



**Departamento de Eléctrica, Electrónica y  
Telecomunicaciones**

**Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y  
Control**

**Tema: “Diseño e implementación de una plataforma  
multisensado portátil de variables ambientales y fisiológicas”**

**Autor: Gustavo Andrés Ruiz Tello**

**Director: Ing. Andrés Ricardo Arcentales Viteri**

**Sangolquí**

**2020**

# AGENDA

- 
- 1.- Planteamiento del problema de investigación
  - 2.- Dispositivo de registro fisiológico
  - 3.- Dispositivo de registro ambiental
  - 4.- Integración del sistema
  - 5.- Pruebas y Resultados
  - 6.- Conclusiones y Recomendaciones

Los problemas de contaminación atmosférica han influido en los cambios climáticos, así como en la salud de las personas

Efectos a corto y largo plazo que la contaminación atmosférica puede provocar en la salud.



- Fenómenos meteorológicos extremos.
- Brotes de enfermedades Infecciosas.
- Aumento de enfermedades no transmisibles.



- **Objetivo General**

Diseñar e implementar una plataforma multisensado móvil de variables ambientales y fisiológicas.

- **Objetivos Específicos**

- Diseñar e implementar el sistema para la medición y adquisición de las variables medio ambientales de temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, iluminancia, radiación UV, nivel de ruido, campo magnético y concentración de CO<sub>2</sub>.
- Comparar los sensores medioambientales acondicionados con los sensores provistos por dispositivos móviles y sistemas comerciales.
- Rediseñar el prototipo portátil de electrocardiograma para la medición simultánea de ECG, flujo respiratorio, temperatura cutánea y movimiento corporal.
- Diseñar una aplicación Android que permita el almacenamiento y visualización de las variables medioambientales y fisiológicas.
- Analizar estadísticamente la relación entre la caracterización de las variables medio ambientales y fisiológicas en personas dentro del Campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

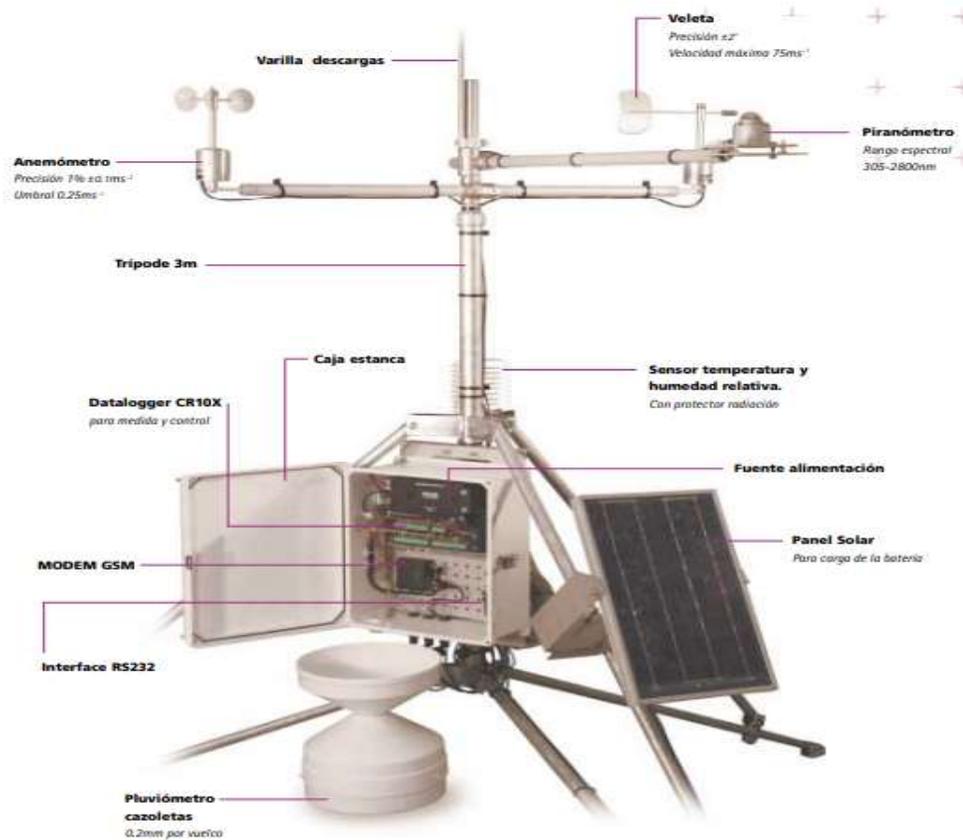
# 3. Estado del Arte

## DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DE FISIOLÓGICO



# 3. Estado del Arte

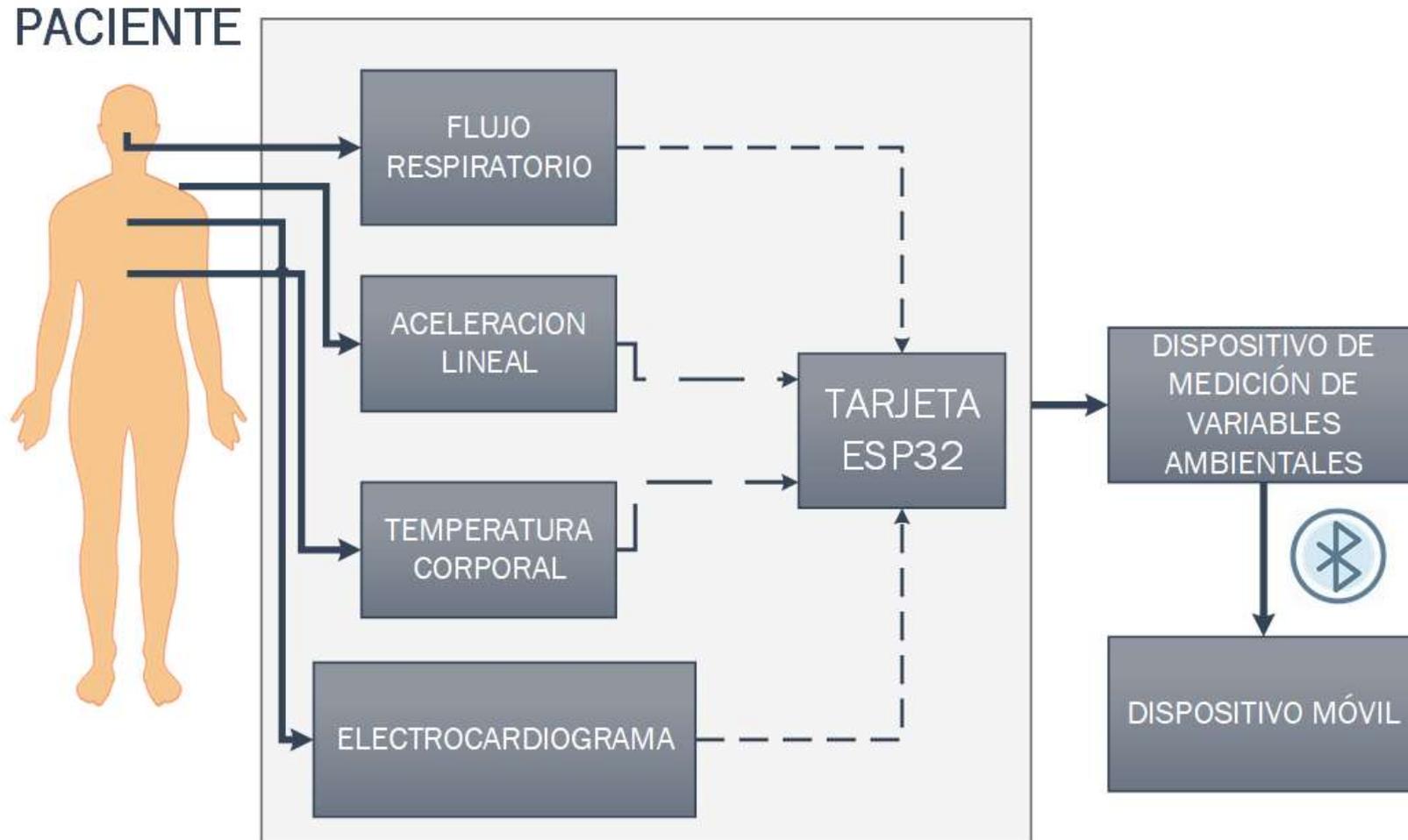
## DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN AMBIENTAL



## DISPOSITIVOS INTEGRADOS

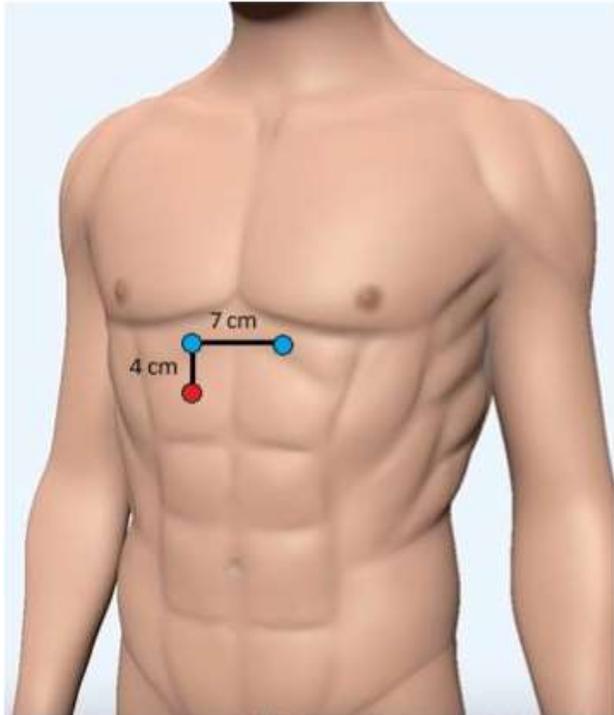


## DISPOSITIVO DE REGISTRO FISIOLÓGICO



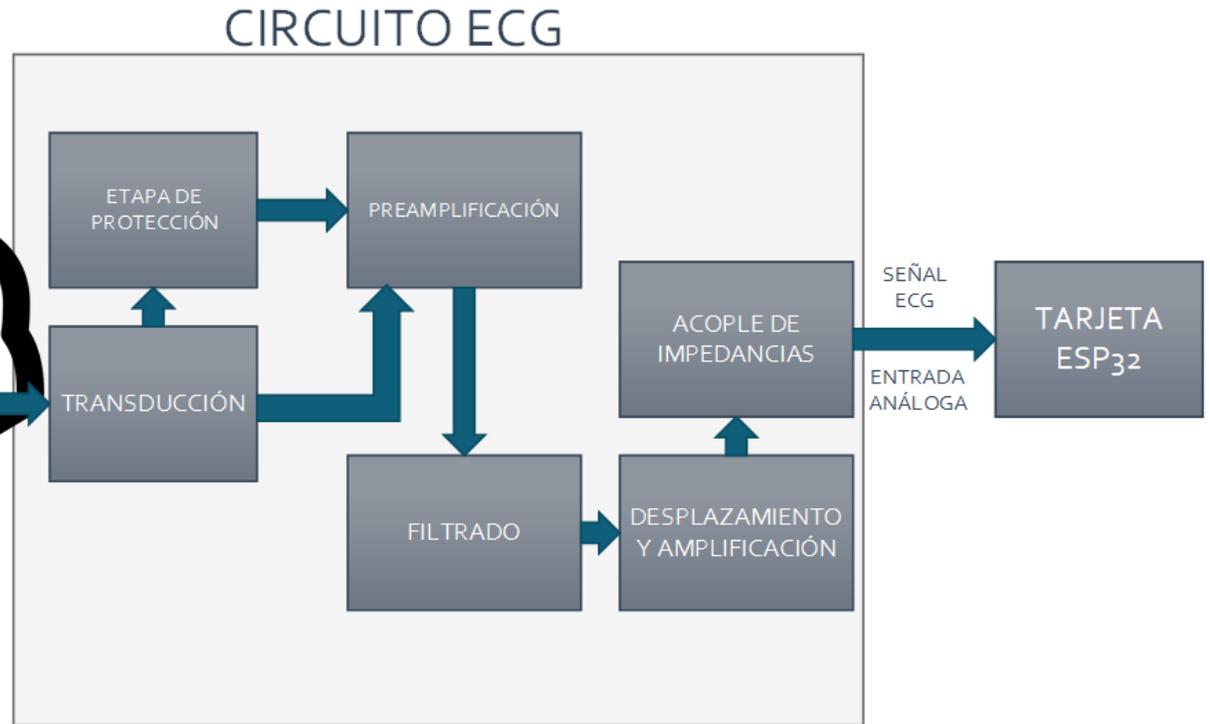
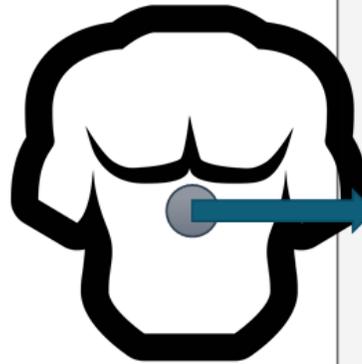
# 4. Diseño e Implementación

## SISTEMA DE ADQUISICIÓN ECG

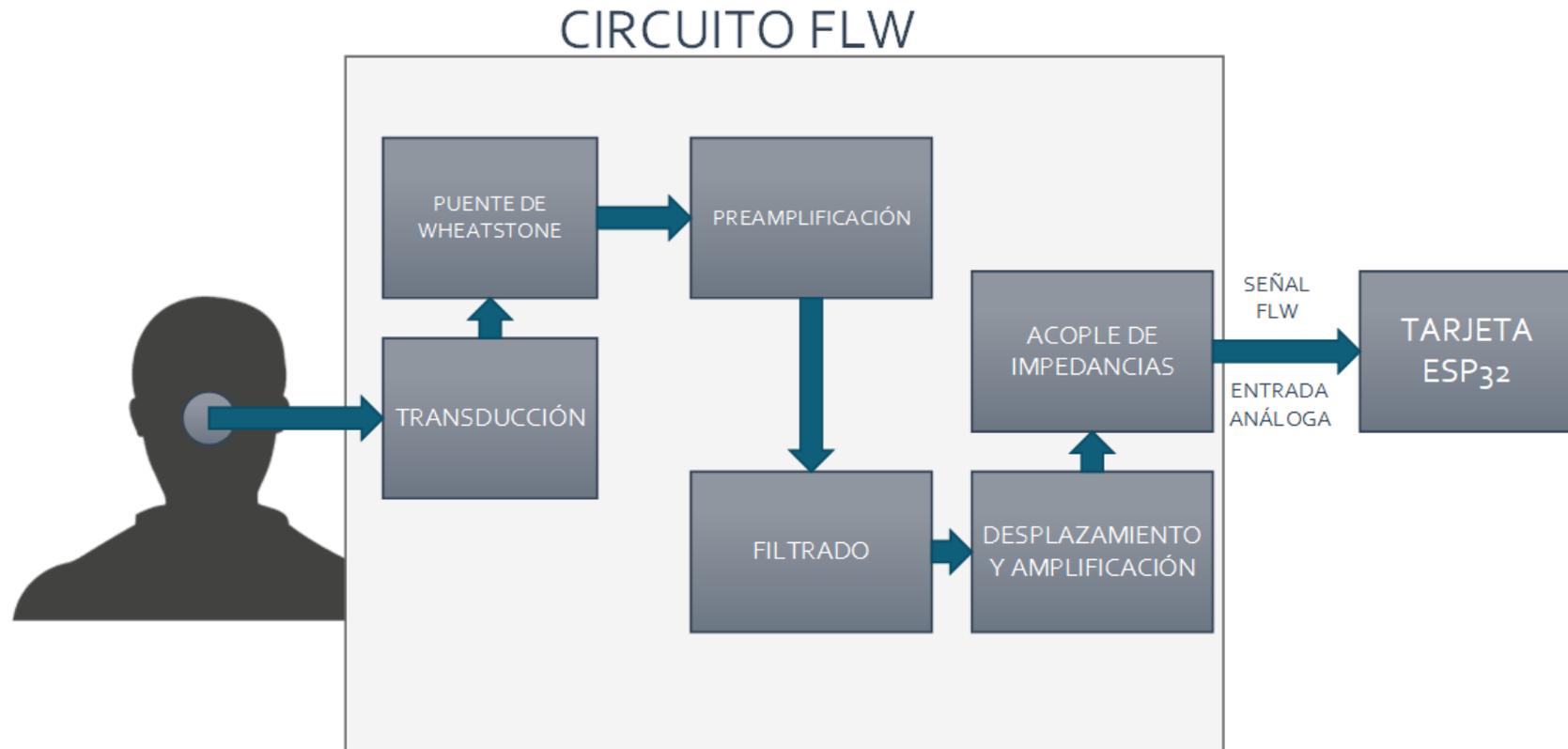


● Electrodo en configuración bipolar

● Electrodo de referencia



## SISTEMA DE ADQUISICIÓN FLW



# 4. Diseño e Implementación

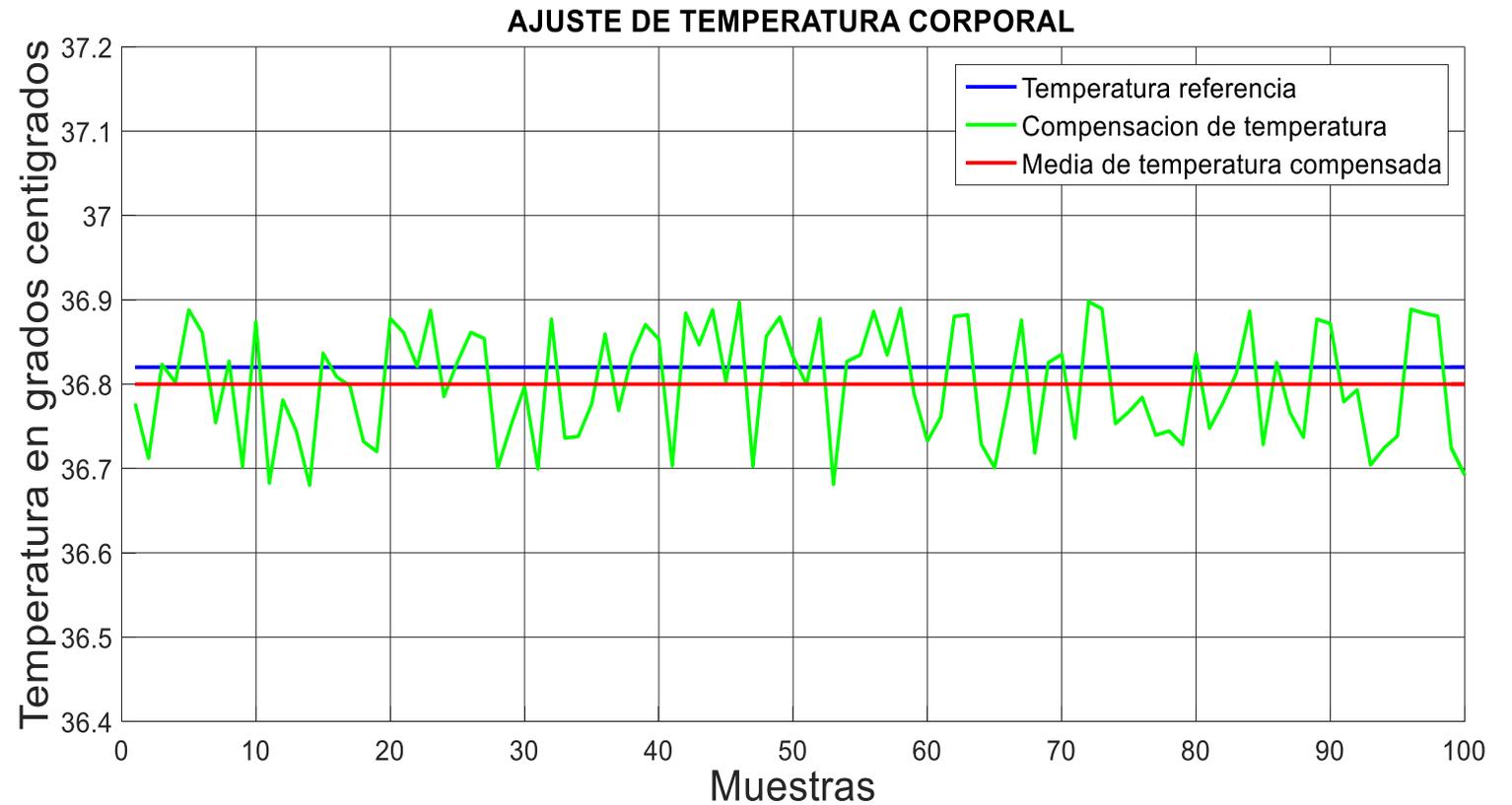
## SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE MOVIMIENTO CORPORAL



Pruebas		Medición de Sensores (m/s <sup>2</sup> )		% Error (%)
		BNO055	Dispositivo móvil	
Prueba 1	Reposo	0.18	0.22	18.18
	Mov. Lento	0.51	0.45	13.33
	Mov. Rápido	2.29	2.21	3.61
Prueba 2	Reposo	0.20	0.15	33.33
	Mov. Lento	0.74	0.83	10.84
	Mov. Rápido	2.03	2.08	2.40
Prueba 3	Reposo	0.27	0.30	10.00
	Mov. Lento	0.55	0.52	6.00
	Mov. Rápido	1.92	1.86	3.22
Prueba 4	Reposo	0.19	0.24	20.83
	Mov. Lento	0.44	0.48	8.33
	Mov. Rápido	1.69	1.73	2.31
Prueba 5	Reposo	0.21	0.18	16.67
	Mov. Lento	0.62	0.63	1.58
	Mov. Rápido	2.10	2.14	1.87

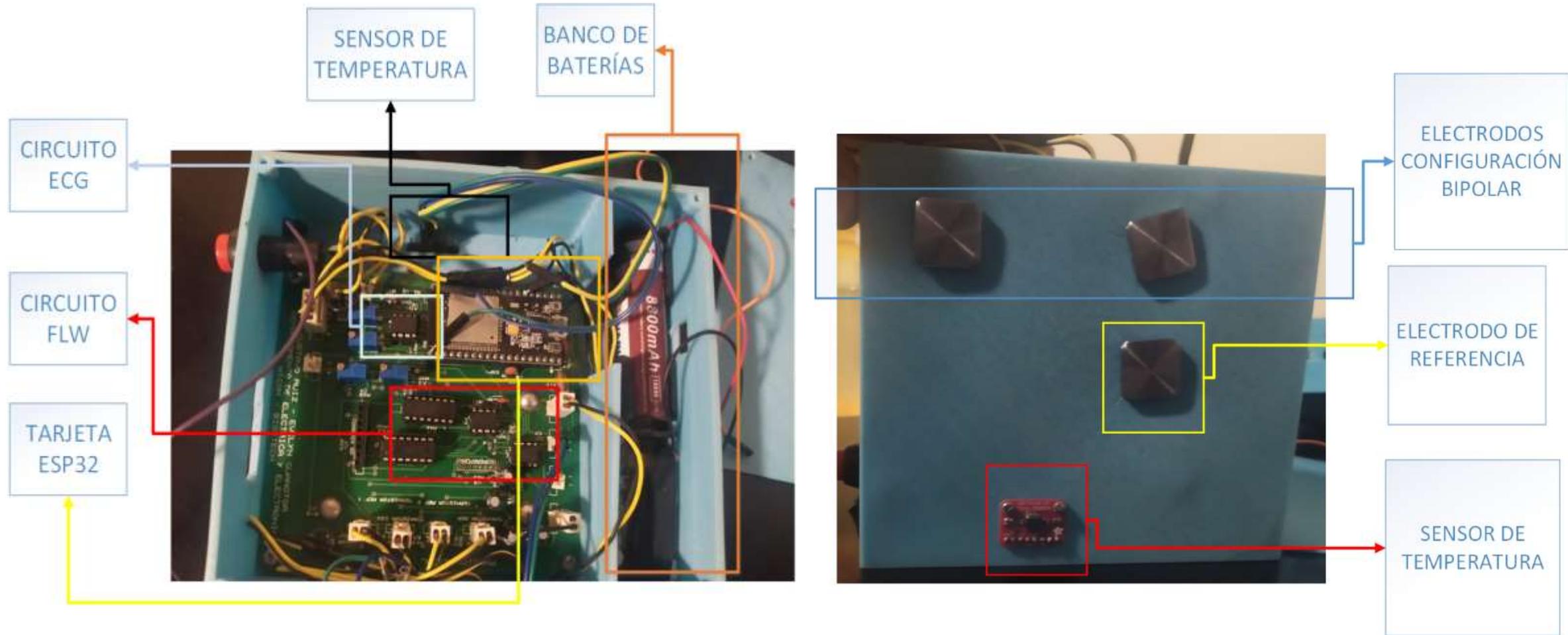
# 4. Diseño e Implementación

## SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE TEMPERATURA CORPORAL

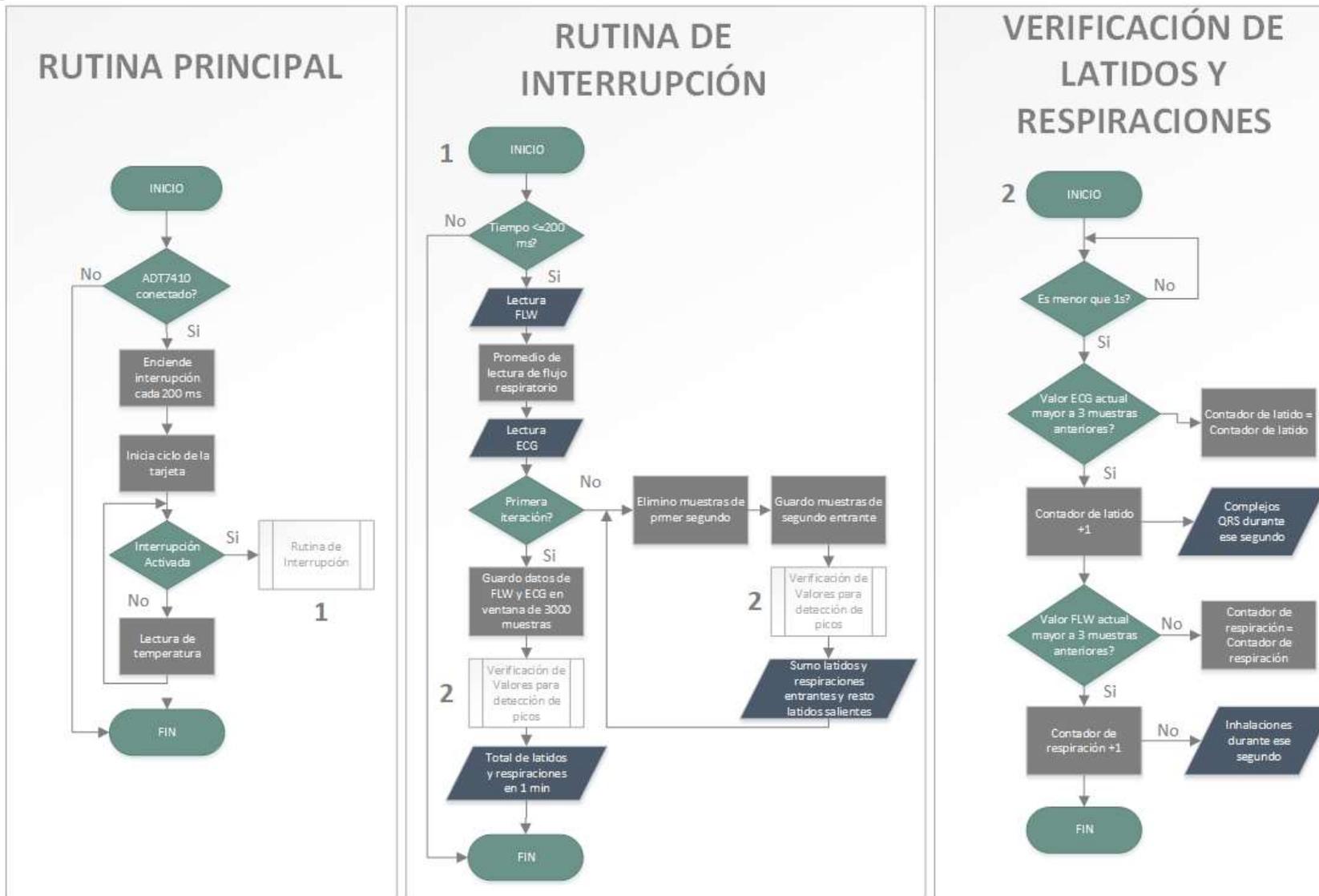


# 4. Diseño e Implementación

## DISPOSITIVO DE REGISTRO FISIOLÓGICO INTEGRADO

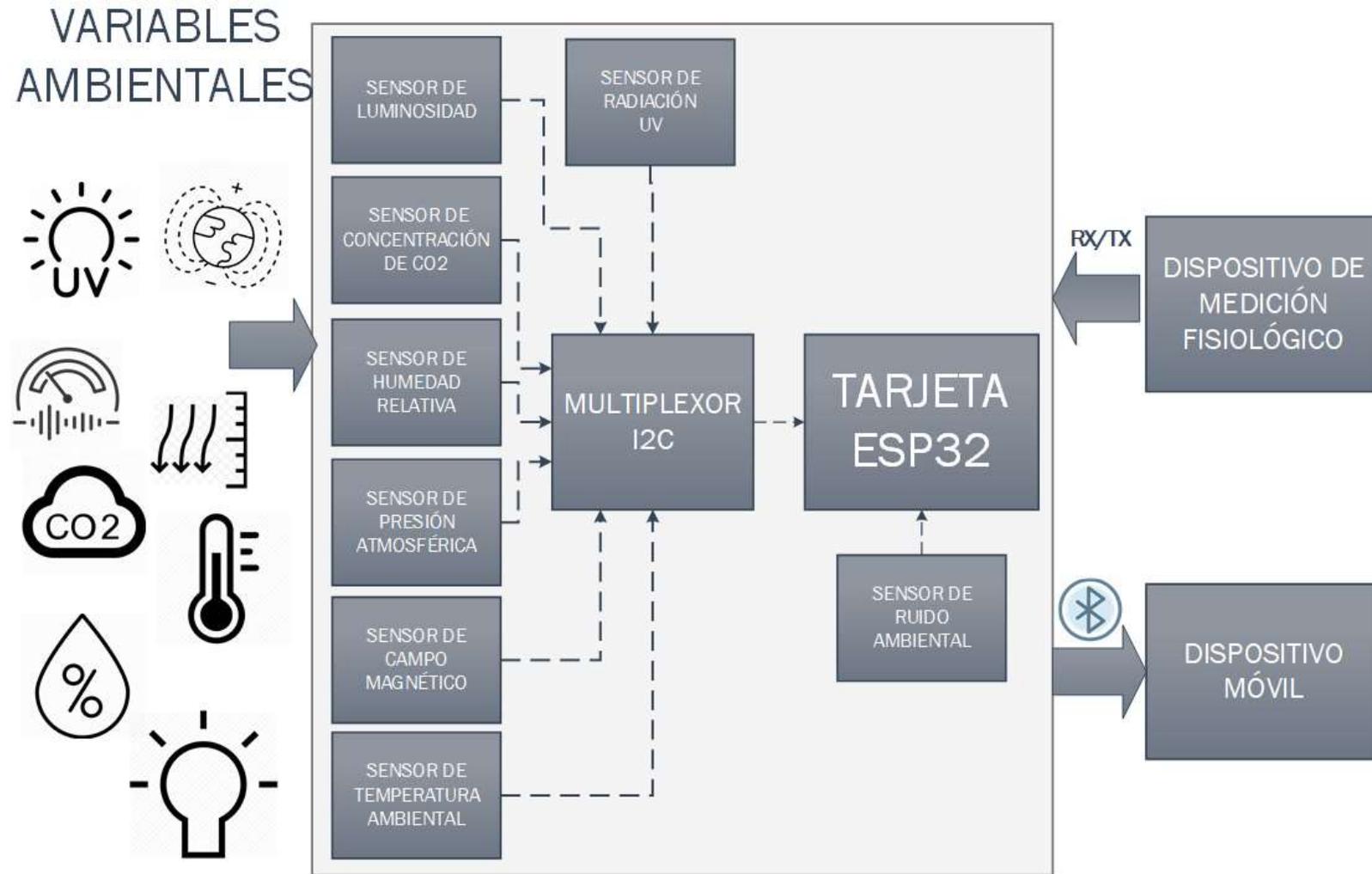


## ALGORITMO DEL DISPOSITIVO



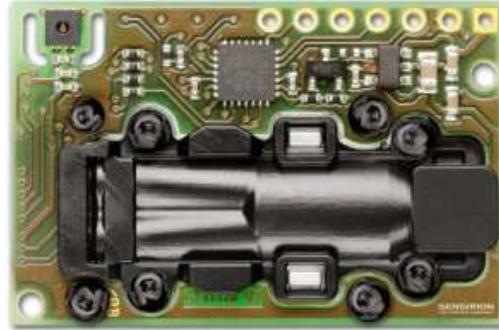
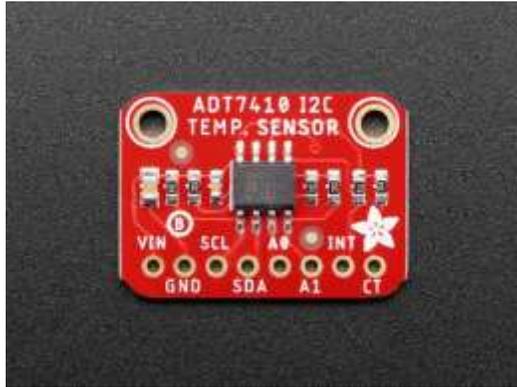
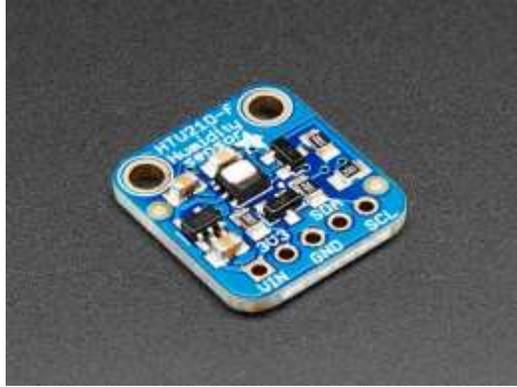
# 4. Diseño e Implementación

## DISPOSITIVO DE REGISTRO AMBIENTAL



# 4. Diseño e Implementación

## SENSORES DE TEMPERATURA



Pruebas	Medidas (°C)		% Error (%)	
	Promedio de Medición	Referencia		
Día 1	HTU21D-F	21.57	21.6	0.13
	ADT7410	21.83	21.6	1.06
	SCD30	22.78	21.6	5.46
Día 2	HTU21D-F	20.68	20.8	0.57
	ADT7410	21.32	20.8	2.5
	SCD30	22.94	20.8	10.28
Día 3	HTU21D-F	21.25	21.3	0.23
	ADT7410	21.56	21.3	1.22
	SCD30	23.12	21.3	8.54
Día 4	HTU21D-F	19.66	19.6	0.30
	ADT7410	20.15	19.6	2.80
	SCD30	22.62	19.6	15.40
Día 5	HTU21D-F	21.46	21.5	0.18
	ADT7410	21.81	21.5	1.44



# 4. Diseño e Implementación

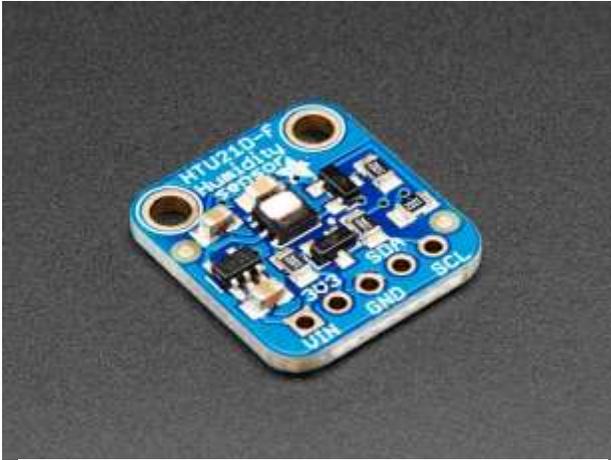
## SENSOR DE PRESIÓN



Pruebas	Medición de Sensores (hPa)		% Error (%)
	MPL3115A2	Referencia	
Día 1	760.82	760.9	0.01
Día 2	756.15	756.2	0.007
Día 3	754.63	754.6	0.03
Día 4	762.08	762.1	0.002
Día 5	758.32	758.4	0.01

# 4. Diseño e Implementación

## SENSORES DE HUMEDAD



Pruebas	Medidas (% HR)		% Error (%)	
	Promedio de Medición	Referencia		
Día 1	HTU21D-F	47.45	47.53	0.17
	SCD30	46.82	47.53	1.49
Día 2	HTU21D-F	41.02	40.85	0.42
	SCD30	39.31	40.85	3.76
Día 3	HTU21D-F	33.18	33.26	0.24
	SCD30	35.46	33.26	6.6
Día 4	HTU21D-F	36.53	36.48	0.13
	SCD30	34.12	36.48	6.46
Día 5	HTU21D-F	41.70	41.74	0.1
	SCD30	40.98	41.74	1.82

# 4. Diseño e Implementación

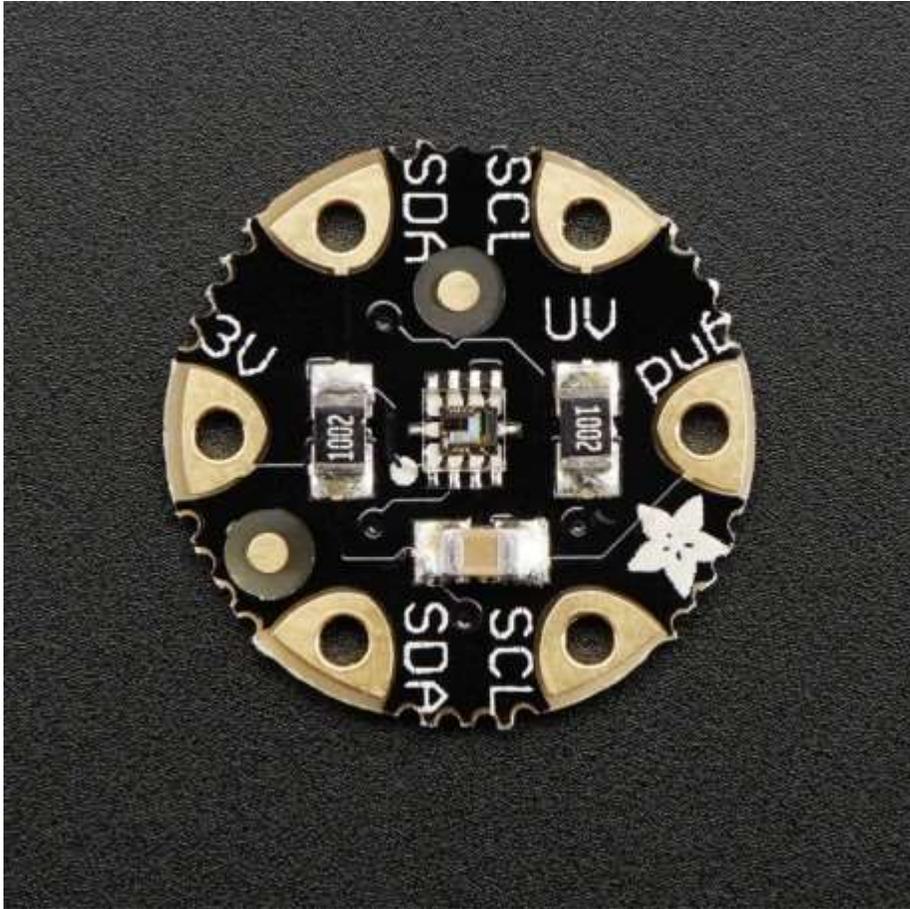
## SENSOR DE ÍNDICE UV



Pruebas	Medición de Sensores		% Error (%)
	VELM6075	Referencia	
Día 1	8	8	0 %
Día 2	7	7	0 %
Día 3	8	8	0 %
Día 4	9	9	0 %
Día 5	8	8	0 %

# 4. Diseño e Implementación

## SENSOR DE LUMINOSIDAD



Pruebas		Medición de Sensores (Lx)		% Error (%)
		SI1145	Dispositivo móvil	
Prueba 1	Con iluminación	70.53	74	4.69
	Sin iluminación	13.28	12	10.67
Prueba 2	Con iluminación	71.77	72	0.319
	Sin iluminación	25.36	28	9.42
Prueba 3	Con iluminación	85.92	83	3.51
	Sin iluminación	17.89	17	5.23
Prueba 4	Con iluminación	70.63	71	0.52
	Sin iluminación	14.32	15	4.53
Prueba 5	Con iluminación	76.48	75	1.97
	Sin iluminación	22.47	23	2.3

# 4. Diseño e Implementación

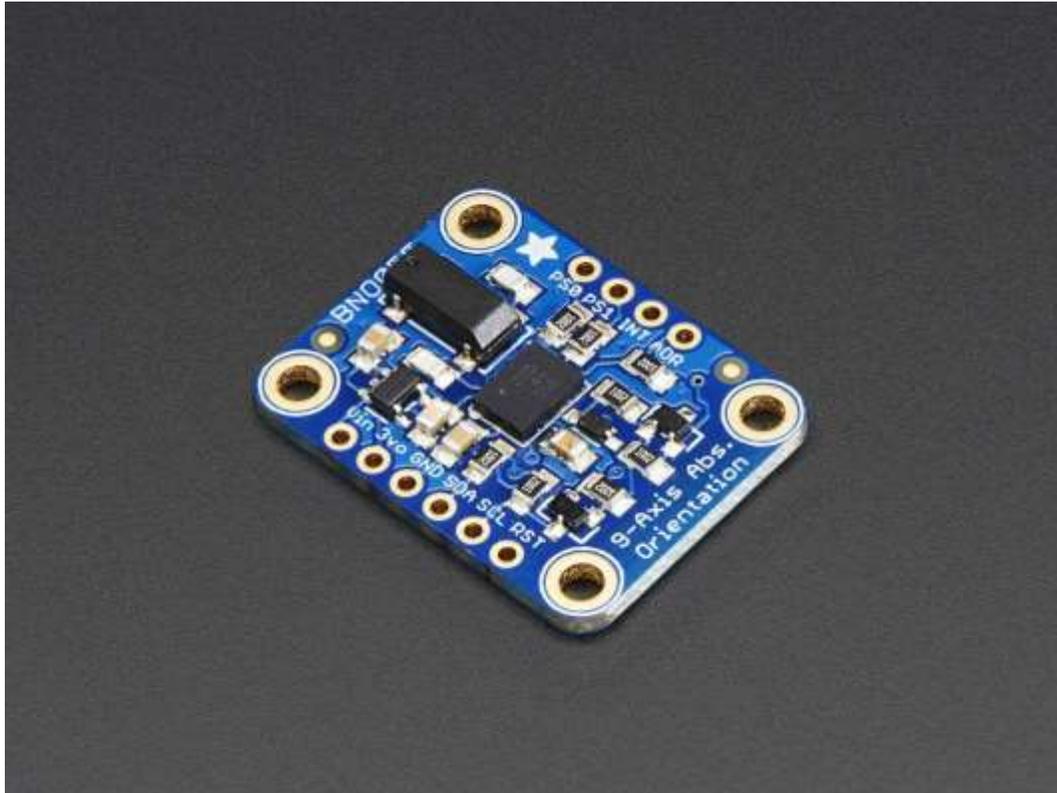
## SENSOR DE RUIDO



Pruebas		Medición de Sensores (dB)		% Error (%)
		SoundDetector	Dispositivo móvil	
Prueba 1	Sin Ruido	42.36	43	1.48
	Música Ambiente	53.28	55	3.13
Prueba 2	Sin Ruido	40.96	43	4.74
	Música Ambiente	57.19	58	1.39
Prueba 3	Sin Ruido	42.58	42	1.38
	Música Ambiente	53.75	55	2.27
Prueba 4	Sin Ruido	41.28	40	3.2
	Música Ambiente	51.12	50	2.24
Prueba 5	Sin Ruido	45.68	45	1.51
	Música Ambiente	51.33	52	1.28

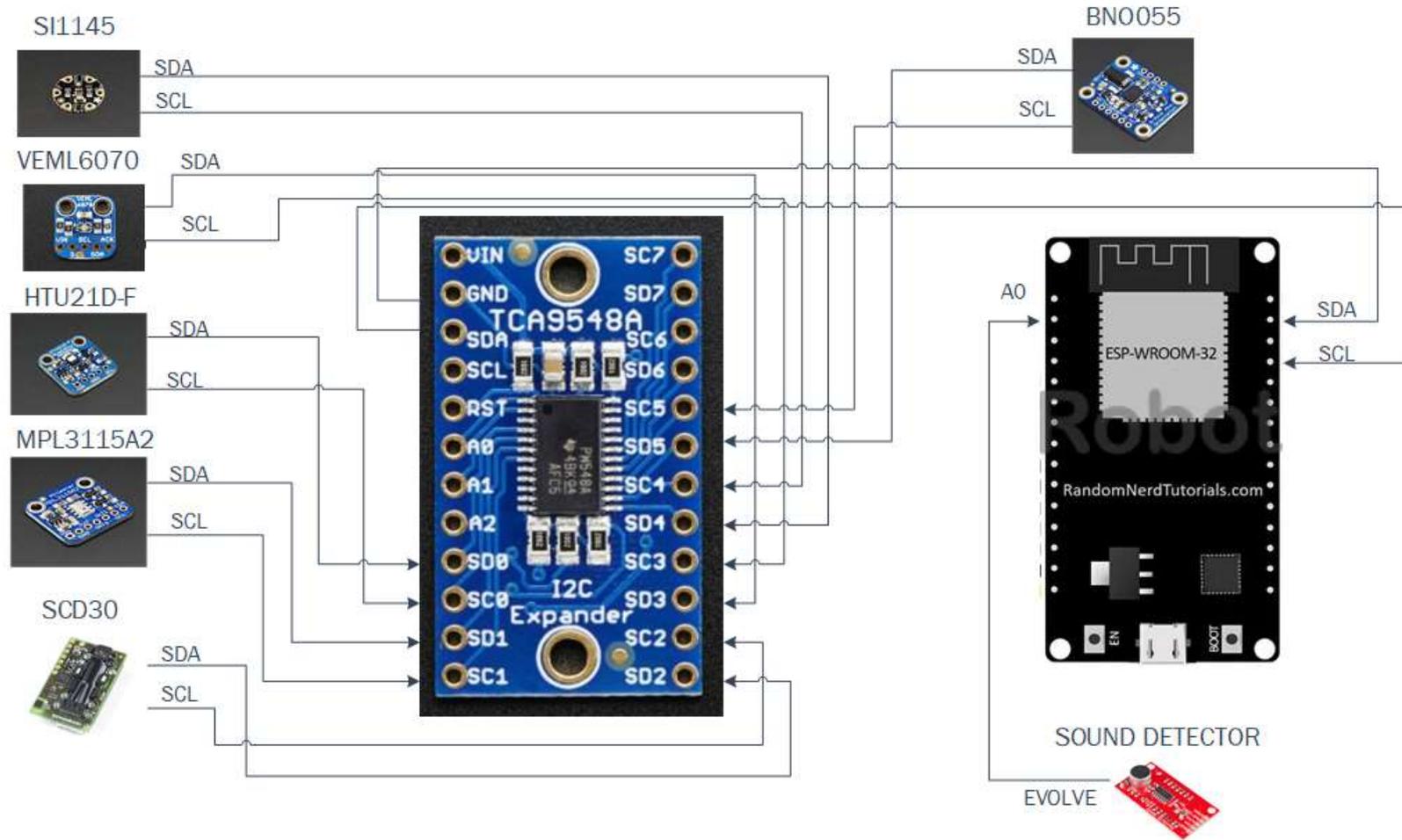
# 4. Diseño e Implementación

## SENSOR DE CAMPO MAGNÉTICO



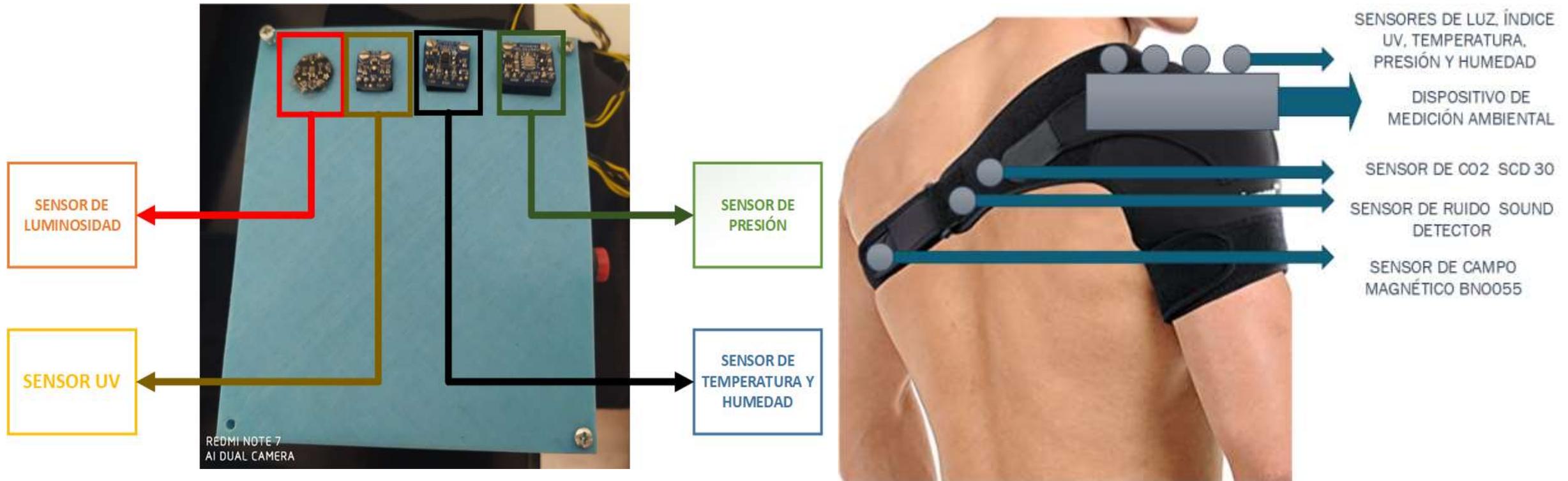
Pruebas	Medición de Sensores		% Error (%)
	BNO055	Referencia	
Día 1	30.28	31	2.32
Día 2	29.56	28	5.57
Día 3	32.45	33	1.67
Día 4	30.69	31	1.00
Día 5	28.93	30	3.57

## DISPOSITIVO DE REGISTRO FISIOLÓGICO INTEGRADO

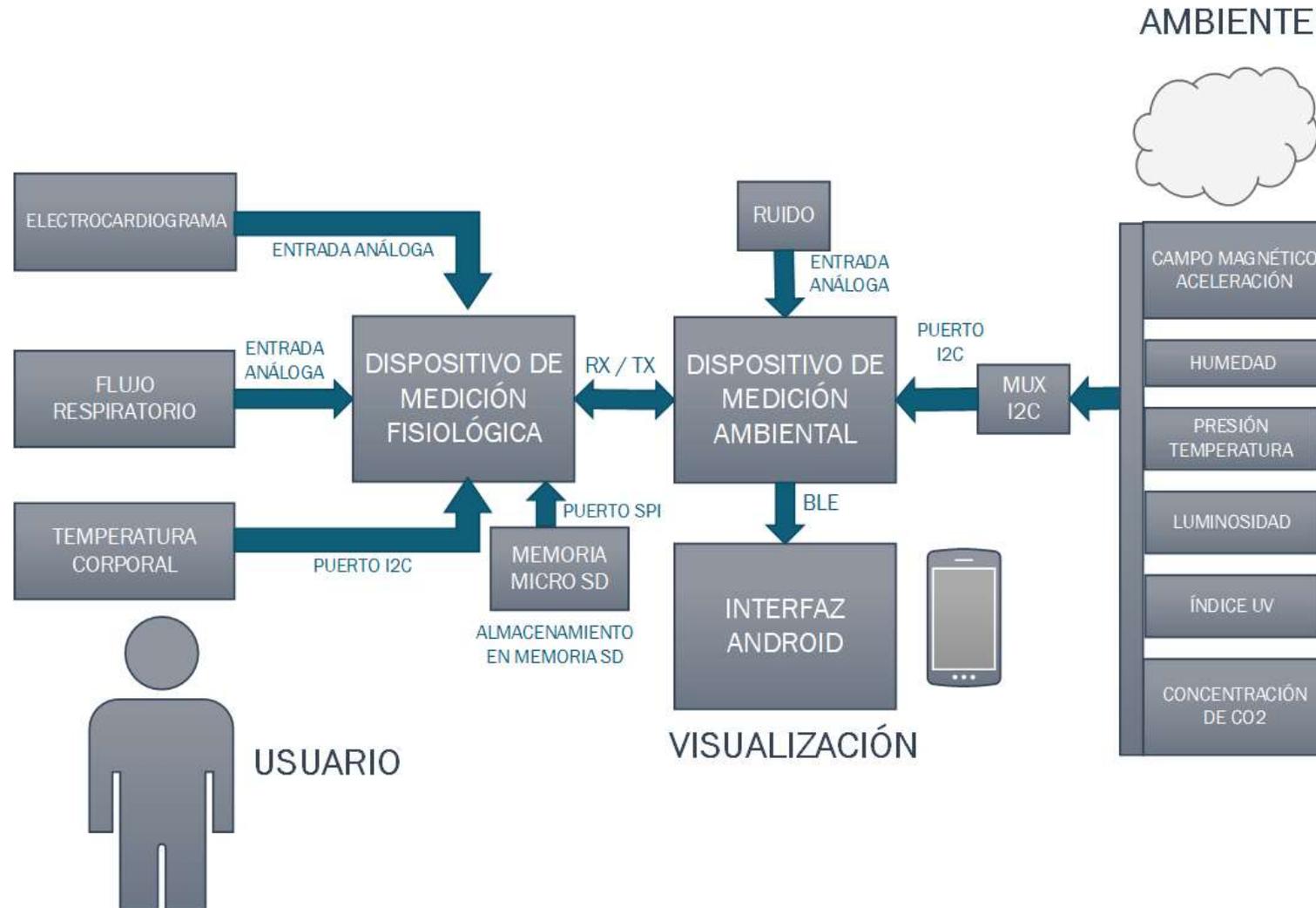


# 4. Diseño e Implementación

## DISPOSITIVO DE REGISTRO FISIOLÓGICO INTEGRADO



## INTEGRACIÓN DE LA PLATAFORMA



## COMUNICACIÓN ENTRE DISPOSITIVOS

Temperatura, Humedad, Presión, CO2, Luz, Índice UV, Ruido, Campo magnético, Aceleración lineal, temperatura corporal, latidos por minuto, respiraciones por minuto

Temperatura, Humedad, Presión, CO2, Luz, Índice UV, Ruido, Campo magnético, Aceleración lineal,



## APLICACIÓN MÓVIL



IMAGEN PRINCIPAL

ANIMACIÓN DE CARGA

TEXTO DE REFERENCIA

DATOS DEL DESARROLLADOR

BOTÓN DE CONEXIÓN BLUETOOTH AL SISTEMA

REFERENCIA DE UBICACIÓN

BOTÓN PARA VISUALIZACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES



TÍTULO

MAPA DE UBICACIÓN ACTUAL

LATITUD Y LONGITUD ACTUAL

BOTÓN PARA VISUALIZACIÓN DE VARIABLES FISIOLÓGICAS

## APLICACIÓN MÓVIL



## APLICACIÓN MÓVIL

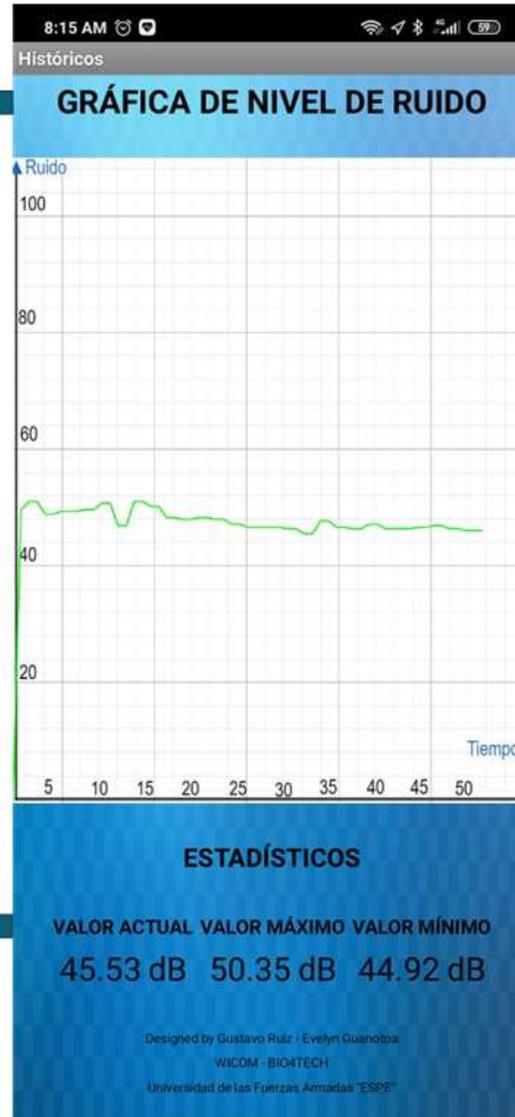


## APLICACIÓN MÓVIL



## APLICACIÓN MÓVIL

TÍTULO Y NOMBRE DE LA VARIABLE OBSERVADA



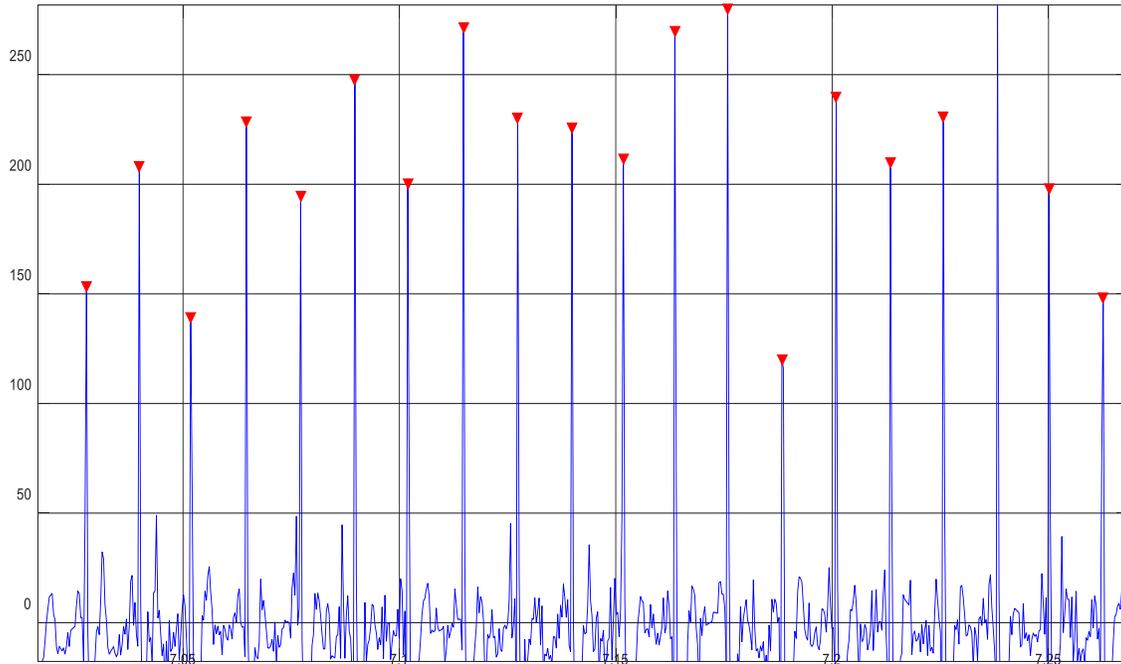
ESCALA Y TRAZO DE LA GRÁFICA DEPENDIENTE DE LA VARIABLE OBSERVADA

VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y VALOR ACTUAL

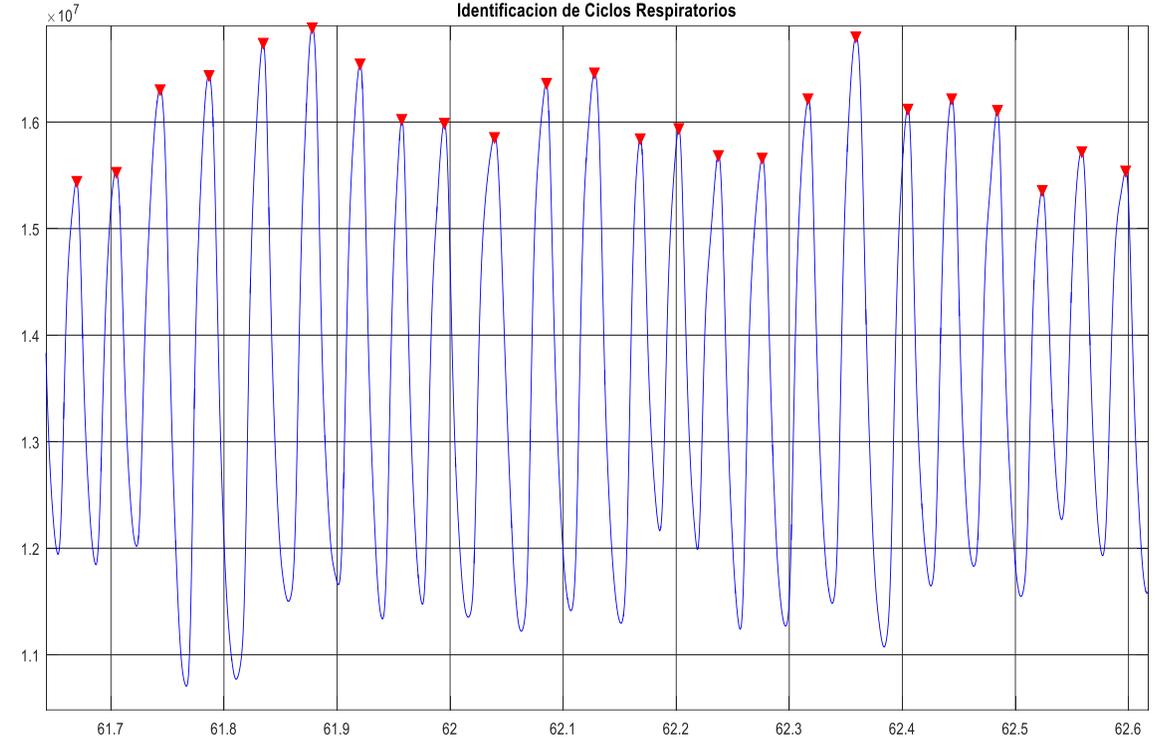
DATOS DEL DESARROLLADOR

## PROCESAMIENTO DIGITAL

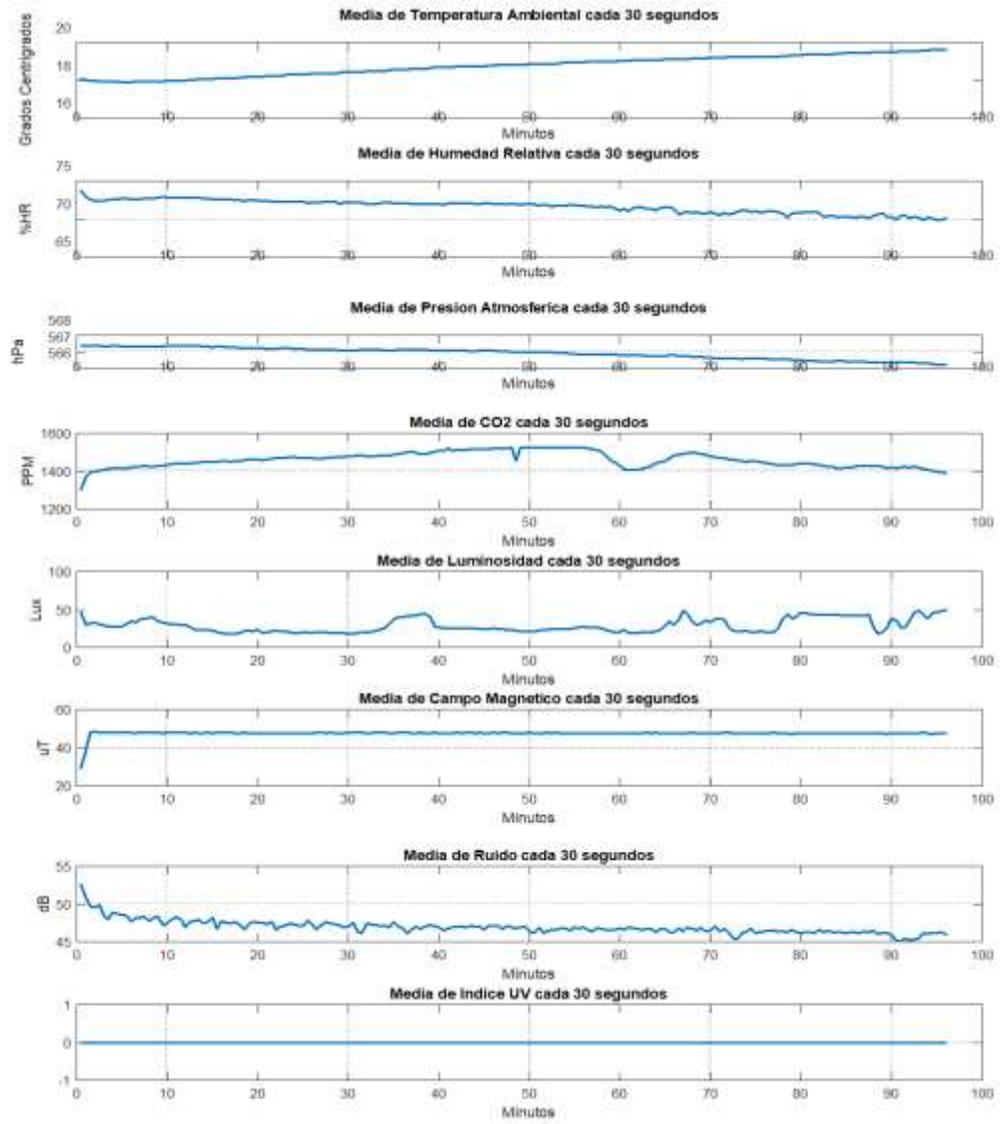
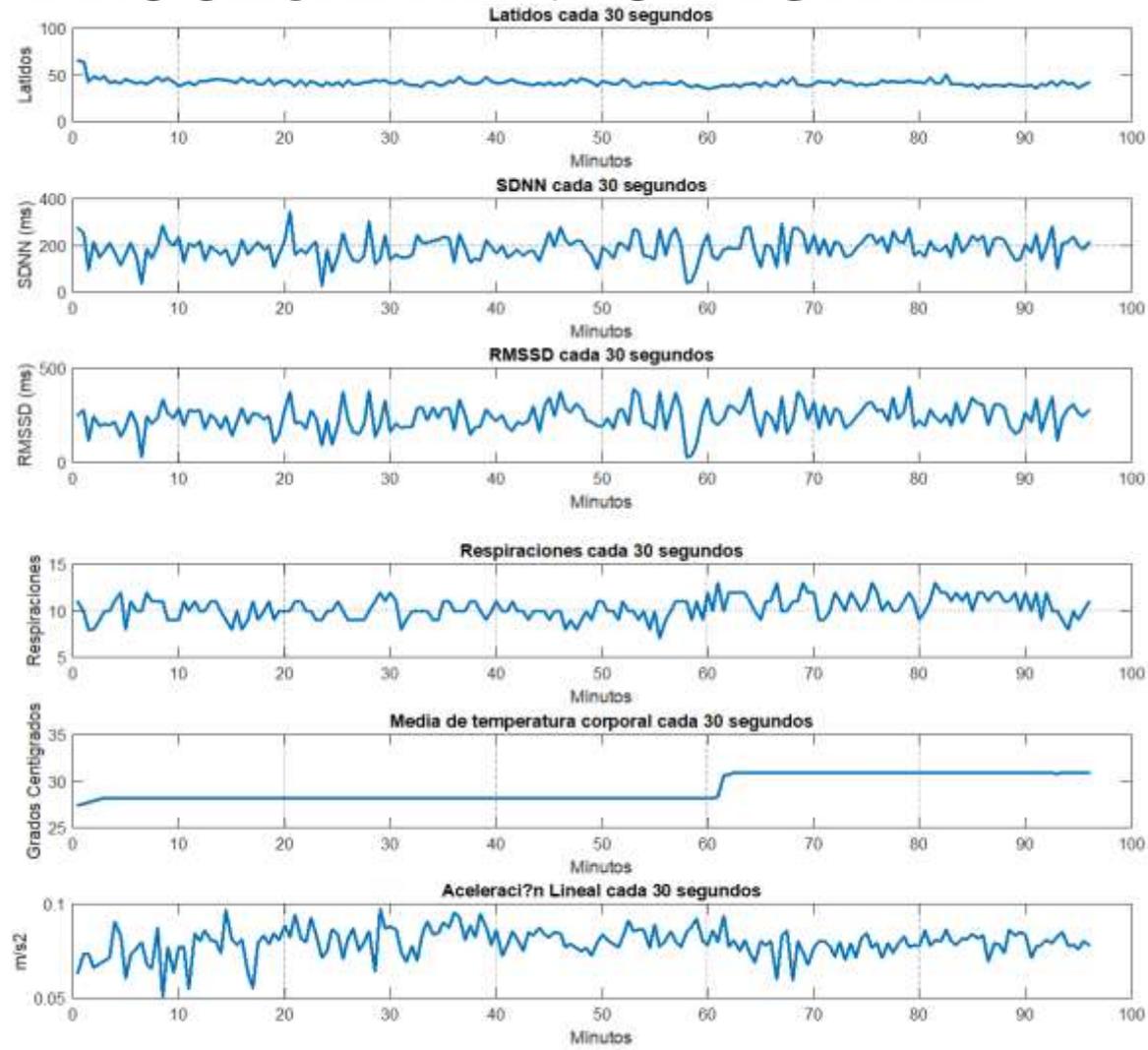
Complejos QRS de Cada Latido



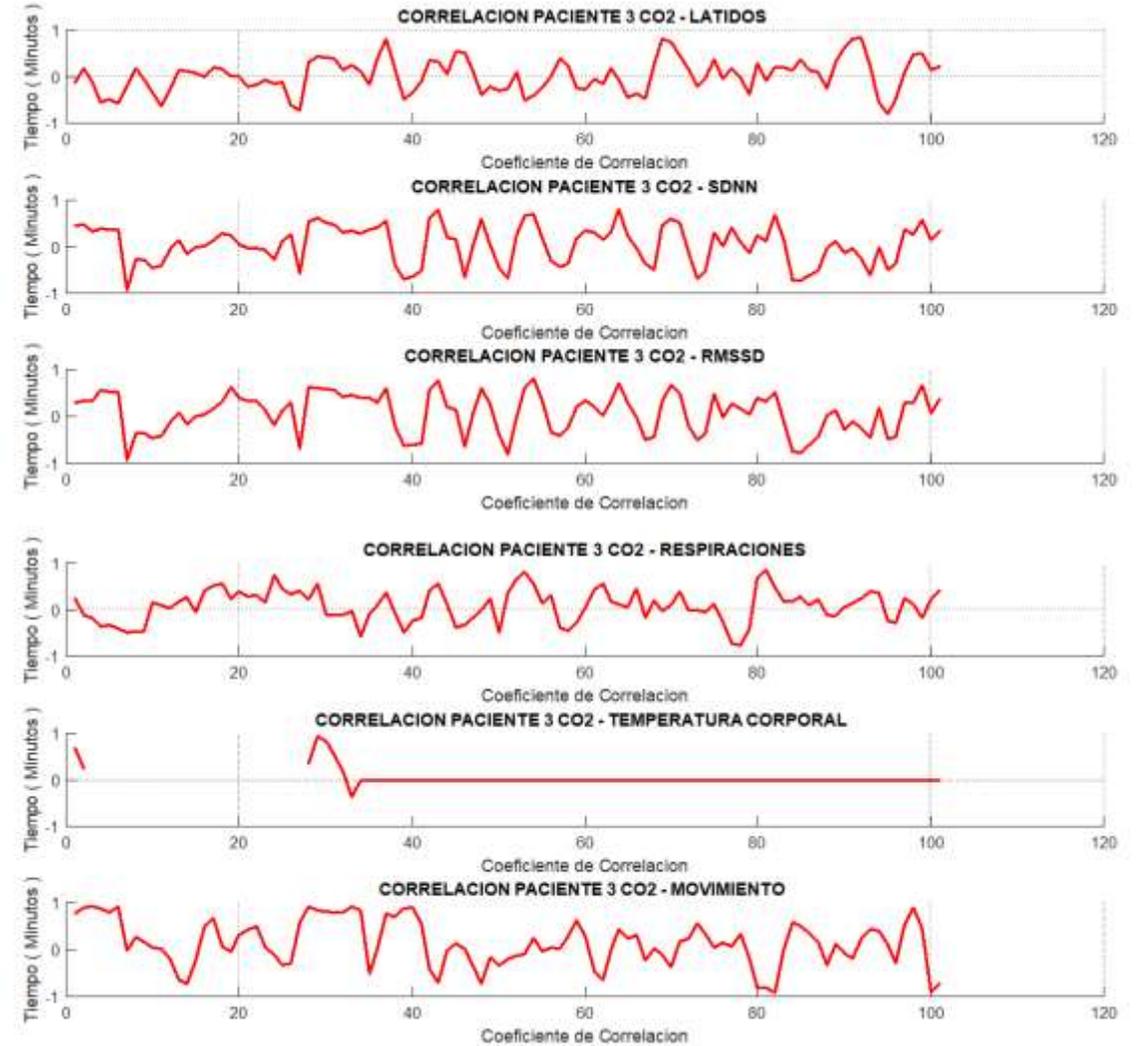
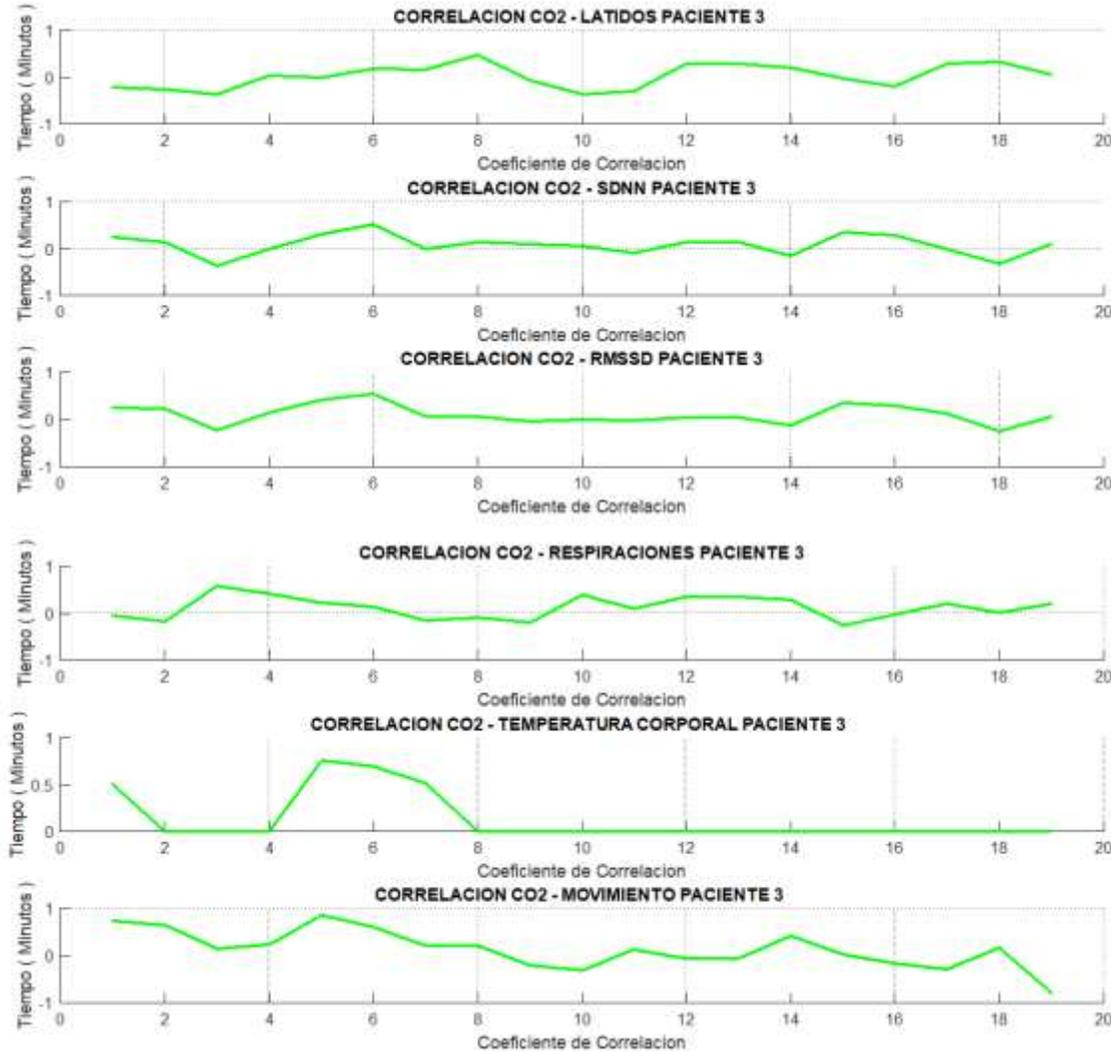
Identificación de Ciclos Respiratorios



## PROCESAMIENTO DIGITAL



## PRUEBAS DE CORRELACIÓN



## PRUEBAS DE CORRELACIÓN

VARIABLES	BPM	SDNN	RMSSD	RPM	T. CORP	MOV
TEMPERATURA AMBIENTAL	-0,2338 ± 0,2468	0,1075 ± 0,0904	0,1043 ± 0,0869	0,0826 ± 0,0794	0,6692 ± 0,3828	-0,1779 ± 0,2849
HUMEDAD RELATIVA	0,2247 ± 0,2766	-0,0795 ± 0,1115	-0,0777 ± 0,1088	-0,0828 ± 0,1063	-0,603 ± 0,5224	0,1280 ± 0,3389
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	-0,01184 ± 0,3305	0,0382 ± 0,1252	0,0494 ± 0,1145	-0,0098 ± 0,1212	0,1092 ± 0,7114	-0,0765 ± 0,1814
LUMINOSIDAD	0,0190 ± 0,0601	0,0925 ± 0,0861	0,0798 ± 0,1034	0,0219 ± 0,0781	0,3489 ± 0,2850	0,0834 ± 0,3805
ÍNDICE UV	-0,0583 ± 0,0375	0,0315 ± 0,0481	0,0170 ± 0,0562	0,0325 ± 0,0829	0,1115 ± 0,0670	0,3026 ± 0,0359
CONCENTRACIÓN DE CO <sub>2</sub>	-0,0916 ± 0,2256	0,0457 ± 0,1799	0,0502 ± 0,1442	-0,0401 ± 0,1306	0,2363 ± 0,4591	-0,1355 ± 0,2229
CAMPO MAGNÉTICO	-0,0258 ± 0,2255	-0,0872 ± 0,0806	-0,0624 ± 0,0899	-0,0359 ± 0,0959	-0,2050 ± 0,2910	-0,0567 ± 0,1912
NIVEL DE RUIDO	0,1164 ± 0,2385	-0,0913 ± 0,0957	-0,0617 ± 0,0808	-0,023 ± 0,1301	-0,1558 ± 0,4196	0,0397 ± 0,2228

- Para el presente trabajo de investigación, se diseñó e implementó una plataforma de registro de variables ambientales y fisiológicas compuesta por dos dispositivos interconectados mutuamente. Las señales que se registran en el sistema conjunto son: electrocardiograma (ECG), flujo respiratorio (FLW), temperatura y movimiento corporal, temperatura ambiental, humedad relativa, presión atmosférica, concentración de CO<sub>2</sub>, índice UV, luminancia, campo magnético y nivel de ruido.
- Para el registro de temperatura corporal se utilizó el sensor ADT7410. El sensor registra la temperatura en el pecho de cada paciente por lo que se realizó una calibración de las medidas con un termómetro comercial. Se realizó un ajuste de 3.64°C a las medidas tomadas del pecho obteniendo un error de 0.1% con las medidas del termómetro comercial.

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

- Para el dispositivo de medición ambiental se seleccionaron algunos sensores y se los comparó con la referencia proporcionada por las estaciones meteorológicas municipales para el caso de las variables de temperatura, presión, humedad e índice UV obteniendo como resultados una diferencia de 0.28 % y un error cuadrático medio de 0.0046 para el sensor HTU21DF en las medidas de temperatura; una diferencia promedio de 0.28 % y un error cuadrático medio de 0.0046 para el sensor MPL3115A2 en las medidas de presión atmosférica; una diferencia promedio de 0.21% y un error cuadrático medio de 0.0092 para el sensor HTU21DF en las medidas de humedad relativa y finalmente una diferencia de 0% para el sensor VEML6070 en las mediciones de índice UV comprobando que los sensores entregan una medida muy cercana a la real.

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

- Para las variables de luminosidad, campo magnético y ruido ambiental se comprobaron las medidas entregadas por los sensores seleccionados utilizando diferentes aplicaciones móviles. En estas validaciones se obtuvieron como resultados una diferencia promedio de 4.32 % y un error cuadrático medio de 3.3 para las medidas de luminosidad; una diferencia promedio de 2.26 % y un error cuadrático medio de 1.38 para las medidas de campo magnético y una diferencia promedio de 2.83% con un error cuadrático medio de 0.8991 para las medidas de ruido ambiental comprobando que los tres sensores seleccionados entregan medidas muy parecidas a la referencia de los aplicativos móviles respectivos.
- Se debe tomar en cuenta que estas aplicaciones no son referencias calibradas como dispositivos especializados para la medida de cada una de las variables, sin embargo, se tomó como correctas estas validaciones debido a la falta de equipos que permitan la calibración de estos sensores.

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

- Algunos de los sensores requirieron ser colocados en diferentes lugares para que no existan perturbaciones al momento de tomar las medidas de sus variables. Esto se tomó en cuenta debido a que existe la posibilidad que se pueda generar medidas erróneas al momento de que el usuario realiza acciones como el habla, respiración o simplemente por la inducción de corriente que pueden causar las baterías.
- Para realizar las pruebas del sistema en conjunto y lograr obtener una base de datos que permita analizar las correlaciones que podrían existir entre las variables medioambientales y fisiológicas se seleccionó un grupo de 8 estudiantes, de sexo masculino y una edad de entre 23 a 26 años. Únicamente fueron seleccionadas personas de sexo masculino debido a que el dispositivo de medición fisiológico requiere estar en contacto directo con el pecho del paciente y resultaba ser muy incómodo la colocación a las mujeres.

- Con los valores obtenidos en el procesamiento de los datos se formaron las matrices para el cálculo de los coeficientes de correlación de Pearson. Se observó que la mayor correlación existente fue la obtenida entre la temperatura corporal y temperatura ambiental con una media de 0,6692. Por otro lado, se obtuvieron medidas interesantes en los datos de humedad relativa y latidos por minuto con una correlación promedio de 0,2247, luminosidad y temperatura corporal con una correlación promedio de 0,35; y concentración de CO<sub>2</sub> y temperatura corporal con una correlación promedio de 0,2363.

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

- Se realizaron dos pruebas adicionales con el fin de observar los niveles de correlación para rangos temporales más pequeños y analizar estos valores de correlación a lo largo del tiempo. En todas las matrices obtenidas para ambos casos, no se observaron valores de correlación que permitan concluir que alguna de las variables fisiológicas esté relacionada con las variables medioambientales.
- Se recomienda generar una base de datos con mayor número de pacientes y mejorar la autonomía del dispositivo para poder tomar una mayor cantidad de muestras durante el día. Adicional, se recomienda que los sujetos de prueba presenten una mayor similitud en las actividades cotidianas, o establecer un protocolo para someter a los sujetos de prueba a estímulos ambientales iguales para generar una nueva base de datos.

Gracias