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

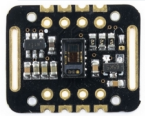
MEDIKUNTZA ETA ERIZAINTZA FAKULTATEA
FACULTAD DE MEDICINA Y ENFERMERÍA

Motivación

- Monitorización activa de pacientes
- Detección de síntomas en personas vulnerables
- Datos extensos para investigación de patologías
- Datos precisos durante períodos prolongados
- Extensible a otros ámbitos y sensores
- Diseño basado en procesadores de bajo coste, con un sistema operativo y capaces de ejecutar múltiples programas a la vez

Illustrations by Pixeltrue on icons8

CONCEPTOS

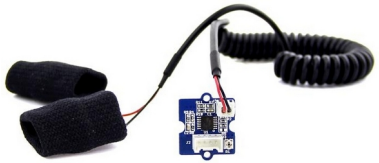


Pulsioxímetro

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

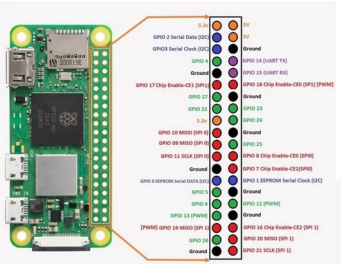


GSR

Mide la respuesta galvánica de la piel (sudoración)

eman ta zabal zazu
Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea

MEDIKUNTZA ETA ERIZAINTZA FAKULTATEA
FACULTAD DE MEDICINA Y ENFERMERÍA



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

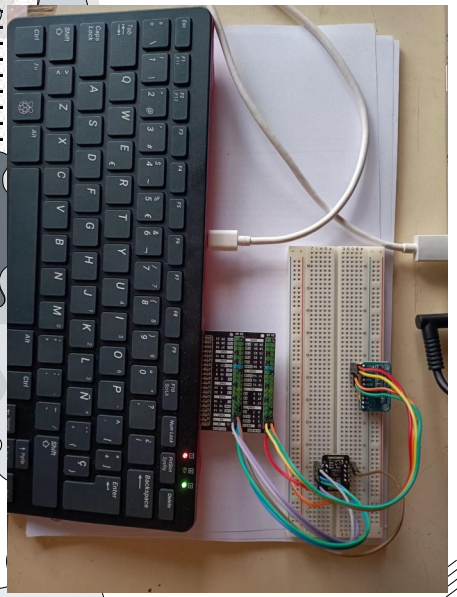
PostgreSQL

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



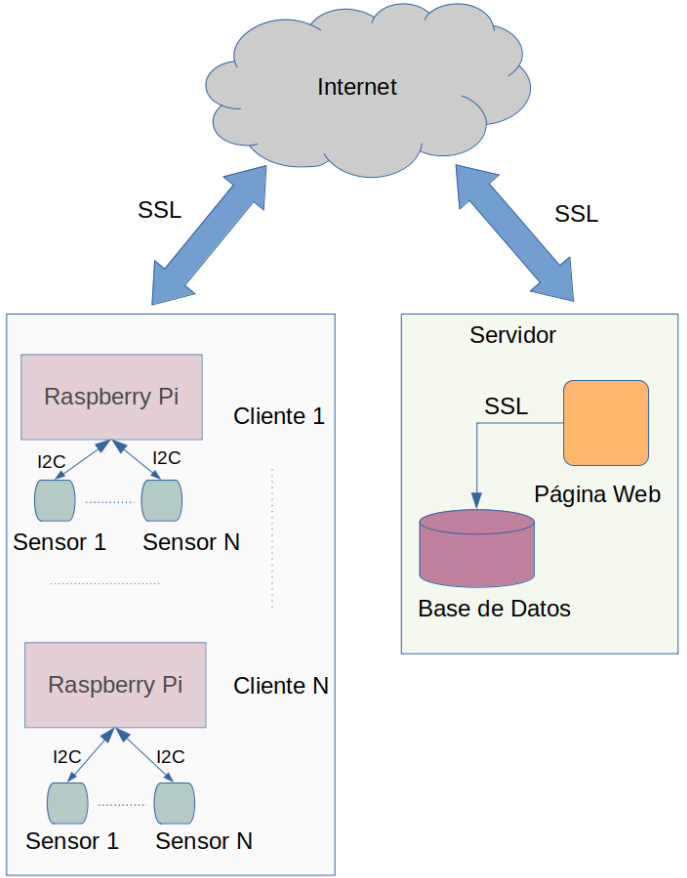
“Puerto y protocolo de comunicación serie
Dos líneas:

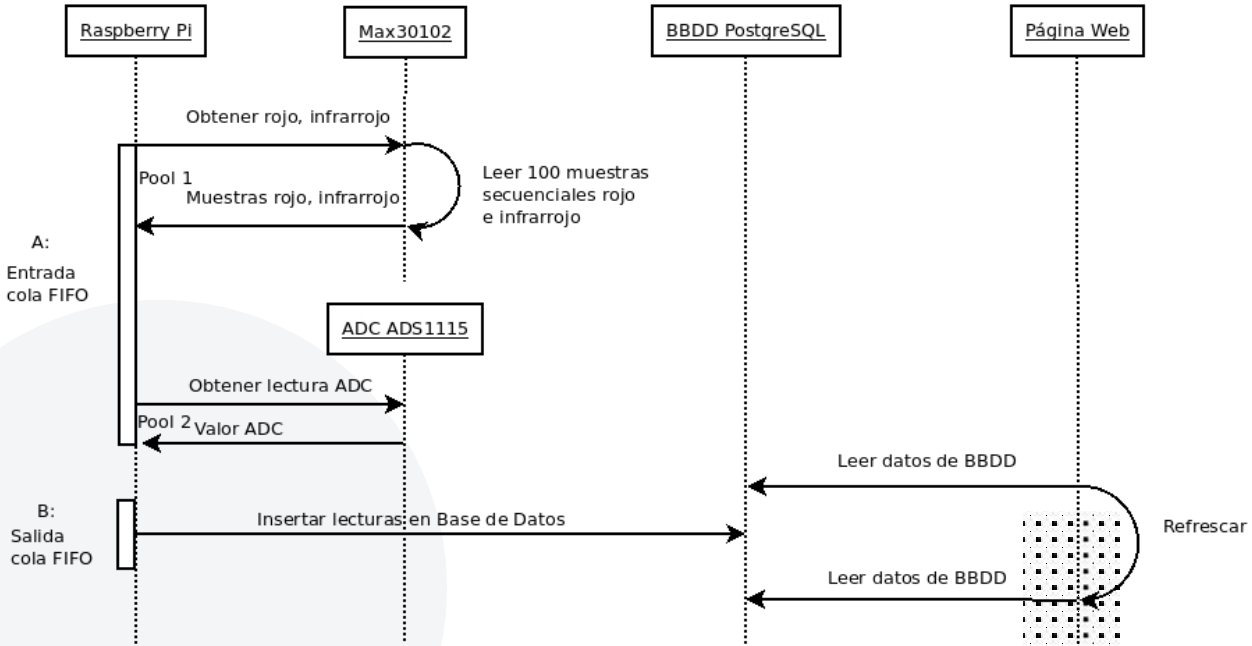
SCL → línea de los pulsos de reloj que sincronizan el sistema

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

```
oinatz@raspberrypi:~ $ i2cdetect -l
i2c-1   i2c             bcm2835 (i2c@7e804000)                  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:~ $
```

Arquitectura





eman ta zabal zazu
Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea
MEDIKUNTZA ETA ERIZAINTZA FAKULTATEA
FACULTAD DE MEDICINA Y ENFERMERÍA

Multiproceso

Universidad del País Vasco · Euskal Herriko Unibertsitatea

MEDIKUNTZA ETA ERIZAINTZA FAKULTATEA
FACULTAD DE MEDICINA Y ENFERMERÍA

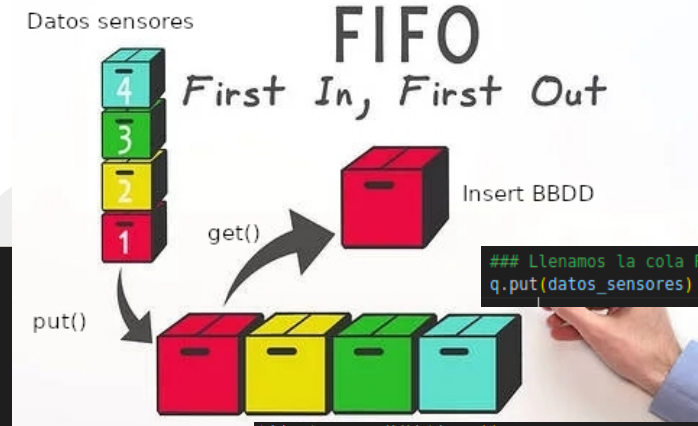
01 *Pool sensores*

Presencia mínima de procesos levantados

```python
#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 POX 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 recogidos 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)
```

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

02 Cola *FIFO*




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

```python
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="sensors",
                                      password=cifrado_bbdd.texto_descifrado,
                                      host="rpsensors.com",
                                      port="5432",
                                      database="sensors",
                                      sslmode = 'require',
                                      sslrootcert = '/home/pi/.certs/postgresql.crt')

        print("Lanzamos la query...")
        cursor = connection.cursor()
        #Recorremos el buffer linea a linea 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")
```

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

```python
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
```

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().

```python
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

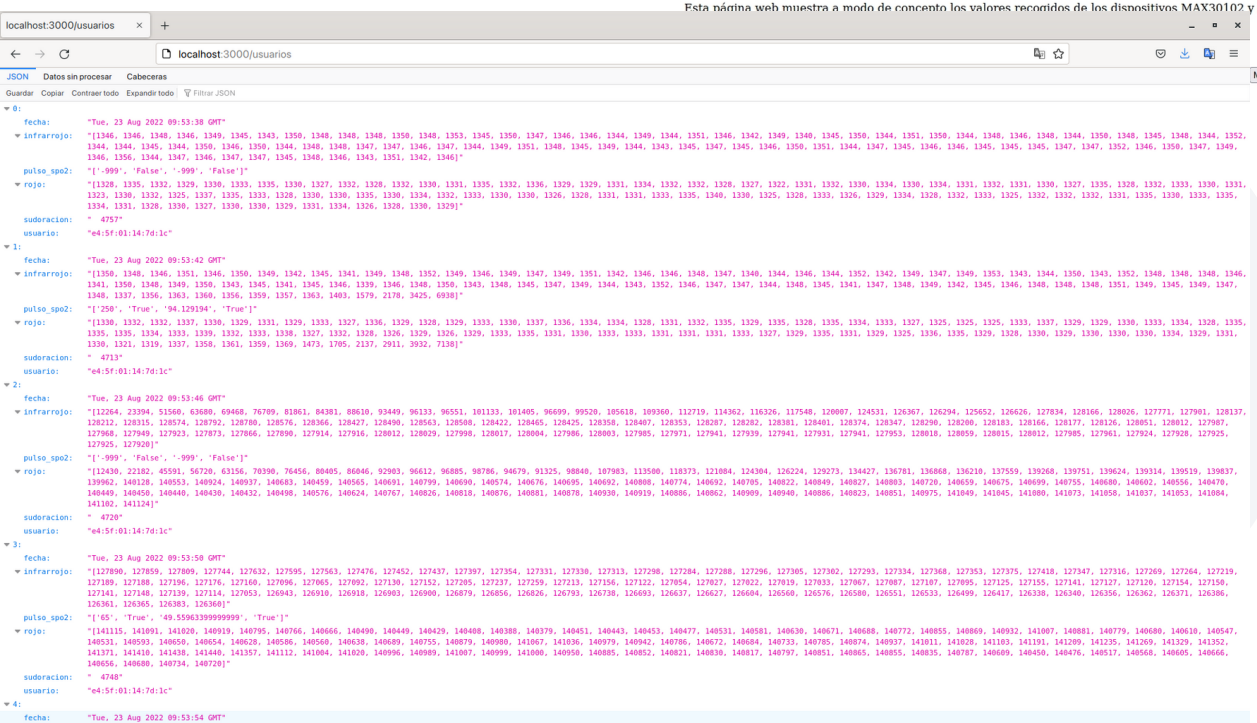
```
top - 08:11:26 up  9:00,  3 users,  load average: 1,00, 1,00, 1,00
Tasks: 202 total,   2 running, 200 sleeping,   0 stopped,   0 zombie
%Cpu(s): 24,5 us,  0,7 sy,  0,0 ni, 74,9 id,  0,0 wa,  0,0 hi,  0,0 si,  0,0 st
MiB Mem :   3838,9 total,   2543,2 free,    667,4 used,    628,3 buff/cache
MiB Swap:    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:~ $
oinatz@raspberrypi:~ $ free -m
               total        used        free      shared  buff/cache   available
Mem:            3838         666        2544          12         628        3111
Swap:             99           0          99
oinatz@raspberrypi:~ $
```

Página Web

eman ta zabal zazu
Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea
MEDIKUNTZA ETA ERIZAINTZA FAKULTATEA
FACULTAD DE MEDICINA Y ENFERMERÍA



Métricas totales de usuarios

Métricas de un usuario en concreto

```python
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

Obtener_ID()

```
### Introducimos una rutina previa para obtener un ID único por placa, aprovechando que cada dirección MAC de la WLAN es única por dispositivo
### Esto nos sirve como identificativo único 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)
```

ID por MAC

Cifrado password y SSL

Contraseña cifrada con *hash*

```
from cryptography.fernet import Fernet
clave = b'pRmgMa8T0INjEAfksaq2aafzoZXEuwKI7wDe4c1F8AY='
cipher_suite = Fernet(clave)
texto_cifrado = b'gAAAAABiJ4zo9YDKl2YmvwJMqXWRTa3GQZoTRCKxnEkc3M7xNtTulKK-12qhzyp_LNzWqWHrw_BNarWBvPd4y4ySd3cgLxIdnQ=='
texto_descifrado = (cipher_suite.decrypt(texto_cifrado)).decode("utf-8")        # la suite nos devuelve un literal byte y necesitamos un string
```

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'
```

Conclusiones

Se consiguen los siguientes objetivos:

- Monitorización activa contínua 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 inserción en Base de Datos lleva 100 lecturas de led rojo y 100 de led infrarrojo (Una inserción equivale a los datos de 100 inserciones de cada tipo de led)
- Seguridad y cifrado
- Página Web
- Validaciones

Preguntas y respuestas

Gracias

eman ta zabal zazu
Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea
MEDIKUNTZA ETA ERIZAINTZA FAKULTATEA
FACULTAD DE MEDICINA Y ENFERMERÍA