

# **LAB 2 - Procesado de señal con ADC**

---

**Sistemes Encastats i Ubics**

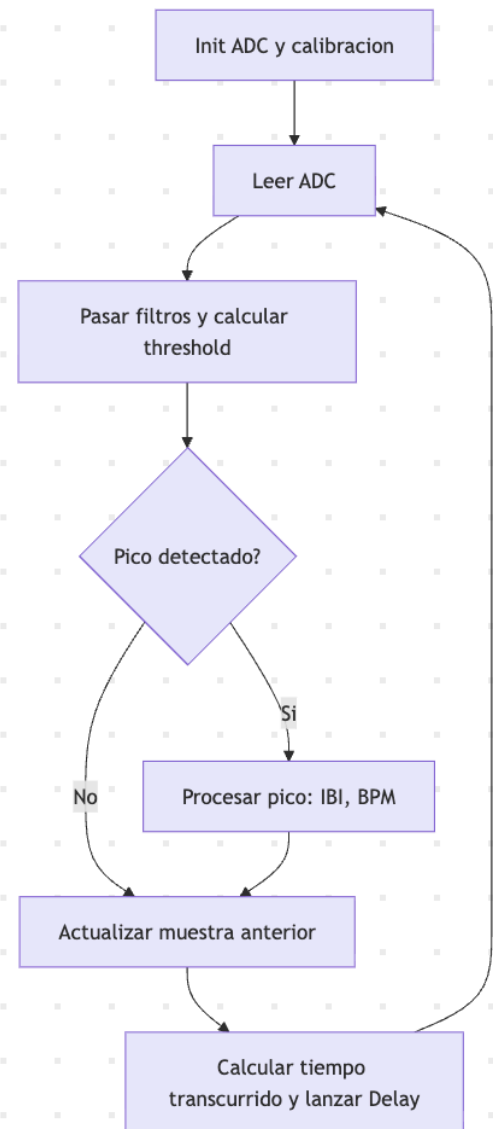
---

**Estudiantes:** Zixin Zhang & Tomeu Uris Tortella  
**Facultad:** FIB - UPC  
**Curso:** 2025-2026

## Algoritmo

El algoritmo final está compuesto por los siguientes pasos:

1. Se configura el ADC y se inicializan las variables que se guardan entre iteraciones
2. Se inicia el bucle infinito de cálculo
3. Se toma el tiempo de inicio de iteración
4. Se toma la muestra y se usa un filtro pasa-alto seguido de un filtro pasa-bajo para suavizar.
5. Se calcula el RMS de las últimas 50 muestras el cual se va a usar como “*threshold*” para detectar picos y, por lo tanto, latidos.
6. Se comprueba si se detecta un pico en esa muestra.
  - a. En caso que se haya detectado un pico:
    - i. Se comprueba que se haya registrado el tiempo del último pico, si no se pasa directamente al paso v.
    - ii. Se calcula el tiempo entre picos/latidos (IBI)
    - iii. Se usa una “moving average” para suavizar los cambios en las mediciones.
    - iv. Se calcula el bpm y se muestra por terminal.
    - v. Se registra el tiempo actual como tiempo del último pico para el cálculo del siguiente.
  - b. En el caso que no se detecta un pico, se continúa con la ejecución
7. Se guarda el valor de la muestra filtrado para el próximo cálculo de detección de pico.
8. Se calcula el tiempo de cálculo transcurrido y se lanza un delay restando el resultado al tiempo de iteración deseado. De esta manera se asegura que los tiempos de muestreo son lo más consistentes posibles.
9. Se avanza a la siguiente iteración que empieza en el paso 3.



## Resultados obtenidos

Aunque nuestro sensor parecía dar una señal muy débil (con una diferencia de intensidad de 1-3 mV como mucho en la mayoría del tiempo, cuando se tenía un dedo en el sensor) gracias al threshold variable y a los filtros aplicados hemos conseguido que unos una detección coherente sin tener que recurrir a amplificadores. La estabilidad de la detección parece variar bastante dependiendo del dedo usado, la posición del sensor y la fisiología de la persona. El mejor escenario que hemos encontrado es con el sensor sobre la mesa y usando el dedo corazón de la mano izquierda, pero no podemos descartar que sea evidencia anecdótica.

A continuación adjuntamos algunos ejemplos de imágenes de las mediciones obtenidas.

```
(85520) HEART_RATE: Estimated BPM: 69.1
(86370) HEART_RATE: Estimated BPM: 69.3
(87280) HEART_RATE: Estimated BPM: 68.9
(88220) HEART_RATE: Estimated BPM: 68.4
(89190) HEART_RATE: Estimated BPM: 67.7
(90110) HEART_RATE: Estimated BPM: 67.4
(90990) HEART_RATE: Estimated BPM: 67.5
(91860) HEART_RATE: Estimated BPM: 67.6
(92690) HEART_RATE: Estimated BPM: 68.1
(93530) HEART_RATE: Estimated BPM: 68.4
(94410) HEART_RATE: Estimated BPM: 68.4
(95310) HEART_RATE: Estimated BPM: 68.2
(96180) HEART_RATE: Estimated BPM: 68.3
(97110) HEART_RATE: Estimated BPM: 67.9
(98020) HEART_RATE: Estimated BPM: 67.7
(98830) HEART_RATE: Estimated BPM: 68.3
(99610) HEART_RATE: Estimated BPM: 69.0
(100410) HEART_RATE: Estimated BPM: 69.6
(101240) HEART_RATE: Estimated BPM: 69.9
(102050) HEART_RATE: Estimated BPM: 70.3
(102890) HEART_RATE: Estimated BPM: 70.4
(103780) HEART_RATE: Estimated BPM: 70.1
(104670) HEART_RATE: Estimated BPM: 69.8
(105620) HEART_RATE: Estimated BPM: 69.1
(106570) HEART_RATE: Estimated BPM: 68.4
(107390) HEART_RATE: Estimated BPM: 68.9
(108210) HEART_RATE: Estimated BPM: 69.3
(109020) HEART_RATE: Estimated BPM: 69.7
```

*Mediciones pulso Tomeu*

```
(178890) HEART_RATE: Estimated BPM: 84.0
(179690) HEART_RATE: Estimated BPM: 83.0
(180430) HEART_RATE: Estimated BPM: 82.8
(181210) HEART_RATE: Estimated BPM: 82.2
(182070) HEART_RATE: Estimated BPM: 80.7
(182850) HEART_RATE: Estimated BPM: 80.3
(183550) HEART_RATE: Estimated BPM: 80.8
(184280) HEART_RATE: Estimated BPM: 81.0
(185140) HEART_RATE: Estimated BPM: 79.7
(186840) HEART_RATE: Estimated BPM: 70.8
(187600) HEART_RATE: Estimated BPM: 71.5
(188520) HEART_RATE: Estimated BPM: 70.8
(189390) HEART_RATE: Estimated BPM: 70.6
(190190) HEART_RATE: Estimated BPM: 71.1
(191030) HEART_RATE: Estimated BPM: 71.1
(191890) HEART_RATE: Estimated BPM: 71.0
(192660) HEART_RATE: Estimated BPM: 71.6
(193370) HEART_RATE: Estimated BPM: 72.7
(194160) HEART_RATE: Estimated BPM: 73.0
(195040) HEART_RATE: Estimated BPM: 72.5
(195950) HEART_RATE: Estimated BPM: 71.8
(196900) HEART_RATE: Estimated BPM: 70.8
(197800) HEART_RATE: Estimated BPM: 70.4
(198690) HEART_RATE: Estimated BPM: 70.1
(199470) HEART_RATE: Estimated BPM: 70.7
(200170) HEART_RATE: Estimated BPM: 72.0
(200890) HEART_RATE: Estimated BPM: 73.0
(201680) HEART_RATE: Estimated BPM: 73.2
(202470) HEART_RATE: Estimated BPM: 73.5
(203110) HEART_RATE: Estimated BPM: 75.1
```

*Mediciones pulso Xin*

```
(405460) HEART_RATE: Estimated BPM: 52.0
(408070) HEART_RATE: Estimated BPM: 46.2
(409350) HEART_RATE: Estimated BPM: 46.3
(410180) HEART_RATE: Estimated BPM: 48.0
(411340) HEART_RATE: Estimated BPM: 48.3
(411560) HEART_RATE: Estimated BPM: 52.7
(412180) HEART_RATE: Estimated BPM: 55.2
(412420) HEART_RATE: Estimated BPM: 59.9
(414010) HEART_RATE: Estimated BPM: 56.5
(414580) HEART_RATE: Estimated BPM: 59.3
(415190) HEART_RATE: Estimated BPM: 61.7
(415330) HEART_RATE: Estimated BPM: 67.5
(415690) HEART_RATE: Estimated BPM: 71.8
(418610) HEART_RATE: Estimated BPM: 57.5
(420390) HEART_RATE: Estimated BPM: 53.7
(424710) HEART_RATE: Estimated BPM: 41.7
(426050) HEART_RATE: Estimated BPM: 42.0
(426180) HEART_RATE: Estimated BPM: 46.2
(427340) HEART_RATE: Estimated BPM: 46.7
(427800) HEART_RATE: Estimated BPM: 49.9
(429020) HEART_RATE: Estimated BPM: 49.8
(429140) HEART_RATE: Estimated BPM: 54.8
(430750) HEART_RATE: Estimated BPM: 52.3
(433490) HEART_RATE: Estimated BPM: 45.9
(434980) HEART_RATE: Estimated BPM: 45.3
(437650) HEART_RATE: Estimated BPM: 41.1
(439270) HEART_RATE: Estimated BPM: 40.7
(441590) HEART_RATE: Estimated BPM: 38.5
(441880) HEART_RATE: Estimated BPM: 41.9
(443490) HEART_RATE: Estimated BPM: 41.4
```

*Mediciones sin dedo 1*

```
(550360) HEART_RATE: Estimated BPM: 151.6
(550490) HEART_RATE: Estimated BPM: 162.5
(550570) HEART_RATE: Estimated BPM: 176.3
(550590) HEART_RATE: Estimated BPM: 194.7
(551000) HEART_RATE: Estimated BPM: 188.4
(551060) HEART_RATE: Estimated BPM: 205.1
(551100) HEART_RATE: Estimated BPM: 224.5
(551160) HEART_RATE: Estimated BPM: 243.3
(551550) HEART_RATE: Estimated BPM: 230.0
(551620) HEART_RATE: Estimated BPM: 248.1
(551640) HEART_RATE: Estimated BPM: 273.2
(552220) HEART_RATE: Estimated BPM: 234.7
(552260) HEART_RATE: Estimated BPM: 256.3
(552630) HEART_RATE: Estimated BPM: 242.2
(554500) HEART_RATE: Estimated BPM: 146.4
(554820) HEART_RATE: Estimated BPM: 149.6
(554870) HEART_RATE: Estimated BPM: 164.0
(556000) HEART_RATE: Estimated BPM: 135.7
(556060) HEART_RATE: Estimated BPM: 148.5
(556870) HEART_RATE: Estimated BPM: 134.9
(557550) HEART_RATE: Estimated BPM: 128.2
(558170) HEART_RATE: Estimated BPM: 124.1
(558190) HEART_RATE: Estimated BPM: 137.3
(558300) HEART_RATE: Estimated BPM: 148.4
(558350) HEART_RATE: Estimated BPM: 162.7
(558590) HEART_RATE: Estimated BPM: 168.5
(558650) HEART_RATE: Estimated BPM: 183.8
(558760) HEART_RATE: Estimated BPM: 196.9
(558960) HEART_RATE: Estimated BPM: 203.9
(559130) HEART_RATE: Estimated BPM: 212.9
(561650) HEART_RATE: Estimated BPM: 118.7
```

*Mediciones sin dedo 2*

## Filtros utilizados

Para los filtros que se aplican al leer la muestra desde el adc, se usaron las fórmulas en la referencia bibliográfica aportada en el anuncio del racó:

Fórmula del filtro pasa-alto:

$$y(k) = a \cdot [u(k) - u(k - 1) + y(k - 1)]$$

Fórmula del filtro pasa-bajo:

$$y(k) = a \cdot u(k) + (1 - a) \cdot y(k - 1)$$

Coefficiente de ajuste:

$$a = \left( \frac{2\pi T_s f_c}{2\pi T_s f_c + 1} \right)$$

Donde  $T_s$  es el tiempo entre mediciones y  $f_c$  la frecuencia límite

Para la suavización del IBI calculado se ha usado una “moving average” con **n=10** calculada sin buffer. Para ello al hacer el promedio entre el **promedio anterior (LA)** y la **nueva muestra (NS)** se aplica un peso de 0.9 al LA y de 0.1 al NS obteniendo así el **nuevo promedio (NA)**:

$$NA = 0.9 \cdot LA + 0.1 \cdot NS$$

Para el cálculo del *threshold* dinámico se usa la siguiente fórmula ayudándose de un buffer que guarda las últimas **N=50** muestras:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

## Dificultades encontradas y experimentos realizados

- Al inicio como filtro pasa-bajo principal (el que se aplica a la medición del adc) se realizaron dos implementaciones, una con *moving average* y otra con la fórmula explicada en el apartado de filtros. No llegamos a notar grandes diferencias, así que por simplicidad se decidió dejar la fórmula.
- Se experimentó con un tiempo entre medidas de 100 ms. Vimos que la frecuencia de muestreo era demasiado baja y provocando *aliasing*. Decidimos bajarla a 10 ms para cumplir con la **Tasa de Nyquist**, cosa que mejoró las lecturas de picos.
- Como se comentó anteriormente, el sensor de pulsaciones daba una señal con una intensidad bastante débil, que aún se veía más afectada al pasar los filtros. Esto complicaba la detección de picos en nuestra versión inicial que contaba con un threshold estático. Se tenía que ajustar de persona a persona y requería de varios intentos para obtener un resultado que tampoco era demasiado estable.

Para solucionarlo, implementamos el cálculo de threshold dinámico a partir del rms amplificado a partir de un factor. Al haber realizado algunas pruebas vimos que el factor 1.5 era adecuado para tener una detección de pulsaciones suficientemente consistente.

- Aun con la detección de pulsaciones muy mejorada, la salida del programa (los logs en el terminal) eran un poco inestables, dando algunos saltos si se movía ligeramente el dedo o si la superficie era un poco inestable. Para minimizar este efecto implementamos el *moving average* en el cálculo de tiempo entre latidos (IBI). De esta manera un pequeño movimiento no afectaba demasiado a la salida constante permitiendo al usuario colocarse y al sistema un breve espacio de tiempo para estabilizarse de nuevo.