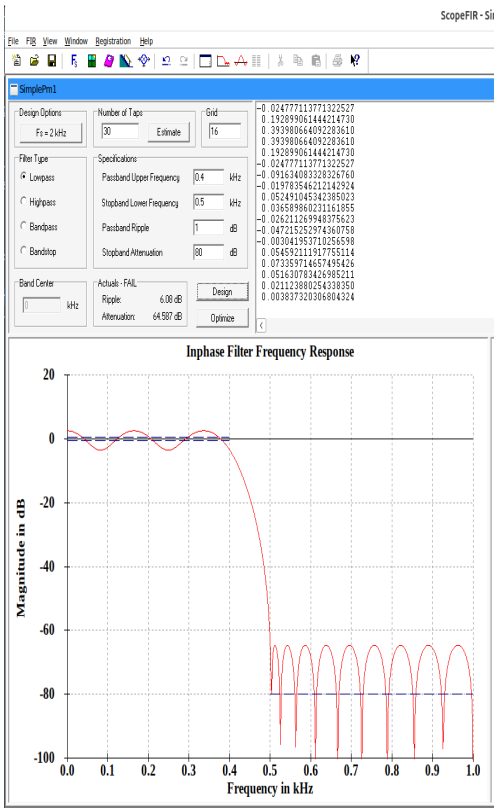
Descripción de Categorías de Proyectos – SISEM 2025

Categoría 1: Filtros digitales (FIR) con el MSP430G2553
Tutor: Leonardo Barboni
Cantidad de proyectos: hasta 3

Descripción:



Los filtros FIR (Finite Impulse Response) se utilizan en procesamiento de señales para filtrar señales y hoy en día existen muchas herramientas para diseñarlos (ver Figura), por ejemplo ver [1-6].

Esta categoría se propone trabajar con un filtro digital FIR y estudiar el funcionamiento dentro del contexto de los sistemas embebidos (MSP430G2553). Se tiene como objetivo experimentar con los problemas que se presentan en la implementación de algoritmos para filtros FIR y el sometimiento del ADC del MCU a su máxima capacidad de muestreo.

Relativo al FIR las especificaciones deben ser: *i)* frecuencia de corte de 400 Hz; y *ii)* cantidad de coeficientes mayor o igual a 20 (orden). Otras especificaciones quedan abiertas al intercambio entre el tutor y los estudiantes. Se mostrará el funcionamiento del filtro con una señal sinusoide de amplitud 1 V que ingresa al MCU a través del ADC desde el AD2, y sale filtrada vía UART, para esto se debe hacer un programa Pyhton minimal que grafique datos que vienen de la UART del MCU (puede usar Octave o Matlab).

Máxima Frecuencia de Muestreo

Se debe trabajar con la frecuencia de máxima más alta posible que el ADC MSP430G2553 permite pero compatible con la no perdida de datos en el filtro, es decir, entre dos muestras se debe ejecutar un paso del filtro y guardar el resultado en un buffer de tamaño a determinar. Por lo tanto existe un compromiso (trade-off) que se debe estudiar relativo a la máxima frecuencia de muestreo y la duración de la ejecución del filtro (que dependerá de la cantidad de coeficientes del filtro y sus valores).

Para la configuración y uso del ADC a máxima frecuencia de trabajo se sugiere revisar estos antecedentes: [7] y [8].

Coeficientes

Se debe seleccionar al menos tres tipos de datos [9] para trabajar con los coeficientes del FIR. Como este tipo de dato para los coeficientes afecta la duración de la ejecución del filtro esto a su vez afecta a la máxima frecuencia de muestreo que se puede trabajar, por lo tanto existe otro trade-off a estudiar.

Se debe completar una tabla como la que se sugiere a continuación:

Tipo de dato de los coeficientes	Cantidad de coeficientes	Máxima frecuencia de muestreo posible	Tiempo de ejecución de un paso del filtro (en tiempo y ciclos de reloj)	Uso máximo del stack

Se debe estudiar como trabajar con coeficientes no enteros (con parte fraccionaria) y se estudiará la posibilidad de implementar alguna técnica para acelerar la ejecución del filtro lo máximo posible, reduciendo si es posible su uso de memoria.

Algunas tareas que se deberán cumplir obligatoriamente:

1- Mostrar e indicar (extraer y mostrar) el contenido de memoria que se utiliza para implementar el filtro. Indicar qué datos están en registros y cuáles en memoria.
2- Mostrar el uso del stack durante todo el programa, mostrando el punto de mayor contenido. En otras palabras dar el "máximo que desciende el stack" o p"rofundidad" en la implementación del programa.
3- "Romper el programa", es decir mostrar qué pasa si la frecuencia de muestreo excede el tiempo de ejecución del filtro.
4- Caracterizar consumo con Energy Trace
5- Analizar las sugerencias del Ultra Low Power (ULP) Advisor que aparecen en la consola al compilar e implemente los consejos dados. ¿Se obtiene algún cambio al usar las sugerencias?

Referencias y Enlaces

[1] http://t-filter.engineerjs.com/
[2] https://www.minidsp.com/applications/advanced-tools/rephase-fir-tool (https://rephase.org/)
[3] MSP430 MSP430G2553 Filtros Digitales (IIR FIR) LaunchPad Texas Instruments https://www.youtube.com/watch?v=qQ3dAjWF0qE
[4] https://fiiir.com/
[5] http://vlabs.iitkgp.ac.in/rtes/exp1/Filter/FIR%20Filter%20design.html
[6] http://iowegian.com/download/ (ScopeFIR: FIR Filter Design Software Trial – Free for 30 days)
[7a] Diego Belzarena, Giannina Marrero, María Sofía Rijo, Julián Oreggioni. Improving the performance of analog acquisition in low-power low-range microcontrollers. 2024 Argentine Conference on Electronics (CAE), Bahía Blanca, Argentina, 07-08 mar, page 53--58 – 2024
[7b] Optimización de un sistema de adquisición y transmisión de señales analógicas (ADC-Treal), Proyecto Sisem 2023.
[8] Luisina Gómez Rivera, Rodrigo González Suárez, María José Millán, Julián Oreggioni. Cuellos de botella en sistemas embebidos en la adquisición y transmisión de señales analógicas. XIII Congreso Argentino de Sistemas Embebidos (CASE2023), Bahía Blanca, Argentina, 10-11 ago, page 97--99 - 2023
[9] https://downloads.ti.com/docs/esd/SLAU132/data-types-stdz0555922.html

Categoría 2: Sistema de seguimiento para materiales de laboratorio usando RFID
Tutor: Rodrigo García
Cantidad de proyectos: hasta 2 proyectos

Descripción:

Las tarjetas y tags de acceso RFID, usadas comúnmente para el acceso a edificios, identificación de personal y expendedoras de boletos, cuentan con un chip que se alimenta mediante un campo electromagnético inducido por un lector. Estos chips tienen bancos de memoria de diferentes tamaños (1024 bytes en los modelos más comunes) que pueden ser leídos, modificados y encriptados mediante dos llaves diferentes. Una de las interfaces RFID más comunes para la lectoescritura de tags RFID es el NXP MFRC522, que puede ser configurado mediante una interfaz I2C.

Esta categoría de proyecto tiene como objetivo diseñar un sistema de seguimiento de materiales de laboratorio mediante el uso de etiquetas y tarjetas RFID. Para su desarrollo, se empleará el Launchpad MSP-EXP430G2ET junto con el módulo RFID MFRC522 [1].

El sistema utilizarán dos tipos de tags:

- Tags para equipamiento de laboratorio: permitirán la identificación y el seguimiento del estado de los equipos.
- Tags para personas: Asociados a los usuarios que retiran o devuelven los equipos.

El procedimiento de retiro de un equipo incluirá dos pasos:

- Identificación del equipo mediante RFID.
- Identificación de la persona que realiza el retiro.

El sistema deberá almacenar el estado actual del inventario en memoria persistente y contar con una interfaz UART para permitir la incorporación de nuevos equipos y usuarios a la base de datos. Se tomará como base para los proyectos de esta categoría los desarrollos realizados en el proyectos de Sisem [2] y [3].

Referencias

[1] https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MFRC522.pdf
[2] EGAS (Electronic Gas AutoService), Proyecto Sisem 2022,
https://iie.fing.edu.uy/ense/asign/sisem/proy/2022/Grupo 1/Documentacion.pdf
[3] Lockers sin contacto para edificios – EDILOCK, Proyecto Sisem 2021,
https://iie.fing.edu.uy/ense/asign/sisem/proy/2021/Grupo 8/Documentacion.pdf

Categoría 3: Alfombra de baile interactiva
Tutor: Josefina Lema
Cantidad de proyectos: hasta 3

Descripción

El objetivo de esta categoría de proyectos es diseñar un sistema que emule una alfombra de baile interactiva, como la que se ve en la figura. Se deberá programar un sistema embebido capaz de detectar las interacciones del usuario y compararlos con una secuencia desplegada en una pantalla.

En un primer lugar, se desarrollará una aplicación sencilla que muestre una secuencia de flechas en una pantalla OLED, indicando los pasos que el usuario debe seguir. La detección de los pasos se realizará mediante un teclado estándar matricial, registrando cuándo y que tecla fue seleccionada.

Se debe llevar la cuenta del puntaje obtenido dependiendo de si el usuario presiona la tecla correcta en un rango de tiempo aceptable. El juego finaliza cuando se completa una secuencia de longitud fija o se pierde si el usuario se equivoca una determinada cantidad de veces.

A este sistema se le pueden agregar diferentes variantes:

- Variar el puntaje dependiendo de la precisión con la que se presiona: si el usuario presiona el botón correcto en el momento exacto se le asigna la mayor cantidad de puntos. Cuanto mayor sea el desfasaje de tiempo menor es la cantidad de puntos.
- Desarrollar distintas dificultades entre las cuales el usuario elige al iniciar el juego.
- Aumentar la dificultad durante una partida ya sea aumentando la velocidad o haciendo que la secuencia tenga más de una flecha a la vez.

El sistema consiste en:

- Launchpad MSP-EXP430G2ET
- Display OLED SSD1306: se comunica con el microcontrolador utilizando comunicación I2C [1]. Se utilizará para desplegar las flechas de direcciones, así como las instrucciones de inicio y fin. El Proyecto [2,3] desarrolló un driver para el display OLED y una interfaz gráfica.
- Teclado matricial: se utiliza como interfaz de entrada para el usuario. Como alternativa se podrá utilizar el teclado de una PC mediante comunicación UART.

En años anteriores en el curso se implementaron otros juegos, ver por ejemplo Tetris controlado por UART [4,5] y Viborita [6].

Referencias

[1] https://www.robotec.com.uy/productos/TX399
[2] Heart Rate and Oxygen Saturation meter (HeroxS). Proyecto con manejo de display OLED. Proyecto de Sisem, 2022.
[3] R D'eboli, J Schmitd, R Garcia Ordeig, J Oreggioni, HEROxS: Heart Rate and Oxygen Saturation Meter, Congreso Argentino de Sistemas Embebidos (CASE2023), Argentina, 10-11 ago, 2023
[4] UARTetris: Tetris controlado por UART, Proyecto Sisem 2021
[5] J. Pérez Mauri, J. Berniz, F. Morán, J. Oreggioni. U-Tetris: Tetris controlado por UART, Congreso Argentino de Sistemas Embebidos, CASE2021, Evento virtual, Argentina, 1-2 nov, 2021
[6] Proyecto Sisem 2010 "Viborita" (CCuP)

Categoría 4: uJtrack - Monitoreo de energía para microcontroladores
Tutor: Leonardo Steinfeld
Cantidad de proyectos: hasta 3

Motivación

En los sistemas embebidos portátiles de ultra bajo consumo, alimentados mediante recolección de energía o baterías, es fundamental analizar el consumo de potencia y energía durante su desarrollo. Este análisis permite optimizar el diseño para minimizar el consumo. Para ello, se pueden utilizar herramientas como *Energy Trace* u otras de mayor precisión (PPKII [1], Otii Arc [2]).

Sin embargo, una vez que los dispositivos están en operación, también es crucial monitorear su perfil de consumo para detectar problemas y tomar acciones dinámicamente. Las herramientas mencionadas no son adecuadas para este propósito debido a su costo, tamaño y consumo energético, por lo que es necesario adoptar enfoques alternativos.

Uno de estos enfoques es el utilizado en *Contiki-NG* [3], un sistema operativo para dispositivos IoT. En este caso, el consumo de energía se estima midiendo los tiempos de actividad. Dado que la potencia instantánea de un dispositivo puede considerarse aproximadamente constante en cada estado de operación, el propio dispositivo registra y acumula el tiempo transcurrido en cada nivel de consumo mediante el módulo *Energest* [4]. Cada vez que el dispositivo cambia de estado (por ejemplo, entra en modo de bajo consumo, se despierta, enciende la radio para recepción o transmisión, etc.), se invoca una función que registra el tiempo transcurrido y el cambio. Finalmente, multiplicando el tiempo total en cada estado por la potencia correspondiente y sumando los valores obtenidos, se estima la energía consumida.

Descripción

El consumo de potencia de un dispositivo puede considerarse como la suma de las potencias de sus distintos subsistemas o bloques funcionales, tales como el *core* del microcontrolador, los periféricos internos y los sensores externos. Estos subsistemas pueden analizarse de manera independiente, asignándoles diferentes niveles de potencia en función de su estado de operación. El nivel de potencia de cada bloque puede considerarse aproximadamente constante y este depende de su estado o modo de operación. Por ejemplo, en el caso de un microcontrolador, se pueden definir al menos dos niveles: *activo* y *sleep* (como LPM4). Para una UART, que es un periférico interno que aumenta el consumo del microcontrolador, se pueden considerar los estados *inactivo* y *activo* (transmisión y/o recepción). De manera similar, el uso de un ADC o un sensor interno o externo puede evaluarse en términos de sus estados operativos.

El problema a resolver consiste en desarrollar un módulo para medir los tiempos de actividad de cada subsistema y utilizar esta información para estimar su consumo energético. Posteriormente, este módulo se integrará en un datalogger que permitirá obtener la energía consumida por cada subsistema de manera individual.

Figura: Medida con PPK2 del perfil de consumo de un dispositivo IoT, indicando con señales digitales (parte inferior) el estado de actividad del dispositivo (figura extraída de [6])

Actividades

- Implementación de un datalogger basado en el desarrollo del laboratorio. Se deberán agregar comandos para solicitar el consumo parcial de energía y los tiempos acumulados (por subsistemas).
- Medición del perfil de consumo del dispositivo, definiendo los subsistemas a considerar y asignando un nivel de potencia promedio (configurable en compilación). Para mayor precisión las medidas finales se realizarán con un Otii Arc.
- Desarrollo del módulo de medición de energía, diseñado para permitir la fácil incorporación de nuevos subsistemas y niveles de consumo. Se recomienda estudiar la implementación de *Energest* [5] como referencia.
- Generación de señales de salida para indicar el estado de cada subsistema. Para subsistemas con dos estados (*activo/inactivo*), se podrá utilizar una salida digital (HIGH para activo, LOW para inactivo). En caso de subsistemas con más niveles de operación, se sugiere el uso de un DAC. Estas señales facilitarán la depuración del sistema. Cabe destacar que funcionalidades similares han sido integradas a *Energest* en el marco de un proyecto del curso RSI [6].
- Pruebas y verificación del funcionamiento, evaluando la precisión de la estimación del consumo energético realizando comparaciones con medidas externas con PPK2 u Otii.

Referencias

1. Power Profiler Kit II - nordicsemi.com
2. Otii Arc Pro by Qoitech
3. Contiki-NG https://www.contiki-ng.org/
4. Dunkels, A., Osterlind, F., Tsiftes, N. and He, Z., 2007, June. Software-based on-line energy estimation for sensor nodes. In *Proceedings of the 4th workshop on Embedded networked sensors* (pp. 28-32). https://www.dunkels.com/adam/dunkels07softwarebased.pdf
5. Energest https://docs.contiki-ng.org/en/master/doc/programming/Energest.html
6. S. Castellano, S. Cremella, F. Robaina; "Estimator: Estimación y medida de consumo" https://gitlab.fing.edu.uy/rsi/proyectos-2024/grupo-8-consumo

Categoría 5: Mejora de precisión en sistemas globales de navegación por satélite
Tutor: Julián Oreggioni
Cantidad de proyectos: hasta 3

Los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS por sus siglas en inglés), generalmente incorrectamente referidos en forma genérica como GPS[1], refieren al conjunto de tecnologías de posicionamiento satelital empleadas para determinar rápidamente la ubicación geográfica de un objeto.

Los receptores estándar de GNSS de bajo costo tienen una precisión en la ubicación que puede ser superior a los 10 metros. Existen varias técnicas para mejorar esa precisión que tienen diferentes características: DGPS (GPS diferencial) estático, DGPS/RTK (Real Time Kinematic DGPS), AGPS (GPS asistido), usando información de radiobases en caso de tenerla disponible, entre otras.

El objetivo general de los proyectos de esta categoría es introducirse en la temática de los GNSS, entender su funcionamiento básico, las fuentes de error, e implementar algún mecanismo sencillo para mejorar la precisión.

Ejemplos de posibles proyectos:

1) Implementar una estación DGPS estática. Se trata de un sistema embebido que se ubica al aire libre y está fijo en un punto con coordenadas conocidas (calibrado con 12 cm de incertidumbre en el estacionamiento SUR del Fing), calcula los datos de corrección para DGPS estático, los muestra en un display OLED y los envía por UART a una Laptop, donde pueden ser recibidos, procesados y transmitidos. Idealmente se muestran los datos en un mapa en la Laptop.

2) Implementar un nodo DGPS estática. Se trata de un sistema embebido que se ubica al aire libre y que se mueve libremente alrededor de la Estación DGPS estático (máximo 20 metros), recibe datos de ubicación desde un Receptor de GNSS, recibe datos para corrección desde una Laptop (UART o Bluetooth), corrige la ubicación y muestra en un display OLED las coordenadas de los datos originales y datos corregidos. Idealmente se muestran todos los datos en un mapa en la Laptop.

3) Implementar la Estación DGPS estático y un nodo DGPS estático (sin display OLED).

El Proyecto [1] desarrolló una prueba de concepto de este sistema y un algoritmo en phyton para generar los datos de corrección, y aplicarlos. La idea tomar de base los aprendizajes obtenidos en este proyecto.

Hardware a utilizar

- Launchpad MSP-EXP430G2ET: tiene una única UART, por lo cual si se necesitan dos, deberá implementarse una UART por software. El Proyecto [2] desarrolló un driver genérico de UART por software.
- Receptor GNSS modelo Neo 6M de Ublox (https://www.u-blox.com/en/product/neo-6-series). El Proyecto [2] desarrolló un driver receptor GNSS modelo Neo 6M de Ublox, que después fue usado en [1].
- Display OLED. El Proyecto [3a-3b] desarrolló un driver para el display OLED y una interfaz

1 GPS (Sistema de Posicionamiento Global) es un sistema lanzado y operado por los Estados Unidos de América. Existen otros, como GLONASS de la Federación Rusa, GALILEO desarrollado por la Unión Europea, y BDS de China, entre otros.

gráfica (varios otros proyectos también usaron ese display).

- Módulo Bluetooth HC-06. El Proyecto [4] desarrolló un driver y software para manejo de este módulo.
- AD2

Antecedentes a estudiar: GNSS y DGPS. Ver [5] y [6].

Herramientas adicionales a las del curso:

- Software UBLOX Center
- Buen manejo de Python puede ser útil, aunque no es excluyente

Referencias:

[1] Sistema de corrección GNSS (SCG). Proyecto de Sisem 2024.
[2] Análisis de técnicas de tiempo real en un sistema de adquisición y transmisión de ubicación geográfica (GPS-TReal). Proyecto de Sisem 2023.
[3a] Heart Rate and Oxygen Saturation meter (HeroxS). Proyecto con manejo de display OLED. Proyecto de Sisem, 2022.
[3b] Rosina DEboli, Josefina Schmitd, Rodrigo Garcia Ordeig, Julián Oreggioni, HEROxS : Heart Rate and Oxygen Saturation Meter, XIII Congreso Argentino de Sistemas Embebidos (CASE2023), Bahía Blanca, Argentina, 10-11 ago, page 8--10 – 2023
[4a] Dispositivo vestible para el monitoreo de signos vitales – SMARTWATCH. Proyecto de Sisem 2021
[4b] Leonardo Martínez Hornak, Isabel Morales, Alfredo Solari, Julián Oreggioni. Wearable device prototype for vital signs monitoring, XII Congreso Argentino de Sistemas Embebidos (CASE2022), UNLP, La Plata, Buenos Aires, Argentina, 18-19 ago, page 70--72 - 2022
[5] M. Svaton, “Low-cost implementation of differential GPS using Arduino,” Master’s thesis, Linköping University.
[6] B. Park, J. Lee, Y. Kim, H. Yun, and C. Kee, “DGPS enhancement to gps nmea output data: DGPS by correction projection to position-domain,” THE JOURNAL OF NAVIGATION, 2013.

Categoría 6: Neuroestimulador seguro
Tutor: Rodrigo García
Cliente: Santiago Martínez
Cantidad de proyectos: Hasta 2

Descripción:
Esta categoría propone proyectos que tienen como objetivo programar el controlador de un neuroestimulador seguro basado en una máquina de estados. Un neuroestimulador inyecta corriente eléctrica en un tejido en diferentes fases. Cada fase está caracterizada por la amplitud de la corriente que descarga (que puede ser positiva o negativa) y el tiempo que dura. Cada fase será un estado de la máquina de estados. La estimulación se simulará mediante LEDs, que indicarán visualmente en qué estado del proceso se encuentra el sistema.

Los proyectos se dividirán en dos partes:

1. Implementación de la máquina de estados:
   - La máquina de estados estará controlada por un Timer.
   - Los parámetros de estimulación (amplitud de la corriente y duración, para cada estado) serán programables a través de UART.

2. Implementación de funciones de seguridad (safety). Cada proyecto deberá incorporar al menos tres de las siguientes estrategias de seguridad por software:
   - Consistencia de variables críticas y restricciones. Se implementarán validaciones para asegurar que los valores de las variables esenciales del sistema se mantengan dentro de rangos operativos seguros.
   - Duplicado de variables para integridad de datos. Se empleará redundancia en el almacenamiento de variables clave para detectar posibles corrupciones.
   - Mecanismo anti-runaway. Se implementará un sistema de detección de errores para el temporizador que controla la máquina de estados.
   - Detección de errores en memoria RAM. Se aplicarán técnicas para identificar y manejar posibles fallos en la memoria del programa.
   - Máquinas de estado seguras. Se utilizará una codificación one-hot para la representación de estados, donde cada estado se asigna a un único bit activo. Y se harán chequeos durante asignaciones de nuevos estados para asegurar la integridad del sistema.

Además, este proyecto tendrá un enfoque importante en la optimización del consumo, analizando y cuantificando el over-head en potencia/corriente consumida y tiempo de ejecución que generan las funciones de seguridad implementadas.

Referencias:
[1] Curso Diseño de dispositivos médicos implantables y activos. Sección 4: Diseño de Firmware.

Categoría 7: Banco de pruebas para estudiar efectividad de los panales solares ante efectos de sombra o nubes.
Tutor: Julián Oreggioni
Cantidad de proyectos: Hasta 2

El objetivo de esta categoría es implementar un banco de pruebas que permita estudiar la efectividad de los paneles solares ante efectos que tapan el panel, por ejemplo sombra de interferencias fijas (techo que da sombra en algún momento del día, y en otro no), sombra de interferencias variables (como un árbol o algo fijo perforado) o sombra de interferencias variables (como nubes).

La idea es adquirir varias variables que caracterizan los experimentos (voltaje en vacío del panel solar, luz ambiente, presión atmosférica, humedad ambiente y temperatura ambiente), guardarlos junto a un marca de tiempo (generada con un reloj de tiempo real basado en el desarrollado en el laboratorio del curso), y enviarlos a la PC mediante UART.

Como variante podrá pensarse en utilizar algún sensor para determinar la orientación del panel respecto al sol usando algún sensor disponible en [1].

Hardware a utilizar:

- Microcontrolador MSP430G2553
- Panel solar en vacío conectado al ADC del Microcontrolador
- Sensor de luz ambiente OPT3001 conectado al Microcontrolador mediante I2C.
- Unidad ambiental BME280 (que contiene sensores de presión atmosférica, humedad y temperatura ambiente) conectado al Microcontrolador mediante I2C.

El BME280 y el OPT3001 están disponibles en [1]. Los proyectos [2] y [3] usaron estos sensores y se recomienda su lectura.

Referencias:

[1] BOOSTXL-SENSORS Sensors BoosterPack Plug-in Module, Texas Instruments https://www.ti.com/lit/ug/slau666b/slau666b.pdf?ts=1743204692216
[2] SINVA, Proyecto Sisem 2020
https://iie.fing.edu.uy/ense/asign/sisem/proy/2020/Grupo%201/Documentacion.pdf
[3] Climatron, Proyecto sisem 2022
https://iie.fing.edu.uy/ense/asign/sisem/proy/2022/Grupo%203/Documentacion.pdf