

# **MÁSTER EN INGENIERÍA BIOMÉDICA**

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE APOYO A LA  
DIAGNOSIS E IDENTIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS  
IMPLEMENTADO CON DISPOSITIVOS DE BAJO COSTE,  
PRECISO, FIABLE Y DE USO EN ENTORNOS DOMICILIARIOS,  
RESIDENCIALES Y HOSPITALARIOS.**

**Oinatz Aspiazu Ituarte**

Bilbao,  
19 Septiembre 2022

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

MEDIKUNTZA  
ETA ERIZAINNTZA  
FAKULTATEA  
FACULTAD  
DE MEDICINA  
Y ENFERMERÍA

# Motivación

- Bajo coste
- Extensible
- Monitorización activa pacientes
- Investigación
- Datos precisos durante períodos prolongados
- Detección de patologías en pacientes aparentemente sanos
- Diseño basado en procesadores de bajo coste, con un sistema operativo y capaces de ejecutar múltiples programas a la vez



eman ta zabal zazu

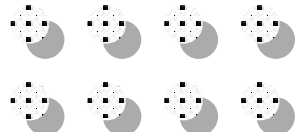


Universidad  
del País Vasco

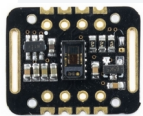
Euskal Herriko  
Unibertsitatea

MEDIKUNTZA  
ETA ERIZAINNTZA  
FAKULTATEA  
FACULTAD  
DE MEDICINA  
Y ENFERMERÍA

Illustrations by Pixeltrue on  
[icons8](#)



# CONCEPTOS



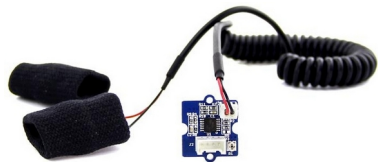
## Pulsioxímetro

Dispositivo Max30102 que a través de un led rojo y un led infrarrojo, permite calcular la frecuencia cardíaca y el nivel de saturación de oxígeno en sangre



## ADC

Dispositivo ADS1115 que actúa de convertidor de datos recogidos de manera analógica a digital

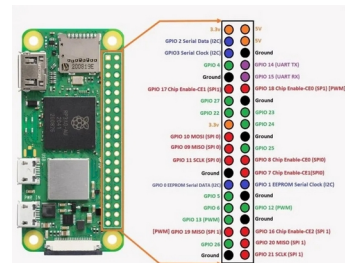


## GSR

Mide la respuesta galvánica de la piel (sudoración)



## Raspberry Pi



Mini ordenador de bolsillo encargado de recoger los datos de los sensores y enviarlos al servidor de Base de Datos remoto

## Servidor Base de Datos

Base de Datos donde se encuentran los datos de los sensores, el ID del dispositivo y la fecha de recogida de los mismos



PostgreSQL

## Servidor Web

Se realiza una página Web para mostrar los datos introducidos en la Base de Datos



Flask  
web development,  
one drop at a time

## I2C Y LIBRERÍAS MAX30102 / ADS1115



“

Puerto y protocolo de comunicación serie  
Dos líneas:

**SCL** → línea de los pulsos de reloj  
que sincronizan el sistema

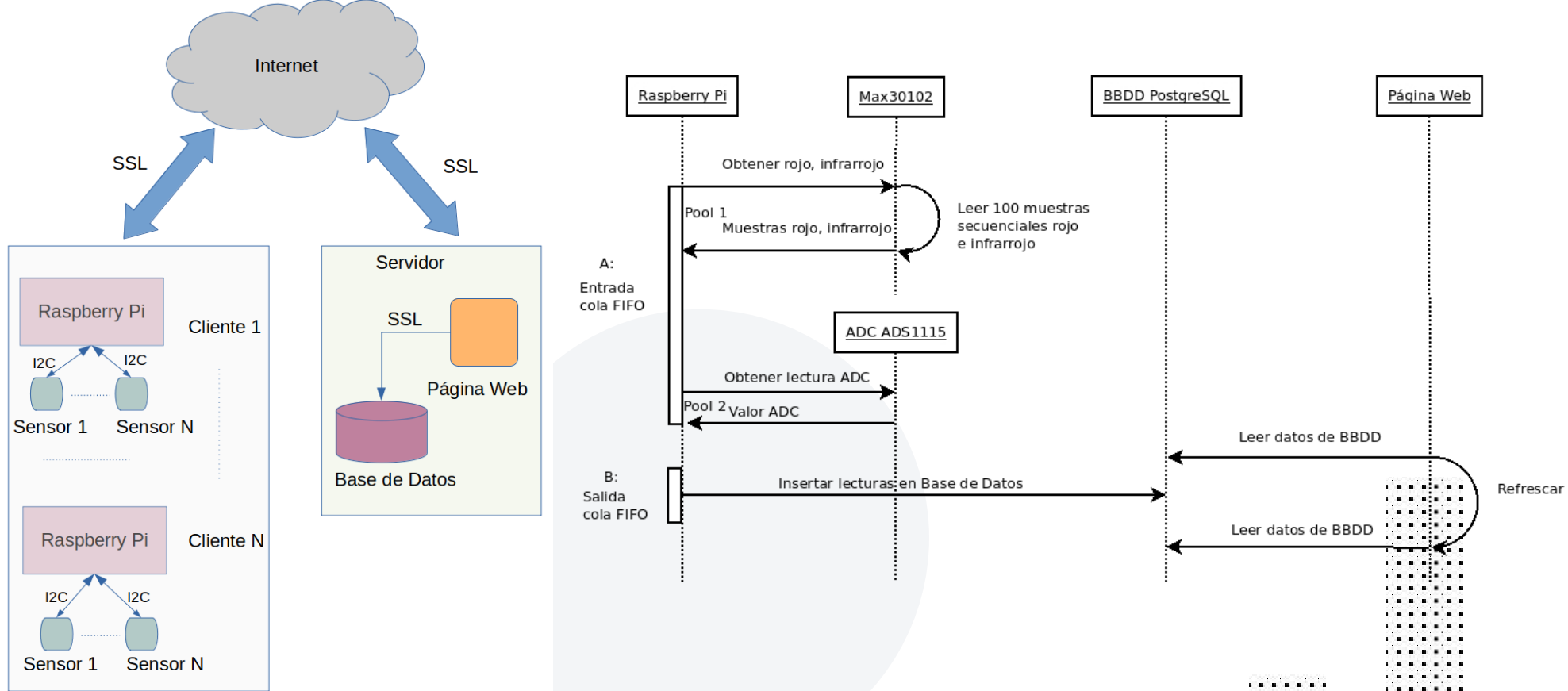
**SDA** → línea por la que se mueven  
los datos entre los dispositivos ”

```
oinatz@raspberrypi:~ $ i2cdetect -l
i2c-1  i2c          bcm2835 (i2c@7e004000)      I2C adapter
i2c-21  i2c          Broadcom STB :      I2C adapter
i2c-20  i2c          Broadcom STB :      I2C adapter
oinatz@raspberrypi:~ $ i2cdetect -y 1
    0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f
00:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
10:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
20:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
30:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
40:  -- -- -- -- -- -- -- 48 -- -- -- -- -- -- --
50:  -- -- -- -- -- -- -- 57 -- -- -- -- -- -- --
60:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
70:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
oinatz@raspberrypi:~ $
```

eman ta zabal zazu



# Arquitectura



eman ta zabal zazu



# Multiproceso



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

MEDIKUNTZA  
ETA ERIZAINITZA  
FAKULTATEA  
FACULTAD  
DE MEDICINA  
Y ENFERMERÍA

## 01 Pool sensores

Presencia mínima de procesos  
levantados

```
#generamos el buffer y lo llenamos el buffer con los datos de los sensores
def generar_buffer(q):

    # Obtenemos el ID, único por dispositivo
    id=str(obtener_id())

    ### Obtenemos valores rojo / infrarrojo en un procesador dedicado
    # Dado que disponemos de varios procesadores, vamos a aprovechar el multiproceso
    # dedicando uno de ellos a las lecturas de PDX y el otro al ADC. Con los datos de ambos, los introduciremos en una cola FIFO (Queue)

    while True:
        # Tenemos que usar pytz para sacar la fecha adecuada ya que datetime sólo trabaja con UTC.
        fecha = datetime.now(pytz.timezone("Europe/Madrid"))

        # Hay que crear la cola FIFO con 6 datos:
        # Usuario, rojo, infrarrojo, Pulso SPO2, sudoracion, fecha
        # De momento introducimos sudoracion como valor ficticio según el valor ficticio obtenido con el ADC
        # El pulso y spo2 corresponden realmente a los valores de rojo e infrarrojo. Se hace media de 100 valores de cada rojo e infrarrojo en cada línea

        # Sirviéndonos del multiproceso, utilizamos un pool de 2 procesos para obtener valores concurrentemente del max30102 y el ADC.
        pool = mpr.Pool(processes=2)

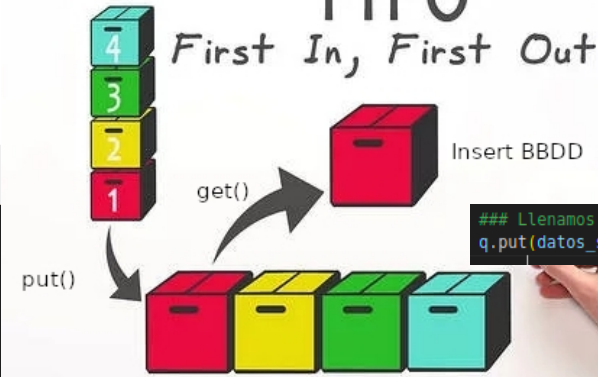
        resultado_async_max30102 = pool.apply_async(obtener_valores.coger_datos).get()
        resultado_async_adc = pool.apply_async(ADC.leer_adc).get()

        # resultado_async_max30102[0] tiene 100 valores de sensor rojo
        # resultado_async_max30102[1] tiene 100 valores de sensor infrarrojo
        # resultado_async_max30102[2] tiene 4 valores: Pulso obtenido de las 100 lecturas, true/false, SPO2 obtenido de las 100 lecturas y true/false.
        # Los valores de true/false son de pulso y spo2 para indicar si ha estado puesto el dedo y se han hecho lecturas.
        # resultado_async_adc tiene los valores recordados del ADC

        datos_sensores = [id, resultado_async_max30102[0], resultado_async_max30102[1], resultado_async_max30102[2], resultado_async_adc, fecha]
        # close() llama a destruir el pool y join() espera a los procesos trabajadores.
        pool.close()
        pool.join()

        ### Llenamos la cola FIFO con los datos de los sensores
        q.put(datos_sensores)
```

Datos sensores



## 02 Cola FIFO

```
def insertar_sensores_bbdd_batch_queue(q):

    x=0
    ## Hacemos que se abra y cierre la conexión a la BBDD una única vez para todas las inserts.
    try:
        connection = psycopg2.connect(user="sensores",
                                       password=contraseña_bbdd.texto_descifrado,
                                       host="sensores.com",
                                       port="5432",
                                       database="sensores",
                                       sslmode = 'require',
                                       sslrootcert = '/home/pi/.certs/postgresql.crt')

        print('Lanzamos la query...')
        cursor = connection.cursor()
        #Recorremos el buffer línea a línea para insertarlas en la BBDD

        while True:
            # Sacamos cada una línea de la cola FIFO
            linea = q.get()

            # Por cada línea, sacamos ahora los elementos individuales
            usuario=str(linea[0])
            rojo=str(linea[1])
            infrarrojo=str(linea[2])
            pulso_spo2=str(linea[3])
            sudoracion=str(linea[4])
            fecha=str(linea[5])

            # Preparamos la query con la insert
            postgresql_insert_query = "INSERT INTO sensores (usuario, rojo, infrarrojo, pulso_spo2, sudoracion, fecha) VALUES (%s,%s,%s,%s,%s,%s);"
            # Insert con execute batch
            valores=[(usuario, rojo, infrarrojo, pulso_spo2, sudoracion, fecha)]
            psycopg2.extras.execute_batch(cursor, postgresql_insert_query, valores)
            connection.commit()
            x+=1

            if linea is None:
                break

        except (Exception, psycopg2.Error) as error:
            print("Error obteniendo datos de la tabla de PostgreSQL", error)

    finally:
        # Cerramos la conexión a la BBDD
        if connection:
            cursor.close()
            connection.close()
            print("Cerrada la conexión a la BBDD\n")
```

**apply\_async()** devuelve los valores  
inmediatamente después de que la ejecución  
se completa. Mantiene el orden de los  
resultados y soporta concurrencia.

# Problemática / Inserts Base de Datos

*max30102.read\_sequential()*

Lectura de 100 muestras secuenciales de led rojo y led infrarrojo → 1 única *insert* en Base de datos tiene ya 100 muestras de cada tipo de led

*psycopg2.extras.execute\_batch()*

## Fast execution helpers

The current implementation of executemany() is (using an extremely charitable understatement) not particularly performing. These functions can be used to speed up the repeated execution of a statement against a set of parameters. By reducing the number of server roundtrips the performance can be **orders of magnitude better** than using executemany().

```
def read_sequential(self, amount=100):
    """
    Función que lee el red led y el led ir 100 veces, dado el amount = 100
    Funciona como una función bloqueante
    """
    red_buf = []
    ir_buf = []
    for i in range(amount):
        while(GPIO.input(self.interrupt) == 1):
            # Sólo esperamos a la señal de interrupción, que indica que los datos están disponibles.
            pass

        red, ir = self.read_fifo()

        red_buf.append(red)
        ir_buf.append(ir)

    return red_buf, ir_buf
```



eman ta zabal zazu



```
postgreSQL_insert_Query = "INSERT INTO sensores (usuario, rojo, infrarrojo, pulso_spo2, sudoracion, fecha) VALUES (%s,%s,%s,%s,%s,%s);"
valores=[(usuario, rojo, infrarrojo, pulso_spo2, sudoracion, fecha)]
psycopg2.extras.execute_batch(cursor, postgreSQL_insert_Query, valores)
connection.commit()
```



# Validaciones

1:18AM → 8:10AM (412 minutos) → 6123 Inserts.

1 Insert → 100 lecturas led rojo y 100 lecturas led ir → 612300 Inserts  
→ 24,769 Inserts por segundo de cada tipo de led.

## CPU

Consumos óptimos

## Load average

```
top - 08:11:26 up 9:00, 3 users, load average: 1,00, 1,00, 1,00
Tasks: 202 total, 2 running, 200 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 24,5 us, 0,7 sy, 0,0 ni, 74,9 id, 0,0 wa, 0,0 hi, 0,0 si, 0,0 st
MiB Mem : 3838,9 total, 2543,2 free, 667,4 used, 628,3 buff/cache
MiB Swap: 100,0 total, 100,0 free, 0,0 used. 3110,6 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
3146	oinatz	20	0	121592	29520	3780	R	43,2	0,8	0:01.30	python
3848	oinatz	20	0	121568	35936	10196	S	0,7	0,9	2:22.71	python
1362	oinatz	20	0	209160	47832	29820	S	0,3	1,2	0:40.46	node
3120	oinatz	20	0	11372	3044	2452	R	0,3	0,1	0:00.12	top
1	root	20	0	33868	8648	6772	S	0,0	0,2	0:03.70	systemd
2	root	20	0	0	0	0	S	0,0	0,0	0:00.04	kthreadd
3	root	0	-20	0	0	0	I	0,0	0,0	0:00.00	rcu_gp
4	root	0	-20	0	0	0	I	0,0	0,0	0:00.00	rcu_par_gp
8	root	0	-20	0	0	0	I	0,0	0,0	0:00.00	mm_percpu_wq
9	root	20	0	0	0	0	S	0,0	0,0	0:00.00	rcu_tasks_rude_
10	root	20	0	0	0	0	S	0,0	0,0	0:00.00	rcu_tasks_trace

## RAM

```
oinatz@raspberrypi:~ $ free -m
oinatz@raspberrypi:~ $ free -m
              total        used        free      shared  buff/cache   available
Mem:           3838         666         2544          12          628         3111
Swap:              99              0              99
```





# Página Web



Euskal Herriko  
Unibertsitatea

**MEDIKUNTZA  
ETA ERIZAINNTZA  
FAKULTATEA**  
FACULTAD  
DE MEDICINA  
Y ENFERMERÍA

## GICI-UPV-EHU



Esta página web muestra a modo de ejemplo los valores recogidos de los dispositivos MAX30102 y ADC ADS1115 en una Raspberry Pi, que han sido enviados a un servidor con una Base de datos PostgreSQL. Los valores se

[illegible]

```
app = Flask(__name__)

@app.get('/usuarios')
def get_users():
    conn = crear_conexion()
    cur = conn.cursor(cursor_factory=extras.RealDictCursor)
    cur.execute("SELECT * FROM sensores")
    usuarios = cur.fetchall()
    cur.close()
    conn.close()
    return jsonify(usuarios)

@app.get('/usuarios/<usuario>')
def get_user(usuario):
    conn = crear_conexion()
    cur = conn.cursor(cursor_factory=extras.RealDictCursor)
    cur.execute("SELECT * FROM sensores where usuario = %s", (usuario,))
    usuario = cur.fetchall()
    cur.close()
    conn.close()

    if usuario is None:
        return jsonify({'message': 'Usuario no encontrado'}), 404

    return jsonify(usuario)

@app.get('/')
def home():
    return send_file('static/index.html')

if __name__ == '__main__':
    app.run(debug=True, port=3000)
```

# Otros

## Cifrado password y SSL

### Obtener\_ID()



Contraseña cifrada con *hash*



```
from cryptography.fernet import Fernet
clave = b'pRmgMa8T0INjEAFksaq2aafzoZXEuwKI7wDe4c1F8AY='
cipher_suite = Fernet(clave)
texto_cifrado = b'gAAAAABiJ4zo9YDKl2YmvwJMqXWRTa3GQZoTRCKxnEk3M7xNtTulKK-12qhzyp_LNzWqWHrw_BNarWBvPd4y4y5d3cgLxIdnQ=='
texto_descifrado = (cipher_suite.decrypt(texto_cifrado)).decode("utf-8") # la suite nos devuelve un literal byte y necesitamos un string
```

```
## Introducimos una rutina previa para obtener un ID unico por placa, aprovechando que cada dirección MAC de la WLAN es única por dispositivo
## Esto nos sirve como identificador unico de dispositivo y por tanto de usuario para poder hacer luego las Insert en la BBDD
import subprocess

def obtener_id():
    string="ip addr show wlan0 | grep ether| awk '{print $2}'"
    ID=subprocess.getoutput(string)
    return(ID)
```

### SSL + IPs autorizadas

```
# - SSL -

ssl = on
#ssl_ca_file = ''
#ssl_cert_file = '/etc/ssl/certs/ssl-cert-snakeoil.pem'
ssl_cert_file = '/var/lib/postgresql/data/server.crt'
#ssl_crl_file = ''
#ssl_key_file = '/etc/ssl/private/ssl-cert-snakeoil.key'
ssl_key_file = '/var/lib/postgresql/data/server.key'
```

ID por MAC

eman ta zabal zazu



# Conclusiones

## Se consiguen los siguientes objetivos:

- Monitorización activa continua y precisa
- Uso de dispositivos y sensores de bajo coste
- Uso de multiproceso para realizar lecturas de varios tipos de sensores de manera concurrente (*pool*)
- Uso de multiproceso para lecturas de datos de sensores e inserciones en Base de Datos concurrentes (cola *FIFO*)
- Implementación de ADC
- Inserciones en Base de Datos de manera óptima (*psycopg2.extras.execute\_batch()*)
- Cada *Insert* en Base de Datos, lleva 100 lecturas de led rojo y 100 de led infrarrojo (equivale a los datos de 100 *Inserts* de cada tipo de led)
- Seguridad y cifrado
- Página Web
- Validaciones

eman ta zabal zazu





# Preguntas y respuestas



## Gracias

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

MEDIKUNTZA  
ETA ERIZAINNTZA  
FAKULTATEA  
FACULTAD  
DE MEDICINA  
Y ENFERMERÍA

