
Diseño conceptual, preliminar y detallado de un sistema de ignición remoto para un motor cohete



Presentado por

Wilson Eduardo Valderrama Calpa

LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Fundación Universitaria Los Libertadores

Facultad de Ingenierías y Ciencias Básicas

Programa de Ingeniería Aeronáutica

Bogotá DC, Colombia

2017

Página dejada en blanco intencionalmente.

Diseño conceptual, preliminar y detallado de un sistema de ignición remoto para un motor cohete

Presentado por
Wilson Eduardo Valderrama Calpa
en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar por el
grado de

Ingenierio Aeronáutico

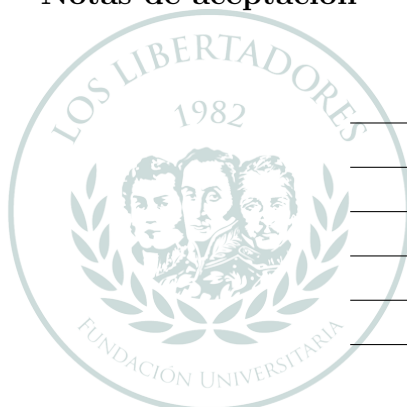
Dirigida por
MSc TIMOTÉ Cristhian
Supervisada por
MSc REYES CABALLERO Diego Armando

Presentada a
Programa de Ingeniería Aeronáutica
Fundación Universitaria Los Libertadores
Bogotá DC, Colombia.

2017

Página dejada en blanco intencionalmente.

Notas de aceptación



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá DC, Noviembre de 2017.

Página dejada en blanco intencionalmente.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Las directivas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores y a los resultados de su trabajo.

Página dejada en blanco intencionalmente.

Dedicatoria



A mis padres, Wilson Valderrama y Olga Lucía Calpa que son los pilares fundamentales en mi vida al brindarme su apoyo incondicional y consejos, por el gran amor que me demuestran cada día, por todo el esfuerzo y la confianza que depositaron en mí para lograr mis metas lejos de casa.

*“Pide entendimiento y busca la sabiduría
como si buscaras plata o un tesoro escondido.
Así llegarás a entender lo que es obedecer
a Dios y conocerlo de verdad.”*
Proverbios 2:3-5 TLA.

Página dejada en blanco intencionalmente.

Agradecimientos



A Dios, por darme salud, sabiduría, entendimiento para seguir adelante con mi carrera y permitir lograr mi objetivo profesional.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por su gran dedicación, sus consejos, su inmenso amor y confiar en mí durante mi formación profesional, logrando así lo que hoy es nuestro éxito.

Al director de proyecto, Cristhian Timoté, gracias por las plantillas y la guía de su tesis de maestría, junto a las asesorías en el manejo del editor de texto **L^AT_EX**, para la redacción del presente documento.

A Diego Reyes, director del semillero de investigación AERODES&I- Cohetería de la Fundación Universitaria Los Libertadores, por su apoyo, dedicación y sugerencias, gracias a ello el sistema tuvo mejoras sustanciales para su futura utilización, además de ser él quien me acompañó en la realización de la última fase de pruebas.

A Saulo Gómez por sus sugerencias en la mejora del sistema y diseño del circuito, también por darme ideas para salir del atasco que por un tiempo tuvo el proyecto.

A Eugenio Thompson, ingeniero y ponente del Planetario de Bogotá, por sus asesorías de radio-frecuencias, antenas, frecuencias experimentales y primera fase de pruebas.

A Carlos Andrés Cubides, gerente de proyectos de diseño y desarrollo de la Fábrica de Explosivos Antonio Ricaurte, agradezco sus exigencias de operación impuestas en este proyecto, con las cuales el sistema es mucho más robusto y versátil de manejar para la futura materialización de este sistema de ignición; también por la disposición de prestar las instalaciones de INDUMIL con el propósito de probar el sistema de ignición junto con el cohete de pruebas.

A Aixa Ardila, docente en La Fundación Universitaria Los Libertadores, por la orientación en la activación de relevos por medio de micro-controladores y transistores.

A Luis Ernesto Cardenas, docente en La Fundación Universitaria Los Libertadores, por orientarme en la fase inicial de la emisión y recepción de radio-frecuencias.

Finalmente al Joven investigador Mario Solorzano por su disposición y colaboración en la fase de pruebas.

De igual manera les agradezco a todas aquellas personas que de una u otra forma me ayudaron en mi proyecto.

Página dejada en blanco intencionalmente.

Índice general

1	Introducción	1
2	Marco Teórico	3
2.1	Sistema de Ignición	3
2.1.1	Caja de control	4
2.1.2	Ignitor	4
2.2	Proceso de ignición	9
2.3	Comunicación por Radio-Frecuencia (RF)	9
3	Antecedentes	15
3.1	Sistemas de ignición a nivel internacional	15
3.1.1	Sistema de Ignición <i>Modelismo Espacial</i>	15
3.1.2	Sistema de ignición <i>Estes Educator</i>	16
3.1.3	Sistema de ignición de cohetes <i>GO BOX</i>	18
3.2	Sistemas de ignición a nivel local	19
3.2.1	Sistema de ignición tipo <i>Resistencia comercial</i>	19
3.2.2	Sistema de ignición “Cohete Isaias I”	19
4	Metodología de Diseño	21
4.1	Ignitor	21
4.2	Espectro electromagnético	22
4.2.1	Definición	22
4.2.2	Legalidad	24
4.3	Señal de ignición por Radio-Frecuencia (RF)	26
4.4	Kit de Transmisión	26
4.4.1	Emisor RF	27
4.4.2	Receptor RF	27
4.4.3	Antena	28
4.4.4	Integrados HT 12	30
4.4.5	El cálculo para la resistencias de los LED	32

4.5 Repetidor	35
4.6 Faro (<i>Beacon</i>)	35
4.7 Dispositivo de Pre-ignición	36
4.8 Esquemas del sistema de Ignición.	36
5 Emulación	47
6 Comparación y Discusión	51
7 Recomendaciones y trabajos futuros	53
8 Conclusiones	55
Apéndice A Informe Prueba de Ignitor	59
Apéndice B Atribución de Bandas de Frecuencia del Espectro Radioelétrico	65
Apéndice C Cálculo de Antena	67
Apéndice D Cálculo LED	69
Apéndice E Control de RF con los circuitos integrados HT12E y HT12D	71
Apéndice F Datasheet HT12E	83
Apéndice G Datasheet HT12D	99
Apéndice H Datasheet Kit de transmisión RF	109
Apéndice I Datasheet Relé 5V	111
Apéndice J Datasheet Transistor BC 547	115

Índice de figuras

2.1	Sistema de ignición de cohetes estándar.	3
2.2	Sistema de ignición integrado a la plataforma.	4
2.3	Caja de control.	4
2.4	Localización de ignitor en el motor cohete.	5
2.5	Ignitor tipo <i>powder can</i>	8
2.6	Ignitor pirogénico.	8
2.7	Sistema simple de Radio Comunicación	10
2.8	Onda modulada en AM y FM	11
2.9	Acción del Circuito Modulador	12
2.10	Acción del Circuito demodulador	12
2.11	Modulación ASK	13
3.1	Sistema de ignición <i>Modelismo Espacial</i>	16
3.2	Sistema de ignición <i>Estes Educator</i>	16
3.3	Esquema de lugar de lanzamiento de cohetes.	17
3.4	Sistema de ignición <i>GO BOX</i>	18
3.5	Sistema de ignición tipo <i>Resistencia comercial</i>	19
3.6	Sistema de ignición “Cohete Isaias I”	20
4.1	Ignitor Propelente “Polvo de Ángel”	21
4.2	Ignitor “Estopín”	22
4.3	Espectro Electromagnético. (vista ampliada a la derecha del espectro visible)	23
4.4	Espectro Electromagnético. (vista ampliada frecuencia 300-440MHz)	23
4.5	Tabla de bandas restringidas.	26
4.6	Transmisor RF (Izquierda: 433 MHz/Derecha:315 MHZ)	27
4.7	Transmisor RF (Izquierda: 433 MHz/Derecha:315 MHZ)	27
4.8	Transmisor RF (Izquierda: 433 MHz/Derecha:315 MHZ)	28
4.9	Tipos de Antenas	29
4.10	Integrado HT 12	30
4.11	Esquema radio-emisor con integrado HT 12E	31
4.12	Asignación de pines HT 12E	31

4.13	Transmisor RF (Esquema de radio receptor)	32
4.14	Asignación de pines HT 12D	32
4.15	Características LED.	33
4.16	Efectos en la propagación de diferentes bandas.	35
4.17	Vista esquemático Emisor.	36
4.18	Vista PCB Emisor.	37
4.19	Vista sin componentes Emisor.	37
4.20	Vista 3D con componentes Emisor.	38
4.21	Vista esquemático Receptor.	38
4.22	Vista PCB Receptor.	39
4.23	Vista sin componentes Receptor.	39
4.24	Vista 3D con componentes Receptor.	40
4.25	Vista esquemático Repetidor.	40
4.26	Vista PCB Repetidor.	41
4.27	Vista sin componentes Repetidor.	41
4.28	Vista 3D con componentes Repetidor.	42
4.29	Vista esquemático Pre-ignición.	42
4.30	Vista PCB Pre-ignición.	43
4.31	Vista sin componentes Pre-ignición.	43
4.32	Vista 3D con componentes Pre-ignición.	44
4.33	Vista esquemático Beacon.	44
4.34	Vista PCB Beacon.	44
4.35	Vista sin componentes Beacon.	45
4.36	Vista 3D con componentes Beacon.	45
5.1	Emulación Sistema en Espera.	48
5.2	Emulación de transmisión por el canal 1.	49
5.3	Emulación de transmisión por el canal 2.	49
5.4	Emulación de transmisión por el canal 3.	50
5.5	Emulación de transmisión por el canal 4.	50

Índice de cuadros

4.1	Especificaciones técnicas del emisor RF.	27
-----	--------------------------------------------------	----

4.2	Especificaciones técnicas del receptor RF	28
-----	-----------------------------------------------------	----

6.1	Cuadro Comparativo de sistemas de ignición para cohetes.	51
-----	------------------------------------------------------------------	----

Página dejada en blanco intencionalmente.

Abreviaturas

AF Audio Frecuencia

AlGaP Fosfato de Aluminio-Galio

AM Amplitud Modulada

ASK Amplitude-shift keying

BFO Beat Frequency Oscillato

COP Peso Colombiano

CW Continuous wave

FM Frecuencia Modulada

ft Pie (foot)

GaAs Arseniuro de galio

GaAsP Fosfuro de Arsenico-Galio

GaInN Nitruro de Indio-Galio

GND Ground

Hz Hertz

LED Light-emitting Diode

m Metro

MHz Mega-Hertz

PCB Printed Circuit Board

RF Radio Frecuencia

SiC Carburo de Silicio

UHF Ultra High Frequency

USD Dolar norte-americano

Página dejada en blanco intencionalmente.

Diseño conceptual, preliminar y detallado de un sistema de ignición remoto para un motor cohete

Resumen

Sistema de ignición para cohetes es el método controlado para encender un motor cohete. Actualmente se encuentran disponibles muchos sistemas de ignición cohete tanto comerciales como de desarrollo independiente, pero todos convergen en un mismo principio de botón, cable, ignitor y una batería.

Pero estos sistemas además de ser confiables y funcionales exigen que el operador se instale en una posición cercana a la plataforma de lanzamiento del cohete, quedando en constante exposición a los gases de escape y humo expulsado por el cohete. Este es el caso de los integrantes del semillero de cohetaría de la Fundación Universitaria Los Libertadores, quienes realizan pruebas estáticas de motores cohete, estando muy cerca del mismo, creando un ambiente potencialmente peligroso.

Para dar solución a éste problema se propone el diseño de un sistema de ignición remoto para cohetes, pues aprovechando las transmisiones de radio, se puede activar un motor cohete a una distancia segura de la plataforma de lanzamiento, dando un tiempo de reposo después de cada prueba, para que los gases de escape se disipen y de ésta manera sea segura la entrada del equipo de control.

Se diseña un sistema de ignición remoto desde receptor, emisor, repetidor y pre-ignitor, que conectados en sincronía, cumple el trabajo de encender un motor cohete cuyo operador se encontrará a una distancia segura. El resultado es una maqueta funcional, cuyas pruebas ejecutadas dieron un alcance de 150 m y 300 m con estación repetidora.

Palabras claves: Sistema de ignición, radio-frecuencia, ignitor, cohete.

Página dejada en blanco intencionalmente.

Objetivos

A continuación se presentan los objetivos, generales y específicos, propuestos para el Diseño conceptual, preliminar y detallado de un sistema de ignición remoto para un motor cohete.

Objetivo General:

Diseñar un sistema de ignición remoto para un motor cohete.

Objetivos Específicos:

- Realizar el diseño conceptual, preliminar y detallado del sistema ignición para un motor cohete.
- Desarrollar el diseño del sistema de ignición para un motor cohete por medio de una solución funcional de bajo costo.
- Discutir y comparar la solución propuesta con sistemas de ignición de motores cohete pequeños ¹ a nivel internacional. actuales.

¹Capaces de transportar hasta 2 toneladas de carga útil a LEO (*Low Earth Orbit* / Orbitsa baja terrestre)[1]

Página dejada en blanco intencionalmente.

Capítulo 1

Introducción

En el modelismo espacial (actividad dedicada a volar cohetes a escala) realizada tanto en hobbies como para investigación escolar y universitaria, se han venido dando pasos cada vez más importantes. Pero es importante recordar que aunque parezcan juguetes, los cohetes a escala son objetos potencialmente peligrosos y pueden causar un accidente, especialmente en la fase de despegue, pues es cuando el operador se encuentra peligrosamente cerca del cohete.

La ignición de un cohete es un proceso en el que se deben manejar extremas medidas de seguridad, una de estas es que el personal se encuentre a una distancia segura de la plataforma de lanzamiento de cohetes y mantenerse lejos de los gases de escape remanente en el entorno inmediatamente después que el cohete despegue.

Siendo estas razones de peso, se establece una distancia de seguridad de una plataforma de lanzamiento de cualquier cohete, exigiendo un sistema de ignición que además de ser seguro, confiable, integro y de fácil manejo, mantenga al operador lo más alejado posible de la plataforma de lanzamiento.

Página dejada en blanco intencionalmente.

Capítulo 2

Marco Teórico

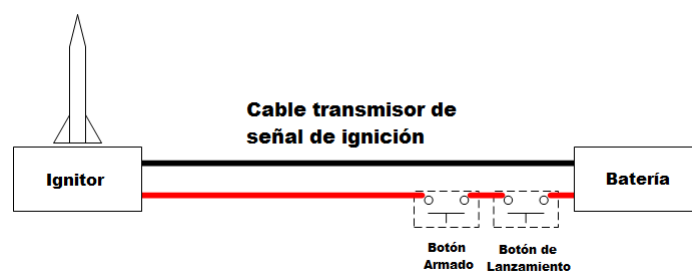
En el capítulo 2, es descrito el marco de referencia del proyecto, con esto se tendrá una idea básica para mayor comprensión de mecánica y funcionamiento del sistema y subsistemas del sistema de ignición para cohetes, detallando el sistema de ignición como un conjunto y sus componentes tales como caja de control, ignitor y radio-frecuencia.

2.1 Sistema de Ignición

El sistema de ignición es un conjunto de distintos componentes, cuya tarea es proveer el estímulo para que inicie el proceso de ignición del motor cohete. Este estímulo puede ser eléctrico, mecánico, químico, por onda de choque, por rayo láser o una combinación de estos [2]. La finalidad del sistema de ignición, es brindarle al operario un modo seguro de encender el motor cohete, esta seguridad, trata de mantener al operario a una distancia segura y proveer un mínimo posible de lanzamientos fallidos.

El sistema de ignición es el encargado de iniciar la combustión de la mezcla propelente sólido de un cohete entre sus componentes más importantes se encuentran una batería, un ignitor, caja de control y un cable conductor para encender el ignitor. En la figura 2.1 se puede observar un sistema de ignición para cohetes estándar anteriormente descrito.

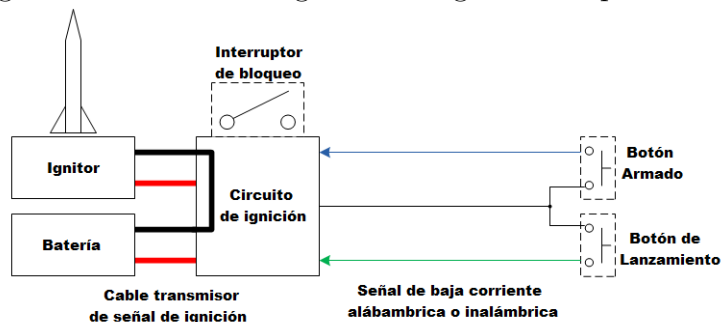
Figura 2.1: Sistema de ignición de cohetes estándar.



Fuente:[3]; Traducción: El autor

También existe el modelo remotamente integrado donde la batería y el circuito de ignición se encuentran junto a la plataforma de lanzamiento de cohetes tal como lo muestra la figura 2.2.

Figura 2.2: Sistema de ignición integrado a la plataforma.



Fuente:[3]; Traducción: El autor

2.1.1 Caja de control

La caja de control cumple la función de integrar los botones de activación, indicadores, contactos, etc, requeridos para la activación del ignitor. En algunos sistemas la caja de control contiene la batería que energiza el sistema. En la figura 2.3 se puede observar un ejemplo de caja de control amateur para modelismo espacial.

Figura 2.3: Caja de control.



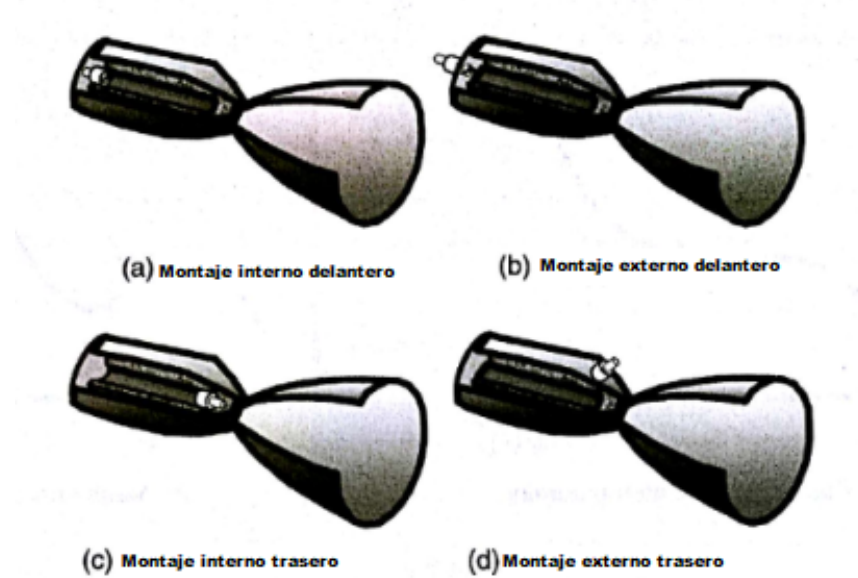
Fuente:[3]

2.1.2 Ignitor

Es un dispositivo cuya función es inducir una reacción de combustión de una manera predecible y controlada a un régimen específico[2].

Un ignitor para un motor de propelente sólido debe asegurar que toda la superficie interna del grano (estado sólido) del propelente alcance la temperatura de ignición [4] de 1500°C para propelente candy¹. Dicho ignitor puede ser montado tanto en la parte interna como en la parte externa del motor cohete como lo muestra la figura 2.4.

Figura 2.4: Localización de ignitor en el motor cohete.



Fuente:[5]; Traducción: El autor

La masa del ignitor debe ser pequeña por lo general menos del 1% de la masa del Propelente del motor y debe reaccionar en la mayoría de casos en un entorno donde la cámara de combustión se encuentre a baja presión, esto contribuye a pequeña cantidad de impulso específico², aumentando el impulso total³ del motor. El diseñador debe reducir la masa del propelente del ignitor y la masa neta del soporte físico (hardware) al mínimo, pero debe asegurar que sea lo suficientemente grande para certificar la ignición, dependiendo del diseño de motor y condiciones operativas (que son diferentes para cada tipo de motor que se desea encender). [4]

La dificultad con el diseño en general de los ignitores radica en que para cada diseño de motor se requiere un diseño de ignitor diferente, pues los motores cohete tienen diferentes configuraciones, combustibles, etc. Aunque hay casos en que un un diseño de ignitor puede ser compatible con ciertos motores de características similares, lo que facilita la

¹Propelente Candy: Propelente usado en el Semillero de Investigación de Cohetería de la Fundación Universitaria Los Libertadores a base de nitrato de potasio y dextrosa

²Impulso específico: Es el impulso total por unidad de peso del propelente.

³Impulso total: Es la fuerza de empuje por unidad de tiempo.

producción de éstos. La aproximación tomada usualmente está en determinar el poder calorífico requerido para elevar la temperatura de la mezcla propelente. El poder térmico es liberado por el calor transferido desde el ignitor (fuente de calor) a la mezcla propelente del motor del motor. [6]

Requerimientos de combustión para un ignitor

El ignitor debe cumplir como mínimo los siguientes requerimientos:

- Producir una llama de muy alta temperatura (mayor a 3000 K) para garantizar que el combustible del motor cohete sea encendido.
- Tener alta tasa de combustión para liberar el calor de combustión en el menor tiempo posible.
- Ser químicamente estable para evitar posibles accionamientos accidentales antes de ser instalado en el motor a encender.
- Producir la menor cantidad de desperdicios posibles dado que la cámara de combustión, la garganta y la tobera deben quedar limpias para no afectar el desempeño del motor cohete.
- Tener un mínimo de retraso de ignición, esto con el fin de evitar la incertidumbre del operador en caso de ignición fallida.
- Tener una máxima *densidad aparente*⁴ con el objetivo de encapsular la mayor cantidad de carga primaria por unidad de volumen disminuyendo el tamaño del ignitor.
- Ser insensible a radiación electromagnética para evitar activaciones accidentales o no deseadas en presencia de campos electromagnéticos.

Tipos de Ignitores

Hay dos clases de ignitores: **pirotécnicos** y **pirogénicos**, ambos tipos de ignitores son iniciados por una **carga primaria o explosivo en miniatura (*squib*)** que es activado por la señal de ignición.

⁴La Densidad Aparente de un material o un cuerpo es la relación entre el volumen y el peso seco, incluyendo huecos y poros que contenga, aprentes o no. Esta definición se emplea tanto en Geología como en la Teoría de los Materiales.[7]

Ignitores Pirotécnicos

En la práctica industrial, los ignitores pirotécnicos son definidos como ignitores que usan explosivos sólidos o usan la energía química propia del propelente (usualmente en pellets⁵ muy pequeños) como materiales productores de calor[4]. Los ignitores pirotécnicos son generalmente una pequeña carga explosiva cuya misión es generar una masa de gases suficientemente caliente para encender el grano propelente del motor cohete. Dentro del grupo de los ignitores pirotécnicos, existen dos clasificaciones:

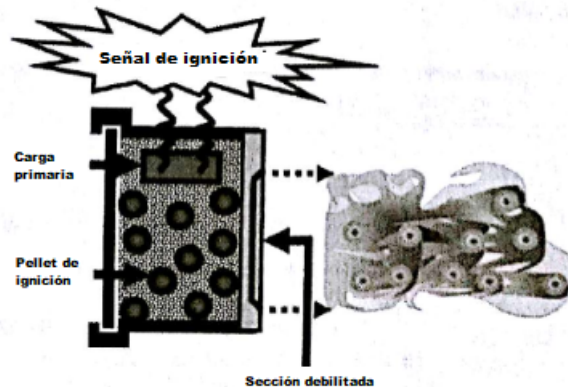
- Ignitores **no confinados**: Son los más simples de los ignitores pirotécnicos, éstos dependen de la cámara de empuje y la tobera para confinar los gases durante la ignición. En algunos diseños la tobera es sellada con un disco (opérculo) para facilitar el confinamiento de los gases. La ventaja de este tipo de ignitor es su bajo peso, pero son potencialmente mas difíciles y en ocasiones peligrosos en el soporte o mantenimiento de estos. [5]
- Ignitores **confinados**: También llamados ignitores de ruptura o de ráfaga son ignitores que contienen el material de ignición encapsulado o como su nombre lo indica confinado. Este tipo de ignitor quema su contenido al recibir la señal de ignición, los gases calientes de la combustión se expanden hasta romper la cápsula que lo contiene, éstos gases se difunden por todo el espacio del grano propelente del motor haciendo que éste inicie la combustión. [5]

Existen varios tipos de ignitores confinados de los cuales el usado en el semillero de investigación de la Fundación Universitaria Los Libertadores es el tipo ***powder can***; los demás pueden estudiarse a mayor profundidad en la siguiente referencia. [5]

El ignitor tipo *powder can* recibe la señal de ignición permitiendo que la carga primaria haga combustión y al tiempo encendiendo las pellets contenidas dentro del ignitor. Por diseño éste tipo de ignitor para encender el propelente del motor se elabora intencionalmente con una sección debilitada para permitir que la ráfaga de gases escape en una dirección específica. Este tipo de ignitor es normalmente usado en motores pequeños. En la figura 2.5 hay un esquema del ignitor tipo *powder can* y su funcionamiento.

⁵Pequeñas partículas de propelente, se caracterizan por una gran superficie y corto tiempo de quemado.

Figura 2.5: Ignitor tipo *powder can*.

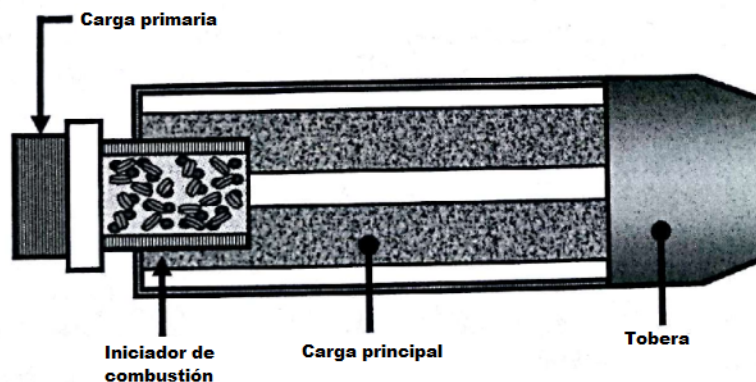


Fuente:[5]; Traducción: El autor

Ignitores Pirogénicos

Es básicamente un motor cohete en miniatura que enciende el motor cohete principal. Este mini-cohete no está diseñado para generar empuje, sino para usar la temperatura de los gases de escape que son dirigidos a la cámara donde se encuentra almacenado el propelente del motor, transmitiendo calor y por consiguiente la combustión del motor principal. Un ejemplo es mostrado en la figura 2.6 [5].

Figura 2.6: Ignitor pirogénico.



Fuente:[5]; Traducción: El autor

2.2 Proceso de ignición

La ignición de los propelentes en un motor cohete es lograda por medio de un *ignitor* o por *reacción hipergólica* ⁶.

La ignición de un Propelente sólido por medio de *ignitor* consiste en los siguientes eventos que ocurren en un intervalo de tiempo corto (en el orden de milisegundos) [5]:

1. El ignitor recibe una señal (usualmente eléctrica).
2. El ignitor hace combustión.
3. El ignitor produce un flujo de gases calientes al interior de la cámara de combustión principal del motor.
4. El calor de los gases calientes es transferido a la superficie del grano del combustible del motor cohete.
5. La superficie del grano se ignita y ésta se extiende por todas las superficies del grano hasta que todo el combustible expuesto comienza a quemar.
6. Se estabiliza el índice de presión y flujo de gases en la cámara de empuje.

2.3 Comunicación por Radio-Frecuencia (RF)

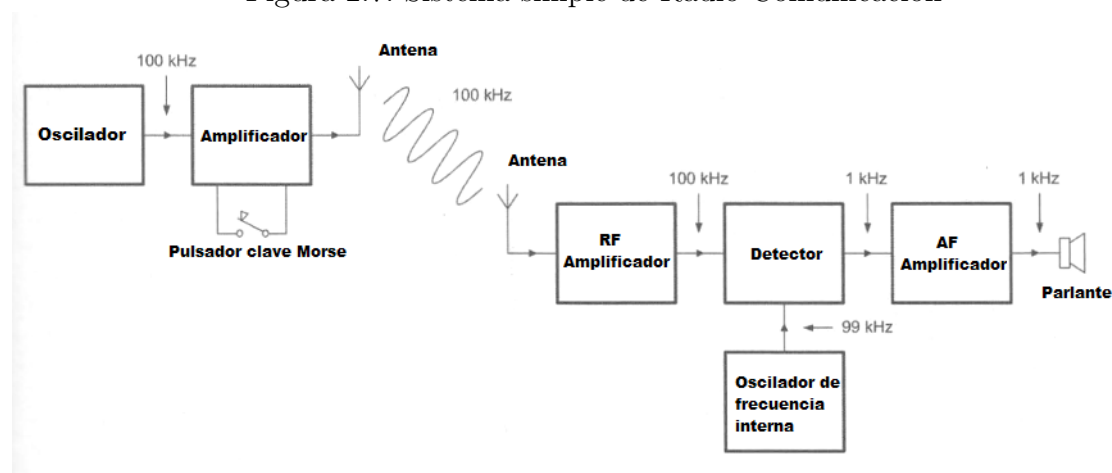
La comunicación por RF es una muy buena alternativa para reemplazar la comunicación cableada, por su fácil portabilidad, alcance, costos. Es por esto que se presenta a continuación una breve explicación de cómo funciona el envío y recepción de información usando las RF.

En un sistema simple de comunicaciones por radio frecuencia (RF) se requiere un transmisor y un receptor, interactuando por medio de onda continua de frecuencias determinadas de radio. En la figura 2.7 se presenta un esquema de un sistema de radio sencillo de comunicación por medio de *Código Morse*.⁷

⁶Reacción hipergólica: Reacción espontánea y violenta que ocurre cuando los fluidos hipergólicos (propelentes) se ponen en contacto.[8]

⁷Código o sistema de comunicación que permite la comunicación telegráfica a través de la transmisión de impulsos eléctricos de longitudes diversas o por medios visuales, como luz, sonoros o mecánicos.

Figura 2.7: Sistema simple de Radio Comunicación



Fuente:[9]; Traducción: El autor

La comunicación es lograda por medio de señales alternas de frecuencia, producidas por el **amplificador** en el **emisor**. El **receptor** consiste en un **amplificador de RF** que proporciona ganancia⁸ y selectividad,⁹ seguida de un **detector** que mezcla la señal de entrada con una señal localmente generada por el oscilador de frecuencia interna (*BFO* (*Beat Frequency Oscillator*) por sus siglas en inglés). El resultado de esta mezcla es una señal que se aloja típicamente entre $300Hz^{10}$ y $3,4MHz^{11}$ rango espectral perceptible al oído humano, ésta señal resultante es amplificada por **AF amplificador** y por ultimo reproducida en un **parlante**.

Al ampliarse las aplicaciones de la radio-comunicación se vio la necesidad de transmitir información, modulando ésta en una **frecuencia portadora**.

La **Modulación** es un proceso que cambia las propiedades de la onda portadora en sincronía con el voltaje de una señal a enviar. Los tipos de modulación mas comunes son la **amplitud¹² modulada (AM)** y la **frecuencia¹³ modulada (FM)**. Para una mejor comprensión de éste fenómeno observe la figura 2.8, en la cual en el literal (a) es un patrón de onda de radio portadora, en el literal (b) es un patrón de onda correspondiente a la información a modular, en el literal (c) es la portadora modulada en amplitud (AM). Por último en el literal (d) es la portadora modulada en frecuencia (FM), ambas (c) y (d) modulando la señal del literal (b) mostrando el patrón característico de cada tipo de

⁸Magnitud que expresa la relación entre la amplitud de una señal de salida respecto a la señal de entrada, medida en Belios (B).

⁹Medida de rendimiento de un radio-receptor para responder sólo a la frecuencia que está sintonizado y rechazar otras señales cercanas a dicha frecuencia.

¹⁰Hertz: Unidad de frecuencia del sistema internacional de unidades, representa un ciclo por segundo.

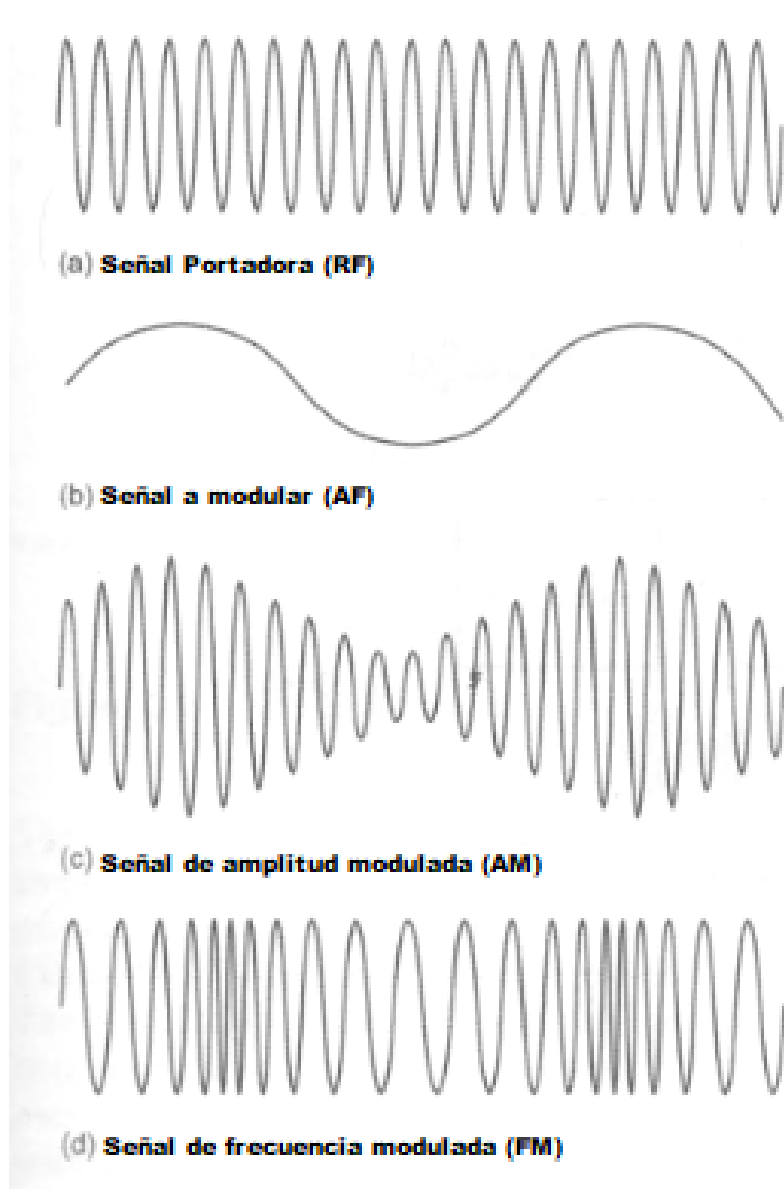
¹¹Mhz: Mega-Hertz = 1.000.000 Hz.

¹²Amplitud: Es la distancia entre el punto más alejado de una onda y el punto de equilibrio o medio.

¹³Frecuencia: Magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.

modulación.

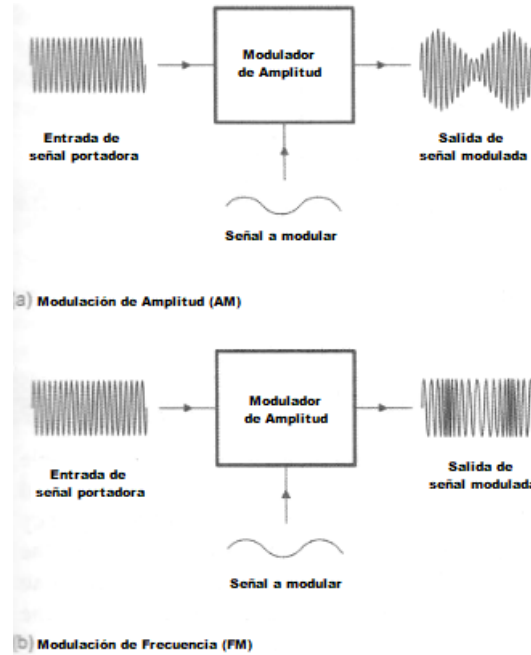
Figura 2.8: Onda modulada en AM y FM



Fuente:[9]; Traducción: El autor

La modulación es llevada a cabo por un circuito **modulador**, que “combina” la onda portadora con la señal a modular, para el caso de la modulación AM y FM observe la figura 2.9, en el literal (a) se observa las dos entradas al modulador de onda portadora y onda a modular y en la salida del modulador se muestra el resultado de la modulación tipo AM, en el literal (b) se observa exactamente el mismo proceso pero en FM.

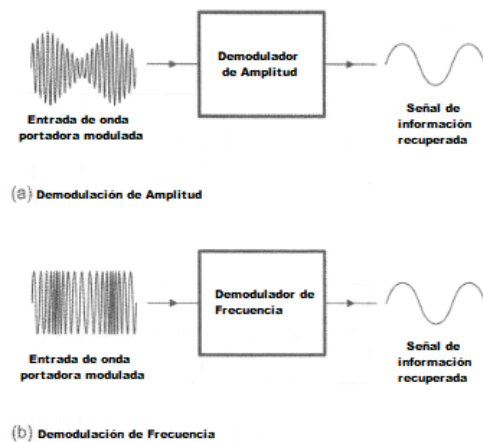
Figura 2.9: Acción del Circuito Modulador



Fuente:[9]; Traducción: El autor

La **demodulación** es el proceso inverso a la modulación, esto quiere decir que la señal que tiene la información es “recuperada” de la portadora modulada. La demodulación es llevado a cabo por un circuito **demodulador** o también llamado **detector**. Observe la figura 2.10 en el literal (a) se observa el circuito demodulador con una entrada la cual la señal recibida es admitida y en la salida del circuito se recupera la señal que contiene la información que transmitió en emisor [9].

Figura 2.10: Acción del Circuito demodulador



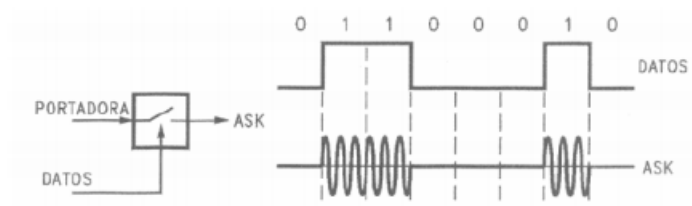
Fuente:[9]; Traducción: El autor

Una vez desarrollada ésta tecnología, el siguiente paso fue cambiar de enviar información por medio analógico (voz, AF) a enviar información por medio digital (datos).

Esta nueva forma de modulación digital es conocida como ***shift keying*** y es comparable con los diferentes métodos de modulación analógica, así pues la modulación de amplitud de onda digital, se llama ***Amplitude-shift keying (ASK)***.

Amplitude-shift keying (ASK) es un tipo de modulación digital, donde dos valores binarios 1 y 0 son asignados a una amplitud determinada, es decir, uno de los dígitos binarios (1), se representa con la presencia de la portadora a una amplitud constante y el otro dígito (0), es representado por la ausencia de la señal portadora. En la figura 2.11 se observa lo anteriormente descrito.

Figura 2.11: Modulación ASK



Fuente:[10]

Página dejada en blanco intencionalmente.

Capítulo 3

Antecedentes

En la fase investigativa se encuentra información de componentes por separado del sistema de ignición para cohetes pequeños¹, dichos sistemas de ignición son de tipo amateur convergen en un sistema de ignición por cables, como el mostrado en la parte *Sistema de Ignición* del Capítulo 2. En la búsqueda realizada durante la fase de investigación, las principales agencias del espacio tales como NASA y ESA, no ofrecen detalles o especificaciones técnicas de los sistemas de ignición usados para lanzar cohetes sin importar su escala.

3.1 Sistemas de ignición a nivel internacional

3.1.1 Sistema de Ignición *Modelismo Espacial*

Es un equipo mínimo para lanzamiento de cohetes de modelismo espacial (cohetes a escala pequeña), la arquitectura corresponde a un sistema de encendido eléctrico por medio de cables, una batería de 12 Voltios ², interruptor de encendido, cable de máximo 10 m, en un extremo se ubica la caja de control con sus botones y en el otro se ubica el ignitor. En la figura 3.1 se muestra la imagen de un sistema de ignición básico para lanzamiento de cohetes a escala pequeña donde se pueden observar los elementos antes mencionados. [11]

¹Capaces de transportar hasta 2 toneladas de carga útil hasta LEO (Low Earth Orbit / Órbita baja terrestre)[1]

²V: Voltio, unidad de potencial eléctrico.

Figura 3.1: Sistema de ignición *Modelismo Espacial*.

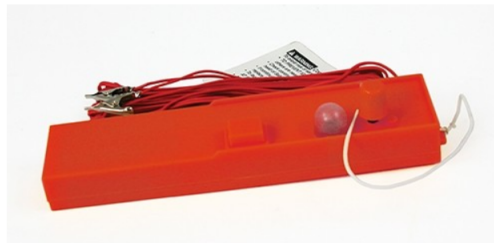


Fuente:[11]

3.1.2 Sistema de ignición *Estes Educator*

Sistema de ignición similar al sistema *Modelismo Espacial* como lo muestra la figura 3.2. Dispone de un cable para la ignición, una batería de 12 V (no mostrada en la imagen), una caja de control de color rojo donde se muestra el *plug* de seguridad y el botón de ignición.

Figura 3.2: Sistema de ignición *Estes Educator*.



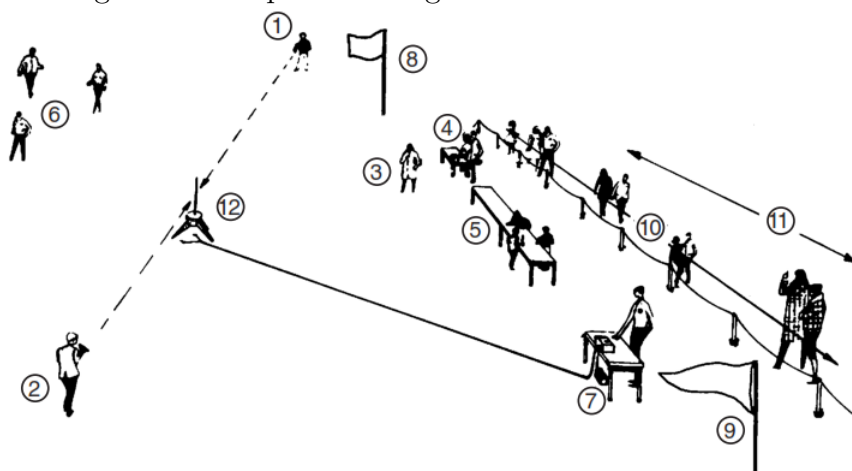
Fuente:[12]

Dispone de un *plug* de seguridad³ para evitar accionamientos accidentales o no intencionales, cable de conducción para enviar la señal de ignición y botón de activación el cual cierra el circuito eléctrico entre la batería y el ignitor.

En la figura 3.3 se muestra un esquema de la distribución de personal durante pruebas de cohetes.

³Llave de contacto o conexión eléctrica que permite o no al circuito funcionar.

Figura 3.3: Esquema de lugar de lanzamiento de cohetes.



Fuente:[12]

1. El seguidor 1 es el encargado de seguir la trayectoria del cohete en vuelo.
2. El seguidor 2 refuerza la actividad del Seguidor 1.
3. El oficial es quien coordina la actividad de lanzamiento y velar por la seguridad de sitio de lanzamiento de cohetes.
4. Mesa de recolección de datos provenientes del cohete.
5. Mesa de preparación donde se hace el ensamblaje de los cohetes antes del lanzamiento.
6. El equipo de recuperación está encargado de recolectar el cohete y sus partes una vez haya caído a tierra.
7. La función del oficial de control es la de coordinar todas las actividades que se realicen en el lugar de lanzamiento.
8. Bandera nacional o del club.
9. Pendón demarcador de limite (opcional) para demarcar la zona de lanzamiento.
10. Observadores.
11. Área de parqueo (opcional).
12. Plataforma de lanzamiento de cohetes.

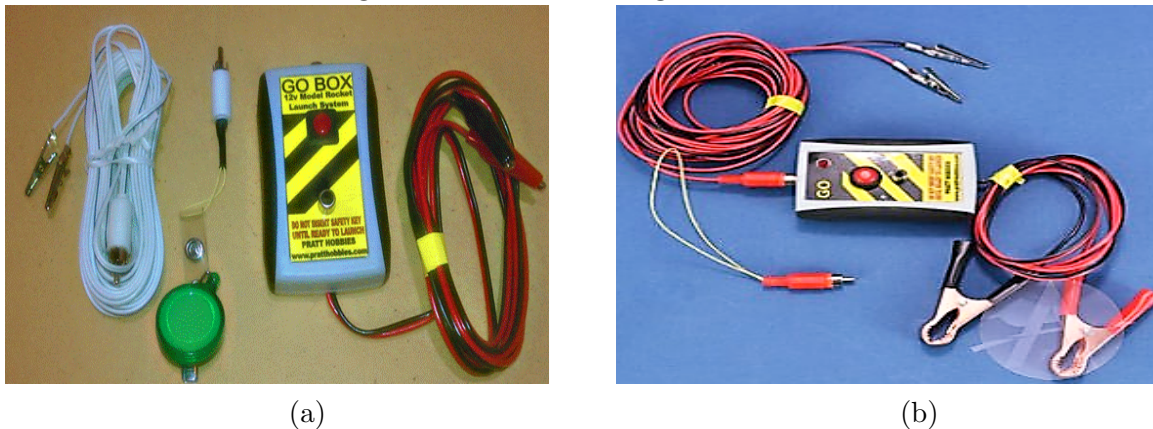
Como se nota en la figura 3.3, la comunicación entre el oficial de control de lanzamiento (7) y la plataforma de lanzamiento de cohetes (12) es por medio de un cable que transporta la señal de ignición al cohete, esta conexión para ignición de cohetes se hace con un sistema de ignición mostrado en la figura 3.2 el cual tiene como máximo 25 m de separación entre la caja de control y la plataforma de lanzamiento, teniendo un tope en lo que corresponde al tamaño de cohete a lanzar, limitándolo a cohetes pequeños de modelismo espacial.

3.1.3 Sistema de ignición de cohetes *GO BOX*

Es un sistema de ignición fabricado por **PRATT-HOBBIES**, usa una fuente de corriente continua para generar una señal de ignición al ignitor. Cuenta con un sistema de alerta que al insertar un *plug* de seguridad, un *buzzer* cuyo sonido alerta que el ignitor está listo y que el lanzamiento es inminente, tiene un cable de poder para conectar a una batería de 12 V o también un conector tipo cigarrera para energizar el sistema desde un carro.

Este sistema dispone con un cable de maximo 25 ft (7.6m) para el ignitor y un cable de 25ft para energizar el sistema, el sistema de ignición totaliza una distancia de seguridad de 50 ft (15.2m), salvo la persona que opera la “GO BOX” que siempre estará a 25ft de la plataforma de lanzamiento. Su costo oscila entre USD 49 y USD 45 (2017). En la figura 3.4a se observa se sistema de ignición de cohetes *GO BOX* en el orden de izquierda a derecha está el cable de transmisión de señal de ignición, el *plug* de seguridad, la caja de control con el cable de poder y en la figura 3.4b se observa el sistema de ignición listo para estar conectado a la batería y al ignitor.

Figura 3.4: Sistema de ignición *GO BOX*



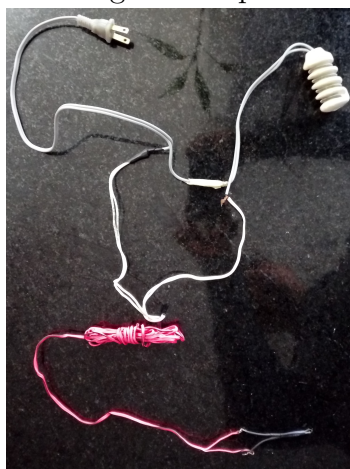
Fuente:[13], [14]

3.2 Sistemas de ignición a nivel local

3.2.1 Sistema de ignición tipo *Resistencia comercial*

Es un sistema de ignición desarrollado por el ingeniero Saulo Gómez en la Fundación Universitaria Los Libertadores, obsoleto pues éste sistema es difícil de manejar, ya que requería de una fuente de corriente alterna (recurso limitado en áreas poco pobladas ideales para probar cohetes). Además de esto, requería de un contenedor plástico con agua para insertar la resistencia y evitar el sobre-calentamiento. La idea principal de éste circuito es de distribuir la energía suministrada entre el ignitor y la resistencia y así evitar posibles daños en la red eléctrica a causa de corto circuito y proporcionar la corriente suficiente para activar el ignitor. Éste sistema de ignición fue la respuesta a la falta de un sistema de ignición funcional en el semillero de cohetería, puesto que ya contaba con motores para pruebas, pero no se contaba con un sistema para probar los motores. En la figura 3.5, podemos ver el sistema de ignición tipo *Resistencia comercial*, en la parte inferior de la foto, se puede observar el ignitor (negro) conectado al cable de transmisión de señal (fucsia) este a su vez conectado a una resistencia comercial.

Figura 3.5: Sistema de ignición tipo *Resistencia comercial*

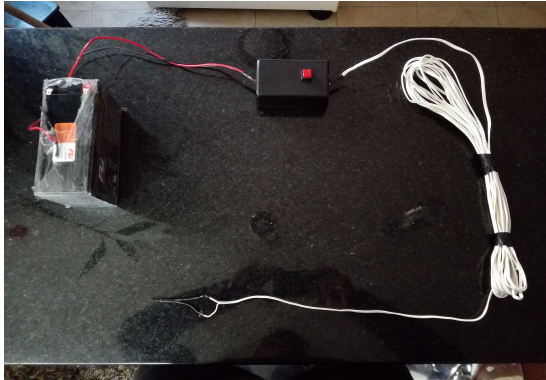


Fuente: Semillero de Cohetería Fundación Universitaria Los Libertadores

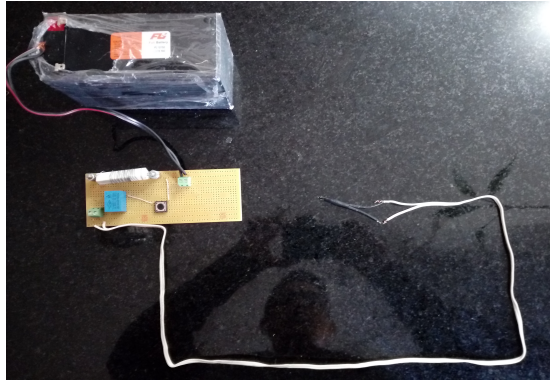
3.2.2 Sistema de ignición “Cohete Isaias I”

Este sistema de ignición fue el resultado de mejorar el Sistema de ignición tipo *Resistencia comercial*. Consta de una caja de control con un botón de ignición, una batería de 12V, cable de señal e ignitor (véase figura 3.6a) . El circuito interno, tiene una entrada de poder para una batería máximo hasta 12V, un pulsador, una bobina, un relevo de 12V y una salida al cable del ignitor (véase figura 3.6b).

Figura 3.6: Sistema de ignición “Cohete Isaías I”



(a) Versión final.



(b) Componentes internos caja de control.

Fuente: Semillero de Cohetería Fundación Universitaria Los Libertadores

Éste sistema de ignición puede ser operado en zonas apartadas en ausencia de servicio de corriente alterna, gracias a su batería de 12V mejorando su practicidad comparado con el Sistema de ignición tipo *Resistencia comercial*. Se puede usar un cable de señal hasta máximo 10 m de seguridad de la plataforma de lanzamiento.

Capítulo 4

Metodología de Diseño

Siguiendo los datos recolectados y mostrados en el Capítulo 2 y las experiencias vistas en el Capítulo 3, se hizo una combinación de sus puntos fuertes, dando como resultado el diseño de un sistema de ignición remoto para ignitar cohetes desde una distancia teórica de 300 m.

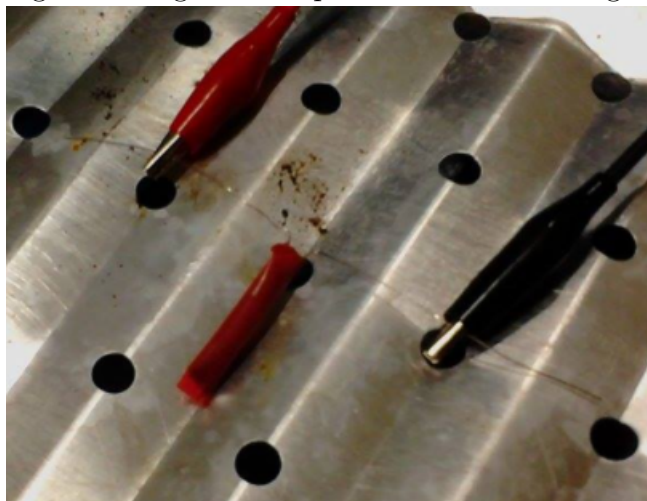
4.1 Ignitor

Para el tipo de motores cohete usados por el Semillero de Cohetería de La Fundación Universitaria Los Libertadores, fue seleccionado el ignitor tipo *Powder Can*.

El semillero cuenta con dos clases de ignitor tipo *Powder Can*

1. **Ignitor Propelente “Polvo de Ángel”**: desarrollado y probado por dos integrantes del Semillero de cohetería y estudiantes de la Fundación Universitaria Los Libertadores, detalladamente descrito en el Apéndice A, véase la figura 4.1:

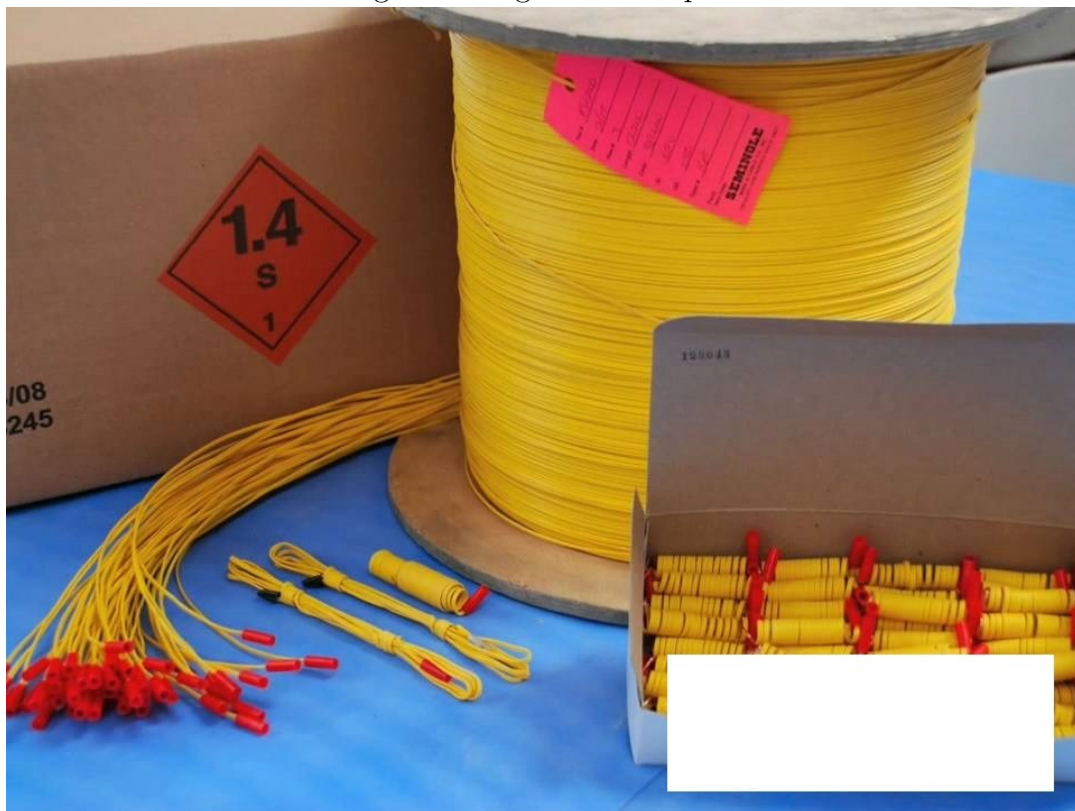
Figura 4.1: Ignitor Propelente “Polvo de Ángel”



Fuente: Semillero de Cohetería Fundación Universitaria Los Libertadores

2. **Ignitor “Estopín”**: fabricado industrialmente por **INDUSTRIAS MARTINICAS EL VAQUERO S.A.S**, conocido como estopín es usado para encender una gran variedad de productos pirotécnicos, éste tiene la misma configuración del ignitor tipo *powder can* y una confiabilidad del 90 % ; se ignita desde un potencial de 1.5 V lo equivalente a una batería AA es versátil, barato y de fácil obtención. En la figura 4.2 se puede observar el estopín en sus diferentes presentaciones:

Figura 4.2: Ignitor “Estopín”



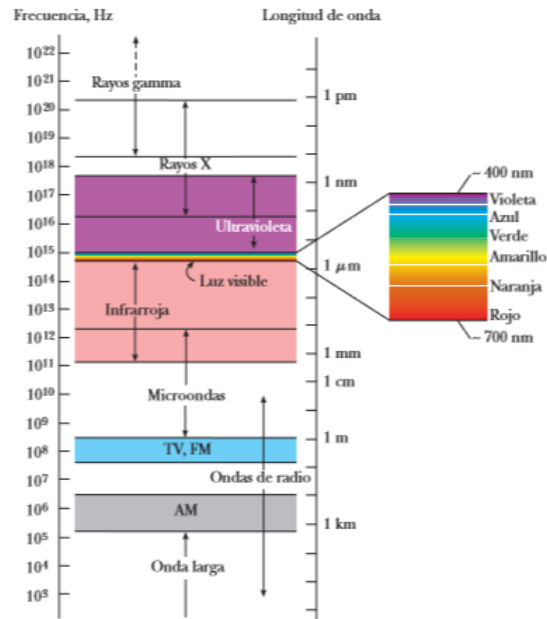
Fuente: Pirotécnicos El Vaquero

4.2 Espectro electromagnético

4.2.1 Definición

Es el conjunto de emisiones y/o absorciones de radiación electromagnética listados por tipos dependiendo de la longitud de onda o de la frecuencia se describe la región en donde están y sus usos. En la figura 4.3 se puede observar la distribución de los diferentes tipos ondas de radiación electromagnética, donde la radiación por ondas de radio se encuentra distribuida por debajo de la radiación infrarroja en diferentes aplicaciones.

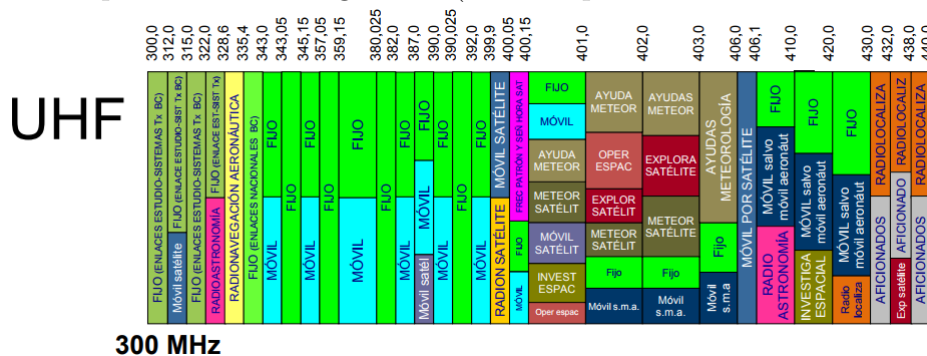
Figura 4.3: Espectro Electromagnético. (vista ampliada a la derecha del espectro visible)



Fuente:[15]

En Colombia el uso del espectro electromagnético se encuentra regulado por la *Agencia Nacional del Espectro (ANE)*, la cual ha distribuido y asignado sectores para su correcto uso y manejo equitativo. Para mayores detalles generales observe el apéndice B donde se encuentra el cuadro completo de distribución del espectro radioeléctrico establecido por la *ANE*. Para el análisis de interés en el diseño del sistema de ignición para cohetes, se hace detalle en el estudio de la banda UHF que corresponde a la banda de operación del kit de emisor-receptor de 433MHz y 315MHz propuestos para el diseño, observe la figura 4.4 donde se encuentra ampliada la banda UHF específicamente en las frecuencias de 300MHz a 440MHz

Figura 4.4: Espectro Electromagnético. (vista ampliada frecuencia 300MHz a 440MHz)



Fuente:ANE

4.2.2 Legalidad

La transmisión y emisión de RF implica un uso del espectro electromagnético propiedad del Estado, la cual se encuentra regulada en la **Resolución 711 de 2016** *por la cual se establecen las bandas de frecuencia de libre utilización dentro del territorio nacional y se derogan algunas disposiciones*:

- Considerando que el artículo 75 de la Constitución Política de Colombia establece que el espectro electromagnético es un bien público inenajenable e imprescriptible sujeto a la gestión y control del Estado, y garantiza la igualdad de oportunidades en el acceso a su uso en los términos que fije la ley.
- El artículo 11 de la Ley 1341 de 2009 dispone que el Gobierno Nacional podrá establecer bandas de frecuencias de uso libre, de acuerdo con las recomendaciones de la UIT¹
- El numeral 4 del artículo 26 de la Ley 1341 de 2009 establece que es función de la Agencia Nacional del Espectro ejercer la vigilancia y el control del espectro radioeléctrico y, a su vez, el numeral 10 dispone que esta entidad es la competente para adelantar las investigaciones a que haya lugar por posibles infracciones al régimen del espectro definido por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, así como imponer las sanciones.
- La Resolución 711 de 2016 la cual se establecen las bandas de frecuencia de libre utilización dentro del territorio nacional y se derogan algunas disposiciones.

Puntualmente para el diseño de un sistema de ignición de cohetes por radiofrecuencia es amparado por las siguientes definiciones escritas en el **ANEXO** de la **Resolución 711 de 2016**:

A. 3.3 Dispositivos de operación momentánea

Señales intermitentes de control

Dispositivos de operación momentánea cuya emisión esta restringida a transmisión de señales de control, tales como las que se utilizan en sistemas de alarmas, interruptores remotos y dispositivos de apertura y cierre de puertas, entre otros. Estos deberán cumplir con las siguientes condiciones:

- (a) Si el transmisor es operado manualmente, deberá emplear un interruptor que automáticamente desactive el transmisor en un periodo máximo de 5 segundos después de haber iniciado la operación manual.

¹Unión Internacional de Telecomunicaciones, organismo especializado en telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

- (b) Si el transmisor se activa automáticamente, el dispositivo deberá finalizar la transmisión en un máximo de 5 segundos después de su activación.
- (c) Las transmisiones periódicas a intervalos regulares predeterminados empleadas como señales intermitentes de control no son permitidas, a excepción de transmisiones de supervisión o escaneo para determinar la integridad sistémica de transmisores utilizados en aplicaciones de seguridad, salvamento o sistemas de detección de fuego, entre otros. El tiempo total de duración de las transmisiones no deberá exceder dos (2) segundos por hora por cada transmisor (no existe limite en la cantidad de transmisiones individuales, siempre que el tiempo total de transmisión por hora no exceda dos segundos).
- (d) Los radiadores intencionales empleados para propósitos de radio control durante emergencias que involucren fuego, seguridad de bienes (alarmas antirrobo) y seguridad de la vida, cuando son activados para dar la serial de alarma pueden operar durante el intervalo de alarma.
- (e) No se permite la operación de mandos a distancia para juguetes, transmisiones continuas, tales como voz o video y transmisiones de datos, a excepción de datos usados como códigos de reconocimiento (estos códigos son usados para identificar el sensor activado o para identificar un componente particular como parte del sistema).

B. 2.2.1 Bandas de operación restringidas

Con el fin de evitar posibles interferencias a comunicaciones radioeléctricas sensibles tales como radionavegación aeronáutica, radioastronomía, operaciones de búsqueda y rescate y comunicaciones móviles, entre otras, los dispositivos de radiocomunicaciones de corto alcance y baja potencia (RCA) no podrán funcionar en las bandas descritas en la figura 4.5 correspondiente a la *Tabla 2 (Resolución 711 de 2016)*, a excepción de emisiones no esenciales.

De acuerdo con las disposiciones legales antes mencionadas se puede concluir que la operación del kit de emisor-receptor es aceptada y amparada por la ley, ya que estas frecuencias cumplen con los requisitos de:

- No están dentro del grupo de frecuencias restringidas.
- Las frecuencias pertenecen a la banda de radioaficionados.
- Las frecuencias corresponden a señales intermitentes de control de corto alcance y baja potencia.

Figura 4.5: Tabla de bandas restringidas.

Bandas Restringidas (MHz)			
6.31175 - 6.31225	8.291 - 8.294	8.362 - 8.366	8.37625 - 8.38675
8.41425 - 8.41475	12.29 - 12.293	12.51975 - 12.52025	12.57675 - 12.57725
13.36 - 13.41	16.42 - 16.423	16.69475 - 16.69525	16.80425 - 16.80475
25.5 - 25.67	37.5 - 38.25	54 - 72	73 - 74.6
74.8 - 75.2	76 - 88	108 - 121.94	123 - 138
149.9 - 150.05	156.52475 - 156.52525	156.7 - 156.9	162.0125 - 167.17
167.72 - 173.2	174 - 216	240 - 285	322 - 335.4
399.9 - 410	450 - 849	851 - 915	935 - 936.125
939 - 1240	1300 - 1626.5	1645.5 - 1646.5	1660 - 1780
1850 - 1990	2050 - 2180	2200 - 2400	2483.5 - 2900
3260 - 3267	3300 - 4400	4500 - 5150	5350 - 5460
7250 - 7750	8025 - 8500	9000 - 9200	9300 - 9500
10600 - 12700	13250 - 13400	14470 - 14500	15350 - 16200
17700 - 21400	22010 - 23120	23600 - 24000	31200 - 31800
36430 - 36500	Por encima de 38600		

Fuente: Resolución 711 de 2016

4.3 Señal de ignición por Radio-Frecuencia (RF)

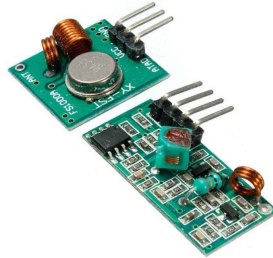
Todos los sistemas de ignición mostrados en el capítulo 3 tienen la limitación de usar cables para transmitir la señal de ignición, lo cual limita la distancia del operador y la plataforma de lanzamiento, correspondiendo al riesgo inminente de algún accidente por el despegue de los cohetes. Ésta distancia es limitada debido a la resistencia que hace el mismo cable al paso de la corriente, por ende, a una distancia determinada la señal se pierde. Además de estas razones, los costos para construir un sistema de ignición cableado aumentan tanto en precio como en peso por cada metro adicional de distancia de seguridad entre la plataforma de lanzamiento y la caja de control del sistema de ignición debido al cable de transmisión de señal de datos. Por lo anterior, se propone una solución definitiva y es la de eliminar el cable para transmitir esta señal usando RF ahorrando costos y peso de cable de transmisión, eliminando posibles amplificadores de potencia, obteniendo así un sistema sin cables, practico, portátil, liviano y fácil de operar.

Se tuvo como base el documento-tutorial **Control de RF con los circuitos integrados HT12E y HT12D**. (Apéndice E)

4.4 Kit de Transmisión

Consta de una pareja de emisor y receptor, cuya función es transmitir y recibir una señal, el kit seleccionado es de transmisión RF de (433MHz y 315MHz).

Figura 4.6: Transmisor RF (Izquierda: 433 MHz/Derecha:315 MHz)



Fuente: Apéndice H

4.4.1 Emisor RF

El emisor RF tiene las correspondientes especificaciones mostradas en en cuadro 4.1.

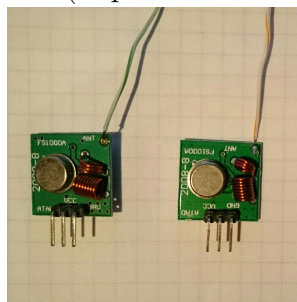
Cuadro 4.1: Especificaciones técnicas del emisor RF.

Emisor RF	
Modelo	2008-8
Alcance	350 m (12V), 230 m (5V), 160m (3V)
Dimensiones	19 x 19 mm
Velocidad de Transmisión	4 KB/s
Potencia de transmisión	10mW
Frecuencia de Transmisión	433 MHz/315 MHz
Modulación	ASK
Consumo de Corriente	>16mA
Desviación de Frecuencia	+/- 75 kHz

Fuente: Apéndice H

En la figura 4.7 se puede observar los emisores RF con la antena tipo látigo ya instalada, se puede observar componentes tales como bobinas, pines de conexión y oscilador.

Figura 4.7: Transmisor RF (Izquierda: 433 MHz/Derecha:315 MHz)



Fuente: Autor

4.4.2 Receptor RF

El receptor RF tiene las correspondientes especificaciones mostradas en en cuadro 4.2.

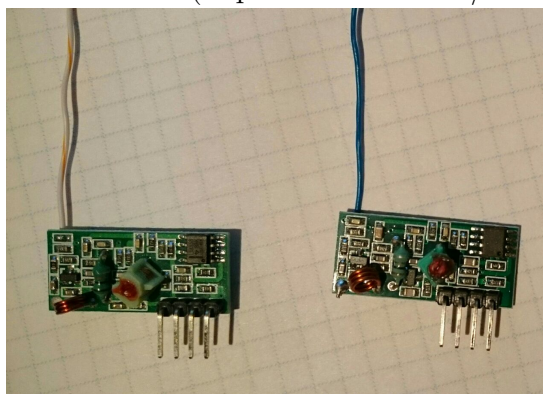
Cuadro 4.2: Especificaciones técnicas del receptor RF

Receptor RF	
Modelo	XY-MK-5V
Voltaje de Operación	5V-12V
Dimensiones	30 x 14 x 7 mm
Consumo de Corriente	4 mA
Modulación	ASK
Frecuencia de Operación	433 MHz/315 MHz

Fuente: Apéndice H

En la figura 4.8 se puede observar los receptores RF con la antena tipo látigo ya instalada, se puede observar componentes tales como bobinas, pines de conexión e integrado.

Figura 4.8: Transmisor RF (Izquierda: 433 MHz/Derecha: 315 MHz)



Fuente: Autor

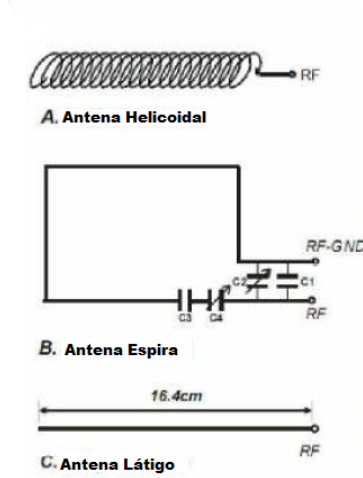
Establecen comunicación **unidireccional** es decir, el transmisor se dedica exclusivamente a transmitir y el receptor exclusivamente se dedica a recibir la señal es usado para distintas aplicaciones, tales como control de robots, pequeños vehículos y/o transmisión de datos. Se consigue en el mercado por un costo aproximado de COP \$10.000 (Noviembre de 2016)

4.4.3 Antena

La frecuencia de operación se encuentra en la banda UHF (*Ultra High Frequency*) aprovechando esto, el tamaño de la antena hace que el sistema de ignición sea portátil y de fácil manipulación. Las antenas más comunes para el Kit RF son la **antena helicoidal**, muy famosa en su aplicación para los radio-teléfonos *walkie talkie*, la **antena tipo látigo**, de fácil construcción pues se trata de un alambre conductor recto que cumple con una longitud determinada por la frecuencia de operación, muy usadas en los enrutadores *WiFi* y la **antena en espira**, usada comúnmente en los equipos de sonido caseros para la

recepción de la banda AM, gracias a un conjunto de capacitores² la antena en espira posee un tamaño significativamente menor que los otros dos tipos de antena (tamaño no mostrado a escala en la figura 4.9). Los anteriores tipos de antenas son mostradas en la figura 4.9, en la cual para una frecuencia de operación de $433MHz$ la antena helicoidal (A.) debe tener 24 vueltas con un diámetro de $3,2mm$ en cada espira, la antena en espira (B.) deber tener un área interna de 4 a $10cm^2$, la antena látigo (C.) deber tener una longitud de $16,4cm$.

Figura 4.9: Tipos de Antenas



Fuente:[16]

La antena tipo Látigo que se trata de un alambre conductor es de fácil construcción y por tanto es la más apropiada para el transmisor y receptor. Éste tipo de antena corresponde a la antena monopolo $\lambda/4$, también conocida como **Antena Marconi**[9]. Por tanto su longitud está definida por la formula:

$$\lambda = c/f \quad (4.1)$$

Fuente:[15]

$$Longitud\ Antena = \lambda/4 \quad (4.2)$$

Fuente:[9]

Donde λ es la longitud de onda, c corresponde a la velocidad de la luz y f a la frecuencia de la onda.

²Capacitor eléctrico: es un dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico.

Para realizar el calculo de la longitud de la antena se usa un código de calculo desarrollado por el autor en el Software MATLAB mostrado en el apéndice C, una vez ejecutado el código de MATLAB, se obtiene los siguientes resultados:

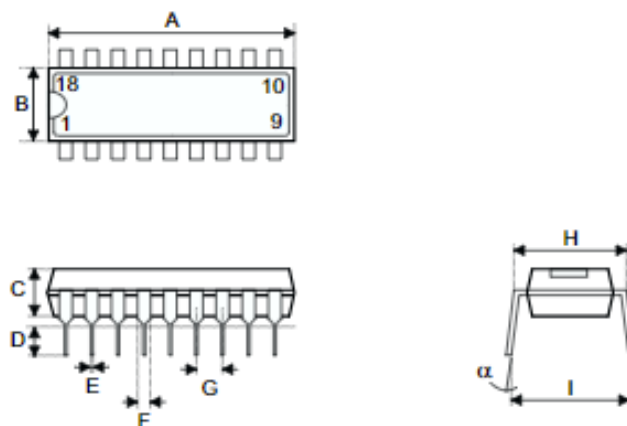
```
>> antena
Digite la frecuencia de operación en Mhz433
Longitud de la antena en centímetros
17.3090
>> antena
Digite la frecuencia de operación en Mhz315
Longitud de la antena en centímetros
23.7931
```

*Nota: El calculo para la longitud de antena para $433MHz$ se aproxima al mostrado en la figura 4.9.

4.4.4 Integrados HT 12

Son integrados de tipo DIL³ 18 especialmente diseñados para la transmisión de datos por RF, codificando y decodificando la información (HT 12 E y HT 12D) respectivamente. En la figura 4.10 se observan los dos integrados.

Figura 4.10: Integrado HT 12



Fuente: Apéndice F

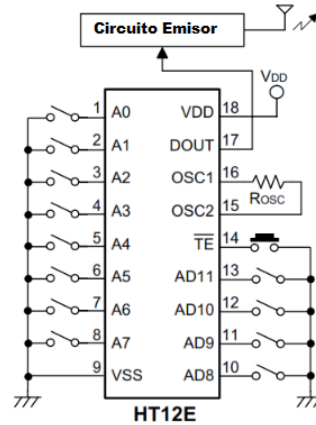
Circuito Integrado HT 12E

Es el encargado de generar la información, enviando señales de datos binarios 1 y 0 por medio del transmisor RF. El fabricante Holtek, propone una aplicación que puede

³DIL o DIP: dual in-line package (Paquete de doble hilera)

cumplir este integrado dentro del datasheet (véase en la figura 4.11).

Figura 4.11: Esquema radio-emisor con integrado HT 12E



Fuente: Apéndice F

En la figura 4.12 se muestra la información correspondiente a la asignación de los pines con su respectiva función para el integrado HT 12E.

Figura 4.12: Asignación de pines HT 12E

Asignación de pines HT 12E	
A 1-8	Es la dirección del emisor, es decir, cambiando de dirección por medio de Dip-Switch, el transmisor se puede comunicar con cada receptor por separado. Esta característica constituye el principal elemento de seguridad para que otros emisores no interfieran con la operación del sistema de ignición. Así el receptor únicamente va obedecer las señales que envía el emisor del sistema de ignición y no otros emisores ajenos.
VSS	Es el pin correspondiente al negativo del integrado (GND)
AD 10-13	Son los pines que transmiten la información binaria, a cada pin le corresponde 1 bit, para un total de 4bits para ser enviados.
TE 14	Transmission Enable, es el pin que habilita la transmisión.
15-16	Corresponden a los puertos del oscilador del integrado.
17	Pin de salida al transmisor RF.
VDD 18	Pin de alimentación positiva del integrado.

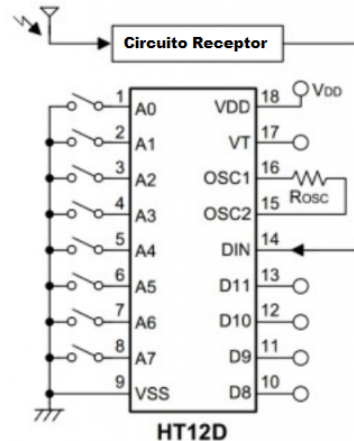
Fuente: Apéndice F

Para enviar datos desde el transmisor, se conectan 4 pulsadores al HT 12E, que corresponde a los 4 bits de capacidad que cuenta el integrado, así mismo se adoptan LED de notificación para saber si el canal se encuentra abierto o cerrado.

Circuito Integrado HT 12D

Es el encargado de recibir la información, por medio del receptor RF. El fabricante Holtek, propone una aplicación que puede cumplir este integrado dentro del datasheet (véase en la figura 4.13).

Figura 4.13: Transmisor RF (Esquema de radio receptor)



Fuente: Apéndice G

En la figura 4.14 se muestra la información correspondiente a la asignación de los pines con su respectiva función para el integrado HT 12D.

Figura 4.14: Asignación de pines HT 12D

Asignación de pines HT 12D	
A 1-8	Corresponde a la dirección del receptor, debe ser la misma dirección del emisor del sistema de ignición para que estos establezcan comunicación.
VSS	Es el pin correspondiente al negativo del integrado (GND)
AD 10-13	Son los pines de salida correspondientes a los que transmiten la información en el HT 12E.
DIN	Pin donde se conecta el receptor.
15-16	Corresponden a los puertos del oscilador del integrado.
17	Pin de salida al transmisor RF.
VDD 18	Pin de alimentación positiva del integrado.

Fuente: Apéndice G

4.4.5 El cálculo para la resistencias de los LED

Se realiza usando la Ley de Ohm [15], teniendo la corriente requerida por el LED y el voltaje suministrado.

El diseño del sistema de ignición, contará con una batería de 9V el promedio de funcionamiento del sistema de ignición se estima en 6V para operación de los integrados y los transmisores se debe asegurar además que los LED de Status indiquen en situaciones que el voltaje es muy bajo.

Según su color cada LED tiene un voltaje de consumo, así pues téngase en cuenta la figura 4.15

Figura 4.15: Características LED.

Características típicas de un LED			
Material Semiconductor	Longitud de Onda	Color	$V_F @ 20mA$
GaAs	850-940nm	Infrarrojo	1.2v
GaAsP	630-660nm	Rojo	1.8v
GaAsP	605-620nm	Ambar	2.0v
GaAsP:N	585-595nm	Amarillo	2.2v
AlGaP	550-570nm	Verde	3.5v
SiC	430-505nm	Azul	3.6v
GaInN	450nm	Blanco	4.0v

Fuente:[17],[18]

Para un diodo de color rojo, requiere un voltaje de 1.8V, ejecutando el código de MATLAB mostrado en el apéndice D:

```
>> Rcalc
Digite el valor del voltaje de la fuente6
Digite el valor de voltaje del LED según su color1.8
Vled =
1.8000
iTled =
0.0200
Vres =
4.2000
Rs =
210
P =
0.0840
```

```
Digite el valor de la resistencia comercial220
Icom =
0.0191
Pcom =
0.0802
>>
```

Donde R_s es el valor de la resistencia calculada para ese LED bajo esa fuente voltaje, pero una resistencia de $210\ \Omega$ ⁽⁴⁾, no es comercial, se aproxima siempre por encima del valor la resistencia comercial más cercana; la resistencia más cercana es de $220\ \Omega$. Este nuevo valor de resistencia comercial se recalcula para obtener el verdadero consumo de corriente (I_{com}) en Amperios y la potencia del circuito para seleccionar la resistencia (P_{com}) en Watts⁵.

Regresando al integrado, para abrir y cerrar el canal, se cuenta un switch de llave, para elevar el nivel de seguridad y dar por sentado que el único que puede operar el sistema es aquel que posee la llave que abre los canales de transmisión.

En el pin TE, se instala también un switch de llave y se le asigna dentro del sistema de ignición como el 'Master', pues este es el que permite o no la transmisión.

Cálculo para la resistencia del Oscilador HT 12E

La resistencia del oscilador se selecciona de acuerdo al voltaje de operación del integrado (6V) y de la frecuencia del oscilador, según el datasheet HT 12E (Apéndice F), en las características eléctricas del integrado, la frecuencia del oscilador es de $3kHz$.

En el datasheet HT 12E (Apéndice F) en la gráfica *Oscillator Frequency vs. Supply Voltage* intersectando las líneas, tenemos que la resistencia del oscilador a voltaje de operación de 6V es de $1M\Omega$.

Cálculo para la resistencia del Oscilador HT 12D

El valor de esta resistencia es dado por una nota especial del fabricante que dice que la frecuencia del oscilador del HT 12D, es 50 veces mayor que la del HT 12E. Teniendo en cuenta esto la frecuencia del oscilador del HT 12D es de $150kHz$. Repitiendo el proceso de intersección del curvas en la figura *Oscillator frequency vs. supply voltage* del datasheet HT 12D (Apéndice G) la resistencia del oscilador debe ser entre $51k\Omega$ y $56k\Omega$

Una vez terminados estos cálculos, se procede a armar el circuito del sistema.

⁴Ohmio: Unidad de resistencia electrica en el Sistema Internacional de Unidades

⁵Watt/Vatio: Unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades

4.5 Repetidor

Las frecuencias dentro de la banda UHF se les conoce como onda espacial es decir, que se propagan en línea recta y si encuentra un obstáculo que no puede atravesar, ésta onda se dispersa, no tiene la capacidad de rebotar como otras ondas de otras bandas.

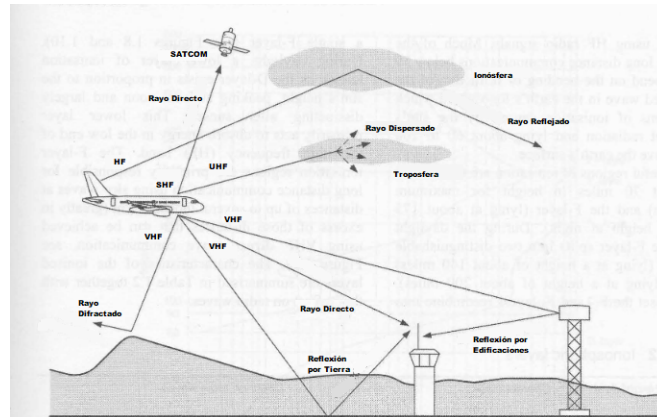


Figura 4.16: Efectos en la propagación de diferentes bandas.

Fuente:[9]

Existe la posibilidad que en el lugar de lanzamiento hayan montañas u obstáculos naturales o artificiales que interfieran con la utilización del sistema y en ultima instancia para obtener una mayor distancia de seguridad, se diseña también una **estación repetidora**, que hace un enlace entre el transmisor y el receptor. El procedimiento trata de conectar por medio de jumpers un transmisor y un receptor, operando a diferentes frecuencias para que no haya interferencia. Por lo tanto, cuando el sistema de ignición opera con el repetidor, crean dos puentes:

1. Emisor - Receptor de Repetidor (Frecuencia 1)
2. Emisor de Repetidor - Receptor (Frecuencia 2)

Para una mayor comprensión, el Puente 1 opera (315MHz) y el Puente 2 opera (433MHz) o viceversa.

4.6 Faro (*Beacon*)

Dispositivo que emite una luz intermitente por medio de dos LED, conectado al pin (DIN 14) del integrado HT 12D del receptor incluyendo el receptor del repetidor, cuando se encuentra encendido. Es una señal que confirma que los puentes de transmisión están conectados, de lo contrario, indica que los puentes tienen interferencia o están desconectados. Cuenta con un trimmer que controla la velocidad de parpadeo, esto para comodidad visual del operador. Es controlado por el integrado 555, lo compone también 2 LED, un capacitor y resistencias.

4.7 Dispositivo de Pre-ignición

El dispositivo de pre-ignición es el encargado de amplificar la señal de ignición proveniente del receptor RF, esto debido a que la corriente eléctrica de la señal de ignición es insuficiente para accionar el relé que a su vez activará el ignitor. Por tal motivo se requiere elevar el corriente eléctrica para activar el relé de 5V que fue seleccionado para el sistema de ignición remoto. Para un relé de 5V es necesario por lo menos una corriente eléctrica de $89,3mA$ ⁶ (Apéndice I), para el efecto, la amplificación de corriente se hace por medio de un circuito de amplificación usando un transistor BC 547 cuyo colector puede emitir hasta $100mA$ (Apéndice J) suficientes para accionar la bobina del relé. Por último al relé se conecta entre el pin **Común (COM)** y el **Normalmente Abierto (NO)** un circuito compuesto de una batería desde 9V hasta 12V y ignitor(es) que se desean utilizar para el lanzamiento.

4.8 Esquemas del sistema de Ignición.

En los siguientes esquemas electrónicos se muestra en detalle los diseñados hechos para el sistema de ignición para cohetes inalámbrico diseñados en el software Proteus 8 Demonstration. Por motivos estéticos, el autor creó la empresa ficticia **VALCAL E-SOLUTIONS** (*Valderrama Calpa soluciones electrónicas*), para marcar las placas de los circuitos propuestos cuyo orden son: esquema, vista en PCB, tarjeta sin componente y tarjeta con componentes.

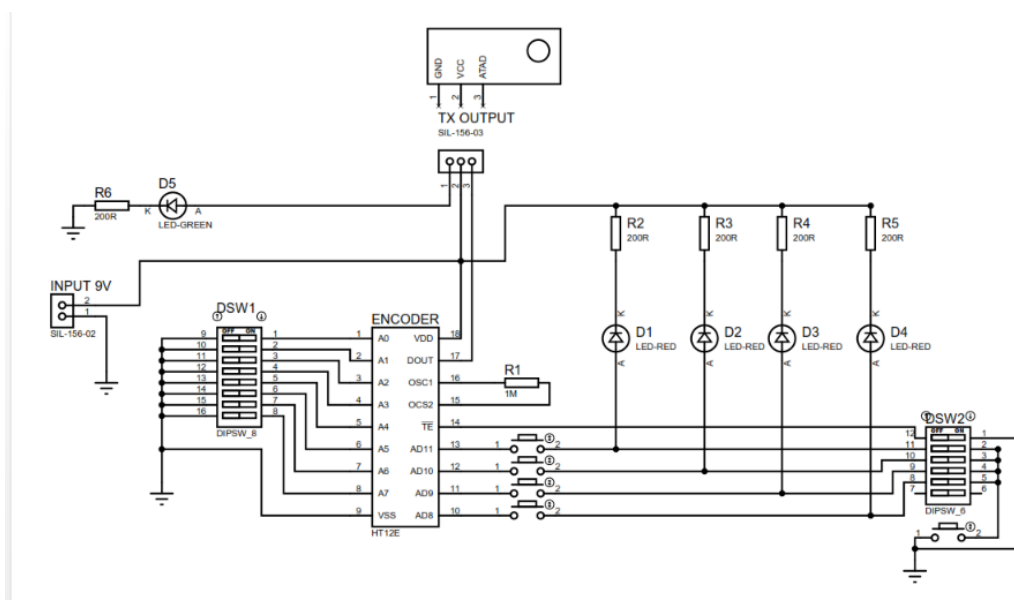


Figura 4.17: Vista esquemático Emisor.

⁶Amperio: Unidad de intensidad de corriente eléctrica.

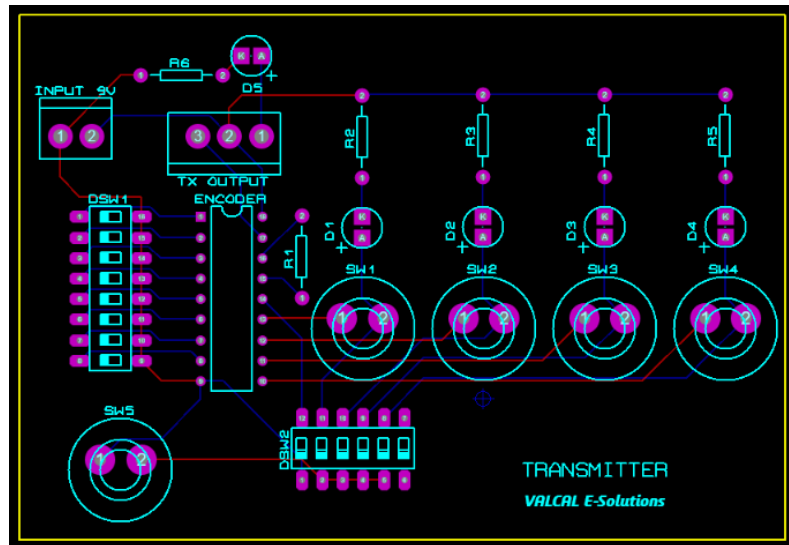


Figura 4.18: Vista PCB Emisor.

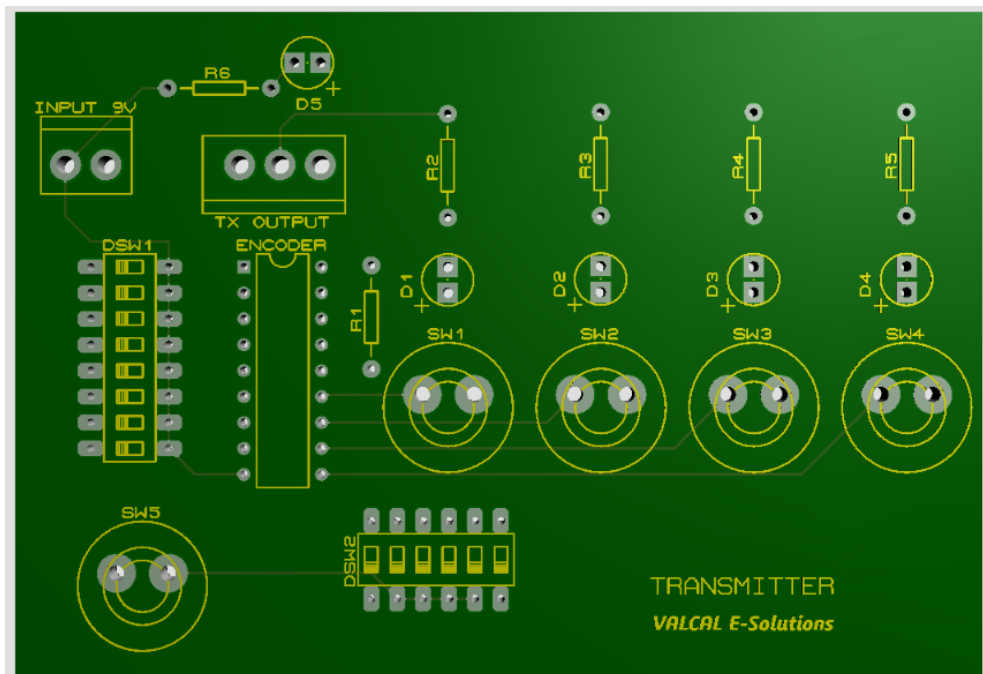


Figura 4.19: Vista sin componentes Emisor.

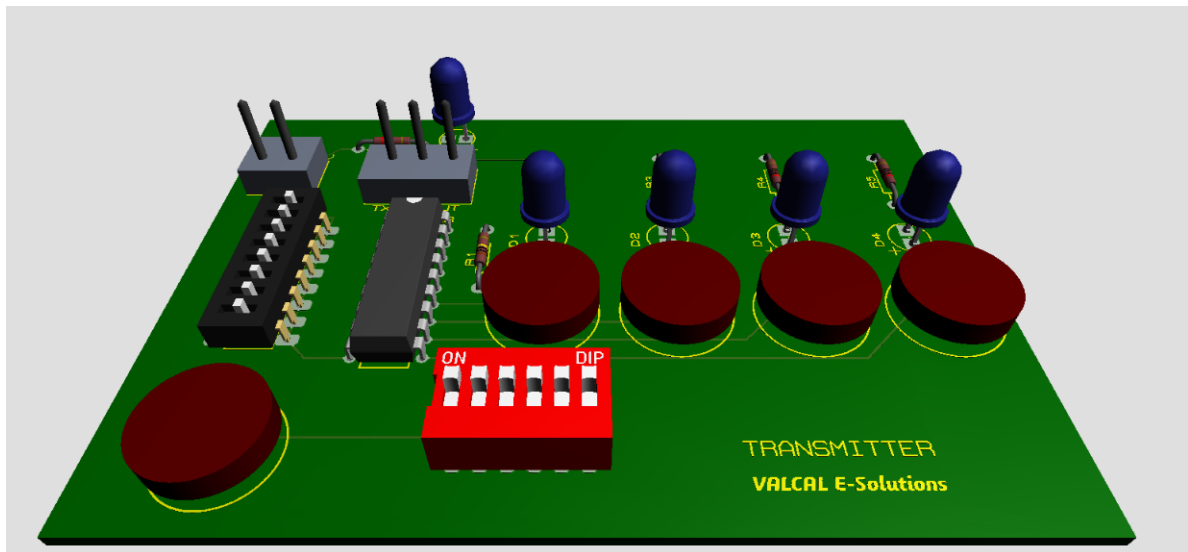


Figura 4.20: Vista 3D con componentes Emisor.

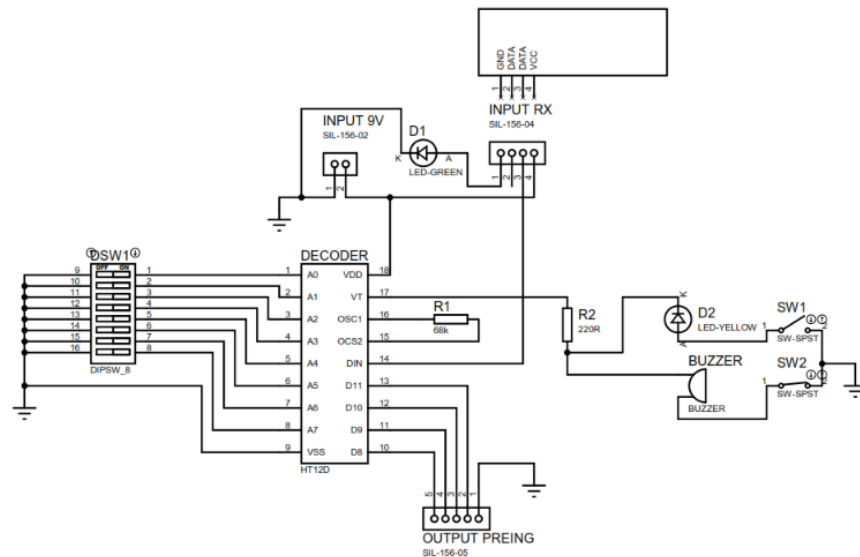


Figura 4.21: Vista esquemático Receptor.

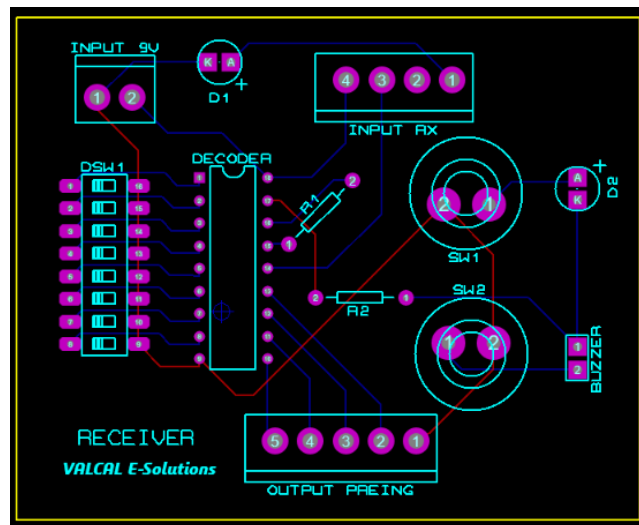


Figura 4.22: Vista PCB Receptor.

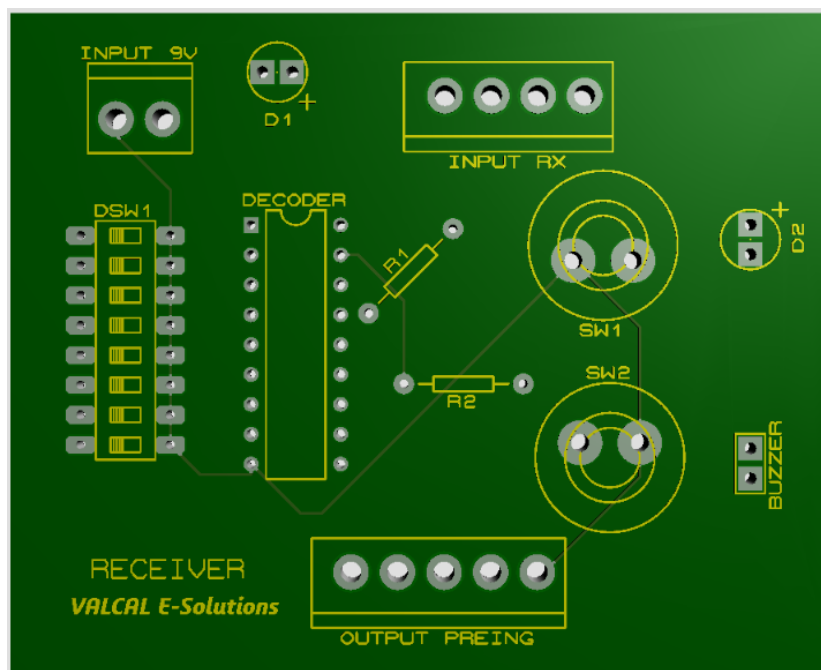


Figura 4.23: Vista sin componentes Receptor.

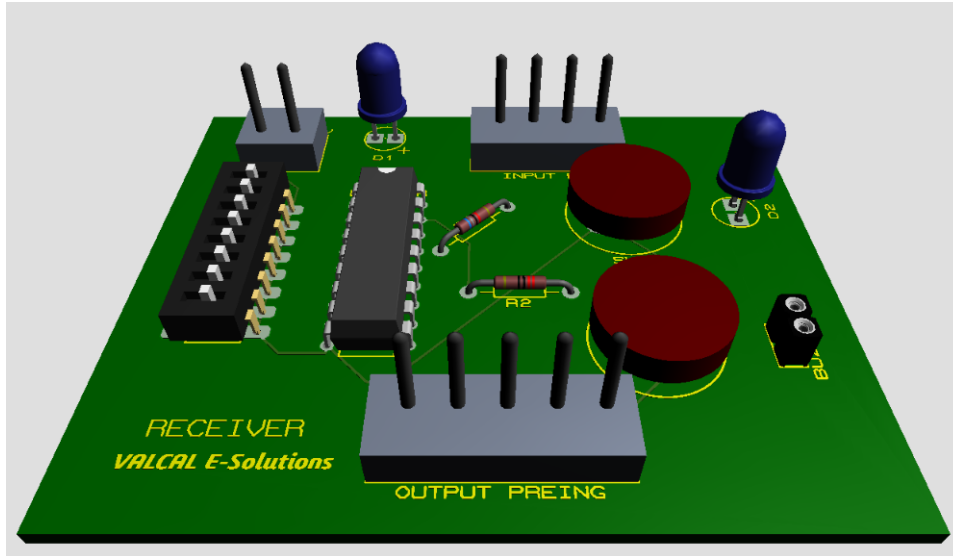


Figura 4.24: Vista 3D con componentes Receptor.

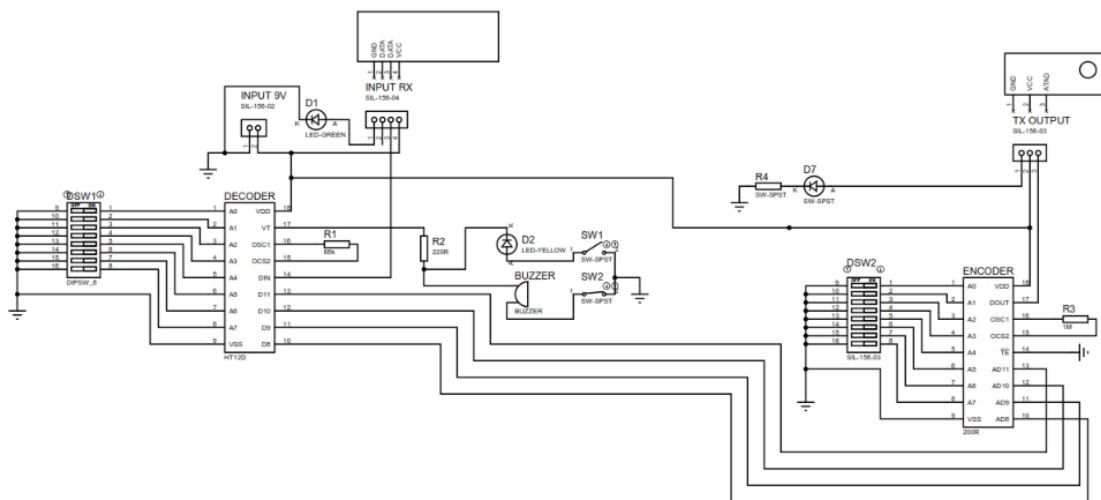


Figura 4.25: Vista esquemático Repetidor.

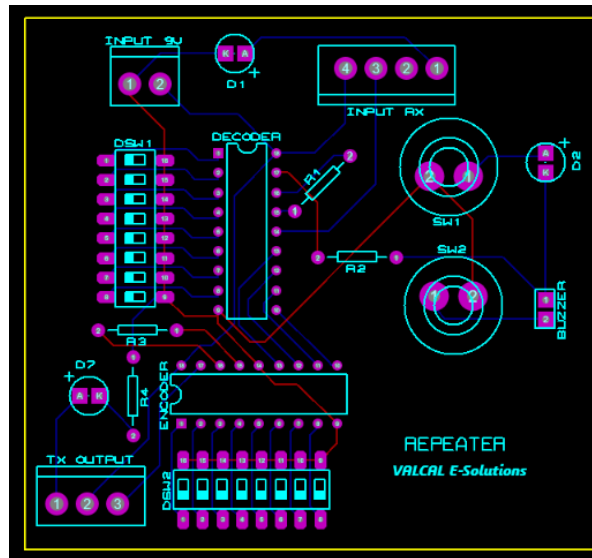


Figura 4.26: Vista PCB Repetidor.

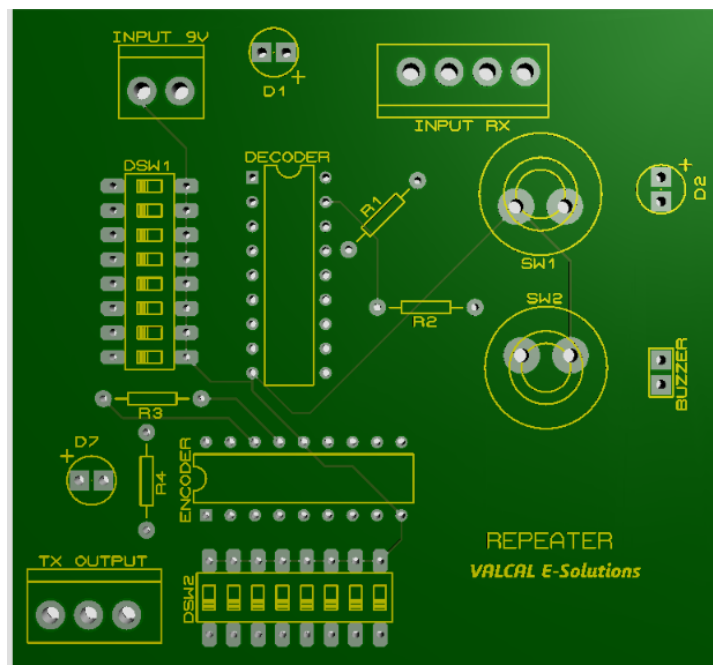


Figura 4.27: Vista sin componentes Repetidor.

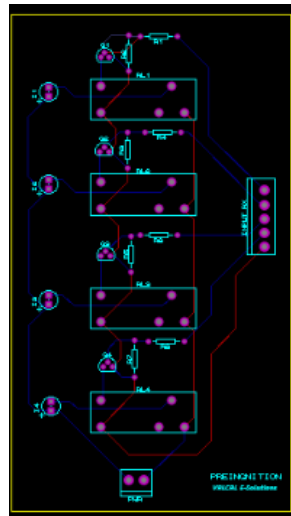


Figura 4.30: Vista PCB Pre-ignición.

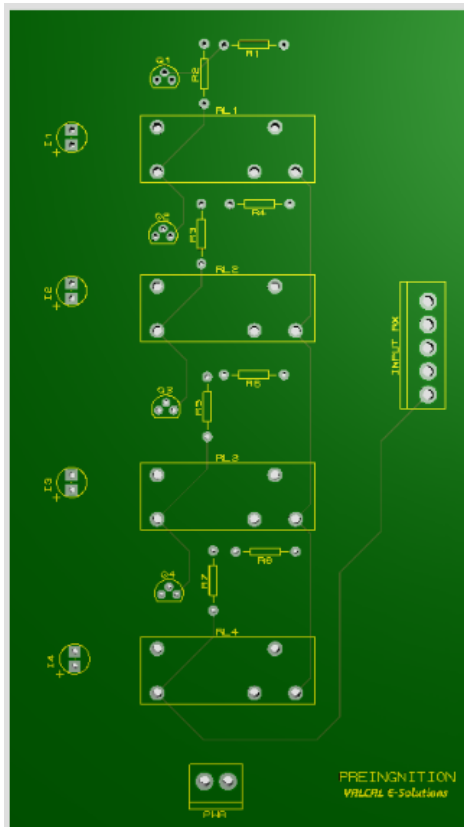


Figura 4.31: Vista sin componentes Pre-ignición.



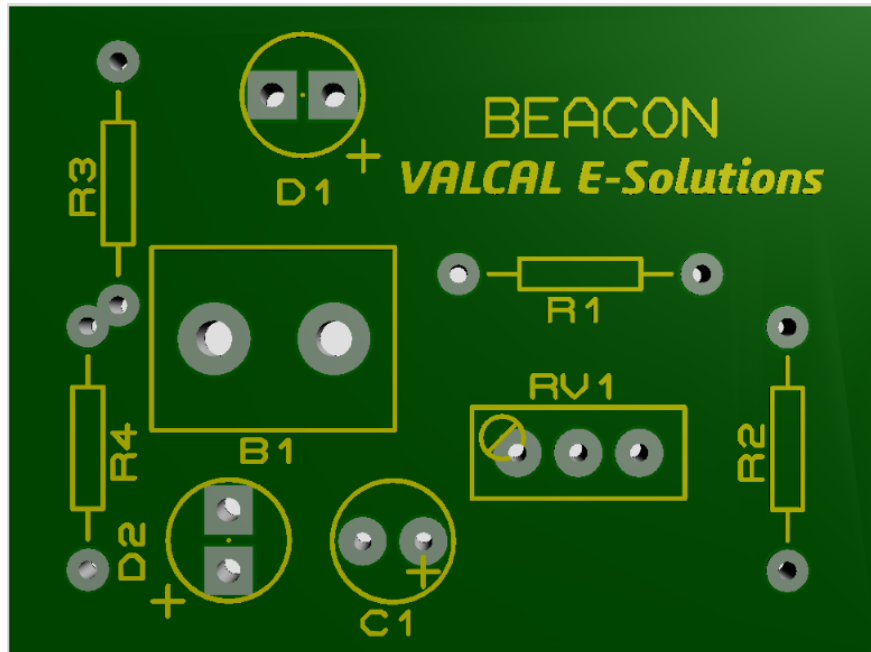


Figura 4.35: Vista sin componentes Beacon.

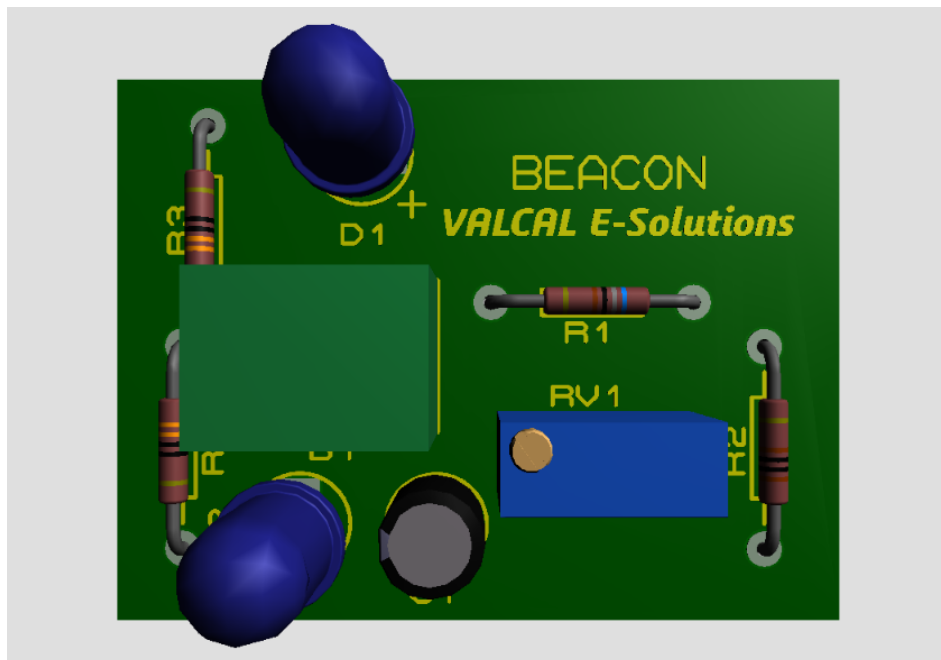


Figura 4.36: Vista 3D con componentes Beacon.

Página dejada en blanco intencionalmente.

Capítulo 5

Emulación

La emulación del sistema de ignición de cohetes no estaba contemplado dentro del proyecto; dado al nivel de detalle y como manera de comprobar que el circuito es funcional se decidió por armar un circuito real guiado por la metodología de diseño; una vez terminado el armado del sistema de ignición remoto, se realizaron pruebas cuyos resultados arrojaron un alcance de 150 m con emisor y transmisor y un alcance teórico de 300 m con el estación repetidora.

Las siguientes fotografías fueron pruebas realizadas en el laboratorio de electrónica de La Fundación Universitaria Los Libertadores.

En la figura 5.1 se muestra el sistema en espera, donde el emisor (inferior) obtiene una alimentación por medio de una batería de 9V, indicado por medio del LED verde; el receptor (superior) indica por medio del LED verde alimentación por medio de una batería de 9V. El sistema se encuentra en espera y listo para recibir datos, pues el LED amarillo indica que el emisor y el receptor se encuentran conectados y están dentro del alcance operativo.

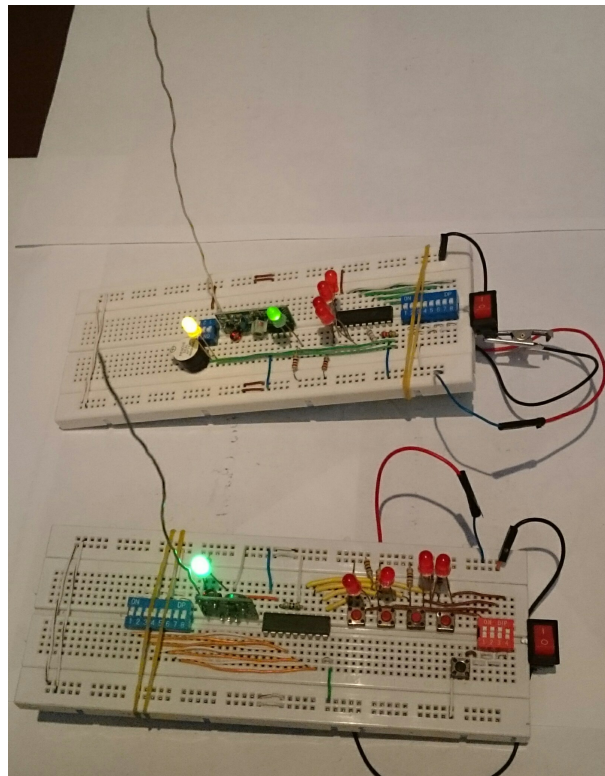


Figura 5.1: Emulación Sistema en Espera.

En la figura 5.2 se observan los siguientes eventos: En el emisor (inferior) se abren los 4 canales gracias al *DIP Switch* y se habilita el envío de datos por el canal 1 oprimiendo el *push button* canal 1. En el receptor (superior) la señal emitida por el emisor, se observa con la iluminación del LED rojo correspondiente al canal 1, la misma secuencia se repite para los canales 2 (imagen 5.3), 3 (imagen 5.4) y 4 (imagen 5.5). En el siguiente *link* [19] citado en las referencias se encuentra un video en la plataforma *YouTube* donde se muestra el funcionamiento del sistema de ignición, prueba hecha en el laboratorio de electrónica de La Fundación Universitaria Los Libertadores.

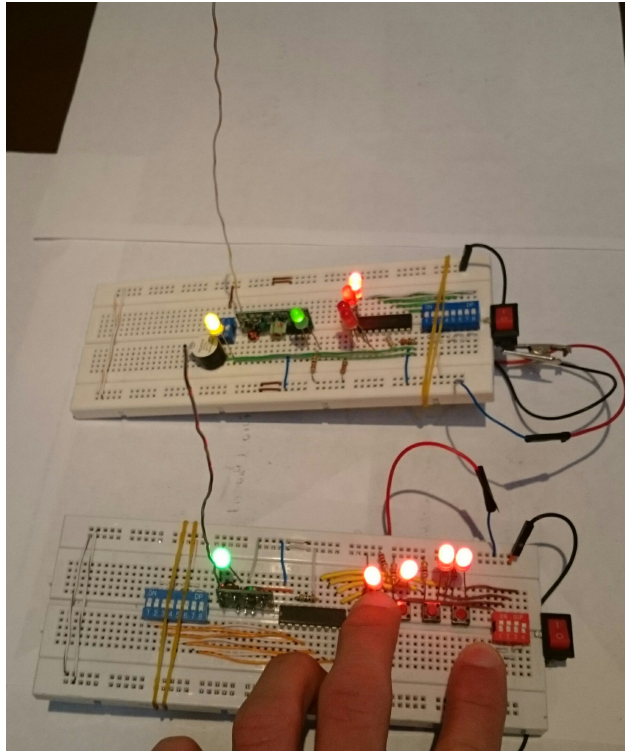


Figura 5.2: Emulación de transmisión por el canal 1.

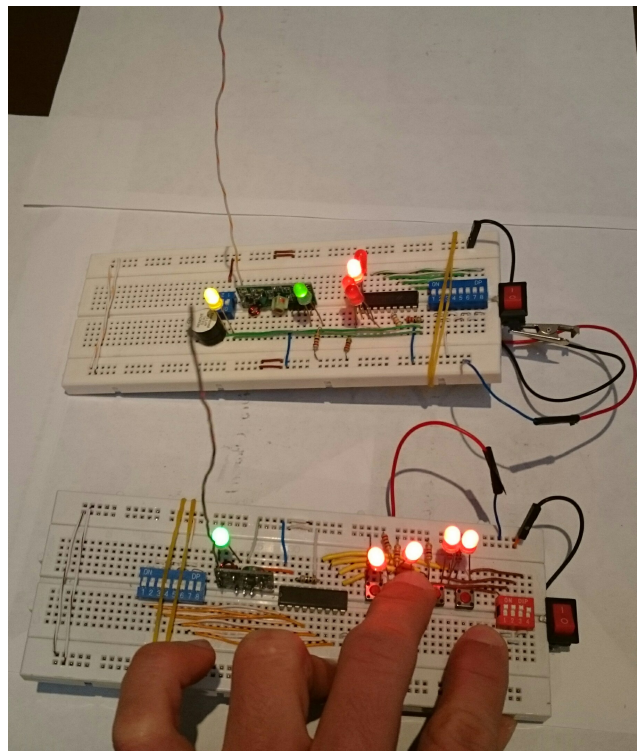


Figura 5.3: Emulación de transmisión por el canal 2.

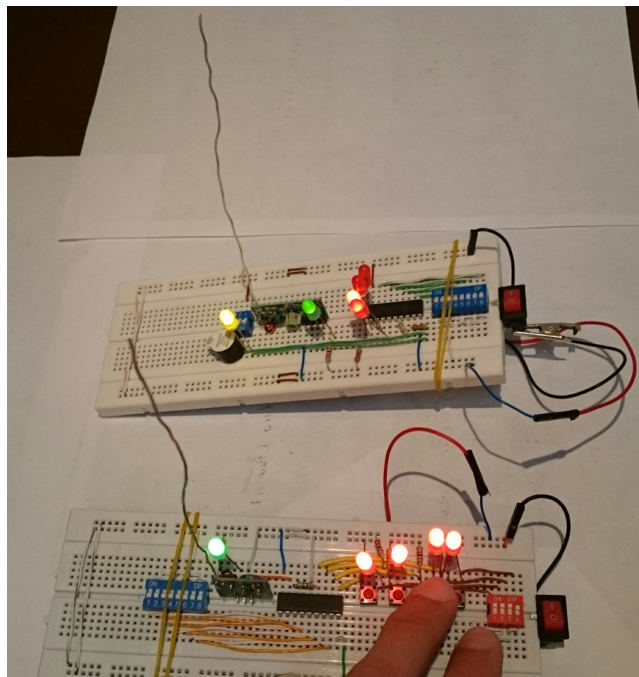


Figura 5.4: Emulación de transmisión por el canal 3.

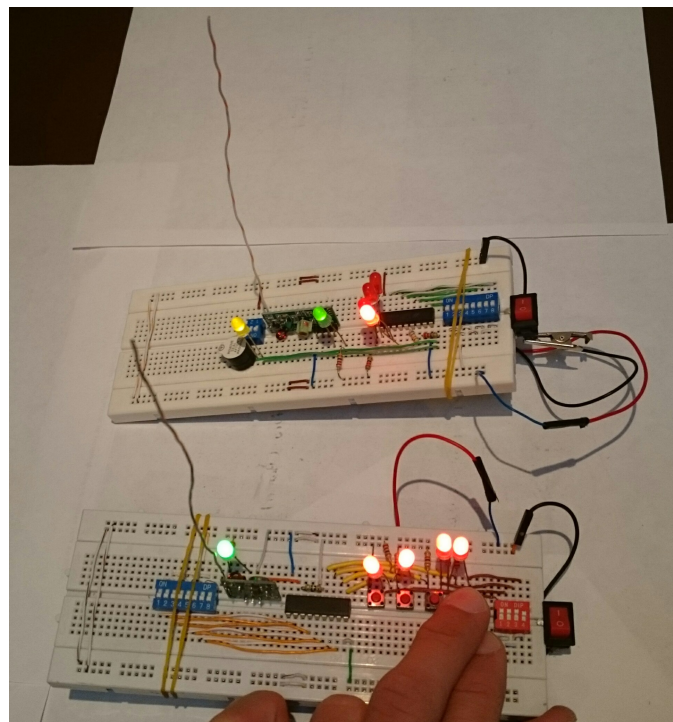


Figura 5.5: Emulación de transmisión por el canal 4.

Capítulo 6

Comparación y Discusión

En el presente capítulo se hace una comparación sobre el sistema de ignición remoto para motor cohete.

Para el efecto, se realiza la comparación entre el sistema diseñado contra dos Kit de lanzamiento de cohetes comerciales, los cuales son *Go Box* y *ESTES Rockets* ya detallados en el Capítulo 3 mostrados en el cuadro 6.1

Cuadro 6.1: Cuadro Comparativo de sistemas de ignición para cohetes.

Sistema de Ignición	Alcance (m)	Voltaje de operación (V)	Seguridad	Precio (USD)	Transmisión de datos
ESTES ROCKET	25	12	Plug	29,99	Por cable
GO BOX	15,2	12	Plug	48,10	Por cable
SISTEMA DE IGNICIÓN REMOTO	300	9	Push button + Llave Switch	43,75	Por radio

Tasa de cambio a marzo 6 de 2018: 1 USD: 2.845 COP

El sistema de ignición remoto objeto de estudio en éste documento ofrece unas características tanto de seguridad como en alcance frente a los sistemas de ignición de cohetes ofrecidos en el mercado (*Go Box*) y (*ESTES Rockets*), abriendo la posibilidad de lanzar cohetes de modelismo espacial experimentales y/o académicos manteniendo al operador a una distancia segura de la plataforma de lanzamiento dependiendo del tamaño del cohete.

Página dejada en blanco intencionalmente.

Capítulo 7

Recomendaciones y trabajos futuros

El nivel de detalle del diseño del sistema de ignición remoto para un motor cohete, da la posibilidad de llevar a la fase constructiva del sistema, pero debido restricciones de planeación y dinero no se pudieron realizar, no obstante, se recomienda construir el sistema de ignición remoto para motor cohete, para su posterior uso en lanzamientos o pruebas de motor cohete realizados por el Semillero de cohetaría de la Fundación Universitaria Los Libertadores.

Durante las pruebas realizadas con el prototipo se observaron accionamientos accidentales, esto debido a un ambiente saturado de radiación electromagnética y a que no se tenía clave de seguridad en los integrados codificadores y decodificadores. La solución para este problema es instalar un diodo zener entre la fuente de alimentación de energía y el pin DIN del integrado HT 12D; el objetivo de esto es prevenir que el integrado HT 12D sea energizado en presencia de ambientes saturados de radiación electromagnética especialmente si el receptor capta una señal de radio de igual frecuencia pero de diferente emisor.

En cuanto al pre-ignitor es importante seguir con atención la operación de los relés y controlar el número de accionamientos que éstos tienen, pues al ser dispositivos mecánicos, tienen un desgaste natural que con el uso llegará el momento de ocurrir una falla de operación haciendo obligatorio su reemplazo.

Página dejada en blanco intencionalmente.

Capítulo 8

Conclusiones

- Durante el desarrollo de este proyecto se diseñó el sistema de ignición remoto para motor cohete; dicho sistema es funcional, cumple con los parámetros de seguridad y funcionamiento llegando hasta una fase temprana de construcción para la emulación, partiendo del concepto preliminar en la ignición de motores cohete, ignitores y transmisión de información por radio-frecuencia; éste sistema de ignición consta de emisor, repetidor, receptor, pre-ignitor e ignitor.
- Se completaron las fases de diseño preliminar consistente en establecer la base teórica, conceptual (descrito en el Capítulo 2) y fase de diseño detallado (descrito en el Capítulo 4) del sistema de ignición remoto para motor cohete, estableciendo las condiciones de diseño, materiales, componentes y de legalidad establecida regida por la ANE para el uso del espectro electromagnético propiedad del Estado para la emisión y recepción de ondas de radio, arrojando como resultado la creación de los diagramas y placas propuestas para una futura fase de construcción y uso en las actividades de prueba de motores y lanzamiento de cohetes.
- Se desarrolló un sistema de ignición funcional cuyos componentes son de bajo costo, asequible en el mercado cuyo precio ronda en COP \$ 25.000 (Noviembre de 2016). Tener en cuenta que dentro de este valor no se encuentran incluidas las horas hombre ni de impresión de circuitos, a pesar de esto, las características y funciones del sistema de ignición remoto de motores cohete sea el mejor para su utilización comparado con otros sistemas de ignición.
- Como se muestra en el capítulo 6, el sistema de ignición remoto para motor cohete ofrece características tanto técnicas como operacionales que disminuyen el riesgo de daños personales y/o materiales frente a los sistemas de ignición comerciales tomados de referencia para la comparación. Esto se logró haciendo que el operador accione el cohete a una distancia de 150 m (emisor y receptor) y de 300 m (emisor, receptor y repetidor) de la plataforma de lanzamiento.

Página dejada en blanco intencionalmente.

Bibliografía

- [1] KLAUS WITTMANN Willi Hallmann y LEY Wilfried. *Handbook of Space Technology*. Wiley, 2009.
- [2] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. “Solid Rocket Motor Igniters”. En: *NASA Space Vehicle Desing Criteria (Chemical Propulsion)* NASA SP-8051 (1971), pág. 15.
- [3] ROBOTROOM. *Model Rocket Igniter Controller*. Citado en Septiembre 15 de 2017. URL: <http://www.robotroom.com/Rocket-Ignition-System-1.html>.
- [4] SUTTON George P. y BIBLARZ Oscar. *Rocket Propulsion Elements*. Eighth Edition. John Wiley Sons INC, 2010.
- [5] WARD Thomas A. *Aerospace Propulsion Systems*. John Wiley Sons (Asia) Pte Ltd, 2 Clementi Loop, 02-01, Singapore 129809, 2010.
- [6] JONKER Wouter A., MAYER Alfons E.H.J. y ZANDBERGEN Barry T.C. “Development of a Rocket Igniter using the Catalytic Decomposition of Hydrogen Peroxide”. En: (2012), pág. 1.
- [7] KELLER Thomas y HÅKANSSONA Inge. “Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content”. En: *sciencedirect* (2009).
- [8] NUFER Brian. “Hypergolic Propellants: The Handling Hazards and Lessons Learned from Use”. En: *NASA Kennedy Space Center, Cocoa Beach, FL, United States* 20100042352 (2010).
- [9] TOOLEY Mike y WYATT David. *Aircraft Communications and Navigation Systems: Principles, Operation and Maintenance*. Butterworth-Heinemann, 2007.
- [10] UNIVERSIDAD DON BOSCO. *Modulación ASK*. Citado en Septiembre 20 de 2017. URL: <http://www.udb.edu.sv/udb/archivo/guia/electronica-ingenieria/sistemas-de-comunicacion-ii/2013/ii/guia-5.pdf>.
- [11] RECUENCO ANDRES Jesús Manuel. *Modelismo Espacial, Manual de constructor de modelos espaciales*. Creative Commons (documento de distribución gratuita), 2008.

- [12] CARROLL John. “Guide For Teachers and Youth Group LeadersA Guide to Introduce Educators to the Benefits of Estes Model Rocketry”. En: *Estes Educator* 800.820.0202 (2012), págs. 13-14, 16.
- [13] PRATT-HOBBIES. *GO BOX Launch System*. Citado en Septiembre 21 de 2017. URL: <http://pratt-hobbies.com/proddetail.asp?prod=G0-12>.
- [14] APOGEE COMPONENTS. *GO BOX Launch Controller*. Citado en Septiembre 21 de 2017. URL: https://www.apogeerockets.com/Launch_Accessories/Launch_Controllers/Go_Box_Launch_Controller.
- [15] SERWAY Raymond A. y JEWETT John W. Jr. *Física para ciencias e ingeniería con Física Moderna*. Séptima Edición. Cengage Learning, 2009.
- [16] TECMIKRO. *Radiofrecuencia: sistema TX/RX a 433MHz*. Citado en Septiembre 21 de 2017. URL: <http://programarpicenc.com/articulos/radiofrecuencia-sistema-tx-rx-a-433mhz/>.
- [17] HELD Gilbert. *Introduction to Light Emitting Diode Technology and Applications*. CRC Press Taylor & Francis Group Auerbach Publications, 2009.
- [18] ELECTRONICS TUTORIALS. *The Light Emitting Diode*. Citado en Septiembre 22 de 2017. URL: http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_8.html.
- [19] Valderrama Calpa Wilson Eduardo. *Emulación Sistema de Ignición Remota*. Citado en Septiembre 22 de 2017. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=onWNyjKxHss>.

Apéndice A

Informe Prueba de Ignitor

INFORME PRUEBAS DE IGNITOR

Wilson Eduardo Valderrama Calpa, Néstor Julián Ladino Mateus
wevalderramac@libertadores.edu.co, njladinom@libertadores.edu.co

RESUMEN

El presente documento presenta la experiencia y los procedimientos que llevaron a la fabricación y posterior prueba del ingitor, destinado al cohete amateur desarrollado por los estudiantes pertenecientes al grupo de investigación en cohetería de la Fundación Universitaria Los Libertadores, y cuyo fin fundamental es proporcionar la energía que iniciará la combustión del grano propelente en el motor cohete.

PALABRAS CLAVE: Ignitor, Motor Cohete, Grano Propelente, Propelente Sólido.

1 INTRODUCCIÓN

En el siguiente artículo se muestran una serie de procedimientos prácticos, que llevados a cabo trajeron como resultado la fabricación de un dispositivo encendedor o *Ingitor*. Por medio de diferentes configuraciones, se experimenta, se indaga y se determina la disposición, medidas y cantidades más óptimas para la tarea y el desenvolvimiento de este dispositivo encendedor en el cohete amateur desarrollado por el semillero de investigación en Cohetería de la Fundación Universitaria Los Libertadores.

La fabricación del ingnitor requiere de una serie de materiales de fácil obtención en el mercado, al igual que un compuesto denominado “Polvo de Ángel”, que reacciona al calor proporcionado por un alambre eléctricamente cargado.

2 MARCO TEÓRICO

La propulsión en un amplio sentido, es el acto de cambiar el movimiento de un cuerpo. Los mecanismos de propulsión proporcionan una fuerza que mueve un cuerpo inicialmente en reposo, cambian su velocidad, o superan las fuerzas retardantes cuando este es propulsado a través de un medio.

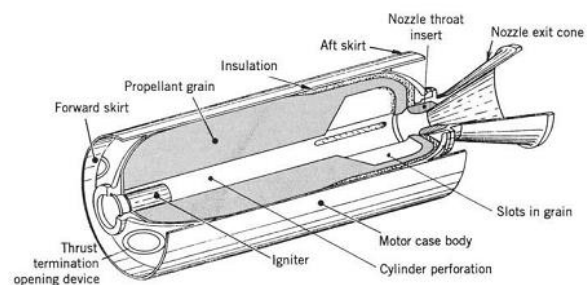
La propulsión cohete es un tipo de propulsión a chorro que produce un empuje por la eyección de una materia almacenada llamada propulsor o propelente.

La Fuente de energía más utilizada en la propulsión cohete es la combustión química, que principalmente libera energía de la combustión a alta presión de una sustancia combustible y otra oxidante, cuyo producto trae gases a temperaturas muy altas. Consecuentemente, los gases son expandidos en una tobera y acelerados a altas velocidades.

En motores cohetes de propelente sólido, el propelente a ser quemado está contenido dentro de la cámara de combustión o case. La carga de propelente sólido es llamada *grano* y este contiene todos los elementos químicos para su quemado completo. Una vez encendido,

el propelente se quema suavemente a una rata predeterminada por toda la superficie interna expuesta de grano. El gas caliente resultante fluye a través de una tobera supersónica que imparte al cohete un impulso [1].

Ilustración 1



El dispositivo encargado de proporcionar la energía para iniciar la combustión del grano propelente, se denomina *Ignitor*, que es eléctricamente activado.

3 MONTAJE EXPERIMENTAL

Cabe resaltar, que para la fabricación del ignitor, se realizaron procedimientos y se usaron materiales netamente caseros. Los elementos usados para la construcción de este dispositivo, incluyen: pitillos mezcladores, un alambre de níquel-cromo y la sustancia denominada “Polvo de Ángel”. El pitillo contendrá “Polvo de Ángel”, el alambre de níquel-cromo, por su gran capacidad para producir calor al impartírsele energía eléctrica, es utilizado para elevar la temperatura del polvo, cuya reacción produce una flama suave que proporcionará la energía requerida por el grano propelente para su combustión.

Las herramientas usadas por los investigadores fueron pinzas cortafío, alicates, bisturí, un mechero, una fuente de voltaje de corriente directa, caimanes banana, grupos de conectores macho a hembra, un horno, un tamiz, cinta de enmascarar y papel vinilipé.

- Inicialmente, se toma una muestra del “Polvo de Ángel, la cual se calienta aproximadamente 10 minutos en un horno de cocina eléctrico. Lo anterior en razón de eliminar la humedad presente en el polvo, que dificulta, retrasa y entorpece el proceso de combustión del ignitor.
- Posteriormente, se procede a construir el contenedor del grano propelente del ignitor, que como misión principal, debe impedir la entrada de humedad al mismo. Se toma un pitillo y se corta a aproximadamente 3.5 centímetros, luego se calienta uno de sus extremos con un mechero e inmediatamente se vea deformado por el calor, se sella este extremo usando unos alicates.
- Luego se cortan 15 centímetros de alambre de níquel-cromo, realizando en la mitad de este un bobinado de una revolución, dejando sus dos puntas en la misma dirección.
- Se introduce el alambre con el extremo bobinado hacia adentro del pitillo, hasta el fondo, dejando al descubierto las dos puntas del alambre, por las cuales se hará pasar una corriente directa de 9 voltios de tensión.
- Se introduce el polvo en el pitillo, aplicando presión en este para eliminar espacios de aire dentro del ignitor y posibles focos de humedad en el mismo.
- Terminado el relleno con polvo, se procede a recubrir el ignitor con cinta de enmascarar y papel vinipel, con el fin de evitar la entrada de la indeseada humedad.
- Para la prueba del ingitor, se conectan los extremos libres de este a las terminales positiva y negativa de una fuente de voltaje con 9 voltios de tensión. La gran resistencia eléctrica característica del alambre de níquel cromo, permite se caliente de manera más rápida al infundirle electricidad, permitiendo la reacción del “Polvo de Ángel”.

Ilustración 2



Ilustración 3

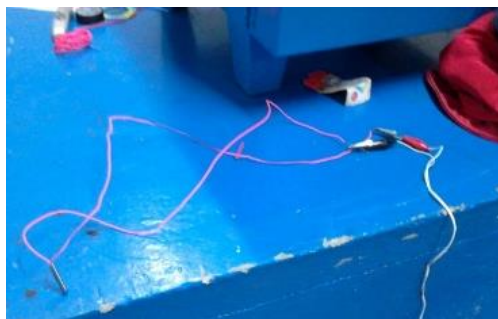
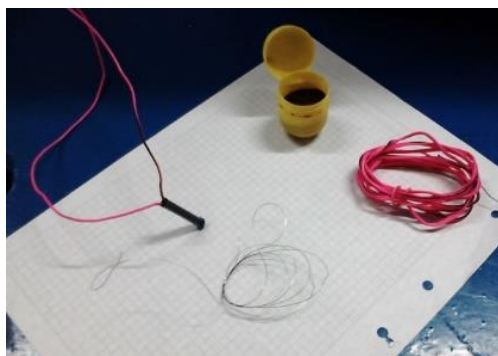


Ilustración 4



Se tiene el siguiente montaje experimental:

Ilustración 5

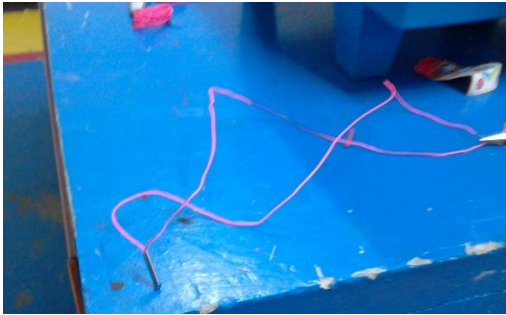


Ilustración 6

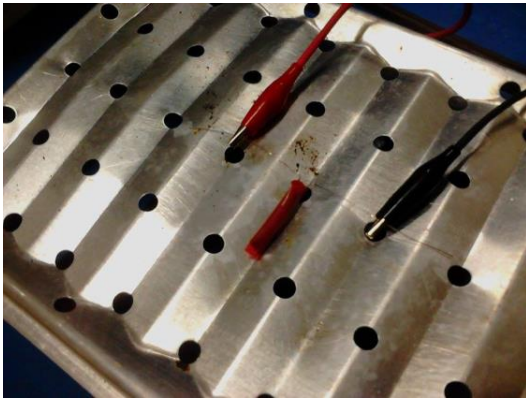


Ilustración 7



Ilustración 8



Ilustración 9



4 ANÁLISIS Y RESULTADOS

Una vez realizadas las pruebas, se llega a la exitosa producción de energía por parte del ignitor, quien generó una llama lo suficientemente efectiva para iniciar el proceso de combustión del grano propelente del motor cohete.

Del análisis de las anteriores configuraciones del ignitor, se pueden determinar las principales falencias y errores que las llevaron al fracaso. Una de las causas relevantes en el diseño del ignitor es la disposición y ubicación del alambre de níquel-cromo, el cual, para esta última construcción, produjo el calor necesario de manera más efectiva y óptima, reduciendo el tiempo de ignición y aumentando la energía liberada.

Otro de los factores influyentes fue la humedad presente en el polvo en las anteriores configuraciones de ignitores, que impedía y retrasaba su proceso de combustión. Este fenómeno fue considerablemente disminuido con procedimientos como el precalentamiento del “Polvo de Ángel” y los esfuerzos por sellar de manera más completa el pitillo contenedor.

Ilustración 10

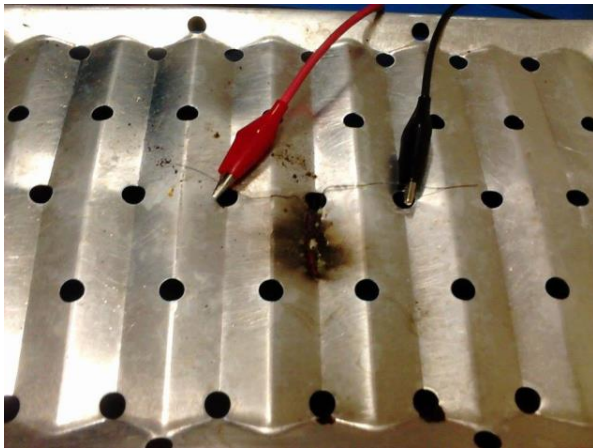


Ilustración 11



estos procedimientos puede traer daños en las instalaciones o lesiones a la salud humana.

6 REFERENCIAS

- [1] G. Sutton and O. Biblarz "*Rocket Propulsion Elements*", Wiley Interscience, 7ma edición. Pp 1, 5, 6, 417, 418. 2001

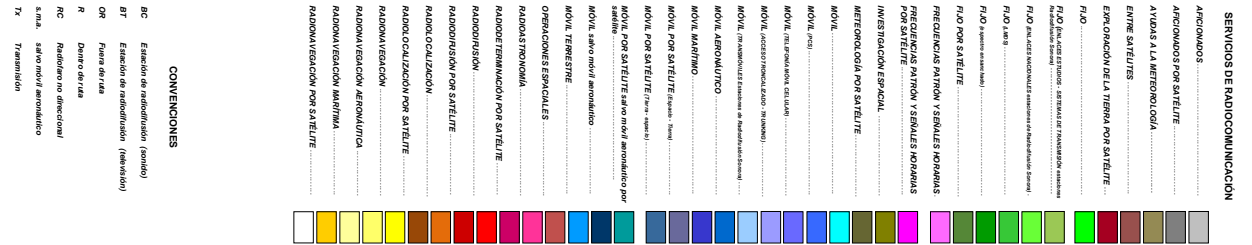
5 CONCLUSIONES

- A la hora de usar un polvo propelente para la construcción de un ignitor, se debe tener en cuenta la máxima disminución de la humedad presente en el mismo, ya que la presencia de esta es determinante en la combustión.
- Entre más se compacte el polvo dentro del ignitor, menor es la probabilidad de generar espacios de aire que agreguen humedad al medio interno.
- Se debe tener sumo cuidado en la instalación del alambre de níquel-cromo, pues el contacto de este con sí mismo, trae corto circuitos que entorpecen y deterioran por completo la construcción del ignitor.
- Las medidas de seguridad y salubridad responsables tienen que ser contempladas en cualquier prueba de combustión de granos propelentes, pues el control inadecuado de

Página dejada en blanco intencionalmente.

Apéndice B

Atribución de Bandas de Frecuencia del Espectro Radioeléctrico



Apéndice C

Cálculo de Antena

Para calcular la longitud de la antena se usa el siguiente código en el Software MATLAB

```
f=input('Digite la frecuencia de operación en Mhz');  
fm=f*1000000;  
c=299792458;  
lambda=c/fm;  
lamb4=lambda/4;  
lamb4cm=lamb4*100;  
cm='Longitud de la antena en centímetros';  
disp(cm)  
disp(lamb4cm)
```

Página dejada en blanco intencionalmente.

Apéndice D

Cálculo LED

Para calcular los valores de propiedades eléctricas del emisor de luz (LED) se usa el siguiente código en el Software MATLAB

```
Vs=input('Digite el valor del voltaje de la fuente');  
Vled=input('Digite el valor de voltaje del LED según su color')  
Nled=1;  
iled= 20*10-3;  
iTled=iled*Nled  
Vres=Vs-Vled  
Rs=(Vs-Vled)/iTled  
P=Vres*iTled  
Rcom=input('Digite el valor de la resistencia comercial');  
Icom=Vres/Rcom  
Pcom=Vres*Icom
```

Página dejada en blanco intencionalmente.

Apéndice E

Control de RF con los circuitos integrados HT12E y HT12D

Control de RF con los circuitos integrados HT12E y HT12D

¿Tienes un proyecto en el que requieras utilizar radio control y no has encontrado cómo?

En el caso de que tu respuesta sea afirmativa, o simplemente tengas curiosidad de como controlar de una manera sencilla los dispositivos de RF, estás en el lugar correcto.

En este tutorial, aprenderás como utilizar de una manera sencilla del nuestro [transmisor](#) y [receptor](#) de radio frecuencia con ayuda de un [encoder](#) y un [decoder](#), en este caso el [HT12E](#) y el [HT12D](#), todo esto está disponible en nuestra tienda.

Contenido: [1. Introducción.](#) [2. Herramientas utilizadas.](#) [2.1 Transmisor de RF.](#) [2.2 Receptor de RF.](#) [2.3 Circuitos integrados HT12E y HT12D.](#) [3. ¿Cómo se conecta?.](#) [3.1 Emisor de RF.](#) [3.2 Receptor de RF.](#) [3.3 HT12E \(Encoder\).](#) [3.4 HT12D \(Decoder\).](#) [4. Demostración en 5Hz.](#)

2. Herramientas utilizadas.

- [Transmisor RF](#)
- [Receptor RF](#)
- *Circuitos integrados* [HT12E](#) y [HT12D](#)
- [Miniprotoboard](#)
- Fuentes de 5V
- [Dipswitch](#)

- 1 resistencia de 1M?
- 2 resistencias de 100k?
- 4 resistencias de 1K? (opcionales)

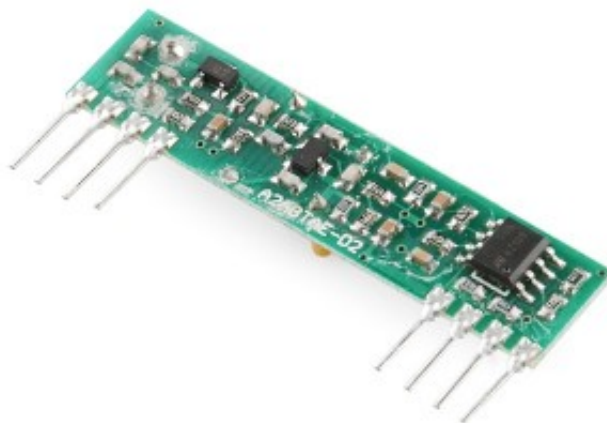
[2.1 Trasmisor de RF](#)



Este artículo es el transmisor de 434MHz. Funciona con los receptores de RF de 434 MHz a cualquier baudrate. Solamente un transmisor a esta frecuencia puede estar activo en la zona de operación.

Es fácil de usar y de bajo costo. Opera en un rango de 500 pies en espacio abierto. El transmisor requiere entre 3 y 12 V para operar. Entre más alto sea el voltaje mayor será el rango de alcance. Además es de dimensiones muy pequeñas.

Puedes descargar la [hoja de datos aquí](#).



2.2 Receptor de RF

Este artículo es el receptor de 434MHz. Funciona con los emisores de RF de 434 MHz a 4800bps. Múltiples receptores a 434MHz pueden escuchar a un solo transmisor de 434MHz.

Es fácil de usar y de bajo costo. Opera en un rango de 500 pies en espacio abierto. El receptor requiere entre 5V para operar

Puedes descargar la [hoja de datos aquí](#).

2.3 Circuitos integrados [HT12E](#) y [HT12D](#)



Estos integrados facilitan mucho el control de los dispositivos de radio frecuencia antes mencionados, casi se puede afirmar que con estos cualquiera puede transmitir datos de 4 bits a una dirección de 8 bits con solo conocer la configuración necesaria a realizarlo, la cual será descrita posteriormente.

3. ¿Cómo se conecta?.

Emisor

Pin Assignment

Pin	Function
1	GND
2	Data in
3	Vcc
4	ANT



Bueno primero que nada conozcamos la configuración de los pines de nuestro emisor de RF.

- 1.- "GND", este puerto irá conectado a nuestro lado negativo de el circuito (tierra).
- 2.- "Data in", por este puerto es por donde son transmitidos nuestros datos.
- 3.- "Vcc", este puerto va conectado directamente al voltaje de entrada.
- 4.- "ANT" es el pin donde colocaremos nuestra antena.

Receptor

Ahora conozcamos la configuración de nuestros pines de nuestro receptor de RF.

Pin Assignment

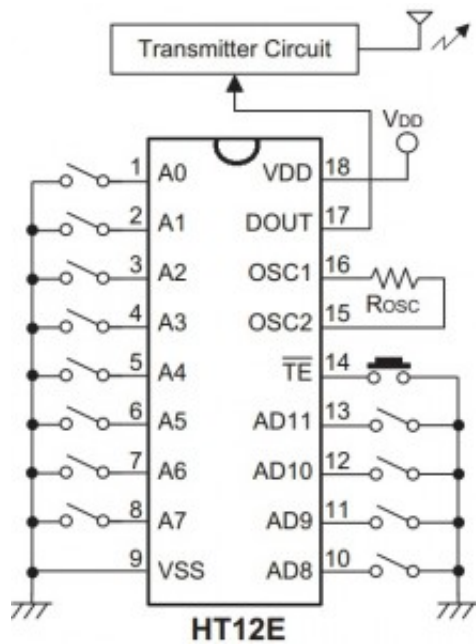
Pin	Function
1	GND
2	Digital Output
3	Linear Out
4	VCC
5	VCC
6	GND
7	GND
8	ANT(About 13cm)



- 1.- "GND", este puerto irá conectado a nuestro lado negativo del circuito (tierra).
- 2.- "Outoput", por este puerto es por donde nuestro receptor transmite lo que recibe por RF.
- 3- "Linear Out", lo mantendremos desconectado.
- 4 y 5.- "Vcc", este puerto va conectado directamente al voltaje de entrada.
- 6 y 7.- "GND" al igual que el puerto 1, estos irán conectados al lado negativo del circuito (tierra).
- 8.- "ANT" es el pin donde se coloca la antena. El fabricante sugiere que sea de aproximadamente 13 cm.

Encoder

* Y lo más interesante, la configuración para que nuestro encoder y decoder funcionen.



Configuración de pines:

1-8 .- "A" Aquí se coloca la dirección que se le asigne al receptor. Es decir, este puede estar cambiando de direcciones por switch para comunicarse con cada uno por separado si esto se requiere.

9.- "VSS" Este pin va conectado directamente al negativo en nuestro circuito (GND o tierra).

10-13.- "AD" Por estos pines es por donde se transmiten los 4 bits al receptor.

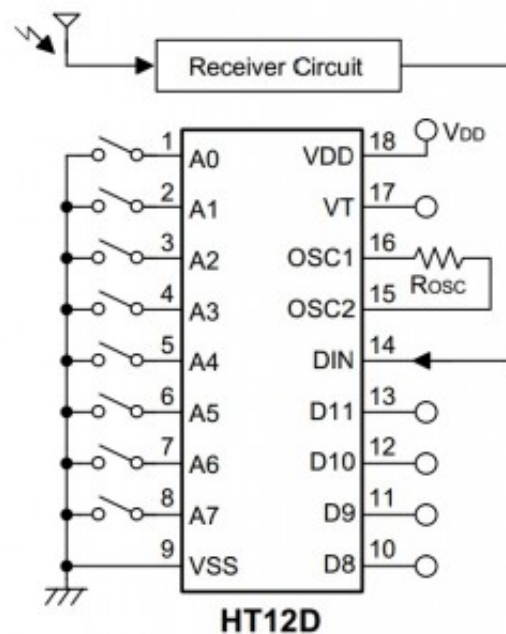
14.- "TE" son las siglas de "Transmission enable", es decir activar la transmisión, esta se hace cuando este pin está conectado a Vss (GND o tierra).

15-16 .- Estos puertos llevan una resistencia que llaman de "oscilacion" con esta controlan la frecuencia de oscilacion con la que se trabajará. se recomienda que la frecuencia de oscilacion del decoder sea 50 veces la frecuencia de oscilacion del encoder.

17.- Este pin va conectado directamente al pin de nuestro emisor de RF donde se transmiten datos. (pin2)

18.- "Vdd" Este pin va conectado directamente a nuestra fuente de voltaje.

Decoder



Configuración de pines:

1-8 .- "A" Aquí se una dirección, es importante que esta sea reconocida o memorizada, ya que como lo mencionamos anteriormente, el emisor debe contar con esta para poder establecer comunicación.

9.- "VSS" Este pin va conectado directamente al negativo en nuestro circuito (GND o tierra).

10-13.- "AD" El integrado utiliza estos pines para la salida de los 4 bits que se transmitieron en el emisor.

14.- "DIN" Es aqui donde se conecta el dispositivo receptor (en este caso al pin 2 "output").

15-16 .- Estos puertos llevan una resistencia que llaman de "oscilación" con esta controlan la frecuencia de oscilación con la que se trabajará. Se recomienda que la frecuencia de oscilación del decoder sea 50 veces la frecuencia de oscilación del encoder.

17.- Este pin lo mantendremos desconectado.

18.- "Vdd" Este pin va conectado directamente a nuestra fuente de voltaje.

Demostración en 5hz

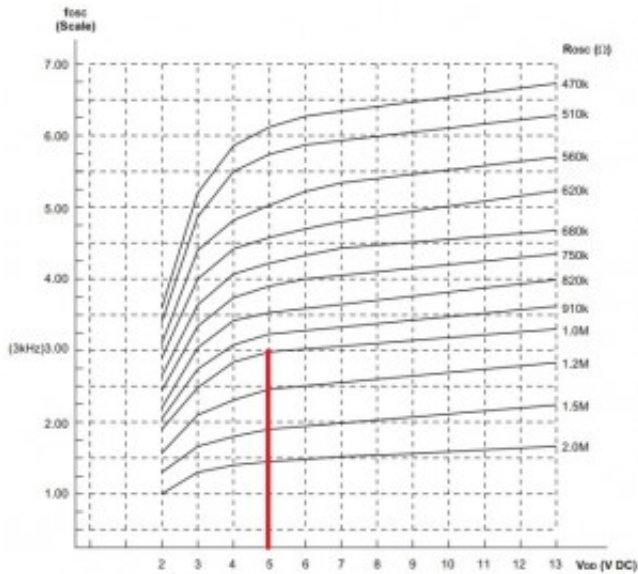
Para hacer pruebas iniciales del emisor, utilizamos dos mini protoboard azul, un dipswitch de 4 posiciones para enviar señales, además de sus resistencias pull up, el [HT12E](#) y el [emisor](#).

[caption id="attachment_180" align="aligncenter" width="300"]



Emisor en protoboard con dipswitch[/caption]

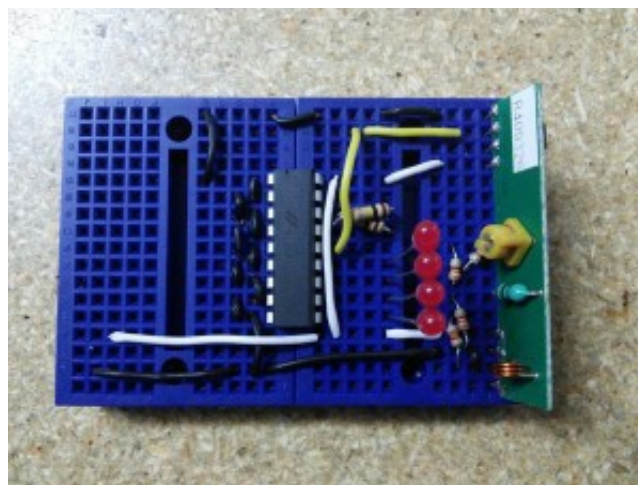
Es importante recalcar que utilizamos una resistencia de 1M Ω en los pines "15 y 16" para la frecuencia de oscilación. Esta la elegimos por la tabla que muestra nuestra [hoja de datos](#):



Como usaremos un voltaje de 5V trazamos una linea en ese voltaje y consideramos que la frecuencia de oscilación promedio es de 3kHz, lo que nos da un resultado una interseccion con la linea de la resistencia de 1M?.

Además como canal para una conexión simple puse todos en "0" es decir a tierra, por lo que nuestro receptor tendrá la misma configuración.

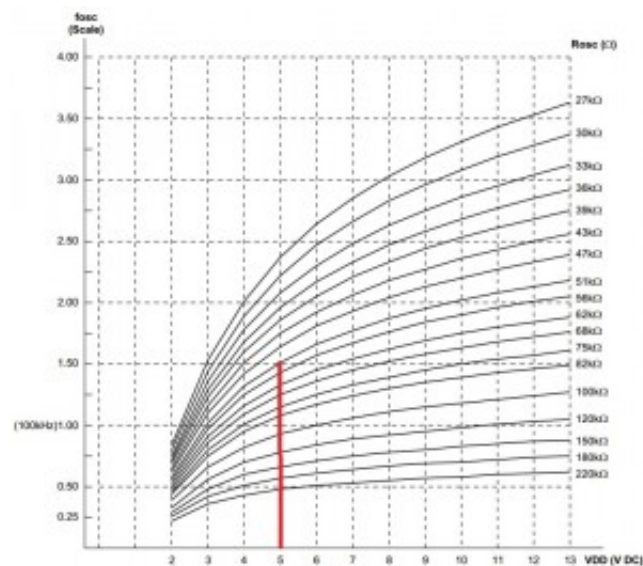
Para hacer pruebas iniciales del receptor, utilizamos dos mini protoboard azul, 4 leds de 3mm con su respectiva resistencia (330?) además de el [HT12D](#) y el [receptor de RF](#).



Ahora explicaremos que resistencia elegimos para los pines "15 y 16": como ya mencionamos, la frecuencia de nuestro encoder debe ser 50 veces la de nuestro decoder. Es decir:

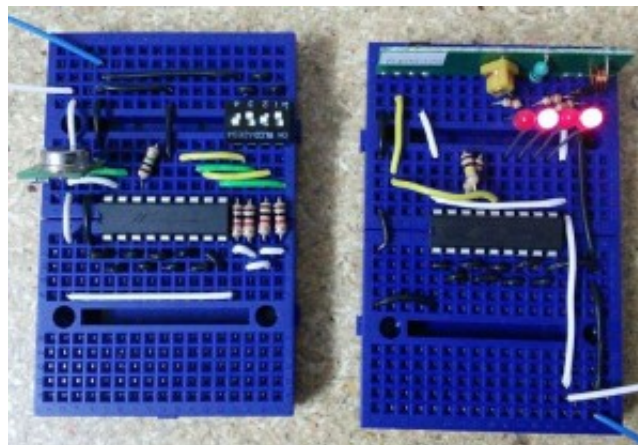
$$(3\text{kHz}) \cdot 50 = 150\text{kHz}$$

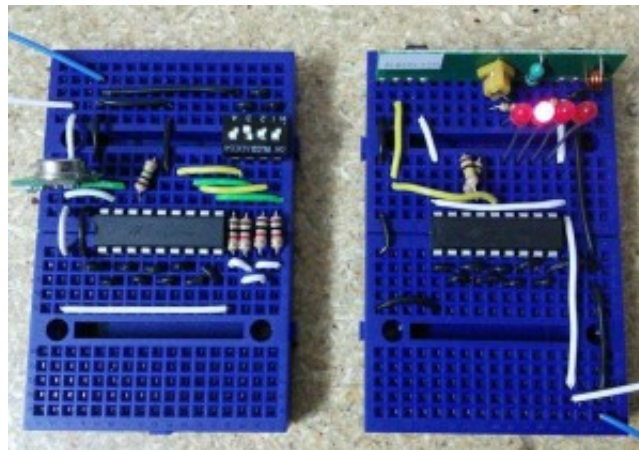
Ahora que tenemos este dato, vemos la tabla de nuestra hoja de datos de nuestro [decodificador](#):



Seguimos utilizando de referencia 5V y trazamos la línea hasta nuestra frecuencia deseada (150 kHz) y siguiendo la curva obtenemos una resistencia de 51K. Por lo que utilizamos dos resistencias en paralelo de 100k para obtenerla.

Ahora solo falta conectarlo a una fuente de 5V.





[Ir al inicio](#)

Apéndice F

Datasheet HT12E

Features

- Operating voltage
 - 2.4V~5V for the HT12A
 - 2.4V~12V for the HT12E
- Low power and high noise immunity CMOS technology
- Low standby current: 0.1μA (typ.) at V_{DD}=5V
- HT12A with a 38kHz carrier for infrared transmission medium
- Minimum transmission word
 - Four words for the HT12E
 - One word for the HT12A
- Built-in oscillator needs only 5% resistor
- Data code has positive polarity
- Minimal external components
- Pair with Holtek's 2¹² series of decoders
- 18-pin DIP, 20-pin SOP package

Applications

- Burglar alarm system
- Smoke and fire alarm system
- Garage door controllers
- Car door controllers
- Car alarm system
- Security system
- Cordless telephones
- Other remote control systems

General Description

The 2¹² encoders are a series of CMOS LSIs for remote control system applications. They are capable of encoding information which consists of N address bits and 12-N data bits. Each address/data input can be set to one of the two logic states. The programmed addresses/data are transmitted together with the header

bits via an RF or an infrared transmission medium upon receipt of a trigger signal. The capability to select a \overline{TE} trigger on the HT12E or a DATA trigger on the HT12A further enhances the application flexibility of the 2¹² series of encoders. The HT12A additionally provides a 38kHz carrier for infrared systems.

Selection Table

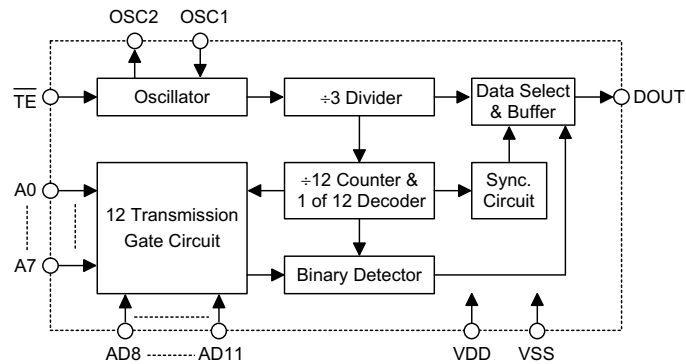
Function Part No.	Address No.	Address/ Data No.	Data No.	Oscillator	Trigger	Carrier Output	Negative Polarity	Package
HT12A	8	0	4	455kHz resonator	D8~D11	38kHz	No	18DIP, 20SOP
HT12E	8	4	0	RC oscillator	\overline{TE}	No	No	18DIP, 20SOP

Note: Address/Data represents pins that can be either address or data according to the application requirement.

Block Diagram

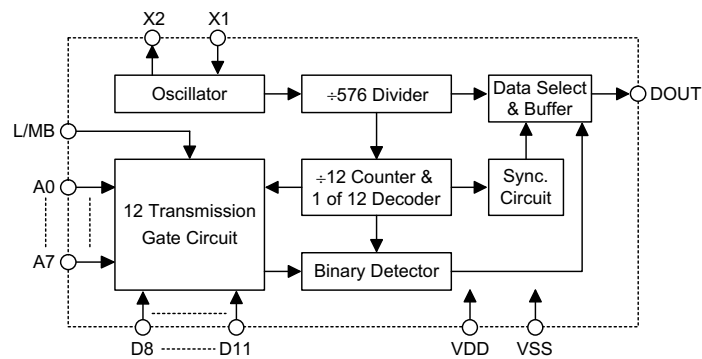
TE Trigger

HT12E



DATA Trigger

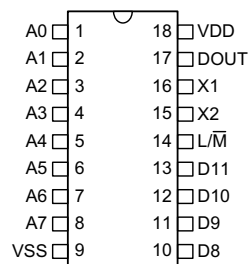
HT12A



Note: The address data pins are available in various combinations (refer to the address/data table).

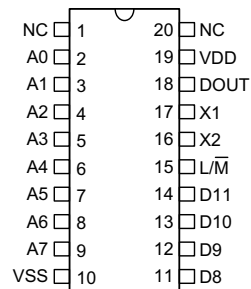
Pin Assignment

**8-Address
4-Data**



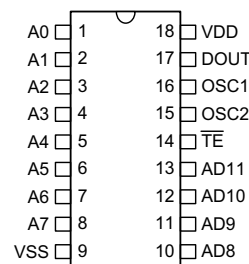
**HT12A
-18 DIP-A**

**8-Address
4-Data**



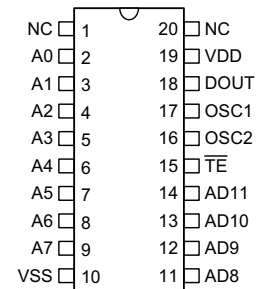
**HT12A
-20 SOP-A**

**8-Address
4-Address/Data**



**HT12E
-18 DIP-A**

**8-Address
4-Address/Data**



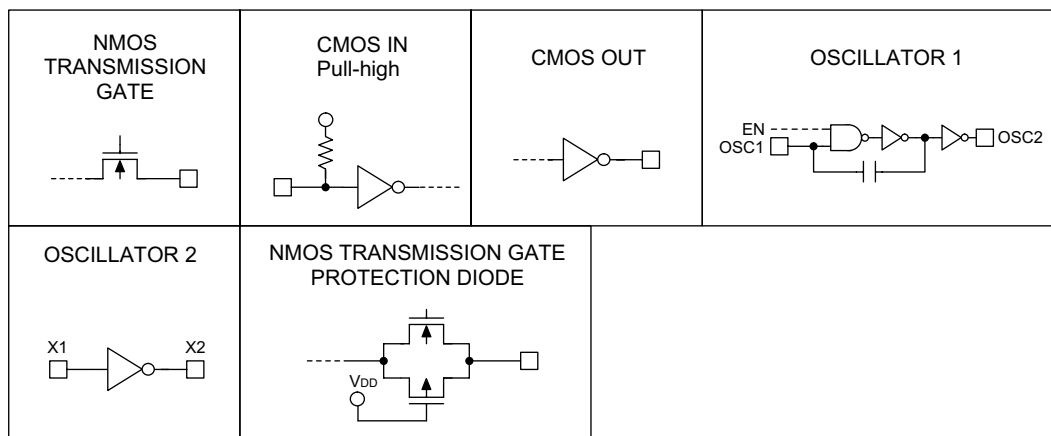
**HT12E
-20 SOP-A**

Pin Description

Pin Name	I/O	Internal Connection	Description
A0~A7	I	CMOS IN Pull-high (HT12A)	Input pins for address A0~A7 setting These pins can be externally set to VSS or left open
		NMOS TRANSMISSION GATE PROTECTION DIODE (HT12E)	
AD8~AD11	I	NMOS TRANSMISSION GATE PROTECTION DIODE (HT12E)	Input pins for address/data AD8~AD11 setting These pins can be externally set to VSS or left open
D8~D11	I	CMOS IN Pull-high	Input pins for data D8~D11 setting and transmission enable, active low These pins should be externally set to VSS or left open (see Note)
DOUT	O	CMOS OUT	Encoder data serial transmission output
L/M	I	CMOS IN Pull-high	Latch/Momentary transmission format selection pin: Latch: Floating or VDD Momentary: VSS
\overline{TE}	I	CMOS IN Pull-high	Transmission enable, active low (see Note)
OSC1	I	OSCILLATOR 1	Oscillator input pin
OSC2	O	OSCILLATOR 1	Oscillator output pin
X1	I	OSCILLATOR 2	455kHz resonator oscillator input
X2	O	OSCILLATOR 2	455kHz resonator oscillator output
VSS	I	—	Negative power supply, ground
VDD	I	—	Positive power supply

Note: D8~D11 are all data input and transmission enable pins of the HT12A.

\overline{TE} is a transmission enable pin of the HT12E.

Approximate Internal Connections


Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage (HT12A)	$V_{SS}-0.3V$ to $V_{SS}+5.5V$	Supply Voltage (HT12E)	$-0.3V$ to $13V$
Input Voltage	$V_{SS}-0.3$ to $V_{DD}+0.3V$	Storage Temperature	$-50^{\circ}C$ to $125^{\circ}C$
Operating Temperature	$-20^{\circ}C$ to $75^{\circ}C$		

Note: These are stress ratings only. Stresses exceeding the range specified under "Absolute Maximum Ratings" may cause substantial damage to the device. Functional operation of this device at other conditions beyond those listed in the specification is not implied and prolonged exposure to extreme conditions may affect device reliability.

Electrical Characteristics

HT12A

 $T_a=25^{\circ}C$

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V_{DD}	Conditions				
V_{DD}	Operating Voltage	—	—	2.4	3	5	V
I_{STB}	Standby Current	3V	Oscillator stops	—	0.1	1	μA
		5V		—	0.1	1	μA
I_{DD}	Operating Current	3V	No load $f_{OSC}=455kHz$	—	200	400	μA
		5V		—	400	800	μA
I_{DOUT}	Output Drive Current	5V	$V_{OH}=0.9V_{DD}$ (Source)	-1	-1.6	—	mA
			$V_{OL}=0.1V_{DD}$ (Sink)	2	3.2	—	mA
V_{IH}	"H" Input Voltage	—	—	$0.8V_{DD}$	—	V_{DD}	V
V_{IL}	"L" Input Voltage	—	—	0	—	$0.2V_{DD}$	V
R_{DATA}	D8~D11 Pull-high Resistance	5V	$V_{DATA}=0V$	—	150	300	$k\Omega$

HT12E

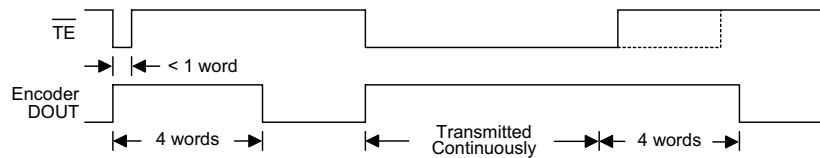
 $T_a=25^{\circ}C$

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V_{DD}	Conditions				
V_{DD}	Operating Voltage	—	—	2.4	5	12	V
I_{STB}	Standby Current	3V	Oscillator stops	—	0.1	1	μA
		12V		—	2	4	μA
I_{DD}	Operating Current	3V	No load, $f_{OSC}=3kHz$	—	40	80	μA
		12V		—	150	300	μA
I_{DOUT}	Output Drive Current	5V	$V_{OH}=0.9V_{DD}$ (Source)	-1	-1.6	—	mA
			$V_{OL}=0.1V_{DD}$ (Sink)	1	1.6	—	mA
V_{IH}	"H" Input Voltage	—	—	$0.8V_{DD}$	—	V_{DD}	V
V_{IL}	"L" Input Voltage	—	—	0	—	$0.2V_{DD}$	V
f_{OSC}	Oscillator Frequency	5V	$R_{OSC}=1.1M\Omega$	—	3	—	kHz
R_{TE}	\overline{TE} Pull-high Resistance	5V	$V_{TE}=0V$	—	1.5	3	$M\Omega$

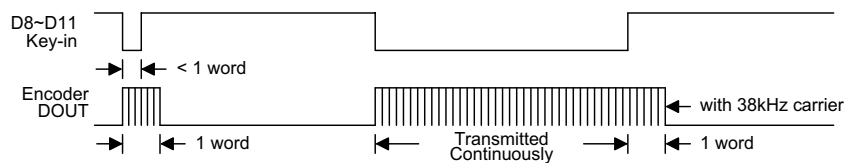
Functional Description

Operation

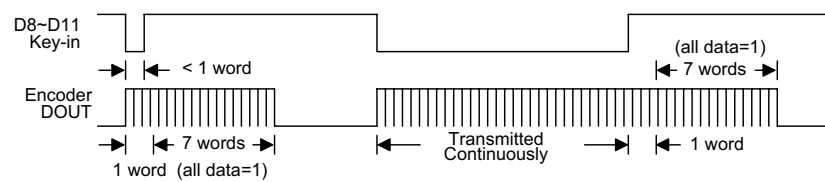
The 2¹² series of encoders begin a 4-word transmission cycle upon receipt of a transmission enable (\overline{TE} for the HT12E or D8~D11 for the HT12A, active low). This cycle will repeat itself as long as the transmission enable (\overline{TE} or D8~D11) is held low. Once the transmission enable returns high the encoder output completes its final cycle and then stops as shown below.



Transmission timing for the HT12E



Transmission timing for the HT12A (L/\overline{M} =Floating or VDD)

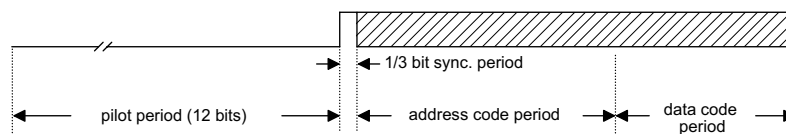


Transmission timing for the HT12A (L/\overline{M} =VSS)

Information Word

If $L/\overline{M}=1$ the device is in the latch mode (for use with the latch type of data decoders). When the transmission enable is removed during a transmission, the DOUT pin outputs a complete word and then stops. On the other hand, if $L/\overline{M}=0$ the device is in the momentary mode (for use with the momentary type of data decoders). When the transmission enable is removed during a transmission, the DOUT outputs a complete word and then adds 7 words all with the "1" data code.

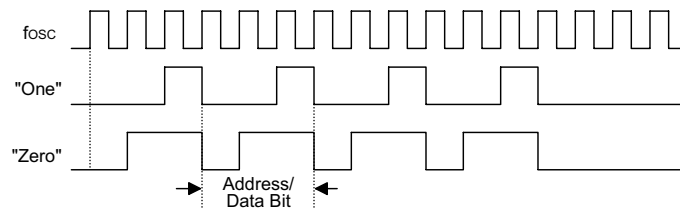
An information word consists of 4 periods as illustrated below.



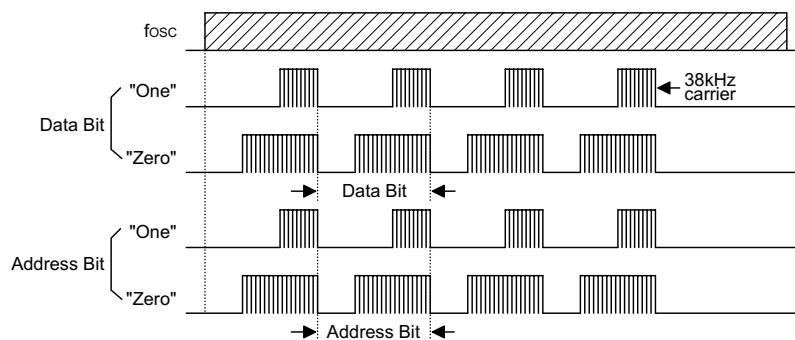
Composition of information

Address/Data Waveform

Each programmable address/data pin can be externally set to one of the following two logic states as shown below.



Address/Data bit waveform for the HT12E



Address/Data bit waveform for the HT12A

The address/data bits of the HT12A are transmitted with a 38kHz carrier for infrared remote controller flexibility.

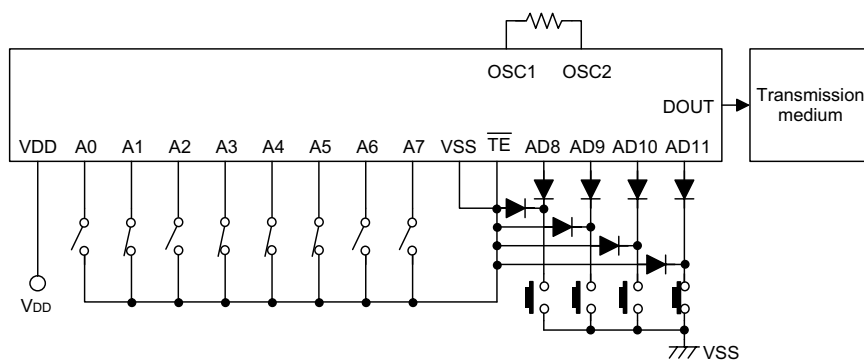
Address/Data Programming (Preset)

The status of each address/data pin can be individually pre-set to logic "high" or "low". If a transmission-enable signal is applied, the encoder scans and transmits the status of the 12 bits of address/data serially in the order A0 to AD11 for the HT12E encoder and A0 to D11 for the HT12A encoder.

During information transmission these bits are transmitted with a preceding synchronization bit. If the trigger signal is not applied, the chip enters the standby mode and consumes a reduced current of less than 1μA for a supply voltage of 5V.

Usual applications preset the address pins with individual security codes using DIP switches or PCB wiring, while the data is selected by push buttons or electronic switches.

The following figure shows an application using the HT12E:



The transmitted information is as shown:

Pilot & Sync.	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	AD8	AD9	AD10	AD11
	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0

Address/Data Sequence

The following provides the address/data sequence table for various models of the 2¹² series of encoders.

Part No.	Address/Data Bits											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
HT12A	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	D8	D9	D10	D11
HT12E	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	AD8	AD9	AD10	AD11

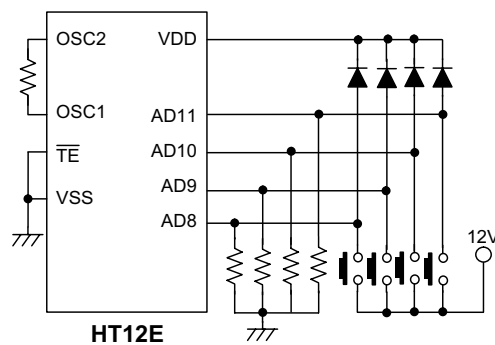
Transmission Enable

For the HT12E encoders, transmission is enabled by applying a low signal to the $\overline{\text{TE}}$ pin. For the HT12A encoders, transmission is enabled by applying a low signal to one of the data pins D8~D11.

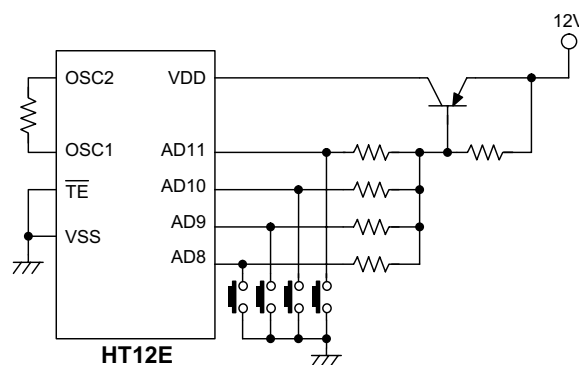
Two Erroneous HT12E Application Circuits

The HT12E must follow closely the application circuits provided by Holtek (see the "Application circuits").

- Error: AD8~AD11 pins input voltage > V_{DD}+0.3V

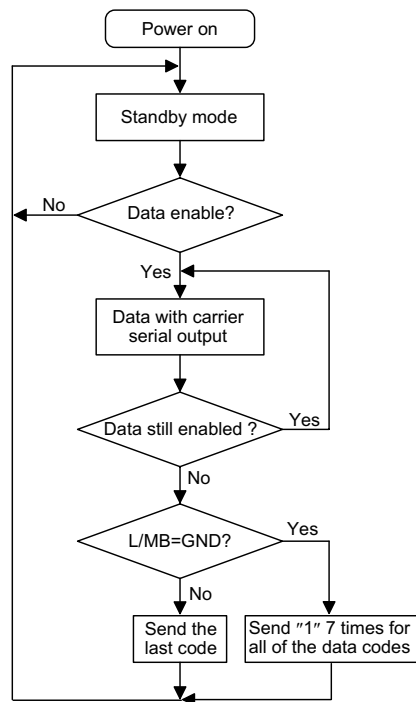


- Error: The IC's power source is activated by pins AD8~AD11

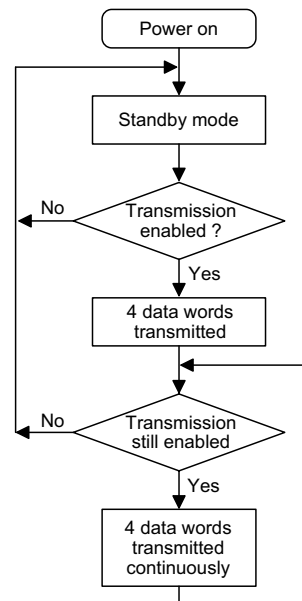


Flowchart

• HT12A



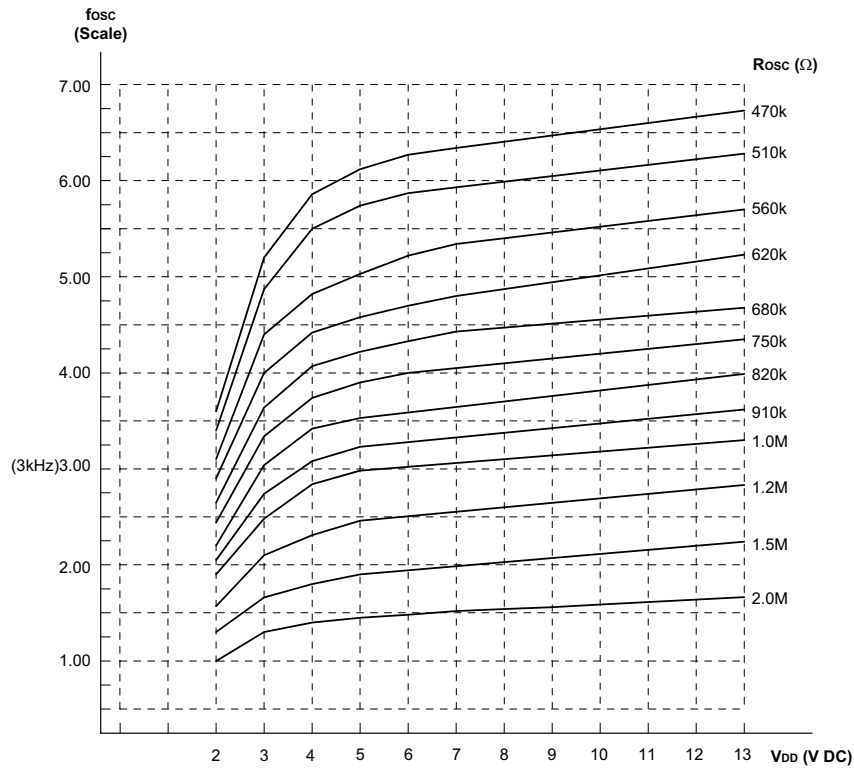
• HT12E



Note: D8~D11 are transmission enables of the HT12A.

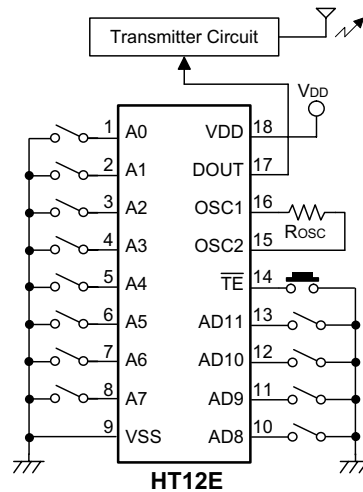
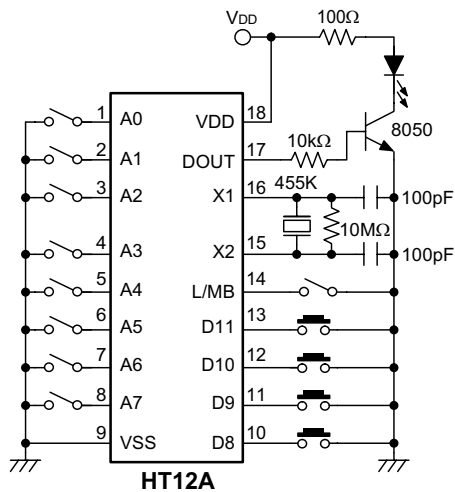
$\overline{\text{TE}}$ is the transmission enable of the HT12E.

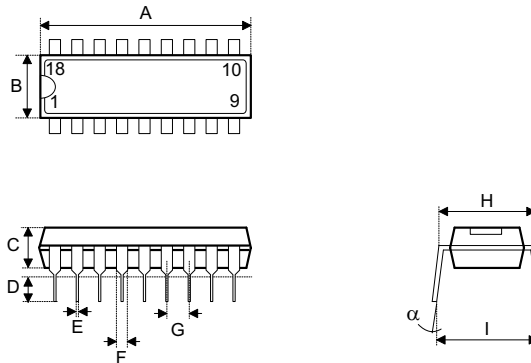
Oscillator Frequency vs. Supply Voltage



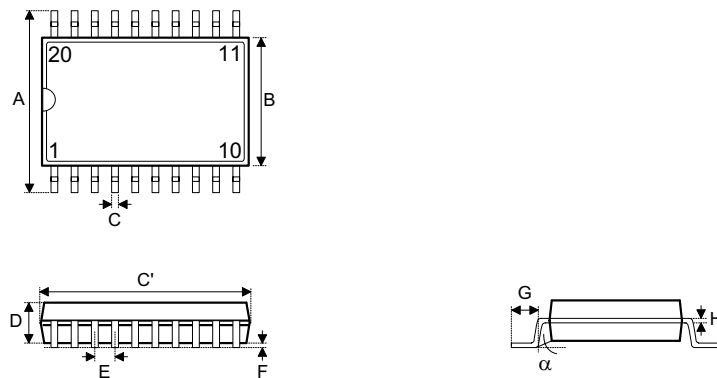
The recommended oscillator frequency is $f_{OSCD} \text{ (decoder)} \cong 50 f_{OSCE} \text{ (HT12E encoder)}$
 $\cong \frac{1}{3} f_{OSCE} \text{ (HT12A encoder)}$

Application Circuits

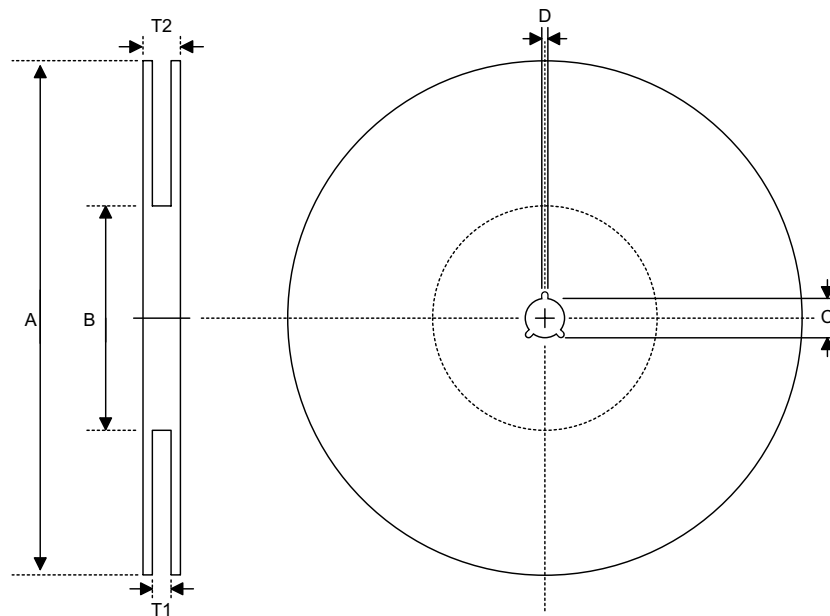


Package Information
18-pin DIP (300mil) Outline Dimensions


Symbol	Dimensions in mil		
	Min.	Nom.	Max.
A	895	—	915
B	240	—	260
C	125	—	135
D	125	—	145
E	16	—	20
F	50	—	70
G	—	100	—
H	295	—	315
I	335	—	375
α	0°	—	15°

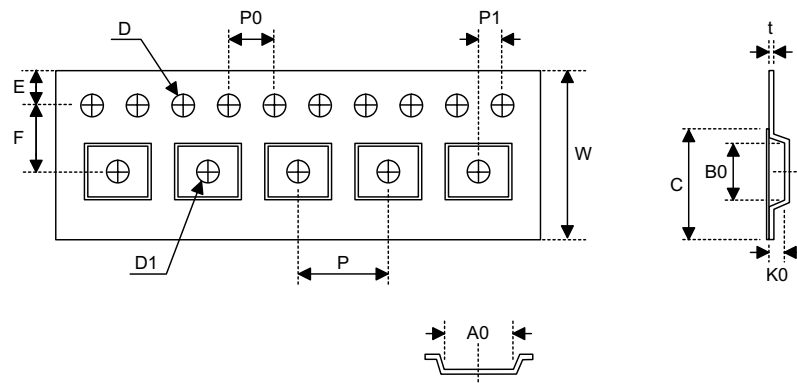
20-pin SOP (300mil) Outline Dimensions


Symbol	Dimensions in mil		
	Min.	Nom.	Max.
A	394	—	419
B	290	—	300
C	14	—	20
C'	490	—	510
D	92	—	104
E	—	50	—
F	4	—	—
G	32	—	38
H	4	—	12
α	0°	—	10°

Product Tape and Reel Specifications
Reel Dimensions


SOP 20W

Symbol	Description	Dimensions in mm
A	Reel Outer Diameter	330±1.0
B	Reel Inner Diameter	62±1.5
C	Spindle Hole Diameter	13.0+0.5 -0.2
D	Key Slit Width	2.0±0.5
T1	Space Between Flange	24.8+0.3 -0.2
T2	Reel Thickness	30.2±0.2

Carrier Tape Dimensions

SOP 20W

Symbol	Description	Dimensions in mm
W	Carrier Tape Width	24.0+0.3 -0.1
P	Cavity Pitch	12.0±0.1
E	Perforation Position	1.75±0.1
F	Cavity to Perforation (Width Direction)	11.5±0.1
D	Perforation Diameter	1.5+0.1
D1	Cavity Hole Diameter	1.5+0.25
P0	Perforation Pitch	4.0±0.1
P1	Cavity to Perforation (Length Direction)	2.0±0.1
A0	Cavity Length	10.8±0.1
B0	Cavity Width	13.3±0.1
K0	Cavity Depth	3.2±0.1
t	Carrier Tape Thickness	0.3±0.05
C	Cover Tape Width	21.3

Holtek Semiconductor Inc. (Headquarters)

No.3, Creation Rd. II, Science Park, Hsinchu, Taiwan
Tel: 886-3-563-1999
Fax: 886-3-563-1189
<http://www.holtek.com.tw>

Holtek Semiconductor Inc. (Taipei Sales Office)

4F-2, No. 3-2, YuanQu St., Nankang Software Park, Taipei 115, Taiwan
Tel: 886-2-2655-7070
Fax: 886-2-2655-7373
Fax: 886-2-2655-7383 (International sales hotline)

Holtek Semiconductor Inc. (Shanghai Sales Office)

7th Floor, Building 2, No.889, Yi Shan Rd., Shanghai, China 200233
Tel: 021-6485-5560
Fax: 021-6485-0313
<http://www.holtek.com.cn>

Holtek Semiconductor Inc. (Shenzhen Sales Office)

5/F, Unit A, Productivity Building, Cross of Science M 3rd Road and Gaoxin M 2nd Road, Science Park, Nanshan District, Shenzhen, China 518057
Tel: 0755-8616-9908, 8616-9308
Fax: 0755-8616-9533

Holtek Semiconductor Inc. (Beijing Sales Office)

Suite 1721, Jinyu Tower, A129 West Xuan Wu Men Street, Xicheng District, Beijing, China 100031
Tel: 010-6641-0030, 6641-7751, 6641-7752
Fax: 010-6641-0125

Holtek Semiconductor Inc. (Chengdu Sales Office)

709, Building 3, Champagne Plaza, No.97 Dongda Street, Chengdu, Sichuan, China 610016
Tel: 028-6653-6590
Fax: 028-6653-6591

Holmate Semiconductor, Inc. (North America Sales Office)

46729 Fremont Blvd., Fremont, CA 94538
Tel: 510-252-9880
Fax: 510-252-9885
<http://www.holmate.com>

Copyright © 2003 by HOLTEK SEMICONDUCTOR INC.

The information appearing in this Data Sheet is believed to be accurate at the time of publication. However, Holtek assumes no responsibility arising from the use of the specifications described. The applications mentioned herein are used solely for the purpose of illustration and Holtek makes no warranty or representation that such applications will be suitable without further modification, nor recommends the use of its products for application that may present a risk to human life due to malfunction or otherwise. Holtek's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems. Holtek reserves the right to alter its products without prior notification. For the most up-to-date information, please visit our web site at <http://www.holtek.com.tw>.

Página dejada en blanco intencionalmente.

Apéndice G

Datasheet HT12D

Features

- Operating voltage: 2.4V~12V
- Low power and high noise immunity CMOS technology
- Low standby current
- Capable of decoding 12 bits of information
- Pair with Holtek's 2¹² series of encoders
- Binary address setting
- Received codes are checked 3 times
- Address/Data number combination
 - HT12D: 8 address bits and 4 data bits
 - HT12F: 12 address bits only
- Built-in oscillator needs only 5% resistor
- Valid transmission indicator
- Easy interface with an RF or an infrared transmission medium
- Minimal external components

Applications

- Burglar alarm system
- Smoke and fire alarm system
- Garage door controllers
- Car door controllers
- Car alarm system
- Security system
- Cordless telephones
- Other remote control systems

General Description

The 2¹² decoders are a series of CMOS LSIs for remote control system applications. They are paired with Holtek's 2¹² series of encoders (refer to the encoder/decoder cross reference table). For proper operation, a pair of encoder/decoder with the same number of addresses and data format should be chosen.

The decoders receive serial addresses and data from a programmed 2¹² series of encoders that are transmitted by a carrier using an RF or an IR transmission medium. They compare the serial input data three times continuously with

their local addresses. If no error or unmatched codes are found, the input data codes are decoded and then transferred to the output pins. The VT pin also goes high to indicate a valid transmission.

The 2¹² series of decoders are capable of decoding informations that consist of N bits of address and 12-N bits of data. Of this series, the HT12D is arranged to provide 8 address bits and 4 data bits, and HT12F is used to decode 12 bits of address information.

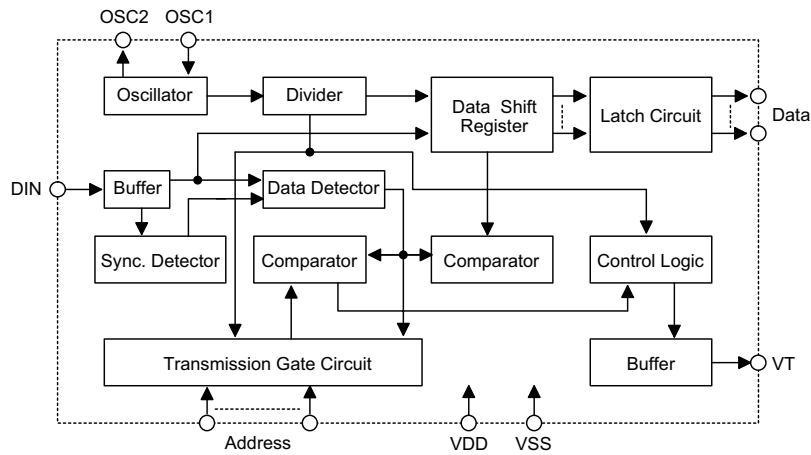
Selection Table

Function Part No.	Address No.	Data		VT	Oscillator	Trigger	Package
		No.	Type				
HT12D	8	4	L	√	RC oscillator	DIN active "Hi"	18 DIP/20 SOP
HT12F	12	0	—	√	RC oscillator	DIN active "Hi"	18 DIP/20 SOP

Notes: Data type: L stands for latch type data output.

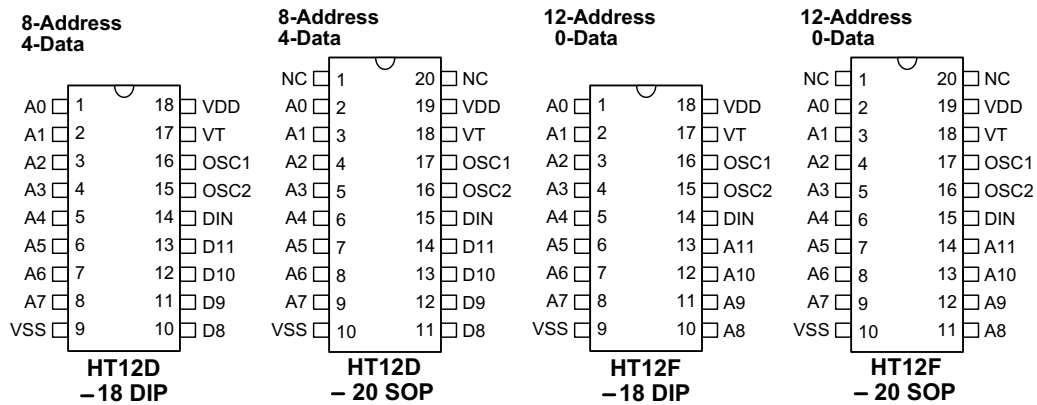
VT can be used as a momentary data output.

Block Diagram



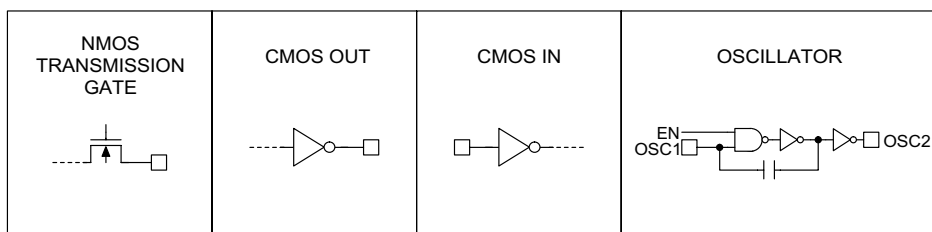
Note: The address/data pins are available in various combinations (see the address/data table).

Pin Assignment



Pin Description

Pin Name	I/O	Internal Connection	Description
A0~A11	I	NMOS TRANSMISSION GATE	Input pins for address A0~A11 setting They can be externally set to VDD or VSS.
D8~D11	O	CMOS OUT	Output data pins
DIN	I	CMOS IN	Serial data input pin
VT	O	CMOS OUT	Valid transmission, active high
OSC1	I	OSCILLATOR	Oscillator input pin
OSC2	O	OSCILLATOR	Oscillator output pin
VSS	I	—	Negative power supply (GND)
VDD	I	—	Positive power supply

Approximate internal connection circuits

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage.....-0.3V to 13V Storage Temperature.....-50°C to 125°C
 Input Voltage.....V_{SS}-0.3 to V_{DD}+0.3V Operating Temperature-20°C to 75°C

Note: These are stress ratings only. Stresses exceeding the range specified under "Absolute Maximum Ratings" may cause substantial damage to the device. Functional operation of this device at other conditions beyond those listed in the specification is not implied and prolonged exposure to extreme conditions may affect device reliability.

Electrical Characteristics

Ta=25°C

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V _{DD}	Conditions				
V _{DD}	Operating Voltage	—	—	2.4	5	12	V
I _{STB}	Standby Current	5V	Oscillator stops	—	0.1	1	μA
		12V		—	2	4	μA
I _{DD}	Operating Current	5V	No load f _{OSC} =150kHz	—	200	400	μA
I _O	Data Output Source Current (D8~D11)	5V	V _{OH} =4.5V	-1	-1.6	—	mA
	Data Output Sink Current (D8~D11)	5V	V _{OL} =0.5V	1	1.6	—	mA
I _{VT}	VT Output Source Current	5V	V _{OH} =4.5V	-1	-1.6	—	mA
	VT Output Sink Current		V _{OL} =0.5V	1	1.6	—	mA
V _{IH}	"H" Input Voltage	5V	—	3.5	—	5	V
V _{IL}	"L" Input Voltage	5V	—	0	—	1	V
f _{OSC}	Oscillator Frequency	5V	R _{OSC} =51kΩ	—	150	—	kHz

Functional Description

Operation

The 2¹² series of decoders provides various combinations of addresses and data pins in different packages so as to pair with the 2¹² series of encoders.

The decoders receive data that are transmitted by an encoder and interpret the first N bits of code period as addresses and the last 12-N bits as data, where N is the address code number. A signal on the DIN pin activates the oscillator which in turn decodes the incoming address and data. The decoders will then check the received address three times continuously. If the received address codes all match the contents of the decoder's local address, the 12-N bits of data are decoded to activate the output pins and the VT pin is set high to indicate a valid transmission. This will last unless the address code is incorrect or no signal is received.

The output of the VT pin is high only when the transmission is valid. Otherwise it is always low.

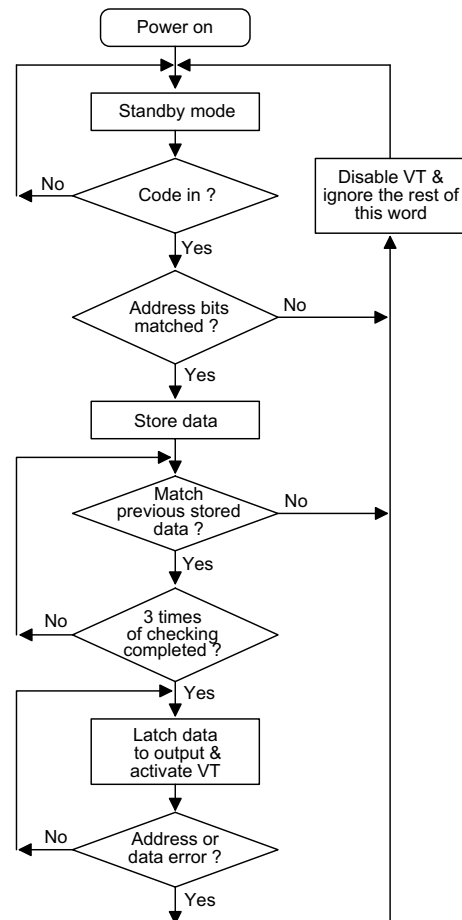
Output type

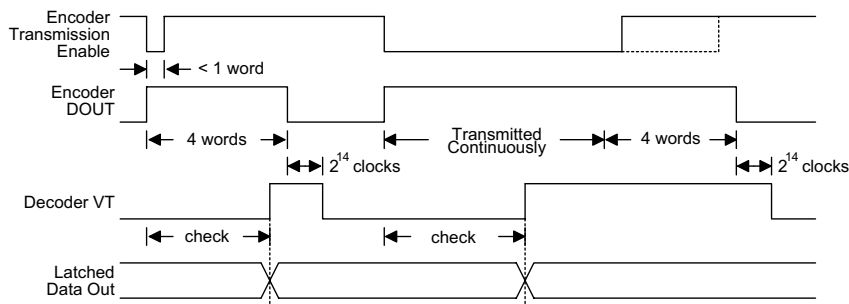
Of the 2¹² series of decoders, the HT12F has no data output pin but its VT pin can be used as a momentary data output. The HT12D, on the other hand, provides 4 latch type data pins whose data remain unchanged until new data are received.

Part No.	Data Pins	Address Pins	Output Type	Operating Voltage
HT12D	4	8	Latch	2.4V~12V
HT12F	0	12	—	2.4V~12V

Flowchart

The oscillator is disabled in the standby state and activated when a logic "high" signal applies to the DIN pin. That is to say, the DIN should be kept low if there is no signal input.



Decoder timing

Encoder/Decoder cross reference table

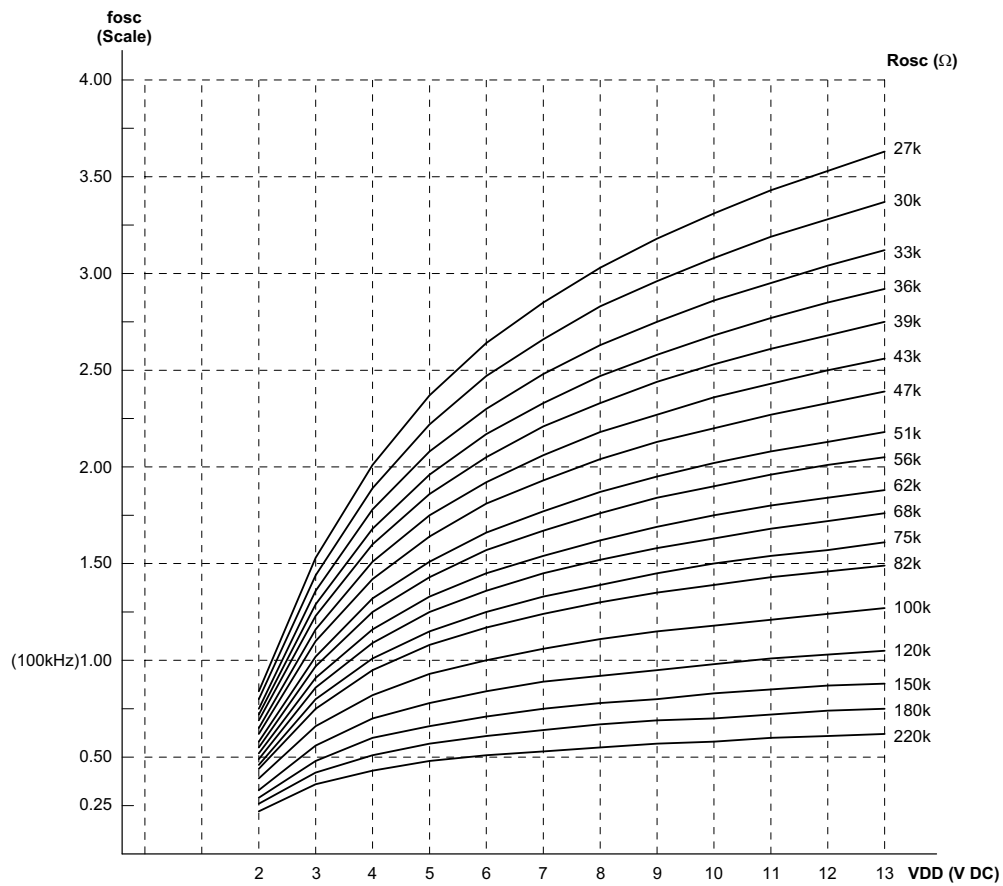
Decoders Part No.	Data Pins	Address Pins	VT	Pair Encoder	Package			
					Encoder		Decoder	
					DIP	SOP	DIP	SOP
HT12D	4	8	√	HT12A	18	20	18	20
				HT12E	18	20		
HT12F	0	12	√	HT12A	18	20	18	20
				HT12E	18	20		

Address/Data sequence

The following table provides address/data sequence for various models of the 2¹² series of decoders. A correct device should be chosen according to the requirements of the individual addresses and data.

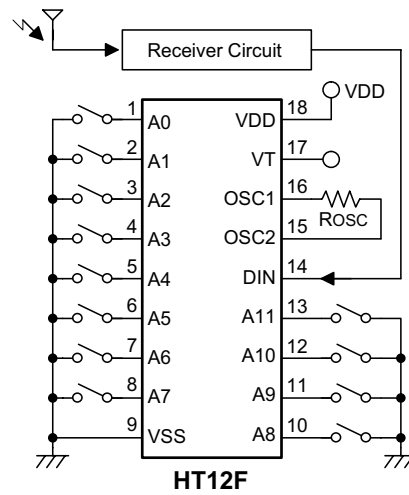
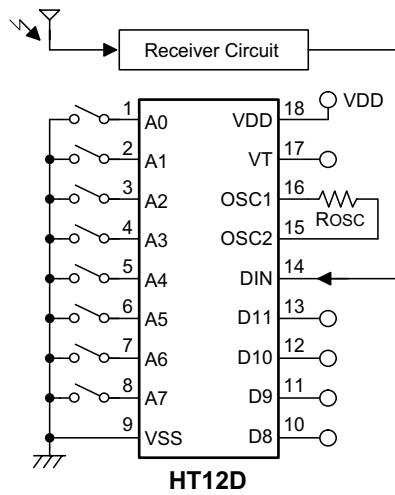
Part No.	Address/Data Bits											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
HT12D	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	D8	D9	D10	D11
HT12F	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11

Oscillator frequency vs supply voltage



The recommended oscillator frequency is $f_{OSCD}(\text{decoder}) \cong 50 f_{OSCE}(\text{HT12E encoder})$
 $\cong \frac{1}{3} f_{OSCE}(\text{HT12A encoder})$.

Application Circuits



Notes: Typical infrared receiver: PIC-12043T/PIC-12043S (KODESHI CORP.)
or LTM9052 (LITEON CORP.)

Typical RF receiver: JR-200 (JUWA CORP.)
RE-99 (MING MICROSYSTEM, U.S.A.)

Holtek Semiconductor Inc. (Headquarters)

No.3 Creation Rd. II, Science-based Industrial Park, Hsinchu, Taiwan, R.O.C.

Tel: 886-3-563-1999

Fax: 886-3-563-1189

Holtek Semiconductor Inc. (Taipei Office)

5F, No.576, Sec.7 Chung Hsiao E. Rd., Taipei, Taiwan, R.O.C.

Tel: 886-2-2782-9635

Fax: 886-2-2782-9636

Fax: 886-2-2782-7128 (International sales hotline)

Holtek Microelectronics Enterprises Ltd.

RM.711, Tower 2, Cheung Sha Wan Plaza, 833 Cheung Sha Wan Rd., Kowloon, Hong Kong

Tel: 852-2-745-8288

Fax: 852-2-742-8657

Copyright © 1999 by HOLTEK SEMICONDUCTOR INC.

The information appearing in this Data Sheet is believed to be accurate at the time of publication. However, Holtek assumes no responsibility arising from the use of the specifications described. The applications mentioned herein are used solely for the purpose of illustration and Holtek makes no warranty or representation that such applications will be suitable without further modification, nor recommends the use of its products for application that may present a risk to human life due to malfunction or otherwise. Holtek reserves the right to alter its products without prior notification. For the most up-to-date information, please visit our web site at <http://www.holtek.com.tw>.

Apéndice H

Datasheet Kit de transmisión RF



433Mhz RF Transmitter With Receiver Kit For Arduino ARM MCU Wireless

Description:

This is 433Mhz RF transmitter with receiver kit for Arduino ARM MCU wireless

Application environment:

Remote control switch, receiver module, motorcycles, automobile anti-theft products, home security products, electric doors, shutter doors, windows, remote control socket, remote control LED, remote audio remote control electric doors, garage door remote control, remote control retractable doors, remote volume gate, pan doors, remote control door opener, door closing device control system, remote control curtains, alarm host, alarm, remote control motorcycle remote control electric cars, remote control MP3.

Specification:

Receiver module:

Product Model: XD-RF-5V
 Operating voltage: DC5V
 Quiescent Current: 4MA
 Receiving frequency: 433.92MHZ
 Receiver sensitivity: -105DB
 Size:30x14x7mm

Transmitter:

Product Model: XD-FST
 Launch distance :20-200 meters (different voltage, different results)
 Operating voltage :3.5-12V
 Dimensions: 19 * 19mm
 Operating mode: AM
 Transfer rate: 4KB / S
 Transmitting power: 10mW
 Transmitting frequency: 433M
 Pinout from left → right: (DATA; VCC; GND)

See for how to: <http://electronics-diy.com/arduino-rf-link-using-433mhz-transmitter-receiver-modules.php>

Apéndice I

Datasheet Relé 5V

SONGLE RELAY

	RELAY ISO9002	SRD
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------	------------



1. MAIN FEATURES

- Switching capacity available by 10A in spite of small size design for highdensity P.C. board mounting technique.
- UL,CUL,TUV recognized.
- Selection of plastic material for high temperature and better chemical solution performance.
- Sealed types available.
- Simple relay magnetic circuit to meet low cost of mass production.

2. APPLICATIONS

- Domestic appliance, office machine, audio, equipment, automobile, etc.
(Remote control TV receiver, monitor display, audio equipment high rushing current use application.)

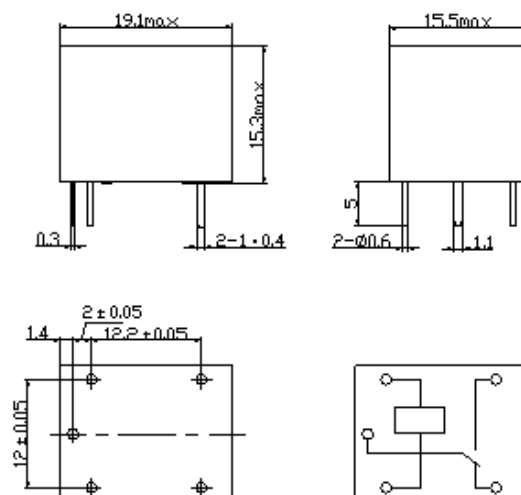
3. ORDERING INFORMATION

SRD	XX VDC	S	L	C
Model of relay	Nominal coil voltage	Structure	Coil sensitivity	Contact form
SRD	03、05、06、09、12、24、48VDC	S:Sealed type	L:0.36W	A:1 form A
		F:Flux free type	D:0.45W	B:1 form B
				C:1 form C

4. RATING

CCC	FILE NUMBER:CH0052885-2000	7A/240VDC
CCC	FILE NUMBER:CH0036746-99	10A/250VDC
UL /CUL	FILE NUMBER: E167996	10A/125VAC 28VDC
TUV	FILE NUMBER: R9933789	10A/240VAC 28VDC

5. DIMENSION(unit:mm) DRILLING(unit:mm) WIRING DIAGRAM



6. COIL DATA CHART (AT20°C)

Coil Sensitivity	Coil Voltage Code	Nominal Voltage (VDC)	Nominal Current (mA)	Coil Resistance (Ω) $\pm 10\%$	Power Consumption (W)	Pull-In Voltage (VDC)	Drop-Out Voltage (VDC)	Max-Allowable Voltage (VDC)
SRD (High Sensitivity)	03	03	120	25	abt. 0.36W	75%Max.	10% Min.	120%
	05	05	71.4	70				
	06	06	60	100				
	09	09	40	225				
	12	12	30	400				
	24	24	15	1600				
SRD (Standard)	03	03	150	20	abt. 0.45W	75% Max.	10% Min.	110%
	05	05	89.3	55				
	06	06	75	80				
	09	09	50	180				
	12	12	37.5	320				
	24	24	18.7	1280				
	48	48	10	4500	abt. 0.51W			

7. CONTACT RATING

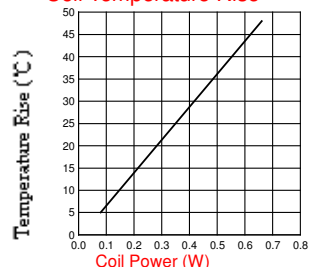
Item	Type	SRD	
		FORM C	FORM A
Contact Capacity		7A 28VDC	10A 28VDC
Resistive Load ($\cos\Phi=1$)		10A 125VAC	10A 240VAC
		7A 240VAC	
Inductive Load		3A 120VAC	5A 120VAC
($\cos\Phi=0.4$ L/R=7msec)		3A 28VDC	5A 28VDC
Max. Allowable Voltage		250VAC/110VDC	250VAC/110VDC
Max. Allowable Power Force		800VAC/240W	1200VA/300W
Contact Material		AgCdO	AgCdO

8. PERFORMANCE (at initial value)

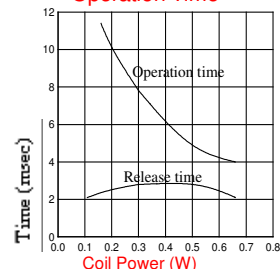
Item	Type	SRD
Contact Resistance		100m Ω Max.
Operation Time		10msec Max.
Release Time		5msec Max.
Dielectric Strength		
Between coil & contact		1500VAC 50/60HZ (1 minute)
Between contacts		1000VAC 50/60HZ (1 minute)
Insulation Resistance		100 M Ω Min. (500VDC)
Max. ON/OFF Switching		
Mechanically		300 operation/min
Electrically		30 operation/min
Ambient Temperature		-25°C to +70°C
Operating Humidity		45 to 85% RH
Vibration		
Endurance		10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
Error Operation		10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
Shock		
Endurance		100G Min.
Error Operation		10G Min.
Life Expectancy		
Mechanically		10 ⁷ operations. Min. (no load)
Electrically		10 ⁵ operations. Min. (at rated coil voltage)
Weight		abt. 10grs.

9. REFERENCE DATA

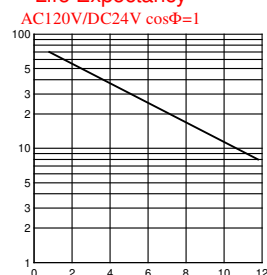
Coil Temperature Rise



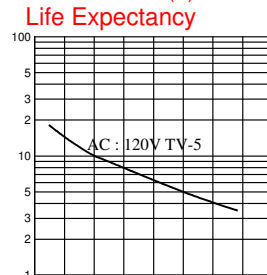
Operation Time



Life Expectancy



Life Expectancy



Current of Load (A)

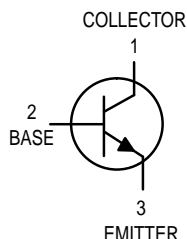
Página dejada en blanco intencionalmente.

Apéndice J

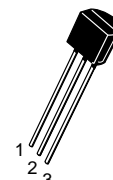
Datasheet Transistor BC 547

Amplifier Transistors

NPN Silicon



BC546, B
BC547, A, B, C
BC548, A, B, C



CASE 29-04, STYLE 17
TO-92 (TO-226AA)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC 546	BC 547	BC 548	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	65	45	30	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CBO}	80	50	30	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EBO}	6.0			Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	100			mA dc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0			mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12			Watt mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	–55 to +150			$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^\circ\text{C/W}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Collector–Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1.0\text{ mA}, I_B = 0$)	BC546 BC547 BC548	$V_{(BR)CEO}$	65 45 30	— — —	— — —	V
Collector–Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\text{ }\mu\text{A dc}$)	BC546 BC547 BC548	$V_{(BR)CBO}$	80 50 30	— — —	— — —	V
Emitter–Base Breakdown Voltage ($I_E = 10\text{ }\mu\text{A}, I_C = 0$)	BC546 BC547 BC548	$V_{(BR)EBO}$	6.0 6.0 6.0	— — —	— — —	V
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 70\text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 50\text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 35\text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 30\text{ V}, T_A = 125^\circ\text{C}$)	BC546 BC547 BC548 BC546/547/548	I_{CES}	— — — —	0.2 0.2 0.2 —	15 15 15 4.0	nA μA



BC546, B BC547, A, B, C BC548, A, B, C**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ON CHARACTERISTICS					
DC Current Gain ($I_C = 10\ \mu\text{A}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$)	h_{FE}	—	90	—	—
BC547A/548A		—	150	—	
BC546B/547B/548B		—	270	—	
BC548C					
($I_C = 2.0\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$)		110	—	450	
BC546		110	—	800	
BC547		110	—	800	
BC548		110	—	800	
BC547A/548A		110	180	220	
BC546B/547B/548B		200	290	450	
BC547C/BC548C		420	520	800	
($I_C = 100\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$)		—	120	—	
BC547A/548A		—	180	—	
BC546B/547B/548B		—	300	—	
BC548C					
Collector–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 10\ \text{mA}$, $I_B = 0.5\ \text{mA}$)	$V_{CE(sat)}$	—	0.09	0.25	V
($I_C = 100\ \text{mA}$, $I_B = 5.0\ \text{mA}$)		—	0.2	0.6	
($I_C = 10\ \text{mA}$, $I_B = \text{See Note 1}$)		—	0.3	0.6	
Base–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 10\ \text{mA}$, $I_B = 0.5\ \text{mA}$)	$V_{BE(sat)}$	—	0.7	—	V
Base–Emitter On Voltage ($I_C = 2.0\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$)	$V_{BE(on)}$	0.55	—	0.7	V
($I_C = 10\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$)		—	—	0.77	

SMALL–SIGNAL CHARACTERISTICS

Current–Gain — Bandwidth Product ($I_C = 10\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$, $f = 100\ \text{MHz}$)	f_T	150	300	—	MHz
BC546		150	300	—	
BC547		150	300	—	
BC548		150	300	—	
Output Capacitance ($V_{CB} = 10\ \text{V}$, $I_C = 0$, $f = 1.0\ \text{MHz}$)	C_{obo}	—	1.7	4.5	pF
Input Capacitance ($V_{EB} = 0.5\ \text{V}$, $I_C = 0$, $f = 1.0\ \text{MHz}$)	C_{ibo}	—	10	—	pF
Small–Signal Current Gain ($I_C = 2.0\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$, $f = 1.0\ \text{kHz}$)	h_{fe}	125	—	500	—
BC546		125	—	900	
BC547/548		125	220	260	
BC547A/548A		240	330	500	
BC546B/547B/548B		450	600	900	
BC547C/548C					
Noise Figure ($I_C = 0.2\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$, $R_S = 2\ \text{k}\Omega$, $f = 1.0\ \text{kHz}$, $\Delta f = 200\ \text{Hz}$)	NF	—	2.0	10	dB
BC546		—	2.0	10	
BC547		—	2.0	10	
BC548		—	2.0	10	

Note 1: I_B is value for which $I_C = 11\ \text{mA}$ at $V_{CE} = 1.0\ \text{V}$.

BC546, B BC547, A, B, C BC548, A, B, C

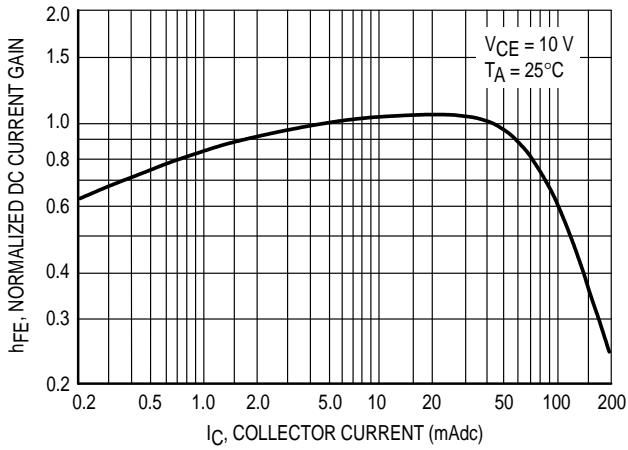


Figure 1. Normalized DC Current Gain

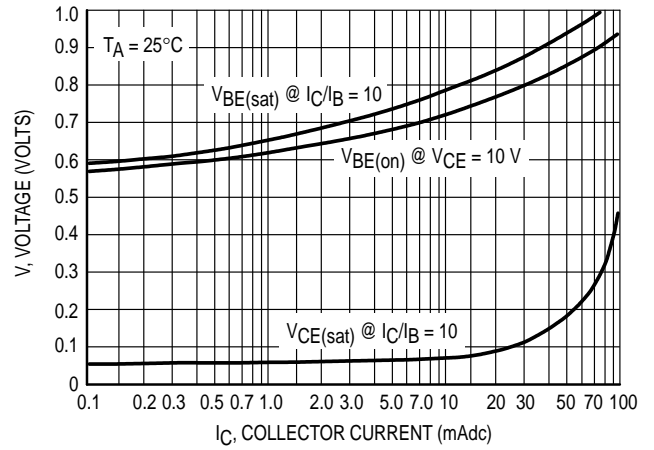


Figure 2. "Saturation" and "On" Voltages

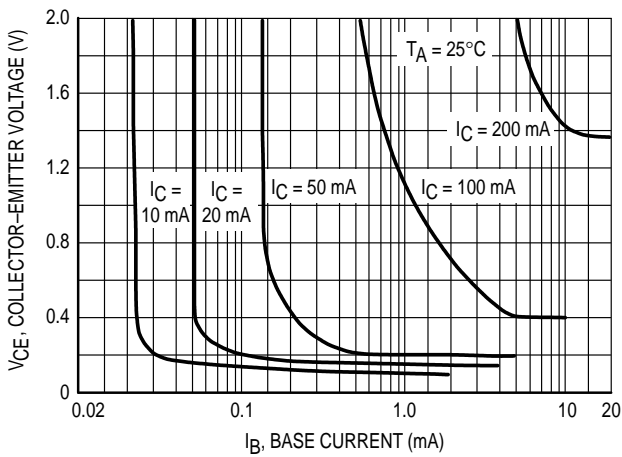


Figure 3. Collector Saturation Region

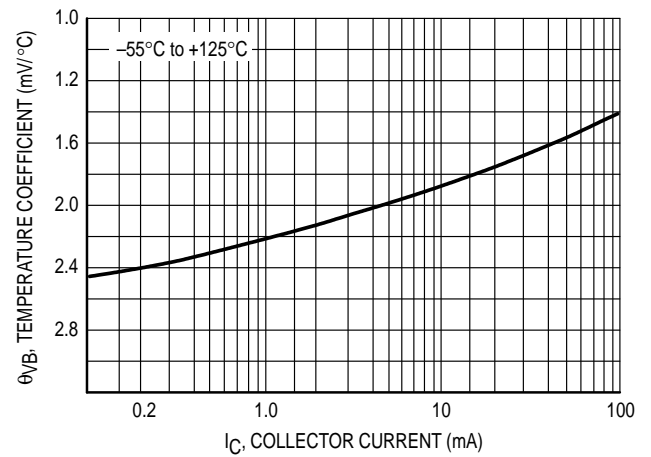


Figure 4. Base-Emitter Temperature Coefficient

BC547/BC548

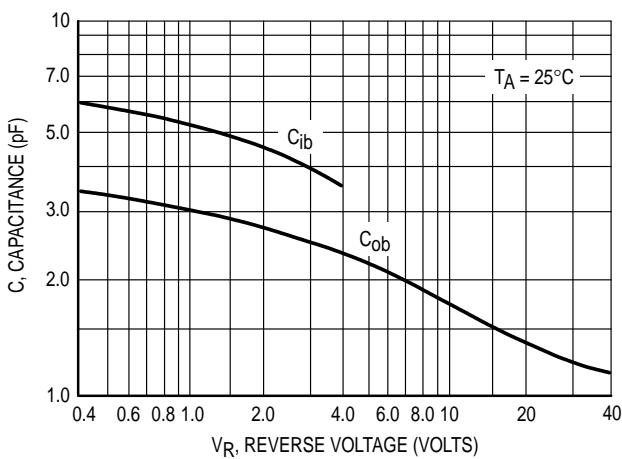


Figure 5. Capacitances

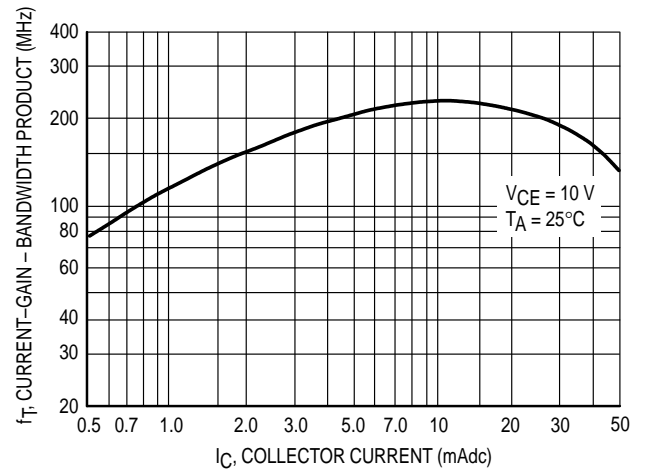


Figure 6. Current-Gain - Bandwidth Product

BC546, B BC547, A, B, C BC548, A, B, C

BC547/BC548

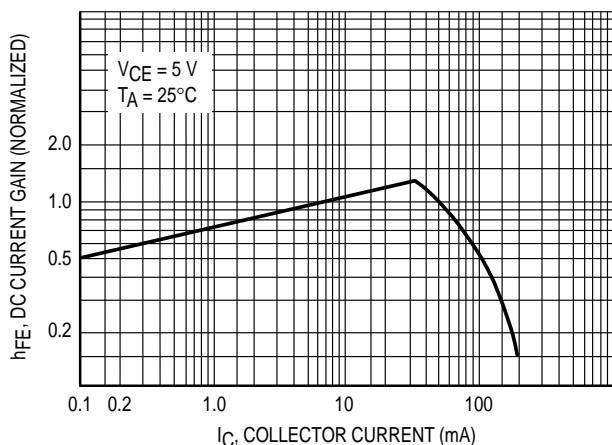


Figure 7. DC Current Gain

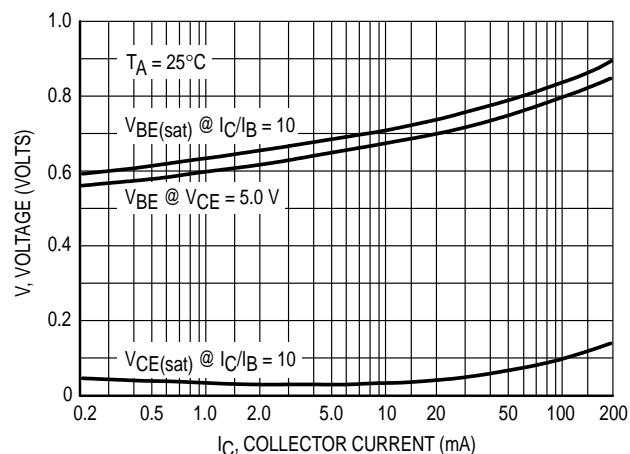


Figure 8. "On" Voltage

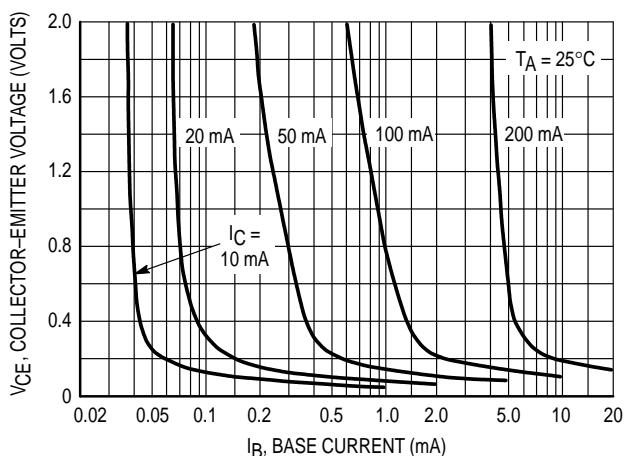


Figure 9. Collector Saturation Region

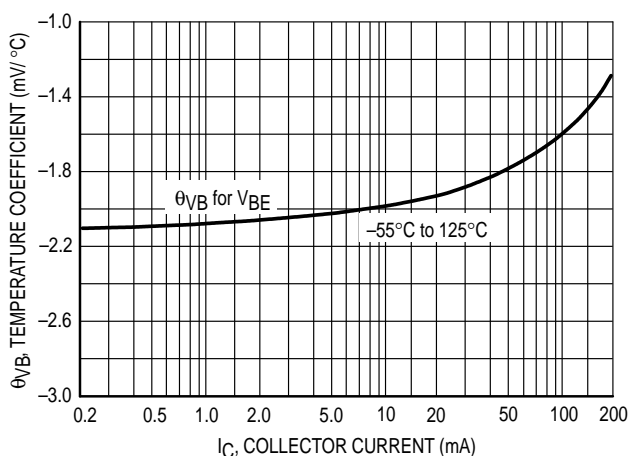


Figure 10. Base-Emitter Temperature Coefficient

BC546

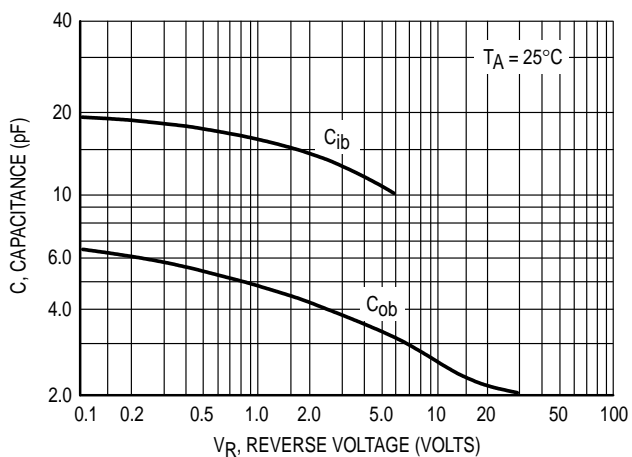


Figure 11. Capacitance

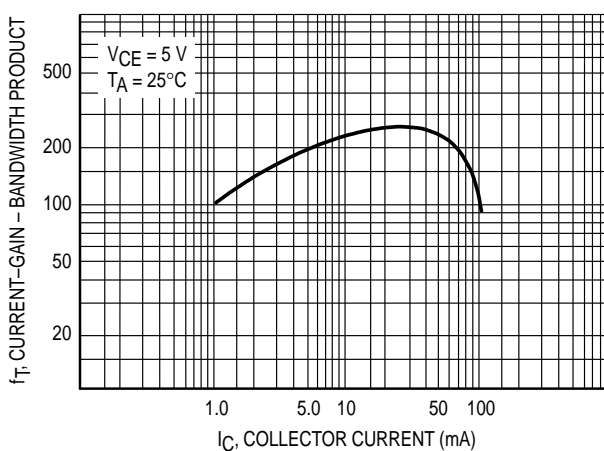
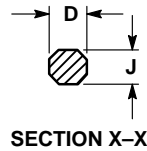
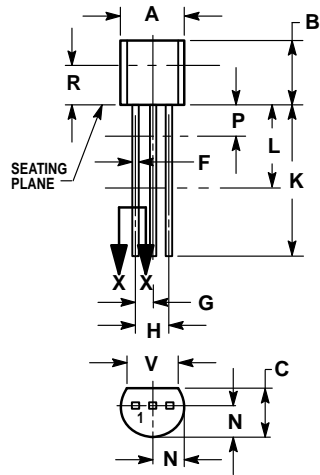


Figure 12. Current-Gain - Bandwidth Product

BC546, B BC547, A, B, C BC548, A, B, C

PACKAGE DIMENSIONS



**CASE 029-04
(TO-226AA)
ISSUE AD**

NOTES:


1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. DIMENSION F APPLIES BETWEEN P AND L. DIMENSION D AND J APPLY BETWEEN L AND K. MINIMUM. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.016	0.022	0.41	0.55
F	0.016	0.019	0.41	0.48
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	—	12.70	—
L	0.250	—	6.35	—
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	—	0.100	—	2.54
R	0.115	—	2.93	—
V	0.135	—	3.43	—

STYLE 17:

- PIN 1. COLLECTOR
2. BASE
3. EMITTER

BC546, B BC547, A, B, C BC548, A, B, C

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA/EUROPE: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE (602) 244-6609
INTERNET: <http://Design-NET.com>

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,
6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



MOTOROLA



BC546/D

