

PROYECTO FINAL DE CARRERA

SISTEMA DE MONITOREO Y REGISTRO DE COMPORTAMIENTO DINÁMICO PARA BOVINOS

Autor: José Eduardo Luján

Director: Ing. Roberto Martín Murdocca

Septiembre 2022

Ingeniería Electrónica
con Orientación en Sistemas Digitales



TEMARIO

INTRODUCCIÓN	3
SOLUCIÓN PROPUESTA	5
HARDWARE	6
FIRMWARE	14
APLICACIÓN MÓVIL	17
PROTOTIPO	18
RESULTADOS	19
CONCLUSIONES	24
MEJORAS FUTURAS	25



Objetivo General

Desarrollar un prototipo-collar de un sistema de monitoreo y registro de la actividad reproductiva en sistemas ganaderos extensivos bovinos en regiones áridas.



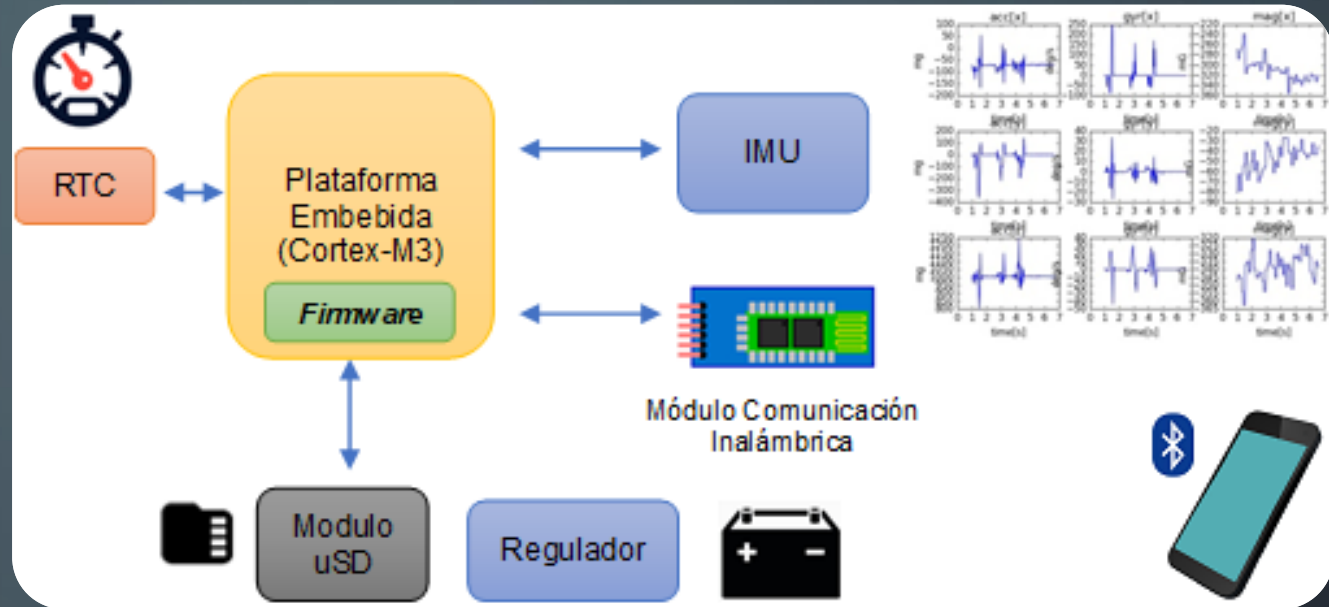
Sistemas Existentes

- ✓ Tecnologías aplicadas a ganado vacuno hembra.
- ✓ Soluciones de monitoreo:
 - Ingesta y rumia
 - Detección de celo
 - Monitoreo de salud
 - Comportamiento de grupo

- ❑ Sistemas de detección de celo para realizar inseminación artificial.
 - Parches en vientre y lomo
 - Detección de cambios de comportamiento
 - Detección de intento de monta



Solución Propuesta



MONTAJE PREVISTO

Sensor de Unidad Inercial MPU9250

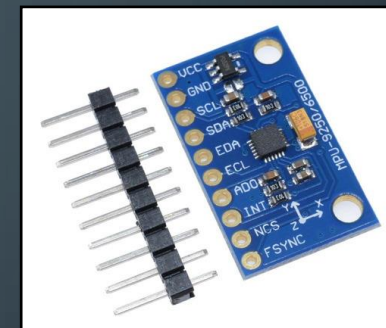
Características principales

Alimentación: 2,4 a 3,6 VCC

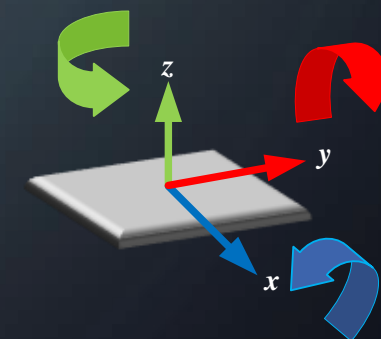
Comunicación: I2C - 400kHz

Procesador Digital de Movimiento - 9 DoF

Wake-On-Motion: 0 ~ 1020 mg



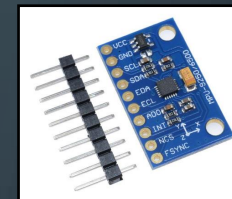
	Acelerómetro	Giróscopo	Magnetómetro
ADC		16 bits	14 bits
Escala	± 2	± 250	$\pm 4800\mu T$
	± 4	± 500	
	± 8	± 1000	
	$\pm 16 g$	$\pm 2500 DPS$	
DLPF	Programable		-
Interrupción	Programable	-	-



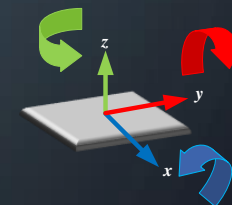
Sensor de Unidad Inercial MPU9250



Características de consumo		
Normal	9-Ejes (-DMP)	3,7 mA
Bajo consumo Acelerómetro	Tasa de datos: 0,98 Hz	8,4 μA
Sleep		8 μA



Modo	Gyro	Accel	Magn	DMP
Sleep	OFF	OFF	OFF	OFF
Standby	ON	OFF	OFF	OFF
Low-Power Accelerometer	OFF	Duty-Cycled	OFF	ON/OFF
Low-Noise Accelerometer	OFF	ON	OFF	ON/OFF
Gyroscope	ON	OFF	OFF	ON/OFF
Magnetometer	OFF	OFF	ON	ON/OFF
Accel + Gyro	ON	ON	OFF	ON/OFF
Accel + Magn	OFF	ON	ON	ON/OFF
9-Axis	ON	ON	ON	ON/OFF



Almacenamiento y Comunicación

Características principales

Alimentación: 2,7 a 3,6 VCC

Comunicación: SPI

Características de consumo a 3V

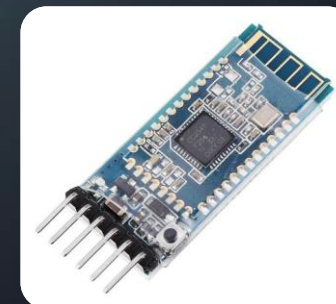
Sleep	100 μ A
Lectura	Típico: 45 mA Máximo: 50 mA
Escritura	Típico: 55 mA Máximo: 58 mA



Características principales

Alimentación: 3,6 a 6 VCC

Comunicación: UART



Características de consumo a 3V

Horarios de encendido del módulo programable

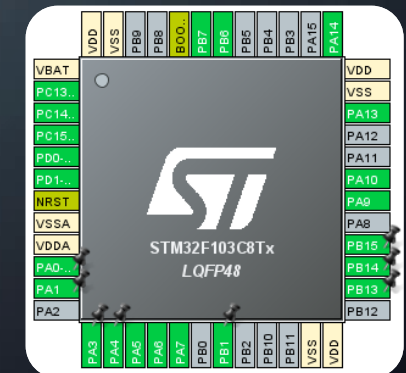
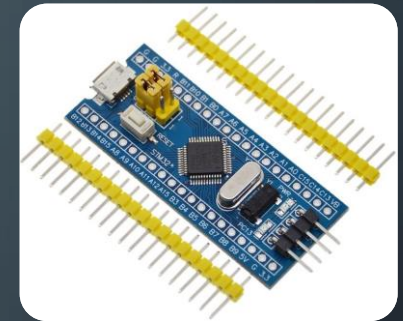
Tres alarmas configurables por el usuario

Tiempo de encendido: 15 minutos

Plataforma Embebida STM32F103

Características principales Bluepill

- MCU ARM Cortex M3 - 32 bits
- Frecuencia Máxima: 72 MHz (1,25 MIPS/MHz)
- Memoria: Flash 64 kB - SRAM: 20 kB
- Cristal 8 MHz
- RTC integrado - Cristal 32,764 kHz
- Modos de ahorro de energía: Sleep, Stop y Standby
- Alimentación: 3,3 V o 5V con regulador de tensión
- Alimentación STM32: 2 a 3,6 V
- Temperatura de trabajo: -40 a 85 °C
- ADC de 12 bits de 1 μ s x 2 (10 entradas analógicas)
- TIM x 5
- I2C x2
- SPI x2
- UART x3
- CAN x1
- USB



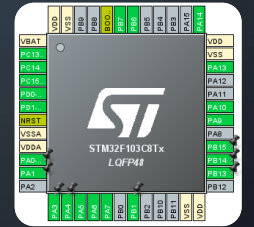
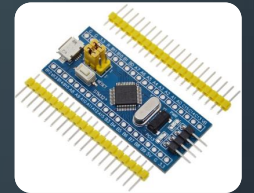
Plataforma Embebida STM32F103

RTC - Reloj de Tiempo Real

- ❑ Provee reloj y calendario
- ❑ Dominio de copia de seguridad
- ❑ Permite configurar alarmas

Genera una interrupción al MCU y lo despierta de su modo de bajo consumo

Registro	Valor almacenado
RTC_BKP_DR1	Control de reinicio: 0x4B4B
RTC_BKP_DR2	PWR_MGMT_2 << 8 ACCEL_CONFIG
RTC_BKP_DR3	0x00 << 8 GYRO_CONFIG
RTC_BKP_DR4	WOM_THR << 8 LP_ACCEL_ODR
RTC_BKP_DR5	Puntero de escritura SD [LOW]
RTC_BKP_DR6	Alarma 1: Alarm1HH << 8 Alarm1MM
RTC_BKP_DR7	Alarma 2: Alarm2HH << 8 Alarm2MM
RTC_BKP_DR8	Alarma 3: Alarm3HH << 8 Alarm3MM
RTC_BKP_DR9	Año + Mes + Día
RTC_BKP_DR10	Puntero de escritura SD [HIGH]



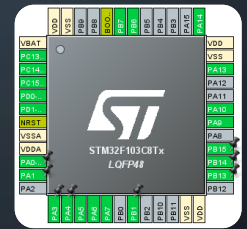
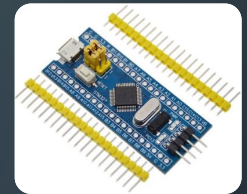
Plataforma Embebida STM32F103

TIM - Temporizador

- Base de tiempo de 5 seg.
- Permite ingresar al modo de bajo consumo cuando detecta inactividad del dispositivo

NVIC - Controlador de Interrupciones

- Hardware de gestión
- Estado de interrupciones
 - ✓ Habilitada/Deshabilitada
 - ✓ Pendiente/No Pendiente
 - ✓ Activa/Inactiva
- Niveles de interrupciones
 - ✓ Prioridad
 - ✓ Subprioridad

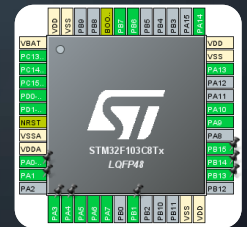
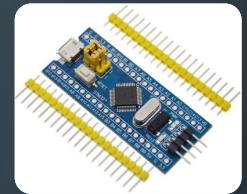


Plataforma Embebida STM32F103



Modos de bajo consumo

- ❑ Cortex-M: Instrucciones para suspensión
 - ✓ *WFI - Por Interrupción*
 - ✓ *WFE - Por Evento*
- ❑ Modos de bajo consumo
 - ✓ *SLEEP*
 - ✓ *STOP*
 - ✓ *STANDBY*

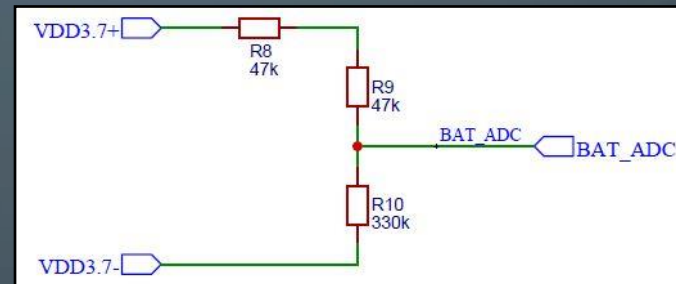
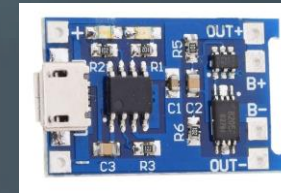


Eficiencia energética

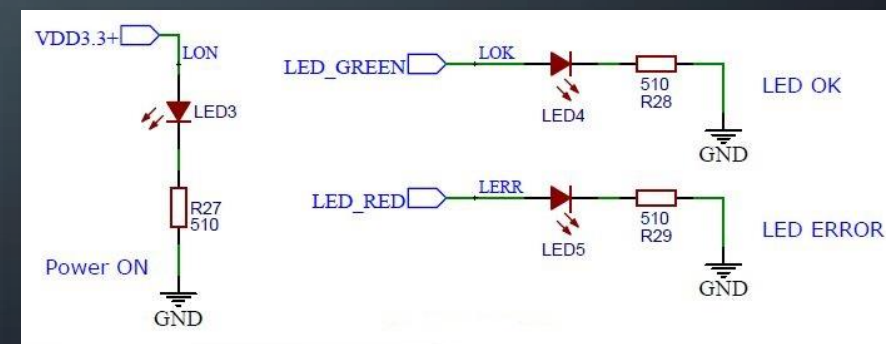
- ✓ Consume menos energía
- ✓ Simplifica y minimiza la sección de potencia
- ✓ PCB con dimensiones reducidas, materiales y disipación de potencia
- ✓ Optimización del firmware
- ✓ Apagado de periféricos innecesarios



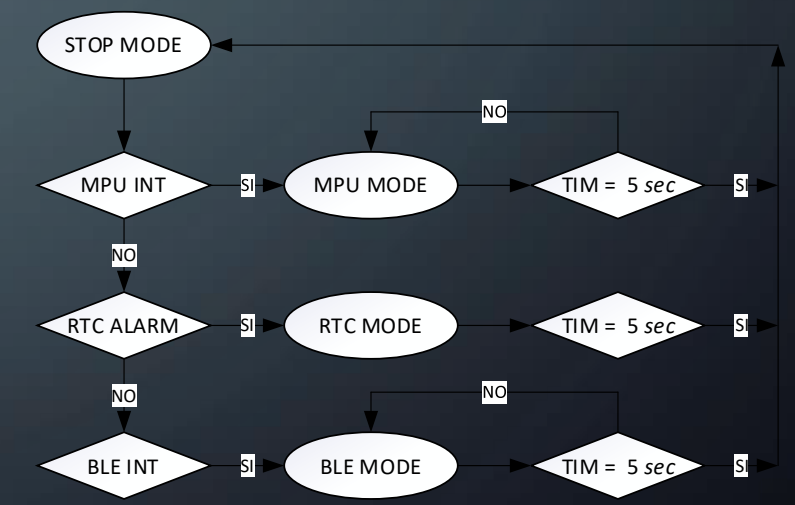
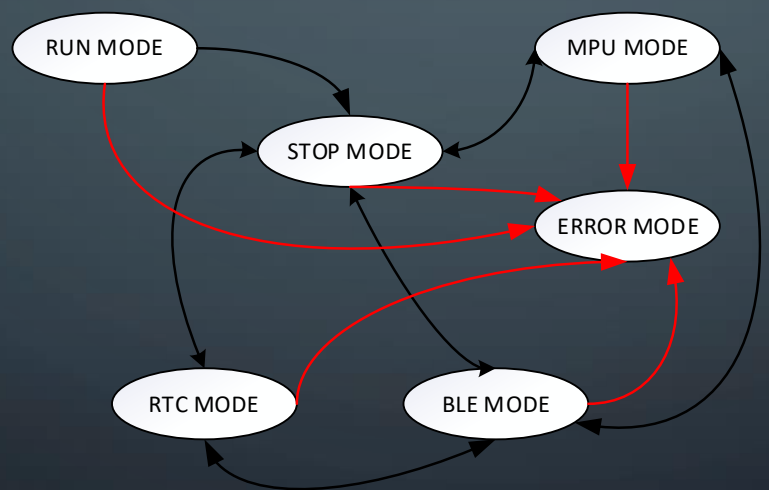
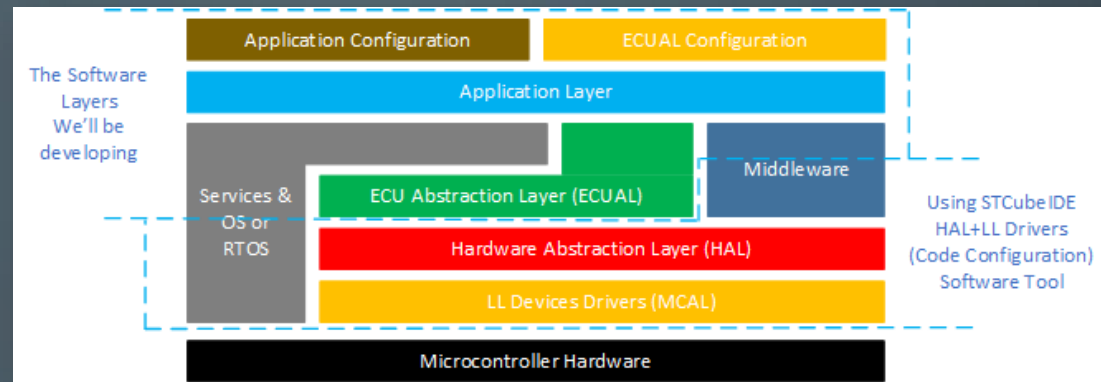
Alimentación y Señalización



Valores esperados del ADC		
VDD3,7V+ [V]	BAT_ADC[V]	BAT [%]
2,70	2,10	0
3,30	2,57	40
4,20	3,27	100

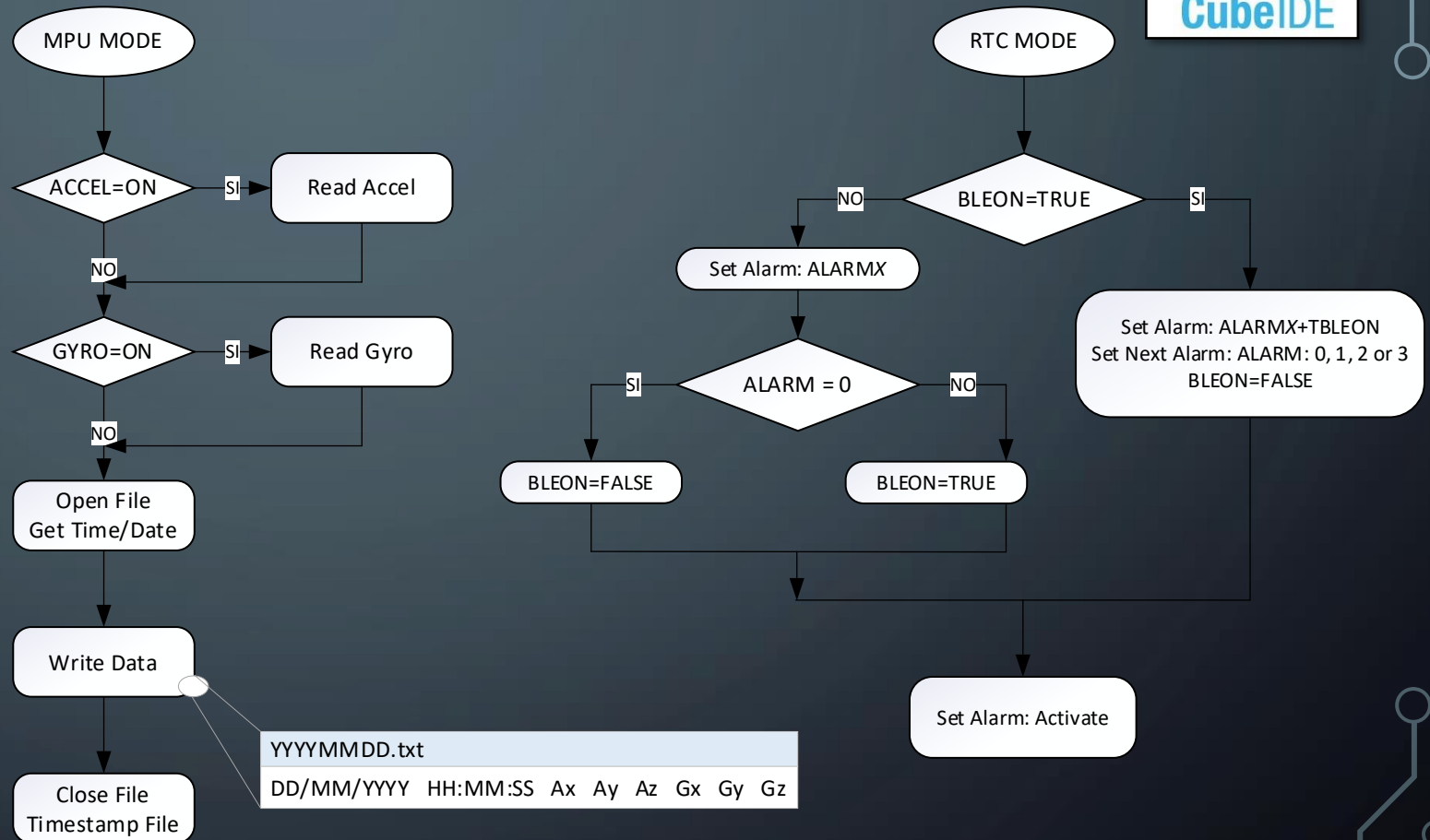


Firmware MCU

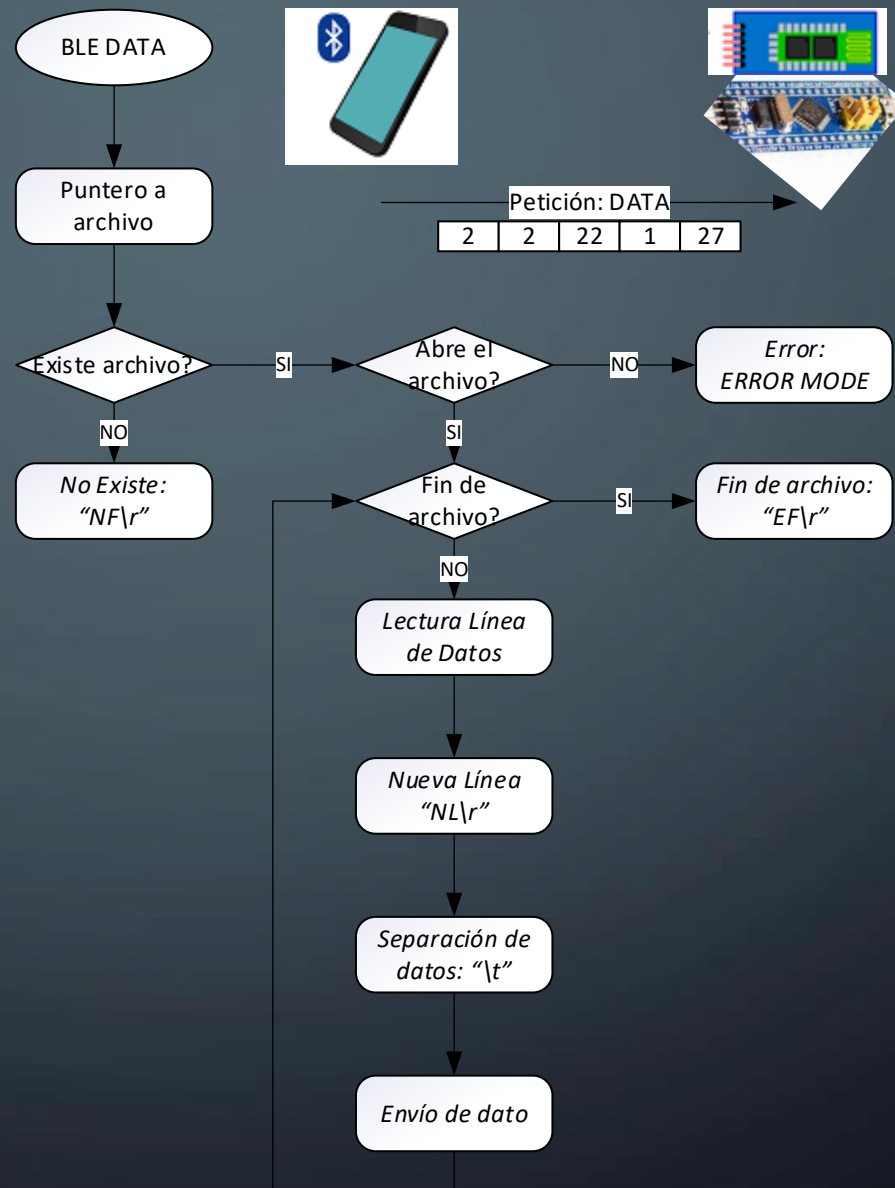




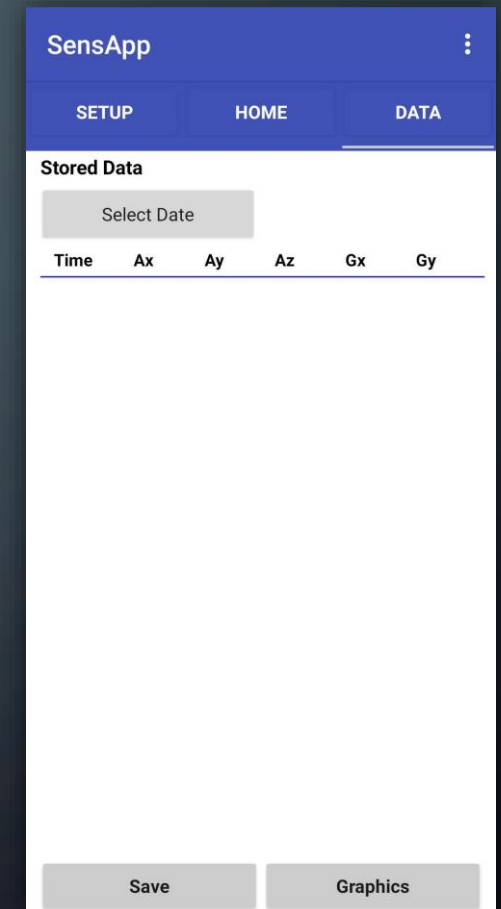
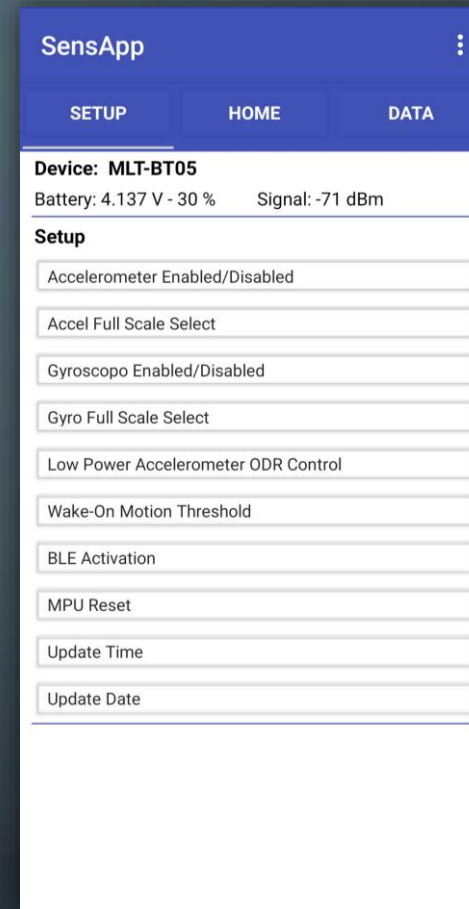
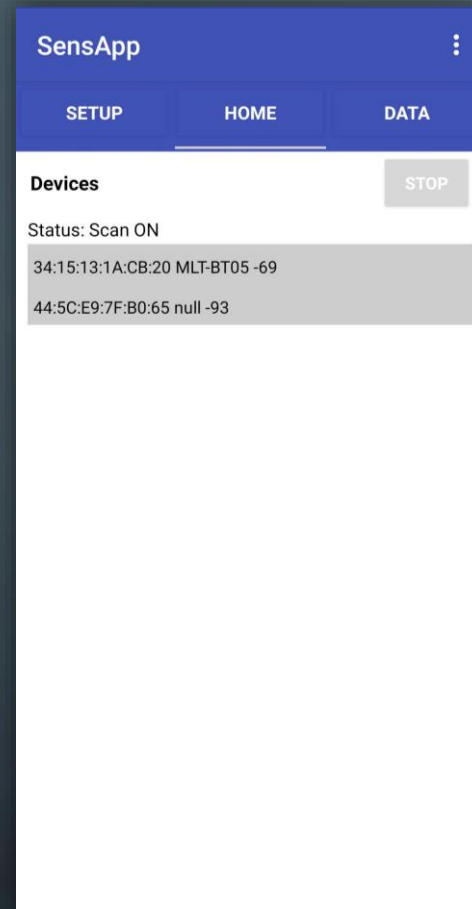
Registro de datos y Alarmas



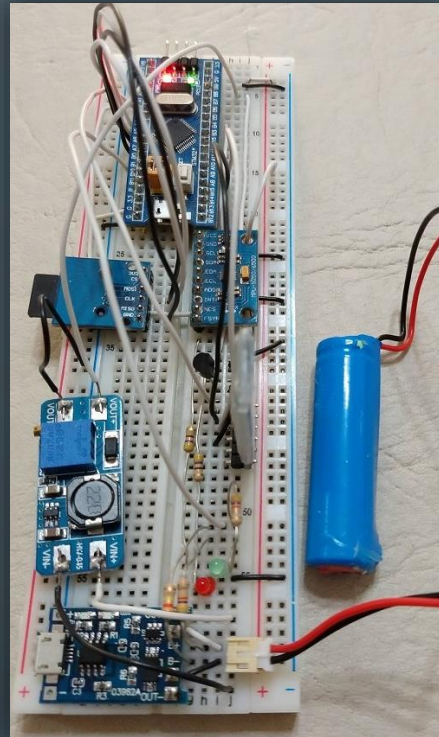
Comunicación Bluetooth



Aplicación Móvil

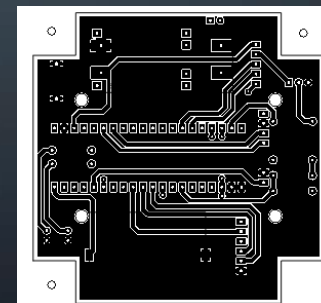
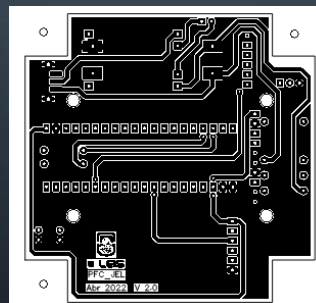


Prototipo

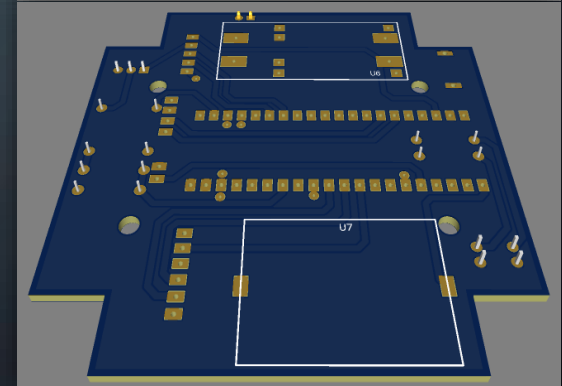
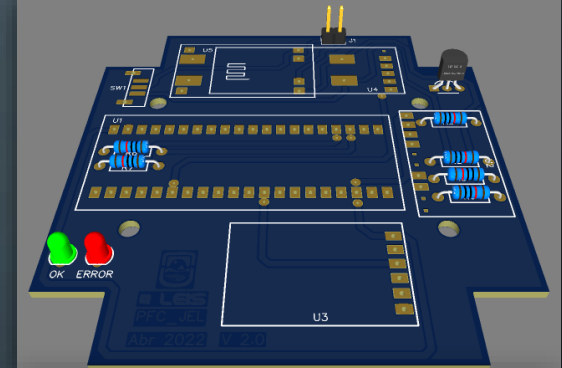


Pruebas experimentales

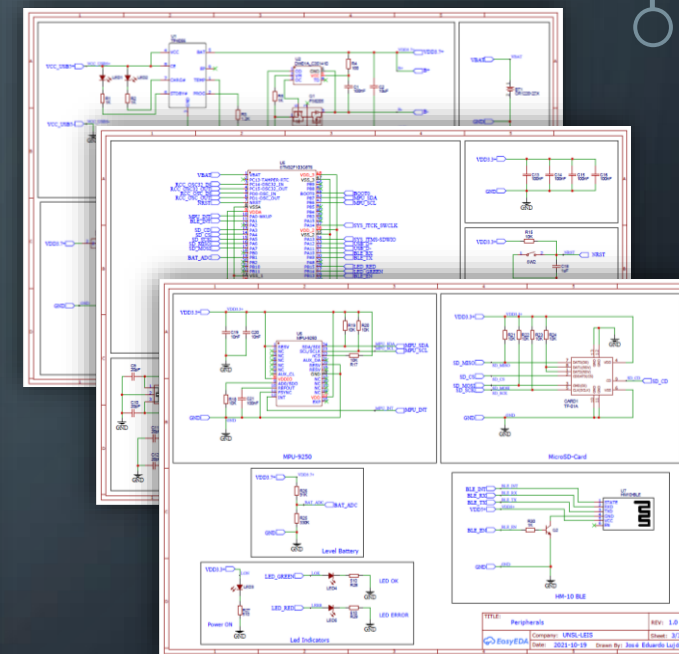
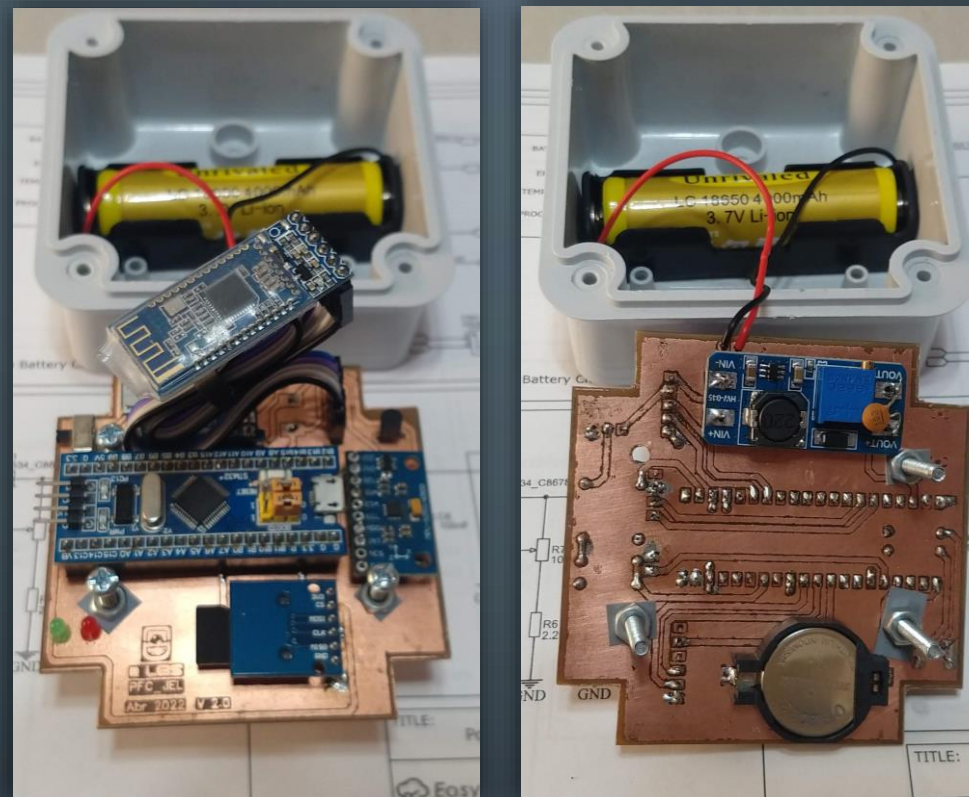
1. Configuración de reloj de periféricos y puertos de MCU
2. Comunicación con el sensor
3. Configuración inicial del RTC
4. Almacenamiento de datos en memoria
5. Configuración del MCU en modo de bajo consumo energético
6. Comunicación Bluetooth
7. Alimentación desde batería
8. Diseño de PCB



Prototipo



Resultados



Memoria	Inicio	Final	Tamaño	Libre	Usado	Usado [%]
RAM	0x2000 0000	0x2000 5000	20 kB	15.91 kB	4.09 kB	20.47 %
FLASH	0x8000 0000	0x8010 0000	64 kB	15.36 kB	48.64 kB	76.01 %

Resultados

The image shows a file explorer window with four files: 20220304 (16 KB), 20220305 (23 KB), 20220306, and 20220307. The 20220307 file is open in a text editor titled '20220307: Bloc de notas'. The editor displays a table of data with columns for date, time, and various numerical values.

Nombre	Fecha de modific...	Tamaño
20220304	4/3/2022 17:59	16 KB
20220305	5/3/2022 20:33	23 KB
20220306		
20220307		

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
07/03/2022	10:35:59	-0.04883	0.06738	0.76807
07/03/2022	10:35:59	-0.00684	0.14062	1.03906
07/03/2022	10:35:59	0.01172	0.11523	0.92822
07/03/2022	10:58:30	0.02637	0.08057	0.91211
07/03/2022	10:59:40	0.04834	0.13965	0.94189
07/03/2022	11:01:10	0.08984	-0.06006	0.75977
07/03/2022	11:01:11	-0.06543	0.14014	0.95215
07/03/2022	11:01:11	-0.00586	0.10840	0.90576
07/03/2022	11:02:10	0.04297	0.12061	0.98682
07/03/2022	11:02:17	-0.01855	-0.02734	0.88672
07/03/2022	11:02:17	0.03711	0.17578	0.93018
07/03/2022	11:02:19	-0.04834	0.13037	1.09912
07/03/2022	11:02:19	-0.02393	0.11963	1.09766
07/03/2022	11:02:19	0.00488	0.06836	0.95117
07/03/2022	11:02:19	0.04541	0.10645	1.02295
07/03/2022	11:02:19	0.02441	0.12402	0.99512
07/03/2022	11:02:31	0.03564	0.13330	1.04150

Tamaño lógico de memoria fijo utilizado

Caracteres	Bytes
Fecha (DD/MM/AAAA)	10
Hora (HH:MM:SS)	8
Tabulaciones (\t)	7
Nueva línea (\r\n)	2
Total caracteres fijo	27

Tamaño lógico de memoria variable utilizado

Ax	Ay	Az	Gx	Gy	Gz	Bytes
0,02002	0,06396	1,06641	0,00000	0,00000	0,00000	42
-0,03711	0,024121	0,9355	0,00000	0,00000	0,00000	43
0,03027	0,14697	1,03955	19,10400	41,25977	235,35156	46

Archivo	Líneas	Mínimo	Máximo	Tamaño real
20220304.txt	230	15870	20010	15923
20220305.txt	333	22977	28971	23045
20220306.txt	224	15456	19488	15502
20220307.txt	406	28014	35322	28490

Tamaño lógico de memoria por línea
Mín.: 69 bytes - Máx.: 87 bytes



Resultados

SensApp

SETUP HOME DATA

Stored Data 2/1/2022

Select Date

Time	Ax	Ay	Az	Gx	Gy
16:05:22	-0.02100	0.07764	0.91504	11.29150	6.10352
16:05:22	0.03467	0.10742	0.93408	10.19287	-1.22070
16:06:52	0.00439	0.12793	0.94824	11.23047	6.77490
16:09:50	0.06982	0.12793	0.95557	10.43701	7.14111
16:10:01	0.01465	0.11963	0.94629	11.10840	6.95801
16:11:41	0.01270	0.13281	0.93555	10.92529	4.63867
16:12:20	0.02441	0.11475	0.94141	8.85010	5.98145
16:12:29	0.08057	0.16357	0.91162	11.41357	6.28662
16:13:35	-0.00781	0.09961	1.05176	12.32910	5.37105
16:14:07	0.02930	0.09326	1.01221	10.68115	5.85938
16:14:15	0.02246	0.08594	0.96777	9.82666	3.23486
16:14:15	0.02783	0.12598	1.06494	11.71875	3.66211
16:14:22	0.10303	0.17090	1.04639	12.87842	3.96725
16:14:24	-0.01367	0.21094	0.93945	8.97217	2.68555
16:14:24	0.03809	0.11426	1.00342	11.29150	5.85938
16:17:07	0.03271	0.16064	0.89209	12.69531	3.11275
16:17:07	0.03369	0.10938	0.94287	10.62012	5.98145
16:17:27	0.05908	0.19482	0.99365	10.74219	0.42725
16:17:27	-0.08447	-0.02197	1.00391	8.11768	-4.02831
16:17:42	0.02930	0.15332	0.98877	11.29150	4.82178
16:19:11	0.02393	0.15771	0.98242	10.98633	6.28662
16:21:36	0.01172	0.11816	0.75879	6.89697	6.95801
16:21:52	0.03125	-0.06201	1.01953	12.20703	5.73730
16:21:52	0.07471	0.14893	0.96826	11.23047	5.55420
16:30:38	0.07617	0.14795	0.94775	11.23047	6.16455
16:30:43	0.04150	0.16016	1.01367	11.41357	6.95801
16:30:56	0.02441	0.11523	0.96338	11.71875	7.20215
16:32:26	-0.01709	0.08643	0.91650	10.98633	6.22555
16:35:48	0.00977	0.16699	1.01465	11.53564	5.79834
16:35:52	0.02832	0.12500	0.93945	10.37598	4.57764
16:36:45	0.07227	0.15186	0.95752	11.96289	4.69971
16:36:45	0.06934	0.08887	0.93408	13.54980	1.52588
16:36:45	0.03223	0.16406	0.89648	11.65771	8.23975
16:40:08	-0.00098	0.14258	0.94580	10.37598	5.31006
16:50:30	-0.04932	0.03564	0.86328	12.63428	4.27246
16:55:51	0.02930	0.11670	1.01807	10.68115	5.06592
16:56:45	0.06104	0.12207	0.91748	11.29150	5.92041
16:59:10	0.03637	0.12194	0.93555	10.40985	7.01004

Save Graphics

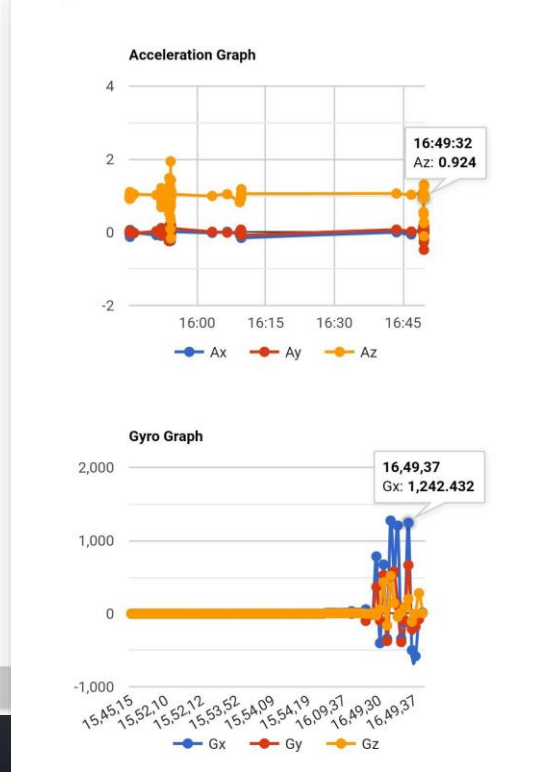
SensApp

SETUP HOME DATA

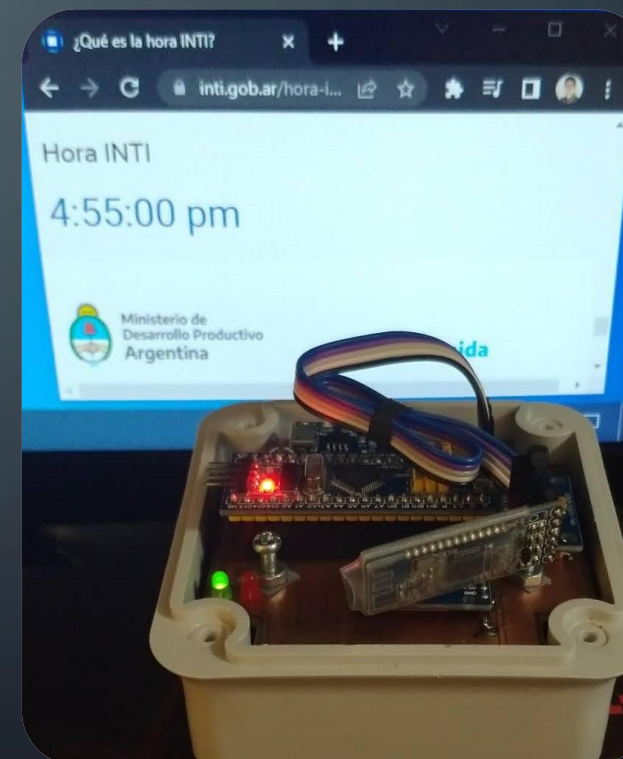
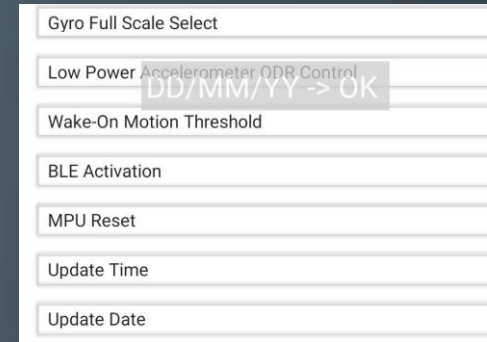
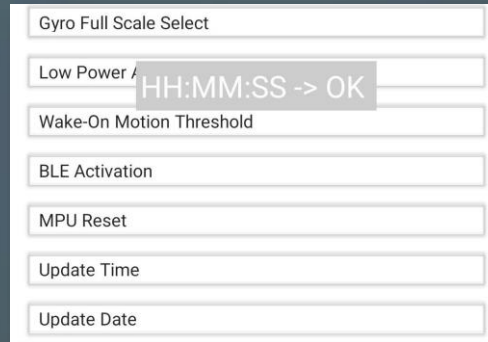
Graphics



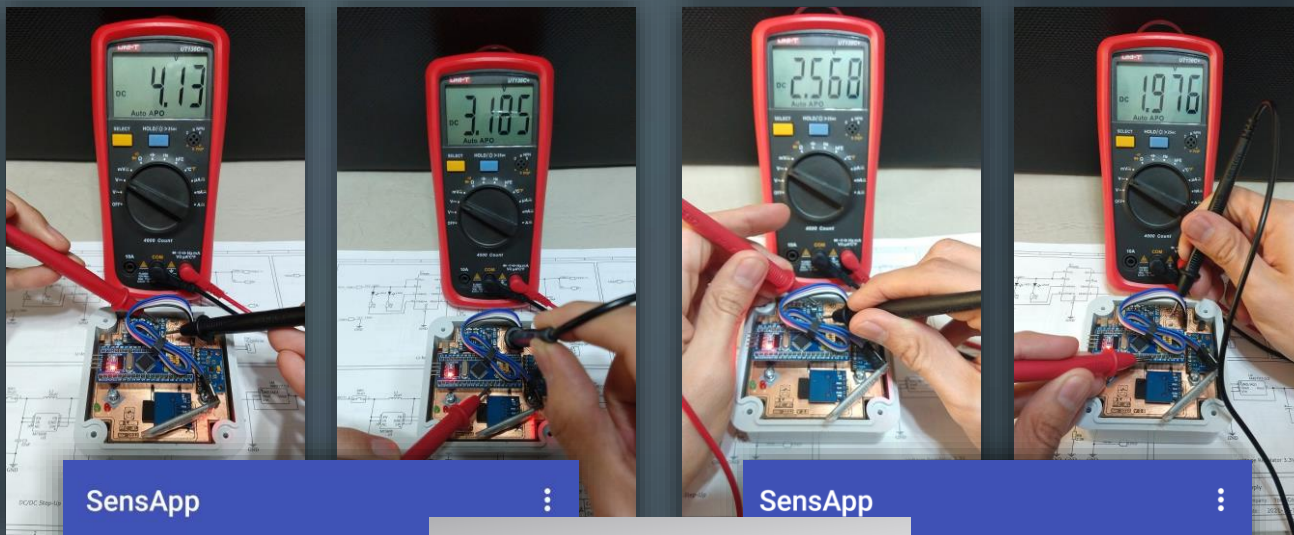
Graphics



Resultados



Resultados



SensApp

SETUP HOME

Error máximo del 1%

Device: BT001
 Battery: 4.133 V - 99 % Signal: -53 dBm

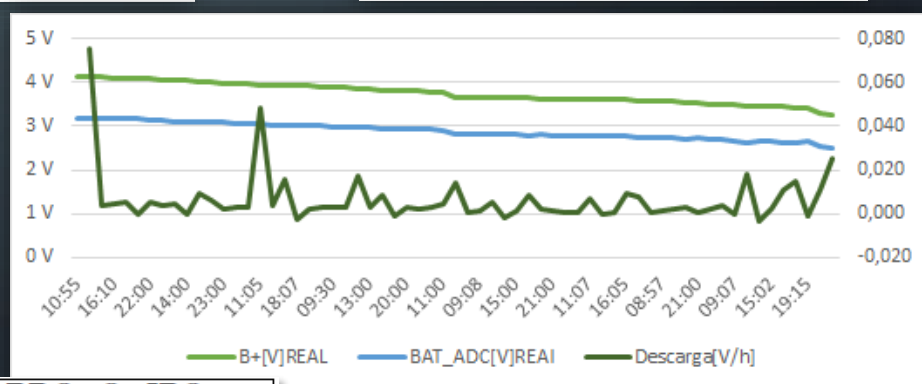
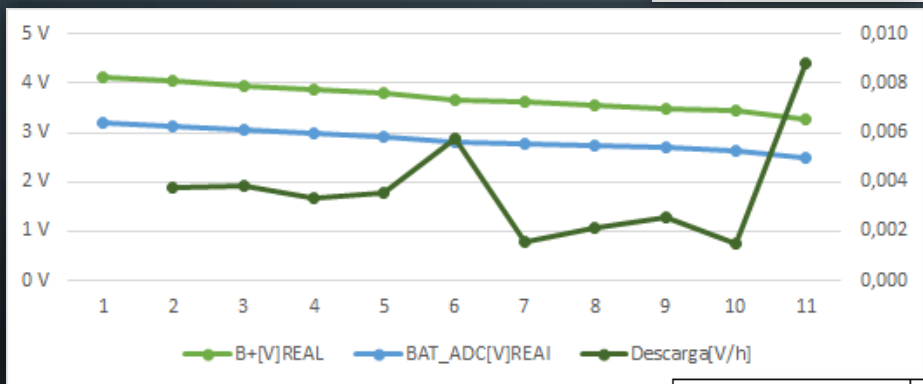
Setup

SensApp

HOME DATA

Device: BT001
 Battery: 2.582 V - 1 % Signal: -47 dBm

Setup



BLE	PROTOTIPO	
	STOP	RUN
ENCENDIDO	47 mA	70 mA
APAGADO	6 mA	35 mA



Conclusiones

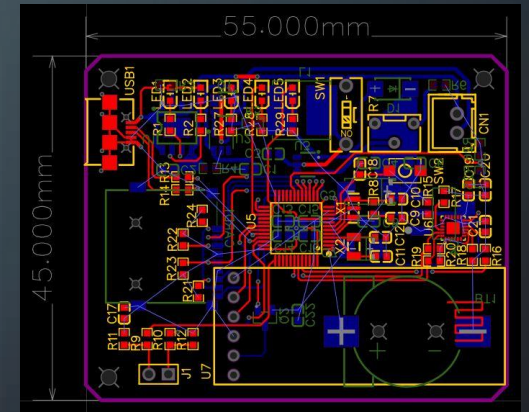
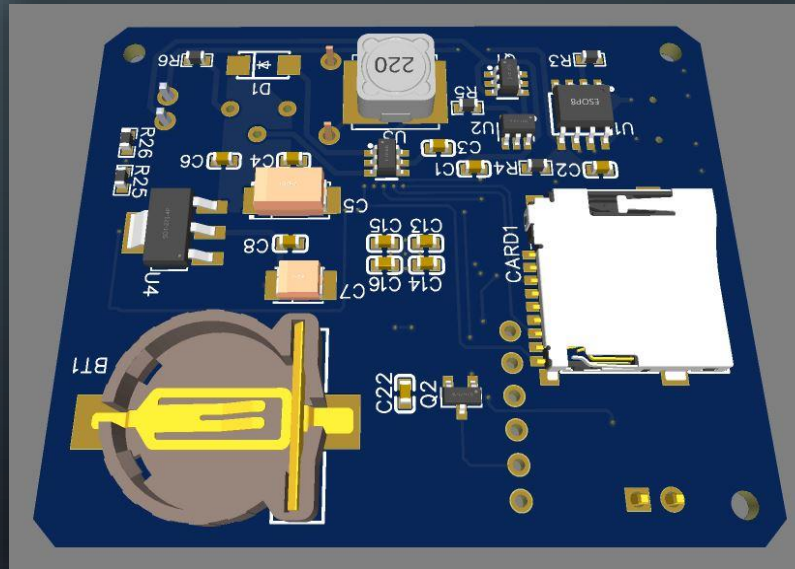
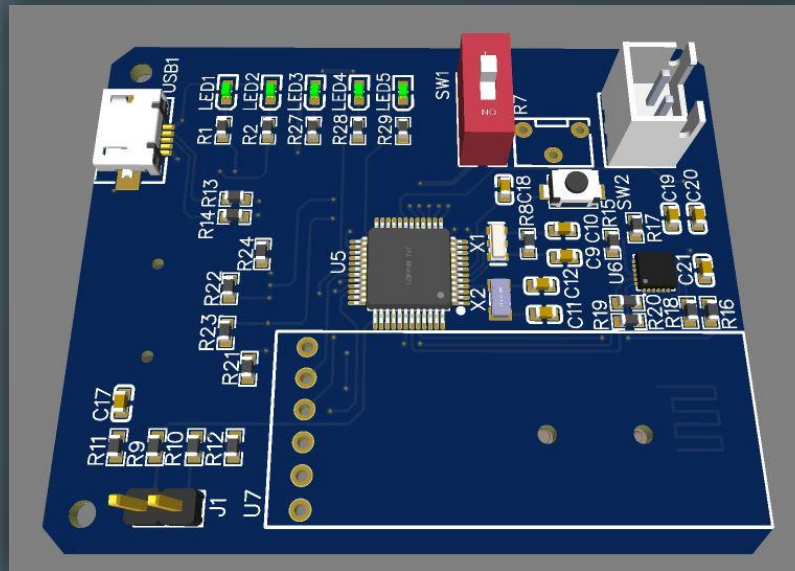
- ✓ Base o punto de partida para evaluar y obtener mejoras a mediano y largo plazo en nuevos puntos de interés en la aplicación de tecnologías en la industria ganadera.
- ✓ Objetivos propuestos cumplidos:
 - ✓ Dispositivo de bajo costo.
 - ✓ Funcionalidades planificadas y con mejores prestaciones.
 - ✓ Conocimientos de programación de aplicaciones móviles.
- ✓ Para obtener mejores soluciones a las necesidades tecnológicas actuales muchas veces se requiere de un equipo de trabajo interdisciplinario.

Trabajos Futuros

- ✓ Desarrollo de aplicación móvil que permita mayor dominio en programación.
- ✓ Integración de nuevos sensores que permita evaluar nuevas características
- ✓ Estudiar otros sistemas inalámbricos
- ✓ Generar una red de nodos escalable
- ✓ Generar sistema plug-and-play de la memoria SD
- ✓ Evaluar hardware para mejorar carga de batería
- ✓ Filtrado automático de datos
- ✓ Optimizar firmware del MCU
- ✓ Desarrollo de nuevos PCB con componentes SMD



Prototipo PCB SMD



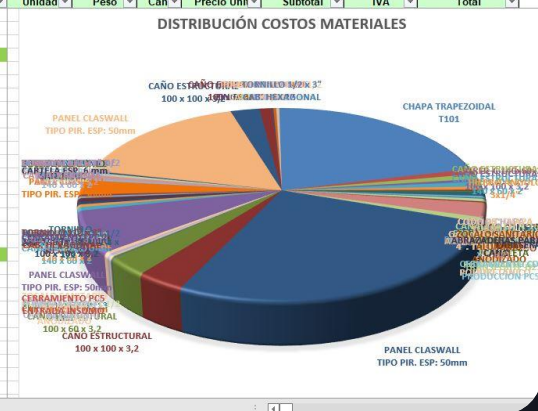
¿PREGUNTAS?



Un poco mi experiencia laboral



ANÁLISIS DE COSTOS SANITARIOS							Dólar	21,00	euro	6,70
Cod	Descripcion	Unidad	Peso	Can	Precio Unit	Subtotal	IVA	Total		
44	H21									
45	TRANSPORTE H21									
46										
47	CERRAMIENTO CD-PRODUCCION PCS									
48	PANEL CLASWALL TIPO PIR. ESP. 50mm									
49	CAÑO ESTRUCTURAL 100 x 100 x 3,2									
50	CAÑO ESTRUCTURAL 100 x 60 x 3,2									
51										
52										
53	PLACA BASE ESP. 13 mm									
54	CARTELA ESP. 6 mm									
55	BROCA TIPO PEF DIAM. 12									
56										
57	HIERRO ANGULO 1 1/2 x 3/16									
58	TORNILLO 1/2 x 3" CAB. HEXAGONAL									
59										
60	ZOCALO SANITARIO ALUMINIO ANODIZADO									
61										
62										
63	CERRAMIENTO PCS ENTRADA INSUMO									
64	PANEL CLASWALL TIPO PIR. ESP. 50mm									
65	CAÑO ESTRUCTURAL 140 x 60 x 2									
66	CAÑO ESTRUCTURAL 120 x 60 x 2									
67	CAÑO ESTRUCTURAL 100 x 100 x 3,2									
68	CAÑO ESTRUCTURAL 80 x 60 x 2									
69										
70	ZINGUERIA CAL 22									



Un poco mi experiencia laboral

