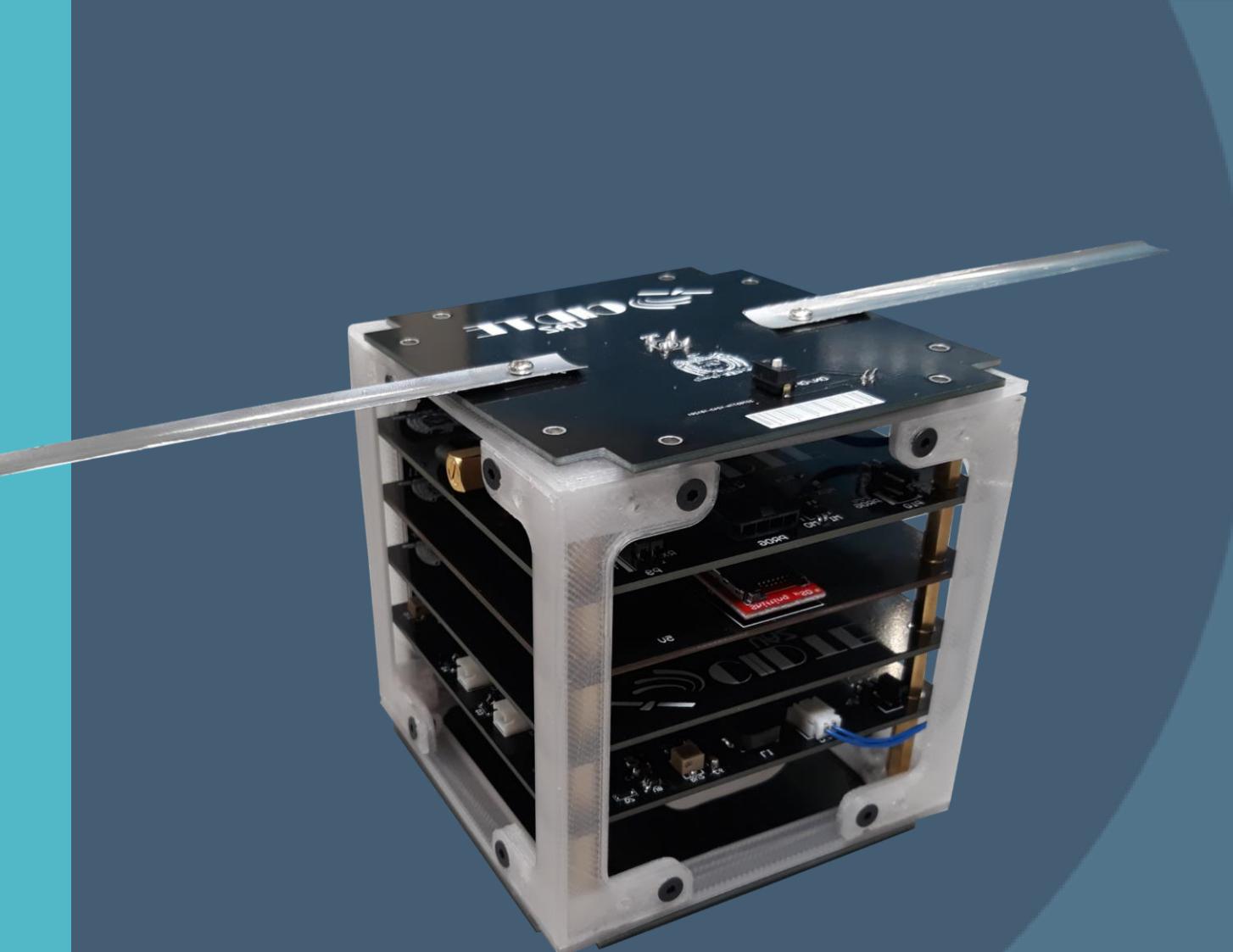


PRÁCTICA #4

CUBOZAT v1.0

Impartida por:
Guillermo González Martínez

Febrero 2023



Contenido

- 1. Caracterización del subsistema de comunicaciones y antenas del kit CuboZat v1.0.**
- 2. Introducción al diseño de una misión CubeSat.**
- 3. Modo Misión del CuboZat v1.0.**

Caracterización del subsistema de comunicaciones y antenas

CUBOZAT v1.0

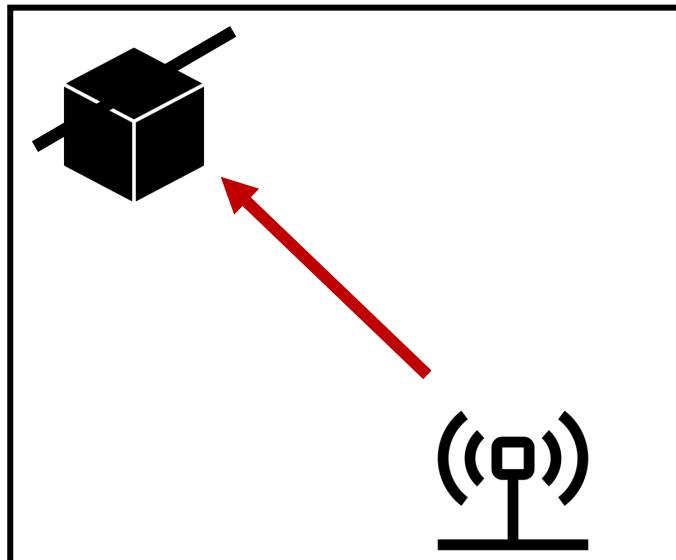


Introducción

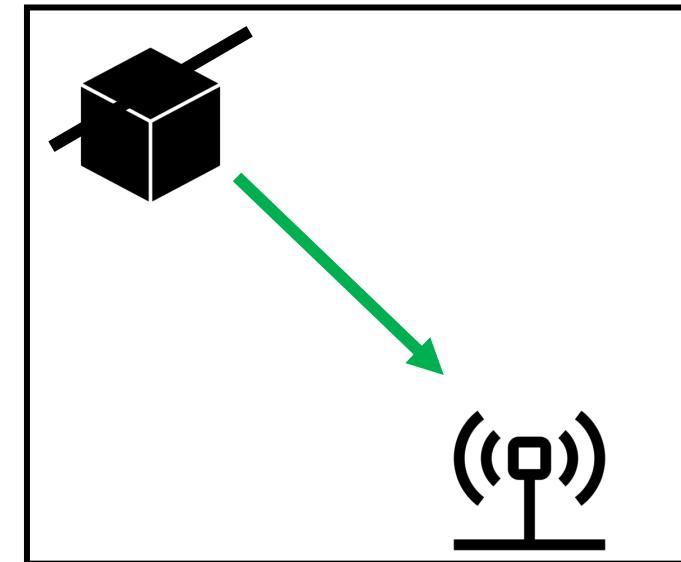
Sistema de comunicación satelital



Enlace de **subida** (Uplink)

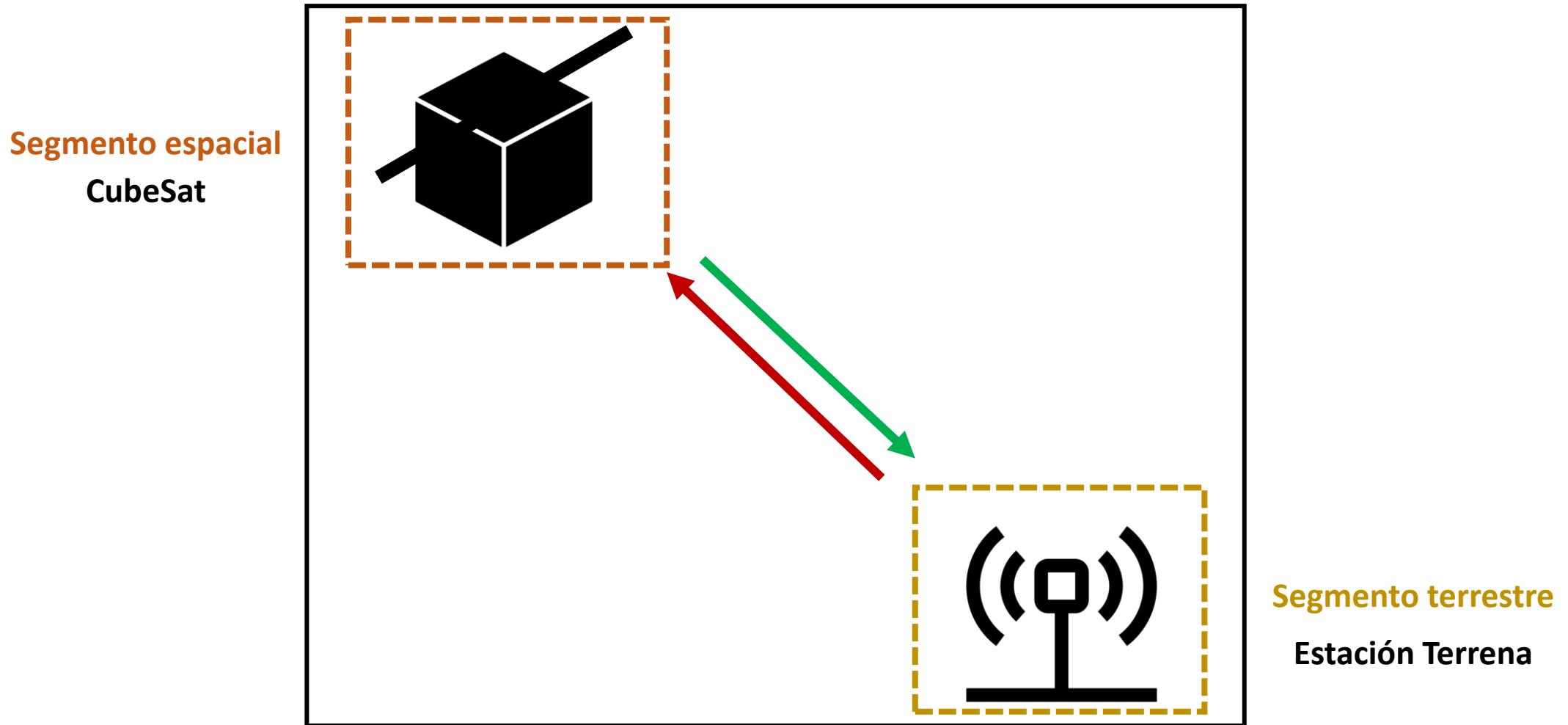


Enlace de **bajada** (Downlink)



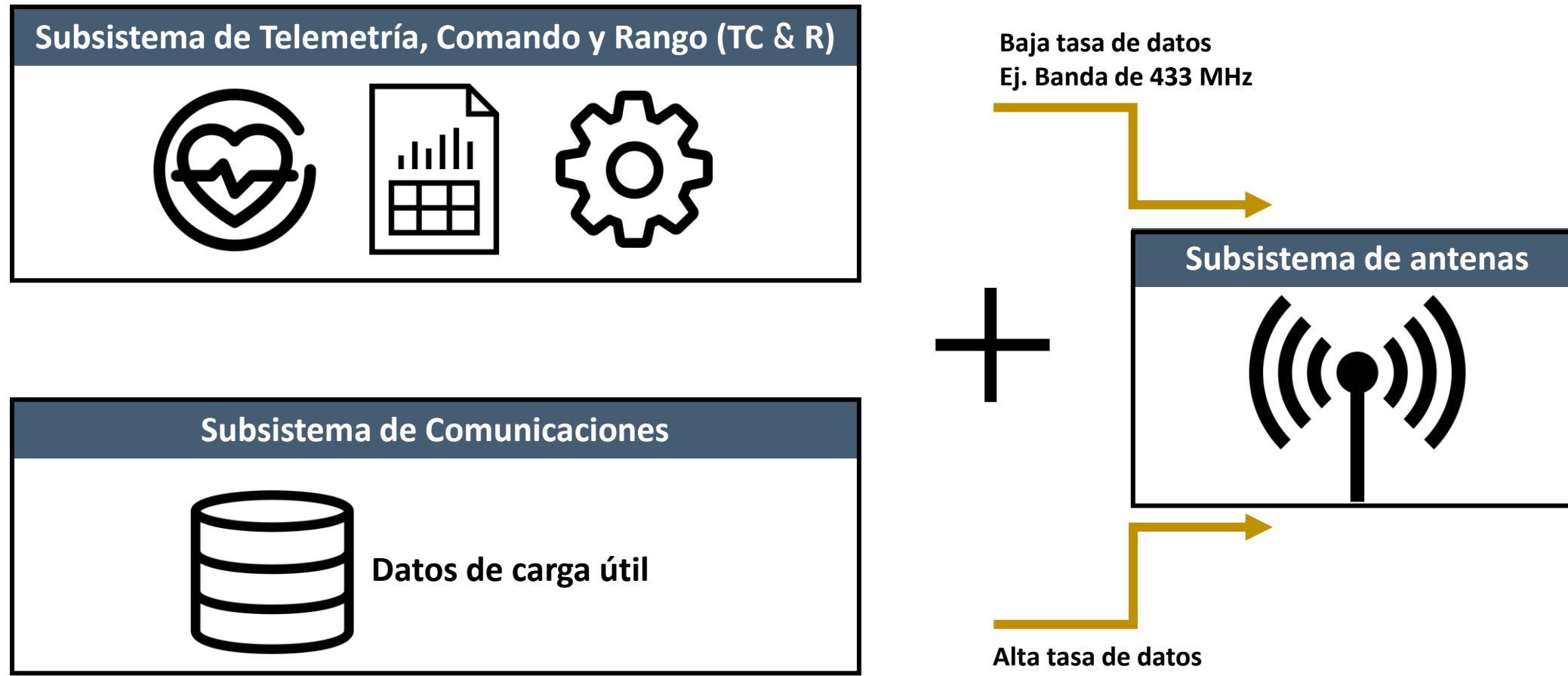
Introducción

Sistema de comunicación satelital



Introducción

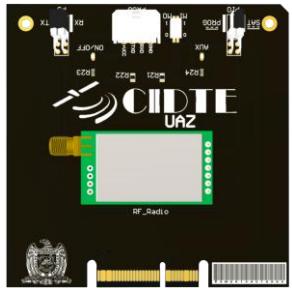
Subsistemas de comunicación incorporados en un picosatélite



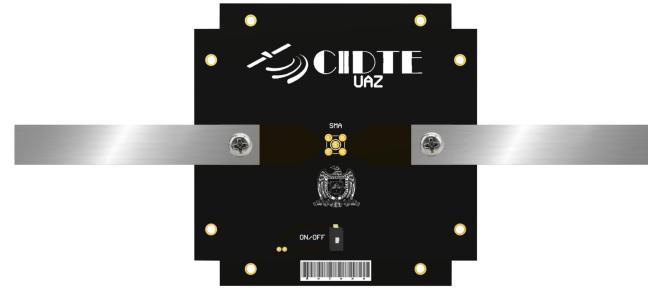
Introducción

Comunicaciones en el CuboZat v1.0

Subsistema de comunicaciones



Subsistema de antena



Estación Terrena del CuboZat v1.0



Febrero 2023

Introducción

Subsistema de comunicaciones unidireccional



Objetivo

Transmitir de manera inalámbrica los datos recolectados por los sensores:

- **Acelerómetro**
- **Giróscopo**
- **Magnetómetro**

Transmitir telemetría adjunta:

- **Voltaje de la batería abordo**

Materiales

Hardware			
Pieza	Descripción	Pieza	Descripción
CuboZat v1.0		Estación Terrena	
Cable FTDI		Desarmador	
Flexómetro		Laptop	

Materiales

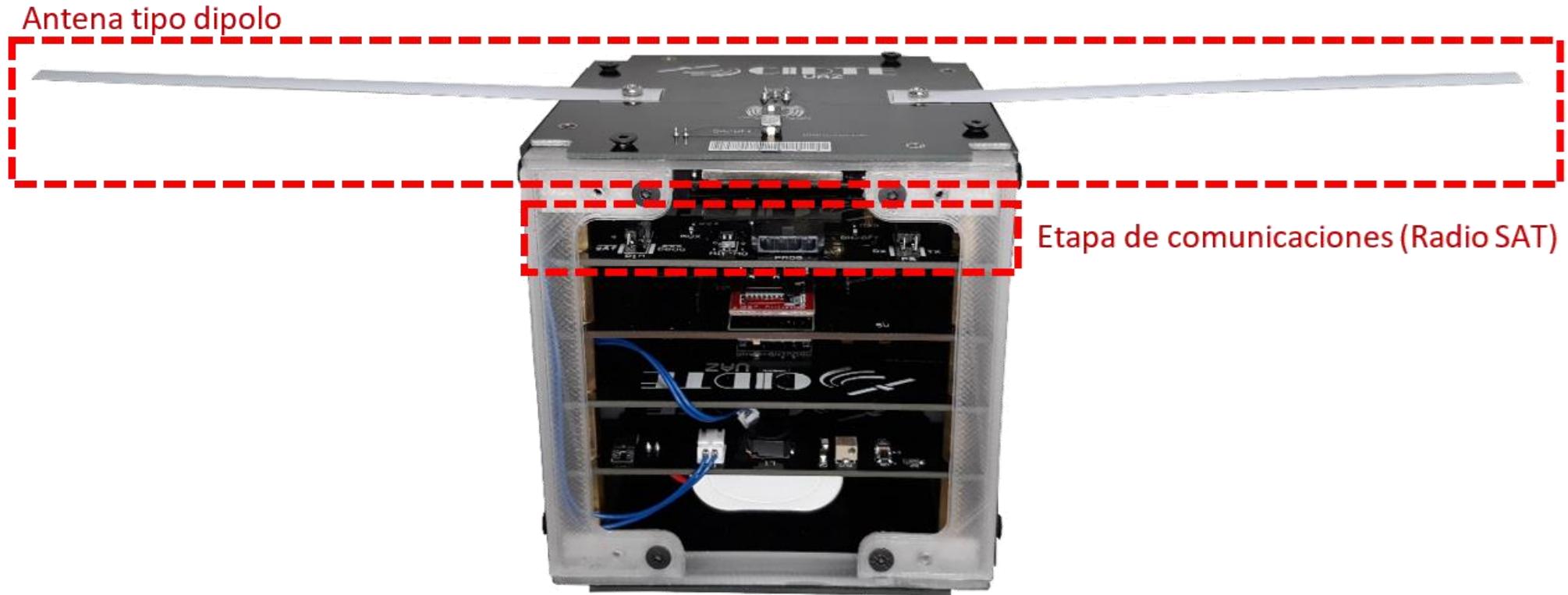
Software	
Descripción	Logo
RF Setting v3.45 o superior.	 The logo consists of a blue square containing a white stylized letter 'E' with the word 'ELAB' written vertically next to it.
Terminal de puerto serie Termite v3.3 o superior.	 The logo features a red circle with a white silhouette of a termite in the center.

Identificación de componentes

Desarrollo

Identificación de componentes

Subsistema de comunicaciones y Subsistema de antena



Desarrollo

Identificación de componentes

Subsistema de comunicaciones

Descripción PCB

J3 (P9)

Conexión/Desconexión comunicación serial con radio de la computadora abordo

J2 (P10)

Selector de alimentación del subsistema de comunicaciones

Puerto serial (PROG)

Puerto de programación y configuración del radio módulo

Interruptor DIP (M1 M0)

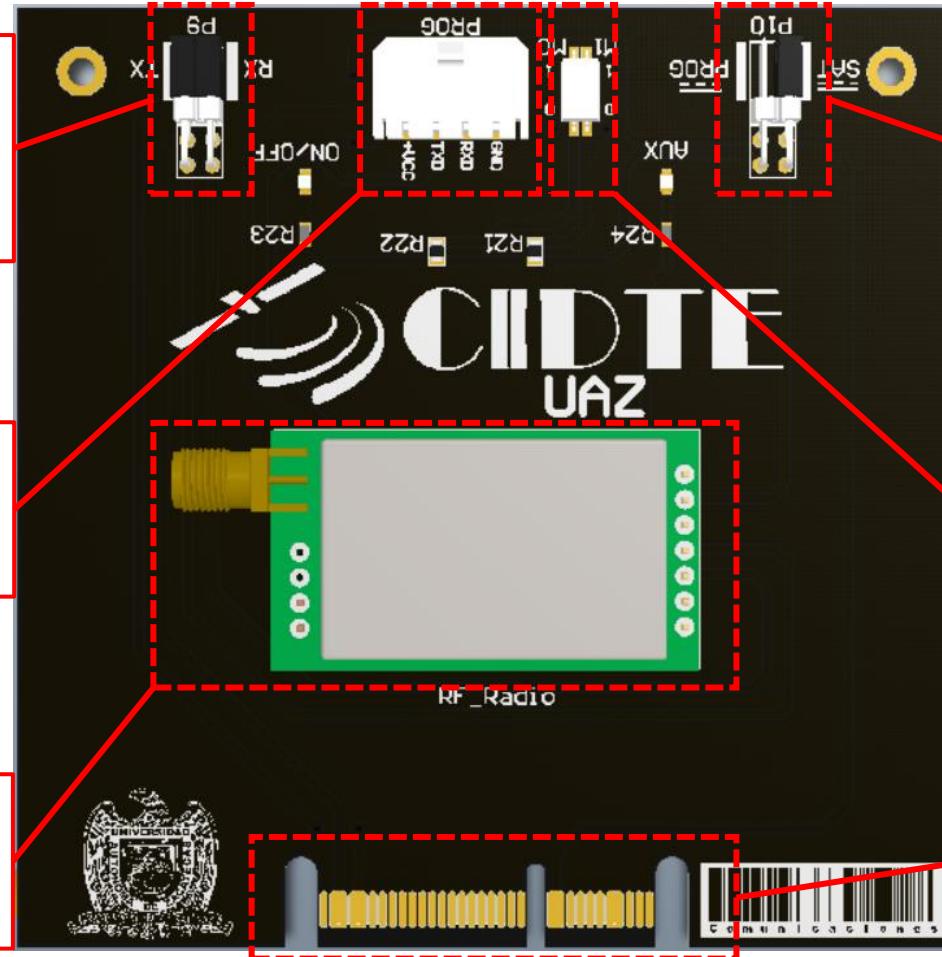
Selector de modo de operación del radio módulo

Radio módulo UHF

Radio en la banda de 433 MHz con potencia de transmisión de hasta 1 W

Puerto PCI Express

Puerto de 64 pos para distribución (I/O) de señales y alimentación



Desarrollo

Identificación de componentes

Subsistema de comunicaciones

Diseño PCB

CONFIDENCIAL

Desarrollo

Identificación de componentes

Subsistema de comunicaciones

Esquemático y especificaciones

Parámetro	Valor
Voltaje de operación	3.3 a 5.2 V
Nivel de comunicación	3.3 V
Temperatura de operación	-40°C a 85°C
Frecuencia de operación	410 MHz a 441 MHz
Modulación	LoRa™
Tasa de datos en el aire	0.3 kbps a 19.2 kbps
Potencia TX	+21 dBm a +30 dBm
Sensibilidad RX	-147 dBm @ 2.4 kbps
Consumo de potencia TX	610 mA @ +30 dBm
Consumo de potencia RX	20 mA
Antena	SMA-K @ 50 Ohms
Dúplex	Half-Dúplex

CONFIDENCIAL

Desarrollo

Identificación de componentes

Subsistema de comunicaciones

Composición interna del radio módulo

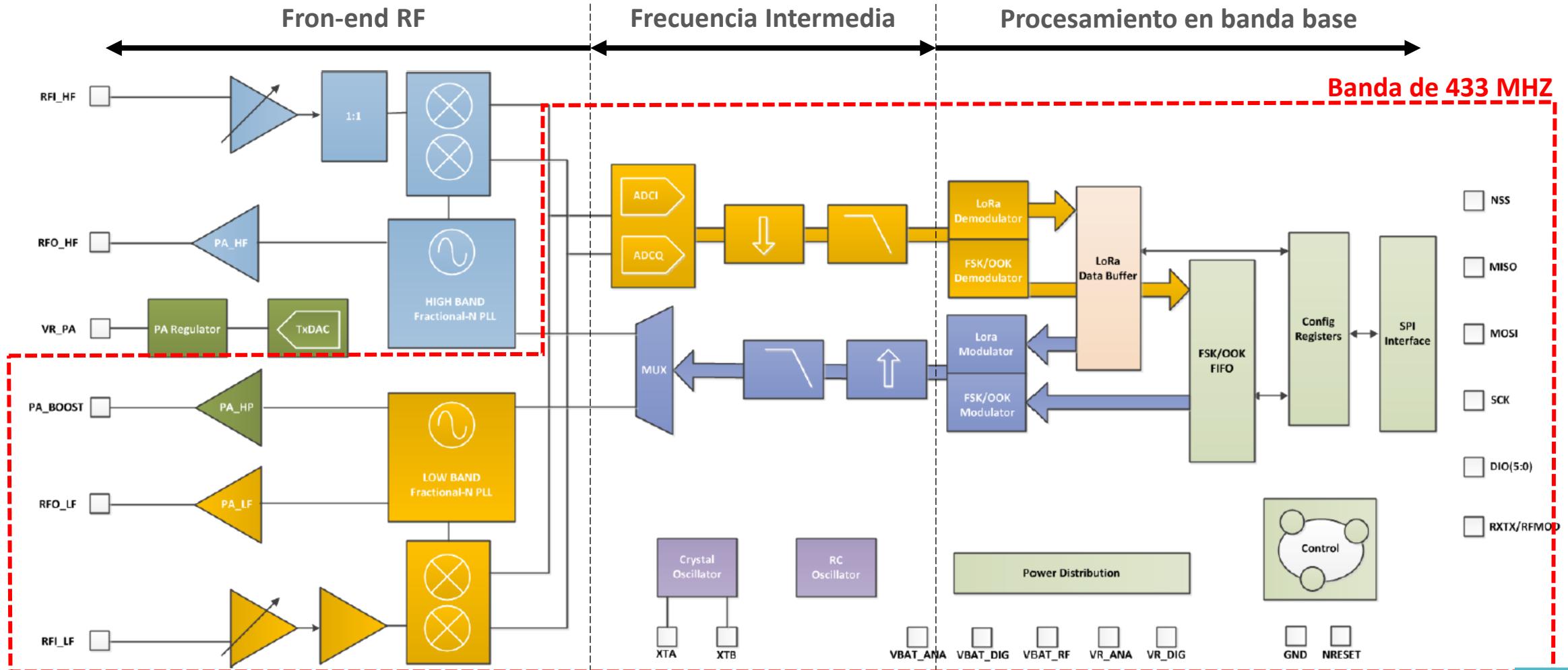
CONFIDENCIAL

Desarrollo

Identificación de componentes

Subsistema de comunicaciones

Diagrama a bloques del SX1278



Desarrollo *Identificación de componentes*

Subsistema de comunicaciones

Modulación LoRa



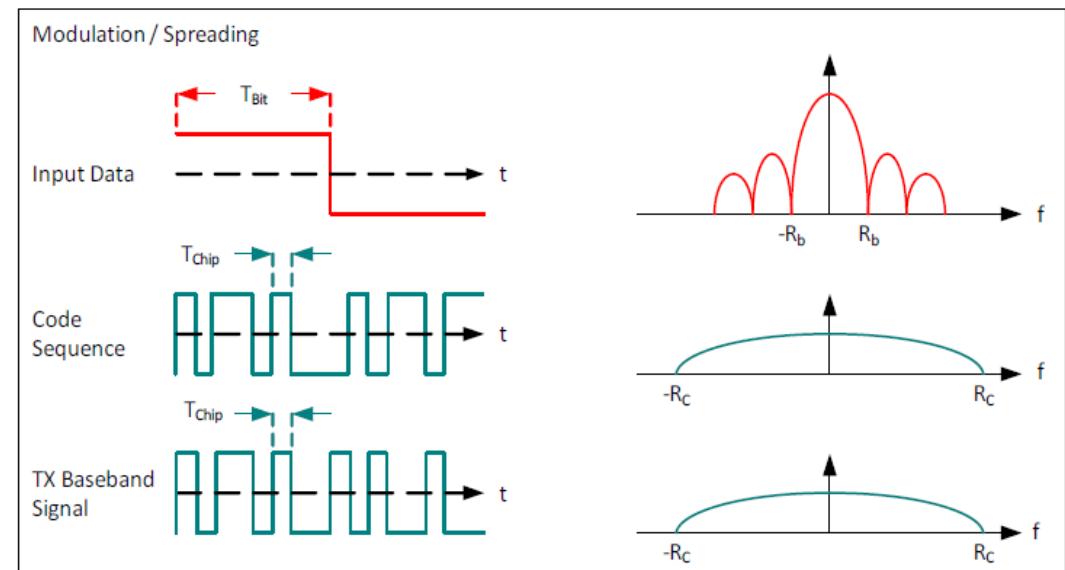
Long Range Wireless™



- Esquema de modulación de espectro esparcido de propiedad intelectual.
- Permite optimizar el desempeño de la red a través de compromisos entre tasa de datos y potencia con el uso de factores de esparcimiento ortogonales.
- Implementación de capa física agnóstica de la implementación de capas superiores.

Propiedades clave:

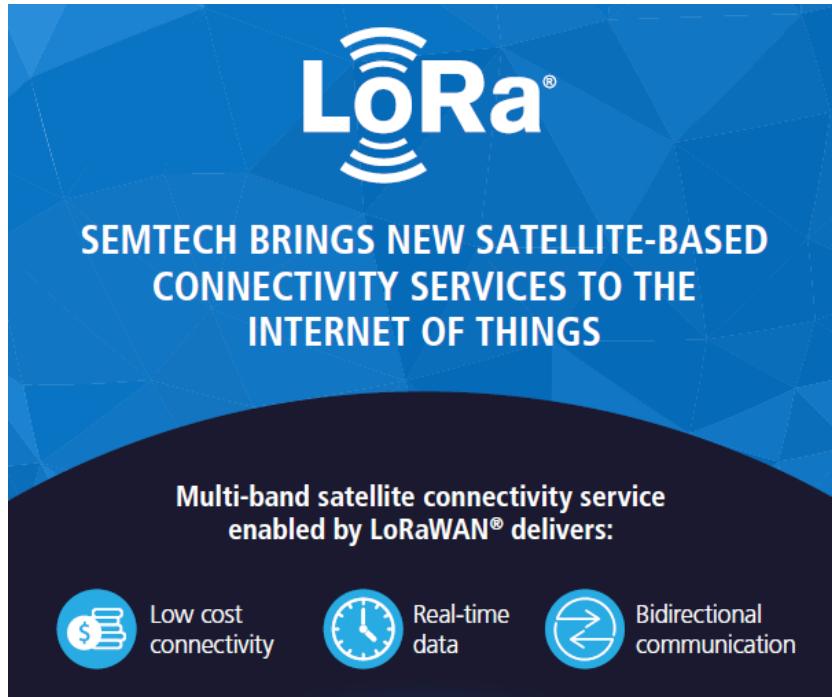
- **Ancho de banda escalable.**
- **Largo alcance.**
- **Bajo consumo.**
- **Robustez.**
- **Resistencia a efecto Doppler.**
- **Resistencia a la multi-trayectoria y desvanecimiento.**



*Semtech Application Note AN1200.22, "LoRa™ Modulation Basics"

Desarrollo *Identificación de componentes*

Subsistema de comunicaciones



Modulación LoRa en satélites



Ahora LoRa también aparece en satélites con la tecnología LoRa FHSS permitiendo a los satélites conectar dispositivos de internet de las cosas (IoT) en áreas remotas. Esto habilita la creación de servicios de conectividad IoT basada en satélites a más bajo costo, en tiempo real, bidireccional y masiva.

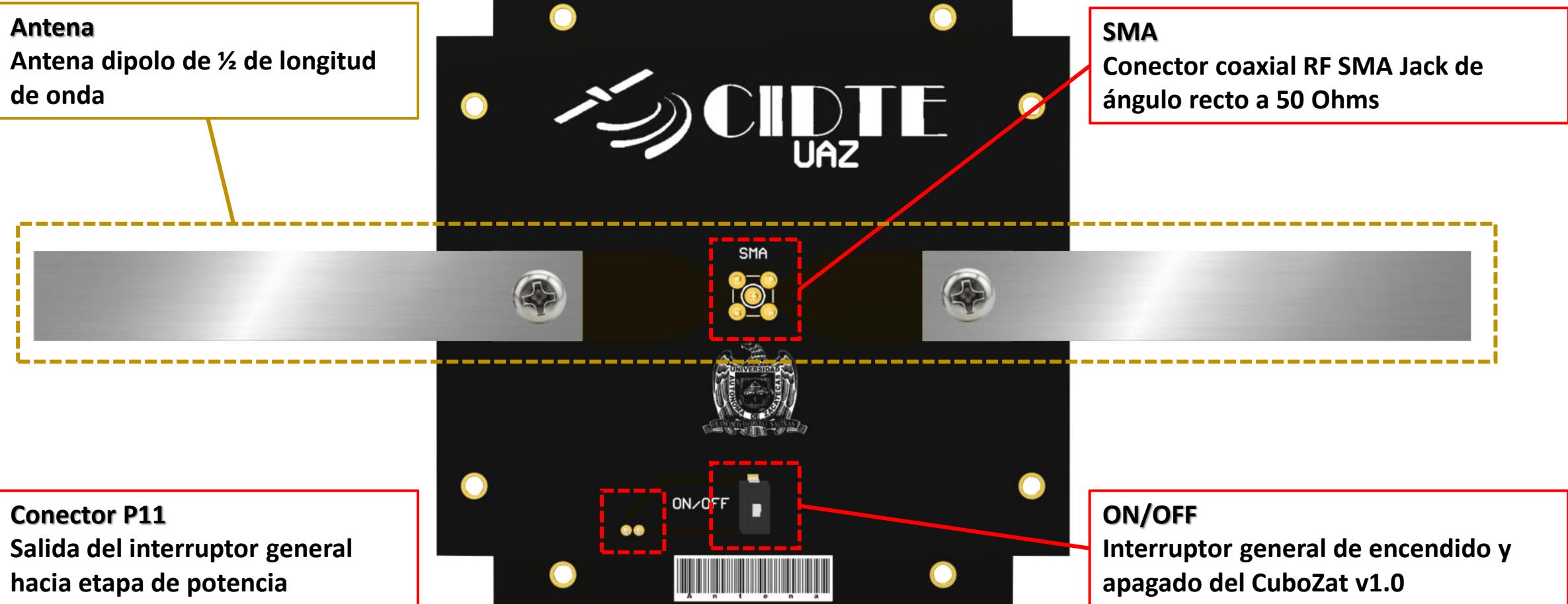
*Semtech. "Satellite-based IoT Connectivity," <<https://info.semtech.com/satellite-based-iot-connectivity-infographic>>

Desarrollo

Identificación de componentes

Subsistema de antena

Descripción PCB



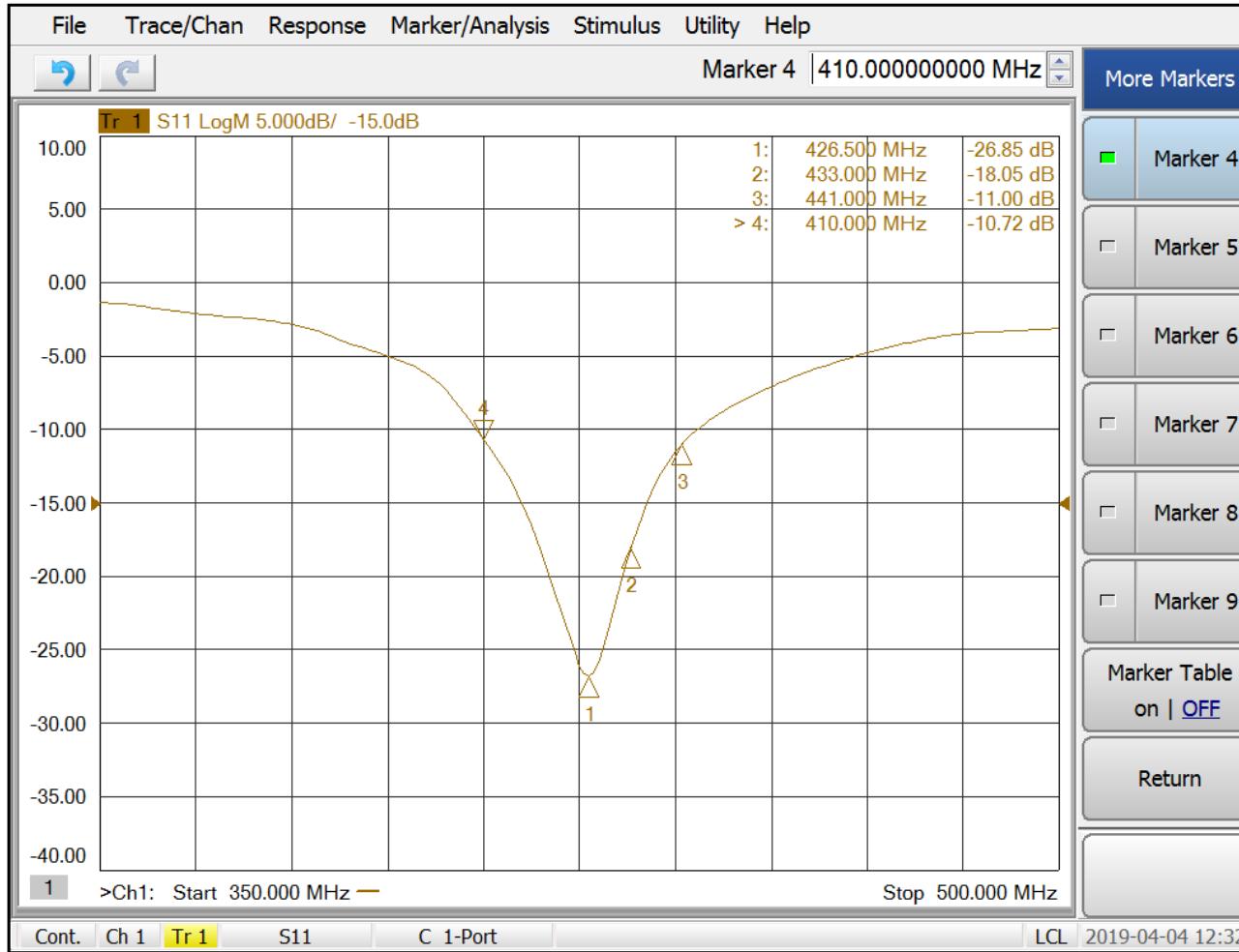
CONFIDENCIAL

Desarrollo

Identificación de componentes

Subsistema de antena

Caracterización de parámetro S11

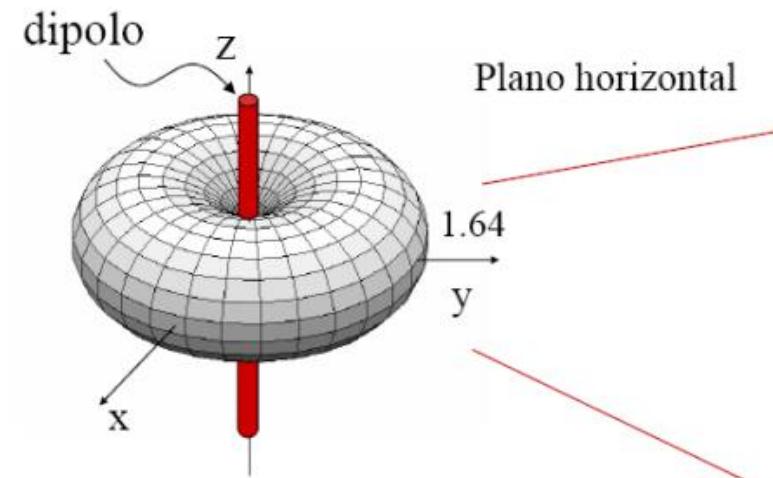
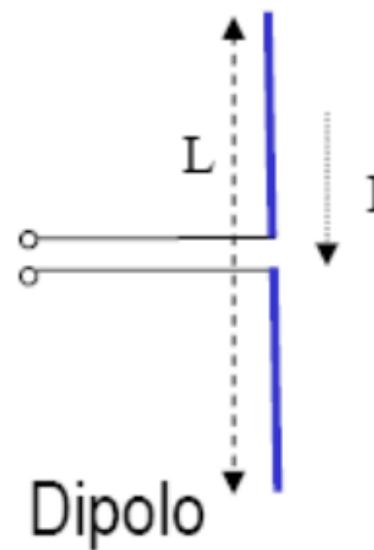


- **Coeficiente de reflexión del puerto de entrada**
- **Prueba realizada en ambiente controlado y con la antena ensamblada en el CuboZat v1.0.**
- **Barrido de frecuencia de 350 MHz a 500 MHz**

Desarrollo

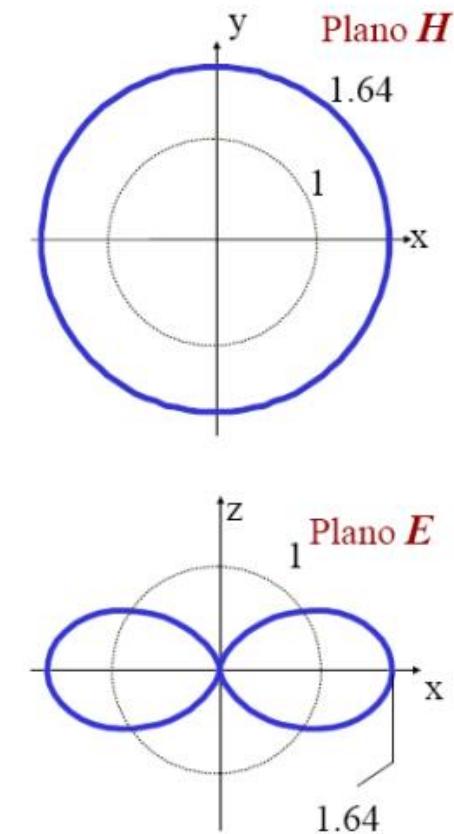
Identificación de componentes

Subsistema de antena



Ancho de Haz 3dB=78°

Patrón de radiación



Desarrollo

Identificación de componentes

Subsistema de antena



Caracterización de antena

Frecuencia central del subsistema de antena:

?

Desarrollo

Identificación de componentes

Subsistema de antena

Longitud de la antena (m)

0.348 m

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

c = velocidad de la luz = 3×10^8 m/s

f = frecuencia central (Hz)

Frecuencia central del subsistema de antena

431.04 MHz

Caracterización de antena



$$\frac{\lambda_{ant}}{2} = 0.348m \rightarrow \lambda_{ant} = (2)(0.348m) = 0.696m$$

$$f_{ant} = \frac{c}{\lambda_{ant}} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{0.696m} = 431.04 \text{ MHz}$$

Desarrollo

Identificación de componentes

Subsistema de antena

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2}$$

A_e – Apertura o área efectiva de la antena

$$A_e = A_{em} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D_0$$

A_{em} – Apertura máxima efectiva

D_0 – Directividad máxima

$$D_0 = 4\pi \frac{U_{max}}{P_{rad}}$$

U_{max} – Intensidad máxima de radiación

P_{rad} – Potencia total radiada

$$U = r^2 W_{av} = \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi^2} \left[\frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos\theta)}{\sin\theta} \right]^2 \simeq \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi^2} \sin^3\theta$$

$$P_{rad} = \eta \frac{|I_0|^2}{4\pi} \int_0^\pi \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos\theta)}{\sin\theta} d\theta = \eta \frac{|I_0|^2}{4\pi} \left(\frac{1}{2} C_{in}(2\pi) \right) = \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi} (2.435)$$

Ganancia teórica	
1.643	
2.15	dB

$$G = \frac{4\pi \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} D_0 \right)}{\lambda^2} = D_0$$

$$G = D_0 = 4\pi \frac{U|_{\theta=\pi/2}}{P_{rad}} = 4\pi \frac{\eta \frac{|I_0|^2}{8\pi^2}}{\eta \frac{|I_0|^2}{8\pi} (2.435)} = \frac{4}{2.435} \simeq 1.643$$

Desarrollo

Identificación de componentes

Estación terrena



Desarrollo

Identificación de componentes

Estación terrena

Descripción PCB

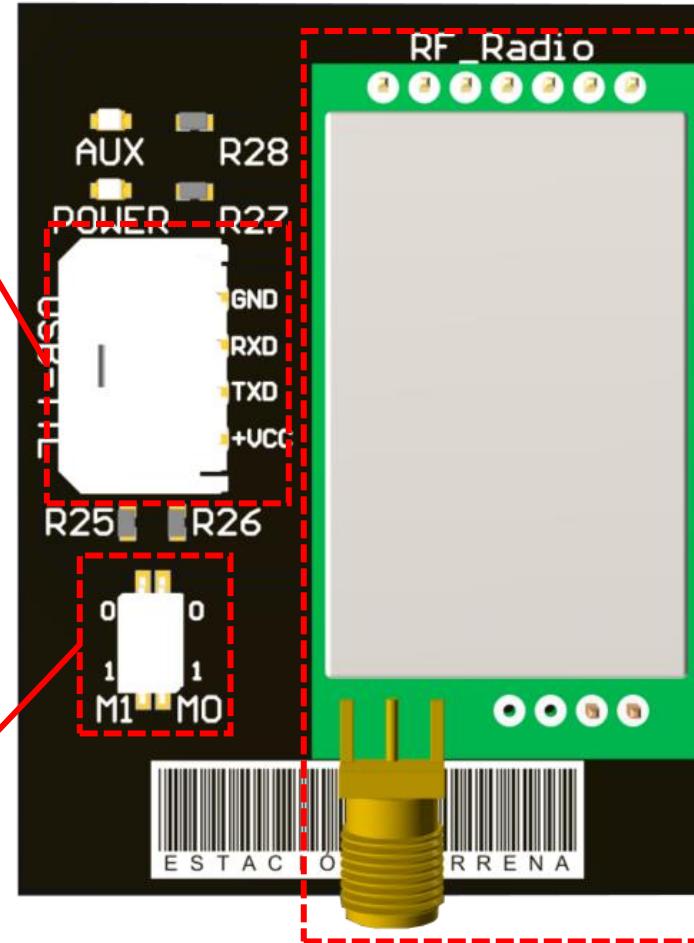
Puerto serial

Puerto de programación y
configuración del radio módulo

Puerto de recepción de datos

Interruptor DIP (M1 M0)

Selector de modo de operación del
radio módulo



Radio módulo UHF

Radio en la banda de 433 MHz con
potencia de transmisión de hasta 1 W

Desarrollo

Identificación de componentes

Estación terrena

Antena

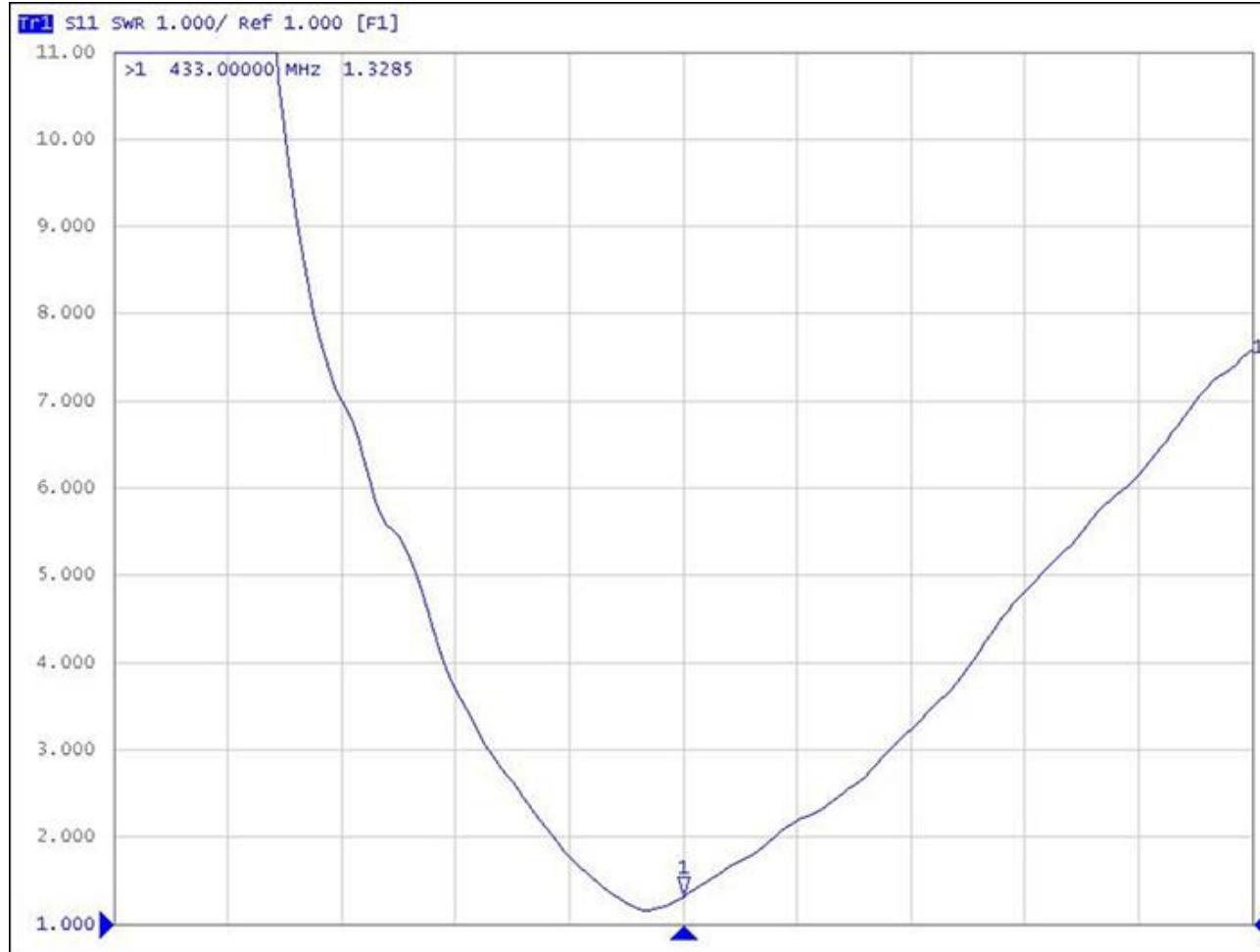


Parámetro	Valor
Modelo	TX433-JK-20
Tipo	Antena rubber Monopolo
Temperatura de operación	-40°C a 85°C
Frecuencia central	433 MHz
Ancho de banda	400 a 470 MHz
Ganancia	3.0 dBi
Impedancia	50 Ohms
Capacidad de disipación	20 W
Interface	SMA-J
VSWR	≤ 1.5

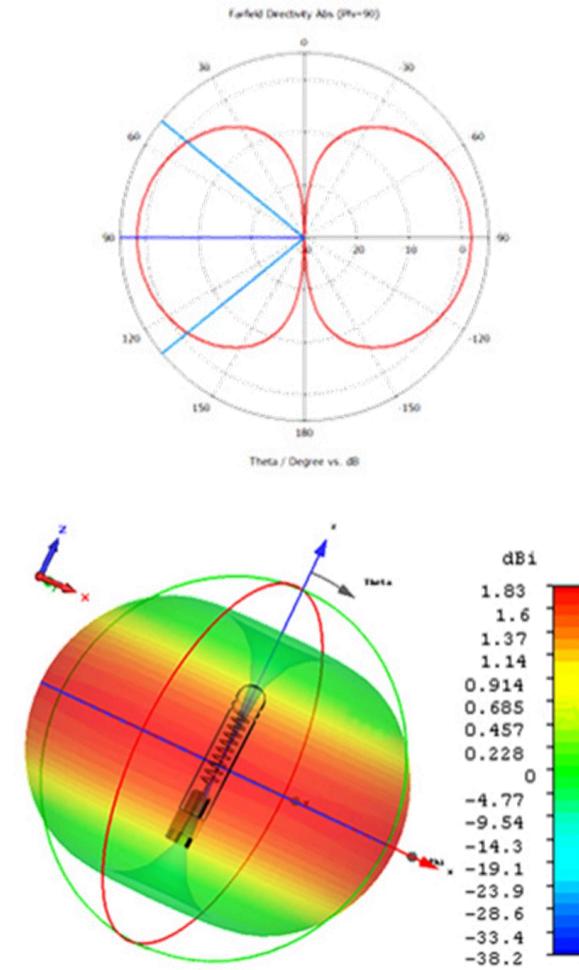
Desarrollo

Identificación de componentes

Estación terrena



Caracterización de parámetro S11



Desarrollo

Identificación de componentes

Antena de la estación terrena

Caracterización de antena



Lontitud de antena (λ)

?

Desarrollo

Identificación de componentes

Antena de la estación terrena



Caracterización de antena

Longitud de la antena (λ)

$$\frac{1}{4}\lambda$$

$$L_{ant} = 17\text{cm} = 0.17\text{m}$$

$$\lambda_{ant} = \frac{c}{f_{ant}} = \frac{3 \times 10^8 \text{m/s}}{433\text{MHz}} = 0.6928\text{m}$$

$$L_{ant} = x\lambda_{ant} \rightarrow x = \frac{L_{ant}}{\lambda_{ant}} = \frac{0.17\text{m}}{0.6928\text{m}} = 0.2454 \simeq \frac{1}{4}$$

$$L_{ant} = \frac{1}{4}\lambda_{ant}$$

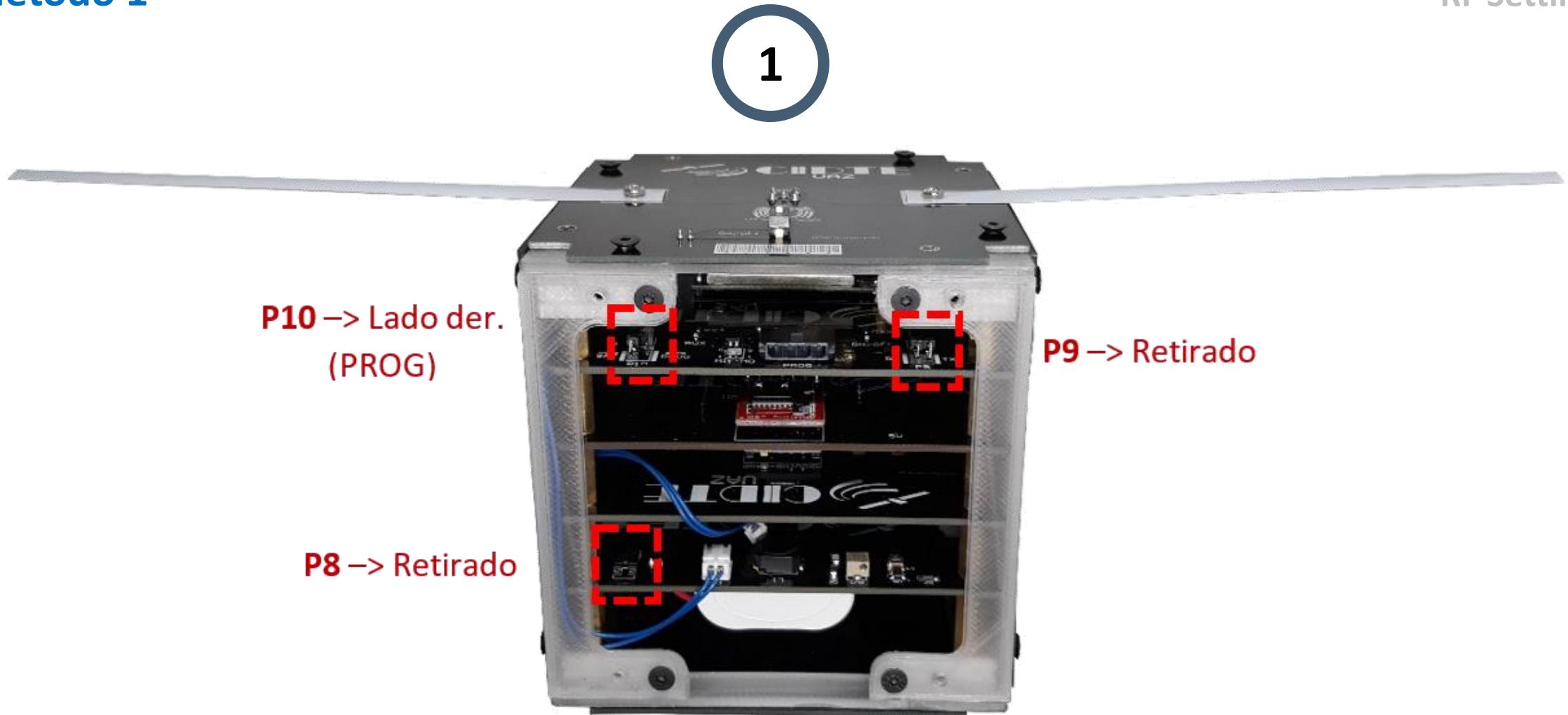
Configuración y programación de radios

Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 1

RF Settings



Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 1

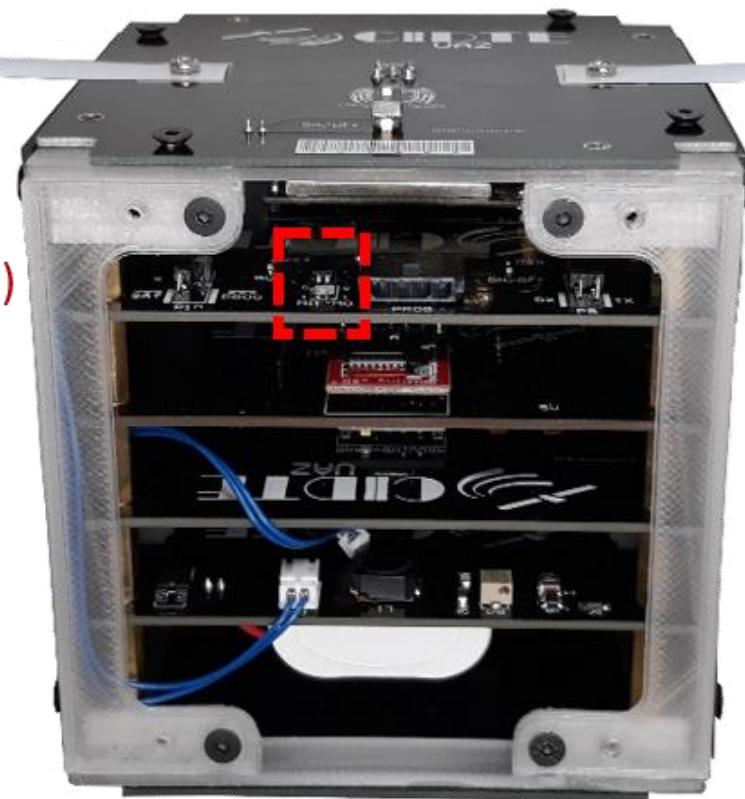
RF Settings

2

Modo	Operación	M1	M0	Descripción
0	Normal	0	0	TX/RX habilitada
1	WU	0	1	“Wake-Up” TX con preámbulo especial
2	WOR	1	0	“Wake on Radio” RX detección
3	C&P	1	1	Configuración y programación

DIP M1, M0 → (1,1)

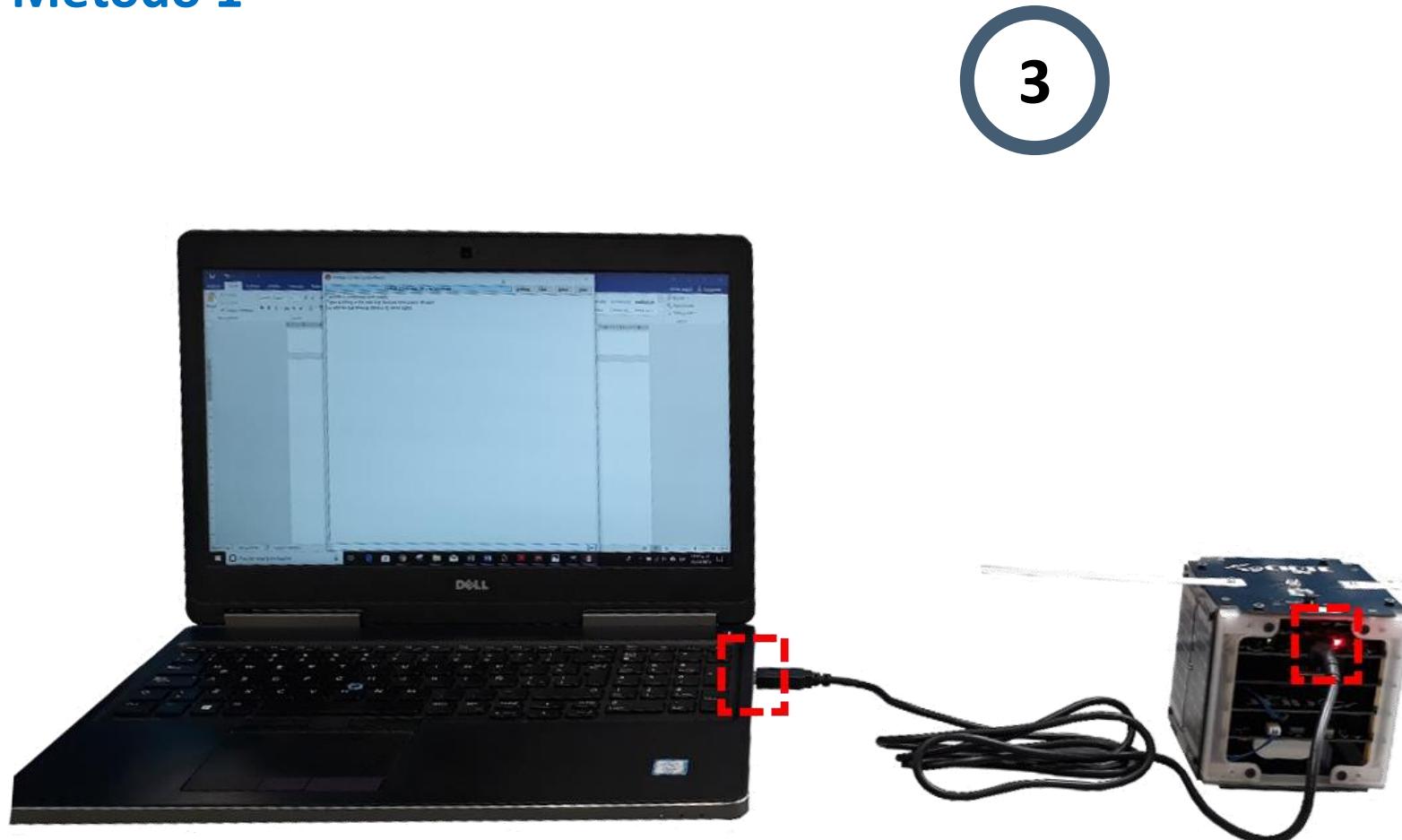
modo C&P



Desarrollo

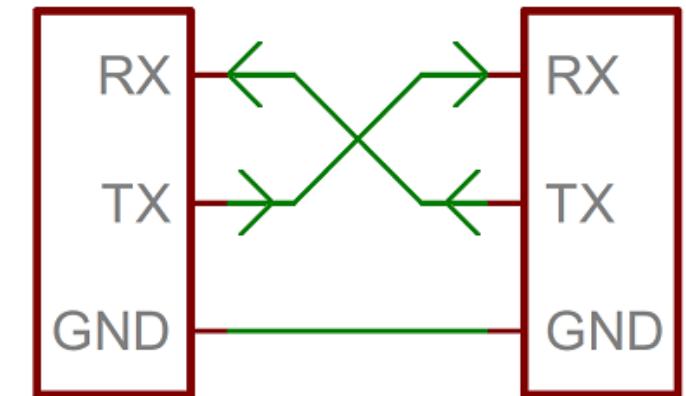
Configuración y programación de radios

Método 1



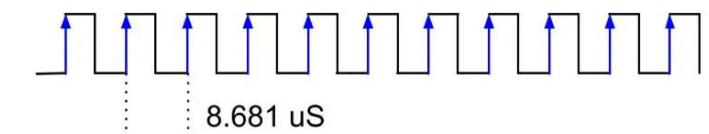
3

RF Settings



I Bit de INICIO
P Bit de PARIDAD
P Bit de PARADA
D Bit de DATOS

I D7 D6 D5 D4 D3 D2 D1 D0 P



1 bit de Parada, 0 bit de Paridad, 8 bits de Datos, 115200 BAUDS

Desarrollo *Configuración y programación de radios*

Método 1



4

RF Settings

Seleccionar el puerto serial (COMX)

Abrir el puerto (OpenPort)

Descargar los parámetros actuales
(GetParam)

Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 1

RF Settings

Sección 1

Parámetro	Valor	Descripción
UartRate	1200Baud ~ 115,200 Baud	Tasa de transmisión del puerto serial
Parity	8N1	8 bits de datos, sin paridad
	8O1	8 bits de datos, paridad impar
	8E1	8 bits de datos, paridad par
AirRate	0.3 kbps ~ 19.2 kbps	Tasa de transmisión de datos en el aire
Power	+21 dBm ~ +30 dBm	Potencia de transmission
FEC	Habilitada / Deshabilitada	Codificación de canal

Desarrollo

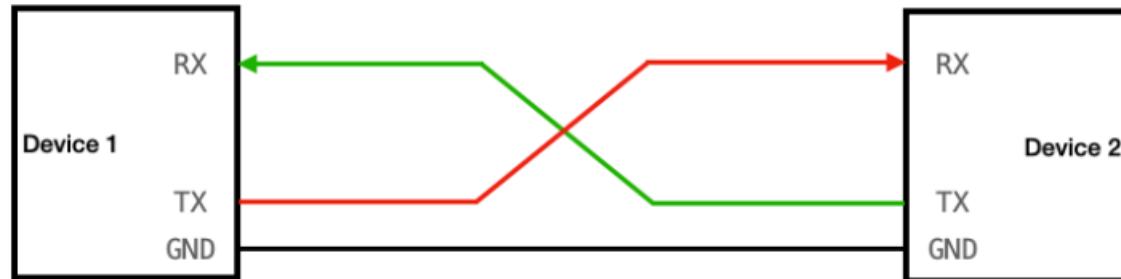
Configuración y programación de radios

Método 1

RF Settings

Parámetro	Valor	Descripción
UartRate	1200Baud ~ 115,200 Baud	Tasa de transmisión del puerto serial
Parity	8N1	8 bits de datos, sin paridad
	8O1	8 bits de datos, paridad impar
AirRate	0.3 kbps ~ 19.2 kbps	Tasa de transmisión de datos en el aire
Power	+21 dBm ~ +30 dBm	Potencia de transmisión
FEC	Habilitada / Deshabilitada	Codificación de canal

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)

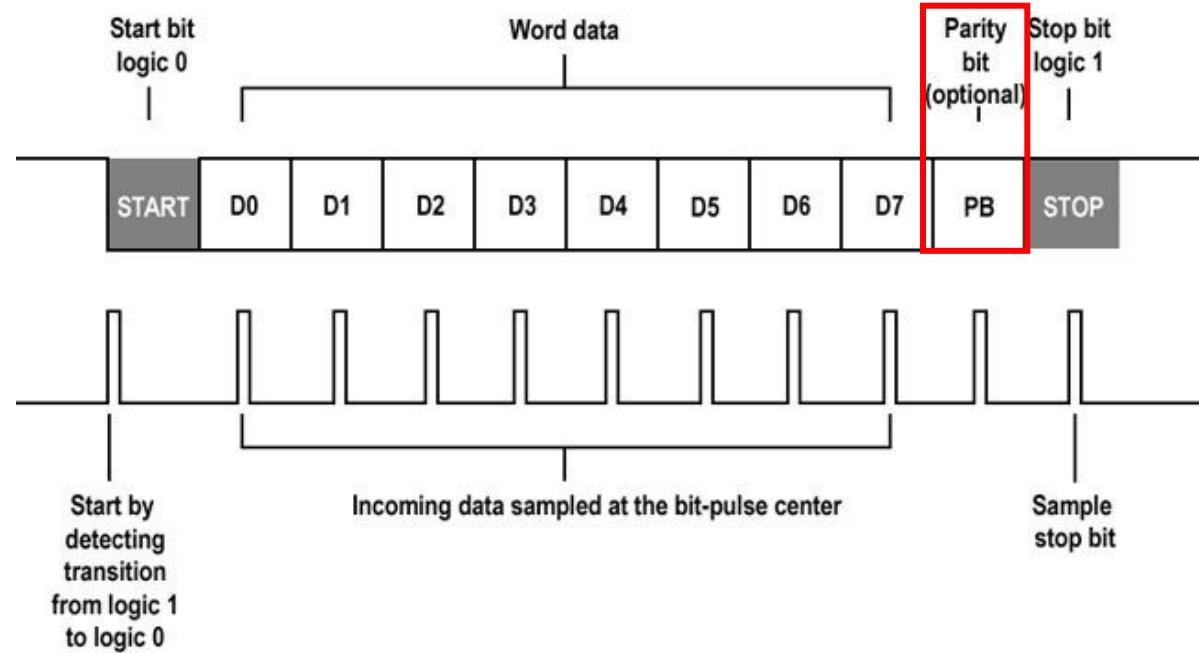


Método 1

RF Settings

Parámetro	Valor	Descripción
UartRate	1200Baud ~ 115,200 Baud	Tasa de transmisión del puerto serial
Parity	8N1 8O1 8E1	8 bits de datos, sin paridad 8 bits de datos, paridad impar 8 bits de datos, paridad par
AirRate	0.3 kbps ~ 19.2 kbps	Tasa de transmisión de datos en el aire
Power	+21 dBm ~ +30 dBm	Potencia de transmisión
FEC	Habilitada / Deshabilitada	Codificación de canal

Paridad para la transmisión de datos a través de UART



Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 1

RF Settings

Parámetro	Valor	Descripción
UartRate	1200Baud ~ 115,200 Baud	Tasa de transmisión del puerto serial
Parity	8N1	8 bits de datos, sin paridad
	8O1	8 bits de datos, paridad impar
	8E1	8 bits de datos, paridad par
AirRate	0.3 kbps ~ 19.2 kbps	Tasa de transmisión de datos en el aire
Power	+21 dBm ~ +30 dBm	Potencia de transmission
FEC	Habilitada / Deshabilitada	Codificación de canal

Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 1

RF Settings

Parámetro	Valor	Descripción
UartRate	1200Baud ~ 115,200 Baud	Tasa de transmisión del puerto serial
Parity	8N1	8 bits de datos, sin paridad
	8O1	8 bits de datos, paridad impar
	8E1	8 bits de datos, paridad par
AirRate	0.3 kbps ~ 19.2 kbps	Tasa de transmisión de datos en el aire
Power	+21 dBm ~ +30 dBm	Potencia de transmission
FEC	Habilitada / Deshabilitada	Codificación de canal

Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 1

RF Settings

Parámetro	Valor	Descripción
UartRate	1200Baud ~ 115,200 Baud	Tasa de transmisión del puerto serial
Parity	8N1	8 bits de datos, sin paridad
	8O1	8 bits de datos, paridad impar
	8E1	8 bits de datos, paridad par
AirRate	0.3 kbps ~ 19.2 kbps	Tasa de transmisión de datos en el aire
Power	+21 dBm ~ +30 dBm	Potencia de transmission
FEC	Habilitada / Deshabilitada	Codificación de canal

Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 1

RF Settings

Sección 2

Parámetro	Valor	Descripción
Fixed mode	Habilitado / Deshabilitado	Modo de transmisión fijo (hacia una dirección BBB específica)
WOR timing	250 ms ~ 2,000 ms	Intervalo de monitoreo (en caso de operar en Modo 2)
IO mode	Push Pull / OpenDrain	PushPull – Salidas y entradas pull OpenDrain – Salidas y entradas open-collector
Address	00 ~ FF / 00 ~ FF	Dirección alta / Dirección baja
Channel	0 ~ 31	Canal de frecuencia de operación $CH_{DEC} = \left[\frac{f_c(MHz) - 410 MHz}{1 MHz} \right]$

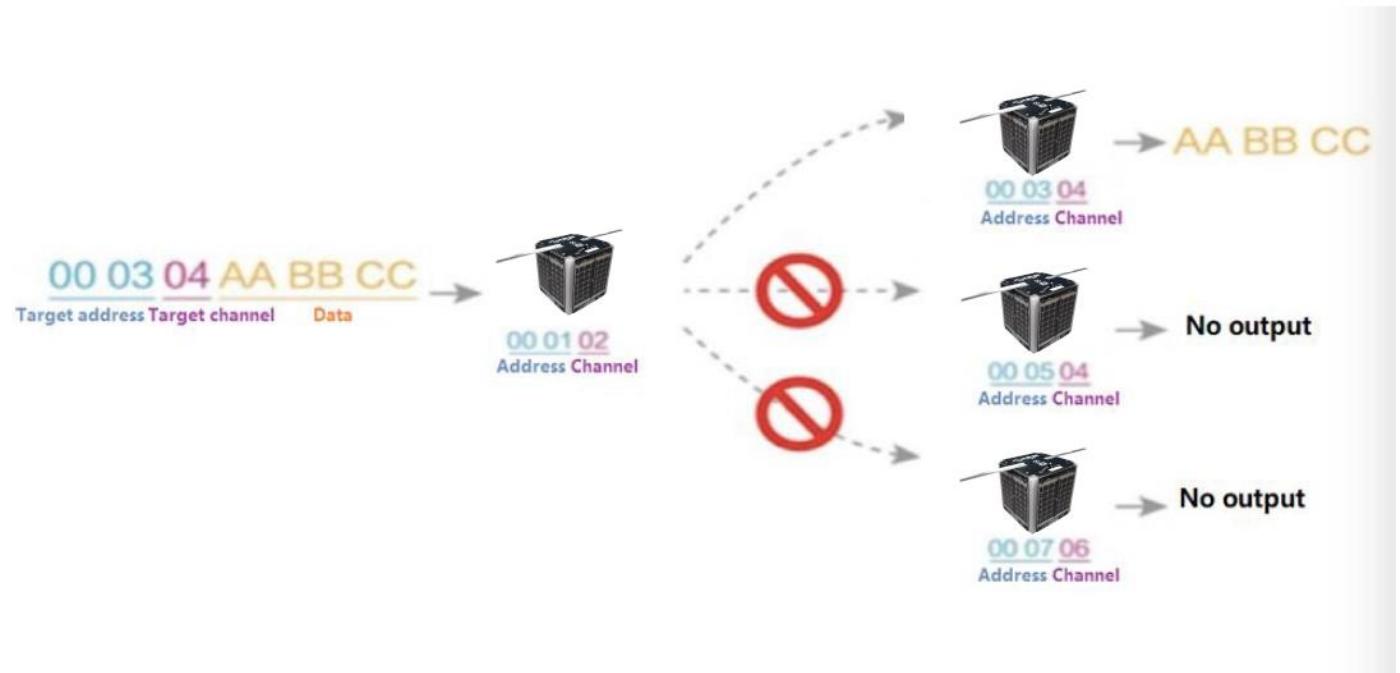
Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 1

RF Settings

Parámetro	Valor	Descripción
Fixed mode	Habilitado / Deshabilitado	Modo de transmisión fijo (hacia una dirección BBB específica)
WOR timing	250 ms ~ 2,000 ms	Intervalo de monitoreo (en caso de operar en Modo 2)
IO mode	Push Pull / OpenDrain	PushPull – Salidas y entradas pull OpenDrain – Salidas y entradas open-collector
Address	00 ~ FF / 00 ~ FF	Dirección alta / Dirección baja
Channel	0 ~ 31	Canal de frecuencia de operación $CH_{DEC} = \left[\frac{f_e(MHz) - 410 MHz}{1 MHz} \right]$



Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 1

RF Settings

Sección 2

Parámetro	Valor	Descripción
Fixed mode	Habilitado / Deshabilitado	Modo de transmisión fijo (hacia una dirección BBB específica)
WOR timing	250 ms ~ 2,000 ms	Intervalo de monitoreo (en caso de operar en Modo 2)
IO mode	Push Pull / OpenDrain	PushPull – Salidas y entradas pull OpenDrain – Salidas y entradas open-collector
Address	00 ~ FF / 00 ~ FF	Dirección alta / Dirección baja
Channel	0 ~ 31	Canal de frecuencia de operación $CH_{DEC} = \left[\frac{f_c(MHz) - 410 MHz}{1 MHz} \right]$

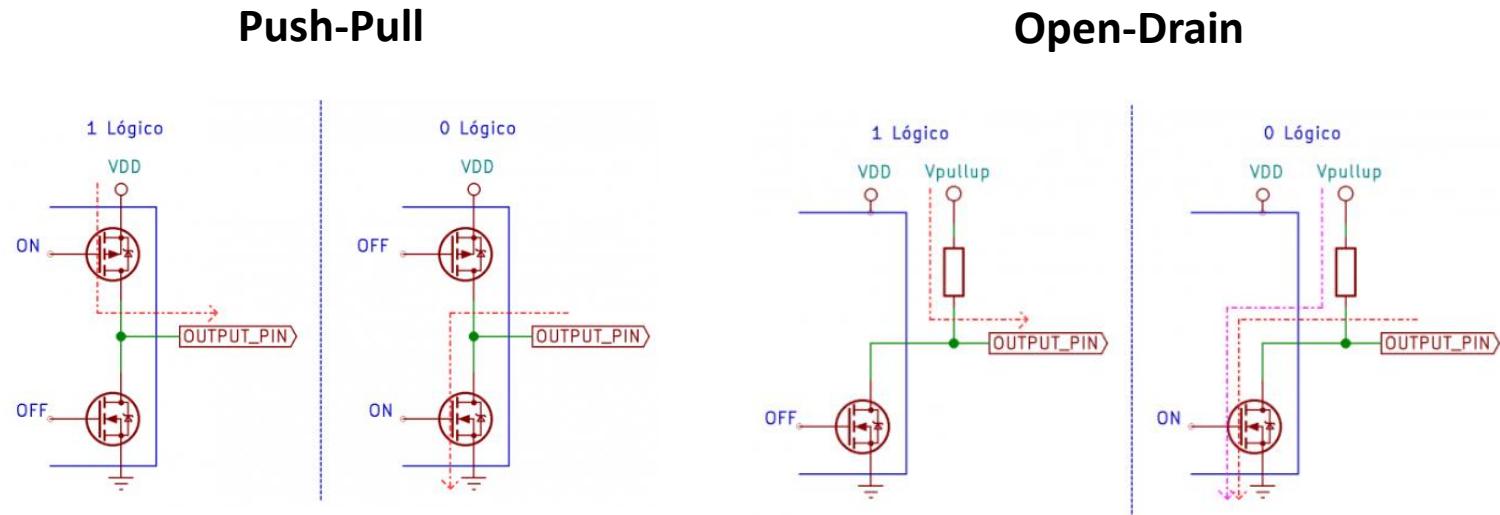
Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 1

RF Settings

Parámetro	Valor	Descripción
Fixed mode	Habilitado / Deshabilitado	Modo de transmisión fijo (hacia una dirección BBB específica)
WOR timing	250 ms ~ 2,000 ms	Intervalo de monitoreo (en caso de operar en Modo 2)
IO mode	Push Pull / OpenDrain	PushPull – Salidas y entradas pull OpenDrain – Salidas y entradas open-collector
Address	00 ~ FF / 00 ~ FF	Dirección alta / Dirección baja
Channel	0 ~ 31	Canal de frecuencia de operación $CH_{DEC} = \left[\frac{f_e(MHz) - 410 MHz}{1 MHz} \right]$



*GPIOs (1/3): Salidas: Push-pull vs drenador abierto, <https://zaragozamakerspace.com/gpios-1-3-salidas-push-pull-vs-drenador-aberto/>

Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 1

RF Settings

Sección 2

Parámetro	Valor	Descripción
Fixed mode	Habilitado / Deshabilitado	Modo de transmisión fijo (hacia una dirección BBB específica)
WOR timing	250 ms ~ 2,000 ms	Intervalo de monitoreo (en caso de operar en Modo 2)
IO mode	Push Pull / OpenDrain	PushPull – Salidas y entradas pull OpenDrain – Salidas y entradas open-collector
Address	00 ~ FF / 00 ~ FF	Dirección alta / Dirección baja
Channel	0 ~ 31	Canal de frecuencia de operación $CH_{DEC} = \left[\frac{f_c(MHz) - 410 MHz}{1 MHz} \right]$

Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 1

RF Settings

Sección 2

Parámetro	Valor	Descripción
Fixed mode	Habilitado / Deshabilitado	Modo de transmisión fijo (hacia una dirección BBB específica)
WOR timing	250 ms ~ 2,000 ms	Intervalo de monitoreo (en caso de operar en Modo 2)
IO mode	Push Pull / OpenDrain	PushPull – Salidas y entradas pull OpenDrain – Salidas y entradas open-collector
Address	00 ~ FF / 00 ~ FF	Dirección alta / Dirección baja
Channel	0 ~ 31	Canal de frecuencia de operación $CH_{DEC} = \left[\frac{f_c(MHz) - 410 MHz}{1 MHz} \right]$

Desarrollo *Configuración y programación de radios*

Método 1



5

RF Settings

Configurar los parámetros deseados



Subir la configuración (SetParam)

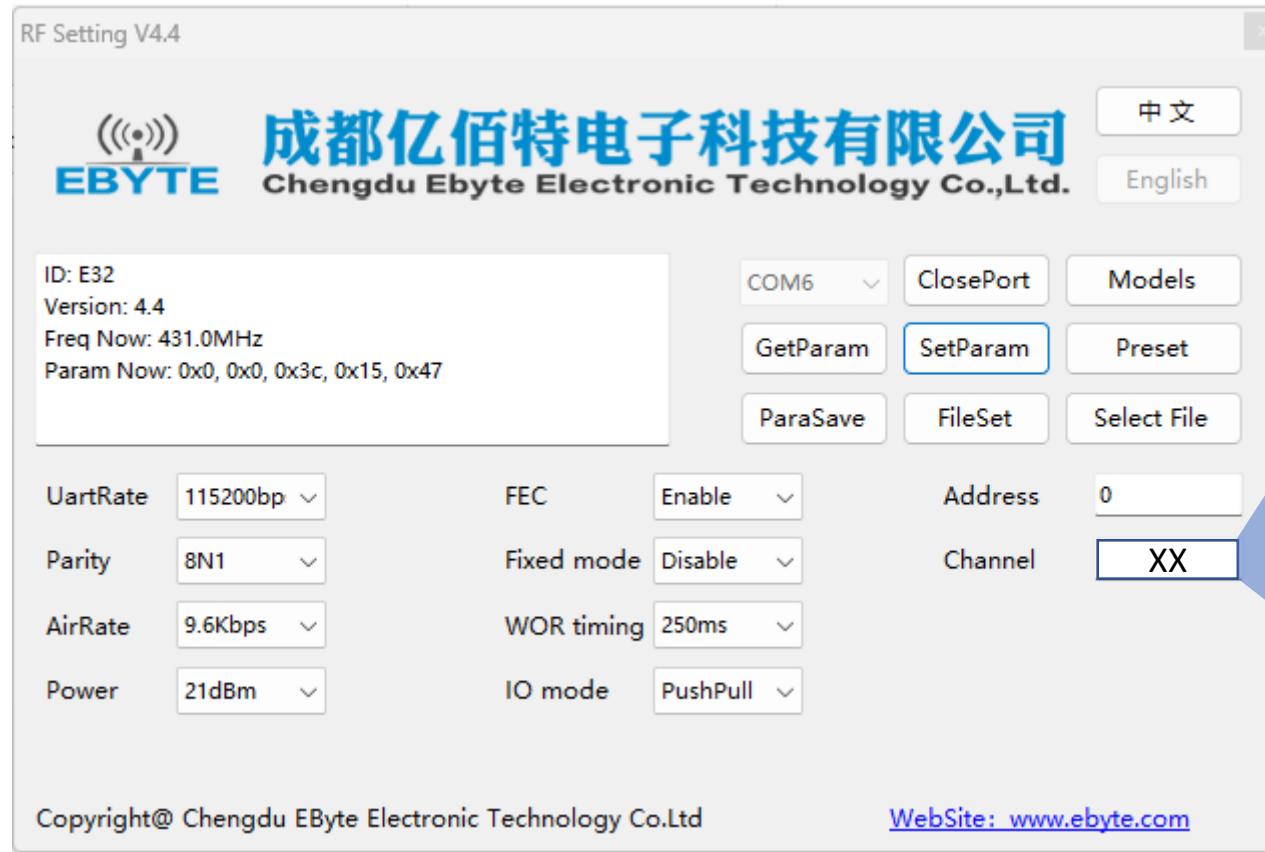


Cerrar el puerto
(ClosePort)

Desarrollo *Configuración y programación de radios*

Método 1

5



RF Settings

Equipo	Canal
1	410 MHz
2	413 MHz
3	416 MHz
4	419 MHz
5	421 MHz
6	424 MHz
7	427 MHz
8	430 MHz
9	433 MHz
10	436 MHz

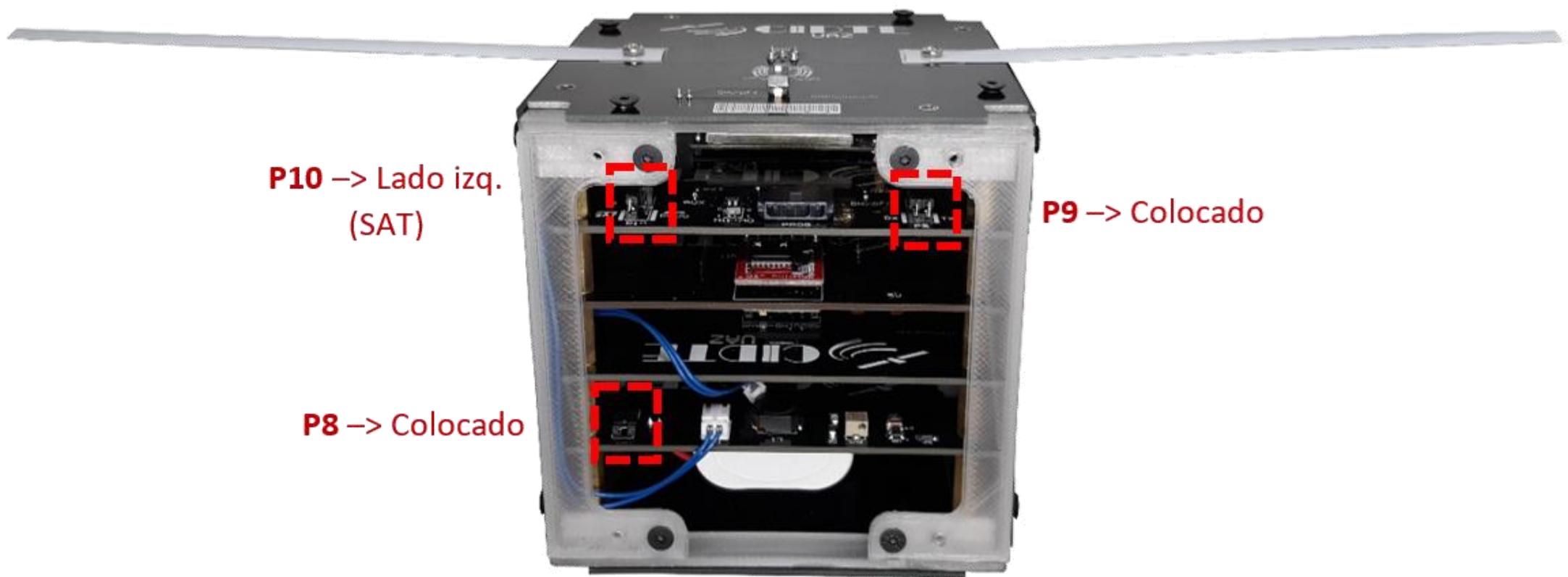
Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 1

RF Settings

6



Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 1

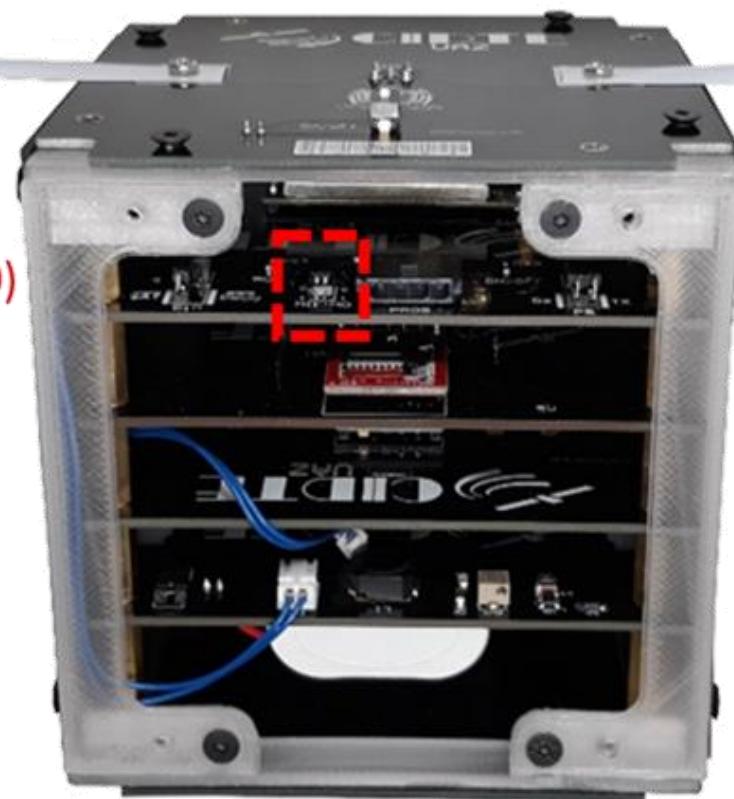
RF Settings

7

Modo	Operación	M1	M0	Descripción
0	Normal	0	0	TX/RX habilitada
1	WU	0	1	“Wake-Up” TX con preámbulo especial
2	WOR	1	0	“Wake on Radio” RX detección
3	C&P	1	1	Configuración y programación

DIP M1, M0 → (0,0)

Modo Normal



Método 1

RF Settings

8



Repetir el proceso para la estación terrena.

- Se deben configurar los mismos parámetros que se configuraron en el radio del CuboZat v1.0.**

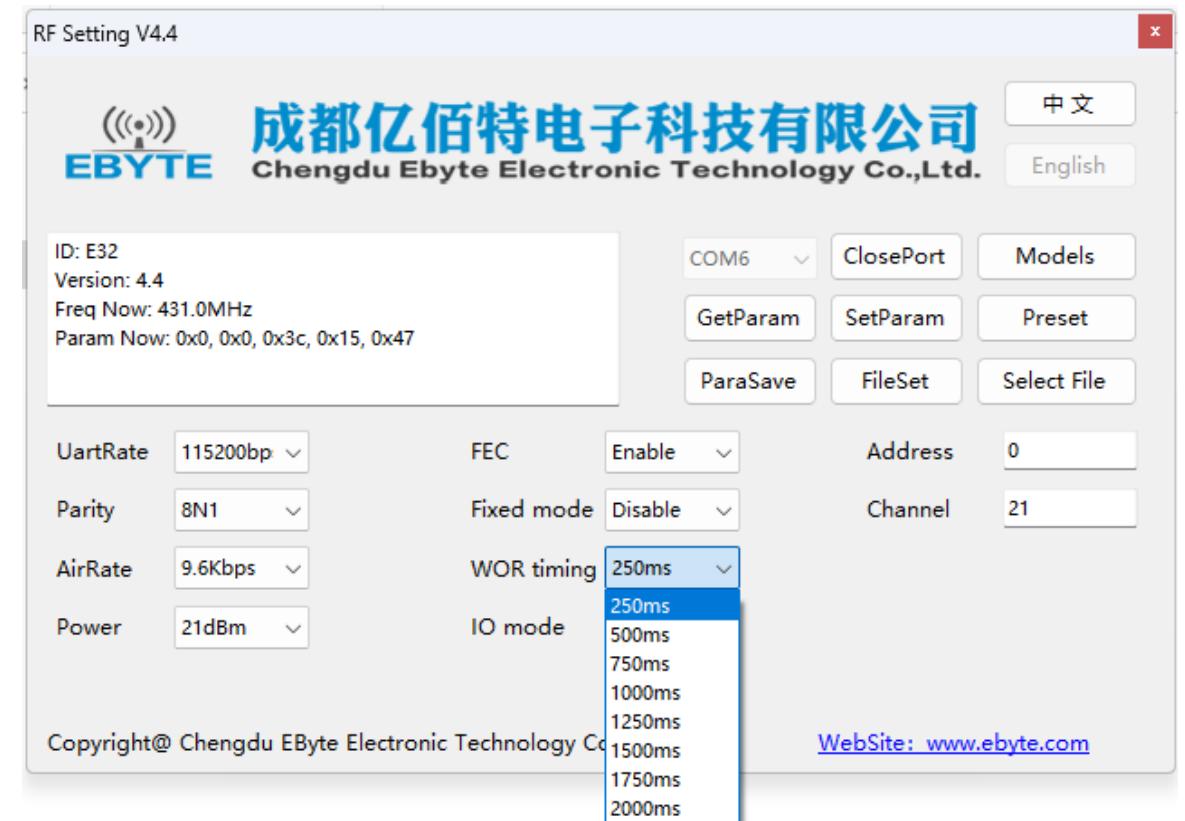
Desarrollo *Configuración y programación de radios*

Pruebas de comunicación

RF Settings

1. Modos de operación del radio (M0,M1).

Modo de ahorro de energía					
Modo	Operación	M1	M0	Descripción	
0	Normal	0	0	TX/RX habilitada	
1	WU	0	1	“Wake-Up” TX con preámbulo especial	
2	WOR	1	0	“Wake on Radio” RX detección	
3	C&P	1	1	Configuración y programación	



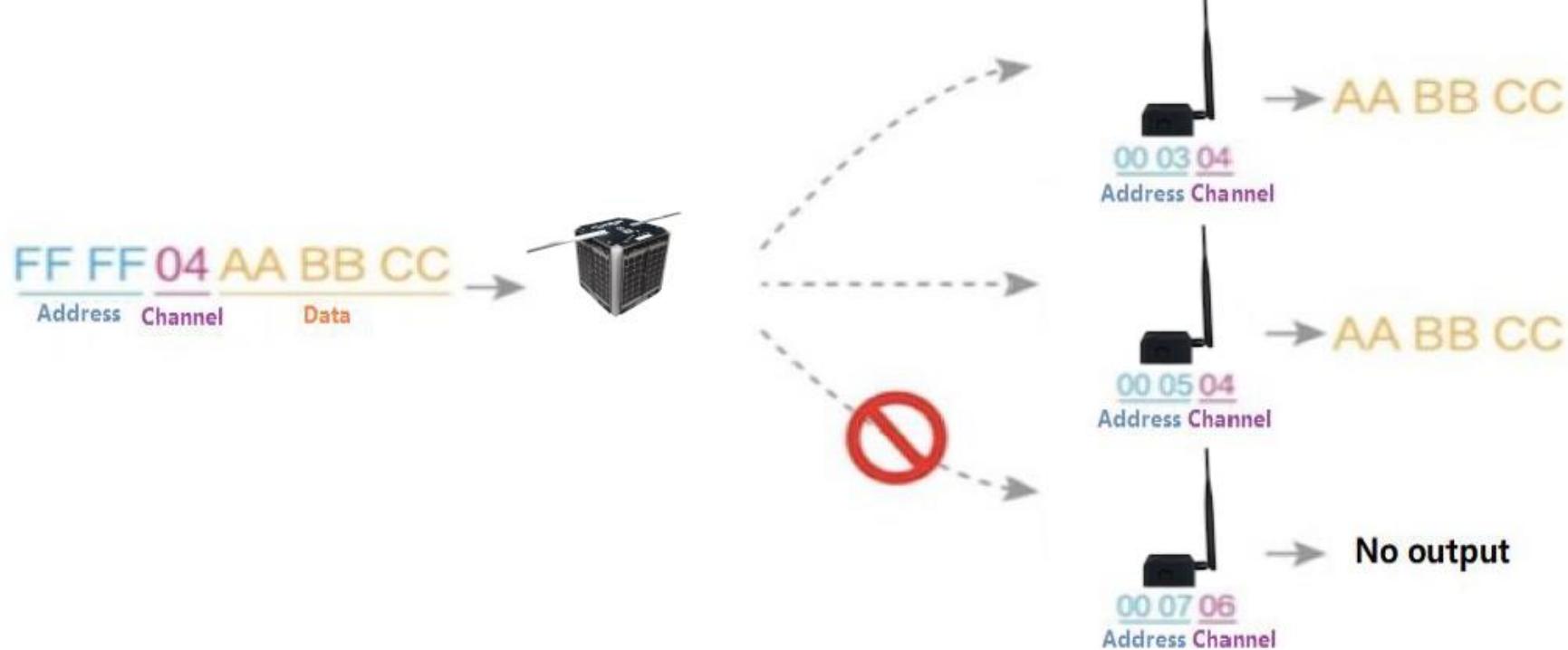
Desarrollo

Configuración y programación de radios

Pruebas de comunicación

RF Settings

2. Comunicación BROADCAST – Direcciones 0x0000 y 0xFFFF.



Desarrollo

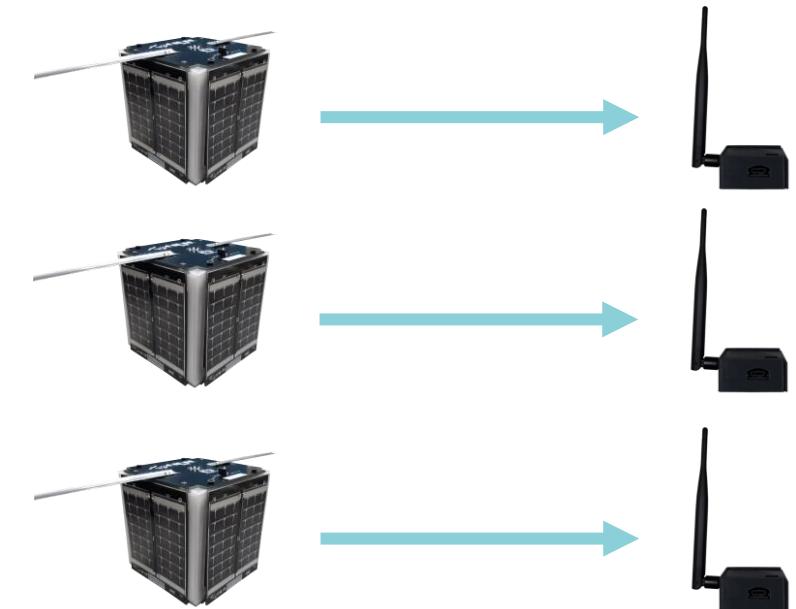
Configuración y programación de radios

Pruebas de comunicación

RF Settings

3. Comunicación punto a punto (Direcciones fijas).

Enlace TX - RX	Canal	Dirección
1 - 6	412 MHz	A elegir
2 - 7	420 MHz	A elegir
3 - 8	428 MHz	A elegir
4 - 9	435 MHz	A elegir
5 - 10	440 MHz	A elegir



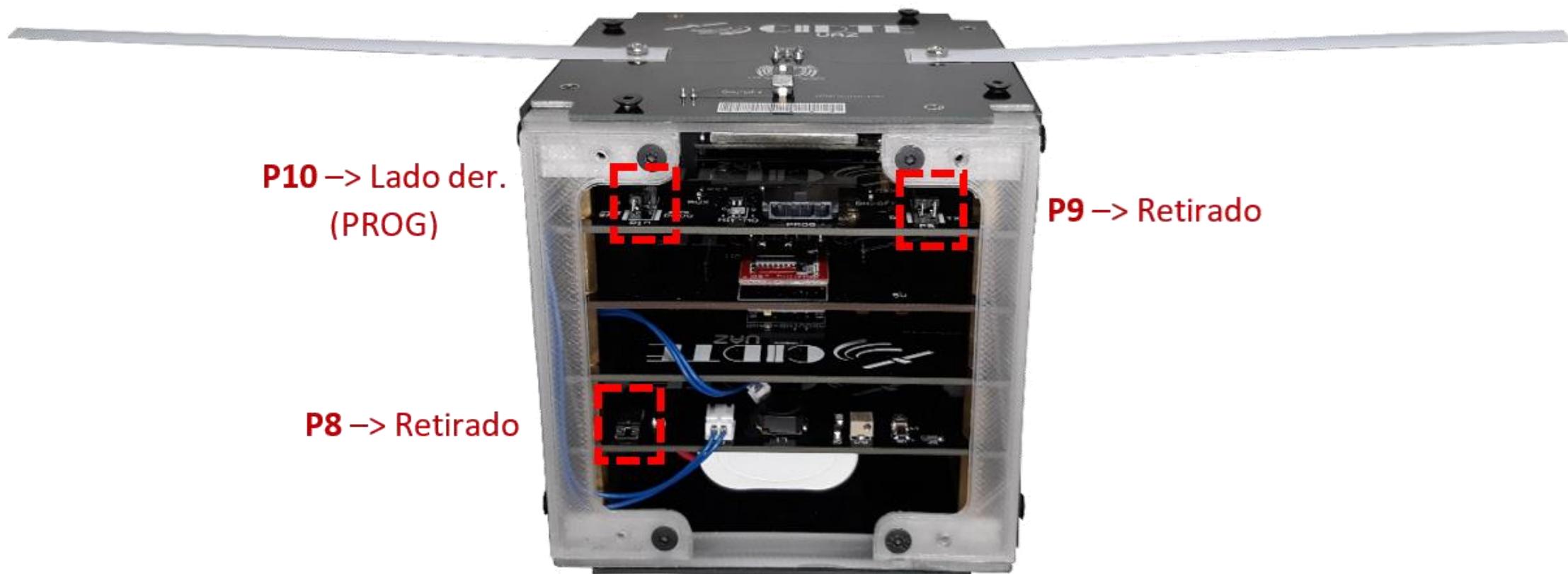
Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 2

Comandos hexadecimales

1



Desarrollo

Configuración y programación de radios

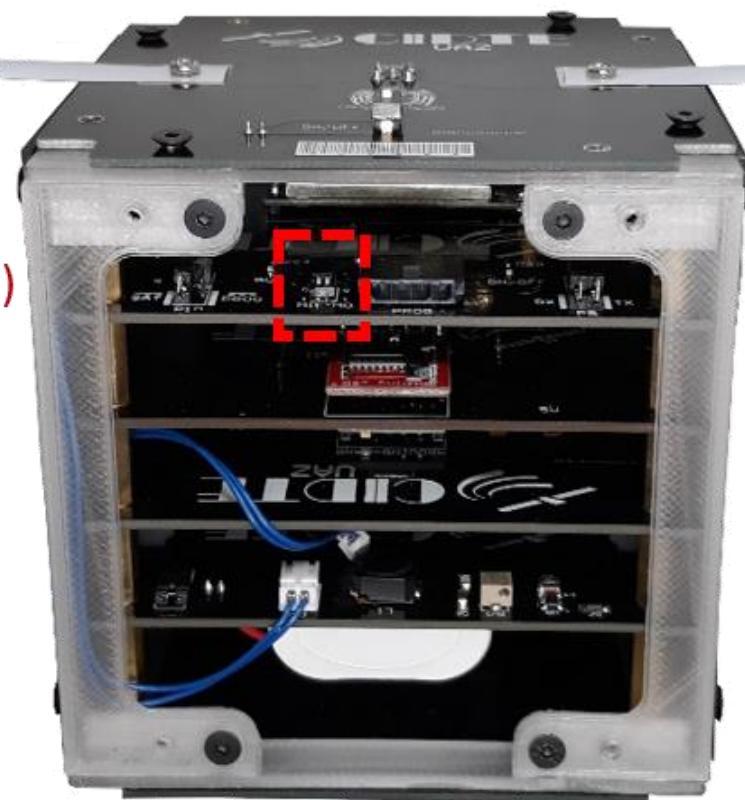
Método 2

Modo	Operación	M1	M0	Descripción
0	Normal	0	0	TX/RX habilitada
1	WU	0	1	“Wake-Up” TX con preámbulo especial
2	WOR	1	0	“Wake on Radio” RX detección
3	C&P	1	1	Configuración y programación

2

DIP M1, M0 → (1,1)

Modo C&P

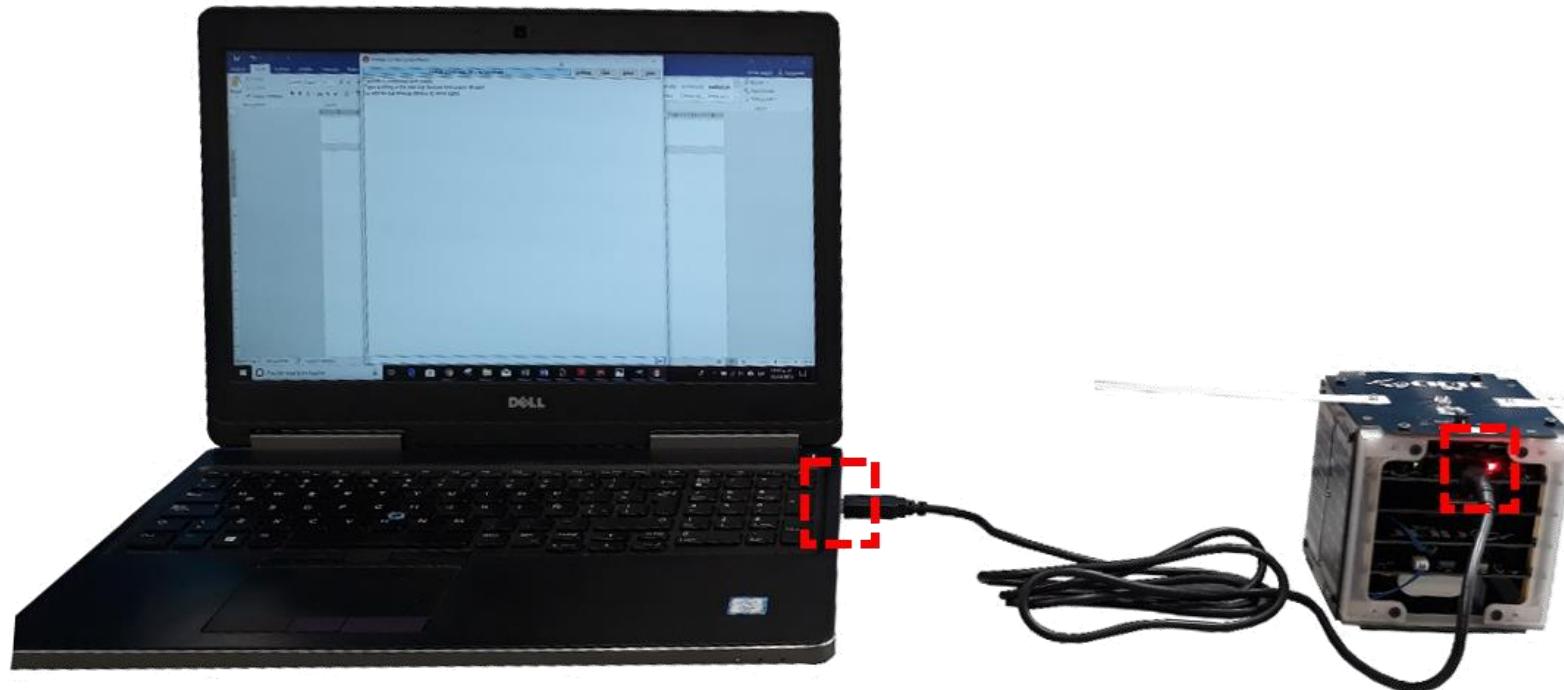


Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 2

Comandos hexadecimales



3

Nota:

Para poder realizar la configuración y programación de parámetros de los radios a través de comandos hexadecimales, es necesario que la tasa de transmisión de datos del puerto serial esté configurada en **9600 baud, 8N1**.

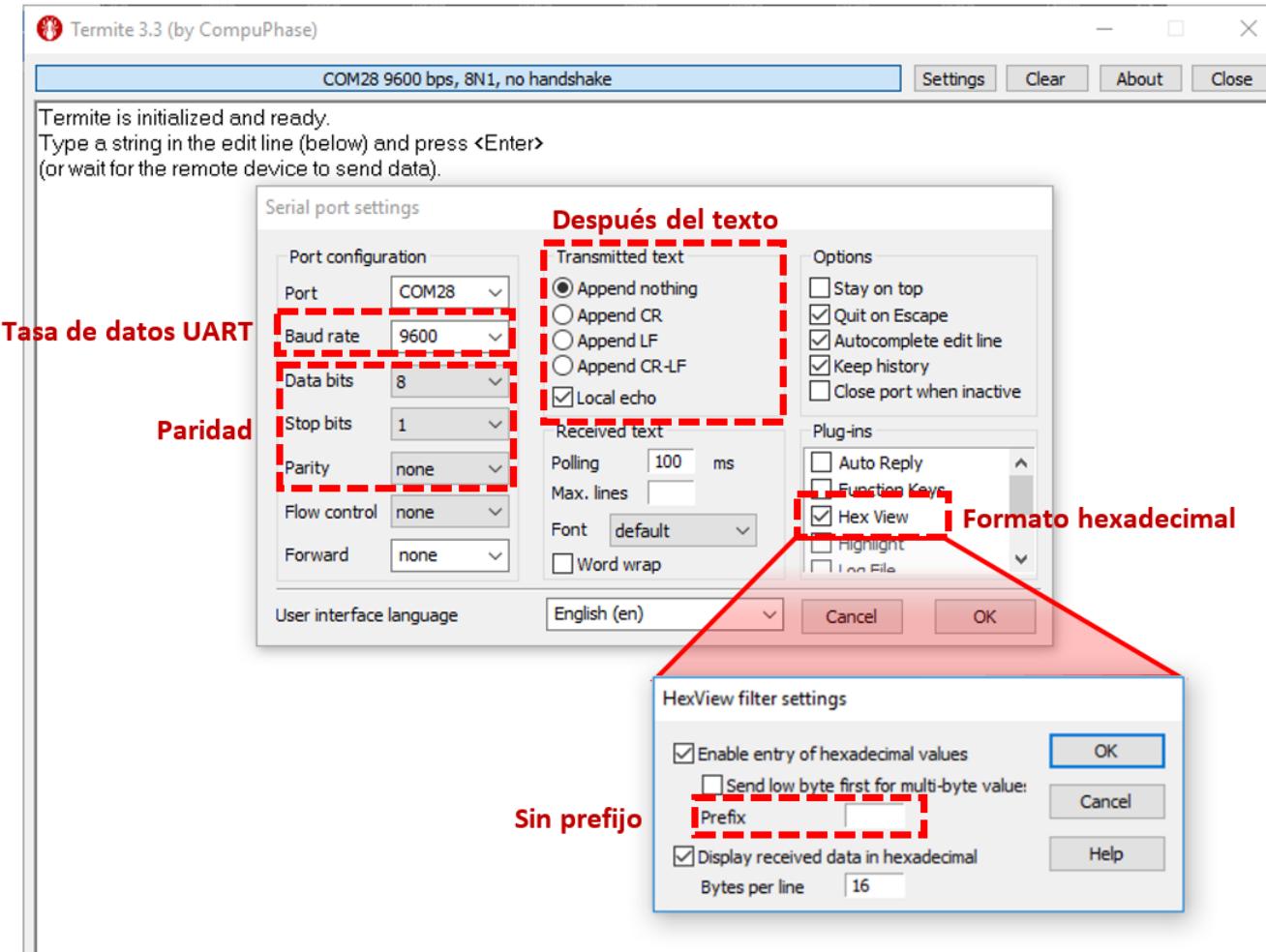
Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 2

Comandos hexadecimales

4



Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 2

Comandos hexadecimales

Parámetros de instrucción	Descripción
C0 + Parámetros	C0 + 5 Bytes en formato hexadecimal. Un total de 6 Bytes deben ser mandados a manera de cadena. (Los parámetros son guardados aún y cuando se apague el radio) Ej. C0 00 00 1C 17 45
C1 + C1 + C1	Cadena de tres C1 consecutivos en formato hexadecimal. El modulo responderá con la cadena de parámetros de la configuración actual que tenga el radio. Ej. C0 00 00 1C 17 45
C2 + Parámetros	C2 + 5 Bytes en formato hexadecimal. Un total de 6 Bytes deben ser mandados a manera de cadena. (Los parámetros NO son guardados cuando se apague el radio) Ej. C2 00 00 1A 17 44
C3 + C3 + C3	Cadena de tres C3 consecutivos en formato hexadecimal. El módulo responderá con la información de la versión del radio. Ej. C3 32 44 1E
C4 + C4 + C4	Cadena de tres C4 consecutivos en formato hexadecimal. El módulo se reiniciará una vez.

Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 2

Byte	Nombre	Descripción		Observaciones	
0	HEAD	Byte de control fijo: C0 o C2		C0: Parámetros guardados incluso si el radio es apagado. C1: Parámetros no guardados si el radio es apagado	
1	ADDH	Byte de dirección alta del módulo		00H – FFH	
2	ADDL	Byte de dirección baja del módulo		00H – FFH	
3	SPED	7 6 Bit de paridad UART		Configuración del bit de paridad de la comunicación UART	
		0 0	8N1		
		0 1	8O1		
		1 0	8E1		
		1 1	8N1 (Igual que 00)		
		5 4 3 Tasa de transmisión UART			
		0 0 0	1200 Bauds		
		0 0 1	2400 Bauds		
		0 1 0	4800 Bauds		
		0 1 1	9600 Bauds		
		1 0 0	19200 Bauds		
		1 0 1	38400 Bauds		
		1 1 0	57600 Bauds		
		1 1 1	115200 Bauds		
		2 1 0 Tasa de bit en el aire			
4	CHAN	0 0 0	0.3 kbps	Velocidad de la transmisión inalámbrica de datos	
		0 0 1	1.2 kbps		
		0 1 0	2.4 kbps		
		0 1 1	4.8 kbps		
		1 0 0	9.6 kbps		
		1 0 1	19.2 kbps		
		1 1 0	19.2 kbps (Igual a 101)		
		1 1 1	19.2 kbps (Igual a 101)		
		7 6 5 Reservados		Escribir 0 en estos bits	
		4-0 Canal de frecuencia de operación		00H – 1FH correspondiente al rango de frecuencias de 410 MHz a 441 MHz	
$CH_{DEC} = \lceil \frac{f_C(MHz) - 410MHz}{1MHz} \rceil$					

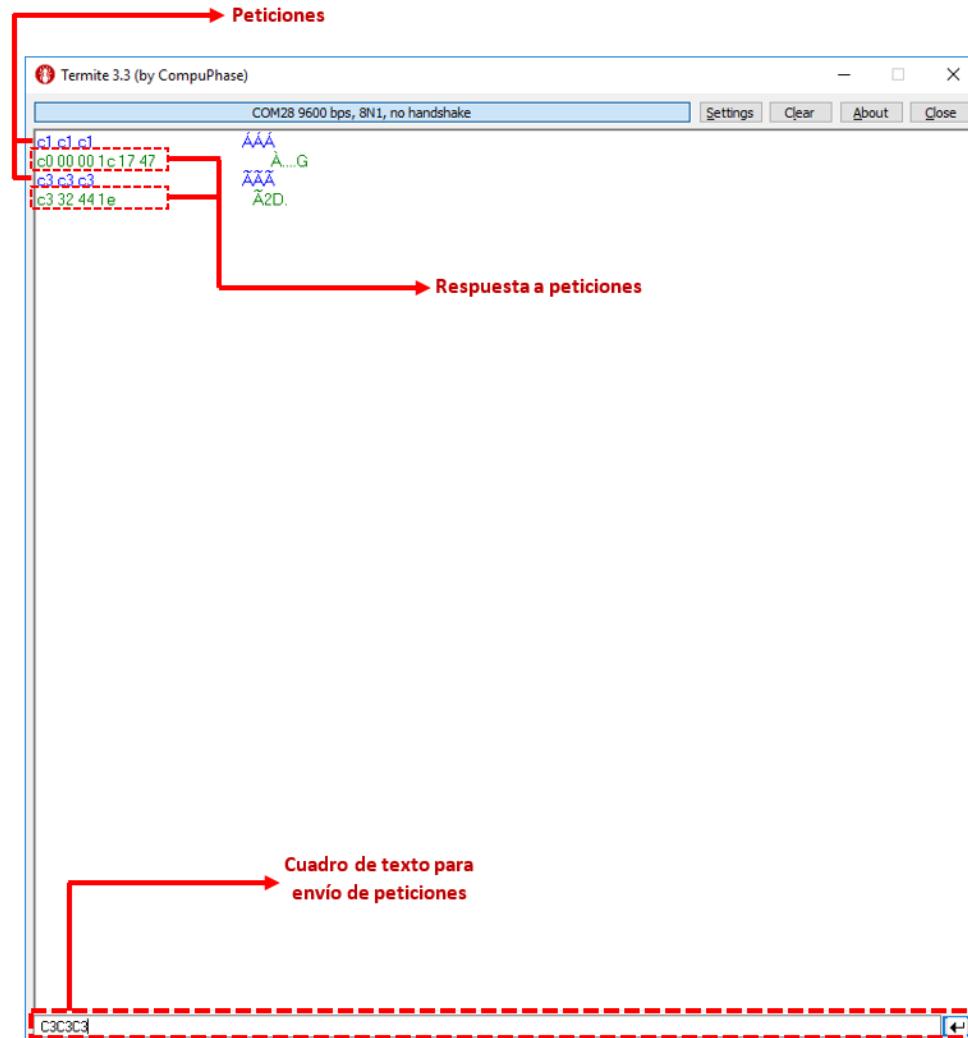
Byte	Nombre	Descripción		Observaciones					
7	Bit para habilitar modo de transmisión fijo		En el modo de transmisión fijo, los 3 primeros bytes son usados para definir la dirección y canal del radio						
0	Modo de transmisión transparente								
1	Modo de transmisión fijo habilitado								
6 Bit de manejo IO		Este bit es usado para habilitar la resistencia "pull-up" interna del módulo							
0	TXD y AUX salidas "push-pull", RXD entrada "push-pull"								
1	TXD y AUX salidas de "open-collector", RXD entrada "open-collector"								
5 4 3 Intervalo de monitoreo (WakeUp)									
0 0 0	250 ms		Dependiendo del modo de operación del radio módulo, este tiempo determina diferentes factores como el periodo de muestreo o el periodo de transmisión de preámbulo						
0 0 1	500 ms								
0 1 0	750 ms								
0 1 1	1000 ms								
1 0 0	1250 ms								
1 0 1	1500 ms								
1 1 0	1750 ms								
1 1 1	2000 ms								
2 FEC		Este bit habilita el FEC en las transmisiones, y éste debe estar configurado igual en ambos lados							
0	FEC apagado								
1	FEC encendido								
7 6 Potencia de transmisión									
0 0	30 dBm		Potencia de transmisión. En baja potencia de transmisión, la eficiencia energética es disminuida						
0 1	27 dBm								
1 0	24 dBm								
1 1	21 dBm								

Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 2

5



Comandos hexadecimales

Comprobación de comunicación con el radio.

Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 2

BYTE	0	1	2	3	4	5
Ej. Cadena (HEX)	C0	00	00	1C	17	47
Cadena recibida (HEX)						

Comandos hexadecimales

6

Interpretar la configuración actual del radio

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Almacenamiento	Permanente	Frecuencia de operación	433 MHz
Dirección alta	00H -> 0	Modo de transmisión	Transparente
Dirección baja	00H -> 0	Modo IO	Push-Pull
Paridad UART	8N1	Periodo WOR	250 ms
Tasa UART	9600 Bauds	FEC	ON
Tasa de datos (aire)	9.6 kbps	Potencia de transmisión	+21 dBm

Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 2

BYTE	0	1	2	3	4	5
Ej. Cadena (HEX)	C0	00	00	1C	17	47

Comandos hexadecimales						
BYTE 0						BYT
Almacenamiento						0
Permanente						0
BYTE 1						0
Dirección alta						0
DEC	0					
HEX	00					
BYTE 2						0
Dirección baja						0
DEC	0					
HEX	00					
BYTE 3						0
Paridad UART		Tasa de transmisión UART			Tasa de datos en el aire	
8N1		9600 Bauds			9.6 kbps	
BIN	00	01	11	10	0	0
HEX	1				C	

Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 2

BYTE	0	1	2	3	4	5
Ej. Cadena (HEX)	C0	00	00	1C	17	47

Comandos hexadecimales

BYTE 4								
BIN	Reservados			Frecuencia de operación				
	0	0	0	1	0	1	1	1
HEX	1			7				
Cálculos:								
$CH_{DEC} = \left[\frac{fc(MHz) - 410MHz}{1MHz} \right]$								
$f_C = 410MHz + (CH_{DEC}) * (1MHz)$								
$fc(MHz) = 410MHz + (CH_{DEC}) * (1MHz)$								
$fc(MHz) = 410MHz + (23) * (1MHz) = 433MHz$								
BYTE 5								
BIN	Modo TX	Modo IO	Periodo WOR			FEC	Potencia TX	
	T	PP	250 ms	0	0	0	ON	+21 dBm
HEX	4			7				

Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 2

BYTE	0	1	2	3	4	5
Cadena recibida (HEX)	?	?	?	?	?	?

Comandos hexadecimales

7

Configure los siguientes parámetros

Parámetro	Valor
Almacenamiento	Permanente
Dirección alta	Suma de los números de día del cumpleaños de los 4 integrantes
Dirección baja	Suma de los números de mes del cumpleaños de los 4 integrantes
Paridad UART	De acuerdo al número del equipo
Tasa UART	9600 Bauds
Tasa de datos (aire)	A escoger por cada equipo

Parámetro	Valor
Frecuencia de operación	Equipo 10 -> 440 MHz Equipo (-1) -> (-3 MHz)
Modo de transmisión	Transparente
Modo IO	Push-Pull
Periodo WOR	A escoger por cada equipo (No se utiliza)
FEC	ON
Potencia de transmisión	+21 dBm

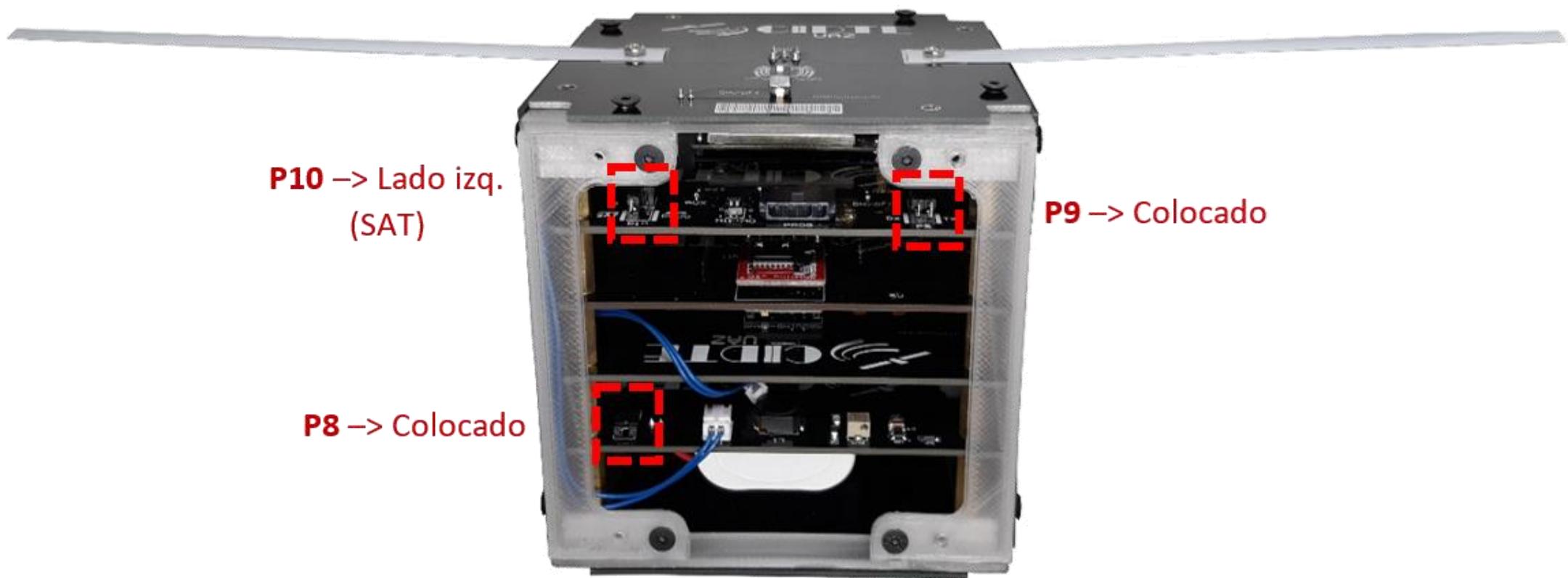
Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 2

Comandos hexadecimales

6



Desarrollo

Configuración y programación de radios

Método 2

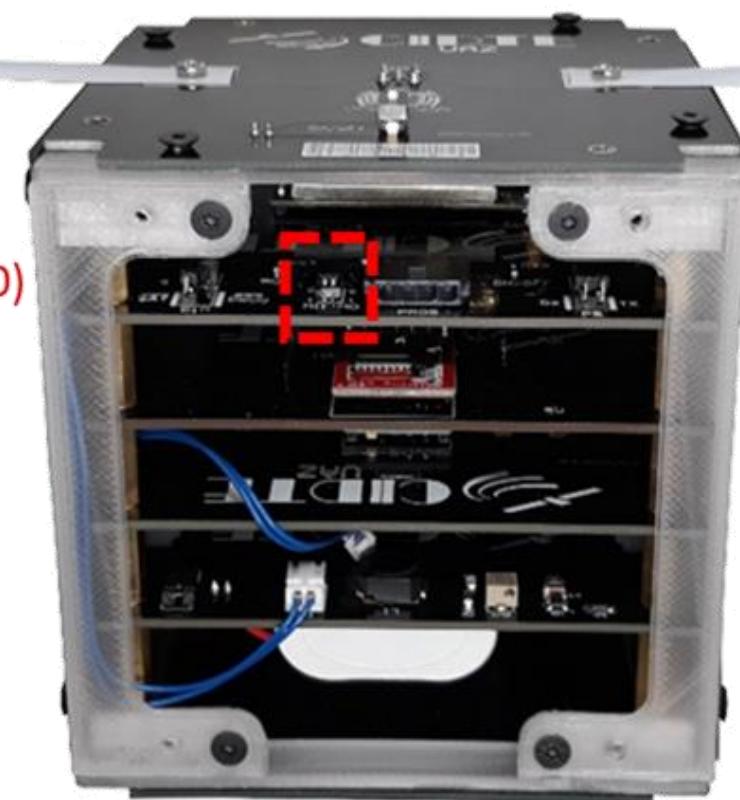
Comandos hexadecimales

7

Modo	Operación	M1	M0	Descripción
0	Normal	0	0	TX/RX habilitada
1	WU	0	1	“Wake-Up” TX con preámbulo especial
2	WOR	1	0	“Wake on Radio” RX detección
3	C&P	1	1	Configuración y programación

DIP M1, M0 → (0,0)

Modo Normal



Escalabilidad

Actividades

CuboZat v1.0

- Rediseño de subsistema de comunicación y subsistema de computadora abordo para habilitar red pico satelital
(Modo de Transmisión Fija)
 - Habilitar control por software para entradas M1 y M0.
 - Habilitar control por software para salida AUX.

Introducción a una misión CubeSat

Básicos



Misión CubeSat *Introducción*



¿Cómo iniciar con el desarrollo de un satélite?

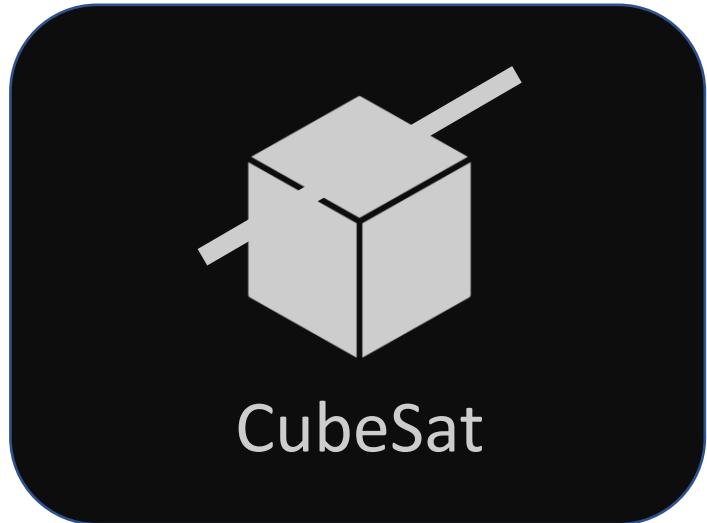
¿Cómo iniciar con un proyecto CubeSat?

¿Hay un procedimiento a seguir?

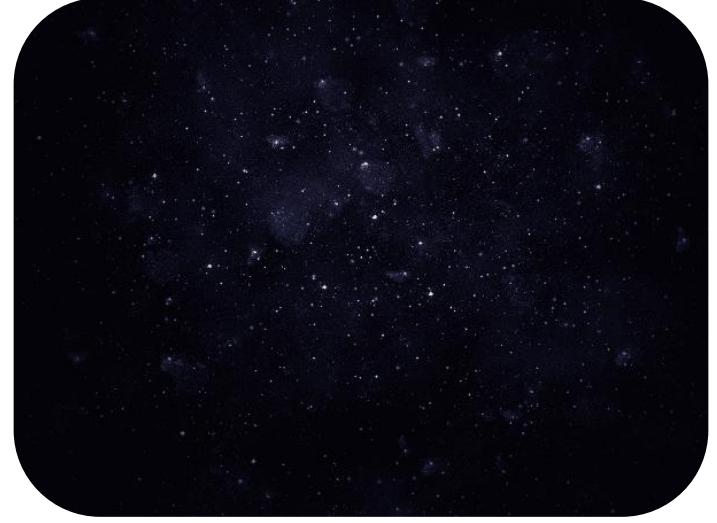
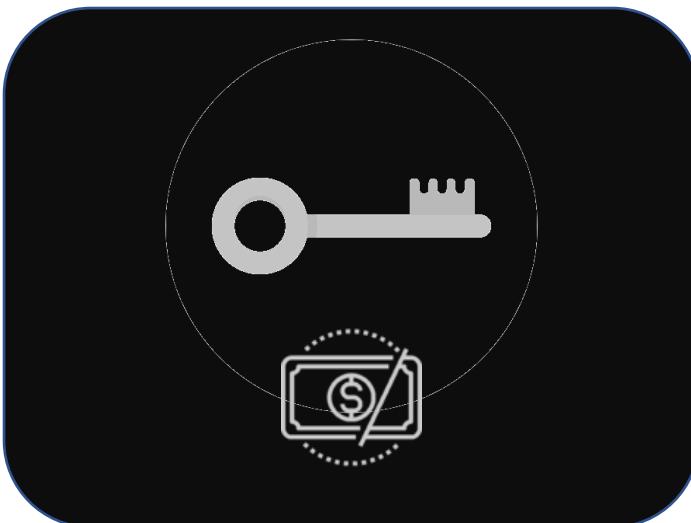
Misión CubeSat *Introducción*



Misión CubeSat *Introducción*



CubeSat



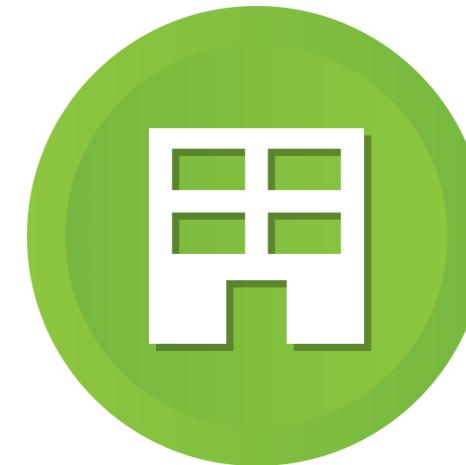
Misión CubeSat *Introducción*



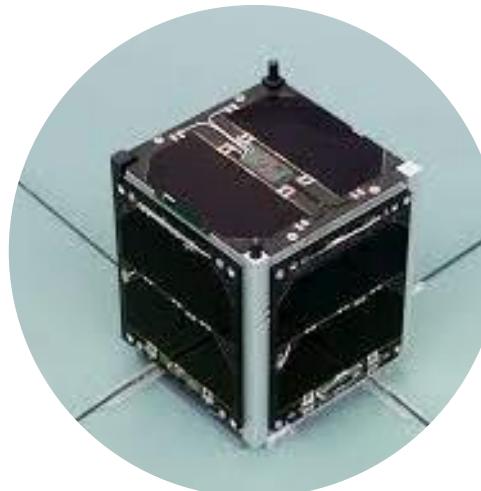
Instituciones educativas



Agencias gubernamentales



Empresas privadas



Febrero 2023

Misión CubeSat *Introducción*

MISIÓN ESPACIAL

Es el propósito por el cual se coloca un dispositivo con determinada carga útil y/o personal en el espacio para realizar tareas que no pueden llevarse a cabo en tierra o que se tiene un interés especial por realizarlas en el espacio.



*Misión AlfaCrux,
[https://noticias.r7.com/educacao/alunos-da-unb-lancam-cubesat-ao-espaco-em-parceria-com-a-spacex-01042022”](https://noticias.r7.com/educacao/alunos-da-unb-lancam-cubesat-ao-espaco-em-parceria-com-a-spacex-01042022)

Misiones CubeSat universitarias



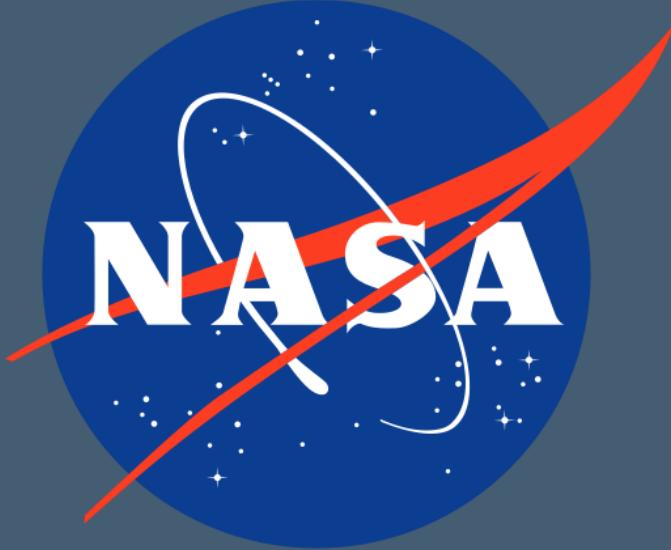
Fracaso



Falta de una metodología



Disminuye probabilidades de éxito

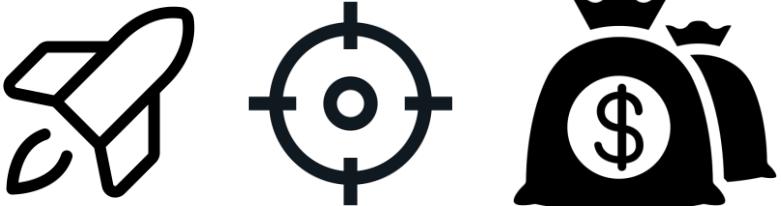


Administración del ciclo de vida de una misión CubeSat

Misión CubeSat *Tiempo de desarrollo*

9
meses

Ej. de factores que determinan el tiempo de desarrollo



18-24
meses

¡CubeSat
listo!

Tiempo de espera para ser lanzado



Meses o
años

Misión CubeSat *Fases de desarrollo*



Revisiones de las decisiones de administración

- **PDC** – Punto de Decisión Clave

Revisiones técnicas

- **RDS/RDM** – Revisión de la Definición del Sistema / Revisión de la Definición de la Misión
- **RDP** – Revisión de Diseño Preliminar
- **RDC** – Revisión de Diseño Crítica
- **RIS** – Revisión de la Integración del Sistema

Misión CubeSat *Fases de desarrollo*

Conceptualización de la misión

- Establecer objetivos y metas



- Identificar requisitos técnicos



Punto de Decisión Clave A
Revisión de expertos calificados

- Analizar la viabilidad del proyecto



Misión CubeSat *Fases de desarrollo*

Concepción de diseño detallado de la misión



- Diseñar de los subsistemas
- Diseñar la tecnología no disponible
- Analizar cumplimiento de requisitos técnicos



Punto de Decisión Clave B

Revisión de expertos calificados

- Revisión de la definición del sistema y de la misión

Misión CubeSat *Fases de desarrollo*

Completamiento y revisión de los diseños previo a implementación



- Verificar cumplimiento de requerimientos



Punto de Decisión Clave C

Revisión de expertos calificados

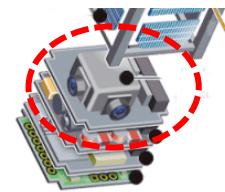
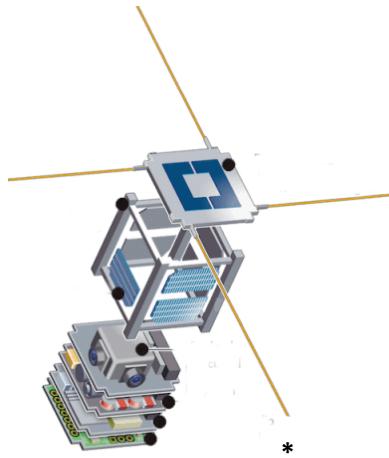
- Diseño preliminar
- Diseño verificado
- Aprobación del proyecto

Misión CubeSat *Fases de desarrollo*

Diseño y fabricación de subsistemas



- Diseño final de subsistemas
- Fabricar todos los subsistemas
- Especial enfoque en la carga útil



Punto de Decisión Clave D

Revisión de expertos calificados

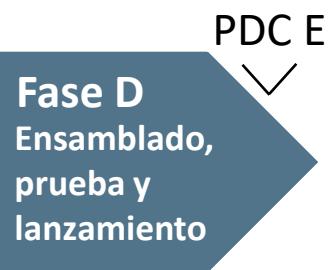
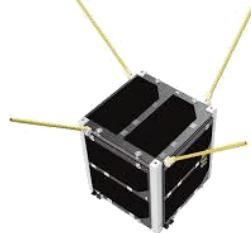
- Revisión de diseño crítico
- Revisión de integración del sistema

*Guía básica de nanosatélites, <https://alen.space/es/guia-basica-nanosatelites/>

Misión CubeSat *Fases de desarrollo*

Ensamble, integración, verificación, validación y lanzamiento del sistema.

- Integrar de todos los subsistemas
- Realizar pruebas para asegurar operación correcta
 - Pruebas de funcionamiento
 - Pruebas ambientales
- Revisar la preparación de vuelo
- Lanzamiento y operación inicial



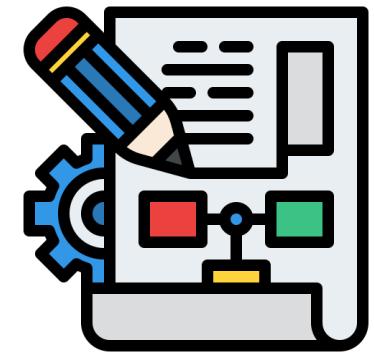
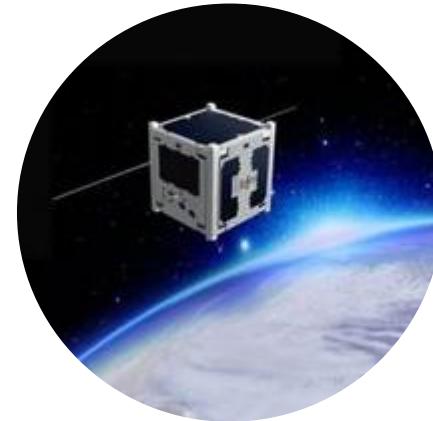
Punto de Decisión Clave E
Revisión continua

Misión CubeSat *Fases de desarrollo*

Fase E
Operaciones y mantenimiento

- Operar y resolver cualquier anomalía que se pudiera presentar
 - Plan de operación
 - Plan de contingencia

Operación y mantenimiento



Misión CubeSat *Fases de desarrollo*

Cierre de operaciones

Fase F
Cierre

- Desinstalar y eliminar de manera segura el picosatélite
- Evaluar el desempeño del proyecto
- Identificar puntos importantes y lecciones aprendidas



Revisión para asegurar la
baja del picosatélite

Misión CubeSat Documentación

Documentos antes, durante y después de la misión

- Requerimientos de usuario
- Requerimientos de misión
- Contratos con proveedores
- Licencias
- Regulaciones
- Manuales
- Diseños
- Especificaciones
- Reportes
- ...

Especificación de diseño CubeSat

Promover la implementación de buenas prácticas de diseño, prueba y verificación para aumentar las posibilidades de éxito y seguridad de las misiones.



Los requerimientos del proveedor de lanzamiento superponen a la especificación de diseño CubeSat

Misión CubeSat CSLI NASA

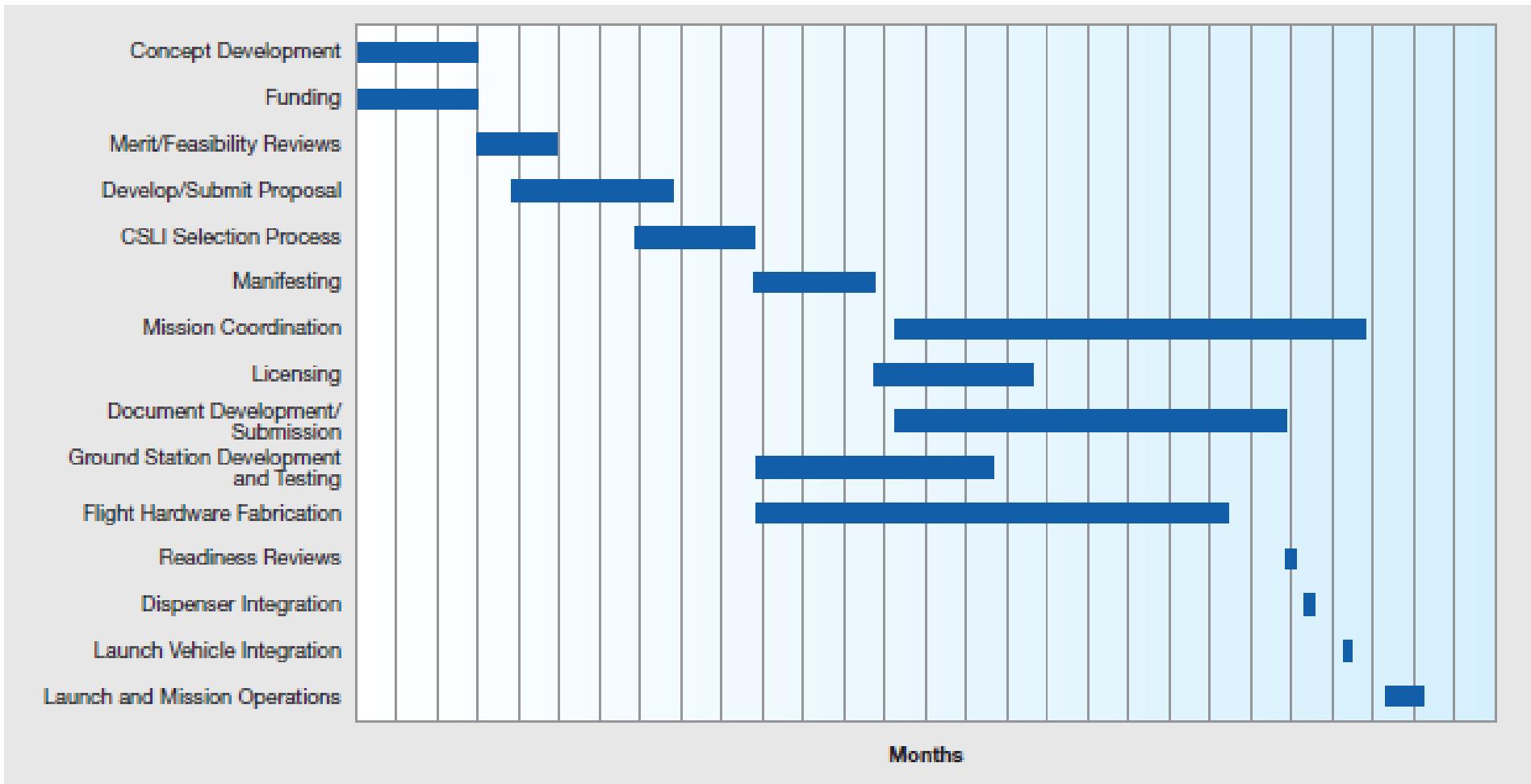
Educational Launch of Nanosatellites

CubeSat Launch Initiative

- Oportunidades de vuelo a CubeSats calificados
- CubeSats como carga útil auxiliar en lanzamientos con espacio extra
- CubeSats desplegados de la estación espacial internacional
- NASA cubre costos de lanzamiento a cambio de un reporte de los resultados recopilados

*CubeSat Launch Initiative, https://www.nasa.gov/directorates/heo/home/CubeSats_initiative

Misión CubeSat CSLI NASA



*CubeSat 101 Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers, NASA CubeSat Launch Initiative, October 2017

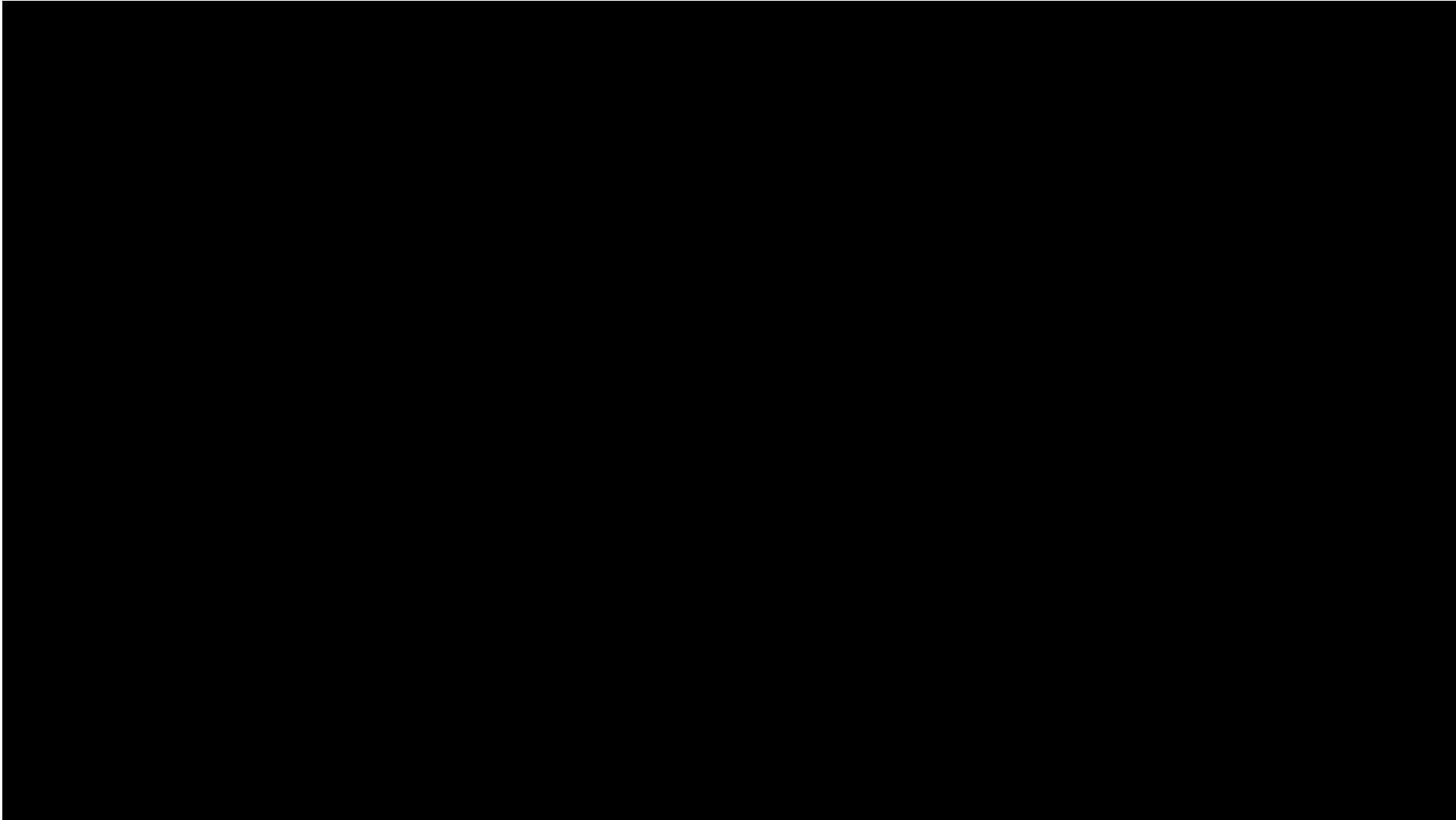
Misión CubeSat AEM

Maestro Carlos Duarte Muñoz, Coordinador general de formación de capital humano en el sector espacial

Recomendaciones para tu misión CubeSat universitaria

- **Define tu misión**
- **Conforma tu equipo**
- **Desarrolla un plan**
- **No reinventes la rueda**
- **No dejes el lanzamiento para el final**
- **Prueba todo el tiempo**
- **Administra los riesgos de la misión**
- **Adhiérete a normas**
- **Pon especial atención al desarrollo de software**
- **Usa plataformas de TI**
- **No olvides la regulación**

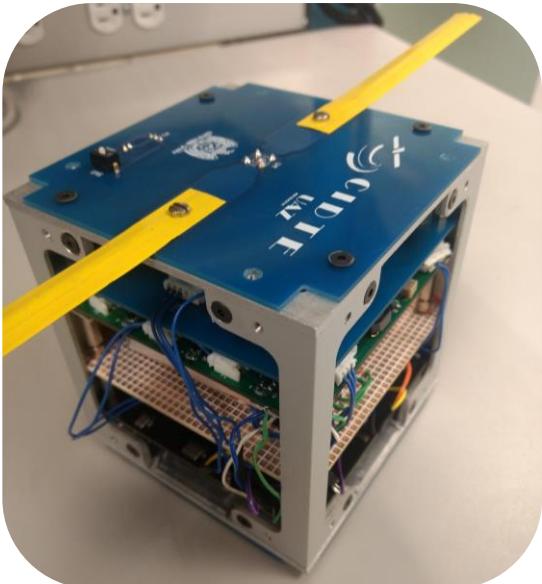
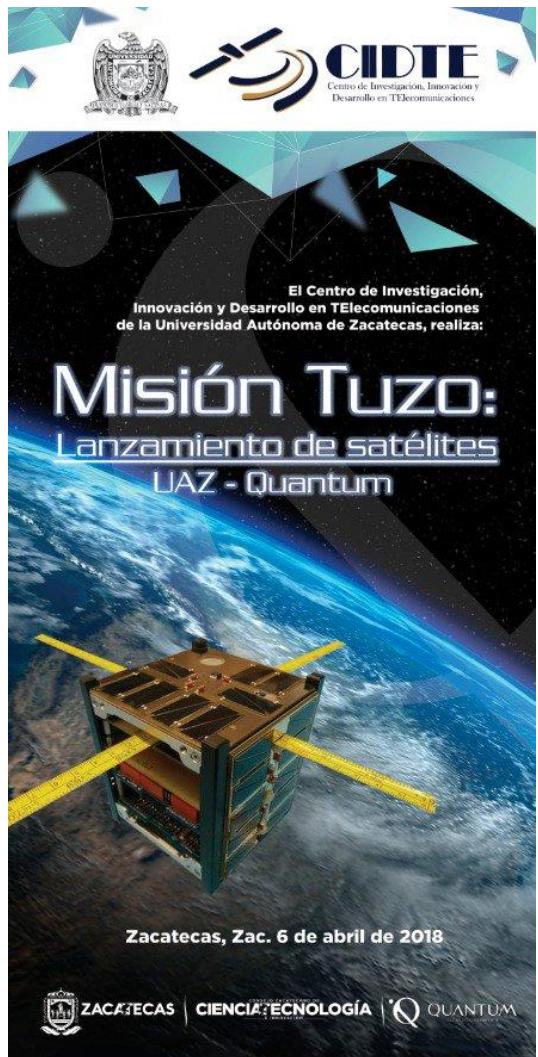
Misión CubeSat *Despliegue desde Estación Internacional*



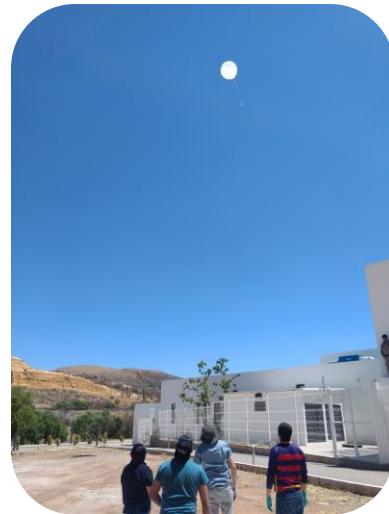
Dos CubeSat de la
ESA

AAUSAT5
GOMX-3

Misión CubeSat UAZ-UNAM



Misión CubeSat UAZ-UNAM



Febrero 2023

Misión CubeSat UAZ-UNAM



Misión CubeSat UAZ-UNAM



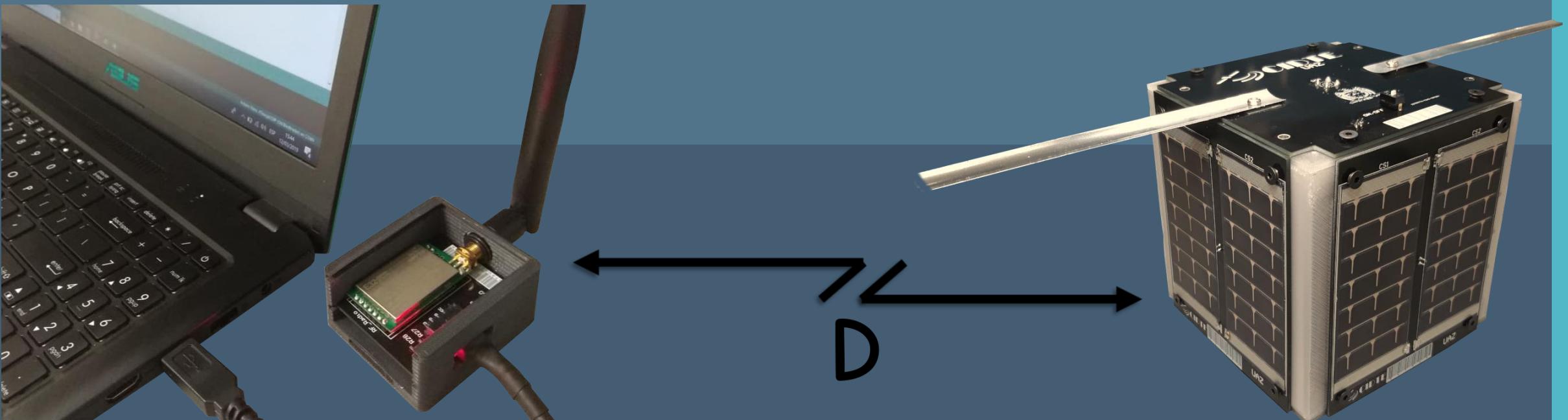
Misión CubeSat UAZ-UNAM



Febrero 2023

Modo Misión

CUBOZAT v1.0



Referencias

- SEMTECH. Product Details SX1278 (2023). Disponible en: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-connect/sx1278>
- EBYTE. E32-433T30D User Manual SX1278 433 MHz 1W DIP Wireless Module (2022). Disponible en: <https://www.cdebyte.com/products/E32-433T30D#Specification>
- NASA CubeSat Launch Initiative. CubeSat 101 Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers (2017). Disponible en: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_cslis_cubesat_101_508.pdf
- AEM. Administra el ciclo de vida de tu misión CubeSat con la metodología de la NASA (2022). Disponible en: <https://haciaelospacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=1277>
- AEM. Curso Introducción a los sistemas espaciales. Disponible en: https://www.educacionespacial.aem.gob.mx/images/normoteca/pdf/CURSO_ISE/Modulo_3.pdf
- AEM. Mejore prácticas para el desarrollo de misiones CubeSats Universitarias (2022). Disponible en: <https://haciaelospacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=1276>
- Cappelletti C., Battistini S., Malphrus B. Cubesat Handbook From Mission Design to Operations Academic Press (2020).

¡GRACIAS!

Esperamos hayas disfrutado de este curso

