

Trabajo Final Diseño de Sistemas Electrónicos

Medidor de Corriente y Voltaje

Bryan Jesús López González - 2180407

Erika Yesenia Suárez Bonilla - 2180376

Angel Mauricio Ardila Barba - 2180394

Nelson José Rodríguez Sierra - 2132410

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Universidad Industrial de Santander

Bucaramanga, Colombia

2022

I. OBJETIVOS

A. GENERAL

Diseñar un circuito electrónico alimentado con batería que mida y transmita inalámbricamente tensiones y corrientes generadas por dos paneles solares utilizados para la alimentación de un sistema de crecimiento de plantas iluminado con diodos LEDs.

B. ESPECÍFICOS

- Diseñar la PCB del circuito electrónico.
- Seleccionar un módulo o un microcontrolador que permita transmitir inalámbricamente los datos de la tensión, corriente y potencia eléctrica medidos a un celular.
- Proponer un sistema de sensado que permita medir tensiones de hasta 25 V y corrientes de hasta 5 A.
- Seleccionar los dispositivos electrónicos a usar en el circuito de la mejor manera posible, en donde se tenga en cuenta el tamaño, consumo y precio.

II. INVESTIGACIONES PREVIAS

A. Celdas Fotovoltaicas:

Los paneles solares son dispositivos compuestos por diferentes elementos, pero el principal de estos son las celdas o células fotovoltaicas. Las celdas fotovoltaicas están basadas en el principio del **efecto fotovoltaico**, es decir, en la conversión de luz solar a energía eléctrica [Ein67]. Cada celda esta fabricada a partir de silicio dopado. Este dopaje, necesario para crear inestabilidad eléctrica, es el que permite que se generen pares electrón-hueco cuando inciden fotones sobre el material. Para su uso practico, las celdas son conectadas a un circuito externo, permitiendo la circulación de un flujo neto de cargas o corriente eléctrica en todo el sistema. [Ate19]

Aunque en la actualidad existen muchos tipos de celdas fotovoltaicas según su material de fabricación, tales como de película fina, perovskita y celdas orgánicas, existen dos tipos principales que son usados ampliamente en instalaciones residenciales y comerciales: las células monocristalinas y policristalinas de silicio. [Ene20]

B. Sensor de Corriente:

Uno de los componentes fundamentales del proyecto es el sensor de corriente. A partir del hecho de que cuando fluye una corriente se produce una caída de tensión y se genera un campo magnético, las formas de medición de corriente se clasifican como directa o indirecta.

La forma directa se basa en la ley de Ohm, esto es, midiendo la caída de voltaje en el elemento por el cual fluye la corriente. Por otro lado, la forma indirecta consiste en la medición del campo magnético generado por la corriente que fluye a través de él. [Pre18]

C. Tecnologías de Comunicación:

Existen diversas tecnologías de comunicación inalámbrica que posibilitan el envío y recepción de información entre diversos dispositivos. Algunas de estas son Wifi, Bluetooth, Zigbee y Z-wave [zon21]. Basados en el alcance del proyecto, la tecnología seleccionada fue la **Bluetooth** en su versión 4.2 que está implementada en el **ESP32S** (microcontrolador usado en el proyecto). Esta a su vez se divide en **Bluetooth Classic** y **Bluetooth Low Energy** [Tut19].

La diferencia entre estas dos, es que la Bluetooth Classic es ideal para conectar teléfonos móviles a los audífonos inalámbricos, mientras que la Bluetooth Low Energy es una versión de ultra baja potencia enfocada para sensores de baja potencia, esto es, para aplicaciones que no requieran conexión permanente y que están alimentadas por batería. [Uni19]

D. Crecimiento de Plantas:

Para el proceso de fotosíntesis, las plantas utilizan sólo un rango del espectro de luz solar que reciben (luz roja y azul), convirtiendo en calor el rango restante, dificultando su crecimiento y floración.

Por esta razón, desde hace algunos años, se ha buscado optimizar la producción de flores (orquídeas, rosas, crisantemos) o cultivos de diverso tipo (tomate, pimienta, albahaca, lechuga) en invernaderos o cultivos hidropónicos

[Wik22] haciendo una transición de iluminación solar por una artificial.

De entre las diversas alternativas artificiales disponibles, la más atractiva en la actualidad es el cultivo interior con diodos emisores de luz (LED).

Esta tecnología brinda muchas ventajas, además del ahorro energético, entre ellas está el control del espectro de luz que reciben las plantas, aumentando exponencialmente la producción de dichos cultivos, sin afectar la calidad de estos respecto a otras formas de iluminación tradicional, como el uso de lamparas incandescentes.

Entre los tantos beneficios que brinda esta tecnología es que puede ser hasta 5 veces más eficiente en el consumo de energía, no genera exceso de calor dañino a las plantas, estas pueden absorber cerca del 90% de la luz emitida por las lamparas, las que a su vez presentan una mayor vida útil respecto a otras alternativas. [Hoy]

El hecho de que el sistema de iluminación sea mucho mas eficiente en su consumo de potencia, implica que una mayor parte de la energía proveniente del sistema fotovoltaico puede ser utilizada en otras partes del proceso de producción.

E. Mapas solares:

Teniendo en cuenta que este un sistema que sensa corriente y voltaje provenientes de generación fotovoltaica se hizo una investigación para determinar por cuanto tiempo tendría que funcionar este sistema.

| ESTACION METEOROLOGICA DE CALI (CALI) | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PROMEDIO HORARIO DE LA RADIACION (Wh/m²) | | | | | | | | | | | | |
| HORA | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| 0-1 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.4 |
| 1-2 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| 2-3 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.5 |
| 3-4 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.5 |
| 4-5 | 0.7 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.6 |
| 5-6 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.8 | 1.3 | 1.2 | 0.7 |
| 6-7 | 18.3 | 16.3 | 21.5 | 28.9 | 38.0 | 52.2 | 59.6 | 50.2 | 41.4 | 44.2 | 39.2 | 25.8 |
| 7-8 | 105.5 | 96.2 | 106.2 | 128.7 | 131.6 | 138.0 | 141.1 | 141.4 | 158.4 | 157.4 | 142.6 | 114.3 |
| 8-9 | 252.2 | 237.3 | 252.1 | 291.8 | 267.7 | 289.4 | 305.4 | 304.1 | 347.2 | 323.4 | 305.7 | 261.7 |
| 9-10 | 459.5 | 425.8 | 434.8 | 465.0 | 441.1 | 463.1 | 478.3 | 489.8 | 539.0 | 510.2 | 488.5 | 439.4 |
| 10-11 | 610.3 | 609.1 | 602.7 | 601.6 | 578.6 | 590.3 | 620.8 | 637.2 | 679.0 | 684.3 | 678.5 | 675.9 |
| 11-12 | 676.5 | 663.7 | 667.7 | 677.2 | 635.0 | 631.5 | 682.0 | 684.4 | 726.4 | 673.2 | 617.3 | 621.6 |
| 12-13 | 683.0 | 675.6 | 677.6 | 656.4 | 629.0 | 620.9 | 677.6 | 680.6 | 682.3 | 644.4 | 598.5 | 622.3 |
| 13-14 | 577.8 | 616.2 | 581.6 | 569.3 | 553.6 | 554.2 | 607.0 | 616.1 | 545.6 | 511.9 | 510.8 | 510.4 |
| 14-15 | 468.7 | 471.5 | 444.0 | 420.8 | 419.9 | 434.1 | 465.8 | 467.0 | 420.5 | 377.6 | 366.4 | 377.0 |
| 15-16 | 330.6 | 306.5 | 329.0 | 280.6 | 264.0 | 314.9 | 339.8 | 323.7 | 287.3 | 253.8 | 243.9 | 264.0 |
| 16-17 | 182.6 | 184.8 | 179.7 | 140.7 | 142.9 | 172.4 | 207.5 | 204.1 | 157.3 | 113.8 | 109.7 | 131.9 |
| 17-18 | 48.7 | 54.2 | 53.5 | 39.1 | 39.4 | 52.8 | 70.5 | 63.2 | 39.0 | 20.5 | 19.0 | 28.6 |
| 18-19 | 1.3 | 2.3 | 2.0 | 0.6 | 0.6 | 1.8 | 2.3 | 1.6 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| 19-20 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| 20-21 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 |
| 21-22 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 22-23 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 23-0 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Acumulada diaria | 4385.4 | 4360.8 | 4373.0 | 4303.9 | 4138.2 | 4299.1 | 4628.5 | 4643.8 | 4631.4 | 4256.1 | 3996.5 | 3971.9 |
| <div>Entre 0 y 200 (Wh/m²)</div> <div>Entre 200 y 400 (Wh/m²)</div> <div>Entre 400 y 600 (Wh/m²)</div> <div>Entre 600 y 800 (Wh/m²)</div> <div>Mayor a 800 (Wh/m²)</div> | | | | | | | | | | | | |

Fig. 1. Horarios y radiación solar en Cali, Colombia. Obtenido de: [Atl]

| ESTACION METEOROLOGICA DE MEDALLIN (MEDALLIN) | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PROMEDIO HORARIO DE LA RADIACION (Wh/m²) | | | | | | | | | | | | |
| HORA | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| 0-1 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.3 |
| 1-2 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 |
| 2-3 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.2 |
| 3-4 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 4-5 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 |
| 5-6 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.6 | 0.6 | 0.1 |
| 6-7 | 15.6 | 15.8 | 23.2 | 36.3 | 42.7 | 43.8 | 38.2 | 35.5 | 43.7 | 44.0 | 40.6 | 25.6 |
| 7-8 | 108.1 | 105.3 | 108.9 | 154.0 | 165.4 | 166.4 | 159.3 | 151.4 | 165.5 | 173.9 | 174.4 | 152.9 |
| 8-9 | 252.6 | 268.6 | 265.3 | 315.5 | 308.5 | 307.7 | 331.2 | 333.5 | 349.6 | 394.6 | 345.6 | 323.0 |
| 9-10 | 399.7 | 431.2 | 423.0 | 505.6 | 486.9 | 487.8 | 492.6 | 509.3 | 526.5 | 502.9 | 501.5 | 481.7 |
| 10-11 | 501.0 | 577.1 | 546.1 | 613.7 | 587.7 | 567.4 | 612.3 | 644.6 | 643.2 | 602.5 | 588.9 | 577.0 |
| 11-12 | 539.3 | 589.9 | 614.5 | 642.5 | 590.6 | 577.1 | 647.3 | 653.6 | 685.9 | 618.1 | 614.0 | 609.5 |
| 12-13 | 602.2 | 624.1 | 664.2 | 614.0 | 579.4 | 568.7 | 683.3 | 666.1 | 662.4 | 610.8 | 624.8 | 645.3 |
| 13-14 | 571.4 | 610.4 | 570.9 | 537.4 | 503.3 | 509.2 | 633.9 | 613.6 | 583.9 | 503.9 | 506.8 | 553.8 |
| 14-15 | 460.1 | 453.2 | 460.1 | 424.0 | 416.3 | 502.6 | 526.8 | 496.1 | 457.2 | 384.0 | 370.6 | 420.0 |
| 15-16 | 345.5 | 328.7 | 292.7 | 208.8 | 278.9 | 350.5 | 377.6 | 387.4 | 330.2 | 216.5 | 234.1 | 260.5 |
| 16-17 | 179.4 | 185.3 | 146.4 | 114.2 | 142.0 | 186.4 | 207.2 | 213.5 | 155.2 | 100.5 | 95.4 | 107.2 |
| 17-18 | 40.6 | 52.5 | 43.6 | 28.8 | 33.8 | 51.2 | 60.3 | 58.1 | 33.9 | 12.3 | 11.4 | 17.5 |
| 18-19 | 2.1 | 3.3 | 2.2 | 1.1 | 0.8 | 1.7 | 2.8 | 2.1 | 1.3 | 0.6 | 0.0 | 1.9 |
| 19-20 | 1.2 | 1.5 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.8 | 0.6 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | 0.7 |
| 20-21 | 1.0 | 1.2 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.6 |
| 21-22 | 0.9 | 1.1 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| 22-23 | 0.7 | 1.0 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.2 | 0.4 | 0.5 |
| 23-0 | 0.6 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.4 |
| Acumulada diaria | 4034.7 | 4263.4 | 4160.8 | 4227.1 | 4157.9 | 4590.9 | 4773.3 | 4749.0 | 4624.8 | 4093.2 | 4109.3 | 4155.0 |
| <div>Entre 0 y 200 (Wh/m²)</div> <div>Entre 200 y 400 (Wh/m²)</div> <div>Entre 400 y 600 (Wh/m²)</div> <div>Entre 600 y 800 (Wh/m²)</div> <div>Mayor a 800 (Wh/m²)</div> | | | | | | | | | | | | |

Fig. 2. Horarios y radiación solar en Medellín, Colombia. Obtenido de: [Atl]

| ESTACION UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE MAGDALENA (SANTA MARTA) | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PROMEDIO HORARIO DE LA RADIACION (Wh/m²) | | | | | | | | | | | | |
| HORA | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| 0-1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| 1-2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2-3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3-4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4-5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5-6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 6-7 | 26.7 | 38.1 | 49.8 | 71.1 | 96.3 | 96.3 | 82.9 | 79.7 | 79.9 | 77.3 | 66.1 | 38.4 |
| 7-8 | 158.1 | 152.1 | 178.1 | 231.8 | 286.7 | 274.3 | 259.6 | 244.8 | 248.6 | 244.6 | 239.3 | 208.9 |
| 8-9 | 383.7 | 392.7 | 406.7 | 463.2 | 485.1 | 472.7 | 461.3 | 432.0 | 478.1 | 450.0 | 450.6 | 422.9 |
| 9-10 | 544.0 | 619.3 | 620.3 | 640.6 | 623.6 | 609.7 | 604.7 | 608.8 | 649.3 | 601.9 | 602.3 | 607.4 |
| 10-11 | 727.3 | 779.2 | 773.4 | 766.9 | 728.4 | 717.8 | 698.2 | 723.3 | 766.0 | 686.9 | 602.9 | 727.7 |
| 11-12 | 796.3 | 843.2 | 824.2 | 816.1 | 779.1 | 761.3 | 734.6 | 762.8 | 772.5 | 687.0 | 685.1 | 780.1 |
| 12-13 | 791.0 | 841.3 | 811.1 | 806.0 | 771.7 | 673.9 | 699.8 | 711.8 | 709.8 | 604.8 | 607.8 | 753.5 |
| 13-14 | 726.0 | 773.6 | 764.6 | 708.6 | 676.6 | 626.0 | 644.4 | 673.7 | 695.9 | 516.5 | 531.9 | 663.6 |
| 14-15 | 614.9 | 654.5 | 642.8 | 557.5 | 562.1 | 515.7 | 494.6 | 466.3 | 469.4 | 391.7 | 432.7 | 533.7 |
| 15-16 | 441.0 | 490.0 | 462.6 | 403.2 | 410.4 | 271.8 | 368.3 | 330.8 | 332.1 | 284.4 | 284.4 | 368.1 |
| 16-17 | 232.3 | 295.6 | 252.4 | 235.5 | 234.8 | 197.3 | 225.5 | 195.9 | 178.1 | 138.0 | 133.1 | 167.6 |
| 17-18 | 48.3 | 72.4 | 75.6 | 70.9 | 80.1 | 84.8 | 94.5 | 80.9 | 58.8 | 41.2 | 39.3 | 29.5 |
| 18-19 | 2.4 | 0.8 | 0.9 | 0.7 | 1.8 | 2.6 | 1.7 | 0.7 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.2 |
| 19-20 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 |
| 20-21 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 |
| 21-22 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 |
| 22-23 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| 23-0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| Acumulada diaria | 5548.5 | 5914.3 | 5855.5 | 5756.4 | 5698.0 | 5402.9 | 5370.9 | 5201.1 | 5325.3 | 4726.5 | 4797.2 | 5301.5 |
| <div>Entre 0 y 200 (Wh/m²)</div> <div>Entre 200 y 400 (Wh/m²)</div> <div>Entre 400 y 600 (Wh/m²)</div> <div>Entre 600 y 800 (Wh/m²)</div> <div>Mayor a 800 (Wh/m²)</div> | | | | | | | | | | | | |

Fig. 3. Horarios y radiación solar en Santa Marta, Colombia. Obtenido de: [Atl]

En las figuras 1, 2 y 3 se pueden apreciar unas tablas en las que se presenta la cantidad de radiación presente en una hora determinada del día y a lo largo de los meses del año. Como parte del ejercicio se estudiaron tres ciudades: Medellín, Cali y Santa Marta, en todos los casos se hace evidente que entre 8 y 9 de la mañana empieza a ser significativa y esto hasta las 3 pm. Esto fue un estudio que sirvió para seleccionar el criterio de funcionamiento del sistema que se explica más adelante.

III. DISEÑO PROPUESTO

A. Arquitectura propuesta

En la figura 4 se muestra un diagrama de como se concibió inicialmente el diseño de este sistema, previa a la etapa de selección de componentes.

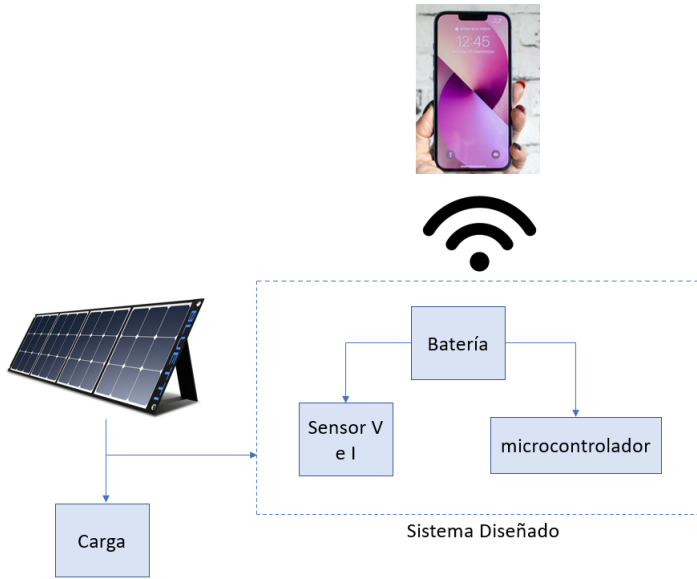


Fig. 4. Arquitectura propuesta para el sistema

B. Selección de componentes

El sensor de corriente usado en este proyecto, fue el integrado **INA219** desarrollado por **Texas Instruments**. El cual permite medir voltajes de hasta 26 volts y dependiendo del valor de resistencia de shunt que se escoja se define la corriente máxima.

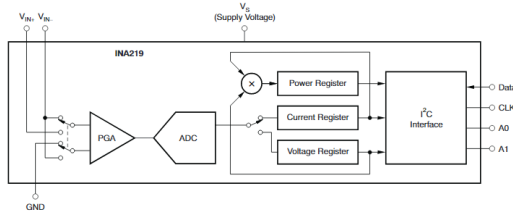


Fig. 5. esquemático del INA219

Si embargo los valores de tensión y corriente para los que viene configurado el sensor INA 219 no cumplen con el requerimiento de esta aplicación; es por ello que se debe recurrir a modificar los parámetros internos del mismo, como se muestra en la figura 5, el INA219 contiene internamente un PGA (Programmable Gain Amplifier) que al configurarse para la resolución máxima de la medición ($PGA = 8$) tiene un voltaje máximo de shunt de 320 mV, escogiendo una resistencia de valor 50 miliohms permite una corriente máxima de 6.4 [A], valor de corriente que excede satisfactoriamente los requerimientos para este proyecto.

Adicionalmente, por su versatilidad, funcionalidades adecuadas para este tipo de aplicaciones y documentación disponible, se escogió como microcontrolador un ESP32-WROOM-32E (figura 6) el cual cuenta con una antena de 2.4 GHz que permite operar en los protocolos Bluetooth (4.2 en el caso de esta ESP32) y WiFi.

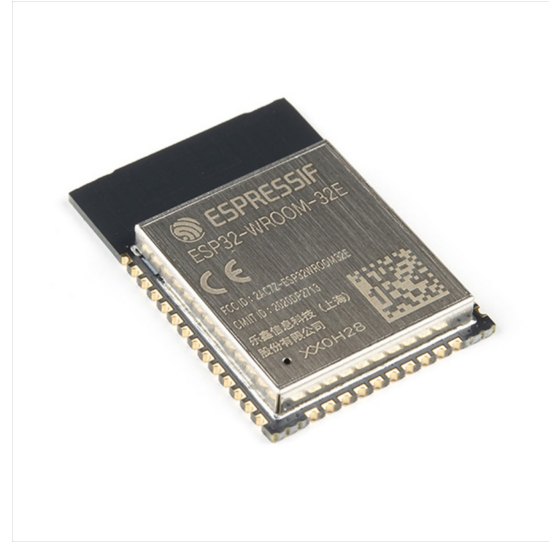


Fig. 6. ESP-WROOM-32E

Considerando que se busca proponer un diseño que esté asociado a baterías recargables y no requiera cambiar las baterías en un tiempo de por lo menos una semana laboral, es decir 5 días calendario en funcionamiento. Es necesario primero definir el funcionamiento que va a tener el sistema para así poder estimar el consumo del mismo y con ello las características necesarias para lograr los requerimientos respecto a las baterías.

Tomando en consideración el consumo energético del sistema presentado posteriormente en la sección **Funcionamiento del sistema** y con una estimación del consumo de potencia de los otros elementos del sistema se tiene un consumo de corriente general estimado de 500[mA] por 2 horas al día en el peor de los casos.

Para que el sistema pueda funcionar durante 5 días seguidos bajo ese consumo hipotético se debe asegurar un arreglo de baterías de por lo menos 5000[mAh], en este caso se escogió un par de baterías recargables de ion de litio 18650 de 4.2 V y 6800[mAh]



Fig. 7. Baterías escogidas para alimentar el sistema

Con las que el sistema puede durar más de 6 días trabajando con el modo de funcionamiento planteado bajo la misma carga de baterías.

C. Esquemático

En la siguiente figura se puede observar el esquemático del circuito, construido en EasyEDA con los elementos seleccionados y anteriormente descritos. En este se muestran las conexiones entre los elementos que permiten el funcionamiento del sistema.

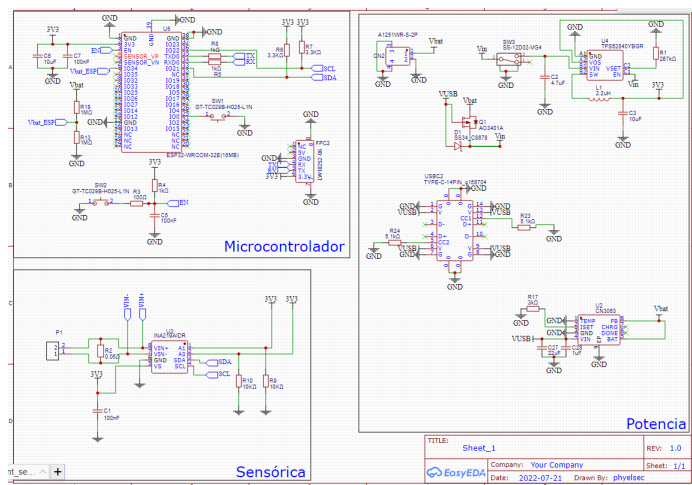


Fig. 8. Esquemático

Como se puede observar en la figura 7 el esquemático está compuesto principalmente por tres partes:

- **Microcontrolador:**

Esta parte contiene los elementos y conexiones necesarias para que el microcontrolador funcione: Tiene las resistencias de pull up de SDA y SCL, contiene capacitores en la alimentación de 3.3 V, adicionalmente cuenta con un conector cuyas conexiones son RX y TX, de esta manera se puede programar el microcontrolador a través de la conexión externa de un convertidor USB a TTL. En la parte inferior se muestra el circuito que permite resetear

el microcontrolador a través de un switch. Finalmente, en la parte izquierda se cuenta con un divisor resistivo que permite medir la tensión de la batería.

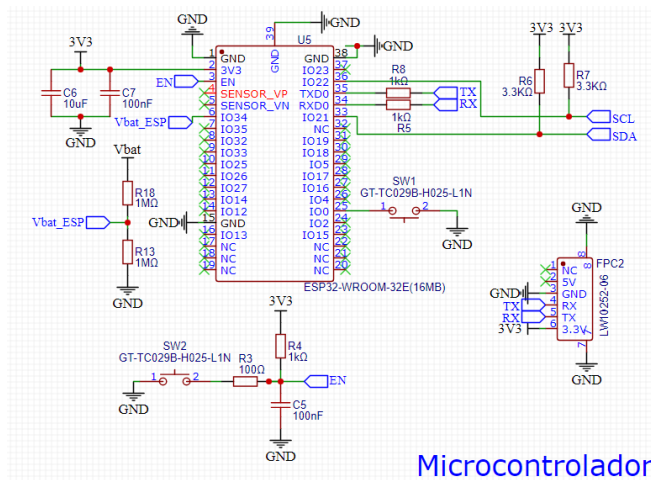


Fig. 9. Esquemático Microcontrolador

- **Sensórica:**

En esta parte el elemento central es el ina219 con las respectivas conexiones recomendadas por el datasheet para que funcione adecuadamente en este contexto, en este apartado uno de los detalles más importantes es la resistencia de shunt de 50 miliohms, la cual fue seleccionada de 2 W (teniendo en cuenta que la corriente máxima a soportar en esta aplicación es de 5 [A]). Adicionalmente, el INA219 permite programar, a través de las conexiones de resistencias en los pines A0 y A1, la dirección de esclavo en el protocolo I2C, en este caso se dejó una dirección fija correspondiente a tener las dos direcciones conectadas a alimentación positiva, ya que este es el único sensor en el circuito y no se requiere de cambiar esta dirección frecuentemente.

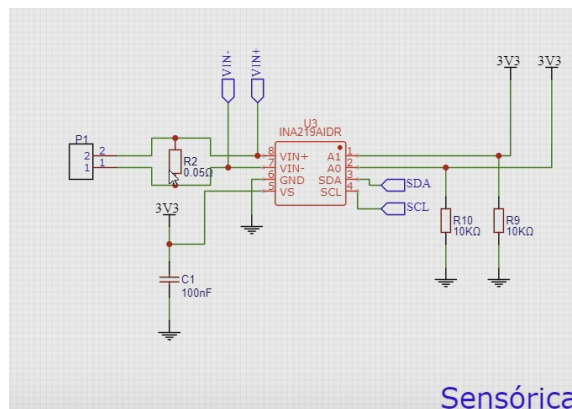


Fig. 10. Esquemático Sensórica

En la figura 10 aparte de las conexiones típicas se observa el enlace de los pines SCL (System Clock) y SDA (System Data) entre la ESP-32S y el INA260,

siendo SCL la línea de pulsos de reloj para sincronizar el sistema y SDA la línea para la transferencia de datos.

• Potencia:

Esta sección contiene todos los elementos que permiten que el sistema se energice, ya sea a través de baterías o por un conector USB-C para cargar el circuito.

Se escogió un convertor DC - DC TPS62840 el cual funciona como reductor de tensiones de hasta 6.5 V. Este circuito permite obtener una tensión de salida de 3.3 V para alimentar el microcontrolador y el sensor, fue seleccionado porque, además ofrecer la tensión de salida requerida, tiene una corriente de reposo de 60 [nA] lo cual es ventajoso para esta aplicación que funciona con batería.

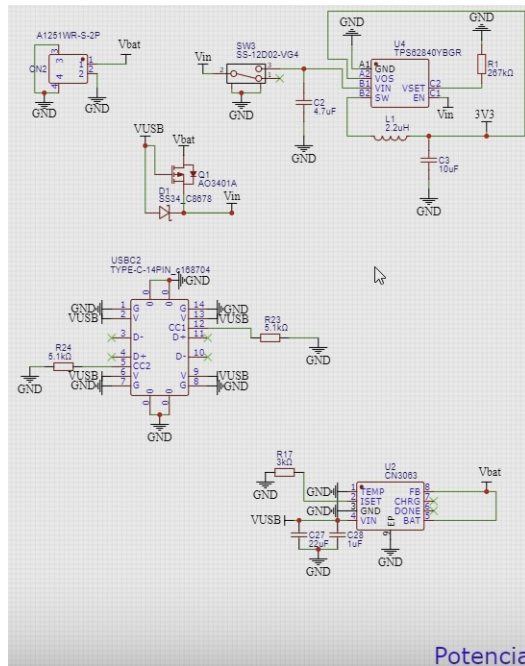


Fig. 11. Esquemático Potencia

El sistema de potencia también contiene el integrado CN3063 que funciona bien con este tipo de baterías como la escogida, pues este permite cargar la batería a 4.2 V. Estando conectado como se presenta en el esquemático, tiene una corriente máxima de carga de 600 [mA].

El arreglo en la parte superior compuesto del MOSFET canal P con diodo Schottcky permite que el circuito se alimente con la batería y en caso de que esta esté cargandose, el sistema será alimentado por la corriente proveniente de del cargador, el cual se conecta al sistema a través de un conector USB tipo C.

D. Funcionamiento del sistema

El planteamiento que se le dio al funcionamiento del sistema está enfocado a ser aplicable en el contexto para el cual se plantea. Se optó por un funcionamiento general del

sistema tipo rutina; rutina la cual está dividida en dos tipos de funcionamiento:

1) **Rutina de lectura de datos:** Aquí el sistema va a entrar en un búcle por el número de horas donde interese monitorear el rendimiento del arreglo de paneles. En el caso de Medellín se determinó previamente que el momento donde la radiación solar se empieza a considerar relevante es a las 9 AM hora local, y este intervalo termina a las 4PM. Tomando en consideración que el sistema ha de funcionar operado por baterías y que el sistema no amerita por su naturaleza un monitoreo constante durante este intervalo de tiempo esa opción no es lo más eficiente, por lo que se planteó un funcionamiento por intervalos.

Modo intermitente:

El muestreo de datos se va a realizar 3 veces en un lapso de 15 minutos, después de leer los datos 3 veces durante esos 15 minutos el microcontrolador entra en estado de modo sueño profundo donde apaga casi todos sus periféricos a excepción de RTC y del ULP Processor, su consumo de corriente en este modo se reduce al máximo permitido de 10[uA], el microcontrolador va a estar en modo ahorro de energía durante los siguientes 45 minutos hasta el siguiente comienzo de hora donde todo esto se repetirá cada hora dentro del intervalo de radición solar de interés.

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(1000);

  //Increment boot number and print it every reboot
  ++bootCount;

  esp_sleep_enable_timer_wakeup(TIME_TO_SLEEP * uS_TO_S_FACTOR);

  /*
  By default, ESP32 will automatically power down the peripherals
  not needed by the wakeup source,
  */
  if (bootCount==1) {
    delay(1000);
    programa();
    delay(900*uS_TO_S_FACTOR);
    Serial.flush();
    esp_deep_sleep_start();
  }

  if (bootCount==2) {
    delay(1000);
    programa();
    delay(900*uS_TO_S_FACTOR);
    Serial.flush();
    esp_deep_sleep_start();
  }
}
```

Fig. 12. Código que permite el funcionamiento del modo intermitente

Cada vez que el el micro-controlador regresa del modo de sueño profundo aumenta un contador interno por lo que se logró que funcionara respecto a esta variable, el contador empieza en 1 por defecto por lo que entra al primer if, ejecuta el programa de lectura y recepción de datos y luego de 900 segundos que representan los 15 minutos planeados el sistema entra en modo sueño profundo por 45 minutos y vuelve a funcionar normal pero esta vez con el contador en 2 por lo que entraría al segundo if repitiendo el mismo proceso

por las veces necesarias.

Para tener acceso al código de la ESP32 con esta y sus futuras versiones se puede acceder al siguiente link del repositorio de GitHub:

[Enlace al Repositorio](#)

2) **Rutina de envío y recepción de datos:** El envío de datos está estrechamente enlazado con la lectura de los mismos, cada 5 minutos el micro-controlador ESP32 va a realizar la lectura de datos, luego de realizar esta lectura los datos son enviados vía Bluetooth, este proceso se repite 3 veces en los mismos primeros 15 minutos de cada hora. Representando un consumo de corriente de 130 [mA] cuando transmite y de 100[mA] cuando recibe.

Modo de Sueño Profundo constante:

A las 4PM en el caso de Medellín o a la hora en la que deje de ser relevante el rendimiento del arreglo de paneles la ESP entra en modo de sueño profundo otra vez, pero esta vez lo hace hasta la hora en la que la radiación empieza a ser relevante otra vez al siguiente día.

```
if(bootCount=6){
  delay(1000);
  programa();
  delay(900*uS_TO_S_FACTOR);
  TIME_TO_SLEEP = 2700+64800; //Se setea el tiempo de sleep mode a 18 horas + 45 minutos
  esp_sleep_enable_timer_wakeup(TIME_TO_SLEEP * uS_TO_S_FACTOR);
  bootCount=0;
  Serial.flush();
  esp_deep_sleep_start();
}
```

Fig. 13. Código que permite entrar al Sleep mode por varias horas

E. Sistema de comunicaciones

El envío de los datos se realiza por medio de un el enlace entre el micro-controlador y un dispositivo móvil usando el protocolo Bluetooth, actualmente está enfocado a dispositivos Android que cuenten con Bluetooth 2.0 o superior debido a que la App fue diseñada teniendo en cuenta esas consideraciones.

Micro-Controlador:

El micro-controlador toma los datos de variables del sensor INA260 después de incluir la respectiva librería por medio de: #include <Adafruit_INA260.h> con unas simples líneas de código:

```
ina260.readBusVoltage(); //Localizar el dato de voltaje que retorna el INA260
ina260.readCurrent(); //Localizar el dato de corriente que retorna el INA260
ina260.readPower(); //Localizar el dato de potencia que retorna el INA260
```

Fig. 14. Adquisición de datos del INA260

Los datos son leídos por el micro-controlador haciendo uso del protocolo estándar I2C. Una vez leídos los datos son guardados como componentes de un vector de 3 elementos

tipo string separados por coma, esto último es relevante pues en la aplicación móvil se va a recibir el string completo y para separar cada variable se va a tomar el carácter de la coma como separador.

La librería Bluetooth estándar "BluetoothSerial.h" es aquella que permite establecer esa comunicación Bluetooth con la ESP32. Cada 5 minutos dentro del intervalo activo de modo intermitente se cumple el periodo programado por lo que cada vez que se cumpla ese tiempo se van a actualizar los valores recibidos por el INA260 y se van a transmitir por medio de Bluetooth.

```
void programa(){
  if(millis() > TiempoAhora + periodo){ //Hacemos el ciclo para la emision de datos a la aplicacion

  if (SerialBT.available()>0){ //Si hay datos enviados por la aplicacion
    entrada=SerialBT.read(); //Leemos los datos recibidos

    if(entrada=='A'){ //Si el dato recibido es B, se apaga el led
      Enviados[0] = ina260.readBusVoltage(); //Localizar el dato de voltaje que retorna el INA260
      Enviados[1] = ina260.readCurrent(); //Localizar el dato de corriente que retorna el INA260
      Enviados[2] = ina260.readPower(); //Localizar el dato de potencia que retorna el INA260
      Enviados[3] = analogRead(BatPin); //Leer el estado de la bateria
    }

    TiempoAhora = millis();
    SerialBT.println(Enviados[0]);
    SerialBT.println(",");
    SerialBT.println(Enviados[1]);
    SerialBT.println(",");
    SerialBT.println(Enviados[2]);
    SerialBT.println(",");
    SerialBT.println(Enviados[3]);
  }
}
```

Fig. 15. Actualización y envío de los datos

Aplicación Móvil:

Como ya se ha venido mencionando la otra parte fundamental de este sistema de comunicaciones es el sistema de recepción de datos. Este sistema está enfocado a una aplicación móvil que se describe a continuación.

La aplicación fue realizada completamente en el ambiente de AppInventor, esta cuenta con la siguiente interfaz:



Fig. 16. Interfaz aplicación móvil

El panel superior es aquel que me permite conectar o desconectar el enlace Bluetooth con el micro-controlador.

La imagen del LED es un botón que me permite realizar una nueva lectura de los datos que me retorna el micro-controlador. Cada vez que este se activa manda un request al micro-controlador para buscar y leer los nuevos datos en el caso que se haya cumplido el periodo de 5 minutos.

Debajo del LED se encuentra el espacio donde se va a reflejar el estado de la batería cuando se actualice la información.

En la mitad inferior se encuentran los tres espacios donde serán visualizadas las tres variables de interés en este caso.

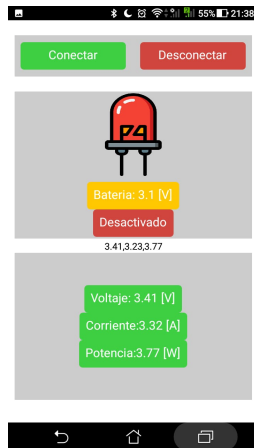


Fig. 17. Apliación mostrando los datos recibidos

Un análisis más a detalle del funcionamiento más a detalle de este sistema con unos ejemplos se presenta en la siguiente sub-sección:

F. Prueba de Funcionamiento:

Debido a que la compra de componentes no se ha realizado en este punto del proyecto, la prueba de funcionamiento está enfocada a simulaciones, la idea era para realizar una prueba donde no solo se realice un enlace Bluetooth sino que la programación de todo el funcionamiento sea lo más parecida posible a la que se va a implementar en el controlador; es por ello que se realizó la prueba en Proteus.

Este software permite ingresar código al micro-controlador, y realizar un enlace Bluetooth haciendo uso del Bluetooth de la computadora como si fuese el asociado al micro-controlador.

Aquí hay que hacer unas aclaraciones y es que en este software no se cuenta con un módulo de ESP32 funcional, por lo que no se puede hacer la simulación exacta, sin embargo, sí se cuenta con la opción de realizar esto con un Arduino que permite cargar el código funcional que no presenta casi variaciones al código que se carga en la ESP32 y un módulo HC-05 para establecer el enlace Bluetooth requerido.

Se realizaron unas pruebas básicas de comunicación con una aplicación de celular confirmando que sí cumplía con el comportamiento básico descrito, por lo que se entró en el proceso de montar el código planteado para la ESP32 en el módulo de simulación de Arduino en Proteus "Simulino".

Aquí también es importante resaltar que no existe en ninguna plataforma de la que se tenga conocimiento un módulo que presente el funcionamiento del módulo INA260, sin embargo como ya se mencionó antes el obtener los datos de interés de este módulo no es una tarea compleja por lo que se puede dar por hecho que se cuenta con esas variables a la hora de simular y efectivamente eso se hizo, se trabajó con valores aleatorios dentro de un rango limitado para representar su funcionamiento.

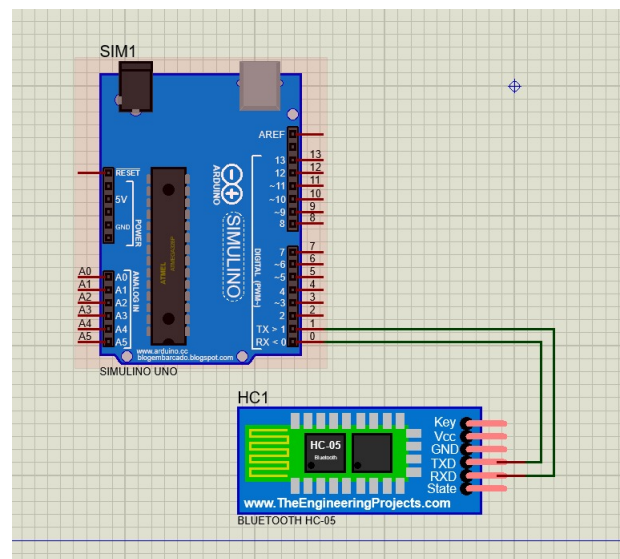


Fig. 18. Esquemático planteado para la simulación

A continuación se presenta el enlace a un vídeo en YouTube de 5 minutos realizado por uno de los integrantes de este grupo donde se dan más detalles y se ve con más claridad el funcionamiento en tiempo real de estas pruebas que se hicieron en las primeras versiones del proyecto para verificar los principios de funcionamiento de la comunicación.

[Video Simulación con Explicación](#)

G. Diseño de PCB

El diseño de la PCB se hizo en el software **EasyEDA [Eas]** debido a las ventajas que este ofrece, pues se ajustan y permiten el cumplimiento de los requerimientos de este trabajo:

- No requiere instalación, está basado en la nube.
- Permite el diseño de PCB desde el navegador.
- Es un software gratuito.
- Tiene una amplia biblioteca de componentes electrónicos.

- Permite importar diseños de otros softwares como Altium, Eagle y KiCad.
- Permite el trabajo colaborativo en línea.
- Dispone de visualización 3D.

Para el diseño se tuvo en consideración que los componentes de los bloques funcionales (sensórica, potencia, procesamiento) estuvieran juntos, esto con el fin de facilitar tareas de *troubleshooting* o detección de fallas en caso de presentarse, de modo que en la capa superior fueron ubicados los bloques de potencia y procesamiento [Fig. 19] y en la capa inferior el de sensórica [Fig. 20].

Las pistas de Vin, 3.3V, Vbat, Vin+ y Vin- se diseñaron con un ancho de mínimo 0.3mm y máximo 0.5mm dado que eran las que conducían una mayor intensidad de corriente. Las demás pistas que configuraban los circuitos integrados y que formaban el bus I2C tenían un ancho mínimo de 0.254mm.

En base a la literatura sobre integridad de señal en circuitos impresos, durante el diseño se procuro no dividir demasiado el plano tierra y evitar pistas largas en paralelo para evitar la aparición de ruido por acoplamiento.

También se diseño en base a otras recomendaciones tales como:

- La mínima separación entre pistas recomendada es de 0.4 milímetros.
- El tamaño exterior de los PADS debe ser como mínimo, dos veces el tamaño de la pista que lo conecte.
- Hacer las pistas de alimentación más gruesas debido a que a través de estas circula una mayor corriente.
- Elegir los caminos mas cortos para el trazado de pistas.
- Uso de planos de tierra y potencia para la reducción de ruido.

El diseño terminado presentó unas dimensiones de 30.48mm x 44.95mm omitiendo la antena del módulo. Tomando en cuenta esta última las dimensiones fueron de 36.40mm x 44.95mm.

El diseño final de la PCB puede apreciarse en los siguientes renders 3D:

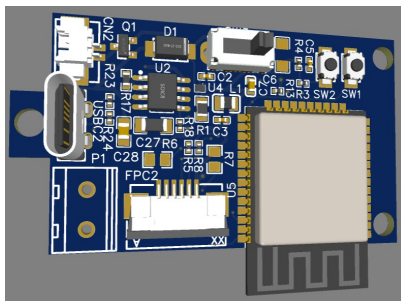


Fig. 19. Vista superior de la PCB

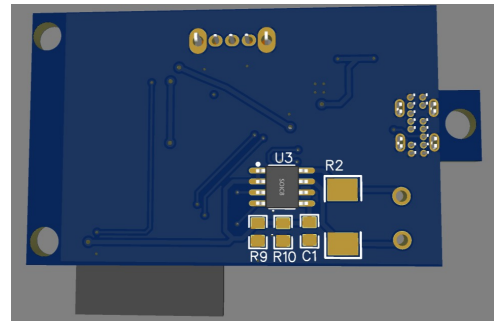


Fig. 20. Vista inferior de la PCB

IV. DISEÑO DE SOPORTE

Con el fin de lograr un sistema compacto y robusto se diseñó un soporte para la tarjeta diseñada.

En este diseño se tiene en cuenta las entradas, salidas y componentes que en algún momento pueden requerir contacto con el exterior, también se hacen orificios para atornillar y dejar la tarjeta fija en el soporte. Esto se puede observar en la figura 21.

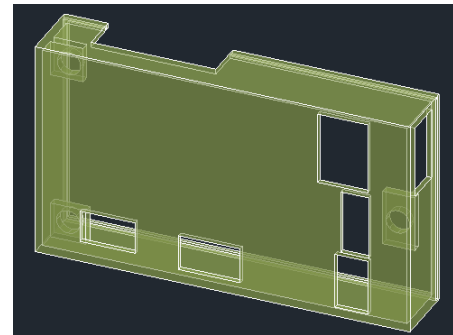


Fig. 21. Soporte

El soporte cuenta con una tapa deslizante que en caso de requerir algún cambio puede ser retirada fácilmente. Esta se puede observar en la figura 22.

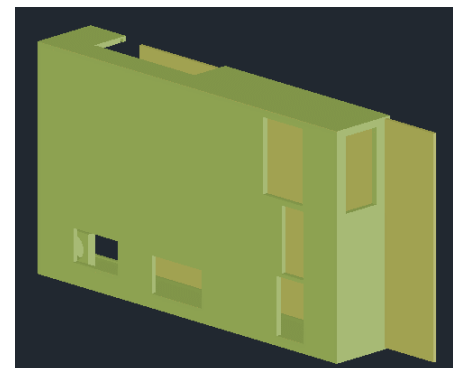


Fig. 22. Soporte

En la figura 23 se puede ver el resultado final del diseño, en el que se incluye el circuito diseñado en un modelo 3D.

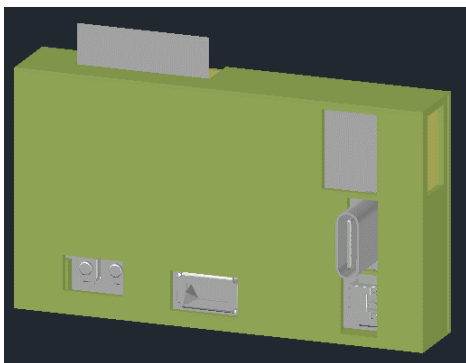


Fig. 23. Soporte

V. COSTOS

Easy EDA fue escogido no solamente por su funcionalidad (la cual es bastante buena), sino porque permite cotizar el costo de la PCB con los elementos seleccionados a través de LCSC y mandar a la PCB directamente con JLCPCB.

- JLCPCB* - Empresa que fabrica PCB a precios muy bajos, con una alta calidad y en poco tiempo, mayores productores de PCB en china.

| ID | Nombre | Designator | Huella | Qu... | Manufacturer Part | Manufac... | Supplier | Supplier Part | Price |
|----|-------------|------------|----------------|-------|-------------------|--------------|----------|---------------|------------------|
| 1 | 100nF | C1 | 0805 | 1 | 0805F104M101NT | FH | LCSC | C11591 | Assign LCSC Part |
| 2 | 4.7uF | C2 | C0402 | 1 | GRM155R61A479M | Murata Ele. | LCSC | C335105 | Assign LCSC Part |
| 3 | 10uF | C3 | C0402 | 1 | GRM155R600109M | Murata Ele. | LCSC | C162167 | Assign LCSC Part |
| 4 | 100nF | C5 | C0402 | 1 | CL05B104KB54PNC | Samsung | LCSC | C307331 | Assign LCSC Part |
| 5 | 10uF | C6 | C1206 | 1 | C53216X7R106K250 | Samsun C. | LCSC | C513767 | Assign LCSC Part |
| 6 | 100nF | C7 | C0603 | 1 | CL10B104K06NNNC | SAMSUNG | LCSC | C15725 | Assign LCSC Part |
| 7 | 22uF | C27 | C1206 | 1 | CL1A22K06HNNNE | SAMSUNG | LCSC | C12891 | Assign LCSC Part |
| 8 | 1uF | C28 | C0805 | 1 | CL21B105K08NNNE | SAMSUNG | LCSC | C28323 | Assign LCSC Part |
| 9 | A1251WR... | CN2 | CONN-SMD... | 1 | A1251WR-S-2P | Changlian... | LCSC | C225111 | Assign LCSC Part |
| 10 | SS34_C8... | D1 | DO-214AC_L4... | 1 | SS34 | MDD | LCSC | C8678 | Assign LCSC Part |
| 11 | LW10252-06 | FPC2 | FFC-8MD_6P... | 1 | LW10252-06 | MINTRON | LCSC | C376043 | Assign LCSC Part |
| 12 | 2.2uH | L1 | L0806 | 1 | DFE201612E-2R2M | Murata Ele. | LCSC | C337893 | Assign LCSC Part |
| 13 | WJ301V-5... | P1 | WJ301V-5.00-2P | 1 | WJ301V-5.0-2P | ReliaPho | LCSC | C8475 | Assign LCSC Part |
| 14 | AO3401A | Q1 | SOT-23_L2 9... | 1 | AO3401A | AOIS | LCSC | C15127 | Assign LCSC Part |

Fig. 24. Lista de materiales generada a partir del esquemático del circuito

| | |
|--------------------------------|--------------------------|
| Merchandise Total | US\$21.95 |
| Weight | 44g |
| Discount | US\$0.03 |
| Shipping For Reference Only | Estimate |
| Subtotal (30 item) | US\$21.92 |

Fig. 25. Costo de los elementos seleccionados para el circuito

Layers: 2
Dimensions(Estimated): 44.96mm x 30.48mm
PCB Qty: 5
PCB Thickness: 1.6
PCB Color: Green
Surface Finish: HASL(with lead)
Copper Weight: 1oz
Manufacturer: JLCPCB
PCB Price: **\$4**
Estimated Delivery Time: 3-7 days
[PCB+SMT \\$10 Off](#) [Get Coupon](#)

Fig. 26. Costo de la PCB

| ITEM | Descripción | Cant | Precio(COP) |
|--------------|---|------|----------------|
| Componentes | Todos los componentes generados en el esquemático | | 98.300 |
| Batería | Ultrafire 18650 Li-ion Recargable 6800mah 4.2v | 1 | 9.800 |
| PCB | Costo impresión (JLCPCB)* | 5 | 18.000 |
| TOTAL | | | 126.100 |

TABLE I
MEDIDAS DE DESEMPEÑO GENERALES

VI. OBSERVACIONES

- Una propuesta para futuros proyectos sería optimizar este diseño del sensor propuesto complementando la alimentación de la batería con un modulo pequeño de celdas solares y un regulador a fin de diseñar un sistema autosuficiente en consumo energético, similar a cómo se alimentan hoy día algunos radios AM/FM que suelen usar los cultivadores en zonas alejadas de los pueblos.
- Las pruebas de funcionamiento simuladas a pesar de no contar con los elementos exactos con los que se plantea llevar a cabo el proyecto, cumplen con su objetivo, pues aquellos módulos alternativos tienen una forma de operar muy similar o casi idéntica, dando confianza del proceso.
- El sistema propuesto cuenta con amplias opciones de mejora, ajustar los ciclos de funcionamiento de una forma más amigable para el usuario como puede ser desde la misma aplicación móvil, optimizar el código del microcontrolador para hacer más efectivo el sistema o ampliar su funcionamiento aumentando el número de sensores para poder medir variables en diferentes arreglos de paneles pues el protocolo I2C lo permite.
- Para la construcción de este tipo de proyectos, en los cuales se requiere la impresión de un circuito, la adquisición de microcontroladores y otro tipo de elementos electrónicos, es más rentable la compra de estos por internet en el exterior debido a su más bajo costo, sin embargo, se debe contar con el tiempo suficiente para recibir los elementos pedidos y hacer el montaje.

VII. CONCLUSIONES

- Basándose en componentes de bajo costo o de libre acceso se puede llegar a dar solución a una necesidad muy clara en la industria de forma eficaz y confiable siempre que se realice el debido proceso de diseño de todo el sistema.
- Luego de un detallado estudio para la selección de los componentes del proyecto, desarrollo de la comunicación inalámbrica y demás aspectos que se tuvieron en cuenta, se llegó a un diseño que cumple con requerimientos planteados en los objetivos.

REFERENCES

- [Ein67] Albert Einstein. *The Old Quantum Theory*. http://users.physik.fu-berlin.de/~kleinert/files/eins_lq.pdf. (Accessed on 08/02/2022). 1967.
- [Pre18] Sensores de Presión. *Tipos de sensores de corriente*. <https://www.sensoresdepresion.top/2020/02/tipos-de-sensores-de-corriente.html>. (Accessed on 08/03/2022). 2018.
- [Ate19] Atersa. *Cómo funciona una célula fotovoltaica*. <https://atersa.shop/como-funciona-una-celula-fotovoltaica/>. (Accessed on 08/02/2022). 2019.
- [Tut19] Random Nerd Tutorials. *ESP32 Bluetooth Classic with Arduino IDE - Getting Started — Random Nerd Tutorials*. <https://randomnerdtutorials.com/esp32-bluetooth-classic-arduino-ide/>. (Accessed on 08/03/2022). 2019.
- [Uni19] Unitron. *WiFi, Bluetooth, Zigbee y Z-Wave: Qué son, diferencias y usos*. <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/estandares-conexion-inalambrica/>. (Accessed on 08/03/2022). 2019.
- [Ene20] Cambio Energético. *Todo lo que necesitas saber sobre células solares fotovoltaicas*. <https://www.cambioenergetico.com/blog/celulas-solares-fotovoltaicas/>. (Accessed on 08/02/2022). 2020.
- [zon21] AZ adsl zone. *WiFi, Bluetooth, Zigbee y Z-Wave: Qué son, diferencias y usos*. <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/estandares-conexion-inalambrica/>. (Accessed on 08/03/2022). 2021.
- [Wik22] Wikipedia. *Hidroponía - Wikipedia, la enciclopedia libre*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Hidroponia>. (Accessed on 08/03/2022). July 2022.
- [Atl] Atlas. *Atlas Interactivo - Radiación IDEAM*. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>. (Accessed on 08/05/2022).
- [Eas] EasyEDA. *EasyEDA – Simulador de circuitos y diseño de circuitos impresos online*. <https://easyeda.com/>. (Accessed on 08/03/2022).
- [Hoy] La Finca de Hoy. *Iluminación LED para e acelerar el crecimiento de las plantas - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=HeJD21kbL2M>. (Accessed on 08/03/2022).