



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**  
**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL**  
**TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

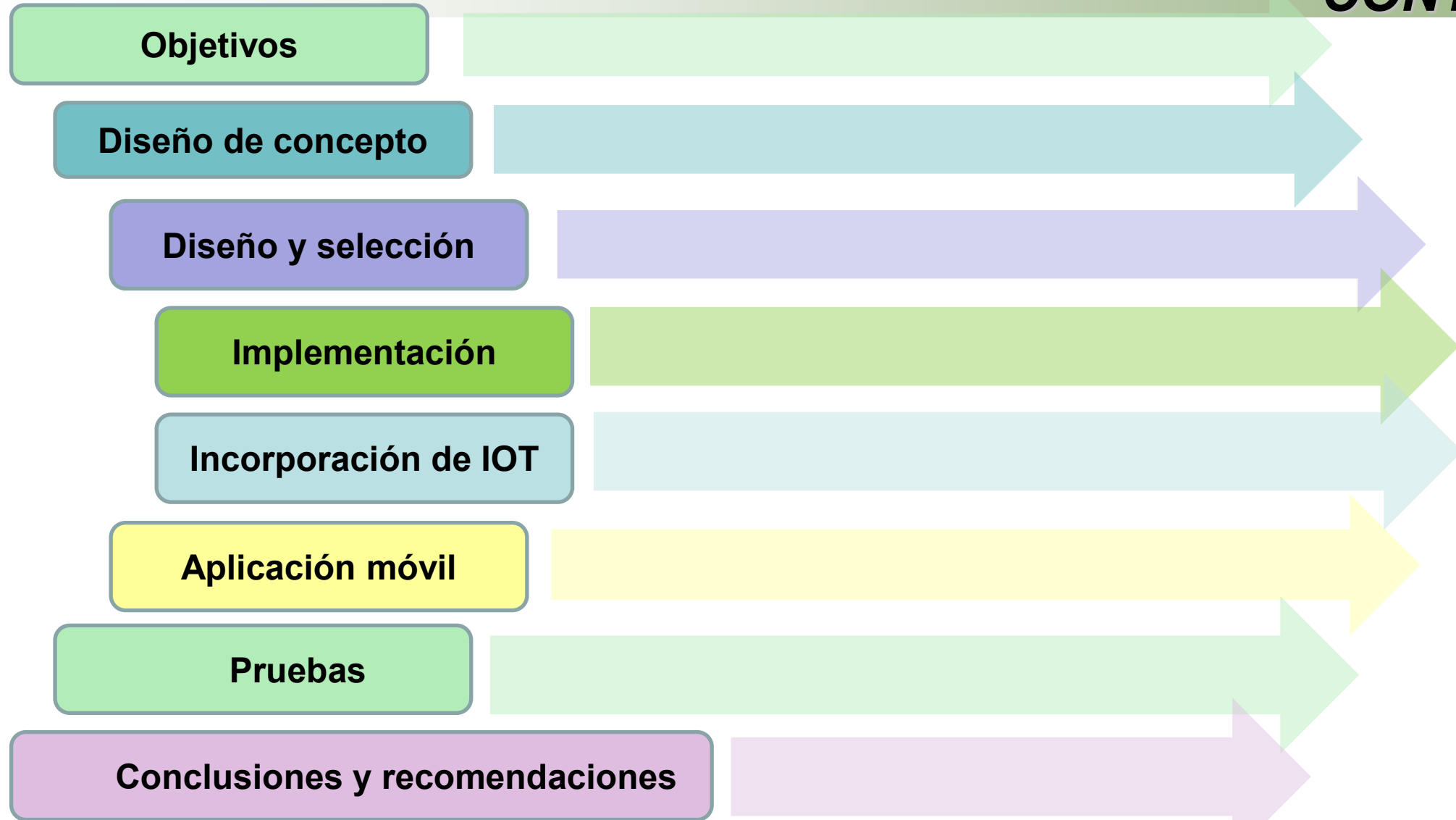
**TEMA:** CONSTRUCCIÓN DE MÓDULOS DIDÁCTICOS CON REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS UTILIZANDO SISTEMAS CIBERFÍSICOS DENTRO DE UN PROCESO SECUENCIAL, PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS EN EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE.

**AUTORES:** CARRILLO ALQUINGA DARWIN MAURICIO,  
RUIZ ENRÍQUEZ BRYAN STEVEN  
**DIRECTOR:** ING. GORDÓN GARCÉS ANDRÉS MARCELO

**LATACUNGA, 2023**



# CONTENIDO



Construir módulos didácticos con redes de sensores inalámbricos utilizando sistemas ciberfísicos dentro de un proceso secuencial, para el desarrollo de prácticas en el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.



# OBJETIVOS ESPECÍFICOS



Investigar y recopilar información acerca de la mejor tecnología disponible para la comunicación y sobre los diferentes sensores adecuados para el sistema.



Diseñar, seleccionar y adquirir los componentes de cada uno de los sistemas mecánico, electrónico, software y protocolos de comunicación.



Construir los prototipos de módulos de sensores inalámbricos y la estructura mecánica de la estación de clasificación.



Diseñar la red de sensores mediante un protocolo específico.



Crear la aplicación con tecnología IoT para poder monitorear las variables del proceso en otros dispositivos



Realizar las pruebas respectivas de todos los módulos y las diferentes combinaciones de clasificación



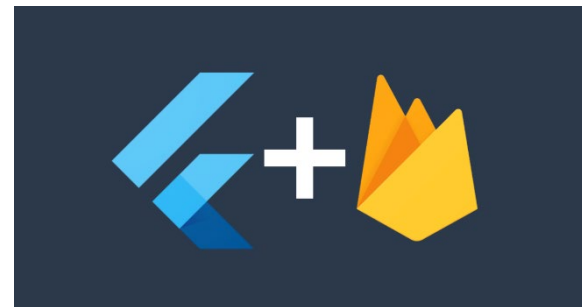
# FUNDAMENTOS TEÓRICOS



**Sistemas ciberfísicos**



**Red de sensores inalámbricos**



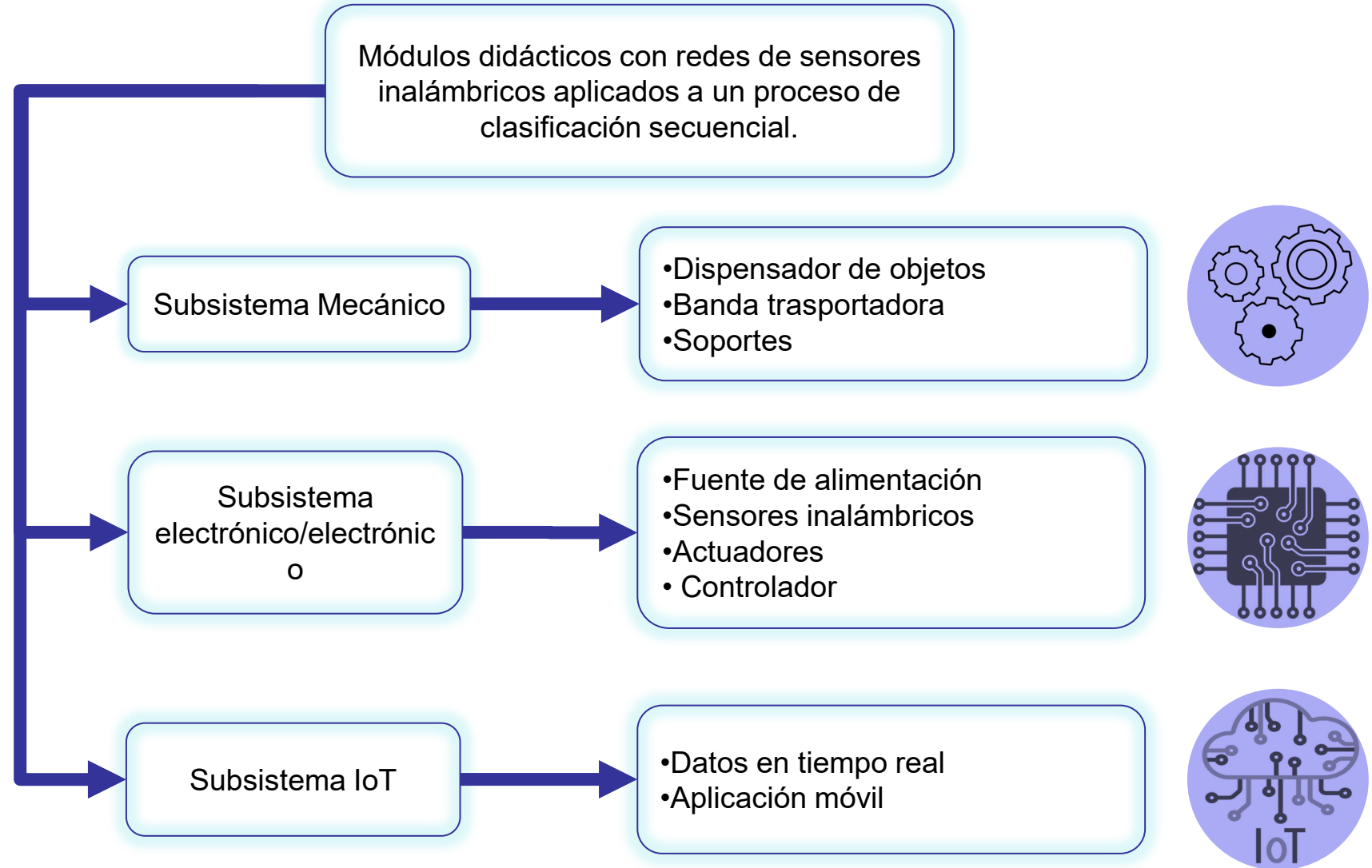
**Plataforma IOT**



**Protocolos de comunicación inalámbricos**



## Subsistemas



# SELECCIÓN DE COMPONENTES

## Especificaciones del producto

Orden	Necesidades
1	Conexión rápida
2	Fácil de usar
3	Uso de larga duración
4	Tamaño
5	Alta durabilidad
6	Costo
7	Distancia de transmisión de datos
8	Peso de datos
9	Cantidad de nodos
10	Precisión

N.º de métrica	N.º de necesidad	Métrica	calif.	Unidades
1	3,4,6	Capacidad de la batería	5	mAh
2	1	Velocidad de comunicación	4	Kbps
3	4	Dimensiones de los módulos	3	m
4	7,8,10	Protocolo de comunicación	5	subj
5	2,6,9	Controlador	5	subj
6	6,10	Tipo de sensor	4	subj
7	5	Resistencia del material	3	kN



# SELECCIÓN DE COMPONENTES

## Comparación de características

Criterios	Wi-Fi	Bluetooth	ZigBee	LoraWan	SigFox
Velocidad máxima de datos	5Mbps	2Mbps	250Kps	50Kbps	100bps
Distancia máxima	hasta 100 metros	hasta 100 metros	hasta 70 metros	varios kilómetros	varios kilómetros
Consumo de energía	Moderado a alto	Bajo a moderado	Bajo	Muy bajo	Muy bajo
Frecuencia	2.4 GHz o 5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz o 915 MHz	868 MHz o 915 MHz	868 MHz o 915 MHz
Inmunidad a interferencias	Muy susceptible	Muy susceptible	Buena inmunidad	Buena inmunidad	Buena inmunidad





# SELECCIÓN DE COMPONENTES

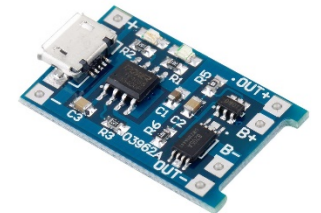
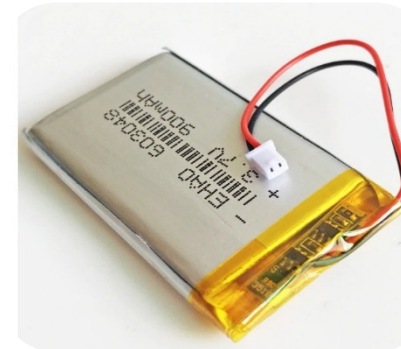
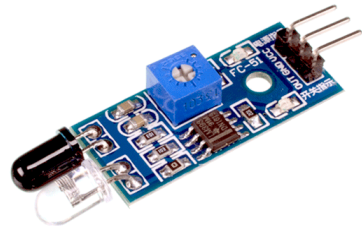
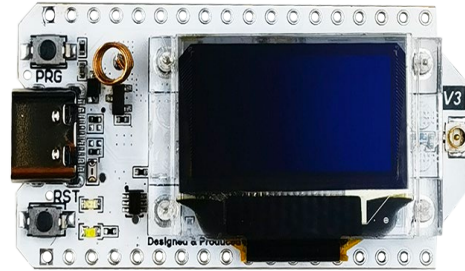
## Evaluación de criterios de selección

Criterios de selección	Peso	Wi-Fi		Bluetooth		ZigBee		LoraWan		SigFox	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Velocidad máxima de datos	0,2	10	2	8	1,6	7	1,4	6	1,2	4	0,8
Distancia máxima	0,05	7	0,35	5	0,25	4	0,2	10	0,5	10	0,5
Consumo de energía	0,4	3	1,2	6	2,4	7	2,8	10	4	10	4
Frecuencia	0,05	7	0,35	7	0,35	8	0,4	8	0,4	8	0,4
Inmunidad a interferencias	0,3	5	1,5	5	1,5	9	2,7	9	2,7	9	2,7
Suma	1		5,4		6,1		7,5		8,8		8,4
¿Selección?			NO		NO		NO		SI		NO



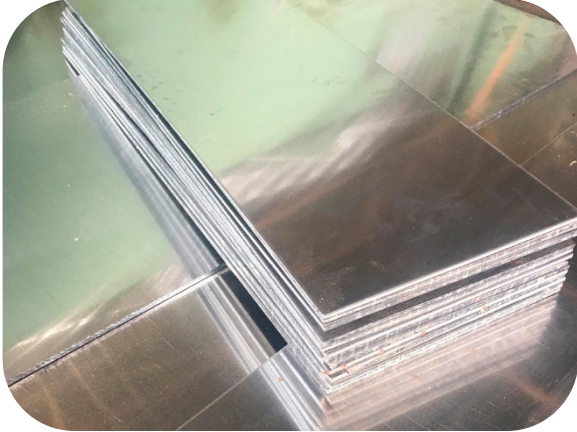
# SELECCIÓN DE COMPONENTES

Selección de componentes para los módulos de sensores



# SELECCIÓN DE COMPONENTES

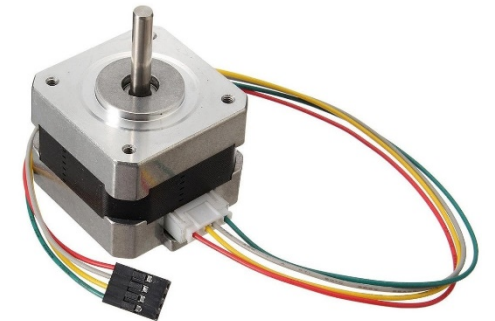
## Selección de componentes para la estación de clasificación



*Piezas clasificadas = 3/m in = 240/h ora*

Potencia= 50w

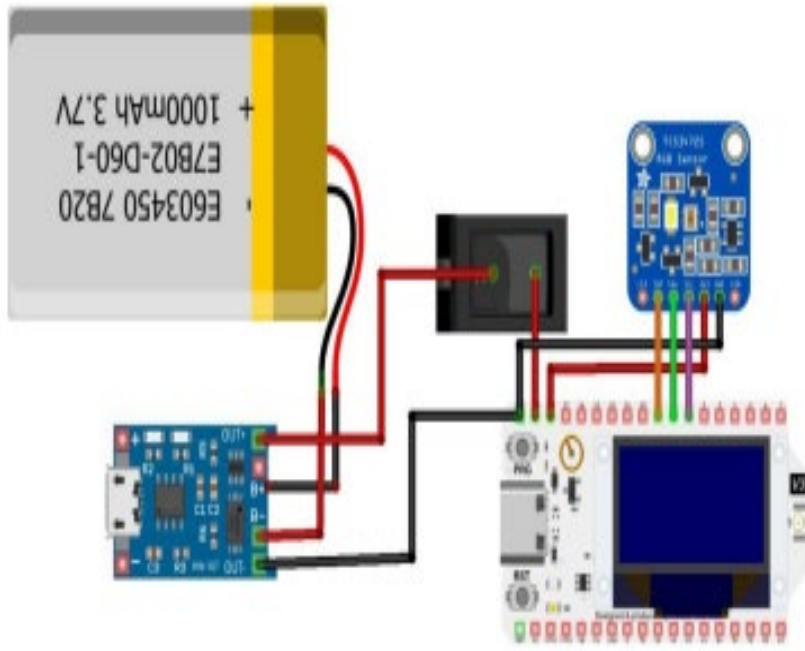
$$\omega = 156,13 \frac{rev}{min}$$



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DISEÑO DE MÓDULOS DE SENSORES

## Diseño del módulo sensor de colores



Circuito electrónico

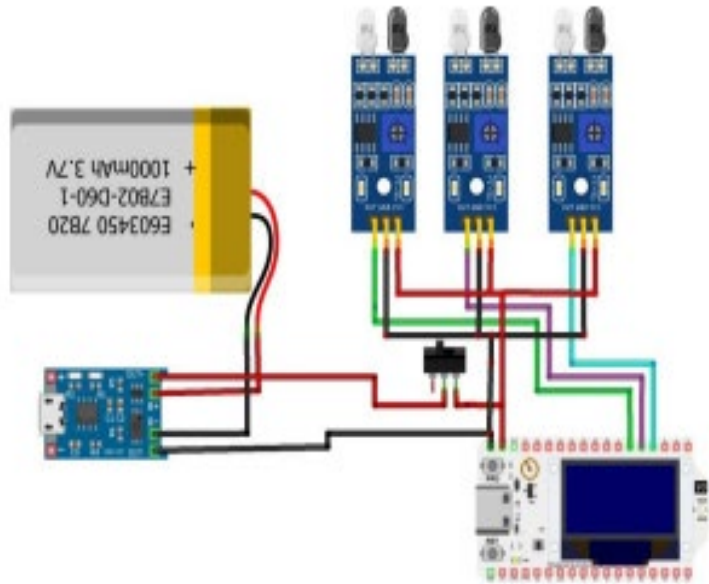


Diseño CAD



# DISEÑO DE MÓDULOS DE SENSORES

Diseño del módulo del sensor de tamaño



Circuito electrónico

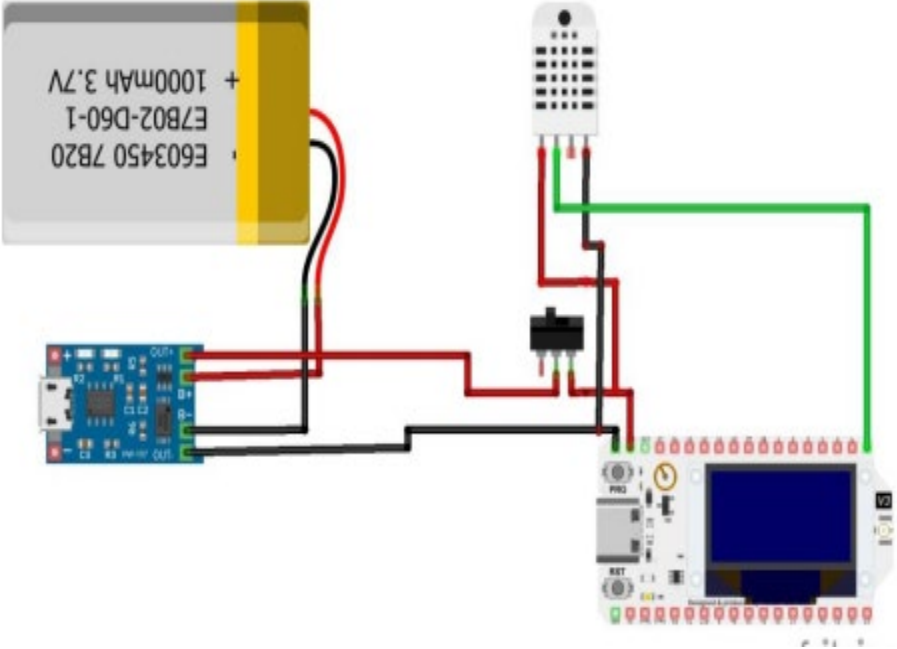


Diseño CAD



# DISEÑO DE MÓDULOS DE SENSORES

Diseño del módulo del sensor de tamaño



Circuito electrónico

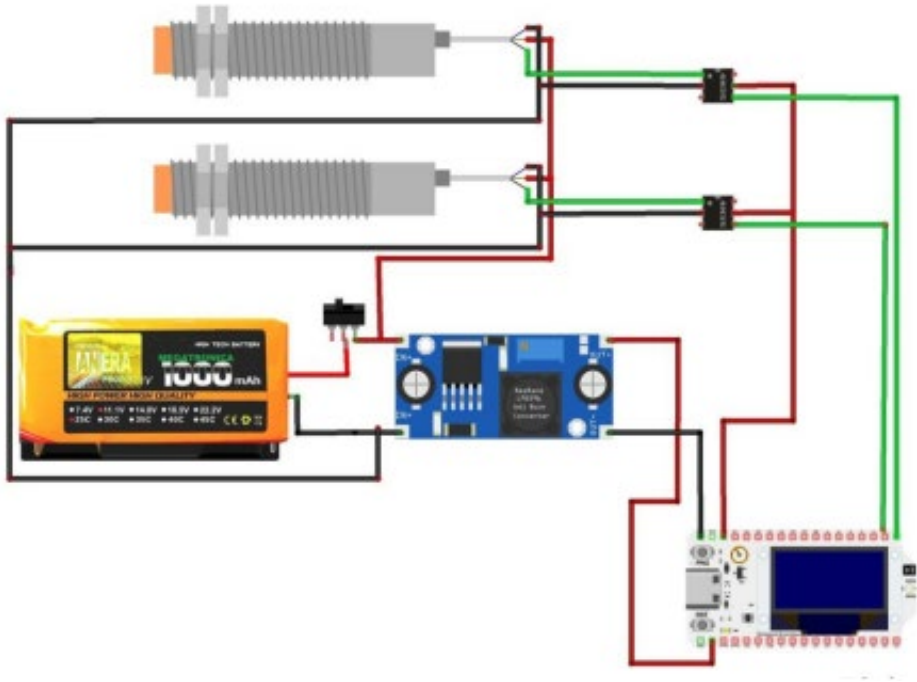


Diseño CAD



# DISEÑO DE MÓDULOS DE SENSORES

Diseño del módulo del sensor de tamaño



Circuito electrónico



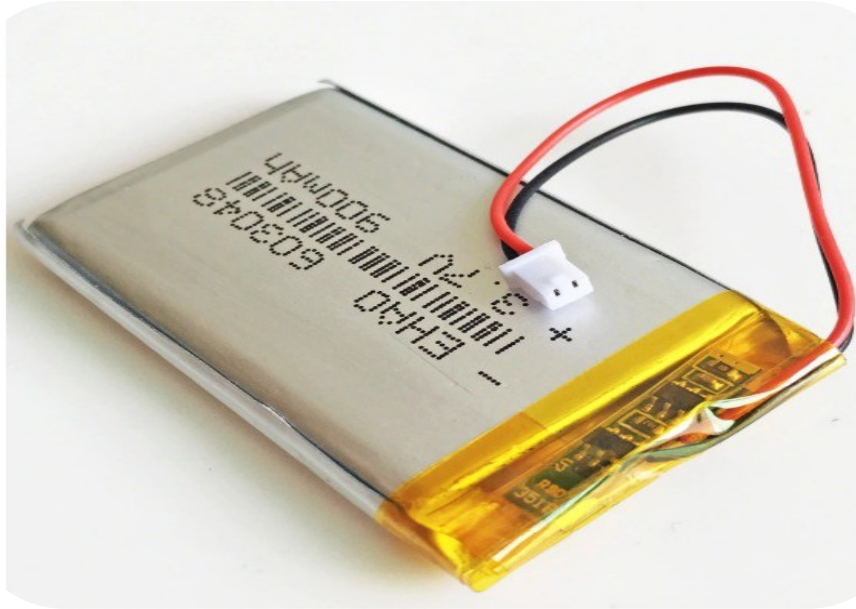
Diseño CAD



# DISEÑO DE MÓDULOS DE SENSORES

## Circuito electrónico

*Consumo de batería = 880 mAh*



*Vida estimada de la batería en 1 ciclo de carga = 4 hrs 32min*

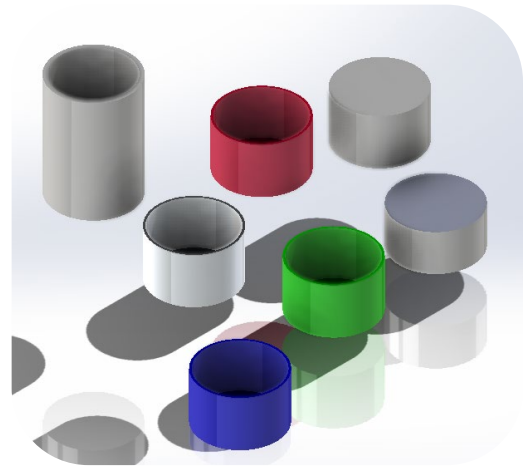
Capacidades de batería
200 mAh
350 MAh
500 mAh
850 mAh
1000 mAh
1200 mAh
1320 mAh
1750 mAh
2000 mAh



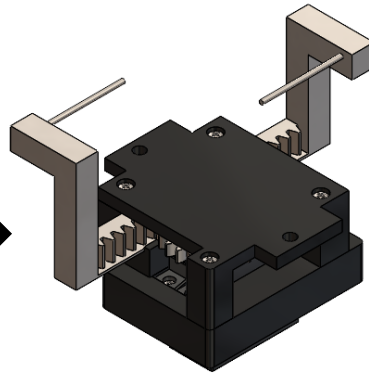


# DISEÑO DE ESTACIÓN DE CLASIFICACIÓN

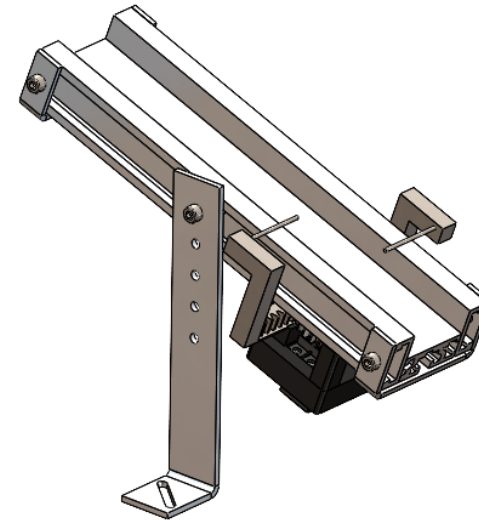
## Diseño del sistema de dispensador de objetos



Piezas



Dispensador



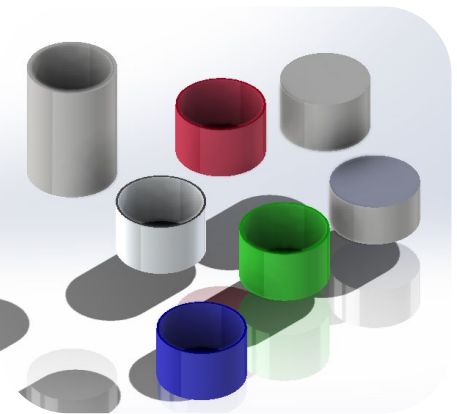
Rampa dispensadora

*Ancho de banda = 50mm*

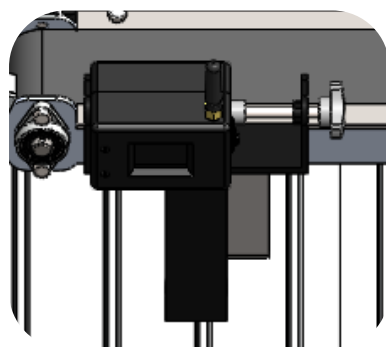


# DISEÑO DE ESTACIÓN DE CLASIFICACIÓN

## Diseño de la banda transportadora



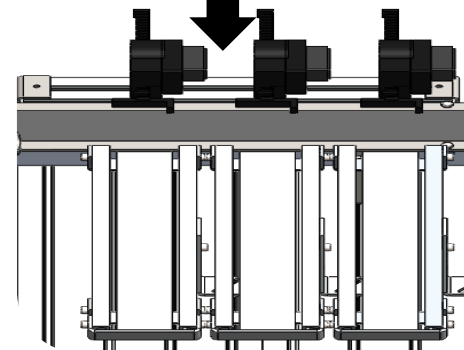
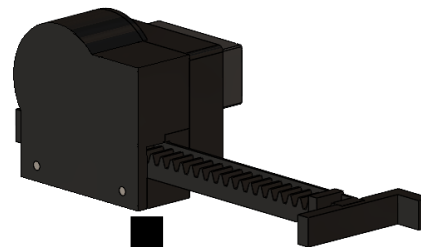
Piezas



Módulo de sensor inalámbrico



Actuador lineal

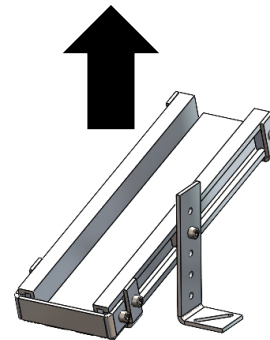


Etapas de clasificación



Banda transportadora

Rampa de salida

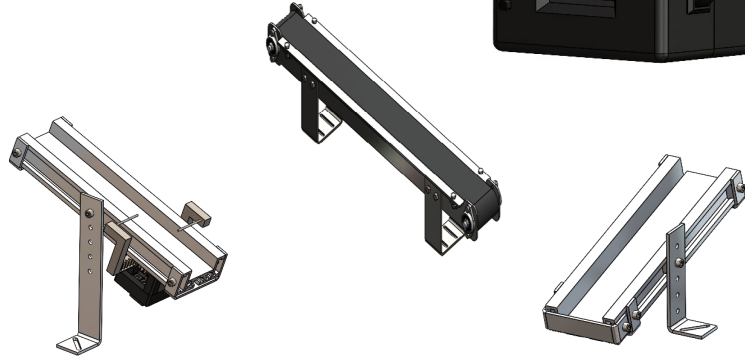
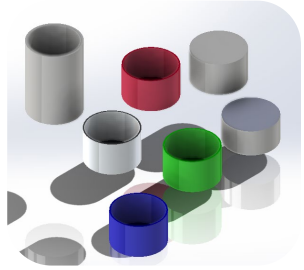


*Largo de la banda = 530mm*



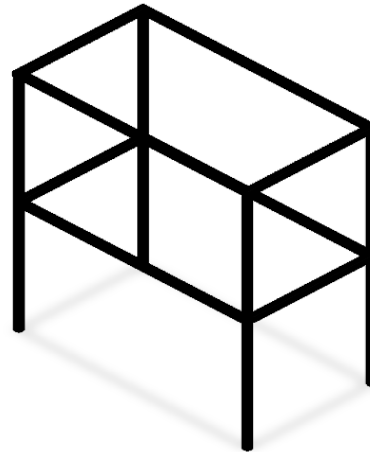
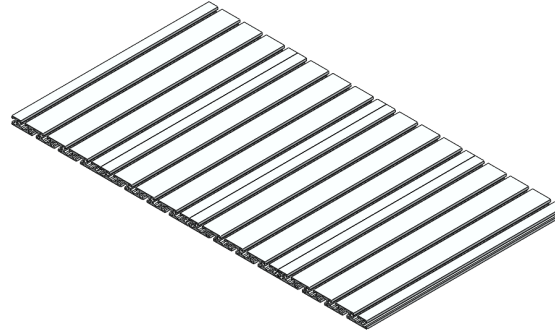
# DISEÑO DE ESTACIÓN DE CLASIFICACIÓN

## Diseño de la mesa modular



Elementos del sistema

Perfil de aluminio  
ranurado



Estructura de la mesa



Mesa modular



# DISEÑO DE ESTACIÓN DE CLASIFICACIÓN

## Diseño se soporte de la banda transportadora

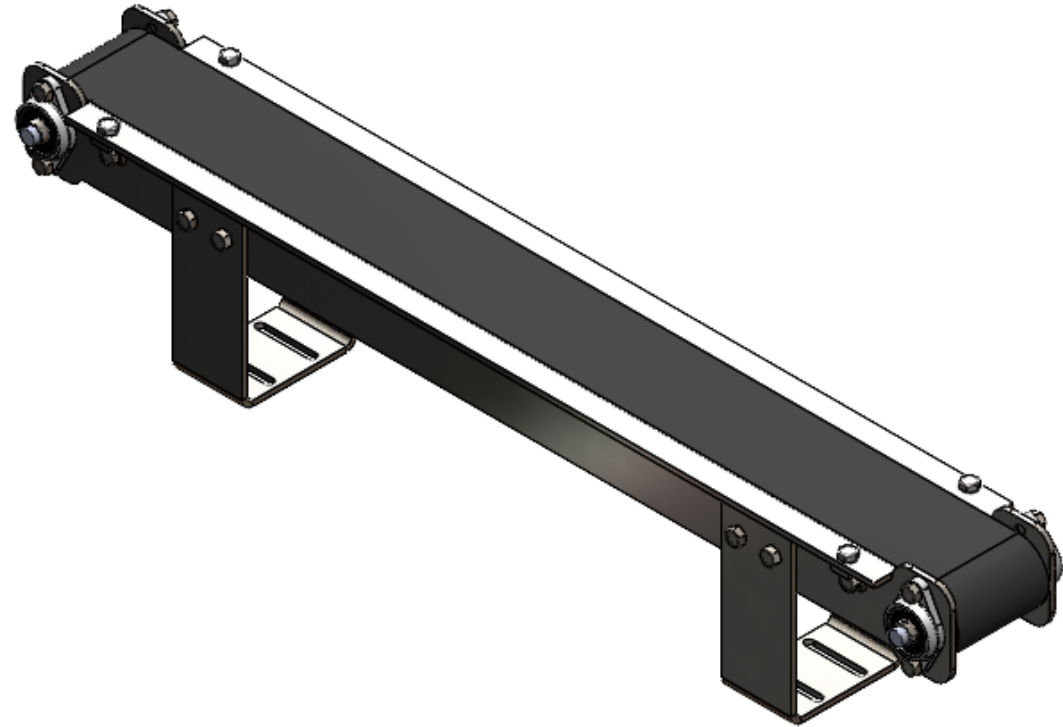
*Aluminio 6061 – T4  $S_y = 241 MPa$*

$$F = 269.5 N$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 5.85 MPa$$

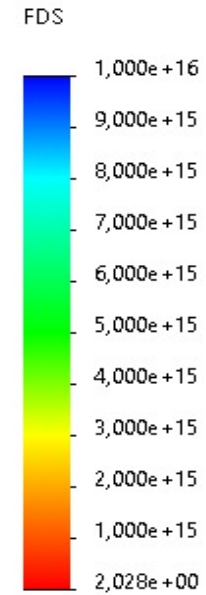
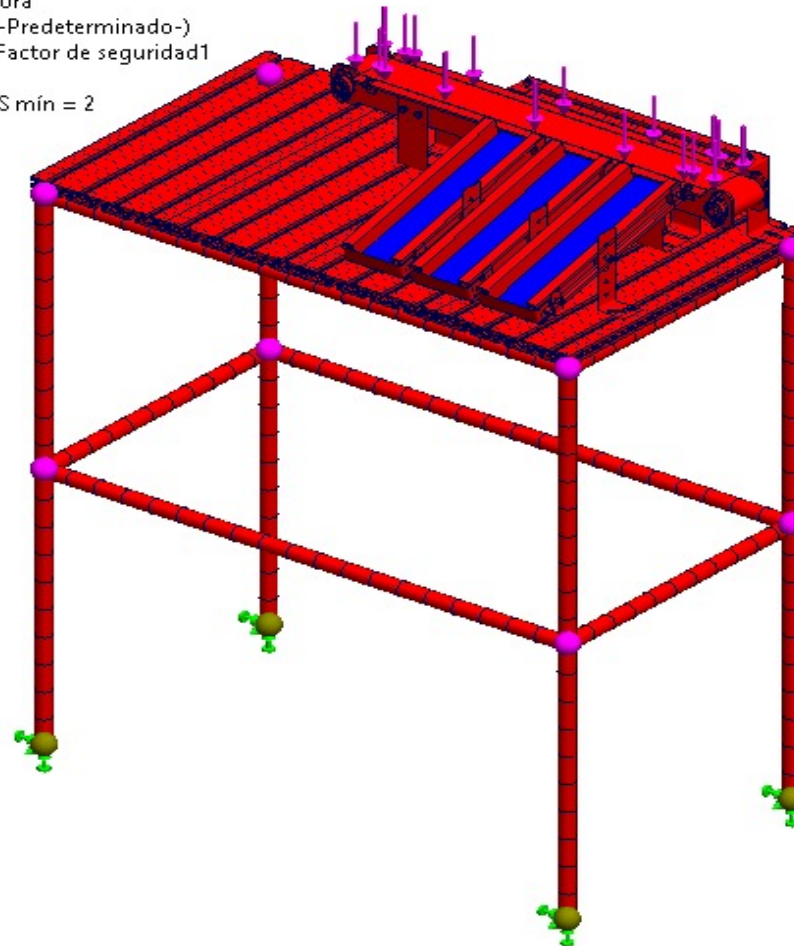
Factor de seguridad de 2

$$120.5 MPa \geq 5.85 MPa$$



# DISEÑO DE ESTACIÓN DE CLASIFICACIÓN

Nombre del modelo: PruebasClasificadora  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Automático  
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2



# DISEÑO DE ESTACIÓN DE CLASIFICACIÓN

## Diseño de dispensador de piezas

*diámetro primitivo = 33mm*

*diámetro exterior = 36mm*

*altura del diente = 3.2505mm*

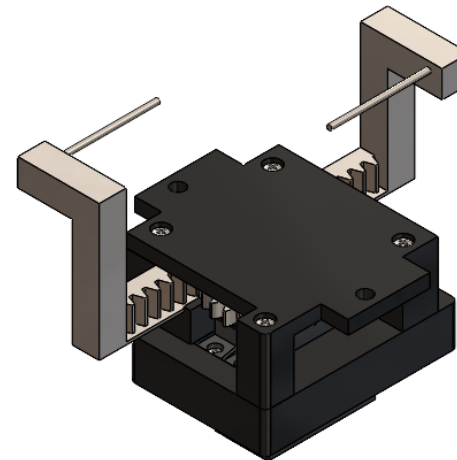
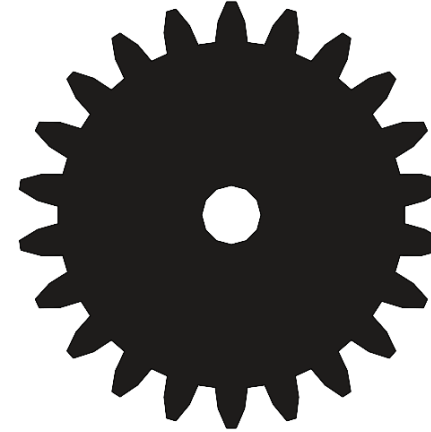
*paso = 4.71mm*

*altura del diente total = 3.25mm*

*espesor del diente = 2.35mm*

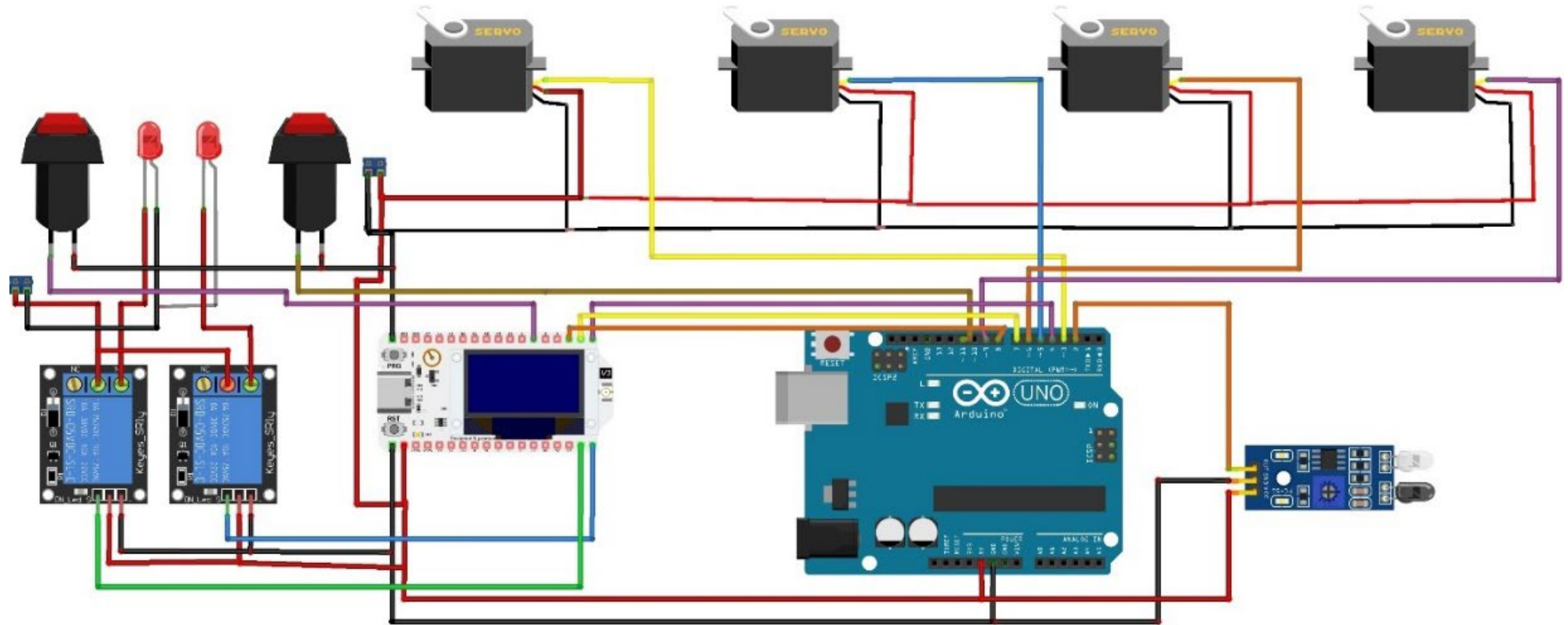
*número de dientes = 20.38  $\approx$  20*

*desplazamiento angular = 90.29°  $\approx$  90°*



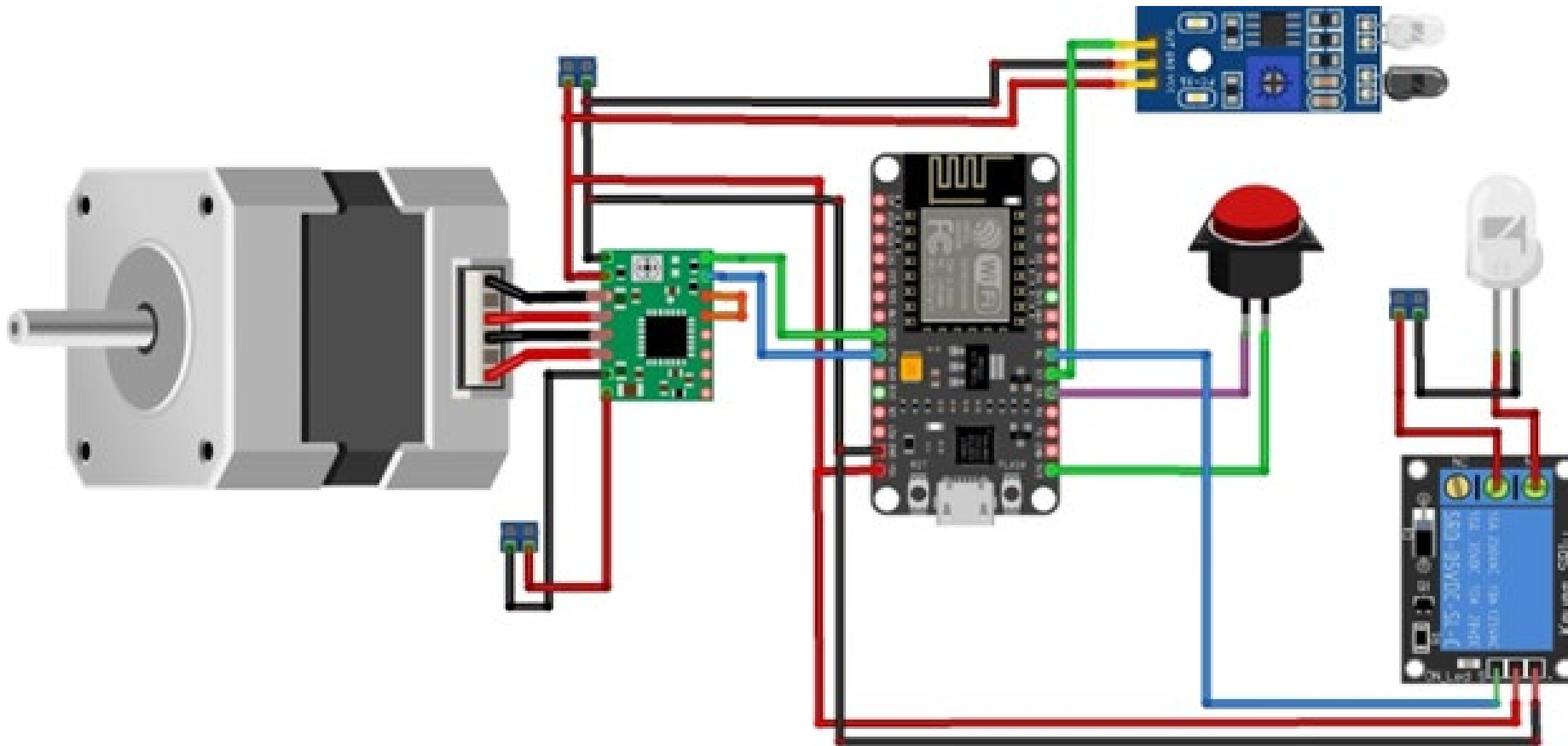
# DISEÑO DE ESTACIÓN DE CLASIFICACIÓN

Diagrama de conexión Heltec LoRa V3 + Arduino



# DISEÑO DE ESTACIÓN DE CLASIFICACIÓN

Diagrama de conexión ESP32 a motor NEMA





## Módulos de sensores inalámbricos



Diseño construido

## Estación de clasificación



Diseño CAD



Diseño construido

## Programación IDE Arduino

```
#include "LoRaWan_APP.h"  
#include "Arduino.h"  
#include "Adafruit_TCS34725.h"  
Adafruit_TCS34725 tcs = Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_50MS, TCS34725_GAIN_4X);  
const char TX_Value[] = {};
```

```
#define RF_FREQUENCY 92000000  
#define TX_OUTPUT_POWER 14  
#define LORA_BANDWIDTH 0  
#define LORA_SPREADING_FACTOR 7  
#define LORA_CODINGRATE 1  
#define LORA_PREAMBLE_LENGTH 8  
#define LORA_SYMBOL_TIMEOUT 0  
#define LORA_FIX_LENGTH_PAYLOAD_ON false  
#define LORA_IO_INVERSION_ON false  
#define RX_TIMEOUT_VALUE 500  
#define BUFFER_SIZE 30  
char txpacket[BUFFER_SIZE];  
char rxpacket[BUFFER_SIZE];
```



```
void loop() {  
float red,green,blue;  
tcs.getRGB(&red,&green,&blue);  
int R= int(red);  
int G=int(green);  
int B=int(blue);  
String color ="";  
if((R-G>40)&(R-B>40)){  
color= "Rojo";  
Serial.print("Sent ");  
const char *TX_Value="Rojo";  
Serial.println(TX_Value);  
Radio.Send((uint8_t *)TX_Value, strlen(TX_Value));  
delay(1000);  
}  
if((G-B>20)&(G-R>30)){  
color= "Verde";  
Serial.print("Sent ");  
const char *TX_Value="Verde";  
Serial.println(TX_Value);  
Radio.Send((uint8_t *)TX_Value, strlen(TX_Value));  
delay(1200);  
}  
if((B-G>10)&(B-R>30)){  
color= "Azul";  
Serial.print("Sent ");  
const char *TX_Value="Azul";  
Serial.println(TX_Value);  
Radio.Send((uint8_t *)TX_Value, strlen(TX_Value));  
delay(1000);  
}
```



## Conexión Firebase

```
#include "LoRaWan_APP.h"
#include <WiFi.h>
#include <FirebaseESP32.h>

#define WIFI_SSID "-----"
#define WIFI_PASSWORD "-----"
#define DATABASE_URL "-----"
```

```
void Task0code( void * pvParameters ){

for(;;){

for (int i = 0; i <1; i++) {
if(status_wifi){
delay(10);
Firebase.RTDB.setInt(&fbdo, "/user1/contadorR",contadorR);
Firebase.RTDB.setInt(&fbdo, "/user1/contadorG",contadorG);
Firebase.RTDB.setInt(&fbdo, "/user1/contadorB",contadorB);
Firebase.RTDB.setInt(&fbdo, "/user1/piezas_p",contadorp);
Firebase.RTDB.setInt(&fbdo, "/user1/piezas_m",contadorm);
Firebase.RTDB.setInt(&fbdo, "/user1/piezas_g",contadorg);
Firebase.RTDB.setInt(&fbdo, "/user1/alerta",alerta);
Firebase.RTDB.set(&fbdo, "/user1/temperatura",temperatura);
Firebase.RTDB.set(&fbdo, "/user1/humedad",humedad);
if(Firebase.RTDB.getBool(&fbdo,"/user1/statusReset")){
bool statusReset = fbdo.boolData();
if(statusReset){
countR = 0;
countG = 0;
countB = 0;
contadorR = 0;
contadorG = 0;
contadorB = 0;
countp = 0;
countg = 0;
countm = 0;
contadorp = 0;
contadorg = 0;
contadorm = 0;
alerta=0;
Firebase.RTDB.setBool(&fbdo, "/user1/statusReset",false);
```



# INCORPORACIÓN DE IOT

## Funcionamiento



Estación de clasificación

Maestro

Firebase

Visualización en tiempo real

Sistema ciberfísico

IoT

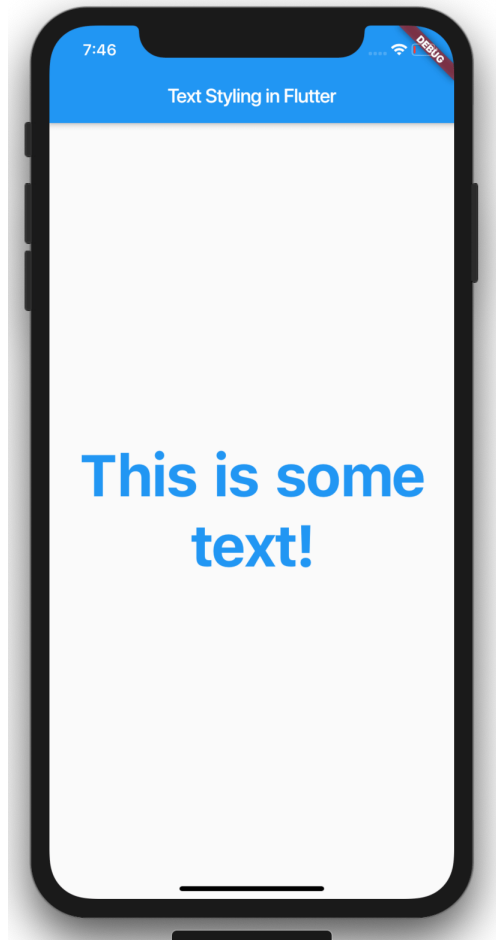
Industria 4,0



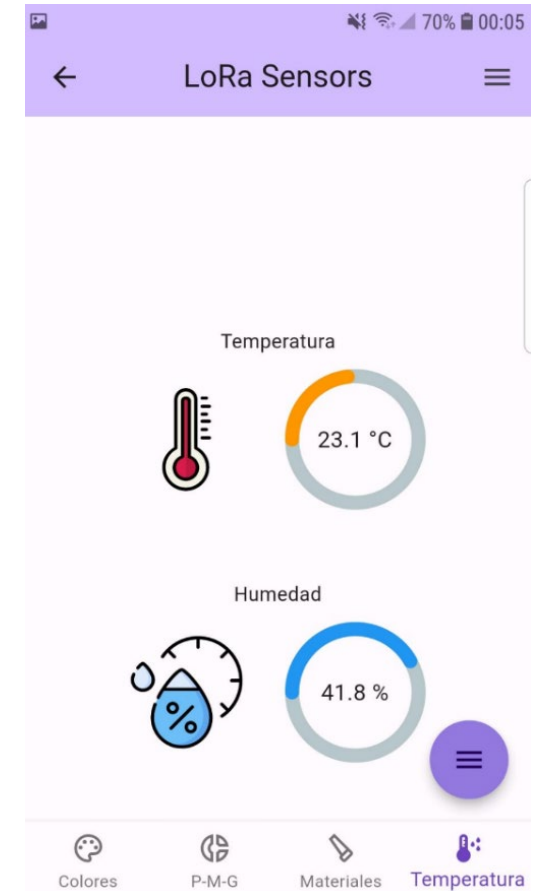
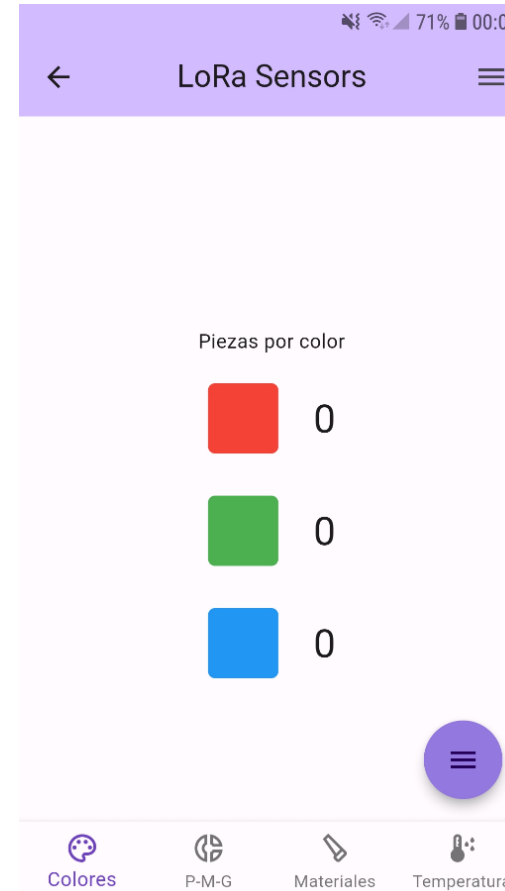
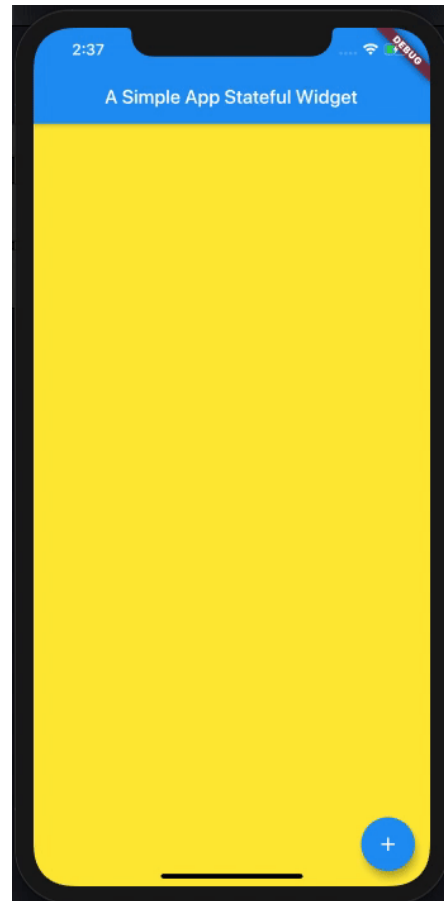
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Widget

### StatelessWidget



### StatefulWidget



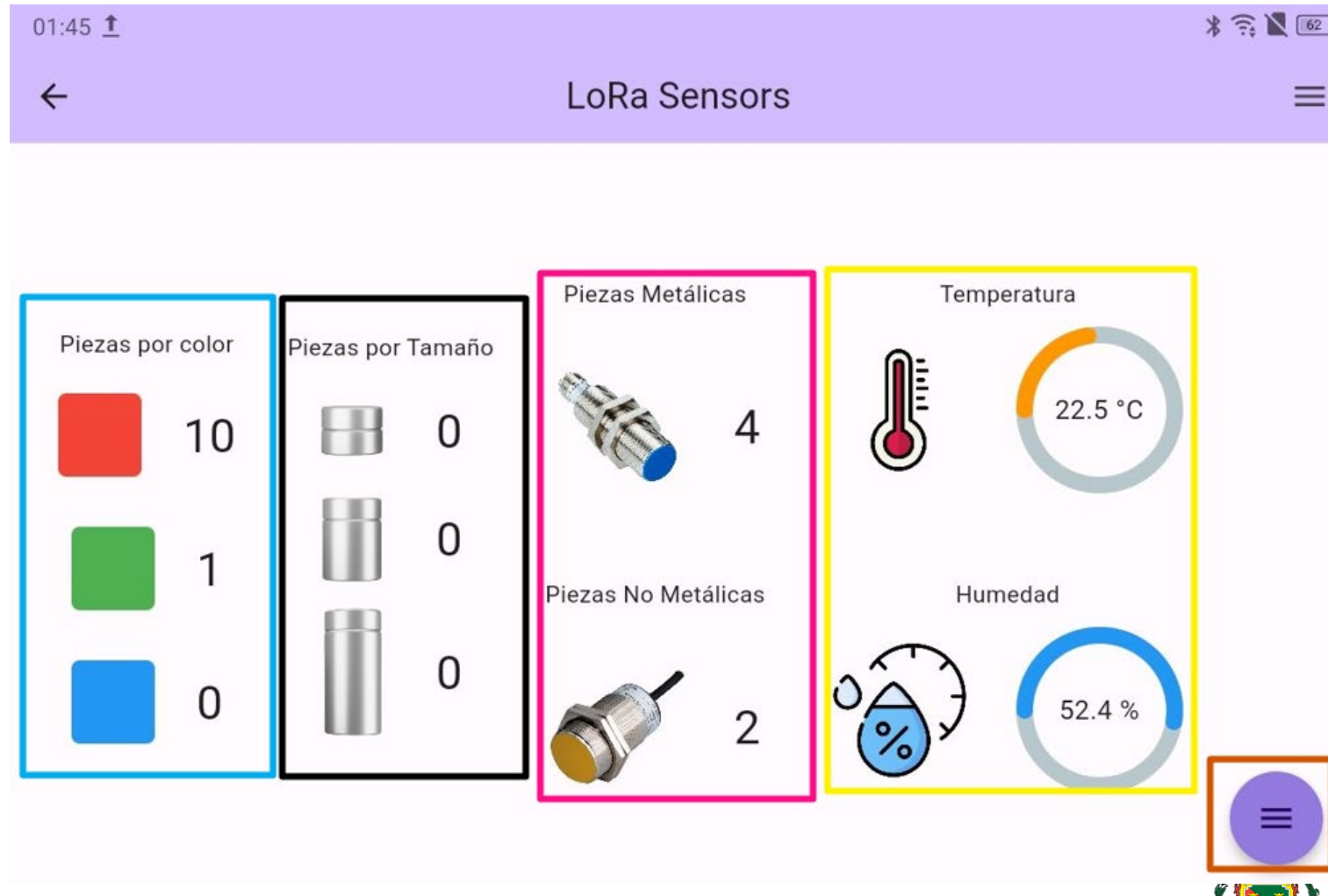
## Diseño de la aplicación: Conexión con Firebase

Creación de las variables, inicialización de la librería de Firebase y lectura de datos

```
24 class HomePageState extends State<HomePage> {
25   String _counterR = '';
26   String _counterG = '';
27   String _counterB = '';
28   double _temperatura = 0;
29   double _humedad = 0;
30   String _counterMetalicas = '';
31   String _counterNoMetalicas = '';
32   String _alerta = '0';
33   String _piezasP = '';
34   String _piezasM = '';
35   String _piezasG = '';
36
37   final _database = FirebaseDatabase.instance.ref();
38 }
```

```
_readData() {
  _database.child('user1/contadorR').onValue.listen((event) {
    final dataR = event.snapshot.value.toString();
    setState(() {
      _counterR = dataR;
    });
  });
  _database.child('user1/contadorG').onValue.listen((event) {
    final dataG = event.snapshot.value.toString();
    setState(() {
      _counterG = dataG;
    });
  });
  _database.child('user1/contadorB').onValue.listen((event) {
    final dataB = event.snapshot.value.toString();
    setState(() {
      _counterB = dataB;
    });
  });
  _database.child('user1/temperatura').onValue.listen((event) {
    final dataTemp = event.snapshot.value.toString();
    setState(() {
      _temperatura = double.parse(dataTemp);
    });
  });
  _database.child('user1/humedad').onValue.listen((event) {
```

## Diseño de la aplicación: Interfaz de Usuario





## Pruebas y verificación

Elemento	Número de pruebas	Cumple con su función	Número de aciertos	% de acierto
Azul	15	Si	14	93,33%
Rojo	15	Si	15	100%
Verde	15	Si	15	100%
Interruptor ON/OFF	15	Si	15	100%
Display Oled	15	Si	15	100%

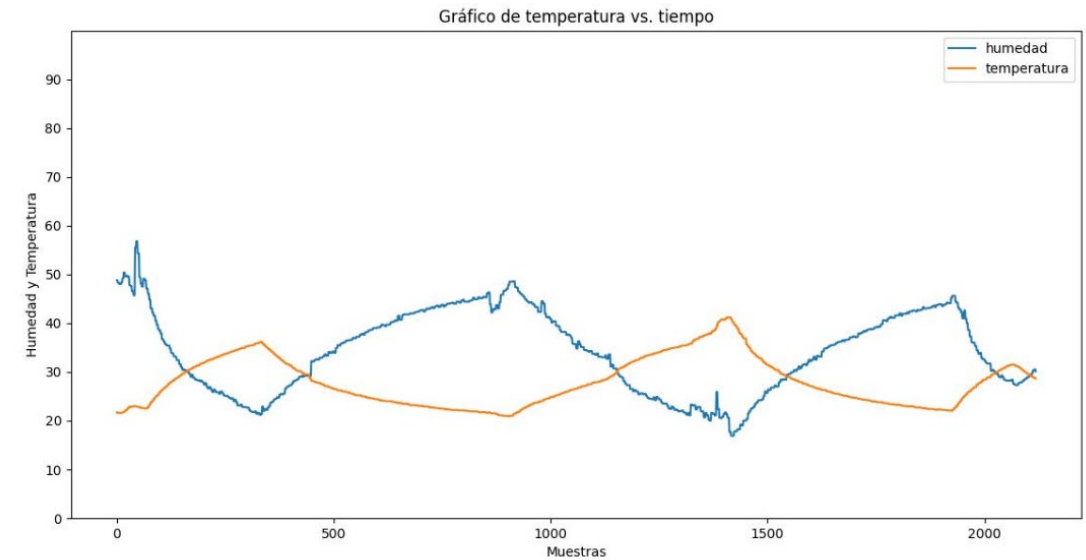
Elemento	Número de pruebas	Cumple con su función	Número de aciertos	% de acierto
Pequeño	15	Si	14	93,33%
Mediano	15	Si	15	100%
Grande	15	Si	14	93,33%
Interruptor ON/OFF	15	Si	15	100%
Display oled	15	Si	15	100%



## Pruebas y verificación

Elemento	Número de pruebas	Cumple con su función	Número de aciertos	% de acierto
Metal	15	Si	15	100%
No metal	15	Si	14	93,33%
Interruptor ON/OFF	15	Si	15	100%
Display Oled	15	Si	15	100%

Elemento	Número de pruebas	Cumple con su función	Número de aciertos	% de acierto
Temperatura	15	Si	15	100%
Humedad	15	Si	15	100%
Interruptor ON/OFF	15	Si	15	100%
Led indicador	15	Si	15	100%



## Pruebas y verificación

Módulo	Número de pruebas	Cumple con su función	Número de aciertos	% de acierto
Maestro-Color	15	Si	14	93,33%
Maestro-Tamaño	15	Si	14	93,33%
Maestro-Material	15	Si	14	93,33%
Maestro-Temperatura y humedad	15	si	15	100%

Elemento	Número de pruebas	Cumple con su función	% de acierto
Batería módulo color	15	Si	100%
Batería módulo tamaño	15	Si	100%
Batería módulo temperatura y humedad	15	Si	100%
Batería módulo material	15	Si	100%



## Pruebas y verificación









Elemento	Número de pruebas	Cumple con su función	Número de aciertos	% de acierto
Sensor	15	Si	14	93,33%
Actuador	15	Si	15	100%
Objeto dispensado	15	Si	14	93,33%

Elemento	Número de pruebas	Cumple con su función	Número de aciertos	% de acierto
Banda	15	Si	15	100%
Color Rojo-Actuador 1	15	Si	14	93,33%
Color Verde-Actuador 2	15	Si	15	100%
Color Azul-Actuador 3	15	Si	14	93,33%
Tamaño Pequeño-Actuador 1	15	si	14	93,33%
Tamaño Mediano-Actuador 2	15	si	15	100%
Tamaño Grande-Actuador 3	15	si	14	93,33%
Material no metal-Actuador 2	15	si	15	100%
Material metal-Actuador 3	15	si	14	93,33%



## Pruebas y verificación

Elemento	Número de pruebas	Cumple con su función	Número de aciertos	% de acierto
Firestore	15	si	15	100%
Contador color	15	si	14	93,33%
Contador tamaño	15	si	14	93,33%
Contador material	15	si	14	93,33%
Indicador de temperatura y humedad	15	si	15	100%
Botón de inicio	15	si	14	93,33%
Botón de paro	15	si	14	93,33%
Botón de reset	15	si	15	100%

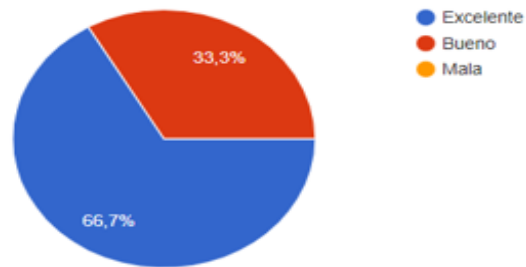
Código QR	Información	Número de pruebas	Cumple con su función	Número de aciertos	% de acierto
		15	si	15	100%
		15	si	15	100%
		15	si	15	100%
		15	si	15	100%

## Encuestas

**Pregunta 1: ¿Cómo evaluaría la funcionalidad de los módulos didácticos con redes de sensores inalámbricos?**

**Figura 74**

*Resultados de la pregunta 1*



**Pregunta 3: ¿Considera que los módulos didácticos con redes de sensores inalámbricos complementan lo aprendido en clases?**

**Figura 76**

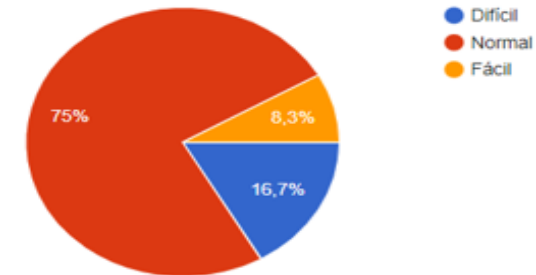
*Resultados de la pregunta 3*



**Pregunta 2: ¿Cuál fue el nivel de dificultad presente en los módulos didácticos con redes de sensores inalámbricos al utilizarlos con la estación de clasificación?**

**Figura 75**

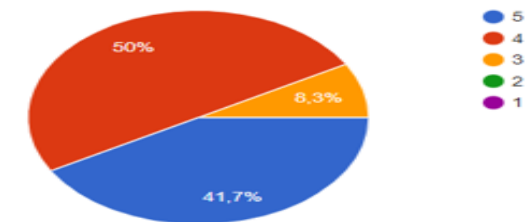
*Resultados de la pregunta 2*



**Pregunta 4: Siendo 5 la puntuación más alta y 1 la puntuación más baja, ¿Cómo calificaría usted el diseño robusto de la estación didáctica de clasificación?**

**Figura 77**

*Resultados de la pregunta 4*

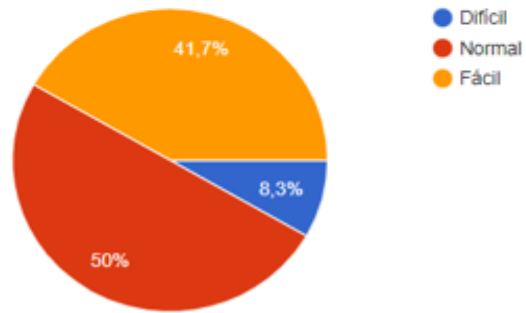


## Encuestas

Pregunta 5: ¿Cuál fue el nivel de complejidad al momento de usar aplicación móvil?

Figura 78

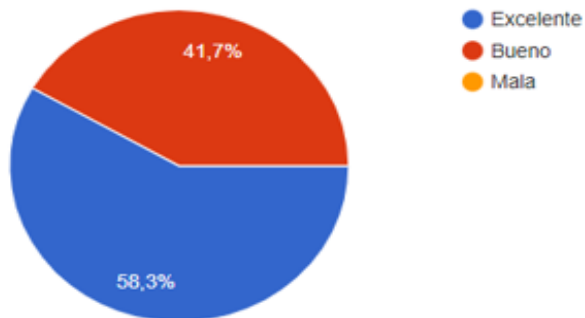
Resultados de la pregunta 5



Pregunta 7: ¿Cómo evalúa la experiencia de utilizar el protocolo Lora en un proceso de clasificación didáctico?

Figura 80

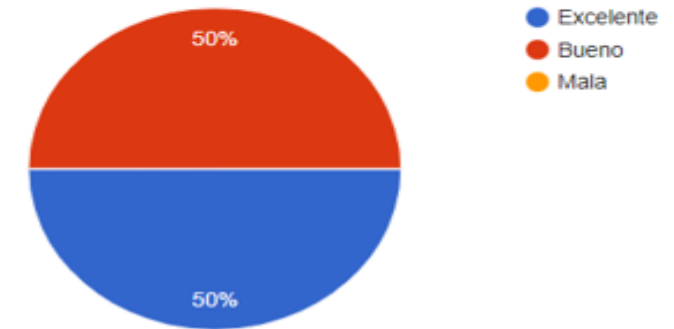
Resultados de la pregunta 7



Pregunta 6: ¿Cómo evalúa la información que muestra la aplicación móvil?

Figura 79

Resultados de la pregunta 6



Pregunta 8: ¿Creé usted que la aplicación móvil sirve de apoyo o guía cuando utiliza la estación de clasificación?

Figura 81

Resultados de la pregunta 8

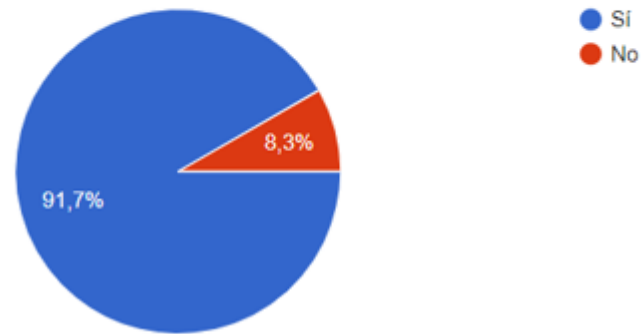


## Encuestas

Pregunta 9: ¿Al utilizar los códigos QR pudo identificar las características de los módulos de sensores inalámbricos?

Figura 82

Resultados de la pregunta 9



Pregunta 10: ¿Cuál es su opinión o recomendación para mejorar la estación de clasificación didáctica?





# ANÁLISIS DE RESULTADOS

## Validación de hipótesis

Ítem	Sistema	Funcional	No funcional	Nº Pruebas
1	Módulo inalámbrico sensor de color	14	1	15
2	Módulo inalámbrico sensor de tamaño	13	2	15
3	Módulo inalámbrico sensor de temperatura y humedad	15	0	15
4	Módulo inalámbrico sensor de material	14	1	15
5	Comunicación entre los módulos y el maestro	12	3	15
6	Baterías	15	0	15
7	Dispensador de objetos	13	2	15
8	Etapas de clasificación	10	5	15
9	Aplicación móvil y códigos QR	10	5	15
	Total	116	19	135

$$\text{frecuencia esperada funcional} = \frac{15 \times 116}{135} = 12,89$$

$$\text{frecuencia esperada no funcional} = \frac{15 \times 19}{135} = 2,11$$



# ANÁLISIS DE RESULTADOS

## Validación de la hipótesis

chi-cuadrado de 15,92

p	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1	0.9	0.95	0.975	0.99	0.995
v-1	0.00004	0.0002	0.001	0.004	0.016	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	9.236	11.070	12.833	15.086	16.750
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.204	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.690	2.167	2.833	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.180	2.733	3.400	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	14.684	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	4.865	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	5.578	17.275	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	18.549	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.042	19.812	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	7.790	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	8.547	22.307	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	23.542	26.296	28.845	32.000	34.267

La hipótesis alternativa es aceptada con 95% de confiabilidad, donde se menciona que es posible desarrollar prácticas de sistemas ciberfísicos con la implementación de módulos didácticos con redes de sensores inalámbricos en el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Datos	$f_0$	$f_t$	$(f_0 - f_t)$	$(f_0 - f_t)^2$
Funcional 1	14	12,89	1,11	1,23
Funcional 2	13	12,89	0,11	0,01
Funcional 3	15	12,89	2,11	4,46
Funcional 4	14	12,89	1,11	1,23
Funcional 5	12	12,89	-0,89	0,79
Funcional 6	15	12,89	2,11	4,46
Funcional 7	13	12,89	0,11	0,01
Funcional 8	10	12,89	-2,89	8,35
Funcional 9	10	12,89	-2,89	8,35
No funcional 1	1	2,11	-1,11	1,23
No funcional 2	2	2,11	-0,11	0,01
No funcional 3	0	2,11	-2,11	4,46
No funcional 4	1	2,11	-1,11	1,23
No funcional 5	3	2,11	0,89	0,79
No funcional 6	0	2,11	-2,11	4,46
No funcional 7	2	2,11	-0,11	0,01
No funcional 8	5	2,11	2,89	8,35
No funcional 9	5	2,11	2,89	8,35
<b>Total</b>				15,92559



## Análisis económico del proyecto

Elementos	Cant.	P. Unit. \$	P. Total \$
Motor nema 17D/Paso 34MM	1	15	15
Servomotor MG-995	4	9,5	38
Estructura de la mesa	1	30	30
Interruptor ON/OFF	4	0,5	2
Heltec Lora 32 V3	5	19,5	97,5
Aluminio 6061-T4 3mmx500mmx600mm	1	24,5	24,5
Rollo de PLA color negro	1	20,5	20,5
Altek 750w Atx	1	30	30
Sensor Inductivo NPN LJ18A3-8Z/BX	1	12,5	12,5
Sensor RGB TCS34725	1	7	7
Sensor infrarrojo HW201	4	2,5	10
Sensor capacitivo LJC30A3- H-Z/BX	1	12,5	12,5
DHT22	1	8,5	8,5
ANERA LiPo 1000mAh	3	13,5	40,5
Alcatel 9032T	1	60	60
Tuercas T y pernos M5	50	0,1	5
Corte láser	1	60	60
ESP 32	1	12,5	12,5
Arduino uno	1	16	16

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Elementos	Cant.	P. Unit. \$	P. Total \$
Cuerina negra 1m	1	2	2
Eje 8mm	1	8,5	8,5
Chumacera KFL08	4	2,5	10
Perfil de aluminio T 15x180x2300	1	110	110
Polea GT2-6mm	2	2,5	5
Pulsador tipo hongo	1	3,25	3,25
Luces piloto 24v	2	2,5	5
TP4056	3	2,5	7,5
Batería LiPo 3s 11,1v	1	30	30
Cable flexible AWG 20 2m	1	1,5	1,5
Acrílico 50x50cm	1	15	15
Placa PCB	3	7,5	22,5
Driver A4988	1	3,5	3,5
Modulo relé 2 canales	1	4,5	4,5
Perno M3 y tuerca	20	0,1	2
Impuestos y aduanas	1	100	100
Otros	1	150	150
<b>TOTAL</b>			<b>982,25</b>





*Ahorro de 9492,75 \$.*



*Estación didáctica de clasificación del fabricante Amatrol costo de 10475,00\$*

*Módulos inalámbricos y la estación de clasificación se invirtió un total de 982,25 \$*

# ***CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES***



Gracias



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA