

**Universidad Tecnológica Nacional**

Proyecto Final

---

Sistema de transcepción de datos mediante  
LoRa aplicado a tablero tanteador de puntos  
electrónico

---

*Autor:*

- Arribillaga Marcos

*Director:*

*Proyecto final presentado para cumplimentar los requisitos académicos  
para acceder al título de Ingeniero Electrónico*

*en la*

**Facultad Regional Paraná**

Junio de 2020



## **Declaración de autoría:**

Yo declaro que el Proyecto Final “Sistema de transcepción de datos mediante LoRa aplicado a tanteador de puntos electrónico” y el trabajo realizado son propio/s.

Declaro/declaramos:

- Este trabajo fue realizado en su totalidad, o principalmente, para acceder al título de grado de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Paraná.
- Se establece claramente que el desarrollo realizado y el informe que lo acompaña no han sido previamente utilizados para acceder a otro título de grado o pre-grado.
- Siempre que se ha utilizado trabajo de otros autores, el mismo ha sido correctamente citado. El resto del trabajo es de autoría propia.
- Se ha indicado y agradecido correctamente a todos aquellos que han colaborado con el presente trabajo.
- Cuando el trabajo forma parte de un trabajo de mayores dimensiones donde han participado otras personas, se ha indicado claramente el alcance del trabajo realizado.

Firmas:

- 

Fecha:



## Agradecimientos:

En agradecimiento a mi familia y a mi pareja los cuales fueron el pilar fundamental por brindarme el privilegio de estudiar la presente carrera, brindando el apoyo sentimental y económico necesario. A las amistades que acompañaron en este difícil proceso de manera incondicional y aquellos profesores que además de brindar conocimientos fomentaron la formación humana, ante todo.

Arribillaga Marcos



Universidad Tecnológica Nacional

*Abstract*

Facultad Regional Paraná

Ingeniero en Electrónica

**Sistema de transcepción de datos mediante LoRa aplicado a  
tablero tanteador electrónico.**

Arribillaga Marcos

**Abstract:**

With the aim of developing an electronic score board for the Neuquen Paraná club's volleyball sports discipline, this score board was carried out, based on the Master - Slave control logic, wireless transmission and LED technology.

For the same, segments formed by 10 leds were used, forming the 7 digits corresponding to each number with a total of 4 numbers, the logic of actuation of these was carried out by means of a PIC microcontroller. For communication, a radio frequency transmission and control system was used, using LoRa technology, using the SX1278 transceiver, which forms a negative feedback loop with the system, the latter being controlled by an atmega328p microcontroller.

An electronic scorecard was obtained, which is controlled by a remote control, it shows the points reflected on an LCD, located in the cabinet of the same. Reaching a distance range of approximately 100 meters, with the possibility of scoring a score ranging from 0 to 99 for each team.

**Keywords:**

Score board. LoRa. RF. Led. Transceiver.

**Resumen:**

Con el objetivo de desarrollar un tablero tanteador electrónico de puntos para la disciplina deportiva Voleyball del club Neuquen Paraná, se procedió a la realización de dicho tanteador, basándose en la lógica de control Maestro – Esclavo, transmisión inalámbrica y tecnología led.

Para el mismo se utilizaron segmentos formados por 10 leds, conformando los 7 dígitos correspondientes a cada número con un total de 4 números, la lógica de accionamiento de estos se realizó mediante un microcontrolador PIC. Para la comunicación se optó por un sistema de transmisión y control mediante radiofrecuencia, utilizando la tecnología LoRa, mediante el transceptor SX1278, el cual forma un lazo de realimentación negativa con el sistema, éste último se controla mediante un microcontrolador atmega328p.

Se obtuvo un tanteador de puntos electrónico, el cual es comandado por un mando a distancia, éste muestra los puntos reflejados en un LCD, ubicado en el gabinete del mismo. Alcanzando un rango de distancia de aproximadamente 100 metros, con posibilidad de marcar un puntaje que comprende de 0 a 99 para cada equipo.

**Palabras Clave:**

Tanteador. LoRa. RF. Led. Transceptor.

## *Reconocimientos:*

Mis agradecimientos a mis amigos, los ingenieros Julián Tomé, y Martín Millicovsky por toda la ayuda brindada, y su disposición ante cualquier problema. A Claudio Gerbazoni y al Club Atlético Neuquen por brindarme la chance de poder realizar este proyecto.

# Índice:

<b>Capítulo 1: Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Capítulo 2: Desarrollo</b> .....	<b>3</b>
2.1.A) Investigación de componentes: Análisis y selección.....	3
A.1) Introducción a las comunicaciones: LoRa Wifi.....	3
Características de LoRa .....	4
Lora WAN .....	6
LoRa complementa Wi-Fi, Bluetooth y celular.....	11
A.2) Introducción a las comunicaciones: Red Maestro - Esclavo .....	11
A.3.i) Descripción y funcionamiento de los dispositivos utilizados: LoRa SX1278 .....	12
A.3.ii) Estudios de mercado hacia otras tecnologías.....	25
NRF24L01 .....	25
HC12 .....	26
Transmisor – receptor unidireccional 433 MHz.....	27
A.4) Descripción de los dispositivos utilizados: Introducción a Arduino .....	28
Arduino Uno.....	29
Puertos Serie UART .....	32
Comunicación por bus I2C .....	33
IDE Arduino .....	36
A.5) Gabinete.....	37
2.1.B) Propuestas de circuitos o esquemas: pruebas, problemas y soluciones.....	38
Maestro y circuito maestro .....	40
Esclavo .....	45
Tanteador LED .....	46
Cronómetro .....	52
Gabinete y diseño de los segmentos .....	53
2.1.C.1) Análisis de funcionamiento: Maestro .....	54
2.1.C.2) Análisis de funcionamiento: Esclavo .....	58
2.1.C.3) Análisis de funcionamiento: Tanteador LED .....	59
2.1.C.4) Análisis de funcionamiento: Cronómetro .....	59
2.2) Diseño final.....	60
Mando .....	60
Esclavo .....	62
Tanteador LED .....	63
Construcción panel de números leds, gabinete y ensamblajes de placas .....	65

Construcción de gabinete para mando.....	70
<b>Capítulo 3: Resultados.....</b>	<b>73</b>
<b>Capítulo 4: Análisis de Costos.....</b>	<b>76</b>
<b>Capítulo 5: Discusión y Conclusión.....</b>	<b>78</b>
<b>Capítulo 6: Literatura Citada.....</b>	<b>79</b>
<b>Capítulo 7: Anexo: Hojas de datos de los componentes utilizados.....</b>	<b>81</b>

# Lista de Figuras

Figura 1: Diagrama en bloques del Proyecto .....	3
Figura 2: Bandas de frecuencia para LoRa en diferentes países .....	5
Figura 3: Factor de difusión y tasa de bits .....	6
Figura 4: Capa de red LoRa .....	7
Figura 5: Espectro de Frecuencia .....	8
Figura 6: Arquitectura de red LoRaWAN .....	9
Figura 7: LoRa vs otros protocolos .....	10
Figura 8: Arquitectura de red Maestro-Esclavo .....	11
Figura 9: Conexión transceiver LoRa con sistema embebido .....	12
Figura 10: Ejemplo de sincronismo SPI .....	14
Figura 11: Funcionamiento de MOSI-MISO .....	15
Figura 12: Funcionamiento de MOSI-MISO junto a SS .....	16
Figura 13: Conexión de esclavos por SS .....	16
Figura 14: Conexión de esclavos en cascada .....	17
Figura 15: Módulo LoRa SX1278 .....	24
Figura 16: Posibles antenas para el Módulo SX1278 .....	25
Figura 17: Módulo NRF24L01 con antena externa .....	26
Figura 18: Módulo NRF24L01 con antena integrada .....	26
Figura 19: Módulo HC12 .....	27
Figura 20: A la izquierda el transmisor, a la derecha el receptor de 433MHz .....	28
Figura 21: Esquema de pines y referencias placa Arduino UNO .....	29
Figura 22: Esquema sectorizado placa Arduino UNO .....	30
Figura 23: Esquemático microcontrolador ATmega328p. ....	30
Figura 24: Arquitectura simplificada Arduino UNO .....	32
Figura 25: Puerto Serie-Paralelo .....	33
Figura 26: Formato de trama protocolo I2C .....	34
Figura 27: Ejemplo de conexionado por I2C .....	35
Figura 28: AVR USBASP Programmer .....	35
Figura 29: ATmega328p con bootloader cargado .....	36
Figura 30: Entorno Arduino IDE .....	36
Figura 31: Diagrama de bloques general del proyecto .....	38
Figura 32: Realimentación a lazo cerrado .....	40
Figura 33: Esquemático mando .....	41
Figura 34: Placa convertora de bus de 8 bits, a I2C mediante PCF8574 soldada al LCD .	42
Figura 35: Esquemático PCF8574 .....	42
Figura 36: Placa convertora de bus de 8 bits, a I2C mediante PCF8574 .....	43

Figura 37: Arreglo de pulsadores.....	43
Figura 38: Arreglo de compuertas OR .....	44
Figura 39: Tabla configuración modo sleep .....	45
Figura 40: Circuito receptor .....	46
Figura 41: Diagrama en bloque PIC16F877A. ....	48
Figura 42: Pinout PIC16F877A .....	48
Figura 43: Esquema tanteador LED.....	49
Figura 44: Fuente step-down basada en LM2596.....	49
Figura 45: Accionamiento segmentos.....	50
Figura 46: Accionamiento buzzer .....	51
Figura 47: Esquemático circuito cronómetro.....	52
Figura 48: Diseño estimativo del tanteador con la representación de los números .....	53
Figura 49: Perspectiva tanteador.....	53
Figura 50: Vista frontal tanteador.....	54
Figura 50: Diagrama de flujo del programa del transmisor.....	57
Figura 51: Diagrama de flujo del programa del receptor .....	58
Figura 52: Diagrama de flujo del programa del tanteador LED .....	59
Figura 53: Diagrama de flujo del programa del cronómetro .....	59
Figura 54: Esquemático completo del mando .....	60
Figura 55: PCB del mando .....	61
Figura 56: Modelado 3D PCB del mando.....	61
Figura 57: Esquemático completo del esclavo.....	62
Figura 58: PCB del esclavo .....	62
Figura 59: Modelado 3D PCB del esclavo .....	63
Figura 60: Esquemático completo del tanteador LED .....	63
Figura 61: PCB del tanteador LED.....	64
Figura 62: Modelado 3D PCB de tanteador LED .....	64
Figura 63: Gabinete tanteador vista superior .....	65
Figura 64: Gabinete tanteador vista frontal .....	65
Figura 65: Gabinete tanteador vista trasera.....	66
Figura 66: Fuente switching 24V – 1A .....	66
Figura 67: Construcción de los segmentos para los dígitos .....	67
Figura 68: PCB ensamblado del tanteador .....	67
Figura 69: PCB del tanteador vista superior .....	68
Figura 70: PCB ensamblado del esclavo 1 .....	68
Figura 71: PCB ensamblado del esclavo 2 .....	69
Figura 72: PCB tanteador + shield esclavo 1 .....	69

Figura 73: Pulsadores NA 12 x 38mm .....	70
Figura 74: Gabinete con pulsadores .....	70
Figura 75: Tapa del gabinete con pulsadores y LCD .....	71
Figura 76: PCB ensamblado del mando .....	71
Figura 77: Gabinete mando completo.....	72
Figura 78: Diodo anti polaridad.....	72
Figura 79: Tanteador construido y realizado .....	73
Figura 80: Mando construido .....	74
Figura 81: Vista LCD .....	74
Figura 82: Cronómetro presentado.....	75
Figura 83: Cronómetro iniciado, parado y reiniciado.....	75

## Lista de Tablas

Tabla 1: Frecuencias máximas y mínimas de trabajo de transceivers SX1272 y SX1278..	13
Tabla 2: Frecuencias ISM compatibles .....	13
Tabla 3: Características principales .....	14
Tabla 4: Principales características módulo LoRa SX1278.....	17
Tabla 5: Pines TXEN y RXEN.....	18
Tabla 6: Registros <i>RegModemConfig1_0x1D</i> LoRa SX1278.....	18
Tabla 7: Registros <i>RegModemConfig2_0x1E</i> LoRa SX1278 .....	19
Tabla 8: Registros <i>RegModemConfig3_0x26</i> LoRa SX1278.....	20
Tabla 9: Configuración pines DIO LoRa SX1278.....	21
Tabla 10: Registro <i>RegOpMode</i> LoRa SX1278 .....	21
Tabla 11: Registros de operación LoRa SX1278.....	22
Tabla 12: Registro <i>RegLna_0X0C</i> LoRa SX1278 .....	22
Tabla 13: Registros <i>RegFrLsb</i> , <i>RegFrMid</i> y <i>RegFrMsb</i> para LoRa SX1278 .....	23
Tabla 14: Grado de protección IP.....	38
Tabla 15: Denominación Maestros – Esclavos .....	40
Tabla 16: Identificación de funciones.....	40
Tabla 17: Tabla de verdad compuerta OR.....	44
Tabla 18: Costos .....	76

## Lista de Abreviaciones

R1A: Salida digital que activa el segmento A del número rojo 1 (más significativo o decena).  
R1B: Salida digital que activa el segmento B del número rojo 1 (más significativo o decena).  
R1C: Salida digital que activa el segmento C del número rojo 1 (más significativo o decena).  
R1D: Salida digital que activa el segmento D del número rojo 1 (más significativo o decena).  
R1E: Salida digital que activa el segmento E del número rojo 1 (más significativo o decena).  
R1F: Salida digital que activa el segmento F del número rojo 1 (más significativo o decena).  
R2G: Salida digital que activa el segmento G del número rojo 1 (más significativo o decena).  
R2A: Salida digital que activa el segmento A del número rojo 2 (menos significativo o unidad).  
R2B: Salida digital que activa el segmento B del número rojo 2 (menos significativo o unidad).  
R2C: Salida digital que activa el segmento C del número rojo 2 (menos significativo o unidad).  
R2D: Salida digital que activa el segmento D del número rojo 2 (menos significativo o unidad).  
R2E: Salida digital que activa el segmento E del número rojo 2 (menos significativo o unidad).  
R2F: Salida digital que activa el segmento F del número rojo 2 (menos significativo o unidad).  
R2G: Salida digital que activa el segmento G del número rojo 2 (menos significativo o unidad).  
V1A: Salida digital que activa el segmento A del número verde 1 (más significativo o decena).  
V1B: Salida digital que activa el segmento B del número verde 1 (más significativo o decena).  
V1C: Salida digital que activa el segmento C del número verde 1 (más significativo o decena).  
V1D: Salida digital que activa el segmento D del número verde 1 (más significativo o decena).  
V1E: Salida digital que activa el segmento E del número verde 1 (más significativo o decena).  
V1F: Salida digital que activa el segmento F del número verde 1 (más significativo o decena).  
V1G: Salida digital que activa el segmento G del número verde 1 (más significativo o decena).  
V2A: Salida digital que activa el segmento A del número verde 2 (menos significativo o unidad).  
V2B: Salida digital que activa el segmento B del número verde 2 (menos significativo o unidad).  
V2C: Salida digital que activa el segmento C del número verde 2 (menos significativo o unidad).  
V2D: Salida digital que activa el segmento D del número verde 2 (menos significativo o unidad).  
V2E: Salida digital que activa el segmento E del número verde 2 (menos significativo o unidad).  
V2F: Salida digital que activa el segmento F del número verde 2 (menos significativo o unidad).  
V2G: Salida digital que activa el segmento G del número verde 2 (menos significativo o unidad).  
VDD: Alimentación 5 volts DC.  
GND: Masa o referencia del circuito.  
24V: Alimentación 24 volts DC.  
RX: Entrada para datos del puerto serie.  
TX: Salida para datos del puerto serie.  
BUZZER: Salida digital que activa la sirena.  
INT0: Entrada para activar la interrupción por hardware INT0.  
I/O – 1: Entrada/ salida digital configurable 1.  
I/O – 2: Entrada/ salida digital configurable 2.  
I/O – 3: Entrada/ salida digital configurable 3.  
I/O – 4: Entrada/ salida digital configurable 4.  
I/O – 5: Entrada/ salida digital configurable 5.  
I/O – 6: Entrada/ salida digital configurable 6.  
I/O – 7: Entrada/ salida digital configurable 7.  
I/O – 8: Entrada/ salida digital configurable 8.  
I/O – 9: Entrada/ salida digital configurable 9.  
I/O – 10: Entrada/ salida digital configurable 10.  
I/O – 11: Entrada/ salida digital configurable 11.

# Lista de Símbolos

## **Dedicado a:**

Mi pareja Antonella, que tanto apoyo me dio en este vertiginoso camino, para ella mi más profundo cariño.



## Capítulo 1: Introducción

El proyecto elegido, fue inicialmente encarado para desarrollar un producto puntual, que cumpla las características requeridas por el cliente y dirigido a pequeños centros de entrenamiento, clubes y demás entidades que puedan requerirlo; se pretende que la factibilidad de este producto sea valorada como primera opción en el contexto del mercado. Se busca expandir el deseo de los clientes, basado en mejores precios, la reutilización de los equipos y una fiabilidad garantizada.

Se elige la tecnología LoRa como punto de partida para este proyecto, debido a que esta tiene un gran potencial en el mercado, y es una parte de la ingeniería que está en constante avance y brinda ductilidad a la hora de su aplicación. El hecho de optimizar y mejorar las aplicaciones que se desarrollan con esta herramienta, así como también lo económico, son motivos adicionales en la presente elección.

El objetivo del proyecto es realizar una aplicación de calidad, utilizando un Arduino como cerebro, una opción realmente eficiente y de que demanda bajos recursos, que utilice la tecnología LoRa como medio de enlace a los distintos dispositivos, introduciendo así en el mercado un producto que ofrezca numerosas aplicaciones, a un precio razonable.

En el marco del análisis de los productos que ofrece el mercado, presté atención a los distintos tanteadores que el mismo ofrece; observando la falta de unificación en sus características de ductilidad. Este último comentario hace referencia a que, al adquirir un artefacto de una determinada marca, en muchos casos si se desea realizar una expansión o mejora, se debería apelar a un rediseño y posterior armado, lo que a todas luces resultaría de elevado costo. Este es el punto de partida a la hora de la toma de decisiones, es decir que el usuario pueda contar con un producto al cual pueda agregarle dispositivos libremente, según sus requerimientos. En pocas palabras el producto representaría un mando o control, con el cual empezar a trabajar, al que se le podrán anexar múltiples tableros u otros dispositivos deseados.

Todo esto marca claramente que se busca realizar un dispositivo que pueda ser utilizado para múltiples propósitos, eligiendo el sistema o red deseado. De esa forma en el futuro podrá expandirse sin necesidad de una reinención del producto.

A diferencia de la mayoría de productos en el mercado, el hecho de usar un Arduino, una Raspberry o cualquier sistema embebido de código abierto, da la posibilidad de poder agregar herramientas de forma flexible y libre al mando.

El dispositivo a comparar, a los efectos del objetivo del proyecto, es un tanteador de puntos electrónico. Estos productos se emplean en la mayoría de las disciplinas deportivas, por lo que es común encontrarlos en clubes, polideportivos, o sitios privados con prácticas deportivas de distinta índole. En función de lo que pida el usuario, se desarrolla un dispositivo puntual (tanteador) adaptado a la disciplina específica que se trate (ej. básquet, vóley, Fútbol), por lo que cada tanteador necesitará su propio controlador.

Cada idea o planteo va a ser diferente, por lo que el sistema embebido a usar y las placas y módulos que lo complementen también. Todo esto es parte de un estudio previo: dado un cliente con una situación o aplicación a realizar hay que determinar el cerebro del mando, que precisamos en función de sus recursos, y si contamos con los materiales necesarios para completar el desarrollo. Si este estudio es positivo, se puede optar por el mando y adquirir todo para comenzar el armado del dispositivo final, para dicho usuario. Por esta razón es que se habla de un proyecto de concepto abierto, una experiencia que busca reflejar ventajas pero que tiene puntos a tratar y mejorar. Se realizarán comunicaciones con Lora WiFi; así como también placas para la comprensión de señales de entrada y el manejo de actuadores a la salida.

Los pasos para encarar el proyecto son los siguientes: se empieza por estudiar las tareas a realizar y que sistema embebido es el indicado para poder realizarlo. Luego adquirir los módulos y realizar los circuitos necesarios. Finalmente es cuestión de ubicar todo en un gabinete. El paso más importante de todos es el primero, debido a que será la base que determinará su factibilidad.

## Capítulo 2: Desarrollo

A continuación, se desglosará el proyecto en tres partes, desmenuzando cada bloque en distintos puntos, para comprender de mejor forma como se fueron diseñando y desarrollando las ideas para el producto final.

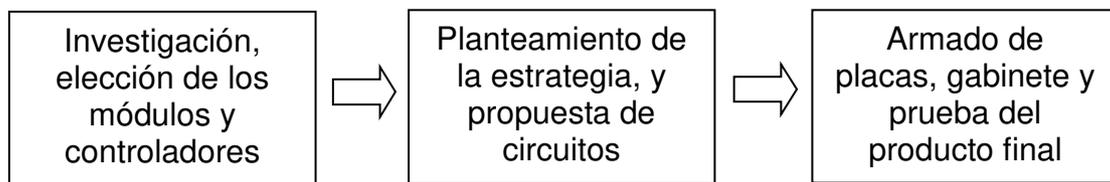


Figura 1. Diagrama en bloques del Proyecto.

### A) Investigación de componentes: Análisis y selección

Se comenzará planteando lo que se pretende desarrollar. Se requiere desarrollar un dispositivo que se vincule a una red de maestro-esclavo, de este modo, los esclavos serán controlados por un solo maestro (mando). Para este proyecto se desarrollará como uno de los esclavos, a un tanteador deportivo led para la disciplina de vóley, y un segundo esclavo, un cronómetro el cual se simulará ya que no es objeto de estudio en presente trabajo. Los mismos deben ser controlados a distancia, por lo que se incluirán módulos de radiofrecuencia.

Las prestaciones buscadas están orientadas en poder comunicarse inalámbricamente con el maestro u otros esclavos según se prefiera, y en base a la instrucción que reciban ejecutar acciones y mostrar los puntos requeridos.

Los dispositivos se comunicarán mediante el protocolo LoRa WiFi.

Una vez puesto lo que se pretende realizar, pasaremos a la investigación de los componentes:

#### A.1) Introducción a las comunicaciones: Lora Wifi

¿Por qué se eligió Lora Wifi y no otra?, esta pregunta la responderemos en esta sección.

LoRa (Long Range, o largo alcance en su traducción al español) es una tecnología de comunicación inalámbrica, patentada, que combina un consumo de energía ultra bajo con un largo alcance efectivo. Si bien el alcance depende en gran medida del entorno y las posibles obstrucciones, LoRa generalmente tiene un rango entre 13 y 15 km, lo que significa que una sola puerta de enlace LoRa puede proporcionar cobertura para una ciudad entera. La tecnología fue desarrollada por Cycleo en Francia y se destacó cuando Semtech adquirió la compañía en 2012.

Dirigido al mercado M2M (máquina a máquina) e IoT (internet de las cosas), LoRa es ideal para proporcionar conectividad intermitente de baja velocidad de datos en distancias significativas. La interfaz de radio ha sido diseñada para permitir que se reciban

niveles de señal extremadamente bajos y, como resultado, incluso las transmisiones de baja potencia pueden recibirse en rangos significativos.

La modulación y la interfaz de radio de LoRa se han diseñado y optimizado para proporcionar exactamente el tipo de comunicaciones necesarias para los nodos IoT y M2M remotos. La tecnología se está implementando ampliamente. Se está incorporando a muchos sistemas, e incluso sistemas embebidos de bajas prestaciones, como Arduino, tienen opciones de LoRa. En consecuencia, es muy fácil desarrollar aplicaciones para LoRa tanto para la fabricación a gran escala como para las aplicaciones más especializadas. La baja potencia y las capacidades de largo alcance significan que los puntos finales se pueden implementar en una amplia variedad de lugares, en edificios y en el exterior.

Las aplicaciones para la tecnología inalámbrica LoRa incluyen: medición inteligente, seguimiento de inventario, datos de máquinas expendedoras y monitoreo, industria automotriz, aplicaciones de utilidad, entre otros. En resumen, en cualquier lugar donde sea necesario el reporte y control de datos.

El coste de la implementación es relativamente bajo, así como el consumo de energía, del que hablamos anteriormente.

- Modulación

Las radios Lora utilizan la técnica de modulación de espectro expandido chirp para lograr un rango de comunicación significativamente alto mientras mantienen características de baja potencia que son similares a las radios basadas en la capa física de modulación FSK. Si bien la modulación de espectro extendido chirp ha existido por un tiempo con aplicaciones en comunicaciones militares y espaciales, LoRa presenta la primera aplicación comercial de bajo costo de la técnica de modulación.

El fundamento básico es el "ensanchamiento" de la señal a transmitir a lo largo de una banda muy ancha de frecuencias, mucho más amplia, de hecho, que el ancho de banda mínimo requerido para transmitir la información que se quiere enviar. No se puede decir que las comunicaciones mediante espectro ensanchado son medios eficientes de utilización del ancho de banda. Sin embargo, rinden al máximo cuando se los combina con sistemas existentes que hacen uso de la frecuencia. La señal de espectro ensanchado, una vez ensanchada puede coexistir con señales en banda estrecha, ya que sólo les aportan un pequeño incremento en el ruido. En lo que se refiere al receptor de espectro ensanchado, él no ve las señales de banda estrecha, ya que está escuchando un ancho de banda mucho más amplio gracias a una secuencia de código preestablecido.

- Frecuencia

Si bien la tecnología LoRa es independiente de la frecuencia, la comunicación entre las radios LoRa se realiza mediante el uso de bandas de frecuencia de radio sub-GHz sin licencia que están disponibles en todo el mundo. Estas frecuencias varían de una región a otra y, a menudo, también difieren entre países. Por ejemplo, el 868MHz se usa

comúnmente para las comunicaciones LoRa en Europa, mientras que el 915MHz se usa en América del Norte. Independientemente de la frecuencia, LoRa puede usarse sin ninguna variación importante en la tecnología.

	Europe	North America	China	Korea	Japan	India
Frequency band	867-869MHz	902-928MHz	470-510MHz	920-925MHz	920-925MHz	865-867MHz
Channels	10	64 + 8 +8	In definition by Technical Committee			
Channel BW Up	125/250kHz	125/500kHz				
Channel BW Dn	125kHz	500kHz				
TX Power Up	+14dBm	+20dBm typ (+30dBm allowed)				
TX Power Dn	+14dBm	+27dBm				
SF Up	7-12	7-10				
Data rate	250bps- 50kbps	980bps-21.9kbps				
Link Budget Up	155dB	154dB				
Link Budget Dn	155dB	157dB				

Figura 2. Bandas de frecuencia para LoRa en diferentes países.

El uso de frecuencias más bajas que las de los módulos de comunicación como WiFi basado en las bandas ISM de 2.4 o 5.8GHz permite un área de cobertura mucho mayor, especialmente para situaciones NLOS.

Es importante tener en cuenta que todavía se requieren permisos en algunos países antes de poder utilizar las bandas sin licencia.

- Velocidad de datos adaptativa

LoRa utiliza una combinación de ancho de banda variable y factores de expansión (SF7-SF12) para adaptar la velocidad de datos en una compensación con el rango de la transmisión. Un mayor factor de dispersión permite un mayor alcance a expensas de una velocidad de datos más baja, y viceversa. La combinación de ancho de banda y factor de dispersión se puede elegir de acuerdo con las condiciones del enlace y el nivel de datos a transmitir. Por lo tanto, un factor de dispersión más alto mejora el rendimiento y la sensibilidad de transmisión para un ancho de banda dado, pero también aumenta el tiempo de transmisión como resultado de velocidades de datos más bajas. Estos pueden variar desde tan solo 18bps hasta 40Kbp

### LoRa Spreading Factors (125kHz bw)

Spreading Factor	Chips/symbol	SNR limit	Time-on-air (10 byte packet)	Bitrate
7	128	-7.5	56 ms	5469 bps
8	256	-10	103 ms	3125 bps
9	512	-12.5	205 ms	1758 bps
10	1024	-15	371 ms	977 bps
11	2048	-17.5	741 ms	537 bps
12	4096	-20	1483 ms	293 bps

Figura 3. Factor de difusión y tasa de bits.

- Nivel de potencia adaptativo

El nivel de potencia utilizado por los radios LoRa es adaptativo. Depende de factores como la velocidad de datos y las condiciones del enlace, entre otros. Cuando se requiere una transmisión rápida, la potencia transmitida se empuja más cerca del máximo y viceversa. Por lo tanto, la vida útil de la batería se maximiza y la capacidad de la red se mantiene. El consumo de energía también depende de la clase de dispositivos entre varios otros factores.

- LoRaWAN

LoRaWAN es un estándar de alta capacidad, largo alcance, abierto, de red de área amplia de baja potencia (LPWAN) diseñado para LoRa Powered IoT Solutions por LoRa Alliance. Es un protocolo bidireccional que aprovecha al máximo todas las características de la tecnología LoRa para ofrecer servicios, incluida la entrega confiable de mensajes, seguridad de extremo a extremo, ubicación y capacidades de multidifusión. El estándar garantiza la interoperabilidad de las diversas redes LoRaWAN en todo el mundo.

Por lo general, hay una confusión cuando las personas intentan definir LoRa y LoRaWAN, lo que probablemente se resuelve mejor examinando el Modelo de pila de referencia OSI.

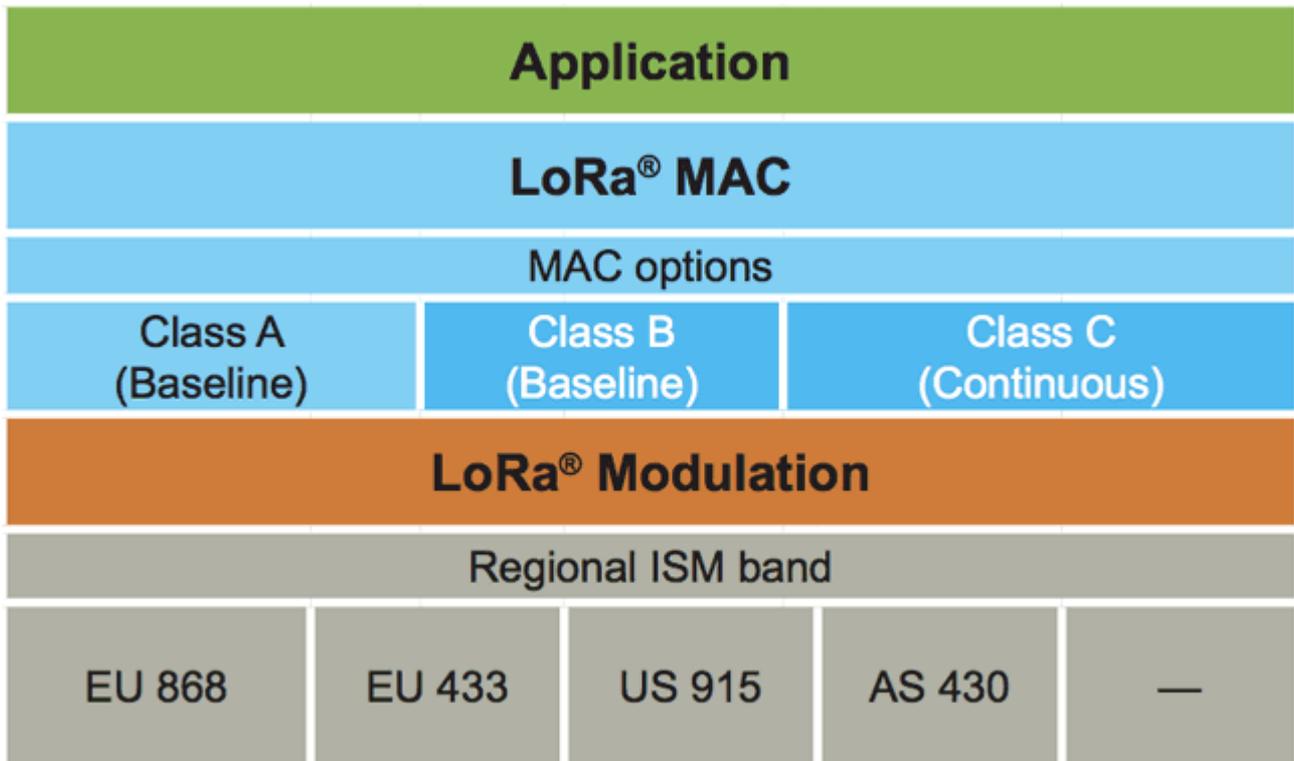


Figura 4. Capa de red LoRa.

En pocas palabras, basado en el modelo de pila OSI, LoRaWAN corresponde al protocolo de acceso a medios para la red de comunicación, mientras que LoRa corresponde a la capa física. Así, LoRaWAN define el protocolo de comunicación y la arquitectura del sistema para la red, mientras que la arquitectura LoRa habilita el enlace de comunicación de largo alcance. Los dos se fusionaron para proporcionar la funcionalidad que determina la vida útil de la batería de un nodo, la capacidad de la red, la calidad del servicio, la seguridad y otras aplicaciones atendidas por la red. Si bien LoRaWAN es la capa MAC más popular para LoRa, existen otras capas propietarias que también se basan en la tecnología LoRa. Un buen ejemplo es el enlace Symphony de Link Labs, que está especialmente desarrollado para aplicaciones industriales.

En el nivel 1 de OSI, nivel físico, encontramos la tecnología LoRa de comunicación. Esta tecnología permite el envío y recepción de información punto-a-punto. Lo que caracteriza a un dispositivo LoRa es su largo alcance con un mínimo dispositivo.

Las frecuencias de comunicaciones que LoRa usan son principalmente las de la banda ISM, aunque la tecnología puede operar en cualquier frecuencia por debajo del 1 GHz.

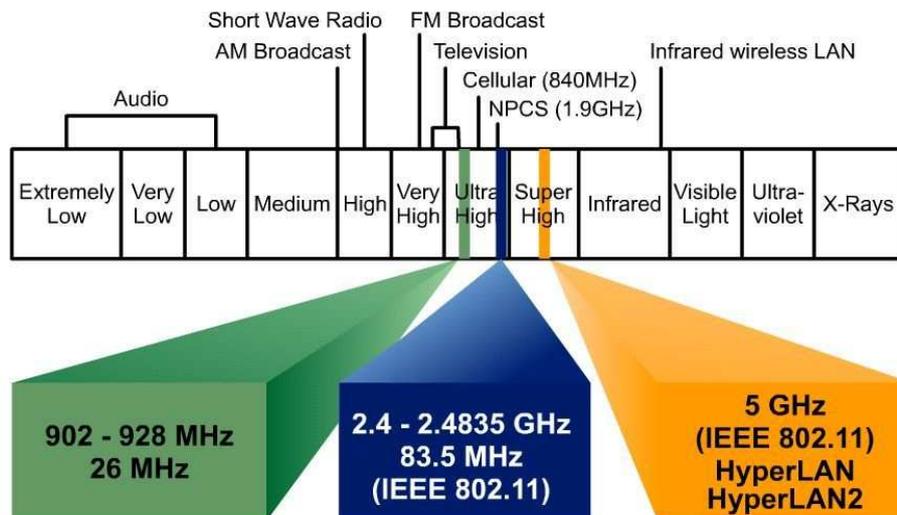


Figura 5. Espectro de Frecuencia.

El uso de estas frecuencias se debe a que mientras se respete los valores de emisión, cualquier persona o empresa puede hacer uso de ella sin necesidad de licencia.

Los parámetros de comunicación LoRa son:

- Canal dentro de la banda: frecuencia central que representa el canal. El canal 10 dentro de la banda 868 MHz tiene un valor de 865.200.000 Hz.
- Spreading factor (SF): define el número de bits usados para codificar un símbolo. A mayor SF, menor velocidad de transferencia tendremos, pero mayor inmunidad a interferencias.
- Coding rate (CR): indica la forma de codificar para corrección de errores. Es decir, según la técnica especificada, añade símbolos de control para saber si los datos son correctos o no e incluso poder determinar los valores correctos.
- Bandwidth (BW): indica el ancho de frecuencia que vamos a usar

Establecer una comunicación punto-a-punto con LoRa es relativamente sencillo. Para distancias muy cortas (menor a 1 KM) no suele haber mucho problema. Se complica para distancias más grandes. Además de usar unas antenas con mayor ganancia y que sean visibles directamente unas a las otras sin obstáculos de por medio, es necesario una correcta configuración de canal, velocidad, etc. Aquí es donde entra en escena LoRaWAN, subiendo de nivel y encargándose también de cifrar los datos para que ajenos no hagan uso de ellos. Lo único de lo que debemos preocuparnos es de registrar e identificar nuestro dispositivo dentro de la red.

## La arquitectura de red LoRaWAN

Opuesto a la topología de red de malla adoptada por la mayoría de las redes, LoRaWAN usa la arquitectura de red en estrella, por lo tanto, en lugar de tener cada dispositivo final en un estado casi siempre encendido, repite la transmisión desde otros dispositivos para aumentar el alcance, dispositivos finales en la red LoRaWAN se comunican directamente con las puertas de enlace y solo se activan cuando necesitan comunicarse con la puerta de enlace, ya que el alcance no es un problema. Este es un factor que contribuye a las características de baja potencia y alta duración de la batería obtenida en los dispositivos finales LoRa

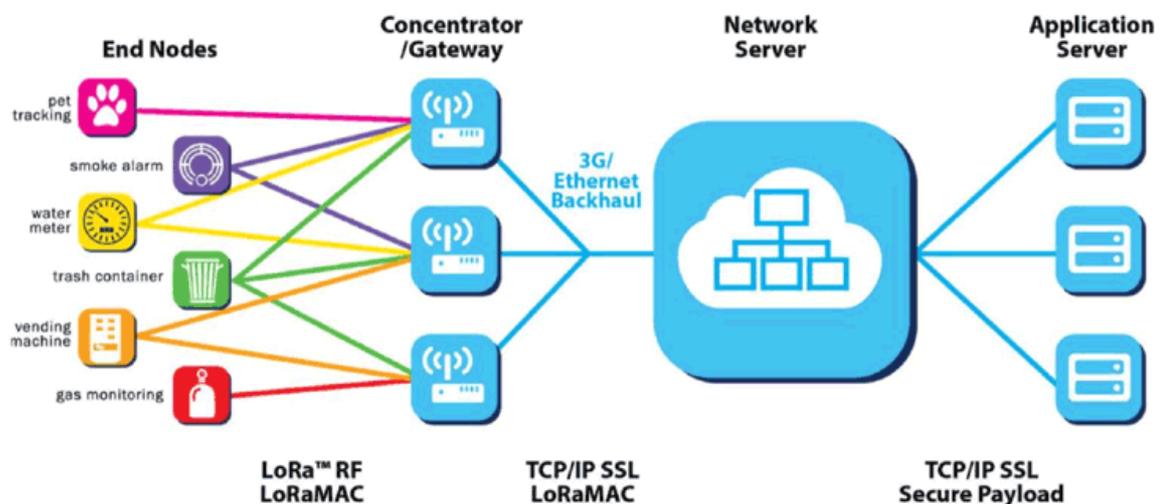


Figura 6. Arquitectura de red LoRaWAN.

La arquitectura de red LoRa consta de cuatro partes principales;

1. Dispositivos finales
2. Pasarelas
3. servidor de red
4. Servidor de aplicaciones

**Modulación LoRa:** la modulación inalámbrica, utilizada para crear el enlace de comunicación de largo alcance.

**Transceptores y nodos finales:** los transceptores configurados con tecnología LoRa están integrados en nodos finales o dispositivos sensores diseñados para una multitud de aplicaciones de la industria.

**Picocélulas y pasarelas:** los sensores capturan y transmiten datos a las pasarelas a distancias cercanas y lejanas, interiores y exteriores, con un requisito mínimo de energía.

Servidor de red: los Gateways envían información a través de Wi-Fi, Ethernet o celular al servidor de red, que es responsable de las funciones de administración de la red, como la activación por aire, la de duplicación de datos, el enrutamiento dinámico de cuadros, el control de velocidad adaptable y la administración del tráfico. y administración.

Servidores de aplicaciones y servicios de IoT en la nube: las aplicaciones interpretan los datos recopilados por los dispositivos habilitados con LoRa, aplicando técnicas como el aprendizaje automático y la inteligencia artificial para resolver problemas de negocios para un planeta más inteligente.

A continuación, se presentan algunas de las ventajas asociadas con LoRa:

- Largo alcance y cobertura: con un alcance LOS de hasta 15 km, su alcance no se puede comparar con el de ningún otro protocolo de comunicación.
- Baja potencia: LoRa ofrece radios de hiper baja potencia que los hace ideales para dispositivos que requieren durar 10 años o más con una sola carga de batería.
- Hardware de bajo costo: las infraestructuras para LoRaWAN tienen un costo extremadamente bajo en comparación con otras redes y el costo de las radios para dispositivos finales es igualmente bajo. Más aún, se están desarrollando varias versiones de código abierto de infraestructuras como puertas de enlace que ayudan a reducir aún más los costos.
- Alta capacidad: se pueden conectar miles de dispositivos finales a una única puerta de enlace LoRa.

### Desventajas de LoRa

Con una velocidad de datos máxima de alrededor de 50 kb / s, LoRa tiene la velocidad de datos más baja en comparación con la mayoría de las otras tecnologías, lo que lo hace no ideal para ciertas aplicaciones donde se requieren velocidades de datos altas.

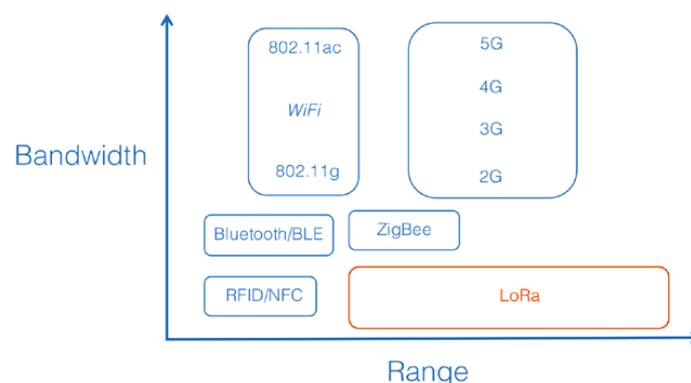


Figura 7. LoRa vs otros protocolos.

- LoRa complementa Wi-Fi, Bluetooth y celular

Al igual que Wi-Fi, LoRa funciona en la banda sin licencia y es compatible con aplicaciones en interiores, al igual que el celular. La tecnología es altamente segura desde los dispositivos finales hasta el servidor de aplicaciones, y es adecuada para aplicaciones en exteriores. Combina estas características de redes Wi-Fi y celulares para ofrecer una solución de conectividad eficiente, flexible y económica ideal para aplicaciones de IoT, ya sea en interiores o exteriores e instaladas en redes públicas, privadas o híbridas. Los datos de sensores simples pueden alimentar las plataformas de análisis, como las de inteligencia artificial y aprendizaje automático. Estos requieren una diversidad de datos que es posible gracias a los sensores de bajo costo habilitados para LoRa.

Por estos motivos, dado la ventaja del muy bajo consumo de energía, el largo alcance, y a su vez, que nuestra tasa de transferencia de datos será muy baja, la modulación LoRa hace que sea la ideal para realizar nuestra comunicación inalámbrica.

A.2) Introducción a las comunicaciones: Red Maestro-Eslavo

Es un control asimétrico, donde uno de los dispositivos controla uno o más dispositivos o procesos y sirve como su eje de comunicación. En ellos hay un componente principal llamado “maestro”, que se encarga de recolectar la información procesada por cada esclavo, y de distribuirla en su totalidad a cada uno de ellos. Permite el procesamiento en paralelo, pues cada esclavo trabaja independientemente de los demás. Este tipo de comunicación se conoce como comunicación global, porque la información se concentra en un procesador (maestro).

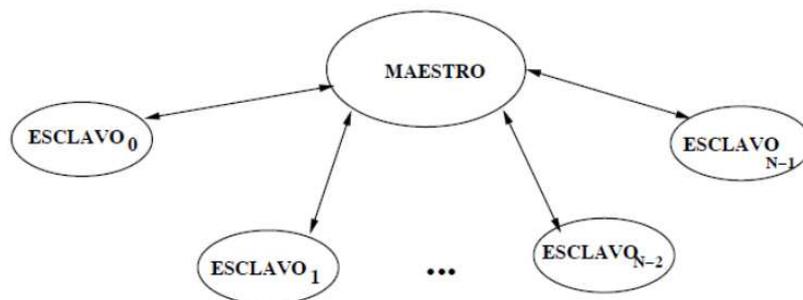


Figura 8. Arquitectura de red Maestro-Eslavo.

Este esquema utiliza el modelo Single Program Multiple Data (Programas Simples Múltiples Datos).

En nuestro caso tendremos un maestro, que comandará a 2 esclavos.

### A.3.i) Descripción de los dispositivos utilizados: LoRa SX1278

Se propone el uso de dispositivos transceivers (transceptor: transmisor y receptor) con la tecnología LoRa, ya antes descrita, con las versiones SX1278. Un transceiver es un dispositivo que cuenta con circuitos electrónicos capaces de procesar información que podrá ser transmitida o recibida sobre el mismo.

Sin embargo, el transceiver requiere de la lógica de programación para ser configurado. Es así como se debe incluir un sistema embebido, el cual se define como un circuito electrónico o hardware diseñado para realizar un conjunto limitado de funciones específicas, en este caso debe controlar los dispositivos LoRa. Como sistemas embebidos se propone el uso de Arduino, particularmente a la versión UNO.

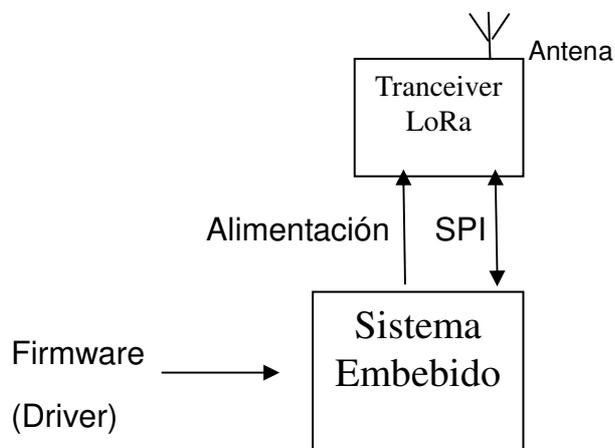


Figura 9. Conexión transceiver LoRa con sistema embebido.

- Transceiver Semtech LoRa SX1278

Los módulos Semtech LoRa son transceivers RF (serie SX127'x') con la capacidad de comunicarse con la tipología M2M (máquina a máquina). Con estos dispositivos se pueden crear complejas redes de comunicación de largo alcance y con la posibilidad de conectar millones de dispositivos. Estos dispositivos optimizan el consumo energético, aumentando el ciclo de vida de las baterías de los sistemas embebidos utilizados, brindando aplicaciones con redes ideales para internet de las cosas (IoT), automatización, meteorología, seguridad, tracking, y aplicaciones M2M.

Los dispositivos de radio Semtech LoRa cuentan con un modem de largo alcance con alta inmunidad al ruido y mínimo consumo de corriente. La serie SX1272/78 utilizan la técnica de modulación patentada LoRa alcanzando una sensibilidad de -137dBm(SX1272), y -148dBm (SX1278). Ésta sensibilidad combinada con el amplificador LNA (amplificador de bajo ruido) de +20dBm, optimiza el rango de alcance y brindan la robustez necesaria para aplicaciones industriales.

El consumo de corriente es nulo cuando se encuentra en modo sleep y tiene un mínimo consumo cuando se encuentra en modo recepción llegando hasta 12mA. Tiene

como ventaja la incorporación de la verificación por redundancia cíclica (CRC) de hasta 256 Bytes, característica muy útil para comprobar si los datos fueron recibidos correctamente en el transceiver.

La versión SX1278 presenta mejoras a nivel de arquitectura respecto al sx1272. La principal mejora es la incorporación de multiplexores y demultiplexores para el manejo de bajas y altas frecuencias. Para el chip radio SX1278, las bajas frecuencias (LF) corresponden a frecuencias por debajo de 525 MHz, y las altas frecuencias (HF), se encuentran por encima de 779 MHz.

En la tabla 1, mostramos las frecuencias máximas y mínimas de trabajo de los transceivers de radio mencionados.

Dispositivo	Frecuencia mínima (MHz)	Frecuencia máxima (MHz)
SX1272	860	1020
SX1278	137	525

Tabla 1. Frecuencias máximas y mínimas de trabajo de transceivers SX1272 y SX1278.

Existen frecuencias de libre uso conocidas como ISM (Industrial, Scientific and Medical) que son frecuencias intencionalmente libres, para uso no comercial en aplicaciones de tipo industrial, científico y médico. En la tabla 2 se muestra las principales frecuencias ISM compatibles con los dispositivos LoRa mencionados.

Banda ISM (MHz)	Frecuencia Mínima (MHz)	Frecuencia Máxima (MHz)	Ancho de banda (MHz)	Usos por continente
433	433.050	434.790	1.84	Europa, África y parte del norte de Asia.
869	868	879	2	Europa, África, Asia y Oceanía.
900	902	928	26	Continente americano

Tabla 2. Frecuencias ISM compatibles.

De acuerdo con la tabla 2, serán seleccionadas las frecuencias de trabajo a 433 MHz para el chip SX1278.

Algunas características importantes de los dispositivos seleccionados se presentan en la tabla 3.

Radio SX	Frecuencia seleccionada (MHz)	Factor de alcance SF	Ancho de banda/ canal (kHz)	Tasa efectiva de bits (kbps)	Sensibilidad (dBm)
1272	869.525	6 a 12	125 a 500	0.24 a 37.5	-117 a -137

1278	433.800	6 a 12	7.8 a 500	0.018 a 37.5	-111 a -148
------	---------	--------	-----------	--------------	-------------

Tabla 3. Características principales.

La sensibilidad del receptor identifica el valor mínimo de potencia que necesita un receptor para poder decodificar o extraer datos para alcanzar una determinada tasa de bits, o de velocidad. Comúnmente se expresan en dBm e indican que entre menor sea su valor, el receptor tendrá mejor sensibilidad, por lo que se concluye que el dispositivo SX1278, tiene como ventaja el tener mejor sensibilidad al recibir datos.

Otra importante diferencia a favor del dispositivo SX1278, es que cuenta con canales más reducidos de hasta 7.8 kHz, como valor mínimo. Sin embargo, lo anterior implica transmisión y recepción de datos con tasas efectivas de datos significativamente bajas, que podrán dar lugar a pérdidas de datos o tiempos muertos excesivos de transmisión o recepción de datos.

Estos módulos se comunican con el sistema embebido mediante el protocolo de comunicación síncrono SPI.

El SPI es un protocolo de comunicación síncrona de 4 hilos, entre dispositivos electrónicos presentado por Motorola en 1982, que ha ganado bastante aceptación en la industria como sistema de comunicación de muy corta distancia, normalmente dentro la placa de circuito impreso.

Es un protocolo de transmisión que permite alcanzar velocidades muy altas y que se diseñó pensando en comunicar un microcontrolador con distintos periféricos y que funciona a full dúplex (enviar y recibir datos al mismo tiempo).

SPI utiliza una solución síncrona, porque utiliza unas líneas diferentes para los datos y el Clock. El Clock es una señal que indica al que escucha exactamente cuándo leer las líneas de datos, con lo que el problema de pérdida de sincronía se elimina de raíz.

Por eso mismo, no se necesita pactar la velocidad de transmisión, ya que será el Clock quien fije la velocidad y puede ser variable a lo largo de la comunicación sin que sea un problema (Aunque por supuesto según el dispositivo habrá un límite de velocidad).

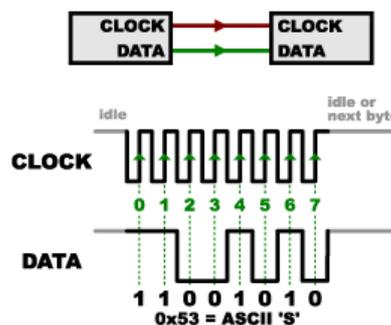


Figura 10. Ejemplo de sincronismo SPI.

En un bus SPI una de las partes genera el Clock al que llamamos master, y el resto son los esclavos, pudiendo haber uno o varios en el bus. A la señal de reloj se le suele llamar CLK por Clock o SCK por Serial Clock.

Cuando el master envía información, lo hace por una línea de datos que normalmente de nombre MOSI (Master Out Slave In) y si el esclavo responde lo hace a través de una línea llamada MISO (Master In Slave Out).

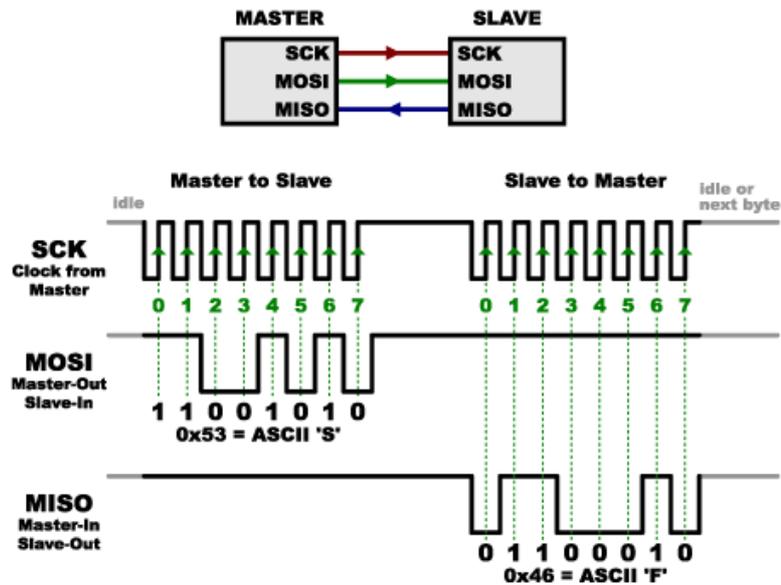


Figura 11. Funcionamiento de MOSI-MISO.

Como es el master quien genera el Clock, necesita saber de antemano, si un esclavo va a devolver una respuesta y de que longitud, para mantener el Clock hasta que la transferencia esté completa. Esto no es normalmente un problema porque cuando el master pide a, digamos un sensor, que le envíe una lectura, normalmente sabemos que van ser 2 bytes. Hay una última línea de control, llamada Slave Select o SS, que indica a un esclavo que el mensaje que viene es para él, o bien que se reclama que envíe una respuesta a una petición del master.

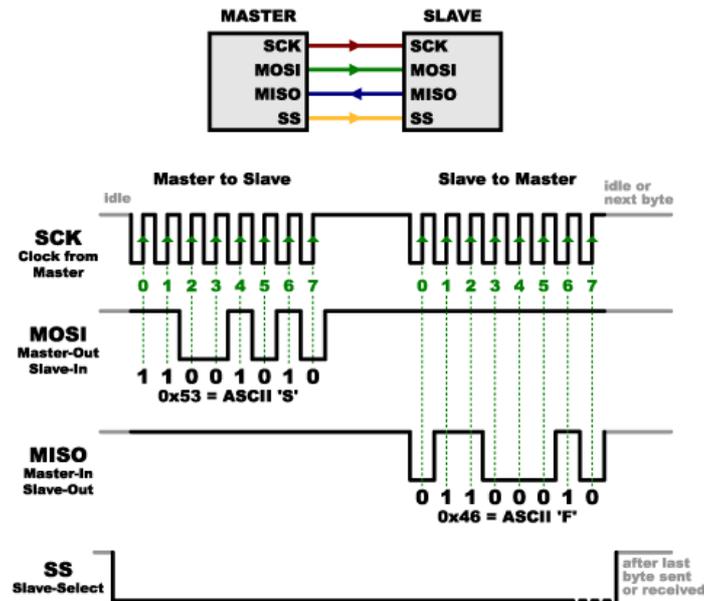


Figura 12. Funcionamiento de MOSI-MISO junto a SS.

La línea SS normalmente se mantiene HIGH y se activa con LOW, lo que despierta al esclavo seleccionado. Cuando se termina la transferencia la línea se levanta a HIGH y el esclavo se desactiva.

Hay dos maneras de conectar múltiples esclavos a un bus SPI. Con una línea SS por cada esclavo o en cascada.

En general cada esclavo requiere su propia línea SS para ser activado, y así evitar que dos hablen a la vez, porque el resultado sería ruido inútil. Basta con activar la línea correspondiente y el esclavo está listo para recibir sus órdenes

Es un sistema cómodo, siempre y cuando no sean muchos esclavos porque podemos necesitar muchas líneas.

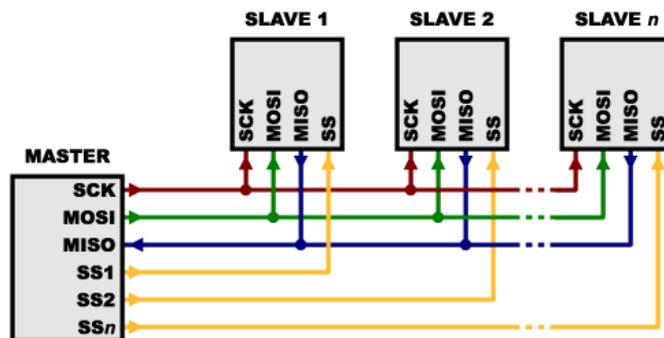


Figura 13. Conexión de esclavos por SS.

Cuando el número de esclavos crece suele ser más frecuente conectarlos en cascada, con el MISO de uno (Salida), conectado al MOSI (Entrada) del siguiente. En este caso solo usamos una única línea SS, que se comparte entre todos los esclavos.

Esta configuración es típica de una situación en la que el maestro envía datos, pero no recibe nada de vuelta, como en el caso de una cadena de múltiples display LED, en los

que se envía información para ser mostrada, pero no hay datos de vuelta. En este caso incluso podemos desconectar la línea MISO.

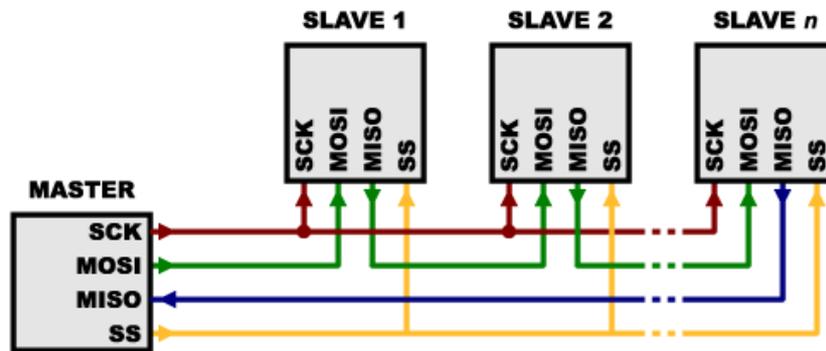


Figura 14. Conexión de esclavos en cascada.

Los dispositivos de radio LoRa se comportan como esclavos, y el microcontrolador del sistema embebido será el maestro en la comunicación SPI. A nivel lógico de sincronización y transmisión de datos, la comunicación SPI requiere la configuración de la polaridad del reloj (CPOL), y el bit fase de reloj (CPHA).

Los dispositivos de radio LoRa SX1272/78 utilizan CPOL = 0, y CPHA = 0, lo que se conoce como modo 0 SPI. El bit más significativo (MSB) de un byte enviado debe ser el primero y la velocidad del SCLK no debe superar los 10 MHz.

Algunos fabricantes realizan placas de adecuación para facilitar la manipulación de los transceivers de radio LoRa. Al realizar estas placas, se eliminan o incorporan pines físicos de control respecto a las características originales del chip. Los fabricantes mantienen los pines de comunicación SPI, y eliminan algunos pines de control del chip radio. Las principales características del módulo LoRa SX1278 se presentan en la tabla 4.

Tarjeta	Chip Radio	Marca	Pines de control físicos			
			DIO0-DIO5	RXTX	Pines SPI	RESET
LoRaSX1278	SX1278	NiceRF	Pines de entrada/salida, configurables por software		NSS MISO MOSI SCLK	Pin de entrada. Utilizado al iniciar el dispositivo

Tabla 4. Principales características módulo LoRa SX1278.

La versión LoRa1278 de NiceRF, realiza adecuaciones relacionadas con el hardware incorporando 2 pines adicionales de control que permiten habilitar el uso de la

antena para transmitir o recibir. La descripción de las funciones de los pines TXEN y RXEN se presentan en la siguiente tabla:

Pin TXEN	Pin RXEN	Descripción de funcionamiento para la antena
0	0	Modo sleep
0	1	Configurada para recibir
1	0	Configurada para transmitir

Tabla 5. Pines TXEN y RXEN.

El módulo posee parámetros configurables por software SF, BW y CR que, según las combinaciones entre los mismos, nos permiten determinar el alcance o la distancia máxima de recepción de los datos, la tasa de transmisión, sobrecarga por corrección o detección de errores en la información transmitida y el consumo energético a transmitir y recibir los datos. Se habló en la sección anterior de los mismos, por lo que se los definirá brevemente a continuación:

BW: Ancho de banda (entre más bajo sea este valor, el tiempo de transmisión será mayor).

SF rate: Es el factor de alcance expresado como logaritmo de base 2. Entre mayor sea este valor, mayor será la fiabilidad de los datos, pero con una sobrecarga en el tiempo de transmisión.

CR: Tasa de codificación de errores, entre mayor sea este valor, mayor será la fiabilidad de los datos, pero con una sobrecarga en el tiempo de transmisión.

Los valores de SF, BW y CR se establecen en el registro RegModemConfig1\_0x1D, RegModemConfig2\_0x1E y RegModemConfig3\_0x26 respectivamente. En la tabla 6, 7 y 8 respectivamente podemos ver las descripciones de estos registros.

Bit	Nombre de la variable	Uso	Defecto	Descripción
7-4	Bw	Rw	0x07	Ancho de banda( entre más bajo sea este valor, el tiempo durante la transmisión será mayor).  0000: 7.8 kHz 0001: 10.4 kHz 0010: 15.6 kHz 0011: 20.8 kHz 0100: 31.25 kHz 0101: 47.7 kHz 0110: 62.5 kHz

				<p>0111: 125 kHz</p> <p>1000: 250 kHz</p> <p>1001: 500 kHz</p> <p>Otro valores: Reservado</p>
3 – 1	CodingRate	Rw	0x01	<p>Tasa de codificación de errores: Entre mayor sea este valor, mayor será la fiabilidad de los datos, pero con una sobrecarga en el tiempo de transmisión.</p> <p>001: 4/5</p> <p>010: 4/6</p> <p>011: 4/7</p> <p>100: 4/8</p> <p>Otros valores: reservado</p>
0	ImplicitHeaderModeOn	Rw	0x00	<p>Tipo de encabezado utilizado por el LoRa</p> <p>0: Modo del header explícito</p> <p>1: Modo del header implícito</p>

Tabla 6. Registros RegModemConfig1\_0x1D LoRa SX1278.

Bit	Nombre de la variable	Uso	Defecto	Descripción
7-4	Spreading Factor	Rw	0x07	<p>SF rate: es el factor de alcance expresado como logaritmo de base 2. Entre mayor será este valor, se tendrá un mejor rendimiento en la transmisión de datos.</p> <p>6: 64 chips/symbol</p> <p>7: 128 chips/symbol</p> <p>8: 256 chips/symbol</p> <p>9: 512 chips/symbol</p> <p>10: 1024 chips/symbol</p> <p>11: 2048 chips/symbol</p> <p>12: 4096 chips/symbol</p>
3	TxContinuousMode	rw	0x00	0: Modo normal de transmission simple de

				paquetes. 1: Modo continuo de transmisión. Múltiples paquetes enviados a través de la FIFO.
2	AgcAutoOn	Rw	0x00	Habilita la generación de CRC de datos. 0: ajuste de ganancia en el LNA según el registro LNAGain. 1: Ajuste de ganancia en el LNA por llo interno en el AGC.
1-0	SymbTimeout	rw	0x00	Timeout para la espera de datos. Se recomienda 0

Tabla 7. Registros RegModemConfig2\_0x1E LoRa SX1278.

Bit	Nombre de variable	Uso	Defecto	Descripción
7-4	Sin uso	r	0x00	Reservado
3	LowDataRateOptimize	rw	0x00	Habilita la optimización en la recepción de los datos cuando está configurado el LoRa en baja transmisión de velocidad de los datos. 0: No habilitado. 1: Habilitado. Solo debe ser habilitado cuando excede los 16ms en el tiempo por símbolo.
2	AgcAutoOn	Rw	0x00	Habilita la generación de CRC de datos. 0: ajuste de ganancia en el LNA según el registro LNAGain. 1: Ajuste de ganancia en el LNA por llo interno en el AGC.
1-0	Sin usp	rw	0x00	Reservado

Tabla 8. Registros RegModemConfig3\_0x26 LoRa SX1278.

Los pines DIO de control más importantes de acuerdo a la información suministrada por el fabricante, son los DIO0 y DIO3. La tabla 9 presenta las funciones de los pines de control de acuerdo a la configuración.

Conf de mapeo	DIO5	DIO4	DIO3	DIO2	DIO1	DIO0
00	ModeReady	CadDetected	CadDone	FhssChangeChannel	RxTimeout	RxDone
01	ClkOut	PIILock	ValidHeader	FhssChangeChannel	FhssChangeChannel	TxDone
10	ClkOut	PIILock	PayloadCrcError	FhssChangeChannel	CadDetected	CadDone
11	Sin uso	Sin uso	Sin uso	Sin uso	Sin uso	Sin uso

Tabla 9. Configuración pines DIO LoRa SX1278.

De acuerdo a la configuración, el pin DIO0 permite conocer si el chip radio LoRa ha transmitido correctamente los datos (TXDONE) o si el chip ha recibido datos y está a la espera de la gestión por parte del microcontrolador (RXDONE). El DIO3 permite conocer si los datos llegaron correctamente de acuerdo con la Verificación por redundancia cíclica (CRC).

El registro RegOpMode\_0x01 permite configurar el modo de operación de transceiver LoRa. Este registro se podría considerar como el más usado en cualquier aplicación. La descripción del registro RegOpMode se presenta en la tabla 10.

Bit	Nombre de la variable	Uso	Defecto	Descripción
7	LongRangeMode	RW	0x00	0: Modo FSK/OOK. 1: Modo lora.
6	AccessSharedReg	RW	0x00	0: Acceso registros LoRa. 1: Acceso registros FSK.
5-4	Reservado	R	0x00	Reservado
3	LowFrequencyModeOn	Rw	0x01	0: Modo High Frequency Mode (HF). 1: Modo Low Frequency mode (LF).
2-0	Mode	Rw	0x01	000: Sleep 001: StandBy 010: Frequency synthesis TX (Fstx) 011: Transmit (Tx) 100: Frequency synthesis RX (Fsrx) 101: Receive continuous (Rx) 110: Receive single 111: Channel activity detection (CAD).

Tabla 10. Registro RegOpMode LoRa SX1278.

Los modos de operación del LoRa más utilizados se presentan en la tabla 11:

Modo	Descripción	Valor en RegOpMode
SLEEP	Es el modo de bajo consumo. Solo los registros SPI del LoRa tienen acceso en este modo.	0x00
STANDBY	El LoRa se coloca en este modo al transmisor o tener pendiente la gestión en la recepción de datos.	0x01
TX	Es el modo utilizado cuando se tienen configurada la interrupción por TX, datos en la FIFO y el LoRa está listo para transmitir, una vez que lo hace, el LoRa cambia automáticamente al modo STANDBY	0x03
RXCONTINUOUS	Es el modo utilizado cuando se tienen configurada la interrupción por RX, el LoRa tiene datos en la FIFO y el chip está a la espera de la gestión de los datos. Una vez que el LoRa recibe los datos y valida los datos mediante el CRC, cambia automáticamente a modo STANDBY. Recibe varios bytes en una trama	0x05

Tabla 11. Registros de operación LoRa SX1278.

El módulo SX1278 permite configurar la potencia máxima utilizada para transmitir datos, máxima corriente permitida y la ganancia del LNA (HF y LF). El registro RegLna\_0x0C permite configurar las características del LNA para HF y LF. La tabla 112 presenta las variables del registro RegLna\_0X0C como la configuración de ganancia y los ajustes en corriente para alta frecuencia (HF) y baja frecuencia (LS).

Bit	Nombre de la variable	Uso	Defecto	Descripción
7-5	LnaGain	Rw	0x01	Ajustes en la ganancia del LNA 000: No usado. 001: G1 = Máxima ganancia 010: G2 011: G3 100: G4 101: G5 110: G6 = Mínima ganancia 111: No usado
4 – 3	LnaBoostLf*	Rw	0x00	Ajuste en corriente a baja frecuencia del LNA

				00 – corriente por defecto Otro – Reservado
2	Reservado	R	0x00	Reservado
1-0	LnaBoostHf	Rw	0x00	Ajuste en corriente a alta frecuencia del LNA 00 – Corriente por defecto 11 – Boost on, 150% de corriente en el LNA

Tabla 12. Registro RegLna\_0X0C LoRa SX1278.

Los radios LoRa cuentan con un circuito de protección para evitar la sobre corriente al transmitir (OCP) en el amplificador de potencia. Esta característica de los LoRa permite aumentar el ciclo de vida útil de las baterías, utilizar bajos consumos energéticos y evitar picos excesivos al transmitir datos.

A su vez, podemos modificar los registros de frecuencia del radio. Teniendo en cuenta que existen bandas de frecuencias de uso privativo (telefonía, internet, radio, entre otras), existen frecuencias de libre uso conocidas como ISM (Industrial, scientific and medical) que son frecuencias intencionalmente libres para uso no comercial en aplicaciones de tipo industrial, científico y médico.

Para fijar la frecuencia de trabajo en los transceivers LoRa, el fabricante presenta la siguiente ecuación:

$$f_{RF} = \frac{2^{19} \cdot \text{Frecuencia}}{F_{osc}}$$

Dónde:

fRF: Frecuencia utilizada en los registros SPI *RegFrLsb*, *RegFrMid* y *RegFrMsb*.

Fosc = Frecuencia del oscilador del LoRa (32Mhz).

Frecuencia: Frecuencia fijada por el usuario.

La tabla 13 presenta la descripción de los registros de configuración de frecuencia.

Nombre del registro	Dirección del registro	Uso	Defecto	Descripción
RegFrLsb	0x08	R w	0x00	Bits 7:0 del valor calculado de Frf
RegFrMid	0x07	R w	080	Bits 15:8 del valor calculado de Frf

RegFrMsb	0x06	R w	0X6C	Bits 23:15 del valor calculado de fRF
----------	------	-----	------	---------------------------------------

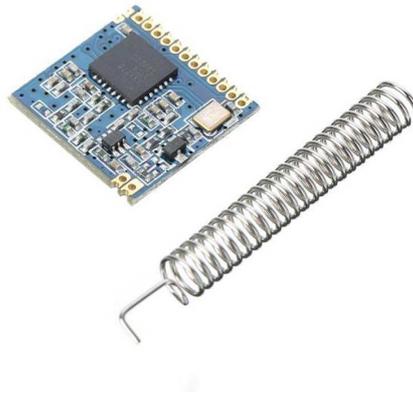
*Tabla 13. Registros RegFrLsb, RegFrMid y RegFrMsb para LoRa SX1278.*

En el presente proyecto se utilizó la siguiente configuración de parámetros SF, BW y CR, y se obtuvieron estas mediciones de potencia (con una alimentación fija de 3.3 [V]), como se observa en la tabla 14.

SF	BW	CR	I <sub>tx</sub>	I <sub>rx</sub>	I <sub>sleep</sub>	W <sub>tx</sub>	W <sub>rx</sub>
9	125	4_5	60 mA	15 mA	1,7 mA	198 mW	4,95 mW

*Tabla 14. Medidas de potencia con los parámetros configurables por software.*

En la siguiente figura podemos ver el módulo SX1278, utilizado en este proyecto:



*Figura 15. Módulo LoRa SX1278.*

Principales características (a modo de resumen):

- Alimentación: 1.8V a 3.7 V.
- Rango de Frecuencia: 433MHz.
- Potencia máxima de salida: 20 dBm.
- Velocidad de transferencia de datos: @ FSK, 1.2-300kbps.
- Lora TM, FSK, GFSK y el modo de modulación OOK.
- Equipo de paquete de hasta 256 bytes con CCR.
- Rango de temperatura: -40 ~ + 85 ° C.
- Sensor de temperatura incorporado e indicador de batería baja.
- Excelente inmunidad de bloqueo.
- 

El alcance de este módulo puede llegar a los 5 kilómetros en una zona abierta.

Las tres antenas más comunes para estos módulos:



Figura 16. Posibles antenas para el Módulo SX1278.

De izquierda a derecha tenemos primero la antena sprint o resorte: pequeña y de bajo precio, una opción económica para satisfacer necesidades básicas. A medio camino aparece la antena plástica SMA, dicha sigla hace referencia al tipo de conector dorado que vemos. Esta antena es de media escala, bajo costo y alta ganancia. Finalmente observamos la antena de montaje magnético, útil para un montaje en caja de hierro y que posee una ganancia considerablemente alta.

#### A.3.ii) Estudio de mercado hacia otras tecnologías

Mientras se estudiaba e investigaba en el transceiver a utilizar, se encontraron otros dispositivos no tan eficientes como el módulo descrito en la sección anterior, no obstante, se consideró oportuno incluir en esta sección sus principales características.

- NRF24L01

Este transceptor de la empresa Nordic Semiconductor, trabaja a un máximo de 2Mbs. Es de bajo consumo, y trabaja en la banda ISM de 2.4 GHz, haciendo que no sea necesaria ninguna licencia para su uso.

Características principales:

- Transceptor de radio-frecuencia de un solo chip, bajo coste y funcionamiento a 2.4GHz, utiliza la modulación GFSK, y posee 126 canales disponibles.
- Como mencionamos antes, opera en la banda ISM de 2.4GHz, por lo que no se necesita de una licencia para su uso.
- Posee una tasa de transferencia de datos entre 1 Mbps y 2 Mbps.
- Consumo de energía ultra bajo.
- Acelerador por protocolo hardware de capa de enlace “Enhanced Shockburst”.

El protocolo de capa de enlace “Enhanced ShockBurst” proporciona las siguientes automatizaciones y recursos:

- Ensamblaje automático de paquetes (CRC).
- Detección y validación automáticas del paquete recibido.

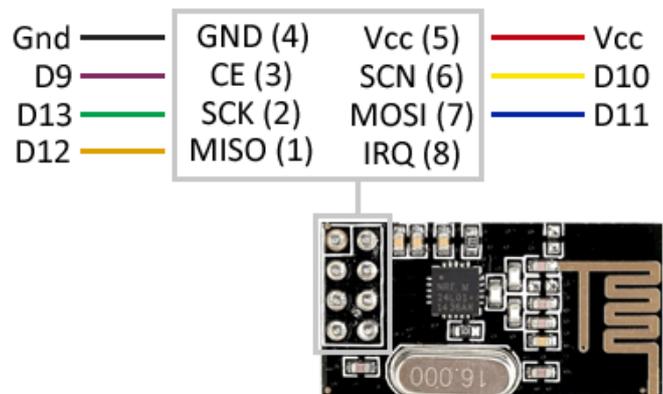
- Longitud de paquete dinámica (entre 1 y 32 bytes).
- ACK (confirmación de llegada automático).
- Retransmisión automática.

En la *Figura 17* podemos ver la placa con una antena externa, para aumentar el alcance del módulo



*Figura 17. Módulo NRF24L01 con antena externa.*

En la figura 18, vemos al módulo con la antena integrada, y su pinout para su conexión mediante el puerto SPI.



*Figura 18. Módulo NRF24L01 con antena integrada.*

- HC12

Este transceptor tiene la ventaja de tener un MCU(microcontrolador) dentro del módulo, por lo que solamente nos comunicaremos con el mismo, mediante el puerto serie, esto hace que la configuración, envío y recepción de mensajes sea más sencilla. El mismo se configura y comanda, mediante los comandos AT.

Veamos sus principales características:

Características:

- Transmisión de larga distancia.

- Rango de frecuencia de trabajo (433.4 – 473.0 MHz).
- Potencia de transmisión máxima de 100mW (20dBm), configurable en 8 niveles de potencia.
- Tres modos de trabajo, adaptándose a diferentes situaciones de aplicación.
- Como dijimos antes, posee un MCU incorporado, posibilitando la comunicación con un dispositivo externo a través del puerto serie.

En la figura 19, podemos ver una ilustración del módulo.



*Figura 19. Módulo HC12.*

- Transmisor - receptor unidireccional 433MHz

Estos módulos funcionan a una frecuencia de 433MHz, como un enlace de datos simplex, es decir, solamente transmiten información en un solo sentido.

Características:

Transmisor:

- Voltaje de operación: 3 – 12V
- Oscilador: SAW
- Modulación: ASK / OOK
- Frecuencia de operación: 433.92 MHz
- Potencia: ~25mW @ 12V
- Error de frecuencia: +/- 150 KHz Máximo
- Velocidad de transmisión: <10 Kbps

Receptor:

- Voltaje de operación: 4.5 – 5.5V
- Corriente de operación: 5.5 mA
- Principio de funcionamiento: Receptor Superregenerativo

- Modulación: ASK / OOK
- Frecuencia de operación: 433.92 MHz
- Sensibilidad: -100 dBm
- Velocidad de transmisión: <9.6 Kbps

A continuación, vemos una figura de los módulos.

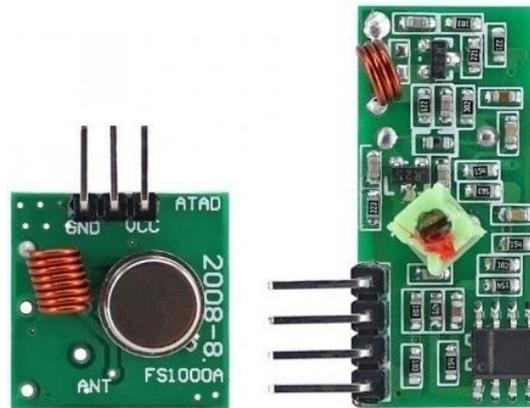


Figura 20. A la izquierda el transmisor, a la derecha el receptor de 433MHz.

#### A.4) Descripción de los dispositivos utilizados: Introducción a Arduino

Comenzamos con el concepto de sistema embebido, el mismo es un sistema de computación diseñado para realizar una o pocas funciones deseadas. Al contrario de lo que ocurre con los ordenadores de propósito general, como por ejemplo una computadora personal), que están diseñados para cumplir un amplio rango de necesidades, los sistemas embebidos se diseñan para cubrir necesidades específicas. En un sistema embebido la mayoría de los componentes se encuentran incluidos en la placa base.

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso.

El hardware libre son los dispositivos cuyas especificaciones y diagramas son de acceso público, de manera que cualquiera puede replicarlos. Esto quiere decir que ofrece las bases para que cualquier otra persona o empresa pueda crear sus propias placas, pudiendo ser diferentes entre ellas, pero igualmente funcionales al partir de la misma base.

El software libre son los programas informáticos cuyo código es accesible por cualquiera para que quien quiera pueda utilizarlo y modificarlo. Arduino ofrece la plataforma Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), que es un entorno de

programación con el que cualquiera puede crear aplicaciones para las placas Arduino, de manera que se les puede dar todo tipo de utilidades.

El IDE se compone de un editor de texto, un compilador, un debug o depurador y un GUI (constructor de interfaz gráfica) en un mismo entorno de programación, además de poder incluir herramientas para poder cargar un programa ya compilado, como es nuestro caso. Arduino trabaja con ficheros con la extensión “ino”, aunque es necesario que el programa principal este dentro de una carpeta con el mismo nombre, se pueden añadir programas secundarios donde incluir llamadas del programa principal.

Al tratarse de un software “OpenSource” facilita el auto aprendizaje ya que es posible encontrar por internet gran cantidad de ejemplos de diferentes aplicaciones compartidas por otros usuarios, además de facilitar la localización de un gran abanico de shields de sensores compatibles con Arduino.

El Arduino que se utilizará para comandar el módulo LoRa SX1278 es el Arduino UNO, por lo que pasaremos a ver las características del mismo.

- Arduino UNO

Arduino cuenta con un modelo estándar de tarjeta denominada Arduino UNO, siendo la más utilizada de las diferentes versiones. Apareció en 2010, y ha contado con tres revisiones, por lo que el modelo actual se suele llamar UNO Rev3. Cuenta con un microcontrolador de 8 bits, con referencia ATmega328p.

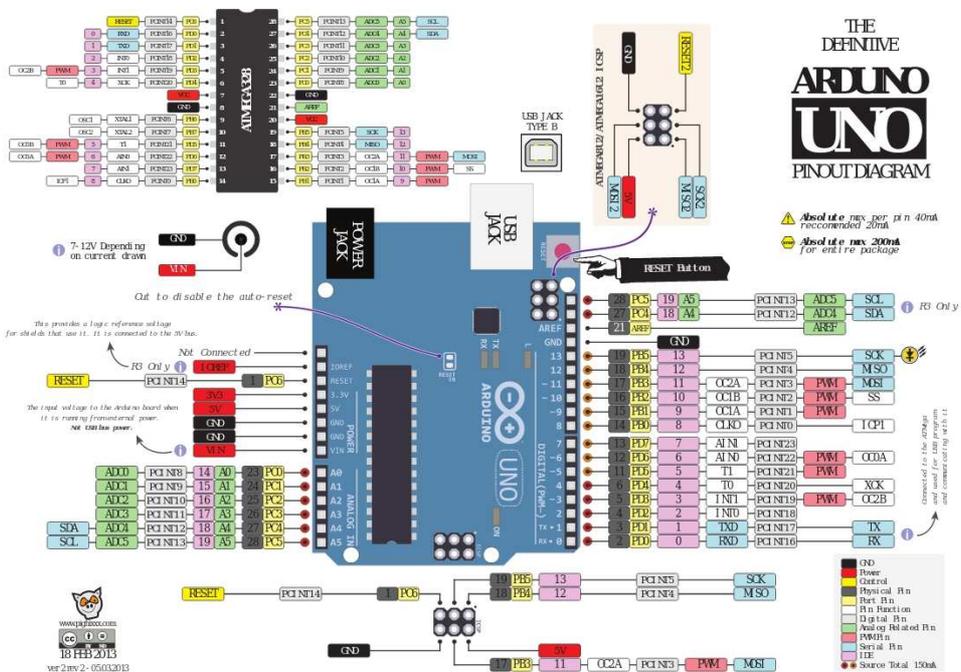


Figura 21. Esquema de pines y referencias placa Arduino UNO.

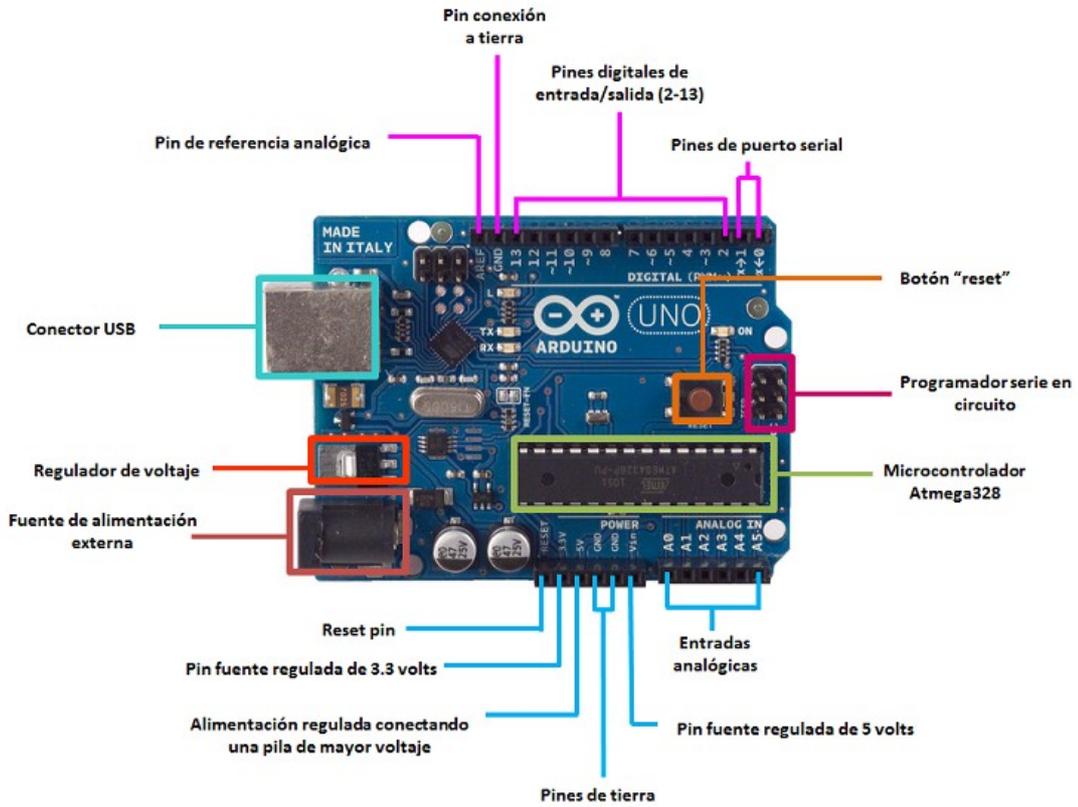


Figura 22. Esquema sectorizado placa Arduino UNO.

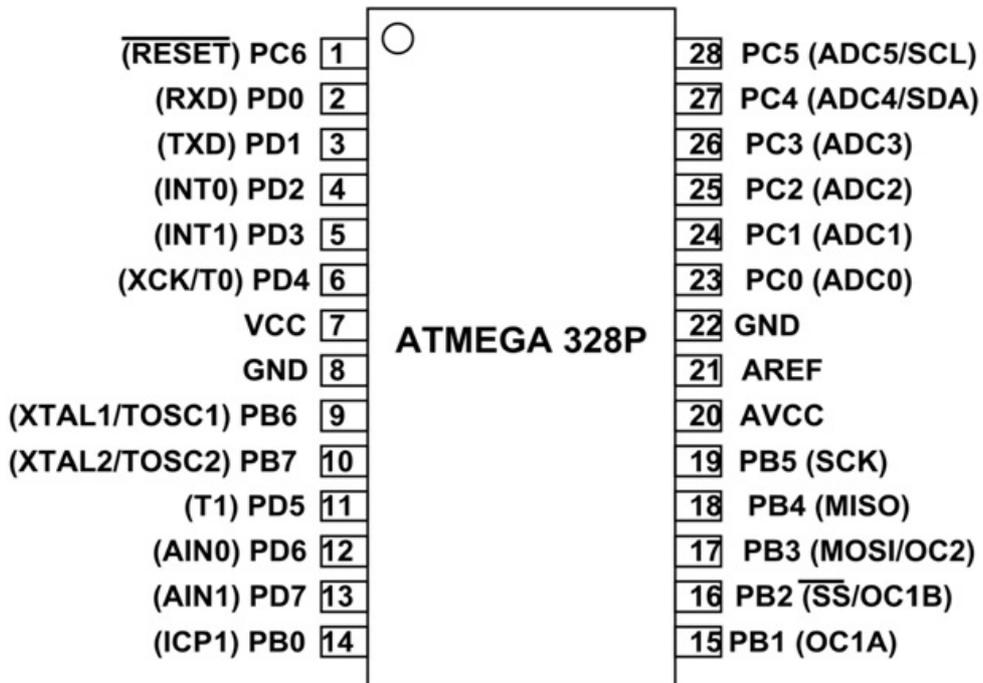


Figura 23. Esquemático microcontrolador ATmega328p.

En cuanto a sus características podemos resaltar:

- Microcontrolador Atmel ATmega328 a 16 Mhz
- Memoria SRAM integrada: 2KB
- Memoria EEPROM integrada: 1 KB
- Memoria flash: 32 KB, de los cuales 0.5 KB son usados por el bootloader, por lo que no se podrán usar para otros fines.
- Voltaje de trabajo del microcontrolador: 5v
- Voltaje de alimentación recomendado: 7-12v (aunque admite de 6 a 20v)
- Intensidad de corriente continua: 40mA para E/S y 50mA para el pin 3.3V.
- Pines de E/S: 14 pines, de los cuales 6 son PWM.
- Pines analógicos: 6 pines
- Botón reset para reiniciar la ejecución del programa cargado en memoria.
- Chip interfaz USB.
- Reloj oscilador.
- LED de encendido en la PCB.
- Regulador de tensión integrado.

En cuanto a los pines y conexiones disponibles en la placa Arduino UNO:

- Barrel Jack o DC Power Jack: es el conector de la placa Arduino UNO para alimentar de forma externa. La placa se puede alimentar con un jack adecuado y mediante un adaptador para que suministre entre 5-20 voltios.
- USB: el puerto USB sirve para conectar la placa Arduino al PC, de ese modo se puede programar o recibir datos de ella a través del puerto serie. También puede cumplir la función de alimentación para la placa y los elementos conectados a ella.
- VIN Pin: El pin VIN que permite alimentar la placa Arduino UNO usando una fuente externa de alimentación.
- 5V: suministra una tensión de 5V. La energía que llegará a él proviene de uno de los tres casos anteriores.
- 3V3: este pin permite alimentar a 3.3v y hasta 50mA.
- GND: posee 2 pines de tierra.
- Reset: un pin para resetear mandando una señal BAJA a través de él.

- Puerto Serial: posee dos pines 0 (RX) y 1 (TX) para recibir y transmitir respectivamente datos en serie TTL. Están conectados al microcontrolador en sus pines USB-to-TTL.
- Interrupciones externas: 2 y 3, pines que se pueden configurar para activar interrupciones con un flanco ascendente, descendente o un valor alto o bajo.
- SPI: el bus está en los pines marcados como 10 (SS), 11 (MISO), y 13 (SCK).
- A0-A5: son los pines analógicos.
- 0-13: son los pines de entrada o salida digital configurables. En el pin 13 hay conectado un pequeño LED integrado que si se encuentra este pin en alto se encenderá.
- I2C: son los pines A4 o SDA y A5 o SCL.
- AREF: pin de tensión de referencia para las entradas analógicas.

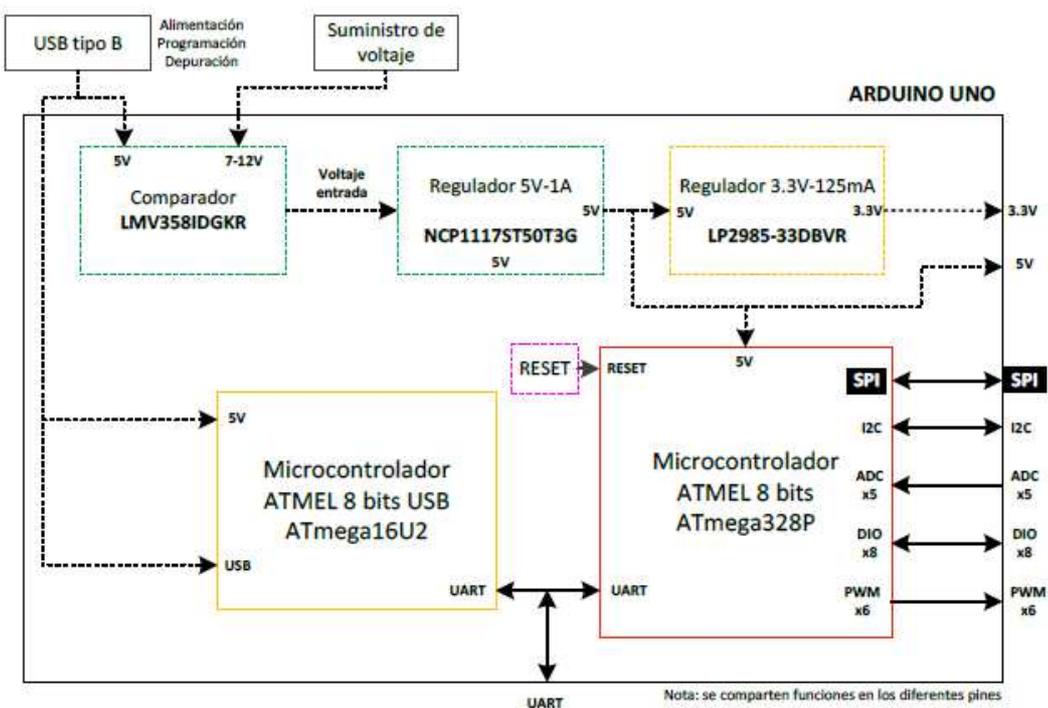


Figura 24. Arquitectura simplificada Arduino UNO

A continuación, se presentarán los protocolos de comunicación que se usarán en el presente proyecto, junto con el protocolo SPI, previamente explicado:

- Puertos Serie UART

Los puertos serie son la forma principal de comunicar una placa Arduino con un ordenador. Gracias al puerto serie se puede, por ejemplo, mover el ratón o simular la escritura de un usuario en el teclado.

También es el nombre genérico con que se denomina a los interfaces, físicos o virtuales, que permiten la comunicación entre dos ordenadores o dispositivos.

Un puerto serie envía la información mediante una secuencia de bits. Para ello se necesitan al menos dos conectores para realizar la comunicación de datos, RX (recepción) y TX (transmisión). No obstante, pueden existir otros conductores para referencia de tensión, sincronismo de reloj, etc.

Por el contrario, un puerto paralelo envía la información mediante múltiples canales de forma simultánea. Para ello necesita un número superior de conductores de comunicación, que varían en función del tipo de puerto. Igualmente existe la posibilidad de conductores adicionales además de los de comunicación.

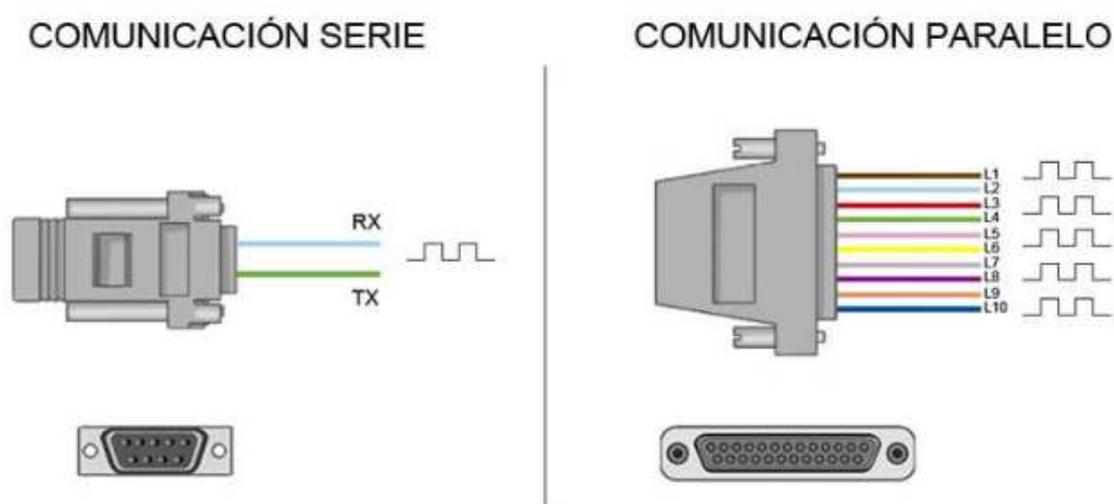


Figura 25. Puerto Serie-Paralelo.

Prácticamente todas las placas Arduino disponen al menos de una unidad UART. Las placas Arduino UNO y Mini Pro disponen de una unidad UART que operan a nivel TTL 0V / 5V, por lo que son directamente compatibles con la conexión USB.

- Comunicación por bus I2C

I2C tiene como significado Circuito Interintegrado (Inter-Integrated Circuit en inglés), es un protocolo de comunicación serial desarrollado por Phillips Semiconductors. El I2C toma e integra lo mejor de los protocolos SPI y UART. Mediante el I2C podemos tener a varios maestros controlando uno o múltiples esclavos. Esto puede ser de gran ayuda cuando se van a utilizar varios microcontroladores para almacenar un registro de datos hacia una sola memoria o cuando se va a mostrar información en una sola pantalla. Este protocolo utiliza solo 2 cables o vías de comunicación, así como también lo hace el protocolo UART.

Donde:

SDA: Serial Data, es la vía de comunicación entre el maestro y el esclavo para enviarse información.

SCL: Serial Clock, es la vía por donde viaja la señal de reloj.

El I2C es un protocolo donde la información es enviada bit por bit de forma coordinada. Al decir esto, hacemos referencia a que es un protocolo síncrono, al igual que el protocolo SPI. Esto quiere decir que el envío de bits por la vía de comunicación SDA está sincronizado por una señal de reloj que comparten tanto el maestro como el esclavo, a través de la vía SCL.

Con el I2C la información viaja en paquetes de datos, cada paquete lleva una trama con una dirección la cuál transporta la dirección binaria del esclavo al que va dirigido el mensaje, y una o más tramas que llevan la información del mensaje. También contiene condiciones de inicio y paro, lectura y escritura de bits, y los bits ACK y NACK.



Figura 26. Formato de trama protocolo I2C.

Condición de inicio – Start: La línea SDA pasa de un nivel de voltaje HIGH a un nivel LOW, antes de que la línea SCL cambie de HIGH a LOW.

Condición de paro – Stop: La línea SDA cambia de un nivel de voltaje HIGH a LOW, después que la línea SCL cambie de LOW a HIGH.

Trama de dirección – Address Frame: Es una secuencia única que va de los 7 a los 10 bits. Esto se le envía a cada esclavo, y va a identificar al esclavo con el cual el maestro se quiere comunicar.

Bit para Lectura/Escritura A – Read/Write Bit A: Es un bit de información enviado a los Esclavos. Por medio de este bit el maestro indica si le va a enviar información al esclavo (LOW = Escritura), o si el maestro quiere solicitarle información al esclavo (HIGH = Lectura).

Bit ACK/NACK: Al finalizar la trama de información enviada, se añade un bit de conocido/no reconocido. Esto ayuda a identificar si la información fue enviada correctamente. Al terminar de enviar una trama, si fue recibido con éxito, se retorna un bit ACK al remitente, en caso contrario, se retorna un bit NACK.

Se muestra un ejemplo de conexionado básico:

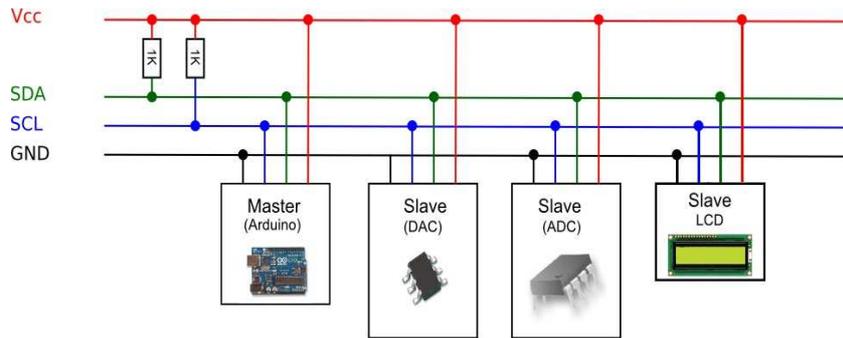


Figura 27. Ejemplo de conexionado por I2C.

Se pretende que todos los componentes se conecten en paralelo a las dos líneas del Bus, SDA y SCL. Respecto a la figura podemos hacer algunos comentarios:

Puede haber más de un maestro. La norma propone un sistema de arbitraje, para transferir el control de uno a otro, pero en un instante dado, solo uno puede ser el maestro. Hay unas resistencias de pull-up conectadas a SDA y SCL. Son imperativas, ya que el bus es activo bajo. Esto es, la señal activa es un 0, no un 1.

Como muchas de los componentes que posee la placa Arduino UNO, no se utilizarán, se realizará un esquema ordenador con el microcontrolador ATmega328p, al cual se le cargará un bootloader (o gestor de arranque, por su traducción en español), el cual es básicamente un archivo con la extensión .hex, que se ejecuta cuando conectamos la placa Arduino a nuestro PC, y nos permite programar la misma a través del puerto serie. Muy similar al BIOS que se ejecuta en cualquier PC. No teniendo el bootloader cargado en nuestro microcontrolador, se necesitaría un programador especial, es decir, un AVR USBASP Programmer, para programar nuestro microcontrolador.



Figura 28. AVR USBASP Programmer.

De esta manera, podremos programar nuestro microcontrolador ATmega328p, de forma independiente, y ganar espacio en la placa, dado que solamente necesitaremos del cristal y los capacitores para hacerlo oscilar.

De esta forma, seguimos teniendo nuestro Arduino UNO, de hecho, se programa de la misma forma, desde el entorno Arduino IDE, pero no se utiliza la placa, solamente el microcontrolador.

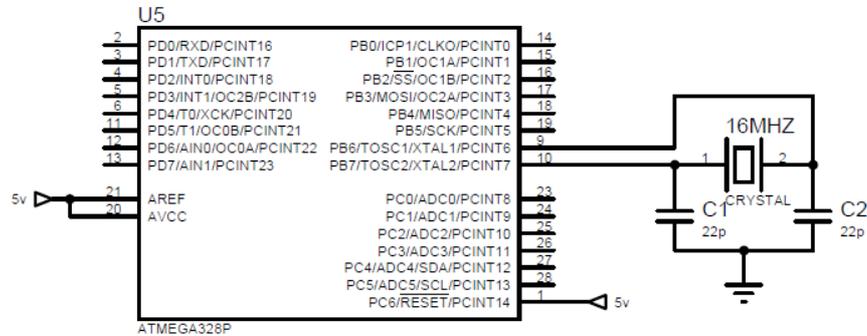


Figura 29. ATmega328p con bootloader cargado.

- IDE Arduino

Arduino cuenta con su propio IDE capaz de crear, editar, depurar y transferir el código (también llamado “sketch”) a la placa Arduino. El IDE puede ser utilizado por cualquier versión de Arduino, y es compatible con los sistemas operativos, Windows, Mac OS X, y Linux. El entorno de desarrollo está escrito en JAVA. Gran cantidad de desarrolladores comparten “sketch”, y librerías para las placas Arduino en GitHub, la cual es la plataforma para alojar proyectos utilizando un sistema de control de versiones Git, almacenados en forma gratuita y compartidos al público.



Figura 30. Entorno Arduino IDE.

El IDE Arduino utiliza un conjunto de instrucciones del lenguaje C y C++. Estas instrucciones están diseñadas para simplificar el desarrollo de programas para microcontroladores AVR. Es decir, al escribir un sketch en “lenguaje Arduino”, realmente se está programando en una versión simplificada del lenguaje C/C++, ocultando gran cantidad de detalles técnicos para el desarrollador, lo que facilita el uso de la plataforma Arduino en conjunto hardware-software.

#### A.5) Gabinete

Una vez obtenidos todos los módulos y circuitos se debe desarrollar una interfaz física para el sistema completo. Existen diferentes normas para el diseño y construcción de gabinetes, ya sean ANSI, IRAM, etc, las mismas se encargan de detallar el correcto procedimiento y especificaciones técnicas las cuales deben tenerse en cuenta a la hora del desarrollo del gabinete. No es intención del presente proyecto explicar las normas, dependiendo el trabajo solicitado se deberá optar por una correcta elección del gabinete, ya sea obteniendo uno en venta o realizando el diseño y mandarlo a su futura realización, esta última opción será empleada en el trabajo actual, el cual solo quiere demostrar una aplicación “general” del kit.

Existen diferentes aspectos fundamentales a tener en cuenta, a continuación, se describen una serie de ellos a modo ilustrativo para la comprensión del lector.

#### Circuitería interna

Dependiendo el tamaño, cantidad y disposición del total de circuitos desarrollados para el kit se tendrá en cuenta un correcto diseño, estos serán de aspecto fundamental a la hora de planificar las dimensiones del gabinete ya que la circuitería interna constituye la mayoría del sistema empelado

#### Grado de protección

Dependiendo el ambiente de campo donde será dispuesto el kit, debe tenerse presente las condiciones ambientales, además de la ventilación y disipación necesaria. Es por ello que existen como norma general los “grados ip” los cuales ayudan a determinar el correcto diseño en base al grado adecuado. A modo de ejemplo se detallarán a continuación los grados ip existentes.

PROTECCIÓN ANTE CUERPOS SÓLIDOS		PROTECCIÓN CONTRA EL AGUA	
	Sin protección	0	Sin protección
	Protección contra objetos con diámetro superior a 50mm	1	Protección ante un goteo vertical
	Protección contra objetos con diámetro superior a 12mm	2	Protección contra goteo con inclinación de 15°
	Protección contra objetos con diámetro superior a 2.5mm	3	Protección ante pulverización
	Protección contra objetos con diámetro superior a 1mm	4	Protección ante salpicaduras
	Protección ante el polvo	5	Protección ante chorros de agua
	Protección totalmente estanco ante el polvo	6	Protección ante chorros continuos de agua
		7	Protección contra inmersiones temporales
		8	Protección contra inmersiones permanentes

Tabla 14. Grado de protección IP.

Cabe recordar que un caso especial es la flora y la fauna del lugar donde se instalará el kit, desde simples hormigas hasta abejas, roedores y demás pueden ocasionar una falla, por lo mismo el presente paso no debe ser tomado a la ligera y debe tenerse en cuenta lo anterior descrito.

B) Propuestas de Circuitos o Esquemas: pruebas, problemas y soluciones

Antes de proponer cualquier circuito, se comenzará planteando un diagrama de bloques general, con el motivo de poder desglosar el análisis punto a punto de cada bloque, proponiendo la estrategia a realizar de forma global, y luego individualmente por bloque.

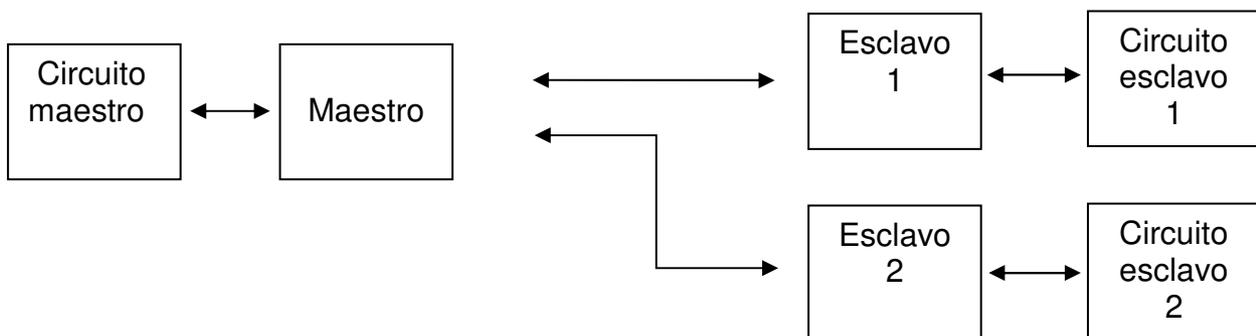


Figura 31. Diagrama de bloques general del proyecto.

En términos generales el Maestro, conformado por nuestro sistema embebido (esquema ordenador) y nuestro transceptor LoRa SX1278. Este se comunicará con el circuito del mando que, a través del maestro, enviará las funciones que se desean realizar. Éstas funciones se enviarán de forma inalámbrica hacia el esclavo que se desee controlar. Cada esclavo tendrá un código de identificación distinto, así como también la función que se desea ejecutar, y los mismos estarán formados por un esquema ordenador, y un transceptor SX1278.

Una vez que la señal llega hacia el esclavo, este la procesa y la envía a su circuito, en el caso del esclavo 1, su circuito es el tablero tanteador de puntos LED, cuya instrucción puede ser, subir números, bajar números, etc. Para el caso del esclavo 2, su circuito es el cronómetro simulado, cuya instrucción puede ser pausar, reanudar o reiniciar el cronómetro.

Luego de realizar el procesamiento y la ejecución de la instrucción, el esclavo devuelve un mensaje conformando el OK de la instrucción enviada, cerrando así el lazo de control, en caso de que no devuelva ninguna instrucción, se volverá a enviar el mensaje.

El tablero tanteador tendrá 4 números, 2 correspondientes al equipo rojo, y 2 correspondientes al equipo verde, de modo que se podrán mostrar puntajes del 00 al 99, no pudiendo mostrar números negativos. Las instrucciones que se podrán realizar sobre el tanteador serán: Subir contador equipo verde, disminuir contador equipo verde, subir contador equipo rojo, disminuir contador equipo rojo, intercambiar lados (los puntos del equipo verde, pasan al equipo rojo, y viceversa), resetear ambos puntos, apagar el tablero, mostrar hasta 2 resultados previos y hacer sonar un buzzer para requerir un tiempo muerto.

Se procederá a presentar las funciones que pueden manejarse en el tablero, y se conformará una tabla, para esto se necesitará de hacer un protocolo de trama, de modo que el maestro envíe esta trama, y cada esclavo identifique si le corresponde o no a él, el mensaje, y en caso de que sí, que función utilizar.

En este caso, se realizó un protocolo de trama propio, el cual consta de la siguiente sintaxis:

Trama que envía el maestro:

```
envioMaestro[8] = { *ID ESCLAVO* ; *ID MAESTRO* ; *FUNCIÓN* ; 0x00 ; 0x00 ; 0x00 ; 0x00 ; 0x00 }
```

Trama que retorna el esclavo:

```
envioEsclavo[8] = { *ID MAESTRO* ; *ID ESCLAVO* ; *FUNCIÓN* ; *NUMERO 1R* ; *NUMERO 2R* ; *NUMERO 1V* ; *NUMERO 2V* ; *RESPUESTA AFIRMATIVA* }
```

Siendo “NUMERO 1R = Numero rojo más significativo”, y “NUMERO 2R = Numero rojo menos significativo”, “NUMERO 1V = Numero verde más significativo”, y “NUMERO 2V = Numero verde menos significativo”. El tipo de datos que se manejará es de tipo byte o unsigned int, cuyo valor va de 0 a 255.

Ente	Etiqueta	Byte identificador
Maestro	MaestroD	0x01
Esclavo 1	Esclavo1D	0x11
Esclavo 2	Esclavo2D	0x12

Tabla 15. Denominación Maestros – Esclavos.

Nombre de función	Etiqueta de función	Byte identificador
Apagar	Apagar	0x00
Subir contador números rojos	SubRojo	0x01
Bajar contador números rojos	BajRojo	0x02
Subir contador números verdes	SubVerde	0x03
Bajar contador números verdes	BajVerde	0x04
Resetear ambos contadores	Reset	0x05
Invertir la posición de los contadores	InvertirLados	0x06
Sonar buzzer de stop	Buzzer	0x07
Resultados previos (2)	PrevResult	0x08
Respuesta afirmativa del esclavo	RespuestaAfirmativa	0x0F
Respuesta incorrecta del esclavo	RespuestaIncorrecta	0Xff
Reiniciar cronómetro	ApagarC	0x10
Iniciar / parar cronometro	IniPar	0x09

Tabla 16. Identificación de funciones.

### B.1) Maestro y circuito maestro

Como el circuito del maestro, será en esencia, un mando a distancia, el mismo requerirá de una interfaz amigable para que el usuario pueda utilizarlo de forma sencilla.

Por lo que se le agregó pulsadores para realizar las funciones definidas anteriormente, con la excepción, de que el botón apagar y Reset, compartirán el mismo pulsador, diferenciándose en el tiempo de pulsado. A su vez, como el sistema funciona bajo un control a lazo cerrado, una vez que el esclavo nos devuelve la respuesta afirmativa, se mostrará visualmente el resultado del tablero, reflejado en una pantalla LCD de 16x2. Este circuito será alimentado mediante una batería de 9V.

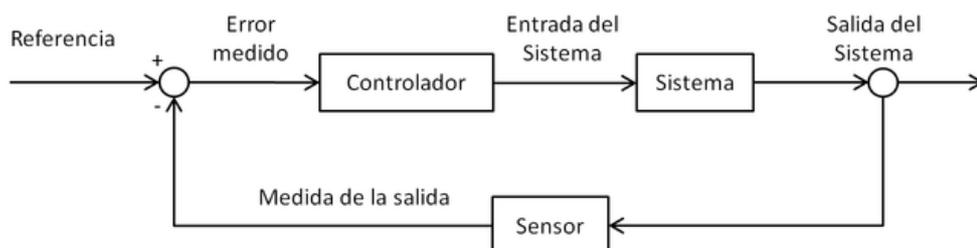


Figura 32. Realimentación a lazo cerrado.

En la figura 32 podemos ver un diagrama en bloque de un sistema a lazo cerrado, en el cual tenemos la referencia, que es la trama que enviamos desde nuestro maestro, la cual entra al controlador quien ejecuta las acciones deseadas, y luego devuelve la confirmación de la operación con los datos requeridos, mediante la transmisión por RF (el sensor), hacia el maestro, cerrando la realimentación.

De esta manera, plantearemos el esquema ordenador, junto con el módulo lora SX1278:

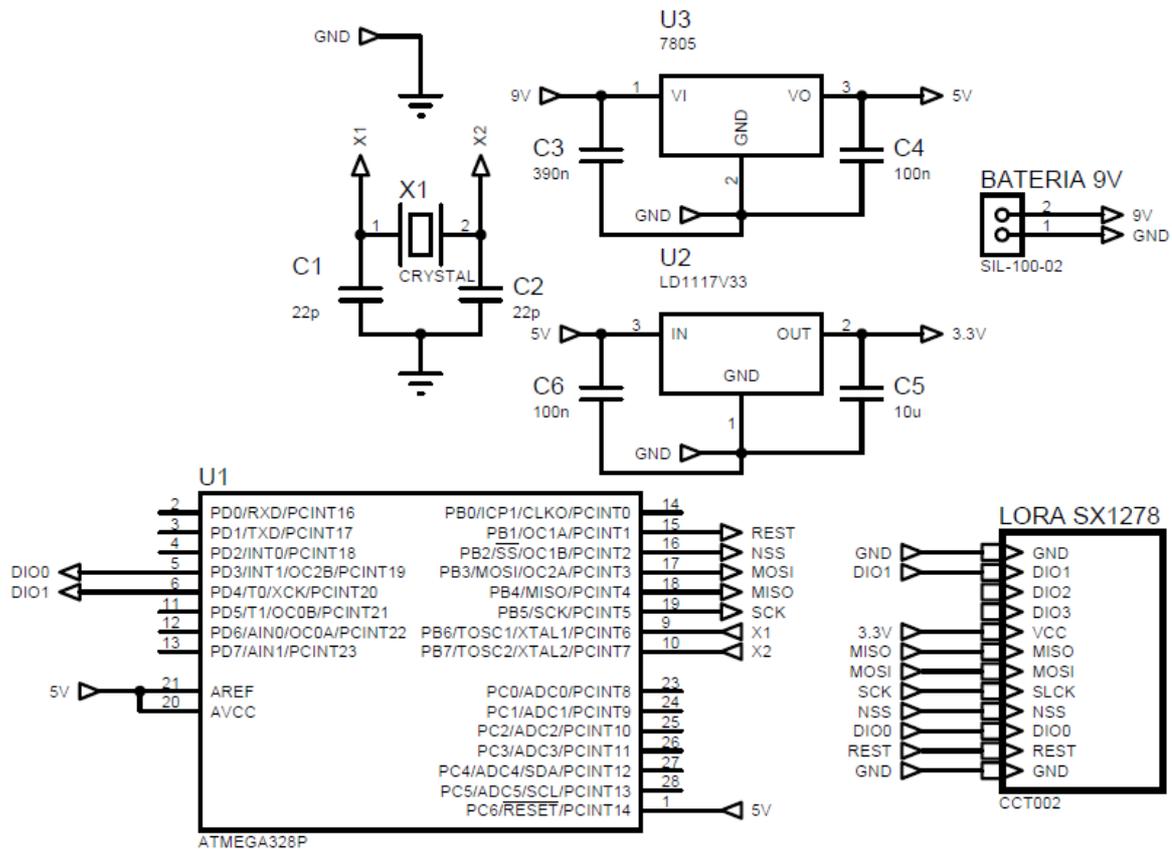


Figura 33. Esquemático mando.

En el mismo se incluyó un regulador LM7805, el cual regula la tensión de 9V, de la batería a 5V para alimentar al ATmega328p, y a su vez, el regulador LD1117V33, que regula la tensión de 5V, a 3.3V para el módulo LoRa SX1278.

Se puede observar que luego de conectar el módulo LoRa, quedan libres 12 pines de entrada/salida, ya que el pin INT0 (PD2), se utilizará para despertar el microcontrolador del modo sleep. El hecho de tener estos 12 pines en libertad hace que no necesitemos de otro circuito externo que se comunique con nuestro maestro, si no que podemos utilizarlo, para tal propósito, concentrando todo en nuestro maestro.

Tenemos 9 pulsadores, 8 para el tanteador y 1 para el cronómetro, pero para introducir el LCD de 16x2, se necesitarían 17 pines libres en total. Esto se resolverá colocando el conversor de bus de 8 bits a protocolo I2C, PCF8574, cuyo integrado, viene

ensamblado en una placa, que se suelda en la parte posterior del LCD, como vemos a continuación:

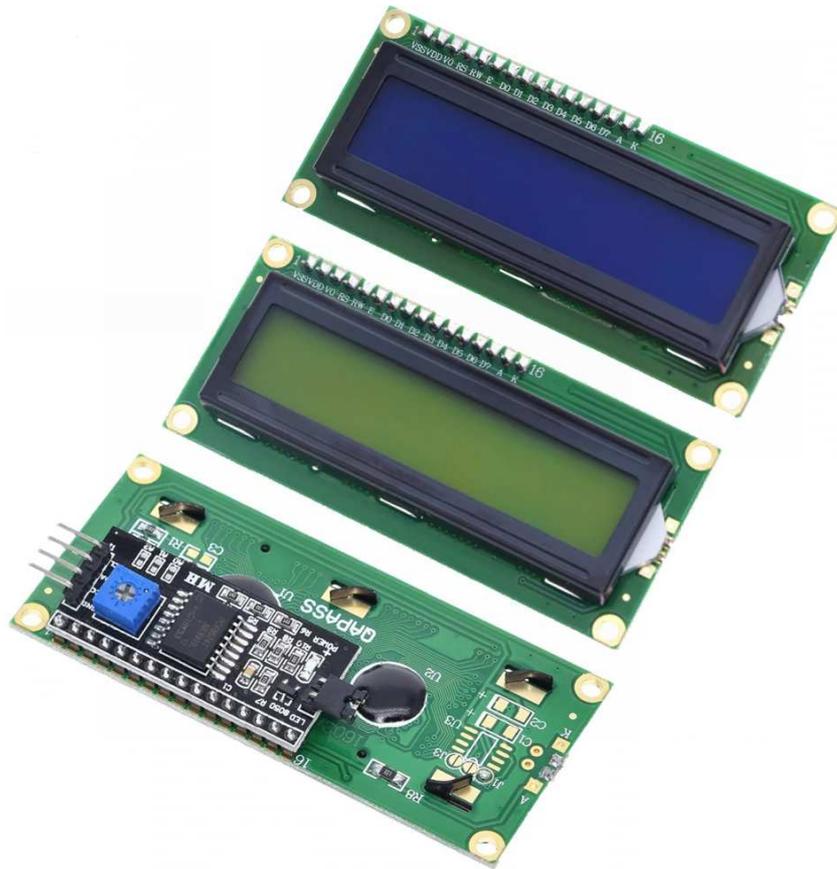


Figura 34. Placa convertora de bus de 8 bits, a I2C mediante PCF8574 soldada al LCD.

En las próximas imágenes, 39 y 40 podemos ver el esquemático del integrado PCF8574, y la placa convertora con este integrado:

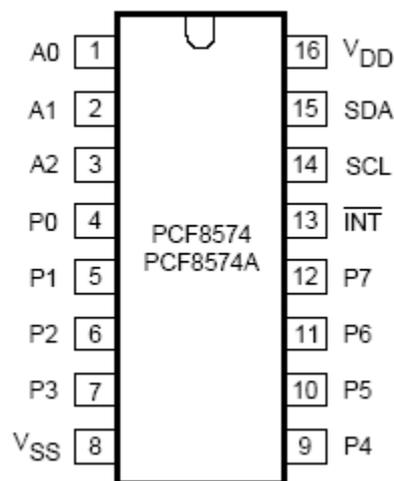


Figura 35. Esquemático PCF8574.

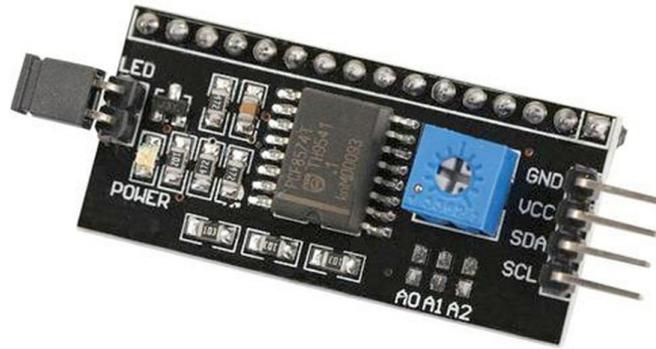


Figura 36. Placa convertora de bus de 8 bits, a I2C mediante PCF8574.

Los pulsadores, llevarán una resistencia de pull-down, y llevarán un circuito anti-rebote mediante un capacitor, y también se le hará un sistema anti-rebote por software.

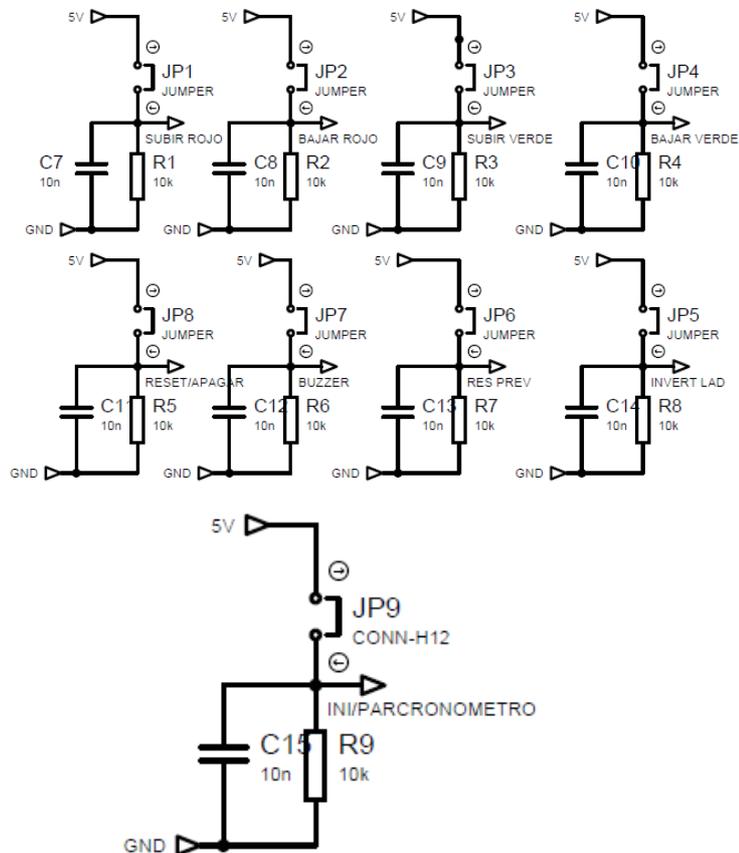


Figura 37. Arreglo de pulsadores.

Ya que el sistema se alimenta con una batería, se deberá limitar el consumo al máximo de la misma, sabiendo que el módulo SX1278, tiene un consumo casi nulo en modo sleep, se pondrá también a nuestro ATmega328p, en este modo (sleep) limitando al máximo nuestro consumo de energía del microcontrolador. Este mismo solo se despertará mediante una interrupción externa, por lo que cuando se accione alguna función (se active un pulsador) deberá ejecutarse la interrupción. Ya que este microcontrolador tiene 1 interrupción por hardware, y es en el pin INT0, se realizó el siguiente circuito, para que cuando se presione cualquier función deseada, el microcontrolador se despierte, ejecute, y vuelva al modo sleep.

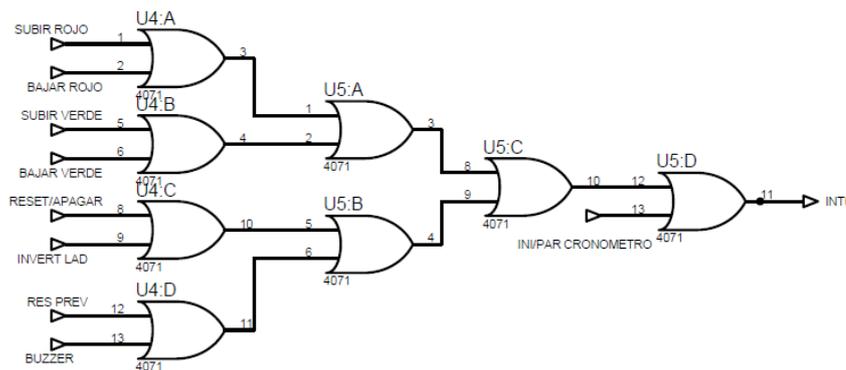


Figura 38. Arreglo de compuertas OR.

Cuando se acciona cualquier pulsador, este pone 5 volts en la entrada de la compuerta, y recordando la tabla de verdad de una compuerta OR:

Entrada OR	Salida OR
0 0	0
0 1	1
1 0	1
1 1	1

Tabla 17. Tabla de verdad compuerta OR.

La salida de la compuerta se pone en HIGH, y activa la interrupción INT0, despertando al microcontrolador.

Existen 6 modos de energía diferentes que desactivan las características para conseguir consumos reducidos. De este modo, y de mayor a menor consumo, tenemos:

- Idle
- AcdNoiseReduction
- PowerDown
- PowerSave

- PowerStandby
- Standby
- PowerExtStandby

**Table 9-1.** Active Clock Domains and Wake-up Sources in the Different Sleep Modes.

Sleep Mode	Active Clock Domains					Oscillators		Wake-up Sources							
	clk <sub>cpu</sub>	clk <sub>FLASH</sub>	clk <sub>IO</sub>	clk <sub>APC</sub>	clk <sub>ASY</sub>	Main Clock Source Enabled	Timer Oscillator Enabled	INT1, INTO and Pin Change	TWI Address Match	Timer2	SPM/EEPROM Ready	ADC	WDT	Other I/O	Software BOD Disable
Idle			X	X	X	X	X <sup>(2)</sup>	X	X	X	X	X	X	X	
ADC Noise Reduction				X	X	X	X <sup>(2)</sup>	X <sup>(3)</sup>	X	X <sup>(2)</sup>	X	X	X		
Power-down								X <sup>(3)</sup>	X				X		X
Power-save					X		X <sup>(2)</sup>	X <sup>(3)</sup>	X	X			X		X
Standby <sup>(1)</sup>						X		X <sup>(3)</sup>	X				X		X
Extended Standby					X <sup>(2)</sup>	X	X <sup>(2)</sup>	X <sup>(3)</sup>	X	X			X		X

Notes: 1. Only recommended with external crystal or resonator selected as clock source.  
 2. If Timer/Counter2 is running in asynchronous mode.  
 3. For INT1 and INTO, only level interrupt.

*Figura 39. Tabla configuración modo sleep.*

El consumo para cada modo es:

- SLEEP\_MODE\_IDLE: 15 mA
- SLEEP\_MODE\_ADC: 6.5 mA
- SLEEP\_MODE\_PWR\_SAVE: 1.62 mA
- SLEEP\_MODE\_EXT\_STANDBY: 1.62 mA
- SLEEP\_MODE\_STANDBY : 0.84 mA
- SLEEP\_MODE\_PWR\_DOWN : 0.36 mA

Para manejar el modo sleep del microcontrolador se utilizó la librería “Low Power”. El modo sleep que se utilizó fue el PowerExtStandby.

### B.2) Esclavo

El circuito del esclavo, es el mismo utilizado en el del maestro, se refiere al esquema ordenador, conectado vía SPI al módulo LoRa SX1278. La particularidad de este, es que se diseñó como “shield”, para que pueda anexarse a cualquier otro circuito. Como vemos en la figura 40.

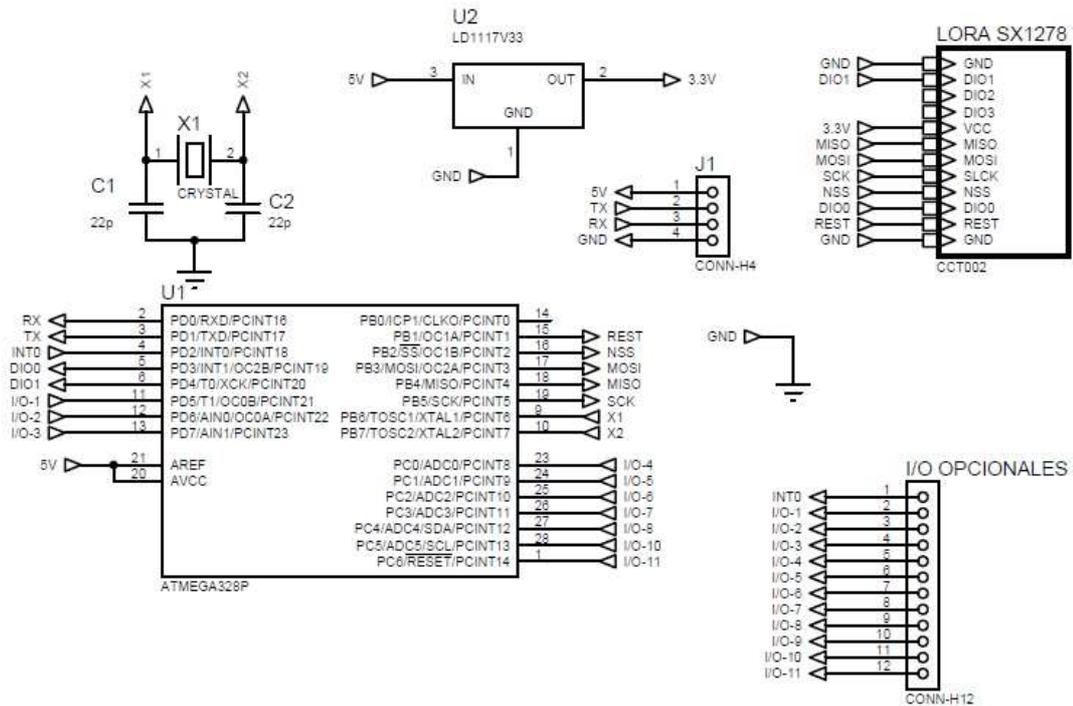


Figura 40. Circuito receptor.

Que se halla diseñado como “shield” quiere decir, que el mismo obtiene alimentación del circuito al que controla y enviando los datos recibidos del maestro, a su circuito vía puerto serie.

### B.3) Tanteador LED

Como se mencionó anteriormente, el tanteador mostrará los resultados de 2 equipos mediante 4 dígitos, en base a esto elegiremos nuestro microcontrolador, que se encargará de leer los datos que envía el esclavo por puerto serie, decodificar la trama, y ejecutar la función.

Cada dígito tiene 7 segmentos, como son 4 dígitos, necesitamos 28 segmentos. También necesitamos una salida que accione un buzzer de tiempo muerto, por lo que necesitamos 29 salidas. Para esto se seleccionó el PIC16F877A, el mismo es un microcontrolador de Microchip Technology fabricado en tecnología CMOS. Tiene un consumo de energía muy bajo.

Como características principales se encuentran:

- Memoria ROM: 8Kb
- Memoria RAM: 368 x 8 bytes
- Pines I/O: 33
- Frecuencia: hasta 20 Mhz con cristal externo
- Permite programación ICSP
- Frecuencia de operación 0-20 MHz
- Oscilador interno de alta precisión calibrado de fábrica

- Rango de frecuencia del oscilador de 8MHz a 31KHz seleccionado por software.
- Voltaje de la fuente de alimentación de 2.0V a 5.5V.
- Consumo: 220uA (2.0V, 4MHz), 11uA (2.0 V, 32 KHz) 50nA (en modo de espera).
- Ahorro de energía en el *Modo de suspensión*.
- Brown-out Reset (BOR) con opción para controlar por software.
- Alta corriente de fuente y de drenador para manejo de LED.
- Resistencias *pull-up* programables individualmente por software.
- Interrupción al cambiar el estado del pin.
- Memoria ROM de 8K con tecnología FLASH.
- El chip se puede re-programar hasta 100.000 veces.
- Opción de *programación serial en el circuito*.
- El chip se puede programar incluso incorporado en el dispositivo destino.
- 256 bytes de memoria EEPROM.
- Los datos se pueden grabar más de 1.000.000 veces.
- Convertidor A/D:
  - 14 canales.
  - Resolución de 10 bits.
- 3 temporizadores/contadores independientes.
- Temporizador watchdog.
- Módulo comparador analógico con:
  - Dos comparadores analógicos.
  - Referencia de voltaje fija (0.6V).
  - Referencia de voltaje programable en el chip.
- Módulo PWM incorporado.
- Módulo USART mejorado:
  - Soporta las comunicaciones seriales RS-485, RS-232 y LIN2.0.
  - Auto detección de baudios.
- Puerto Serie Síncrono Maestro (MSSP)
  - Soporta los modos SPI e I2C.

En la figura 41, podemos ver un diagrama en bloque del dispositivo. En la figura 42, podemos ver un pinout del microcontrolador.

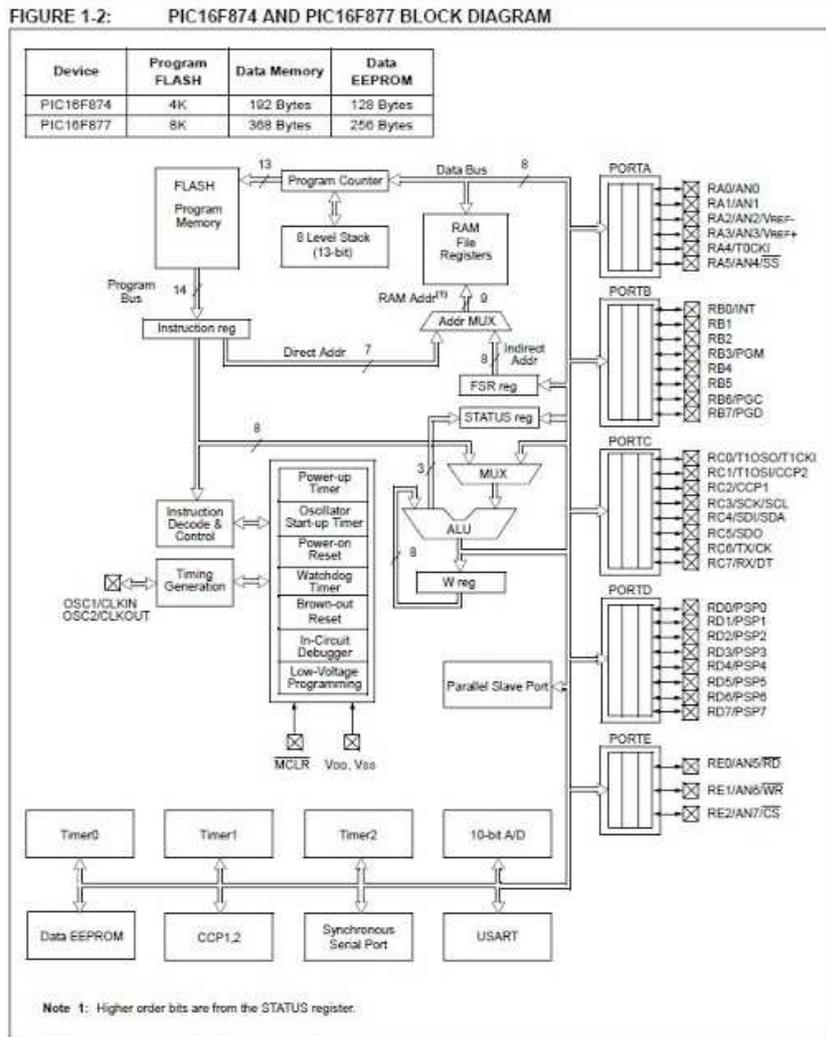


Figura 41. Diagrama en bloque PIC16F877A.

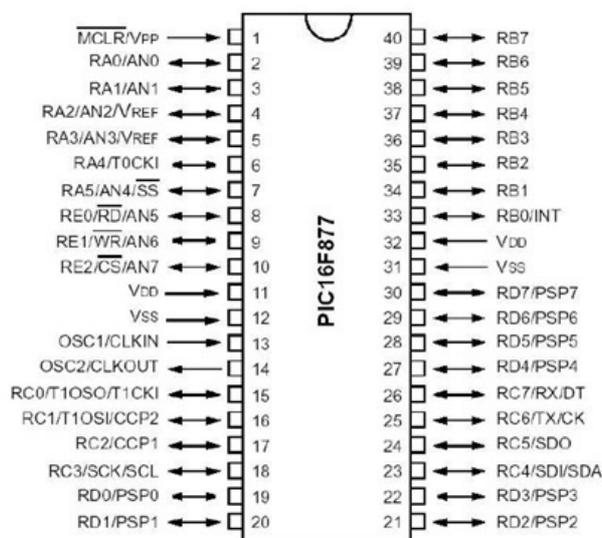


Figura 42. Pinout PIC16F877A.

Cada segmento de los dígitos, estará conformado por 10 leds (verdes o rojos) en serie. Y los mismos serán alimentados por una fuente switching de 24 volts. En la sección B.5 se abordará con más detalle el punto del diseño visual del tablero.

El circuito propuesto para comandar los leds, y el buzzer es el siguiente:

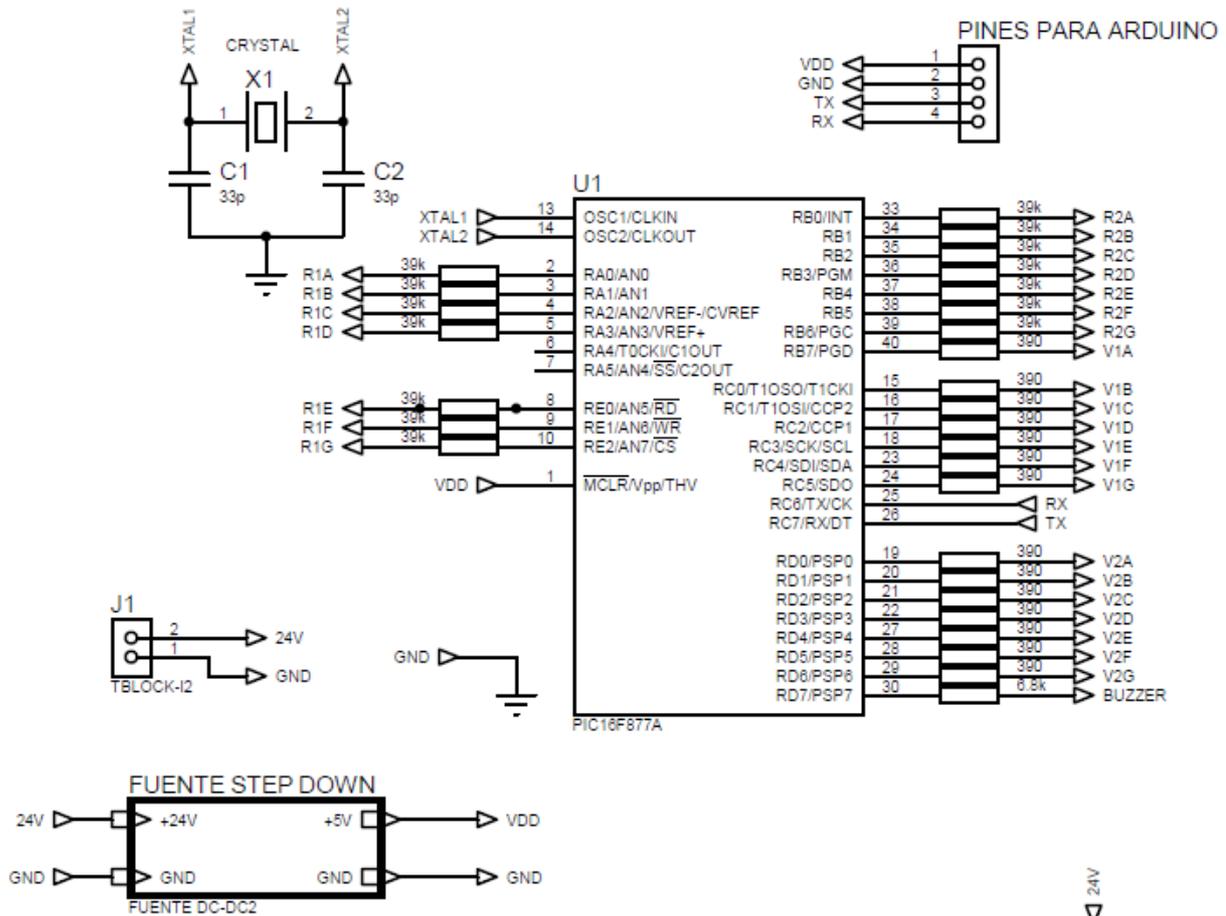


Figura 43. Esquema tanteador LED.

Se incluyó una fuente step-down, basada en el regulador LM2596S, el cual viene integrado en una placa, como vemos en la figura 44.

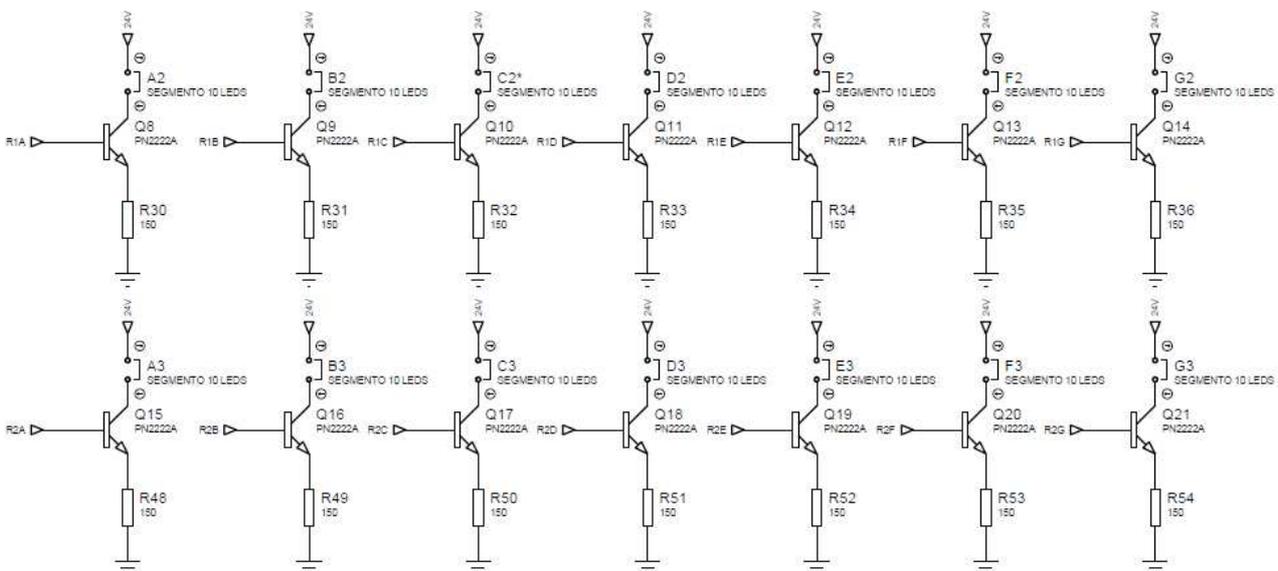


Figura 44. Fuente step-down basada en LM2596.

La misma tiene las siguientes especificaciones técnicas:

- Voltaje de operación: 4.0V ~ 40V DC
- Voltaje de Salida: 1.23V ~ 37V DC Ajustable (el voltaje de entrada debe tener al menos 1.5V más que la salida).
- Corriente de Salida: máx. 3A, 2.5A recomendado (usar disipador para corrientes mayores a 2A).
- Potencia de salida: 50-70W, utilizar disipador
- Eficiencia de conversión: 92%
- Regulación de carga:  $S(I) \leq 0.8\%$ .
- Regulación de voltaje:  $S(u) \leq 0.8\%$ .
- Frecuencia de trabajo: 150KHz
- Ripple en la salida: 30mV (máx.) 20M bandwidth
- Temperatura de trabajo: -40°C ~ +85°C
- Protección de cortocircuito y sobre temperatura.

Se puede observar de la figura 43, cada salida del PIC16F877A, posee una resistencia de 39 [KΩ] o 390[Ω] según sea el segmento rojo o verde respectivamente, la cual se conecta a la base de un transistor, como vemos en la figura 45.



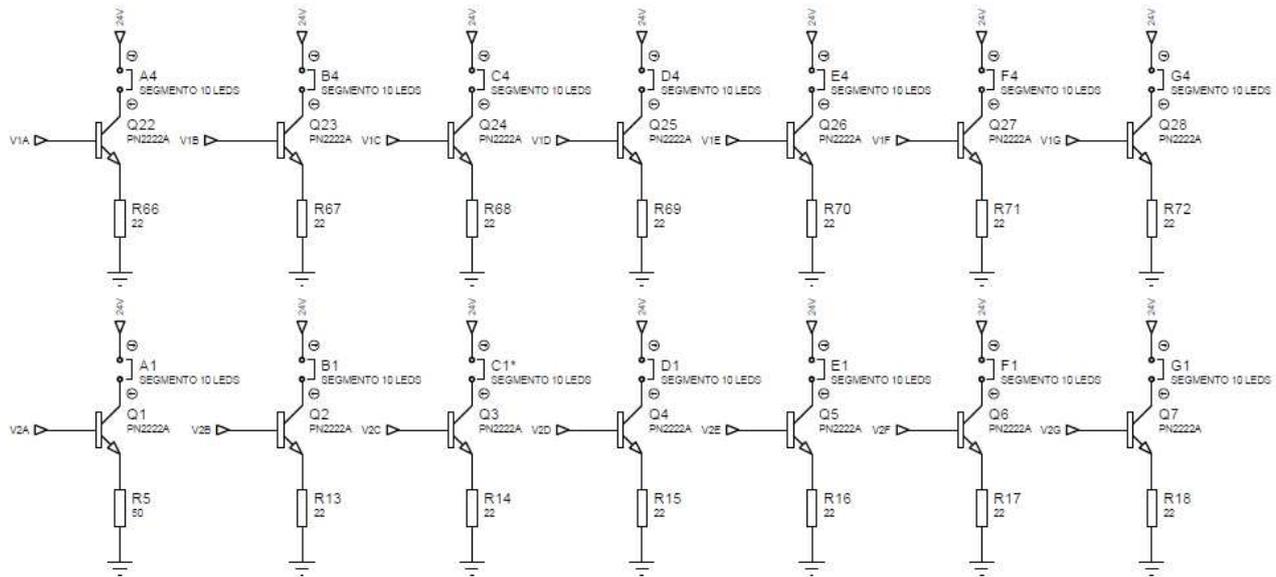


Figura 45. Accionamiento segmentos.

Con esta configuración, por los 10 leds, circula una corriente de 15mA, tanto para los rojos, como para los verdes.

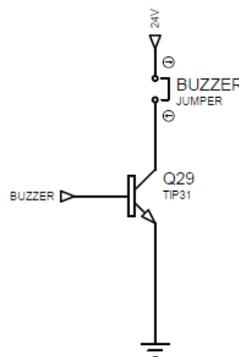


Figura 46. Accionamiento buzzer.

Cuando se requiere encender un segmento, la determinada salida del microcontrolador se pone en HIGH, y excita la base del transistor que está en corte. Cuando esto sucede, el transistor pasa al modo saturación, dejando circular la corriente a través de los 10 leds, encendiéndolos. La resistencia de emisor se colocó para estabilizar térmicamente.

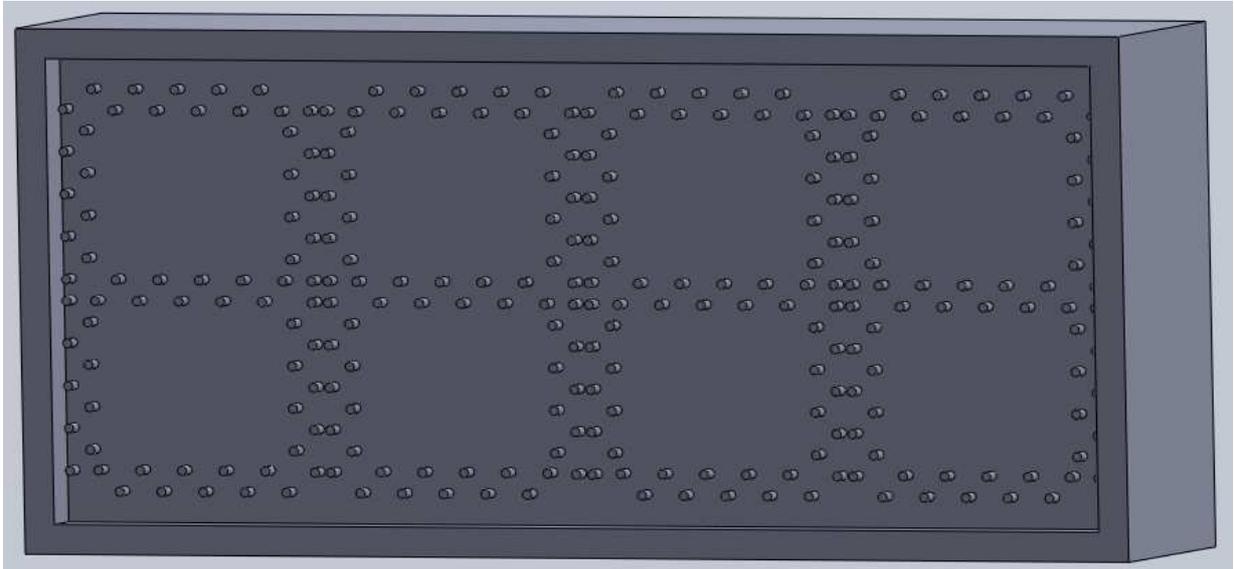
El caso es análogo a cuando se requiere activar el buzzer, al cual se le fijó una resistencia de 6.8 KΩ de modo que circule una corriente de 20mA.

De esta forma, tenemos que el consumo máximo de los leds es alcanzado cuando están todos encendidos, que es el caso del resultado 88 a 88. Por ende, tendríamos 28 segmentos a 15mA, con un consumo total de 420mA.

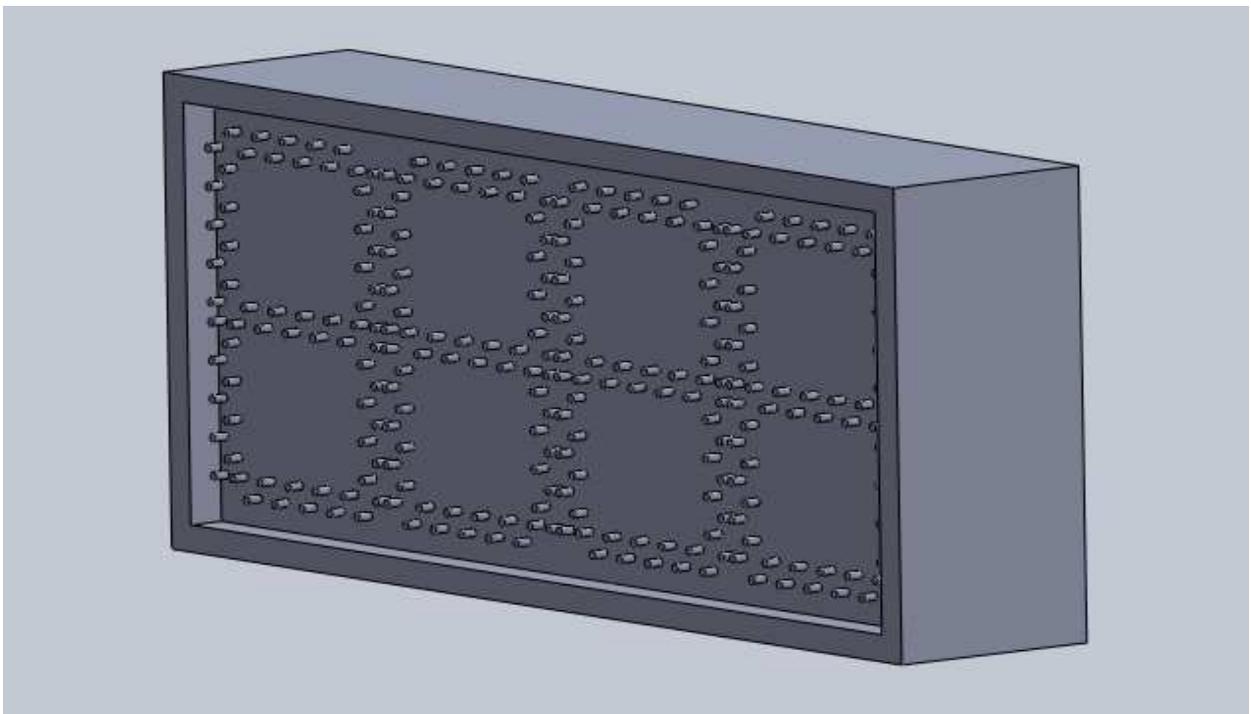


### B.5) Gabinete y diseño de los segmentos

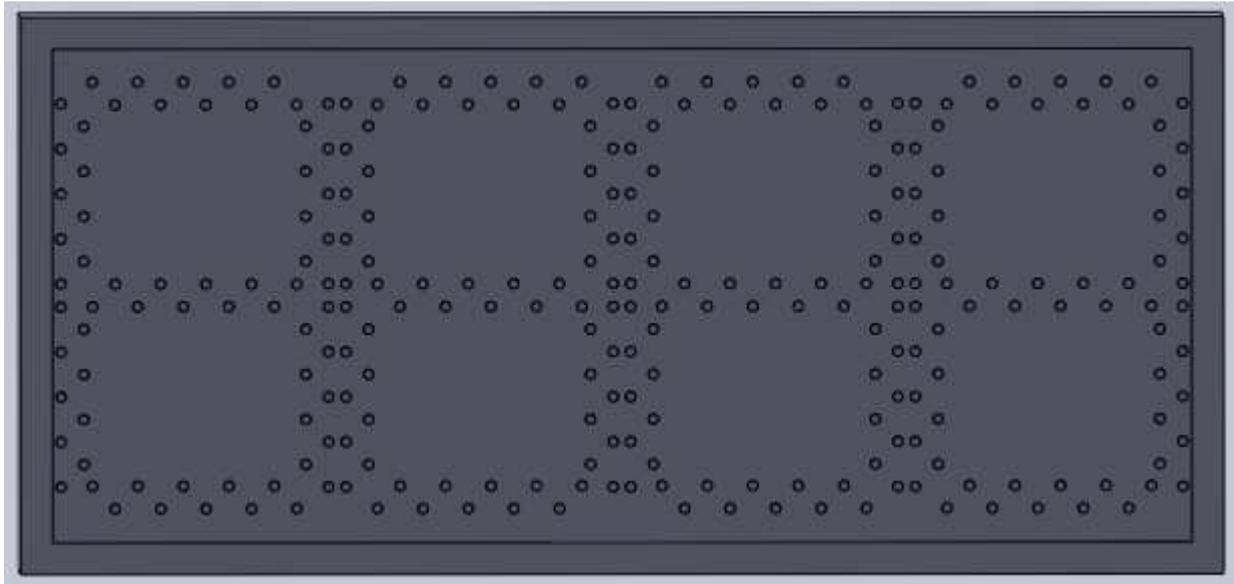
Se realizó un diseño en 3D del estimativo final del tablero tanteador LED, el mismo se puede observar en las siguientes imágenes.



*Figura 48. Diseño estimativo del tanteador con la representación de los números.*



*Figura 49. Perspectiva tanteador.*



*Figura 50. Vista frontal tateador.*

Cada segmento tendrá una altura de 25 centímetros aproximadamente. Las medidas del tablero serán de 85cm de largo, 35cm de alto y 15cm de profundidad.

#### C.1) Análisis de funcionamiento: Maestro

Para enviar y recibir datos con el módulo SX1278, se utilizó la librería “LoraLib”, la cual se encontró muy robusta y fiable, esta librería se complementa con la librería “SPI.h”, la cual se utiliza para enviar y recibir datos por el protocolo SPI.

Se comienza por incluir la librería LoraLib y crear un objeto indicando los pines NSS, DIO0 y DIO1. El primero se usa para el esclavo SPI, el segundo como interrupción para alertar el Arduino, mientras que el último puede ir en cualquier pin o desconectado.

```
SX1278 lora = new LoRa(NSS, DIO0, DIO1);
```

Se creará una variable del tipo entero que almacenará la respuesta para la configuración del módulo, donde deben ir las características técnicas:

```
// initialize SX1278 with default settings
// Frecuencia de trabajo:          434.0 MHz
// Ancho de banda:                 125.0 kHz
// spreading factor:               9
// coding rate:                    7
// sync word:                      0x12
// Potencia de salida:             17 dBm
// Corriente limite:               100 Ma
```

```
// preamble length:      8 symbols
// amplifier gain:       0 (automatic gain control)
```

```
int state = lora.begin(434.0, 125.0, 9, 7, 0x12, 17, 100, 8);
```

Luego se consulta comparando nuestra variable de estado con ERR\_NONE.

Si son iguales, el dispositivo se conectó y configuró como corresponde. Ahora se va a dividir esta sección en dos bloques: transmisión y recepción.

Transmisión:

```
int state = lora.transmit(Mensaje, Longitud);
```

Donde Mensaje, es un vector, que puede ser una cadena de caracteres, o un vector de bytes como es nuestro caso, y Longitud, el largo de la cadena. Se procede a realizar una simple transmisión y reusando la variable de estado se consulta si fue exitoso, comparándolo con ERR\_NONE. Hasta aquí el setup para una transmisión. Ya en el loop para comenzar se debe verificar que el mensaje de prueba se haya realizado chequeando que la bandera tenga asignado el valor true.

Recepción:

Para el Arduino que hace de receptor, se configura como receptor de la siguiente forma:

```
int state = lora.receive(Mensaje, Longitud);
```

Esta función puede almacenarse en una variable de estado para compararse con ERR\_NONE.

Otras funciones de características simplemente demostrativas son:

```
lora.getRSSI();    Indicador de la Fuerza de la señal recibida en dBm
lora.getSNR();    Indicador de la relación señal a ruido en dB
```

Existen muchas funciones más, pero como se dijo previamente no serán necesarias para las acciones que se debían realizar.

Para la visualización mediante el display LCD, se utilizó la librería “LiquidCrystal\_I2C”, la cual es muy amigable y simple de utilizar, esta se complementa con la librería “wire.h”, la misma maneja el protocolo I2C.

Las funciones principales utilizadas de esta librería son:

- LiquidCrystal\_I2C(lcd\_Addr, lcd\_cols, lcd\_rows)  
Función constructor, crea un objeto de la clase LiquidCrystal\_I2C, con dirección, columnas y filas indicadas.

- init()

Inicializa el modulo adaptador LCD a I2C, esta función internamente configura e inicializa el I2C y el LCD.

- `clear()`

Borra la pantalla LCD y posiciona el cursor en la esquina superior izquierda (posición (0,0)).

- `setCursor(col, row)`

Posiciona el cursor del LCD en la posición indicada por col y row(x,y); es decir, establecer la ubicación en la que se mostrará posteriormente texto escrito para la pantalla LCD.

- `print()`

Escribe un texto o mensaje en el LCD, su uso es similar a un `Serial.print`

- `scrollDisplayLeft()`

Se desplaza el contenido de la pantalla (texto y el cursor) un espacio hacia la izquierda.

- `scrollDisplayRight()`

Se desplaza el contenido de la pantalla (texto y el cursor) un espacio a la derecha.

- `backlight();`

Enciende la Luz del Fondo del LCD

- `noBacklight();`

Apaga la Luz del Fondo del LCD

- `createChar (num, datos)`

Crea un carácter personalizado para su uso en la pantalla LCD. Se admiten hasta ocho caracteres de 5x8 píxeles (numeradas del 0 al 7). Dónde: num es el número de carácter y datos es una matriz que contienen los pixeles del carácter.

Para el modo sleep, se utilizó la librería “LowPower”.

La función utilizada por esta librería es:

```
LowPower.powerDown(SLEEP_FOREVER, ADC_OFF, BOD_OFF);
```

Ésta función configura el microcontrolador en el modo `PowerExtStandby`, donde solo se lo puede despertar mediante una interrupción externa. Los otros argumentos son:

`ADC_OFF`: Apaga los convertidores Analógico-Digital.

`BOD_OFF`: Apaga el circuito de Brown Out Detection, este es un circuito para detectar niveles peligrosamente bajos de tensión.

También se lo puede despertar periódicamente, reemplazando `SLEEP_FOREVER`, por lo siguiente:

`SLEEP_xS`: Fija el tiempo que estará “dormido” usando para ello el Watchdog. Pudiendo ser: `SLEEP_15MS`, `SLEEP_30MS`, `SLEEP_60MS`, `SLEEP_120MS`, `SLEEP_250MS`,

SLEEP\_500MS, SLEEP\_1S, SLEEP\_2S, SLEEP\_4S, SLEEP\_8S, y el utilizado anteriormente SLEEP\_FOEVER. Donde MS, significa milisegundos, y S, segundos.

En la figura 50, podemos ver el diagrama de flujo sobre el funcionamiento del programa del mando:

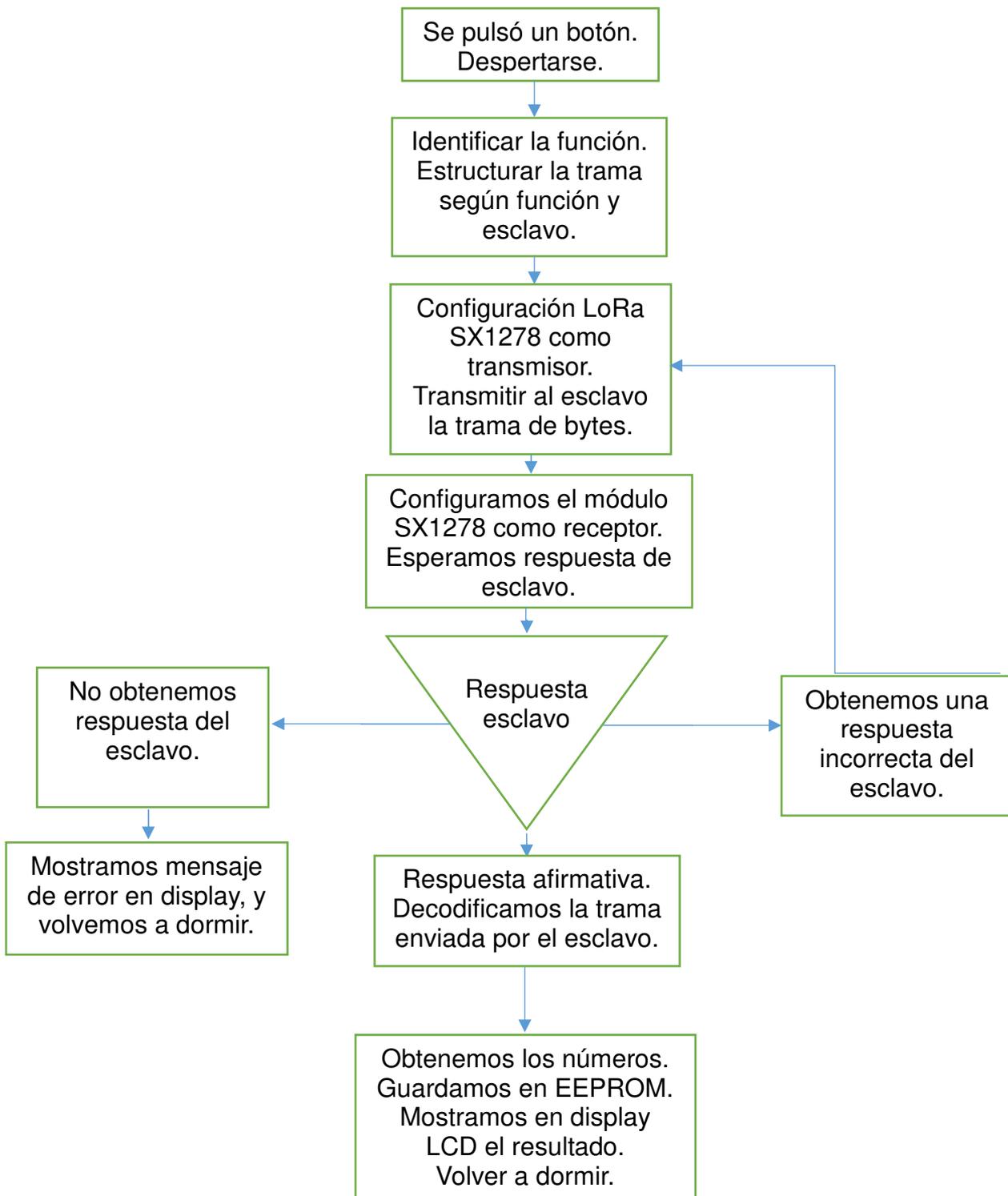


Figura 50. Diagrama de flujo del programa del transmisor.

C.2) Análisis de funcionamiento: Esclavo

Para los esclavos, se utilizará la misma librería LoraLib. Se procederá a mostrar en la figura 51 el diagrama de flujo del circuito receptor.

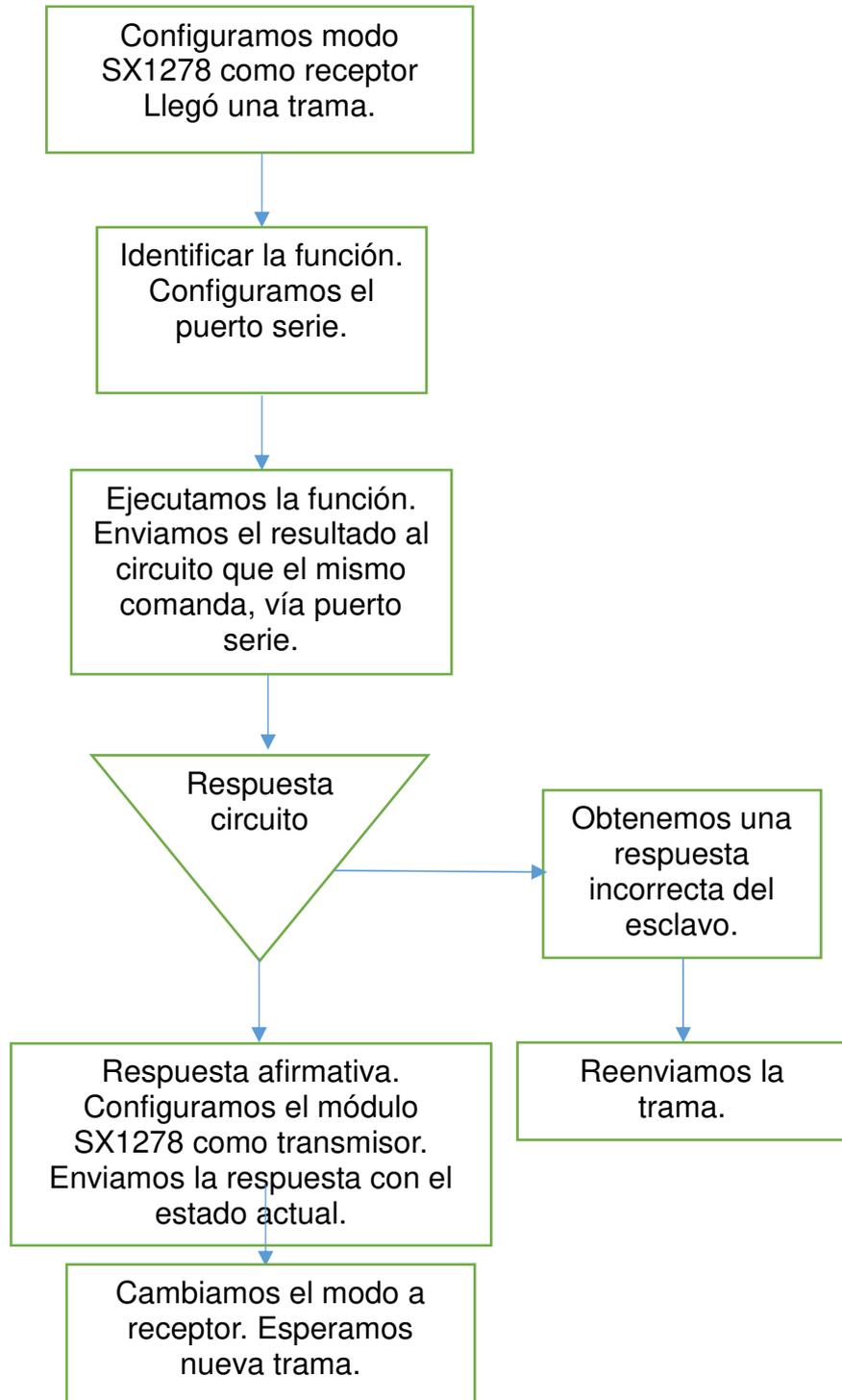


Figura 51. Diagrama de flujo del programa del receptor.

### C.3) Análisis de funcionamiento: Tanteador LED

En la figura 52, vemos el diagrama de flujo del funcionamiento del programa.

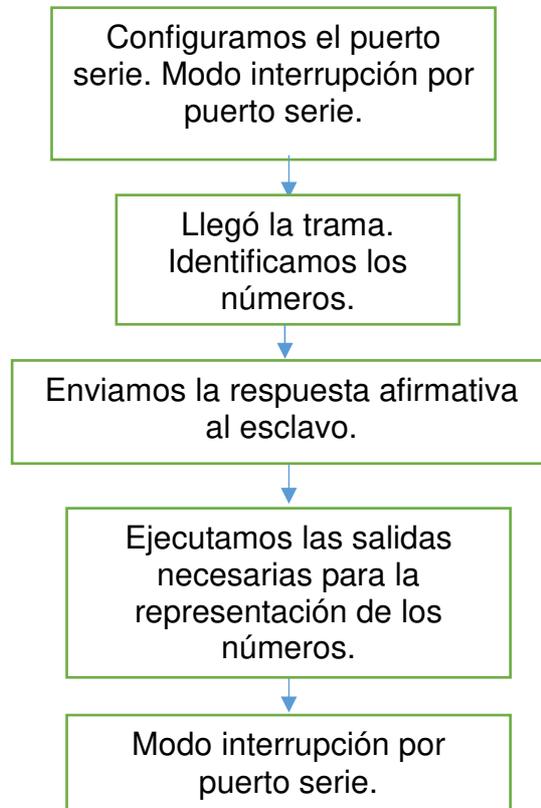
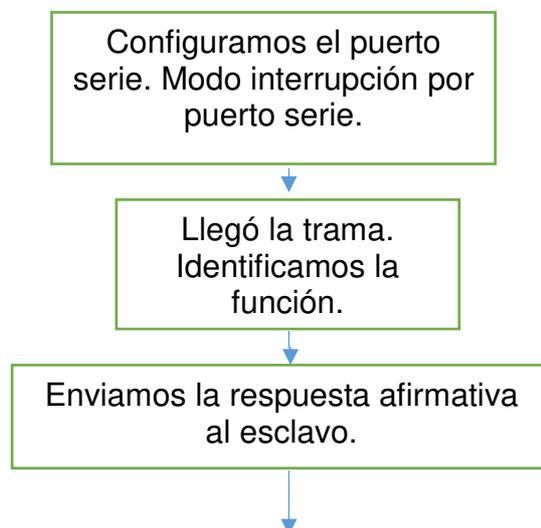


Figura 52. Diagrama de flujo del programa del tanteador LED.

### C.4) Análisis de funcionamiento: Cronómetro

En la figura 53 vemos el diagrama de flujo del funcionamiento del programa:





Diseño en PCB de la placa:

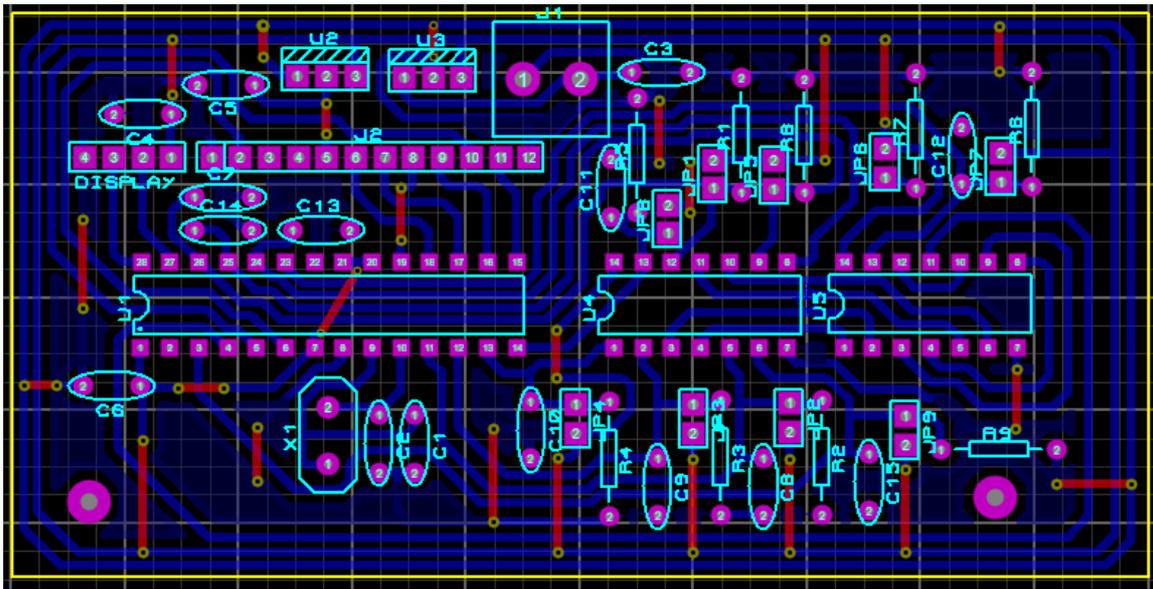


Figura 55. PCB del mando.

Modelado 3D de la placa diseñada:

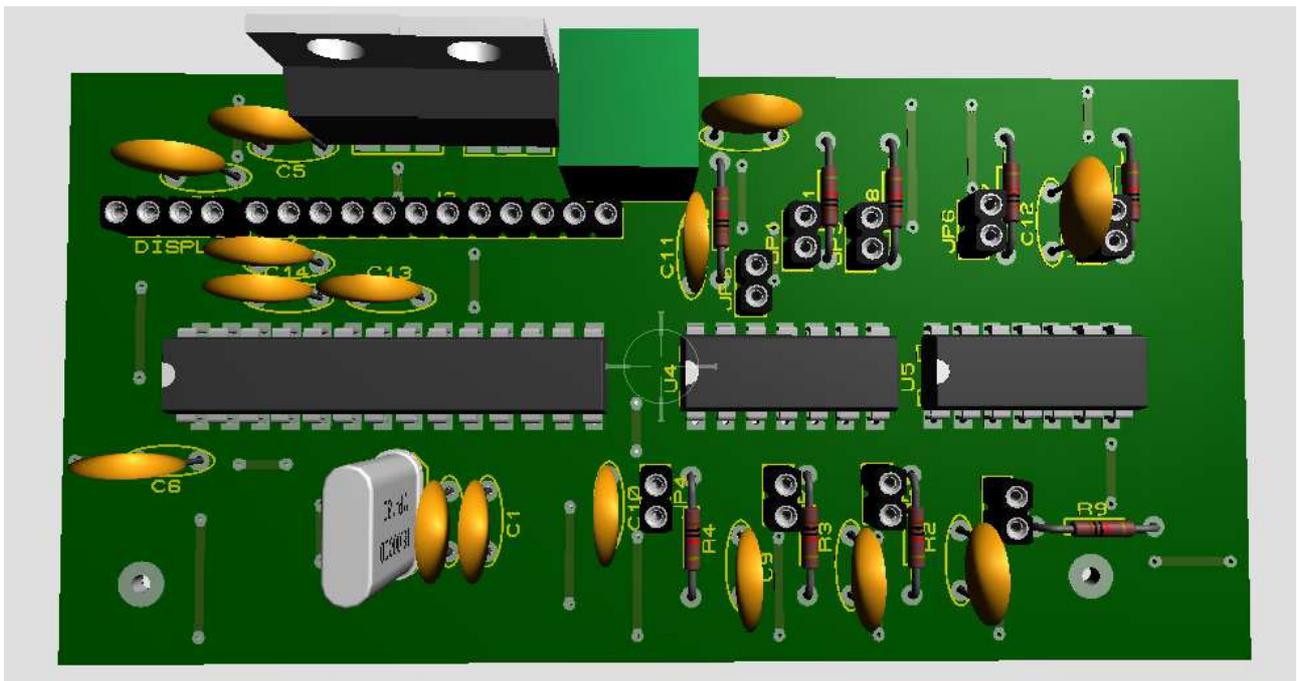


Figura 56. Modelado 3D PCB del mando.

- Diseño final: Esclavo

Esquemático completo:

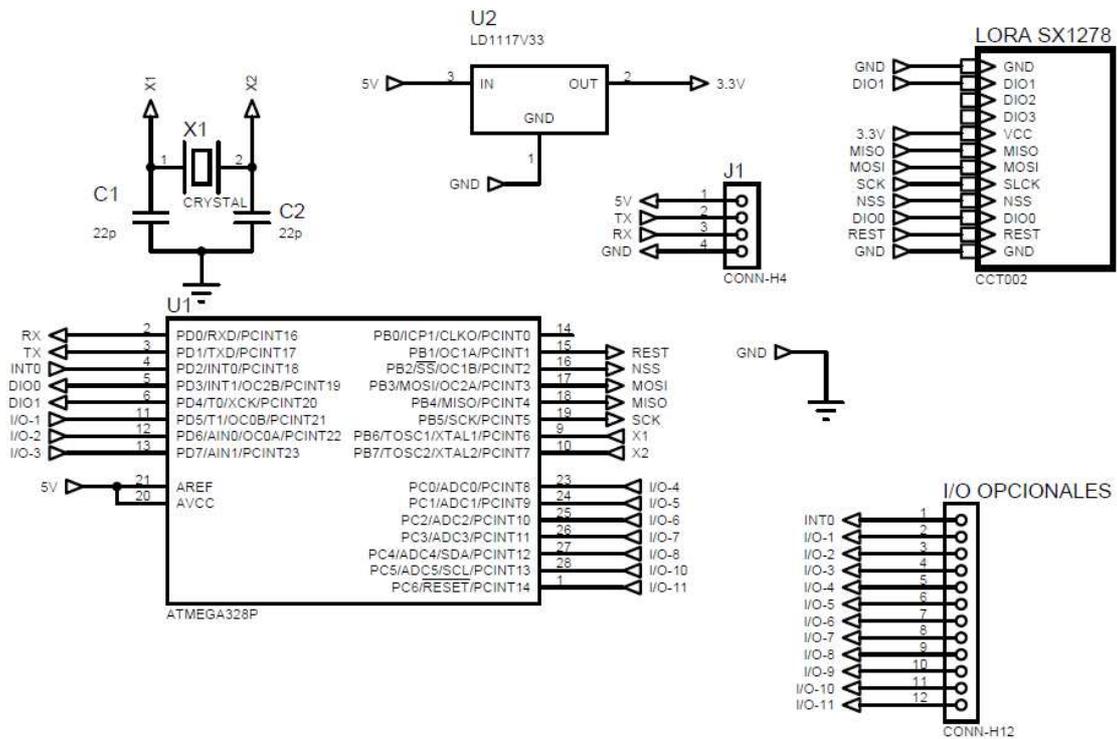


Figura 57. Esquemático completo del esclavo.

Diseño del PCB de la placa:

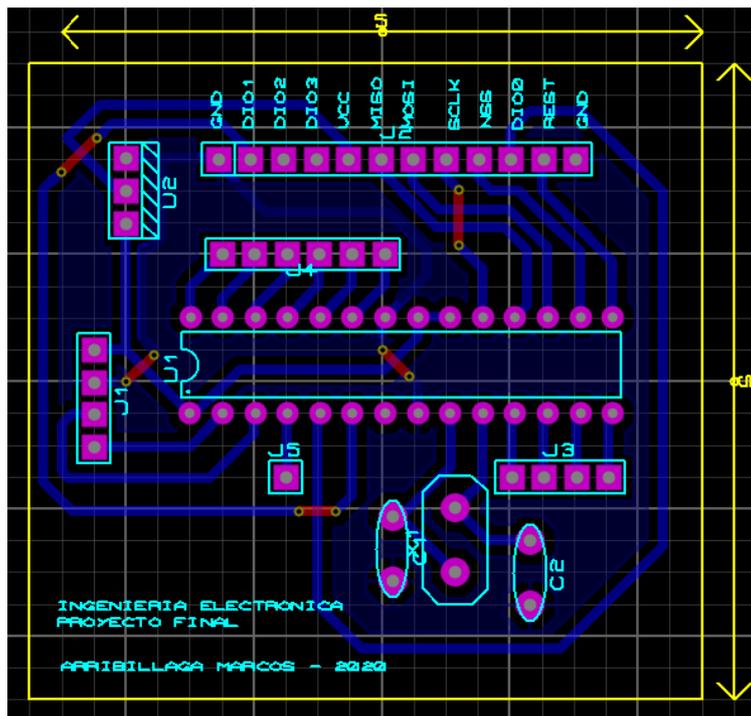


Figura 58. PCB del esclavo.

Modelado 3D de la placa diseñada:

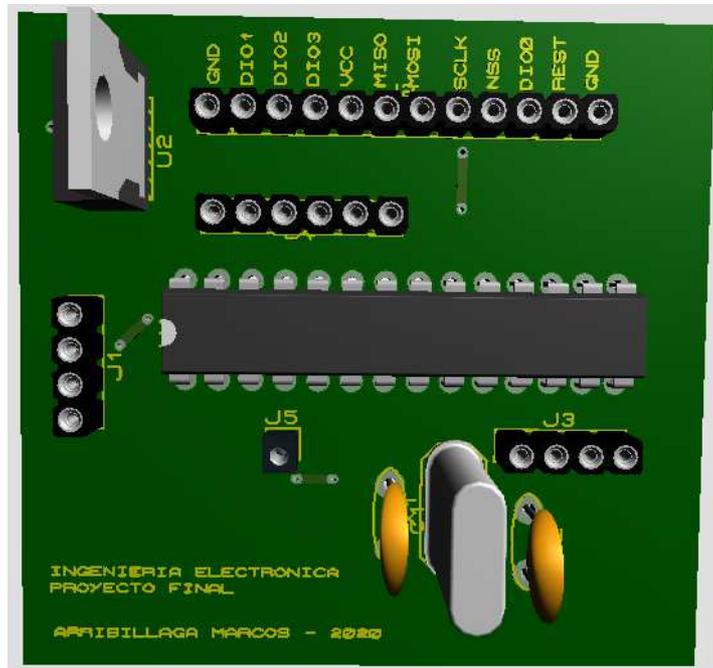


Figura 59. Modelado 3D PCB del esclavo.

- Diseño final: Tanteador LED.

Esquemático completo:

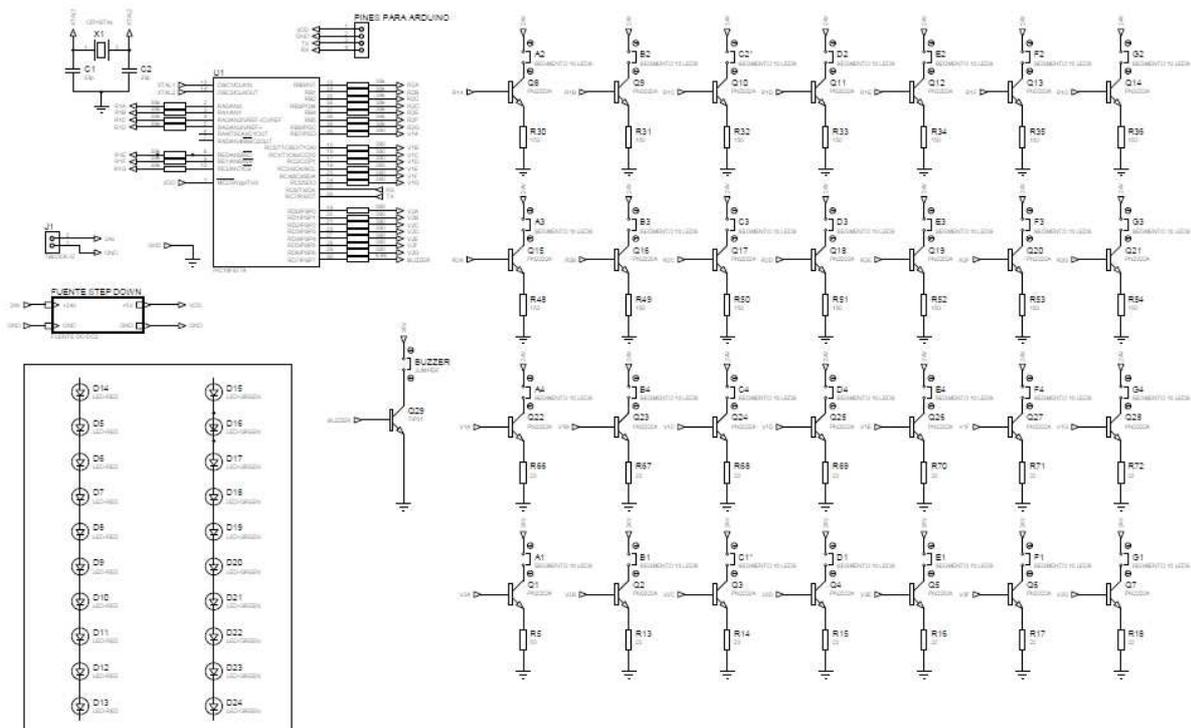


Figura 60. Esquemático completo del tanteador LED.

Diseño del PCB para la placa:

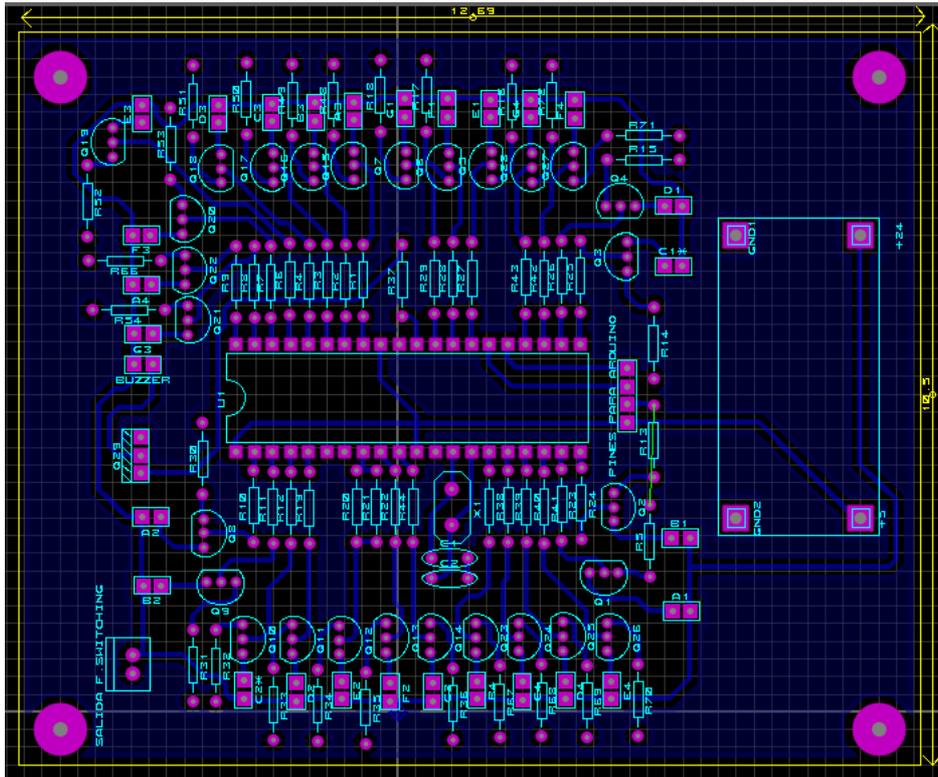


Figura 61. PCB del tanteador LED.

Modelado 3D de la placa diseñada:

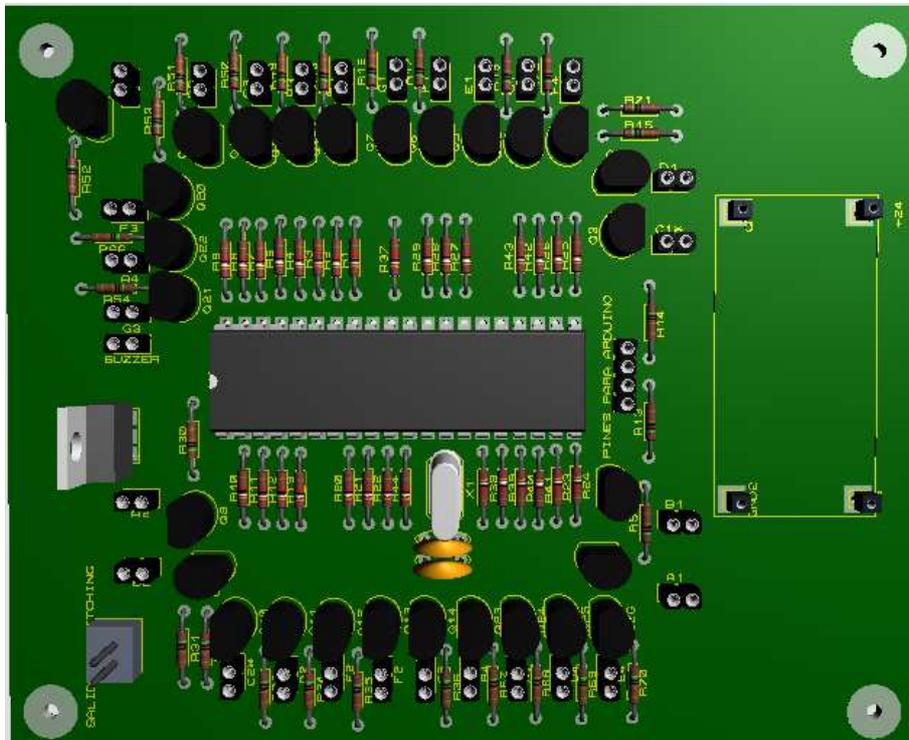


Figura 62. Modelado 3D PCB de tanteador LED.

- Construcción panel de números leds, gabinete y ensambles de placas.

Se mostrará la construcción del gabinete para el tanteador, el cual se realizó con el material fibrofacil. Las dimensiones del gabinete son de 85cm de largo, 35cm de alto y 15 cm de profundidad. Por lo que se adquirieron 2 tablas de 85x15cm, 2 tablas de 30x15cm y una de 80x30cm.



*Figura 63. Gabinete tanteador vista superior.*

Se incluyeron bisagras en la tapa superior, para poder desarmar u operar más confortablemente en caso de que hubiese alguna falla. También se le colocaron agarraderas en los laterales, para las aperturas no deseadas de la tapa superior y una manija para poder transportarlo a donde se desee.



*Figura 64. Gabinete tanteador vista frontal.*

En la figura anterior podemos ver el “marco” que se realizaron con pequeñas L galvanizadas, de esta forma podemos atornillar el panel de dígitos y que el mismo esté robusto y seguro.



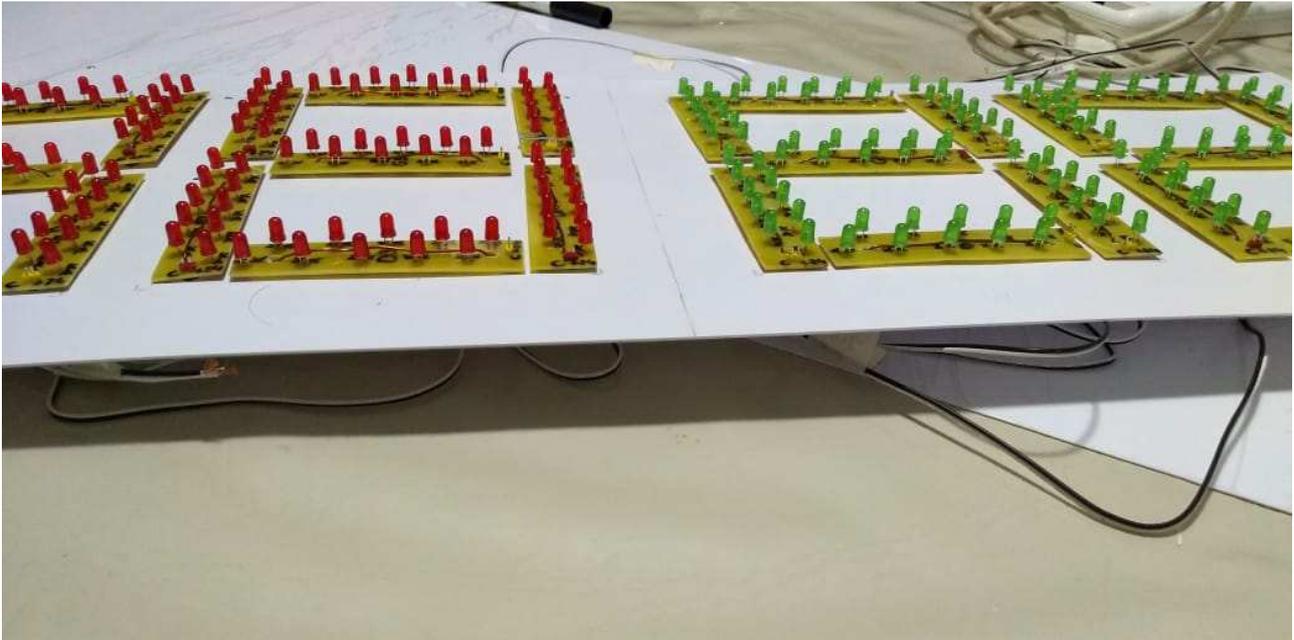
*Figura 65. Gabinete tanteador vista trasera.*

Se le añadieron dos L galvanizadas de mayores dimensiones, para poder colgar el tablero tanteador en una columna de hierro, a una altura de 3 metros. En la siguiente figura, veremos ya colocada, la fuente switching de 24W, que alimenta todo el circuito del tablero y su respectivo esclavo.



*Figura 66. Fuente switching 24V – 1A.*

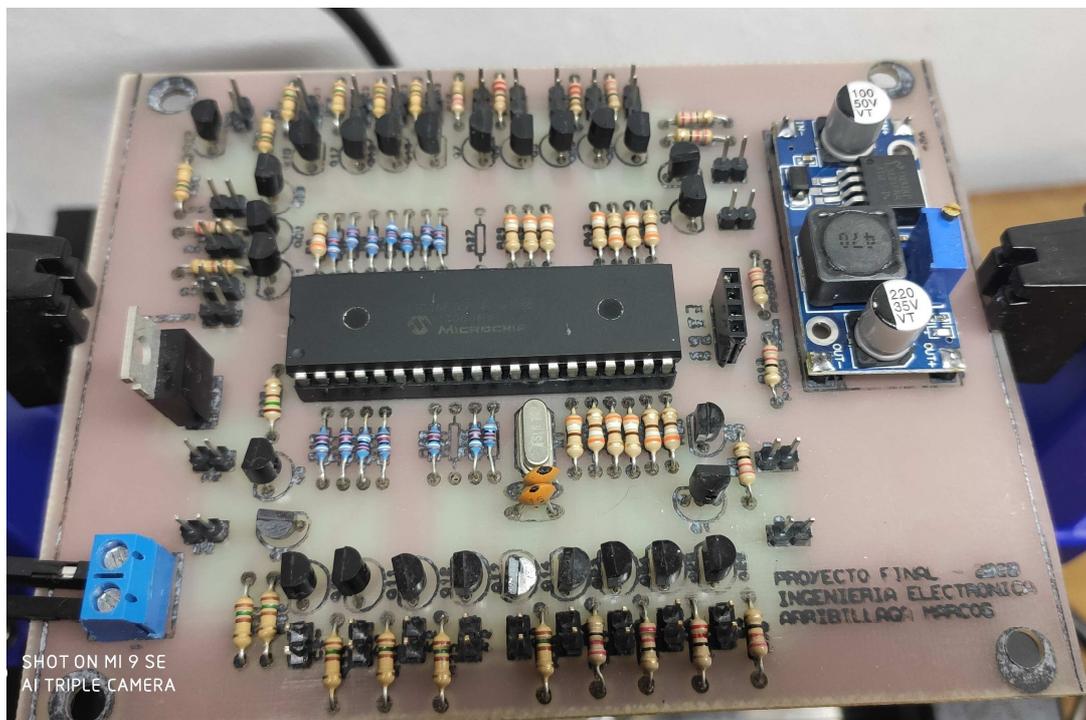
Se incluye una figura de la construcción de los segmentos. Se realizaron 28 placas para montar los 280 leds, ya que de esta forma se hizo más sencillo su armado y la presentación de los segmentos, desde la prolijidad, hasta la localización de las fallas ocasionadas por roturas de las pistas, roturas mecánicas de los leds, entre otras.



*Figura 67. Construcción de los segmentos para los dígitos.*

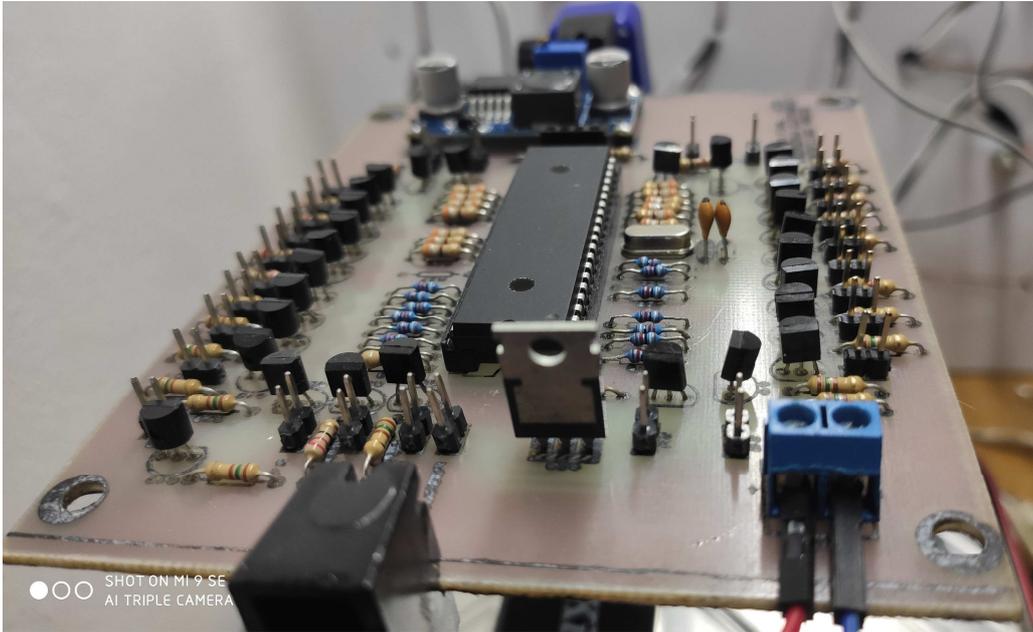
Se mostrarán imágenes de las placas realizadas, comenzando con la placa del tanteador.

En la figura podemos ver que se logró una prolijidad deseada mediante la técnica tradicional de realización de placas (planchado, quemado el cobre mediante el percloruro férrico, etc.). Logrando que la placa no tuviera correcciones en cuanto al cortocircuito entre las pistas.



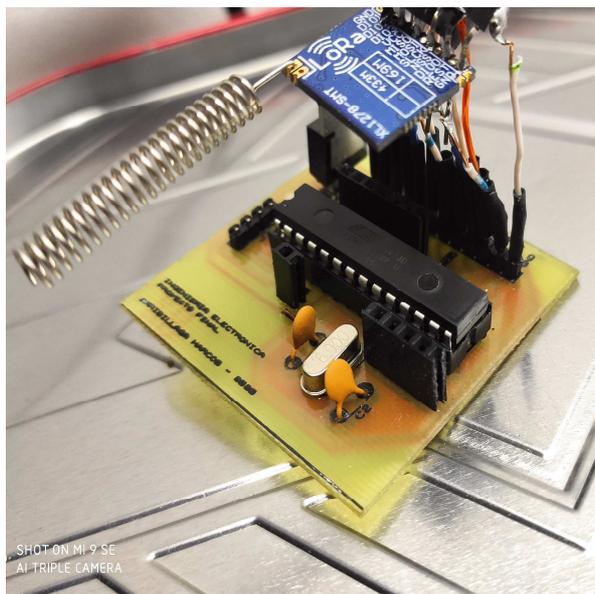
*Figura 68. PCB ensamblado del tanteador.*

Se puede ver la disposición de los componentes y la correcta y cómoda disposición de los mismos a la hora de buscar errores o la mejora visual de la placa.



*Figura 69. PCB del tanteador vista superior.*

A continuación, mostraremos las placas de los esclavos 1, y 2. En las mismas se obtuvo un muy buen resultado. El único detalle que se observó es que los contactos de salida de los módulos LoRa SX1278 fueron diseñados para un paso de 1.27mm, y al ser imposible conseguir tanto pines machos, como hembras con un paso de 1.27mm, se improvisó una forma de realizar la soldadura, mediante cables, soldados a los contactos, y a su vez, soldados a una tira de pines macho con paso de 2.54mm, haciendo que la prolijidad deseada disminuya, pero pudiendo realizar fehacientemente la electrónica del proyecto.



*Figura 70. PCB ensamblado del esclavo 1.*

En la siguiente figura veremos el esclavo 2, el cual tuvo el mismo inconveniente anteriormente mencionado:

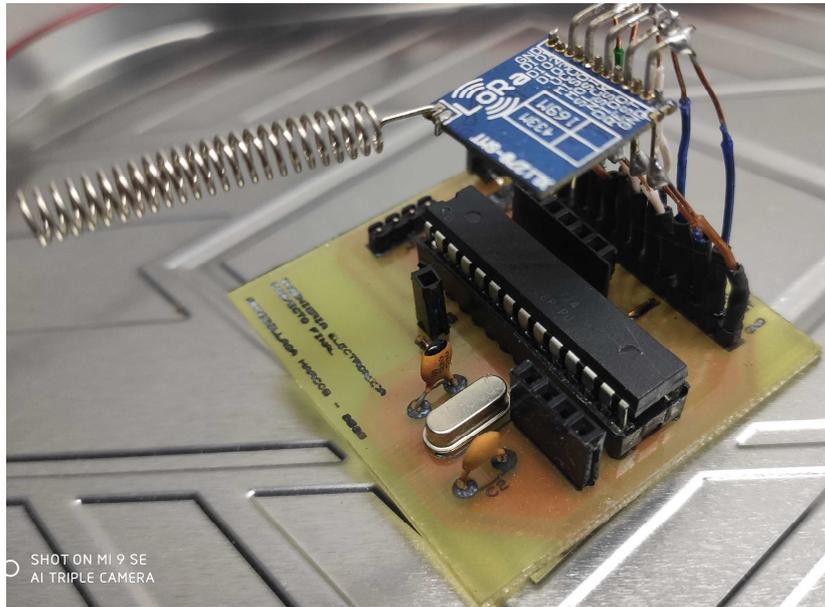


Figura 71. PCB ensamblado del esclavo 2.

Por último, vemos la placa del tanteador conectada con su “shield” esclavo, el cual se monta y desmonta fácilmente.

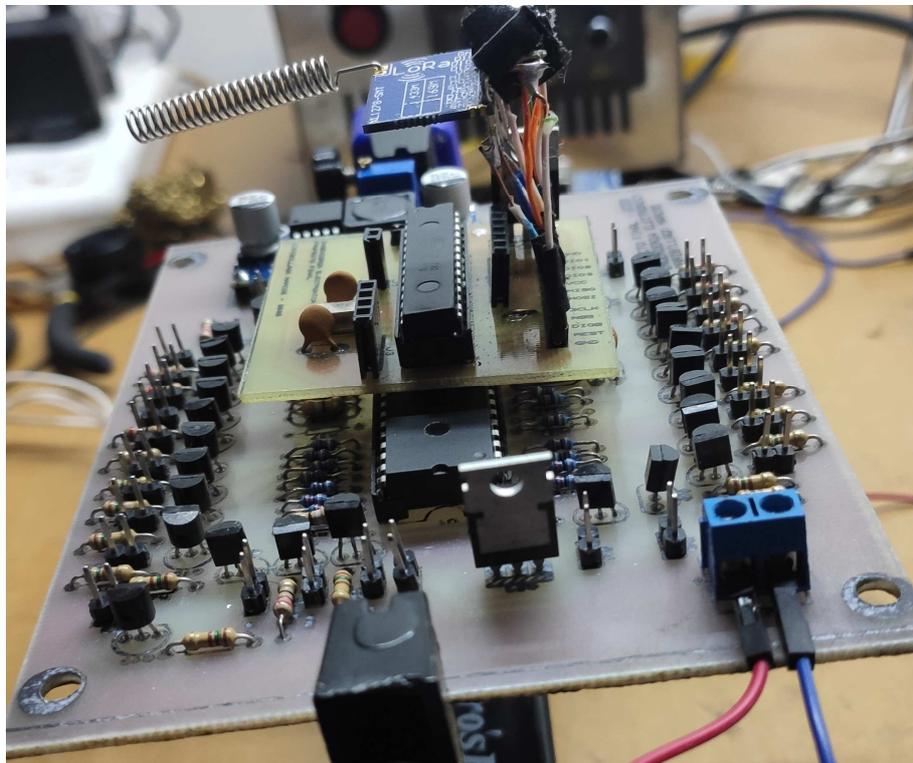


Figura 72. PCB tanteador + shield esclavo 1.

- Construcción de gabinete para mando.

Para el gabinete del mando, como se mencionó anteriormente se utilizó una caja estanca con las dimensiones 18cm de largo, 13cm de ancho y 8cm de altura. De esta forma, nos aseguramos que sea lo suficientemente alta como para albergar el largo de los pulsadores y el módulo LoRa. Se probaron varios tipos de pulsadores, dando como mejor resultado, por su calidad y robustez, los pulsadores NA de 12mm de diámetro y 38mm de largo.



*Figura 73. Pulsadores NA 12 x 38mm.*

Una vez tenido los pulsadores y el LCD, se procedió a realizar los cortes y a presentar el gabinete.



*Figura 74. Gabinete con pulsadores.*

Se colocaron todos los componentes ubicados en el panel frontal.



Figura 75. Tapa del gabinete con pulsadores y LCD.

A continuación, vemos la placa utilizada en el mando, la cual presentó el mismo inconveniente mencionado previamente con el módulo LoRa SX1278.

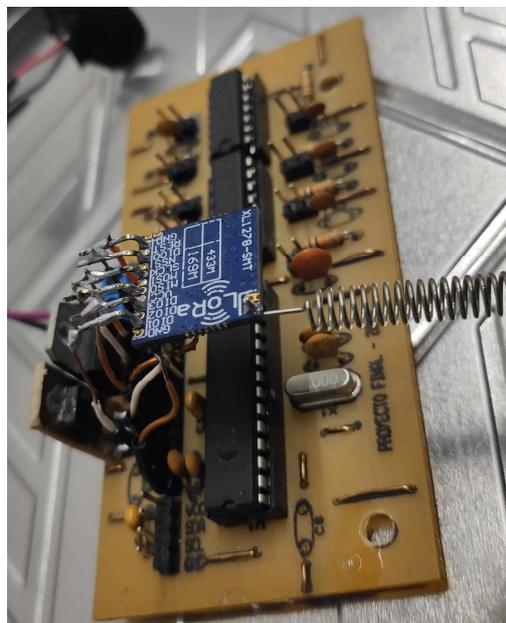


Figura 76. PCB ensamblado del mando.

El diseño final del gabinete quedó de la siguiente forma:



Figura 77. Gabinete mando completo.

Se le colocó una porta batería de 9V por fuera, de esta manera para colocar o retirar la batería se evita retirar los 4 tornillos de la caja estanco, evitando dañar o desconectar algún cable que esté conectado a la placa, o la placa misma. De esta forma, la batería queda fácilmente al alcance del usuario. Además, se colocó un diodo 1N4001 en serie con el circuito, a fin de evitar la destrucción del mismo por inversión de polaridad.

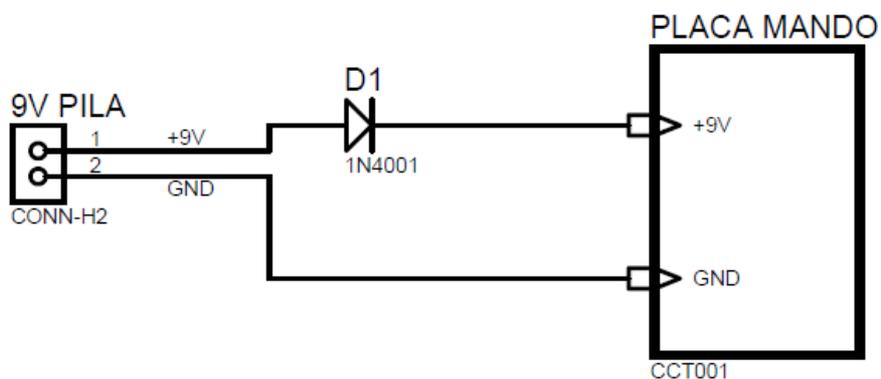


Figura 78. Diodo anti polaridad.

Aclaración: Si bien el diodo ocasiona una caída de tensión de 0.7V, esta no afecta en el funcionamiento del circuito.

### Capítulo 3: Resultados

En lo que respecta a las pruebas realizadas de distancia (pruebas de aproximadamente unos 70 metros, con obstáculos), lazo de realimentación y conteo de números, no se presentaron problemas y se obtuvo un correcto funcionamiento, gracias al buen diseño y planeamiento de la electrónica asociada a ello. La idea de separar las placas en esclavos y sus respectivos circuitos, simplificó en gran medida la prueba singular de los circuitos y la búsqueda de fallas. Por lo que podemos decir que se cumplió con lo esperado.

El producto terminado presenta el siguiente aspecto:



*Figura 79. Tanteador construido y ensamblado.*

En las imágenes anteriores se puede apreciar que el gabinete montado y pintado, presenta gran aproximación a lo buscado. Se le agregó una placa de acrílico transparente con el fin de separar y proteger a los leds del tablero de algún golpe físico.

A continuación, se muestran imágenes del mando y del cronómetro junto con capturas de pantalla del puerto serie, en el cual vemos su funcionamiento.



Figura 80. Mando construido.

La distribución de las funciones comenzando con la primera fila superior que contiene un único pulsador, serían:

Iniciar/parar cronómetro, y la segunda función contenida reiniciar cronómetro en la que se requiere que se mantenga presionado durante 3 segundos. La función Encender / apagar LCD se reprogramará a futuro para la entrega del producto.

Segunda fila, de izquierda a derecha, subir contador números rojos, tiempo muerto, resultados previos (hasta 2), subir contador números verdes.

Tercera fila, de izquierda a derecha, bajar contador números rojos, invertir lados, resetear tanteador junto con la segunda función contenida de apagar/encender el tanteador en la que se requiere que se mantenga presionado durante 3 segundos, y bajar contador de números verdes.



Figura 81. Vista LCD.

Observando el LCD, en la fila superior a derecha podemos ver la leyenda que dice “TM: D”, hace referencia a que el tiempo muerto está desactivado, en el caso de que esté activado marcaría “TM: A”. Del lado opuesto, a la izquierda la leyenda dice “CR: PAR”, hace referencia a que el cronómetro está parado, en el caso que esté inicializado, indicaría “CR: INI”. En la segunda fila, se observa el resultado del partido.

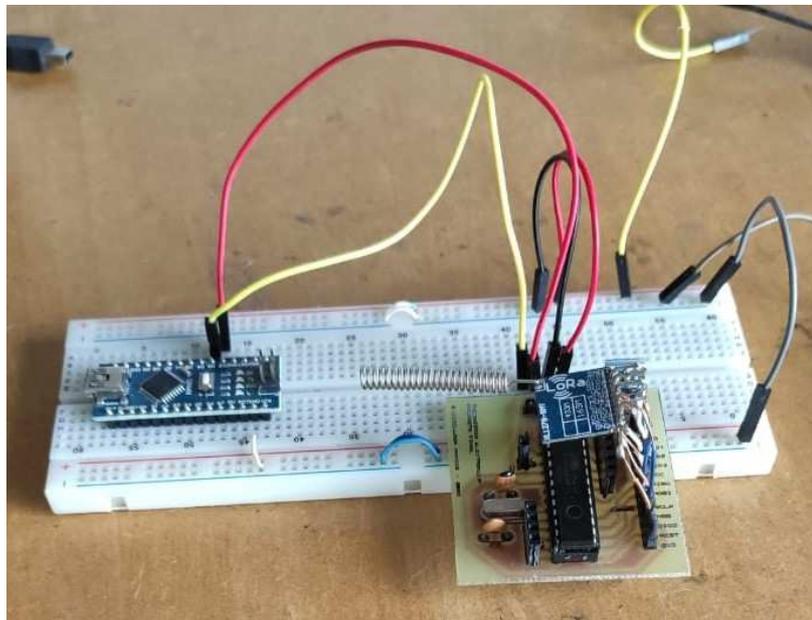


Figura 82. Cronómetro presentado.

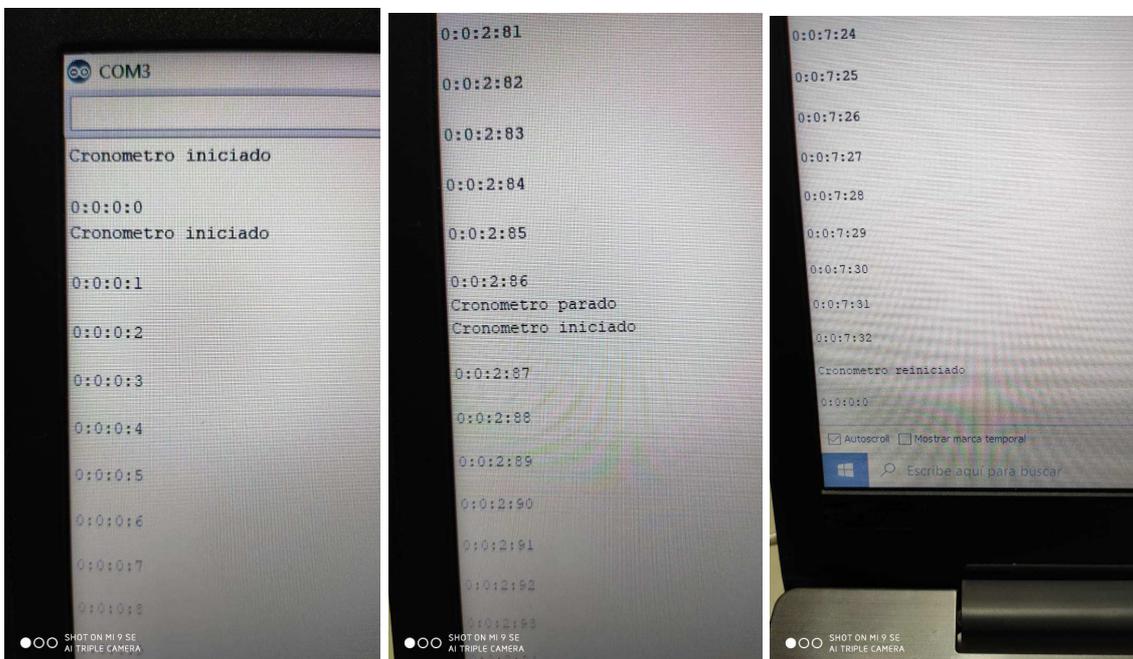


Figura 83. Cronómetro iniciado, parado y reiniciado.

A su vez, cabe destacar que se logró limitar al máximo el consumo de la batería, haciendo que su uso sea muy prolongado.

## Capítulo 4: Análisis de Costos

Aclarando que el producto posee una flexibilidad, dado que puede adaptarse a lo que el cliente necesite, se detallarán los costos unitarios, de los elementos utilizados para la construcción del producto final, el cual será diferente conforme al diseño requerido comercialmente:

Materiales	Cantidad	Costo unitario en \$	Costo parcial en \$
Placas fibrofacil	1	\$ 1.060,00	\$ 1.060,00
Plancha acrilico transparente	1	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
Plancha acrilico blanca fina	2	\$ 300,00	\$ 600,00
L para colgar tablero	2	\$ 70,00	\$ 140,00
Caja estanco 10x15x8	1	\$ 260,00	\$ 260,00
Resistencias 1/4w	90	\$ 0,90	\$ 81,00
Capacitores cerámicos	25	\$ 1,00	\$ 25,00
Microcontrolador atmega328p	3	\$ 400,00	\$ 1.200,00
Microcontrolador PIC16F877A	1	\$ 700,00	\$ 700,00
Zocalo atmega328p (dip 28)	3	\$ 40,00	\$ 120,00
Zocalo PIC16F877A (dip 40)	1	\$ 120,00	\$ 120,00
Cristal 16MhZ	4	\$ 30,00	\$ 120,00
Tira 40 pines macho paso 2.54mm	6	\$ 50,00	\$ 300,00
Tira 40 pines hembra paso 2.54mm	4	\$ 60,00	\$ 240,00
Regulador 7805	1	\$ 70,00	\$ 70,00
Regulador LD1117	3	\$ 90,00	\$ 270,00
Compuerta OR 4071	2	\$ 130,00	\$ 260,00
Zocalo dip 14	2	\$ 70,00	\$ 140,00
Bornera	2	\$ 30,00	\$ 60,00
Placa pertinax 10x15	5	\$ 155,00	\$ 775,00
Placa pertinax 10x5	2	\$ 50,00	\$ 100,00
Hojas satinadas	8	\$ 10,00	\$ 80,00
Llave on-off 250V - 6A	1	\$ 80,00	\$ 80,00
Portabatería 9V	1	\$ 120,00	\$ 120,00
Pulsadores NA 12mm redondo 1A - 250V	9	\$ 35,00	\$ 315,00
Adaptador I2C display PCF8754	1	\$ 150,00	\$ 150,00
LCD 16x2	1	\$ 476,00	\$ 476,00
Transistores 2n2222a TO-92	28	\$ 50,00	\$ 1.400,00
Transistor tip 31	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Fuente switching 24v 1A	1	\$ 700,00	\$ 700,00
Regulador step down DC-DC LM2596	1	\$ 159,00	\$ 159,00
Diodo 1n4001	1	\$ 10,00	\$ 10,00
LED rojo alto brillo 5mm	140	\$ 3,50	\$ 490,00
LED verde alto brillo 5mm	140	\$ 4,00	\$ 560,00
Impresión para mando	1	\$ 40,00	\$ 40,00
Buzzer piezoeléctrico 3-24v	1	\$ 350,00	\$ 350,00
Módulo LoRa SX1278	3	\$ 1.149,00	\$ 3.447,00

Tornillería varia	1	\$	400,00	\$	400,00
Pintura negra brillante	1	\$	250,00	\$	250,00
Masilla para madera	1	\$	160,00	\$	160,00
Agarre para caja	2	\$	90,00	\$	180,00
Manija atornillable	1	\$	40,00	\$	40,00
Bisagra libro 38mm	2	\$	20,00	\$	40,00
1 Metro cable bipolar multifilar para uso general	20	\$	30,00	\$	600,00
Estaño (100g)	1	\$	600,00	\$	600,00
Horas de trabajo	24	\$	250,00	\$	6.000,00
<b>Total</b>				\$	<b>24.538,00</b>

*Tabla 18. Costos.*

Por sumatoria de los costos totales de cada componente, necesarios para el armado del equipo y considerando el valor de la mano de obra insumida en el trabajo, se arriba a un costo total del producto de \$24.538.-

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que, al ser un producto desarrollado mediante software libre o código abierto, el costo del desarrollo baja significativamente, por no tener que adquirir el software para su programación.

Se tomará como punto de comparación a los tanteadores existentes en el mercado, los cuales tienen un valor que oscila entre los \$20.000 y \$30.000 pesos, no contando además con la flexibilidad de nuestro producto. Por lo que se estima que tendrá una aceptación por parte de los clientes.

## Capítulo 5: Discusión y Conclusión.

En base a lo analizado durante el desarrollo del proyecto se pueden observar las ventajas y desventajas que presenta sobre el sector del mercado a intervenir. Se puede decir que presenta ventajas en cuanto a su flexibilidad, precio y a la posibilidad de implementación mediante un código abierto, y a la posibilidad de anexarle múltiples esclavos (tableros, etc). En cuanto a la desventaja, puedo apuntar la característica del mercado donde puede ofrecerse el producto, el cual, por su alcance económico, no podría, en principio, llegar a cubrir las expectativas sobre los resultados financieros esperados a la hora de proyectar un negocio.

Los resultados obtenidos fueron excelentes, se alcanzaron distancias mayores a las esperadas para la transmisión de datos, con la posibilidad de tener un control correcto de los datos transmitidos. Se pudieron unificar distintos protocolos dentro de una misma aplicación, de modo que quedó amigable para con la interfaz humano-maquina. El hecho de incluir un LCD nos dio la posibilidad de dar con un producto más profesional.

Podemos decir que se desarrolló un producto que rompe con los estándares del mercado, sacándole un amplio margen de distancia a estos en cuanto a su desarrollo electrónico y ergonómico. Lo anterior no quita que el proyecto simplemente es un puntapié inicial, ya que puede mejorarse sustancialmente, reemplazando un mando físico, por una interfaz manejada por una aplicación comandada tanto desde un teléfono móvil, vinculándose mediante el protocolo bluetooth, o mediante una PC, vía puerto USB. Lo que nos da un margen muchísimo mayor para armar una red de esclavos multitudinaria. También podría incluirse un circuito detección de descarga de batería, a modo que cuando se llegue a un nivel de voltaje límite, se indique que se requiera cargar o reemplazar la batería, según sea la característica de la misma.

No debe menospreciarse el hecho de poder expandirse o modificarse agregando o cambiando simples circuitos y conexiones, lo que presenta una gran ventaja frente a expansiones o cambios. Lo mencionado es posible debido a la sencillez con la cual fue pensado, es decir que, aunque se necesiten conocimientos técnicos para su modificación, éstos no dejan de ser mínimos. El desarrollo tanto de hardware, como de software están detallados de tal forma que, dependiendo de lo que se desee, simplemente se debe agregar el bloque o circuito ya facilitado en el proyecto, además del desarrollo universal sobre Arduino en la actualidad.

## Capítulo 6: Literatura Citada.

- Arduino Board Uno (s.f.). Arduno UNO & Genuino UNO. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>, Italia.
- Cisco IBSG (2011). Internet de las cosas: cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo. Internet Business Solutions Group. Estados Unidos.
- GitHub (s.f.) Conociendo GitHub: ¿Qué es GitHub?. <http://conociendogithub.readthedocs.io/en/latest/data/introduccion/>, Estados unidos.
- Link Labs (2016). A COMPREHENSIVE LOOK AT Low Power, Wide Area Networks for “Internet of Thinks” Engineers and Decision Makers, Estados Unidos.
- López, E (s.f.). Protocolo SPI (Serial peripheral interface). Ingeniería en microcontroladores. Mexico
- LoRa Alliance. Wide Area Network for IOT. <https://www.lora-alliance.org/>.
- NiceRF (2015). LoRa 1278 100Mw 4KM larga distancia y alta sensibilidad (-139dBm) 433 MHz módulo de transceptor inalámbrico. [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-853612239-transceptor-lora-433mhz-sx1278-20dbm-antena-helicoidal-JM?quantity=1#position=3&type=item&tracking\\_id=8443cb66-2722-45bf-891c-14a3e9c18806](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-853612239-transceptor-lora-433mhz-sx1278-20dbm-antena-helicoidal-JM?quantity=1#position=3&type=item&tracking_id=8443cb66-2722-45bf-891c-14a3e9c18806), Argentina.
- ON semiconductor (2014). LD1117 1 A Low- Dropout Positive Fixed and Adjustable Voltage Regulators. Datasheet. Estados unidos.
- ON Semiconductor (2008). LM7805 3 –Terminal 1A positive voltaje regulator. Datasheet. Estados unidos.
- Texas Instruments (2020). LM2596 simple switcher power converter 150 Khz 3A step down voltage regulator. Datasheet. Estados unidos.
- Microchip (2003). PIC16F877A 40 pin enhanced flash microcontrollers. Datasheet. Estados Unidos.
- Atmel - Microchip (2003). 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes in-system programmable flash. Datasheet. Estados Unidos
- Pedre, S (2012). Sistemas embebidos. Laboratorio de Robótica y sistemas embebidos. Departamento de computación – FCEN – UBA. Argentina.
- Semtech (s.f.) LoRa product family. <http://www.semtech.com/wireless-rf/lora.html> . Estados unidos.

- Semtech SX1278 (2015). SX 1276/77/78/79 – 137 MHz to 1020 Mhz low power long range transceiver. Datasheet. Semtech corporation. Estados unidos.
- Introduction to LoRa and LoRaWAN: What is LoRa and How Does it Work?. <https://circuitdigest.com/article/introduction-to-lora-and-lorawan-what-is-lora-and-how-does-it-work>. Estados unidos.
- Rodríguez Munca, J (2016). Dispositivo LoRa de comunicación a largo alcance y bajo consumo energético para aplicaciones del ámbito del desarrollo. Trabajo fin de master. Universidad Politécnica y Universidad Complutense de Madrid.
- Librería LoRaLib. <https://github.com/jgromes/LoRaLib>.
- Librería LiquidCrystal\_I2C. <https://github.com/fdebrabander/Arduino-LiquidCrystal-I2C-library>.
- Librería LowPower. <https://github.com/rocketscream/Low-Power>.
- Semtech (2015). LoRa Modulation basics Revision 2. Datasheet. Semtech corporation. Estados unidos.

## Capítulo 7: Anexo: Hojas de datos de los componentes utilizados.

**ATmega328P****8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System  
Programmable Flash****DATASHEET**

### Features

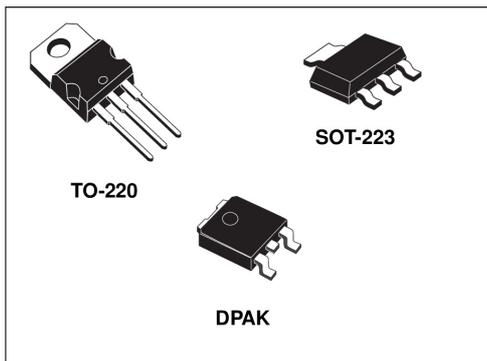
- High performance, low power AVR® 8-bit microcontroller
- Advanced RISC architecture
  - 131 powerful instructions – most single clock cycle execution
  - 32 × 8 general purpose working registers
  - Fully static operation
  - Up to 16MIPS throughput at 16MHz
  - On-chip 2-cycle multiplier
- High endurance non-volatile memory segments
  - 32K bytes of in-system self-programmable flash program memory
  - 1Kbytes EEPROM
  - 2Kbytes internal SRAM
  - Write/erase cycles: 10,000 flash/100,000 EEPROM
  - Optional boot code section with independent lock bits
    - In-system programming by on-chip boot program
    - True read-while-write operation
  - Programming lock for software security
- Peripheral features
  - Two 8-bit Timer/Counters with separate prescaler and compare mode
  - One 16-bit Timer/Counter with separate prescaler, compare mode, and capture mode
  - Real time counter with separate oscillator
  - Six PWM channels
  - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
    - Temperature measurement
  - Programmable serial USART
  - Master/slave SPI serial interface
  - Byte-oriented 2-wire serial interface (Phillips I<sup>2</sup>C compatible)
  - Programmable watchdog timer with separate on-chip oscillator
  - On-chip analog comparator
  - Interrupt and wake-up on pin change
- Special microcontroller features
  - Power-on reset and programmable brown-out detection
  - Internal calibrated oscillator
  - External and internal interrupt sources
  - Six sleep modes: Idle, ADC noise reduction, power-save, power-down, standby, and extended standby



# LD1117A

## Low drop fixed and adjustable positive voltage regulators

Datasheet - production data



- Available in  $\pm 2\%$  (at 25 °C) and 4% in full temperature range
- High supply voltage rejection:
  - 80 dB typ. (at 25 °C)
- Temperature range: 0 °C to 125 °C

### Description

The LD1117A is a low drop voltage regulator able to provide up to 1 A of output current, available also in adjustable versions ( $V_{REF} = 1.25\text{ V}$ ). In fixed versions, the following output voltages are offered: 1.2 V, 1.8 V, and 3.3 V. The device is supplied in: SOT-223, DPAK and TO-220. Surface mounted packages optimize the thermal characteristics while offering a relevant space saving advantage. High efficiency is assured by an NPN pass transistor. Only a very common 10  $\mu\text{F}$  minimum capacitor is needed for stability. Chip trimming allows the regulator to reach a very tight output voltage tolerance, within  $\pm 2\%$  at 25 °C.

### Features

- Low dropout voltage:
  - 1.15 V typ. @  $I_{OUT} = 1\text{ A}$ , 25 °C
- Very low quiescent current:
  - 5 mA typ. @ 25 °C
- Output current up to 1 A
- Fixed output voltage of:
  - 1.2 V, 1.8 V, 3.3 V
- Adjustable version availability ( $V_{REF} = 1.25\text{ V}$ )
- Internal current and thermal limit
- Only 10  $\mu\text{F}$  for stability

Table 1. Device summary

Order codes			Output voltage
SOT-223	DPAK	TO-220	
LD1117AS12TR	LD1117ADT12TR		1.2 V
LD1117AS18TR	LD1117ADT18TR		1.8 V
LD1117AS33TR	LD1117ADT33TR	LD1117AV33	3.3 V
LD1117ASTR	LD1117ADT-TR		Adjustable from 1.25 V



LM2596

SNVS124E – NOVEMBER 1999 – REVISED FEBRUARY 2020

## LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator

### 1 Features

- New product available: [LMR33630 36-V, 3-A, 400-kHz synchronous converter](#)
- 3.3-V, 5-V, 12-V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range: 1.2-V to 37-V  $\pm 4\%$  maximum over line and load conditions
- Available in TO-220 and TO-263 packages
- 3-A output load current
- Input voltage range up to 40 V
- Requires only four external components
- Excellent line and load regulation specifications
- 150-kHz Fixed-frequency internal oscillator
- TTL shutdown capability
- Low power standby mode,  $I_Q$ , typically 80  $\mu A$
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current-limit protection
- Create a custom design using the LM2596 with the [WEBENCH Power Designer](#)

### 2 Applications

- [Appliances](#)
- [Grid infrastructure](#)
- [EPOS](#)
- [Home theater](#)

### 3 Description

The LM2596 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 3-A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3 V, 5 V, 12 V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation, and a fixed-frequency oscillator.

The LM2596 series operates at a switching frequency of 150 kHz, thus allowing smaller sized filter components than what would be required with lower frequency switching regulators. Available in a standard 5-pin TO-220 package with several different lead bend options, and a 5-pin TO-263 surface mount package.

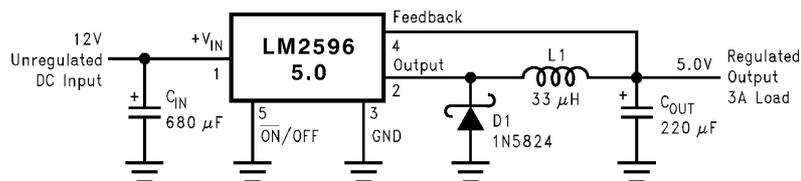
The new product, [LMR33630](#), offers reduced BOM cost, higher efficiency, and an 85% reduction in solution size among many other features. See the [device comparison table](#) to compare specs. [Start WEBENCH Design with LMR33630](#).

#### Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM2596	TO-220 (5)	14.986 mm x 10.16 mm
	TO-263 (5)	10.10 mm x 8.89 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

#### Typical Application



(Fixed Output Voltage Versions)

Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated



## LM78XX/LM78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

### Features

- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

### General Description

The LM78XX series of three terminal positive regulators are available in the TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

### Ordering Information

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature
LM7805CT	±4%	TO-220	-40°C to +125°C
LM7806CT			
LM7808CT			
LM7809CT			
LM7810CT			
LM7812CT			
LM7815CT			
LM7818CT			
LM7824CT			
LM7805ACT			
LM7806ACT			
LM7808ACT			
LM7809ACT			
LM7810ACT			
LM7812ACT			
LM7815ACT			
LM7818ACT			
LM7824ACT			

LM78XX/LM78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

# P2N2222A

## Amplifier Transistors

### NPN Silicon

#### Features

- These are Pb-Free Devices\*

#### MAXIMUM RATINGS (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Collector – Emitter Voltage	V <sub>CEO</sub>	40	Vdc
Collector – Base Voltage	V <sub>CBO</sub>	75	Vdc
Emitter – Base Voltage	V <sub>EBO</sub>	6.0	Vdc
Collector Current – Continuous	I <sub>C</sub>	600	mAdc
Total Device Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	625 5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T <sub>C</sub> = 25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	1.5 12	W mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T <sub>J</sub> , T <sub>stg</sub>	-55 to +150	°C

#### THERMAL CHARACTERISTICS

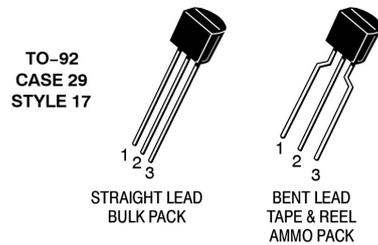
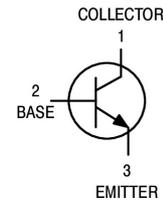
Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	R <sub>θJA</sub>	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	R <sub>θJC</sub>	83.3	°C/W

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

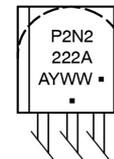


ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



#### MARKING DIAGRAM



- A = Assembly Location
- Y = Year
- WW = Work Week
- = Pb-Free Package

(Note: Microdot may be in either location)

#### ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
P2N2222AG	TO-92 (Pb-Free)	5000 Units/Bulk
P2N2222ARL1G	TO-92 (Pb-Free)	2000/Tape & Ammo

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specification Brochure, BRD8011/D.



# PIC16F87XA

## 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F874A
- PIC16F877A

### High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input  
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory, Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM), Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

### Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during Sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

### Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
  - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
  - Comparator outputs are externally accessible

### Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

### CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I <sup>2</sup> C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2



SX1276/77/78  
High Link Budget Integrated UHF Transceiver  
**ERRATA NOTE**

## Errata Note

---

# SX1276/77/78 – 137 to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver

---

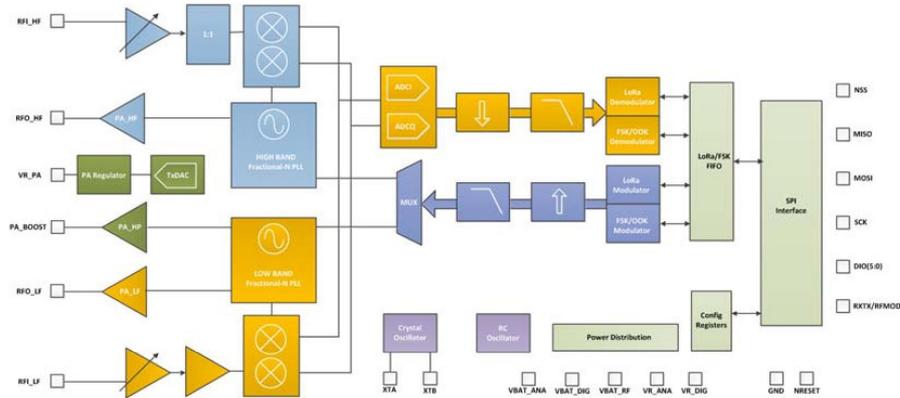


**SX1276/77/78/79**

**WIRELESS & SENSING PRODUCTS**

**DATASHEET**

**SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver**



**GENERAL DESCRIPTION**

The SX1276/77/78/79 transceivers feature the LoRa™ long range modem that provides ultra-long range spread spectrum communication and high interference immunity whilst minimising current consumption.

Using Semtech’s patented LoRa™ modulation technique SX1276/77/78/79 can achieve a sensitivity of over -148dBm using a low cost crystal and bill of materials. The high sensitivity combined with the integrated +20 dBm power amplifier yields industry leading link budget making it optimal for any application requiring range or robustness. LoRa™ provides significant advantages in both blocking and selectivity over conventional modulation techniques, solving the traditional design compromise between range, interference immunity and energy consumption.

These devices also support high performance (G)FSK modes for systems including VMBus, IEEE802.15.4g. The SX1276/77/78/79 deliver exceptional phase noise, selectivity, receiver linearity and IIP3 for significantly lower current consumption than competing devices.

**ORDERING INFORMATION**

Part Number	Delivery	MOQ / Multiple
SX1276IMLTRT	T&R	3000 pieces
SX1277IMLTRT	T&R	3000 pieces
SX1278IMLTRT	T&R	3000 pieces
SX1279IMLTRT	T&R	3000 pieces
SX1276WS	Wafer Form	1 Wafer (2000 dies)

- ◆ QFN 28 Package - Operating Range [-40;+85°C]
- ◆ Pb-free, Halogen free, RoHS/WEEE compliant product

**KEY PRODUCT FEATURES**

- ◆ LoRa™ Modem
- ◆ 168 dB maximum link budget
- ◆ +20 dBm - 100 mW constant RF output vs. V supply
- ◆ +14 dBm high efficiency PA
- ◆ Programmable bit rate up to 300 kbps
- ◆ High sensitivity: down to -148 dBm
- ◆ Bullet-proof front end: IIP3 = -11 dBm
- ◆ Excellent blocking immunity
- ◆ Low RX current of 9.9 mA, 200 nA register retention
- ◆ Fully integrated synthesizer with a resolution of 61 Hz
- ◆ FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa™ and OOK modulation
- ◆ Built-in bit synchronizer for clock recovery
- ◆ Preamble detection
- ◆ 127 dB Dynamic Range RSSI
- ◆ Automatic RF Sense and CAD with ultra-fast AFC
- ◆ Packet engine up to 256 bytes with CRC
- ◆ Built-in temperature sensor and low battery indicator

**APPLICATIONS**

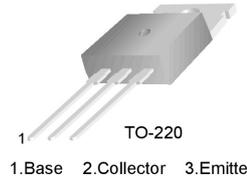
- ◆ Automated Meter Reading.
- ◆ Home and Building Automation.
- ◆ Wireless Alarm and Security Systems.
- ◆ Industrial Monitoring and Control
- ◆ Long range Irrigation Systems



### TIP31 Series(TIP31/31A/31B/31C)

#### Medium Power Linear Switching Applications

- Complementary to TIP32/32A/32B/32C



#### NPN Epitaxial Silicon Transistor

#### Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage : TIP31	40	V
	: TIP31A	60	V
	: TIP31B	80	V
	: TIP31C	100	V
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage : TIP31	40	V
	: TIP31A	60	V
	: TIP31B	80	V
	: TIP31C	100	V
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage	5	V
$I_C$	Collector Current (DC)	3	A
$I_{CP}$	Collector Current (Pulse)	5	A
$I_B$	Base Current	1	A
$P_C$	Collector Dissipation ( $T_C=25^\circ\text{C}$ )	40	W
$P_C$	Collector Dissipation ( $T_a=25^\circ\text{C}$ )	2	W
$T_J$	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
$T_{STG}$	Storage Temperature	- 65 ~ 150	$^\circ\text{C}$

#### Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
$V_{CEO(sus)}$	* Collector-Emitter Sustaining Voltage : TIP31	$I_C = 30\text{mA}, I_B = 0$	40		V
	: TIP31A				
	: TIP31B				
	: TIP31C				
$I_{CEO}$	Collector Cut-off Current : TIP31/31A	$V_{CE} = 30\text{V}, I_B = 0$ $V_{CE} = 60\text{V}, I_B = 0$		0.3	mA
	: TIP31B/31C			0.3	
$I_{CES}$	Collector Cut-off Current			200	$\mu\text{A}$
				: TIP31	
				: TIP31A	
				: TIP31B	
$I_{EBO}$	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 5\text{V}, I_C = 0$		1	mA
				: TIP31C	
$h_{FE}$	* DC Current Gain	$V_{CE} = 4\text{V}, I_C = 1\text{A}$ $V_{CE} = 4\text{V}, I_C = 3\text{A}$	25	50	
			10		
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 3\text{A}, I_B = 375\text{mA}$		1.2	V
$V_{BE(sat)}$	* Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE} = 4\text{V}, I_C = 3\text{A}$		1.8	V
$f_T$	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 10\text{V}, I_C = 500\text{mA}$	3.0		MHz

\* Pulse Test: PW $\leq$ 300 $\mu\text{s}$ , Duty Cycle $\leq$ 2%

TIP31 Series(TIP31/31A/31B/31C)