 7 y 8
          comodin = comodin + "A"+char(120+i)+" = "+ace[i]+" m/s2 ~ ";
          }
          comodin = comodin.substring(0,comodin.length()-2);
          // Ángulos
          comodin = comodin + "\nÁngulos: ";
          for (int i=0;i<3;i++) {
          ang[i]=recValorFloat (parte(trama,'?',i+9), 10, true); // valores 9, 10 y 11
          comodin = comodin + "ANG"+char(120+i)+" = "+ang[i]+" º ~ ";
          }
          comodin = comodin.substring(0,comodin.length()-2);
          // Muestra los datos en el monitor serie
          Serial.println("T = "+(String) temperatura +" º C // "+
                    "P = "+(String) presion +" Pa // "+
                    "h = "+(String) altura +" m // ");
          Serial.println(comodin);
          break;
          // ************************************************

          // recibo la segunda cadena
          case 2:
          Serial.println("Potencia: " + (String) potencia + " // Cadena 2 --> " + trama);
          Serial.println("Recibido para el centro: "+ (String) codigoSeritium);
          // latitud
          comodin = parte(trama,'?',3);
```

```
        latitud = comodin.substring(0,2)+"º "+(String) recValorFloat(comodin.substring(2,6), 100,
false)
                +"' "+ cambioLetra(comodin.substring(6,7));
        // longitud
        comodin = parte(trama,'?',4);
        longitud = comodin.substring(0,3)+"º "+(String) recValorFloat(comodin.substring(3,7), 100,
false)
                +"' "+ cambioLetra(comodin.substring(7,8));
        // Fotografía
        comodin = parte(trama,'?',5);
        foto = (comodin=="1");
        comodin = (foto) ? "Sí" : "No";
        Serial.println("LAT: "+latitud+ " // LON: "+longitud);
        Serial.println("¿Se ha tomado una foto?: "+ comodin);

        break;
        // ******************************************

        default:
        // Serial.println("No he encontrado una cadena: " + trama);
        return; // sale de la función
        break;

  }

  // imprime línea de caracteres
  int iguales = 91;
  while (--iguales) { Serial.print("="); }
  Serial.print("\n");

}

// ********************************
// Recupera valores float
// ********************************
float recValorFloat (String num, int divisor, bool signo) {
  float valor = 0.0;
  int longitud = num.length();
  if (signo) {
        valor = num.substring(1,longitud).toFloat()/divisor;
        valor = (num.substring(0,1)=="0") ? valor = -1*valor : valor;
  } else {
        valor = num.toFloat()/divisor;
  }
  return valor;
}

// ********************************
// cambio letra en longitud
// ********************************
String cambioLetra (String letra) {
  return (letra=="W") ? "Oeste" : (letra=="E") ? "Este" : (letra=="N") ? "Norte" : (letra=="S") ? "Sur" : "" ;
}

// ********************************
// encuentra parte de una cadena
```

```
// ********************************
String parte(String data, char separator, int index)
{
  int found = 0;
  int strIndex[] = {0, -1};
  int maxIndex = data.length()-1;

  for(int i=0; i<=maxIndex && found<=index; i++){
            if(data.charAt(i)==separator || i==maxIndex){
            found++;
            strIndex[0] = strIndex[1]+1;
            strIndex[1] = (i == maxIndex) ? i+1 : i;
            }
  }

  return found>index ? data.substring(strIndex[0], strIndex[1]) : "";
}
```

==========

Programa en el ESP32-CAM

```
#include "esp_camera.h"
#include "Arduino.h"
#include "FS.h"              // SD Card ESP32
#include "SD_MMC.h"                // SD Card ESP32
#include "soc/soc.h"               // Disable brownour problems
#include "soc/rtc_cntl_reg.h"  // Disable brownour problems
#include "driver/rtc_io.h"
#include <EEPROM.h>                // read and write from flash memory

// define the number of bytes you want to access
#define EEPROM_SIZE 1

// Pin definition for CAMERA_MODEL_AI_THINKER
#define PWDN_GPIO_NUM     32
#define RESET_GPIO_NUM    -1
#define XCLK_GPIO_NUM     0
#define SIOD_GPIO_NUM     26
#define SIOC_GPIO_NUM     27

#define Y9_GPIO_NUM       35
#define Y8_GPIO_NUM       34
#define Y7_GPIO_NUM       39
#define Y6_GPIO_NUM       36
#define Y5_GPIO_NUM       21
#define Y4_GPIO_NUM       19
#define Y3_GPIO_NUM       18
#define Y2_GPIO_NUM       5
#define VSYNC_GPIO_NUM    25
#define HREF_GPIO_NUM     23
#define PCLK_GPIO_NUM     22

int pictureNumber = 0;

void setup() {
```

```
  WRITE_PERI_REG(RTC_CNTL_BROWN_OUT_REG, 0); //disable brownout detector

  Serial.begin(115200);
  pinMode(4, OUTPUT);
  //Serial.setDebugOutput(true);
  //Serial.println();

  camera_config_t config;
  config.ledc_channel = LEDC_CHANNEL_0;
  config.ledc_timer = LEDC_TIMER_0;
  config.pin_d0 = Y2_GPIO_NUM;
  config.pin_d1 = Y3_GPIO_NUM;
  config.pin_d2 = Y4_GPIO_NUM;
  config.pin_d3 = Y5_GPIO_NUM;
  config.pin_d4 = Y6_GPIO_NUM;
  config.pin_d5 = Y7_GPIO_NUM;
  config.pin_d6 = Y8_GPIO_NUM;
  config.pin_d7 = Y9_GPIO_NUM;
  config.pin_xclk = XCLK_GPIO_NUM;
  config.pin_pclk = PCLK_GPIO_NUM;
  config.pin_vsync = VSYNC_GPIO_NUM;
  config.pin_href = HREF_GPIO_NUM;
  config.pin_sscb_sda = SIOD_GPIO_NUM;
  config.pin_sscb_scl = SIOC_GPIO_NUM;
  config.pin_pwdn = PWDN_GPIO_NUM;
  config.pin_reset = RESET_GPIO_NUM;
  config.xclk_freq_hz = 20000000;
  config.pixel_format = PIXFORMAT_JPEG;

  if(psramFound()){
          config.frame_size = FRAMESIZE_UXGA; // FRAMESIZE_ +
QVGA|CIF|VGA|SVGA|XGA|SXGA|UXGA
          config.jpeg_quality = 10;
          config.fb_count = 2;
  } else {
          config.frame_size = FRAMESIZE_SVGA;
          config.jpeg_quality = 12;
          config.fb_count = 1;
  }

  // Init Camera
  esp_err_t err = esp_camera_init(&config);
  if (err != ESP_OK) {
          Serial.printf("Camera init failed with error 0x%x", err);
          return;
  }

  //Serial.println("Starting SD Card");
  if(!SD_MMC.begin()){
          Serial.println("SD Card Mount Failed");
          return;
  }

  uint8_t cardType = SD_MMC.cardType();
  if(cardType == CARD_NONE){
          Serial.println("No SD Card attached");
```

```
        return;
  }
}


void loop() {
  int t = millis();
  if((t%10000) == 0){
        camera_fb_t * fb = NULL;          // Take Picture with Camera
        fb = esp_camera_fb_get();
        if(!fb) {
        Serial.println("Camera capture failed");
        return;
        }
        // initialize EEPROM with predefined size
        //EEPROM.begin(EEPROM_SIZE);
        //pictureNumber = EEPROM.read(0) + 1;
        pictureNumber = t/10000;
        // Path where new picture will be saved in SD Card
        String path = "/picture" + String(pictureNumber) +".jpg";
        fs::FS &fs = SD_MMC;
        Serial.printf("Picture file name: %s\n", path.c_str());
        File file = fs.open(path.c_str(), FILE_WRITE);
        if(!file){
        Serial.println("Failed to open file in writing mode");
        }
        else {
        file.write(fb->buf, fb->len); // payload (image), payload length
        Serial.printf("Saved file to path: %s\n", path.c_str());
        //EEPROM.write(0, pictureNumber);
        //EEPROM.commit();
        }
        file.close();
        esp_camera_fb_return(fb);

        // Turns off the ESP32-CAM white on-board LED (flash) connected to GPIO 4
        digitalWrite(4, LOW);
  }
}
```