

HITO 2

WALKTRACK - ACCESORIO PARA PRÓTESIS TRANSTIBIAL CON SISTEMA DE GAMIFICACIÓN

Eva Romero, Luigi Roncallo, Natalia Seminario,
Adriano Tassi, Dayanna Torres, Daniel Vargas.

Eva Romero (Modelado)
Dayanna Torres (Modelado)
Natalia Seminario (Diseño)
Adriano Tassi (Aplicativo)
Luigi Roncallo (Código)
Daniel Vargas (Código)



PROBLEMÁTICA

Consecuencias Fisiológicas y Funcionales:

Pérdida: Amputación transtibial traumática (debajo de la rodilla) debido a un accidente con máquina segadora.

Déficit Anatómico: Pérdida del sistema de palanca distal (tobillo y pie).

Impacto Funcional: Alto gasto energético y déficit de propulsión durante la marcha. Los músculos de la cadera y el tronco deben compensar para el impulso y el equilibrio.

Resultado: Fatiga y uso de patrones de movimiento incorrectos.

Relevancia Estadística y Social:

Epidemiología: Amputaciones traumáticas representan el 22.22% del total, afectando principalmente a población joven y activa. La condición contribuye a la discapacidad motora, la limitación más frecuente en el país (59.2% de la población con discapacidad) [2].

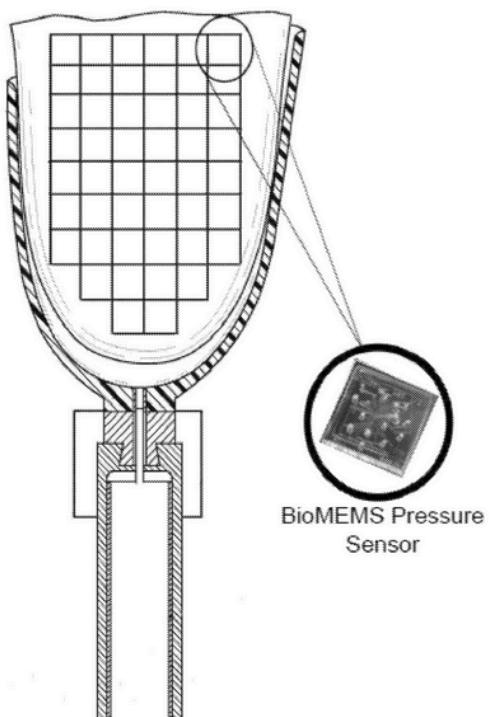
Conclusión: La rehabilitación de su marcha es una necesidad crítica de salud pública.



[1] J. L. P. B. et al., "Características clínico-epidemiológicas de las amputaciones traumáticas en el Hospital de Alta Especialidad 'Dr. Gustavo A. Rovirosa Pérez,'" Revista Médica del Hospital General de México, vol. 77, no. 4, pp. 165-171, Dic. 2014. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/487/48740677004.pdf>

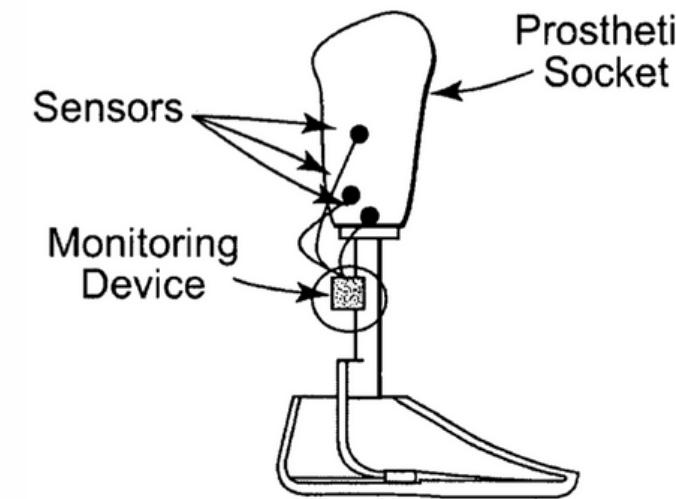
[2] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), "En el Perú 1 millón 575 mil personas presentan algún tipo de discapacidad," INEI, 3 de Diciembre, 2013. Disponible en: <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/en-el-peru-1-millon-575-mil-personas-presentan-alg/>

ESTADO DEL ARTE



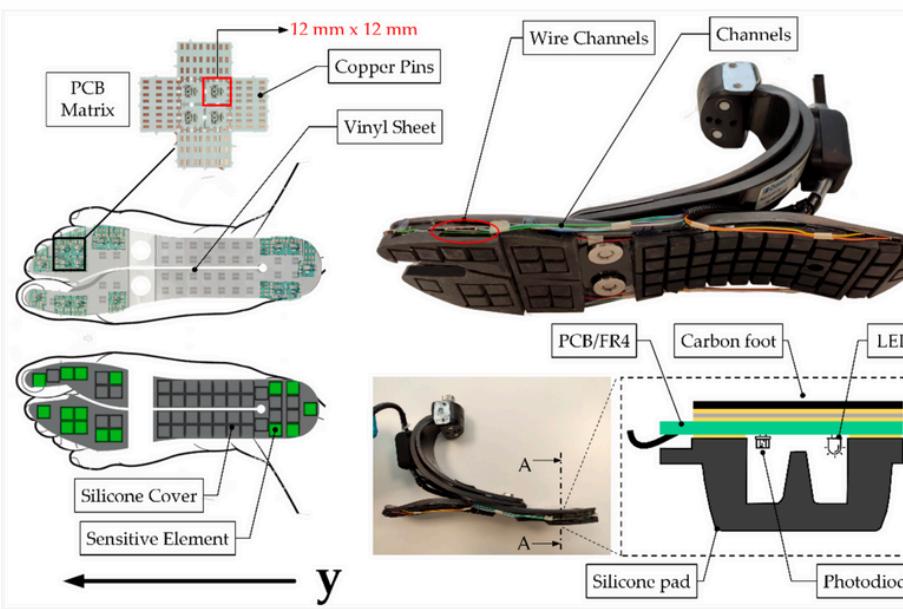
Dispositivo protésico con monitorización de presión en el socket (WO2016183583A1) [1]

- Monitorea los puntos de presión "peligrosos" del paciente para crear nuevas prótesis más personalizadas.
- Si los sensores detectan puntos altos de presión, se le notifica vía email o mensaje al paciente y al profesional médico encargado.
- Enfocado especialmente a niños/jóvenes con actividad física recurrente.



Dispositivo de control de presión/temperatura para prótesis (US20040167638A1) [2]

- Plataforma multisensor para encaje protésico que mide presión, fuerza, temperatura, humedad e incluso vacío del sistema
- Define límites/umbrales y emite alertas (visual/sonora) si se exceden



Aparato sensorial multimodal para pies protésicos robóticos que combina transductores de presión optoelectrónicos e IMU. [3]

- Integra sensores de presión en el pie y una IMU para obtener contacto con el suelo + cinemática (ángulos/fases de marcha).

[1] Kane, J. M., Cody, M. A., Delaney, K. M., Garcia, L., Moritz, I., Jeng, D. K., & Llc, F. I. (2015, 14 mayo). WO2016183583A1 - Prosthetic device with socket pressure monitoring capability and systems and methods for making custom prosthetics - Google Patents. <https://patents.google.com/patent/WO2016183583A1/en>

[2] Caspers, C. (2002, 1 noviembre). US20040167638A1 - Pressure/temperature monitoring device for prosthetics - Google Patents. <https://patents.google.com/patent/US20040167638A1/en>

[3] Fiumalbi, T., Martini, E., Papapicco, V., Dell'Agnello, F., Mazzarini, A., Baldoni, A., Gruppioni, E., Crea, S., & Vitiello, N. (2022). A Multimodal Sensory Apparatus for Robotic Prosthetic Feet Combining Optoelectronic Pressure Transducers and IMU Sensors, 22(5), 1731. <https://doi.org/10.3390/s22051731>

SOLUCIÓN



Sistema que mide y analiza la marcha pediátrica con sensores integrados.

01

Entrar al aplicativo e iniciar una sesión.

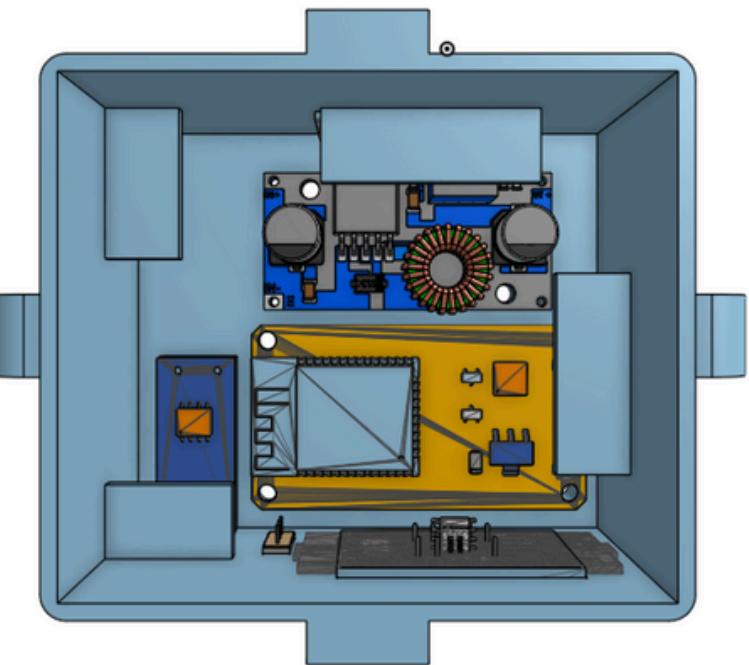
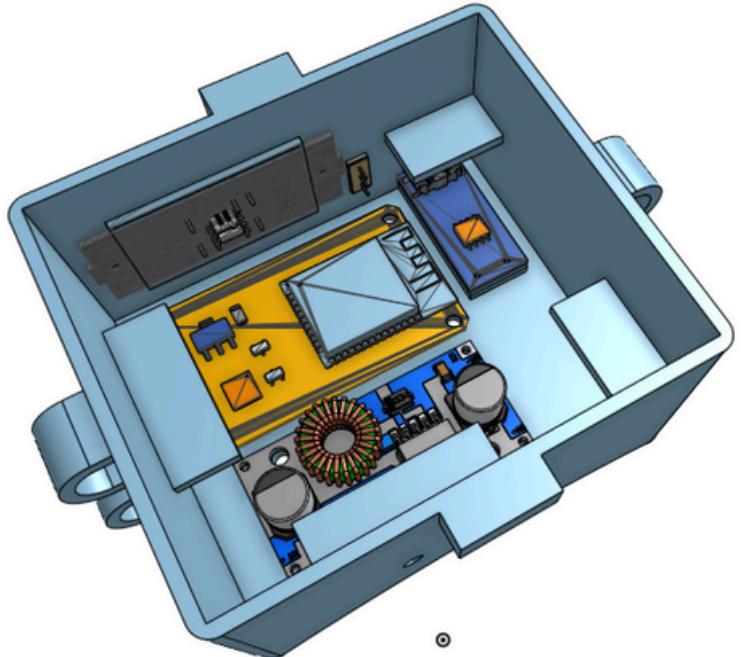
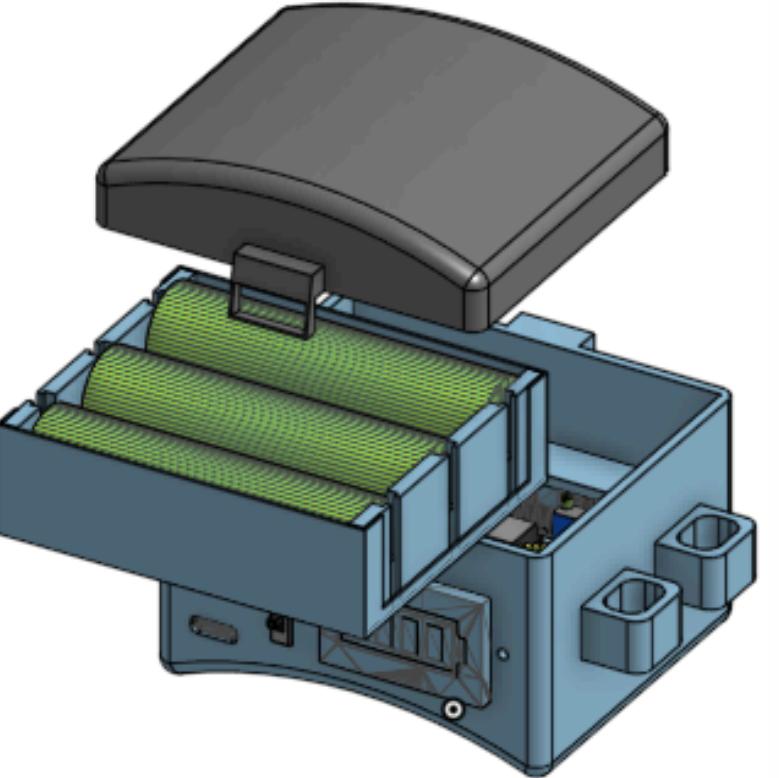
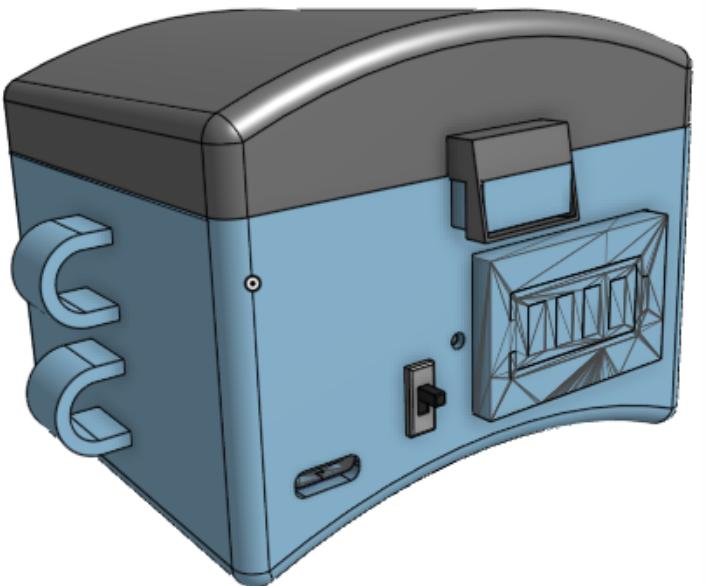
02

Colocar la plantilla y Walktrack en la pierna funcional para realizar la primera medida de comparación.

03

Cambiar plantilla y walktrack a la prótesis y comenzar la sesión de rehabilitación.

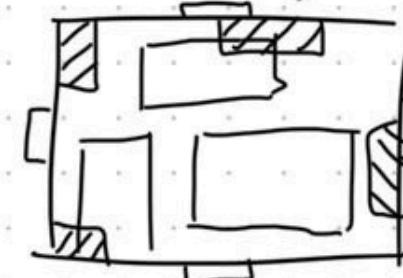
BOCETO Y MODELADO 3D



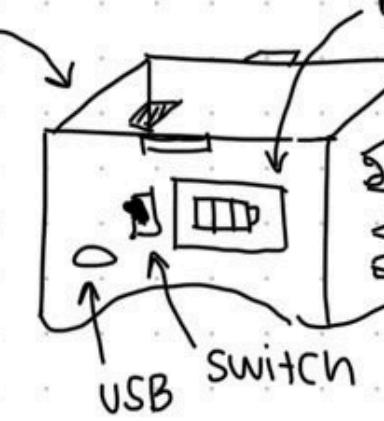
lata



apoyo para
el portapilas



porta
pila

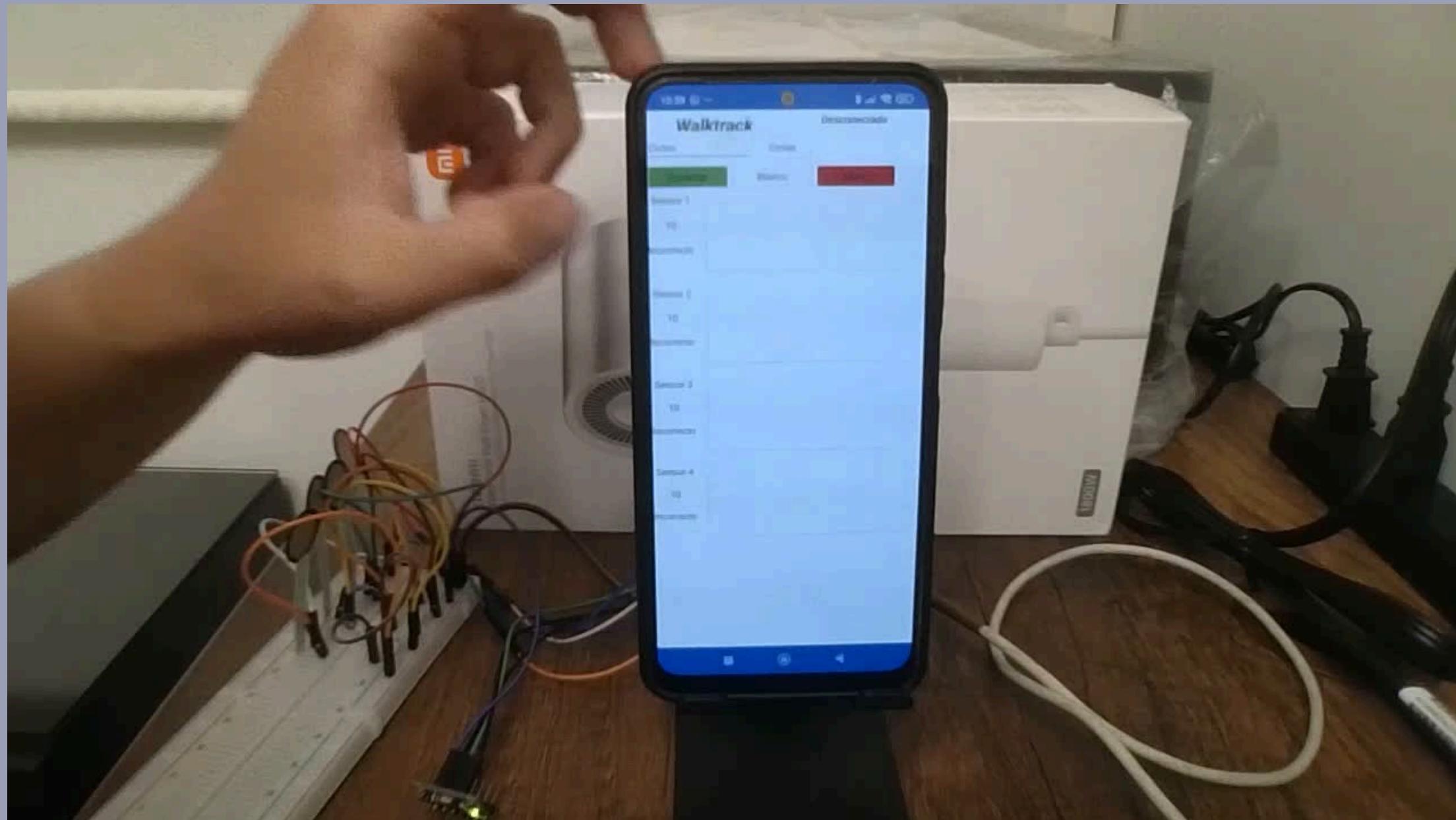
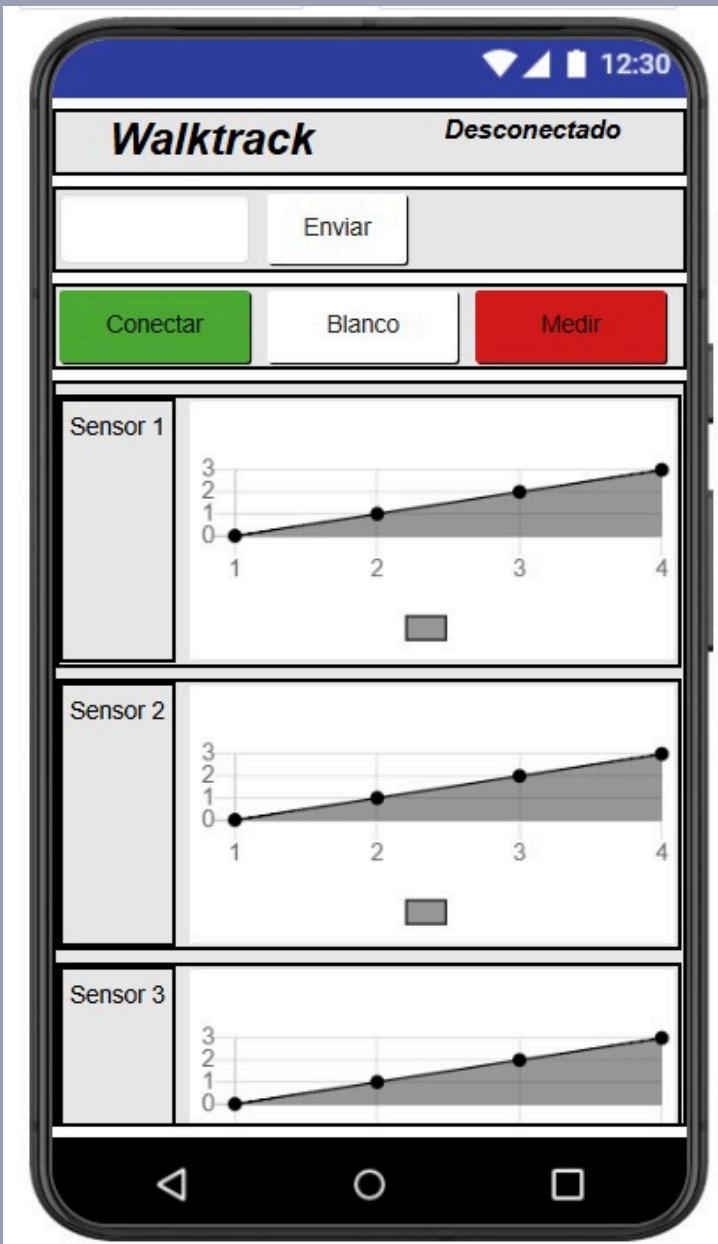


bateria

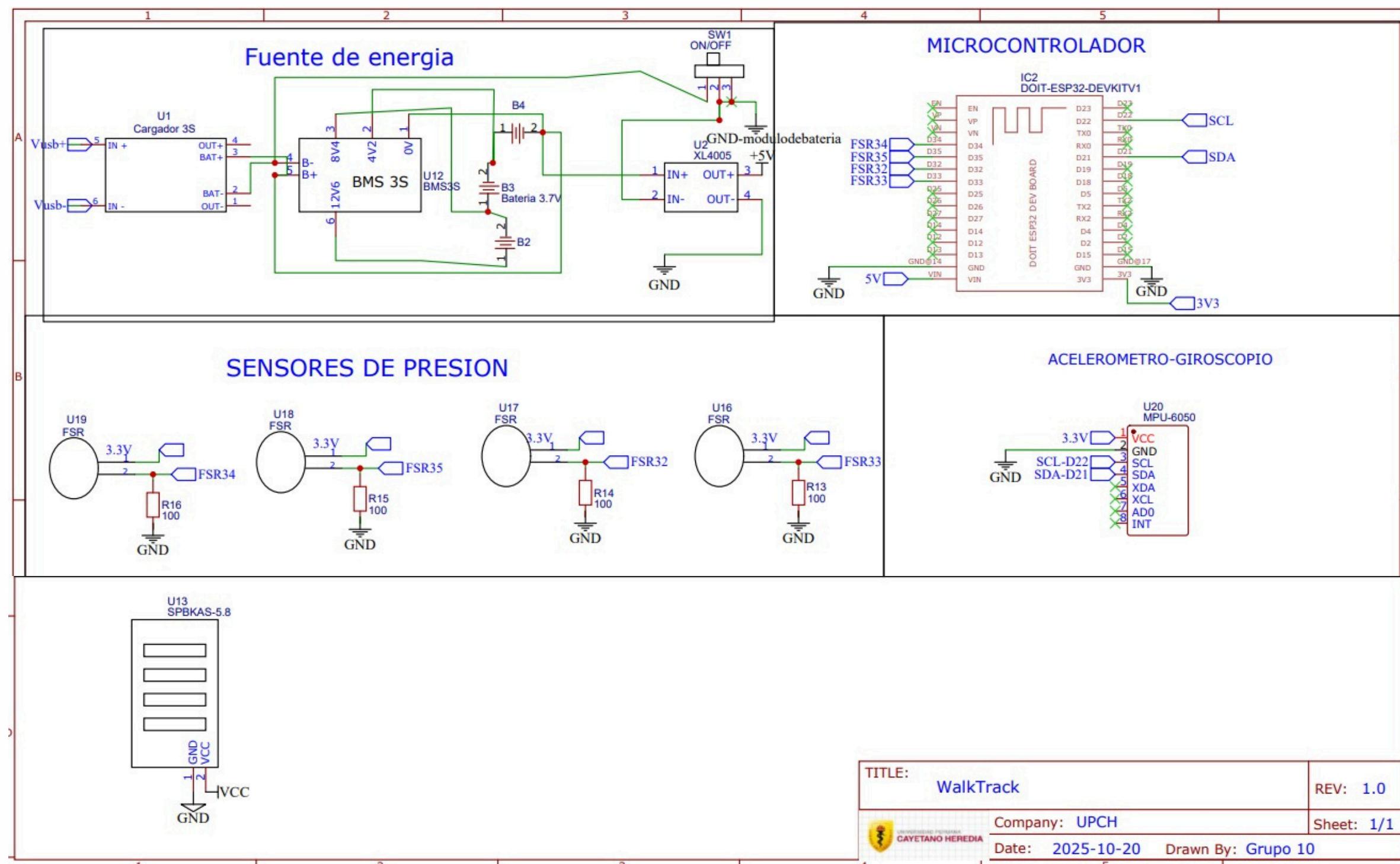
USB

switch

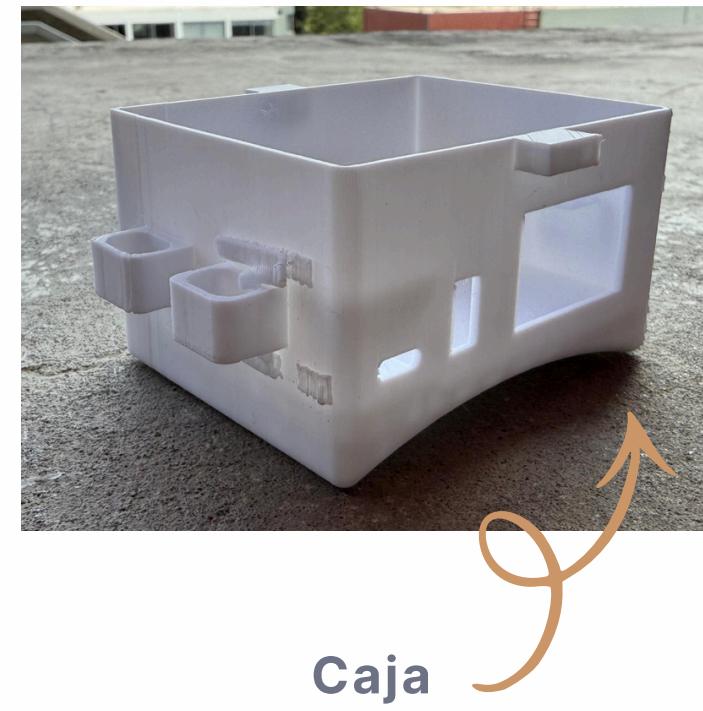
TRACCIÓN



ENTREGABLE: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL PROTOTIPO ELECTRÓNICO

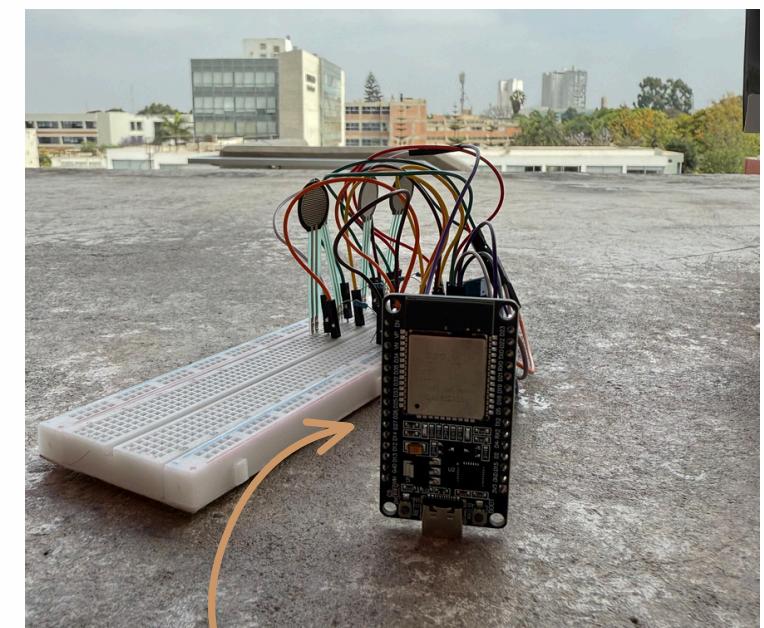
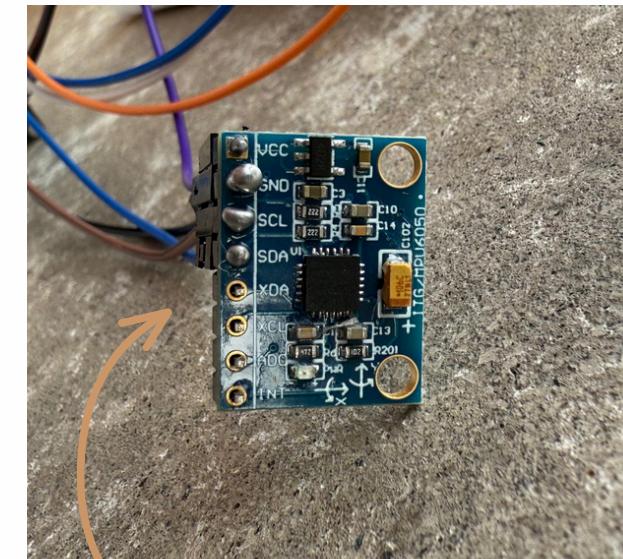
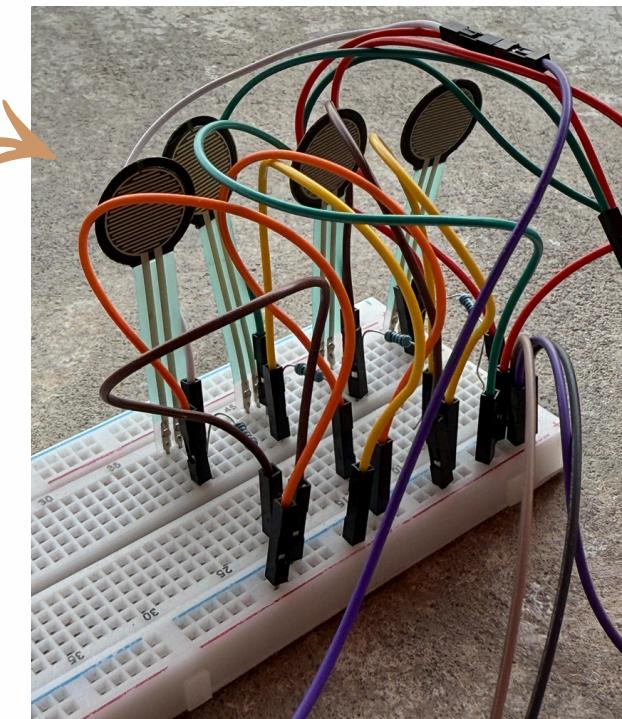


TRACCIÓN



Modelado 3D

Sensores FSR



Electrónica

TRACCIÓN



Prototipo integrado



Dispositivo "Walktrack" sin
tapa apagado



Caja completa y plantilla
con sensores



Dispositivo "Walktrack" sin
tapa encendido



Dispositivo "Walktrack" con
tapa apagado



TRACCIÓN DEMO

Se hizo la prueba con un modelo de 7 años, 26 kilos y de talla 33. Lo más aproximado a las medidas de Dilan.

LIMITACIONES

01

La calibración de los sensores fue la primera limitación. Esto se debe a la falta de datos precisos para la calibración del sistema. Además, el IMU tuvo una falla y se tuvo que comprar otro. Para solucionar nuestro problema, utilizamos un aproximado de los datos de la presión que debería ser aplicada en los sensores para medir la marcha de Dilan.

02

La segunda limitación fue el presupuesto destinado a los sensores. Inicialmente se utilizarían ocho sensores FSR. Sin embargo, mitigamos el problema cambiando la posición de los sensores en la plantilla y el código para que se ajuste a cuatro sensores FSR.

03

La tercera limitación que enfrentamos fue la impresión 3D de la caja y la plantilla. Inicialmente, la caja fue impresa en TPU, el cual no era el material adecuado debido a su flexibilidad. Además, no se tuvo consideración con que las medidas cambian debida a la impresión como tal. En total, se hicieron tres impresiones de la caja y dos de las plantillas.

PRUEBAS Y TESTEOS



CODIGO ARDUINO-IDE

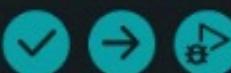
The screenshot shows the Arduino IDE interface with the following details:

- Title Bar:** fumbio_trabajo | Arduino IDE 2.3.6
- Menu Bar:** File Edit Sketch Tools Help
- Toolbar:** Includes icons for Save, Undo, Redo, and Board selection (DOIT ESP32 DEVKIT V1).
- Sketch Navigator:** Shows the file fumbio_trabajo.ino.
- Code Editor:** Displays the following C++ code for an Arduino sketch:

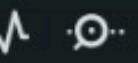
```
1 #include <Adafruit_MPU6050.h>
2 #include <Adafruit_Sensor.h>
3 #include <Wire.h>
4 #include <BluetoothSerial.h>
5 BluetoothSerial SerialBT;
6
7 // Pines FSR
8 #define FSR1 34
9 #define FSR2 35
10 #define FSR3 32
11 #define FSR4 33
12
13 // --- Conversión a KG ---
14 float fsrToKg(int valor) {
15     return (valor / 4095.0) * 8.8; // escala a 8.8 kg
16 }
17
18 Adafruit_MPU6050 mpu;
19 bool imuConnected = false;
20
21 // Condiciones
22 int ciclos = 1;
23 float tolerancia = 0.2;
24
25 // === BLANCOS PISADA ===
26 float blancoPisada1 = 0;
27 float blancoPisada2 = 0;
28 float blancoPisada3 = 0;
29 float blancoPisada4 = 0;
30 float blancoPisada1Prom = 0;
31 float blancoPisada2Prom = 0;
32 float blancoPisada3Prom = 0;
33 float blancoPisada4Prom = 0;
```

- Output Panel:** Shows "Not connected. Select a board and a port to connect automatically."
- Bottom Status Bar:** Includes system icons for battery, signal, and date/time (23:52, 25/11/2025).

File Edit Sketch Tools Help



DOIT ESP32 DEVKIT V1



...

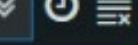
fumbio_trabajo.ino

```
33 float blancoPisada4Prom = 0;
34
35 // === PISADA ===
36 //float Pisada1 = 0;
37 //float Pisada2 = 0;
38 //float Pisada3 = 0;
39 //float Pisada4 = 0;
40
41 float ax = 0, ay = 0, az = 0;
42 float gx = 0, gy = 0, gz = 0;
43
44 // === diff ===
45
46 float diff1 = 0;
47 float diff2 = 0;
48 float diff3 = 0;
49 float diff4 = 0;
50
51 float s1 = fsrToKg(analogRead(FSR1));
52 float s2 = fsrToKg(analogRead(FSR2));
53 float s3 = fsrToKg(analogRead(FSR3));
54 float s4 = fsrToKg(analogRead(FSR4));
55
56
57 void setup() {
58     Serial.begin(115200);
59     SerialBT.begin("WalkTrack");
60
61     Serial.println("\n== Sistema FSR + IMU ==");
62
63     if (mpu.begin()) {
64         imuConnected = true;
```



Output Serial Monitor X

Not connected. Select a board and a port to connect automatically.



New Line

indexing: 25/57

Ln 7, Col 13 DOIT ESP32 DEVKIT V1 on COM3 [not connected]

18°C
Parc. nublado

Buscar



23:53

25/11/2025

fumbio_trabajo | Arduino IDE 2.3.6

File Edit Sketch Tools Help

DOIT ESP32 DEVKIT V1

fumbio_trabajo.ino

```
96     if (SerialBT.available()) {  
97  
98         String data = SerialBT.readStringUntil('\n');  
99         data.trim();  
100  
101        // Detectar si se envían ciclos  
102        if (data.startsWith("CICLOS:")) {  
103            ciclos = data.substring(7).toInt();  
104            Serial.print("Ciclos actualizados a: ");  
105            Serial.println(ciclos);  
106            return; // evitar tomarlo como comando  
107        }  
108  
109        if (data.startsWith("TOL:")) {  
110            tolerancia = data.substring(4).toFloat();  
111            Serial.print("Tolerancia actualizada a: ");  
112            Serial.println(tolerancia);  
113            return;  
114        }  
115  
116        // Cualquier otra cosa es un comando  
117        String cmd = data;  
118  
119        Serial.print("CMD recibido: ");  
120        Serial.println(cmd);  
121  
122        // LEER FSR  
123        s1 = fsrToKg(analogRead(FSR1));  
124        s2 = fsrToKg(analogRead(FSR2));  
125        s3 = fsrToKg(analogRead(FSR3));  
126        s4 = fsrToKg(analogRead(FSR4));  
127
```

Output Serial Monitor X

Not connected. Select a board and a port to connect automatically.

indexing: 54/57

Ln 7, Col 13 DOIT ESP32 DEVKIT V1 on COM3 [not connected]

18°C Parc. nublado Buscar

23:53 25/11/2025

File Edit Sketch Tools Help



DOIT ESP32 DEVKIT V1



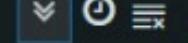
fumbio_trabajo.ino

```
127
128 // ===== BLANCO APOYO =====
129 if (cmd.equalsIgnoreCase("BLANCO")) {
130
131     blancoPisada1 = 0;
132     blancoPisada2 = 0;
133     blancoPisada3 = 0;
134     blancoPisada4 = 0;
135
136     blancoPisada1Prom = 0;
137     blancoPisada2Prom = 0;
138     blancoPisada3Prom = 0;
139     blancoPisada4Prom = 0;
140
141     int i = 0;
142     int primeramedida = 1;
143     int midiendo = true;
144     while (i<ciclos){
145         midiendo = true;
146         sensors_event_t a, g, temp;
147         mpu.getEvent(&a, &g, &temp);
148         gy = g.gyro.y;
149         if ((gy < 1 && gy > -1 )|| primeramedida == 1){
150             int i2 = 1;
151             blancoPisada1 = 0;
152             blancoPisada2 = 0;
153             blancoPisada3 = 0;
154             blancoPisada4 = 0;
155             while (midiendo){
156                 sensors_event_t a, g, temp;
157                 mpu.getEvent(&a, &g, &temp);
158                 gy = g.gyro.y;
```



Output Serial Monitor X

Not connected. Select a board and a port to connect automatically.



New Line

Ln 7, Col 13 DOIT ESP32 DEVKIT V1 on COM3 [not connected]

18°C
Parc. nublado

Buscar



ESP



23:53

25/11/2025

fumbio_trabajo | Arduino IDE 2.3.6

File Edit Sketch Tools Help

DOIT ESP32 DEVKIT V1

fumbio_trabajo.ino

```
159
160     s1 = fsrToKg(analogRead(FSR1));
161     s2 = fsrToKg(analogRead(FSR2));
162     s3 = fsrToKg(analogRead(FSR3));
163     s4 = fsrToKg(analogRead(FSR4));
164
165     blancoPisada1 = blancoPisada1 + s1;
166     blancoPisada2 = blancoPisada2 + s2;
167     blancoPisada3 = blancoPisada3 + s3;
168     blancoPisada4 = blancoPisada4 + s4;
169
170     Serial.println(blancoPisada1);
171     Serial.println(blancoPisada2);
172     Serial.println(blancoPisada3);
173     Serial.println(blancoPisada4);
174     Serial.println(gy);
175
176     if(gy < -1 || gy > 1){
177         midiendo = false;
178     }
179     i2++;
180 }
181
182     blancoPisada1Prom = blancoPisada1Prom + (blancoPisada1/(float)i2);
183     blancoPisada2Prom = blancoPisada2Prom + (blancoPisada2/(float)i2);
184     blancoPisada3Prom = blancoPisada3Prom + (blancoPisada3/(float)i2);
185     blancoPisada4Prom = blancoPisada4Prom + (blancoPisada4/(float)i2);
186 }
187     while (gy < -1 || gy > 1){
188         sensors_event_t a, g, temp;
189         mpu.getEvent(&a, &g, &temp);
190         gy = g.gyro.y;
191 }
```

Output Serial Monitor X

Not connected. Select a board and a port to connect automatically.

Ln 7, Col 13 DOIT ESP32 DEVKIT V1 on COM3 [not connected]

Humedad Ahora Buscar L W G 3 99+ L 23:54 25/11/2025

fumbio_trabajo | Arduino IDE 2.3.6

File Edit Sketch Tools Help

DOIT ESP32 DEVKIT V1

fumbio_trabajo.ino

```
191     gy = g.gyro.y;
192     delay(500);
193     i++;
194     primeramedida = 0;
195 }
196
197 blancoPisada1Prom = blancoPisada1Prom/(float)ciclos;
198 blancoPisada2Prom = blancoPisada2Prom/(float)ciclos;
199 blancoPisada3Prom = blancoPisada3Prom/(float)ciclos;
200 blancoPisada4Prom = blancoPisada4Prom/(float)ciclos;
201
202 SerialBT.println("1");
203 return;
204 }
205 Serial.println("=====");
206
207 if (cmd.equalsIgnoreCase("MEDIR")) {
208     int i = 0;
209     int primeramedida = 1;
210     int midiendo = true;
211     while (i < ciclos){
212         midiendo = true;
213         sensors_event_t a, g, temp;
214         mpu.getEvent(&a, &g, &temp);
215         gy = g.gyro.y;
216         if ((gy < 1 && gy > -1 )|| primeramedida == 1){
217             while (midiendo){
218                 sensors_event_t a, g, temp;
219                 mpu.getEvent(&a, &g, &temp);
220                 gy = g.gyro.y;
221
222                 s1 = fsrToKg(analogRead(FSR1));
```

Output Serial Monitor X

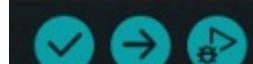
Not connected. Select a board and a port to connect automatically.

Ln 7, Col 13 DOIT ESP32 DEVKIT V1 on COM3 [not connected]

Humedad Ahora

Buscar

23:54 25/11/2025



DOIT ESP32 DEVKIT V1

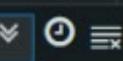


fumbio_trabajo.ino

```
222     s1 = fsrToKg(analogRead(FSR1));
223     s2 = fsrToKg(analogRead(FSR2));
224     s3 = fsrToKg(analogRead(FSR3));
225     s4 = fsrToKg(analogRead(FSR4));
226
227     diff1 = abs(blancoPisada1Prom - s1);
228     diff2 = abs(blancoPisada2Prom - s2);
229     diff3 = abs(blancoPisada3Prom - s3);
230     diff4 = abs(blancoPisada4Prom - s4);
231
232     String ok1 = (diff1 <= tolerancia) ? "3" : "4";
233     String ok2 = (diff2 <= tolerancia) ? "3" : "4";
234     String ok3 = (diff3 <= tolerancia) ? "3" : "4";
235     String ok4 = (diff4 <= tolerancia) ? "3" : "4";
236
237     //mandar s1, s2, s3, s4, diff1, diff2, diff3 y diff4 al mit
238     SerialBT.print(s1);
239     SerialBT.print(",");
240
241     SerialBT.print(s2);
242     SerialBT.print(",");
243
244     SerialBT.print(s3);
245     SerialBT.print(",");
246
247     SerialBT.print(s4);
248     SerialBT.print(",");
249
250     SerialBT.print(ok1);
251     SerialBT.print(",");
252     SerialBT.print(ok2);
253     SerialBT.print(",");
254     SerialBT.print(ok3);
```



Output Serial Monitor X



Not connected. Select a board and a port to connect automatically.

Ln 7, Col 13 DOIT ESP32 DEVKIT V1 on COM3 [not connected]



Humedad

Ahora



Buscar

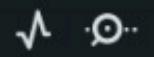


23:54

25/11/2025



DOIT ESP32 DEVKIT V1



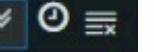
fumbio_trabajo.ino

```
254     SerialBT.print(ok3);
255     SerialBT.print(",");
256     SerialBT.println(ok4);
257
258     Serial.println(s1);
259     Serial.println(s2);
260     Serial.println(s3);
261     Serial.println(s4);
262     Serial.println(gy);
263
264     if(gy < -1 || gy > 1){
265         midiendo = false;
266     }
267     delay(200);
268 }
269 }
270 while (gy < -1 || gy > 1){
271     sensors_event_t a, g, temp;
272     mpu.getEvent(&a, &g, &temp);
273     gy = g.gyro.y;
274 }
275 delay (500);
276 i++;
277 primeramedida = 0;
278 }
279 SerialBT.println("2");
280 return;
281 }
282 }
283 // --- IMPRIMIR DATOS EN SERIAL ---
284 Serial.printf("AX=% .2f AY=% .2f AZ=% .2f GX=% .2f GY=% .2f GZ=% .2f\n",
285                 ax, ay, az, gx, gy ,gz);
```



Output

Serial Monitor X



Not connected. Select a board and a port to connect automatically.

Ln 7, Col 13 DOIT ESP32 DEVKIT V1 on COM3 [not connected] ⌂ ⌂

Humedad
Ahora

Buscar

23:55
25/11/2025

fumbio_trabajo | Arduino IDE 2.3.6

File Edit Sketch Tools Help

DOIT ESP32 DEVKIT V1

```
1 }  
2  
3 }  
4 while (gy < -1 || gy > 1){  
5     sensors_event_t a, g, temp;  
6     mpu.getEvent(&a, &g, &temp);  
7     gy = g.gyro.y;  
8 }  
9 delay (500);  
10 i++;  
11 primeramedida = 0;  
12 }  
13 SerialBT.println("2");  
14 return;  
15 }  
16 // --- IMPRIMIR DATOS EN SERIAL ---  
17 Serial.printf("AX=% .2f AY=% .2f AZ=% .2f GX=% .2f GY=% .2f GZ=% .2f\n",  
18 | ax, ay, az, gx, gy ,gz);  
19  
20 //Serial.print("Ciclos recibidos: ");  
21 //Serial.println(ciclos);  
22 //Serial.print("Tolerancia actualizada a: ");  
23 //zzSerial.println(tolerancia);  
24  
25 Serial.println(s1);  
26 Serial.println(s2);  
27 Serial.println(s3);  
28 Serial.println(s4);  
29  
30 delay(200);  
31  
32  
33 }  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100  
101  
102  
103  
104  
105  
106  
107  
108  
109  
110  
111  
112  
113  
114  
115  
116  
117  
118  
119  
120  
121  
122  
123  
124  
125  
126  
127  
128  
129  
130  
131  
132  
133  
134  
135  
136  
137  
138  
139  
140  
141  
142  
143  
144  
145  
146  
147  
148  
149  
150  
151  
152  
153  
154  
155  
156  
157  
158  
159  
160  
161  
162  
163  
164  
165  
166  
167  
168  
169  
170  
171  
172  
173  
174  
175  
176  
177  
178  
179  
180  
181  
182  
183  
184  
185  
186  
187  
188  
189  
190  
191  
192  
193  
194  
195  
196  
197  
198  
199  
200  
201  
202  
203  
204  
205  
206  
207  
208  
209  
210  
211  
212  
213  
214  
215  
216  
217  
218  
219  
220  
221  
222  
223  
224  
225  
226  
227  
228  
229  
230  
231  
232  
233  
234  
235  
236  
237  
238  
239  
240  
241  
242  
243  
244  
245  
246  
247  
248  
249  
250  
251  
252  
253  
254  
255  
256  
257  
258  
259  
260  
261  
262  
263  
264  
265  
266  
267  
268  
269  
270  
271  
272  
273  
274  
275  
276  
277  
278  
279  
280  
281  
282  
283  
284  
285  
286  
287  
288  
289  
290  
291  
292  
293  
294  
295  
296  
297  
298  
299  
300 }
```

Output Serial Monitor X

Not connected. Select a board and a port to connect automatically.

Ln 7, Col 13 DOIT ESP32 DEVKIT V1 on COM3 [not connected]

Humedad Ahora

Buscar

23:55

ESP LAA

25/11/2025

Grupo 10

**¡MUCHAS
GRACIAS!**

