

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**PROGRAMA DE ELECTRONICA**  
**LABORATORIO 3 – CONVERSIÓN ENVOLVENTE COMPLEJA**

### 1. IDENTIFICACIÓN

<b>FACULTAD E3T</b>	<b>PROGRAMA:</b> INGENIERIA ELECTRONICA
<b>ASIGNATURA</b>	COMUNICACIONES II
<b>UNIDAD TEMÁTICA</b>	GNU RADIO
<b>TEMA</b>	CONVERSIÓN ENVOLVENTE COMPLEJA
<b>DOCENTE</b>	JOHAN LEANDRO TÉLLEZ GARZÓN
<b>ALUMNOS</b>	<b>Otto Andrade Camelo - 2190403</b> <b>Daniela Cabrales Navarro - 2194554</b> <b>Brayan Fonseca Gonzalez - 2182355</b>
<b>FECHA</b>	<b>23/09/2023</b>

### 2. DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS

Mediante esta guía de enseñanza se estudia la forma de realizar un mapeamiento de las señales de información a fin de obtener la señal envolvente compleja  $g(t)$ . Esta señal es la encargada de controlar los parámetros de la portadora, así su definición en términos discretos en el DSP es fundamental.

- Mediante una práctica en GNU Radio afianzar el concepto de la Conversión RF-EC
- Analizar el comportamiento de señales moduladas OOK tanto en banda base con la  $g(t)$  como en banda pasante con la  $s(t)$ .

### 3. REVISIÓN PRELIMINAR

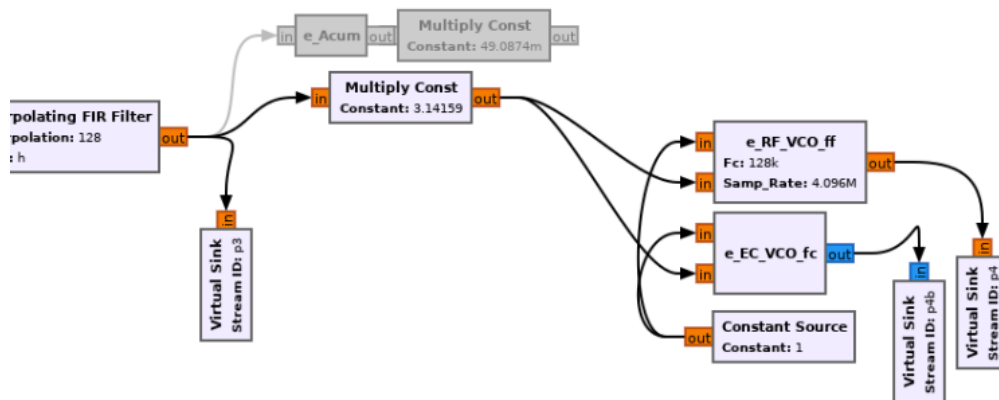
Conozca el [Manual de Manuales](#) para que aprenda a encontrar las ayudas disponibles en temas de SDR en la UIS. Familiarícese con las variables usadas en los flujogramas. [El libro de la asignatura](#) contiene además cosas como:

- En el capítulo 6, del [libro Vol I](#), se tiene una descripción de las variables y siglas que se usan en los flujogramas para cualquier práctica de la asignatura.
- Enlaces a flujogramas usados en el libro. Debajo de cada gráfica con flujogramas hay una nota que dice: "Flujograma usado". Esos flujogramas usados en el libro están en la página del libro: <https://sites.google.com/saber.uis.edu.co/comdig/sw> o directamente en github: [https://github.com/hortegab/comdig\\_su\\_software\\_libro3.8.git](https://github.com/hortegab/comdig_su_software_libro3.8.git)

### 4. ACTIVIDADES Y PROCEDIMIENTOS

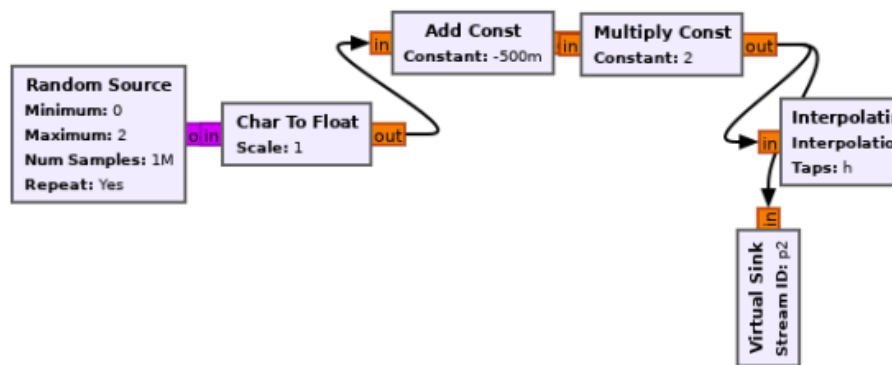
1. Comprobar el flujograma como modulador OOK tanto en versión RF (paso bandas) como en versión EC (Envolvente Compleja o Señal banda base. En Inglés CE-Complex Envelope or base band signal)
  - a) Abra el flujograma RF\_CE\_ook.grc y corralo

- b) En la pestaña “Modulated-Time” observe la señal modulada en versión RF comparada con la señal modulada en versión EC (señal I y Señal Q)
  - c) En la pestaña “Modulated-Freq” observe el espectro de la señal modulada en versión RF comparada con el espectro de la señal modulada en versión EC.
  - d) Repita el punto b variando la frecuencia de la portadora (Carrier Freq)
  - e) Repita el punto c variando la frecuencia de la portadora (Carrier Freq)
  - f) En el informe consigne evidencias del trabajo hecho y una conclusión en la que explica la diferencia que existe entre un modulador OOK en versión RF y uno en versión EC
2. Comprender el bloque e\_RF\_VCO\_ff y el e\_EC\_VCO\_fc
    - a) Abra el bloque \_RF\_VCO\_ff y luego oprima “Open in Editor”, estudie el código en Python para este bloque. Tan pronto lo entienda, completamente en inglés el help del bloque, ósea la parte que dice `"""This block is a RF VCO and works as following: ....."""` para que allí quede bien explicado lo que este bloque hace, los parámetros que usa y recomendaciones para su uso. No olvide explicar para qué sirve la primera entrada del bloque (la de arriba) y la segunda. Pero también qué es la salida.
    - b) Repita el punto a para el bloque “e\_EC\_VCO\_fc”
    - c) En el informe escriba una copia del help escrito para e\_RF\_VCO\_ff y e\_EC\_VCO\_fc
  3. Adaptar el flujograma para que sirva para modular BSPK tanto en versión RF como en versión EC
    - a) guarde el flujograma con un nuevo nombre como RF\_EC\_bpsk.grc
    - b) Intente por sus propios medios reconfigurar el flujograma activando uno o varios de los bloques desactivados y haciendo interconexiones para que el flujograma se comporte como un modulador BPSK en versión RF y en versión EC. Solo en caso de fracasar en el intento siga los siguientes pasos para lograrlo:
      - i. A la derecha del bloque “Interpolating FIR Filter” la interconexión es la siguiente

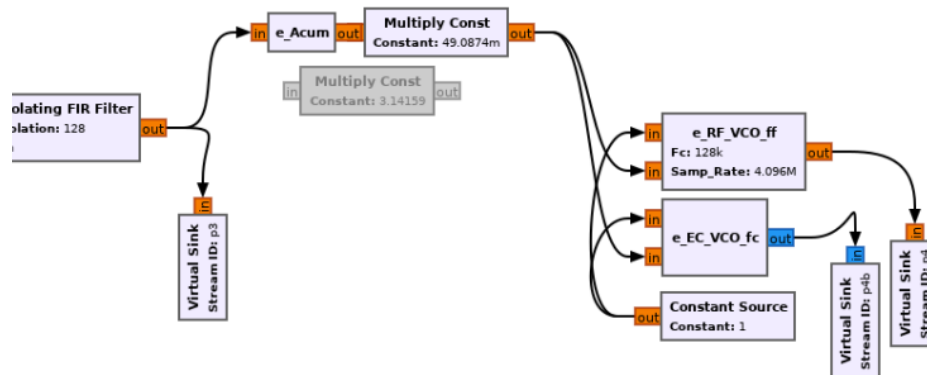


- ii. Observe que “Constant Source” es ahora la amplitud (magnitud para el caso de la EC) de la señal modulada y vale 1. En cambio en el punto 1 y 2 era la fase
  - c) Realice pruebas similares a las del punto 1 pero aplicadas ahora a la nueva modulación que es BPSK
  - d) En el informe consigne evidencias del trabajo hecho y una conclusión en la que explica la diferencia que existe entre un modulador BPSK en versión RF y uno en versión EC
4. Adaptar el flujograma para que sirva para modular en FSK tanto en versión RF como en versión EC. Observaciones en el dominio del tiempo
    - a) guarde el flujograma con un nuevo nombre como RF\_EC\_fsk.grc
    - b) Intente por sus propios medios reconfigurar el flujograma activando uno o varios de los bloques desactivados y haciendo interconexiones para que el flujograma se comporte como un modulador FSK en versión RF y en versión EC. Solo en caso de fracasar en el intento siga los siguientes pasos para lograrlo:

- i. A la izquierda del bloque “Interpolating FIR Filter” la interconexión es la siguiente



- ii. A la derecha del bloque “Interpolating FIR Filter” la interconexión es la siguiente



Nota: Observe que el bloque “Constant Source” cambia su parámetro a 1

- c) Realice las siguientes pruebas mientras observas el comportamiento de la señal modulada en versión RF y en versión EC en el dominio del tiempo (pestaña Modulated-Time):

- i. La frecuencia de la portadora se varía, pero la desviación de frecuencias se mantiene cons
  - ii. La frecuencia de la portadora se mantiene constante, pero se varía la desviación de frecuencias
- d) En el informe agregue evidencias del proceso, pero sobre todo explique cómo debe ser acondicionada la señal para que los VCO produzcan la señal con modulación FSK, tanto en versión RF como EC
5. Observaciones de FSK en el dominio de las frecuencias
  - a) Repita el punto 4 pero haciendo las observaciones en el dominio de las frecuencias (pestaña Modulated-Freq)
  - b) En el informe proponga un valor para la frecuencia de la portadora y uno para la desviación de frecuencias en el cual el espectro se puede distinguir con el menor solapamiento posible
6. Observaciones de FSK en la Constelación
  - a) Repita el punto 4 pero haciendo las observaciones en la constelación (pestaña Constellation)
  - b) En el informe explique como es la constelación de una señal con modulación FSK
7. Responda las preguntas de control:
  - a) Poder generar la versión paso-bandas (señal RF) de una modulación nos ha obligado a usar un valor muy alto para Sps. ¿Cómo podríamos saber que el valor elegido es apropiado o suficientemente alto?
  - b) ¿Qué pasaría si el bloque "Multiply Const" que se activa para la modulación BPSK se configura con el valor 1, que es lo mismo que quitarlo?
  - c) ¿Por qué el bloque "Constant Source" se configura como cero para la modulación OOK pero no para la BPSK y la FSK?

## 5. RECURSOS E INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Los recursos e informaciones relacionadas al desarrollo de este laboratorio son los siguientes:

- Computador con mínimo 4 GB de RAM, 2GB de espacio en disco y procesador Core i3 o superior.
- Documentación oficial del GNU RADIO.
- Libro E3T

## 6. EVIDENCIA, RESULTADOS Y CONCLUSIONES DEL LABORATORIO

Colocar aquí la evidencia de cada paso, y comentarios explicativos.

### PUNTO 1) Modulador OOK

Este es el flujograma para el modulador OOK:

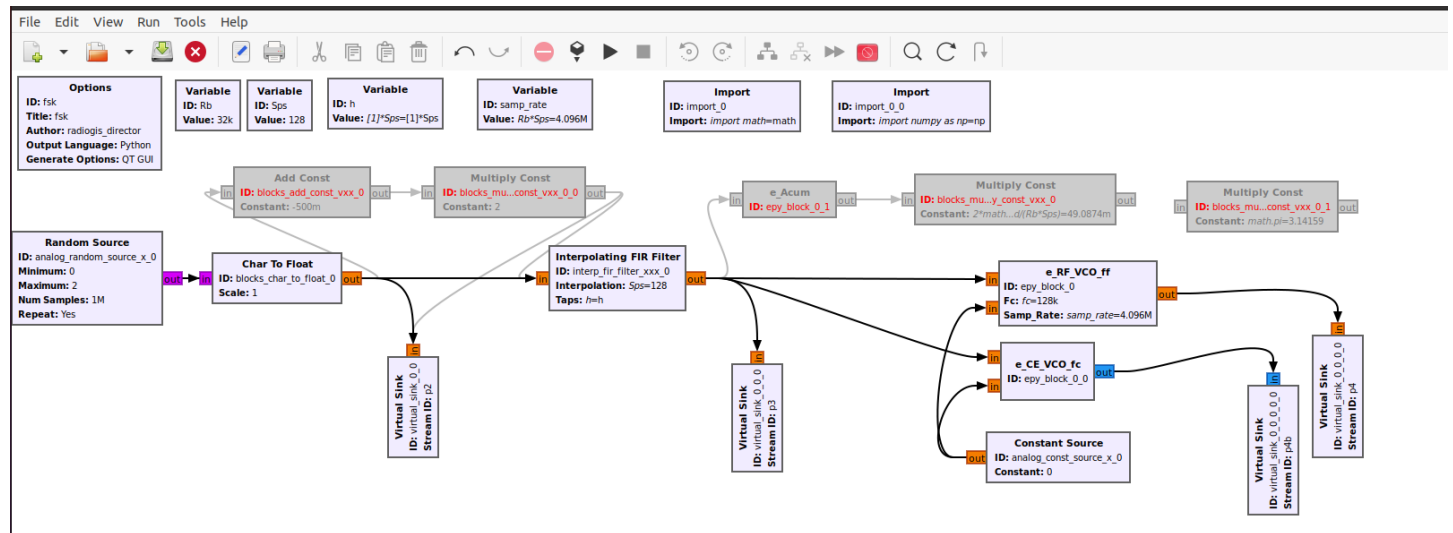


Figura 1: Flujograma modulación OOK, primera parte

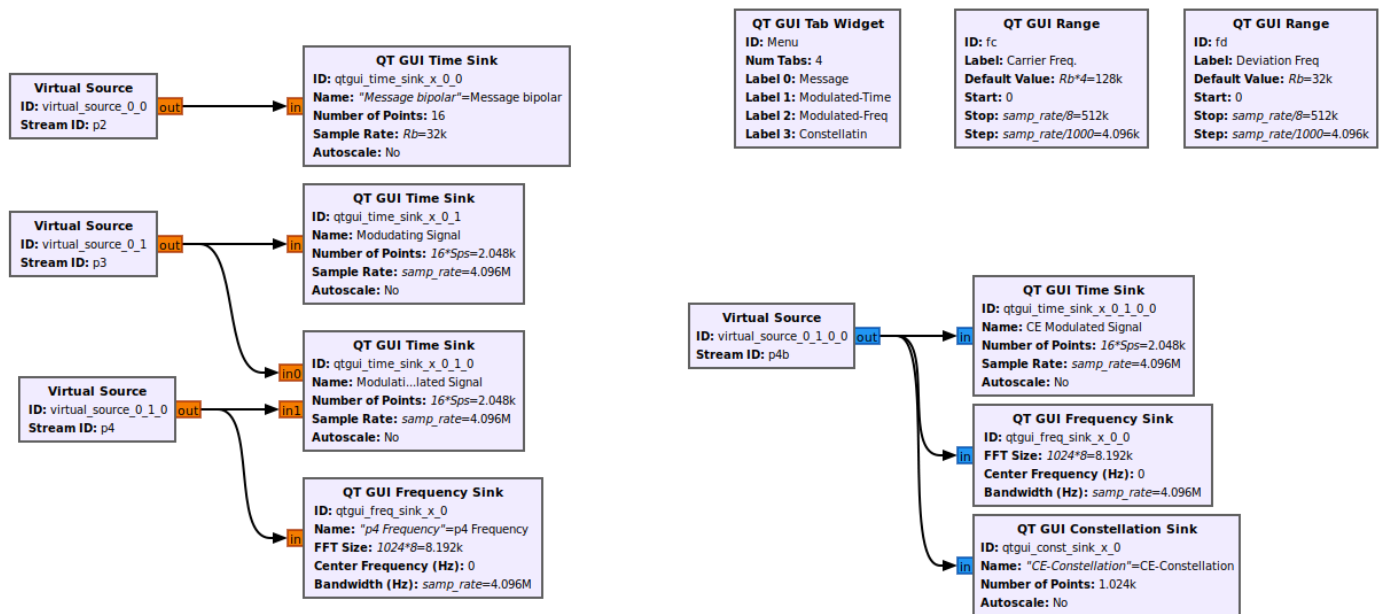


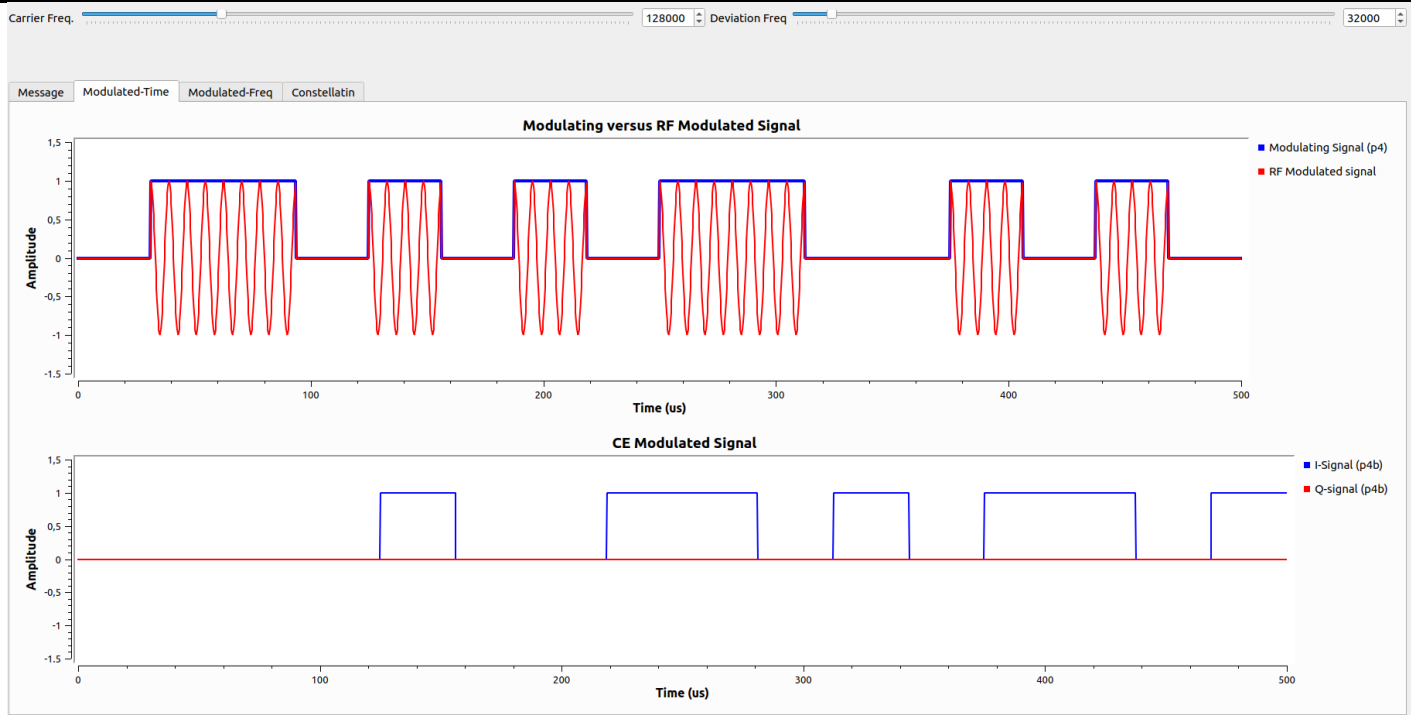
Figura 2: Flujograma modulación OOK, segunda parte.

Para  $F_c$  igual a 128 kHz

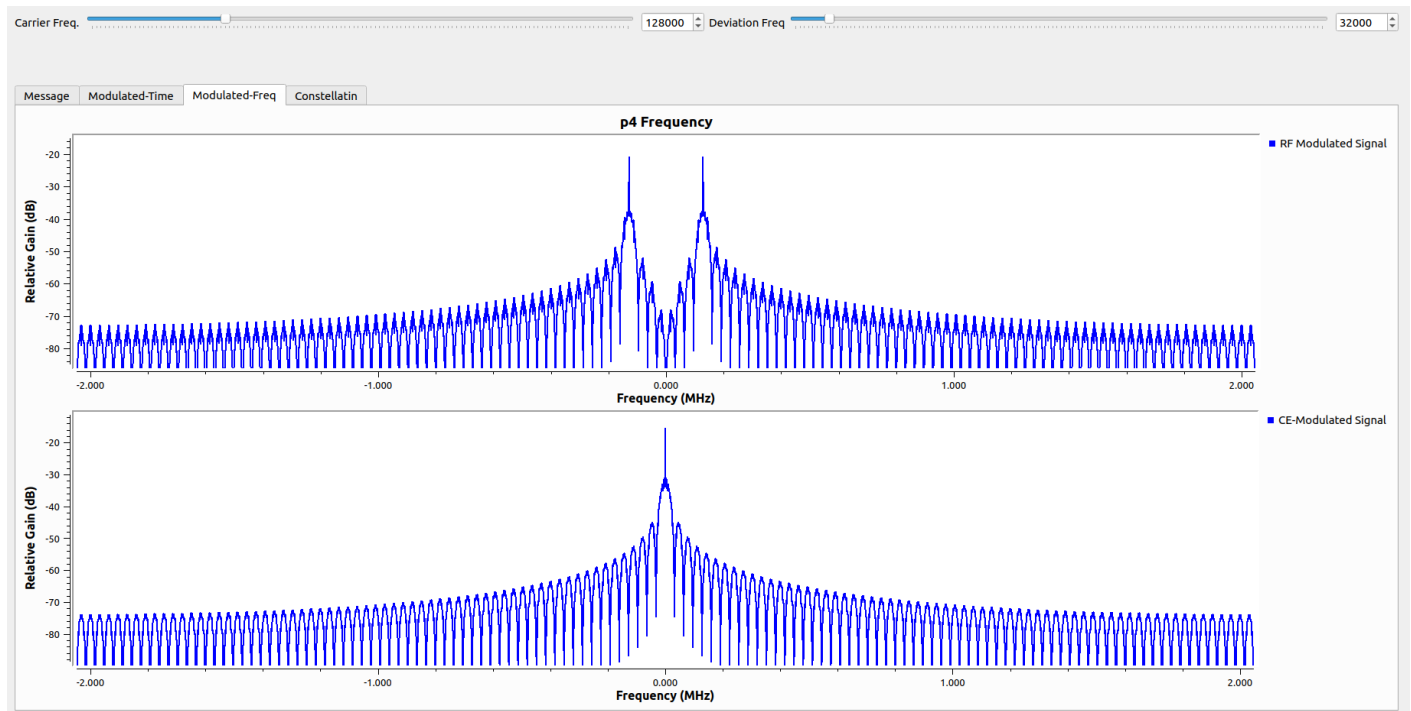
Elaborado por: Johan Leandro Téllez Garzón

Fecha actualización: 03/11/2022

Asignatura: Comunicaciones II



*Figura 3: Modulación en tiempo en: Modulación versus señal de Modulación RF y señal CE, con  $F_c$  igual a 128 kHz*



*Figura 4: Modulación en frecuencia en: señal modulada RF y señal modulada CE*

Para  $F_c$  igual 64 kHz

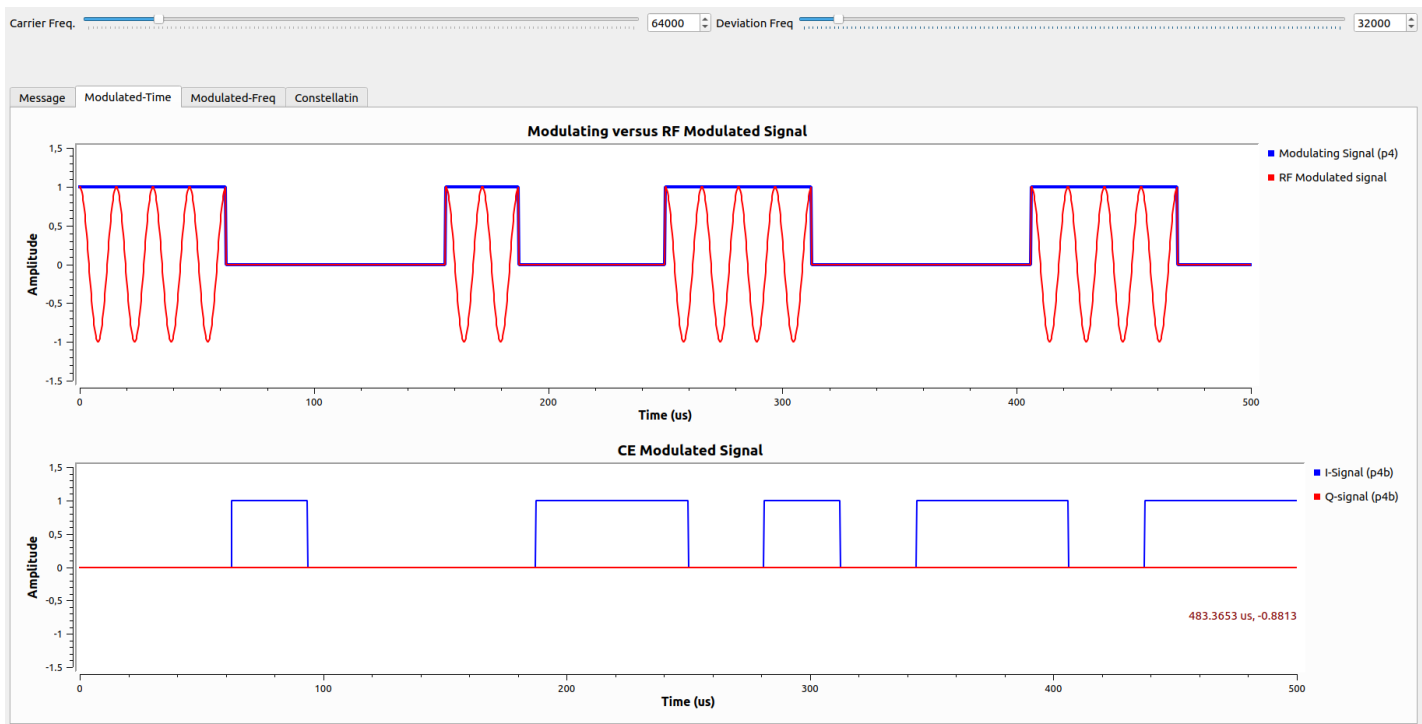


Figura 5: Modulación en tiempo en: Modulación versus señal de Modulación RF y señal CE, con  $F_c$  igual a 64 kHz

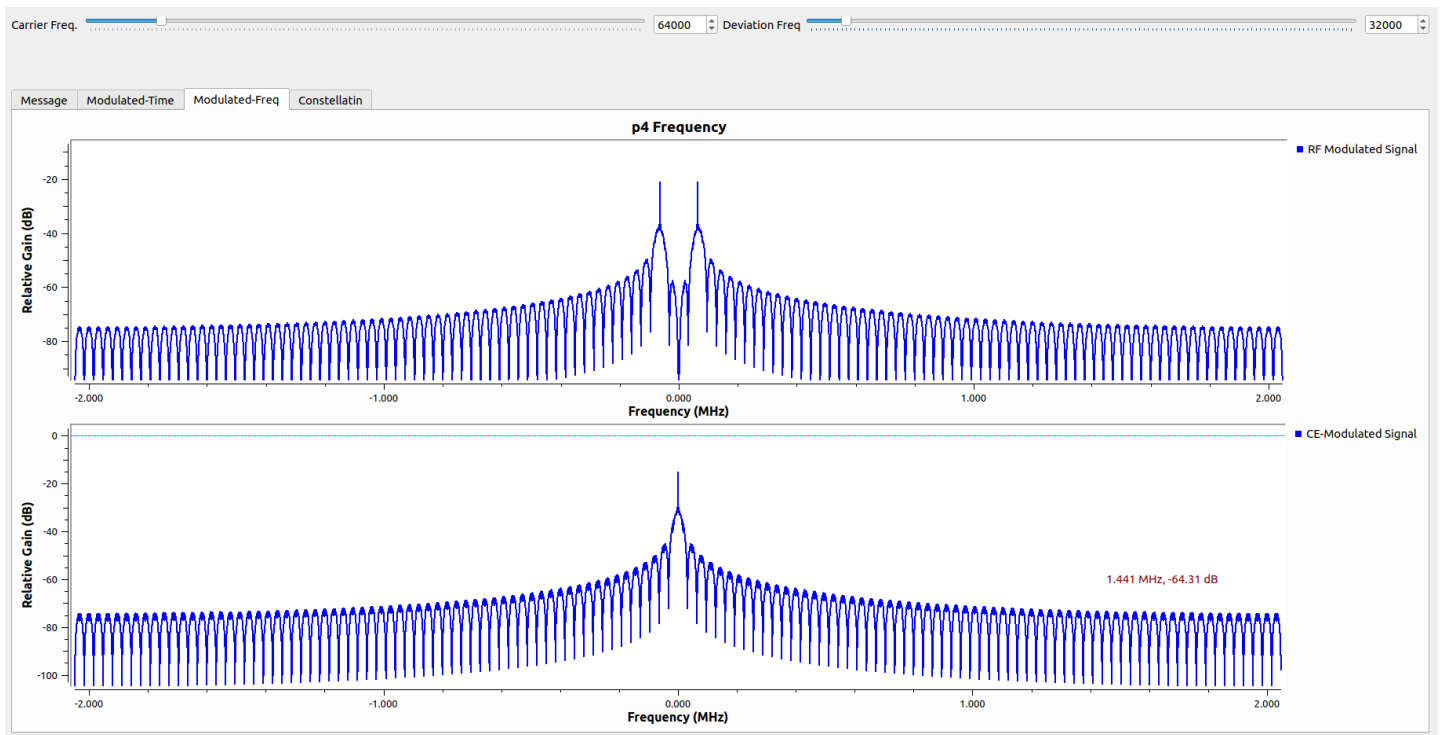


Figura 6: Modulación en frecuencia en: señal modulada RF y señal modulada CE

Para  $F_c$  igual a 256 kHz

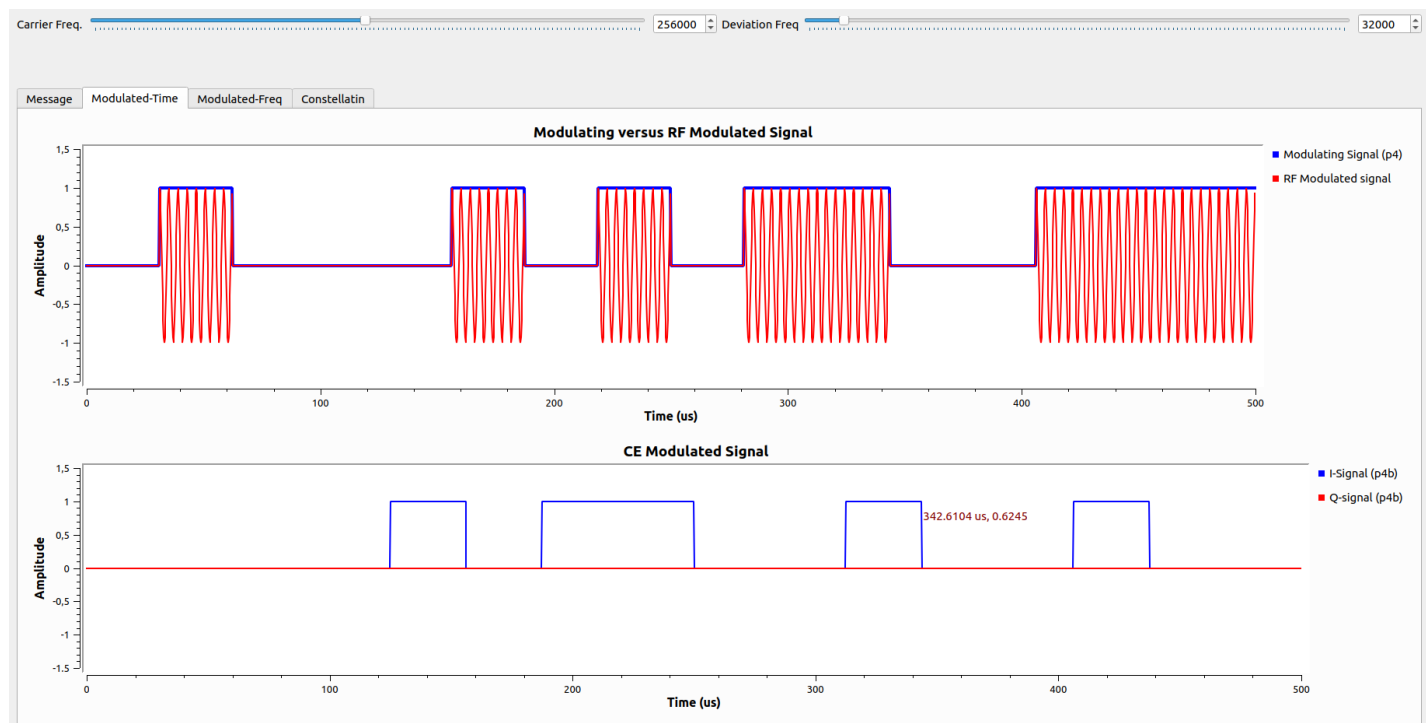


Figura 7: Modulación en tiempo en: Modulación versus señal de Modulación RF y señal CE, con  $F_c$  igual a 256 kHz

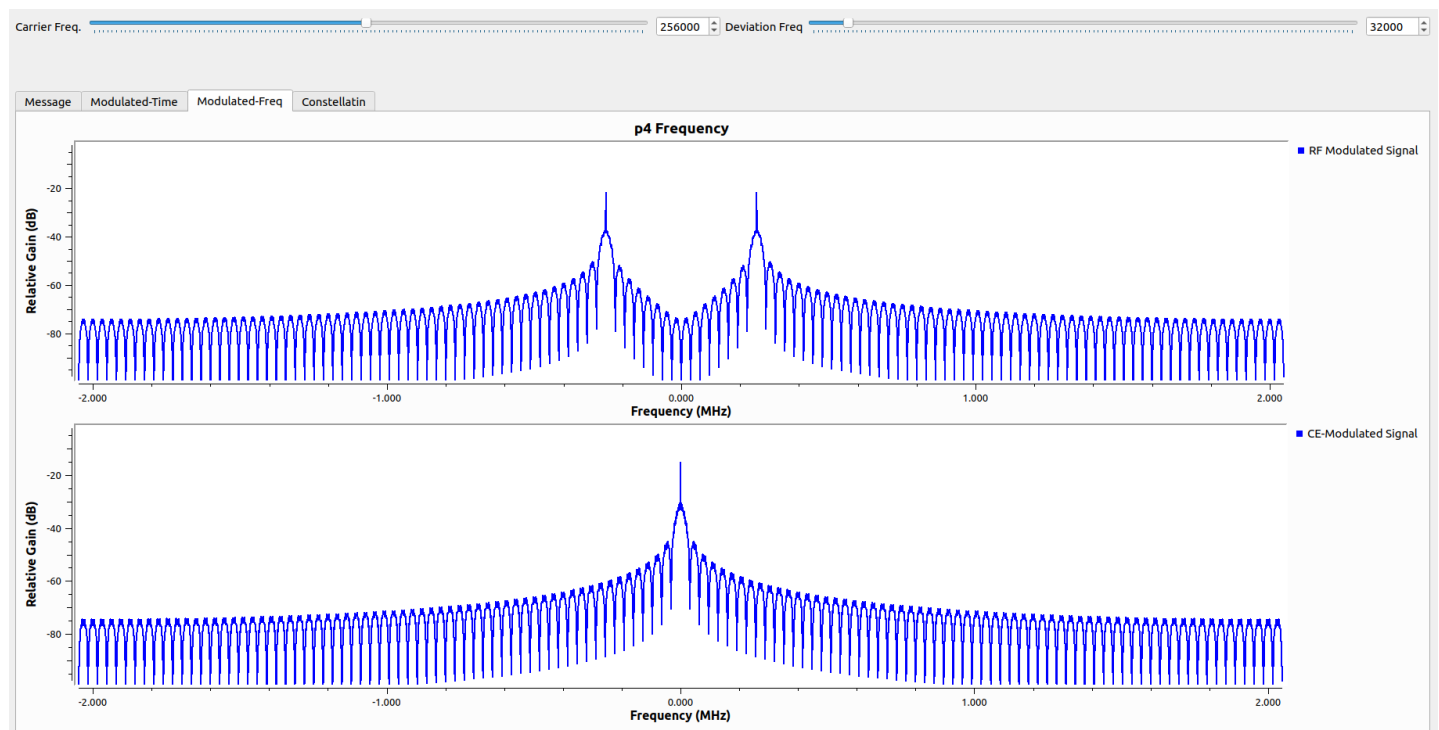


Figura 8: Modulación en frecuencia en: señal modulada RF y señal modulada CE



Análisis:

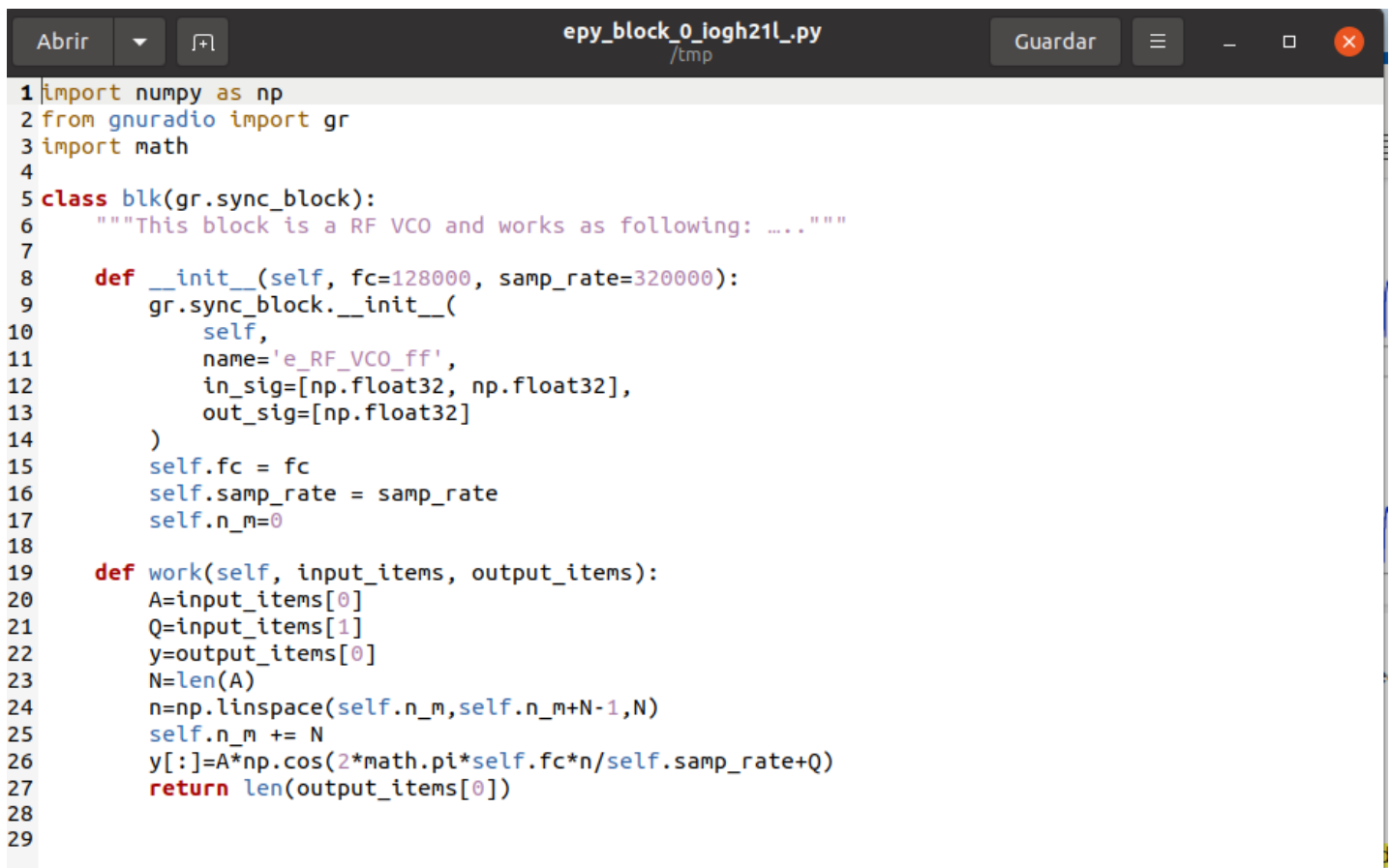
En función del tiempo, la señal RF cambia según la frecuencia en la que modula, esto implica que la señal mensaje ocupa el mismo espacio, pero la portadora alcanza más (256khz) o menos (64khz) periodos dentro del mensaje. En cambio, la Envolvente compleja ( I Q Signal) solo tiene parte real para la modulación OOK.

En función de la frecuencia, la señal RF y señal envolvente compleja tienen el mismo ancho de banda, diferenciándolas en que la señal RF se desplaza en frecuencia en función de la portadora.

La diferencia que existe entre un modulador OOK en versión RF y uno en versión EC, es debido a que la señal EC pertenece a una señal banda base, y la señal RF es la señal pasa banda.

PUNTO 2) Comprender el bloque e\_RF\_VCO\_ff y el e\_EC\_VCO\_fc

Bloque **e\_RF\_VCO\_ff**



```
1 import numpy as np
2 from gnuradio import gr
3 import math
4
5 class blk(gr.sync_block):
6     """This block is a RF VCO and works as following: ..."""
7
8     def __init__(self, fc=128000, samp_rate=320000):
9         gr.sync_block.__init__(
10             self,
11             name='e_RF_VCO_ff',
12             in_sig=[np.float32, np.float32],
13             out_sig=[np.float32]
14         )
15         self.fc = fc
16         self.samp_rate = samp_rate
17         self.n_m=0
18
19     def work(self, input_items, output_items):
20         A=input_items[0]
21         Q=input_items[1]
22         y=output_items[0]
23         N=len(A)
24         n=np.linspace(self.n_m,self.n_m+N-1,N)
25         self.n_m += N
26         y[:]=A*np.cos(2*math.pi*self.fc*n/self.samp_rate+Q)
27         return len(output_items[0])
28
29
```

Figura 9: Bloque **e\_RF\_VCO\_ff** en GNURadio

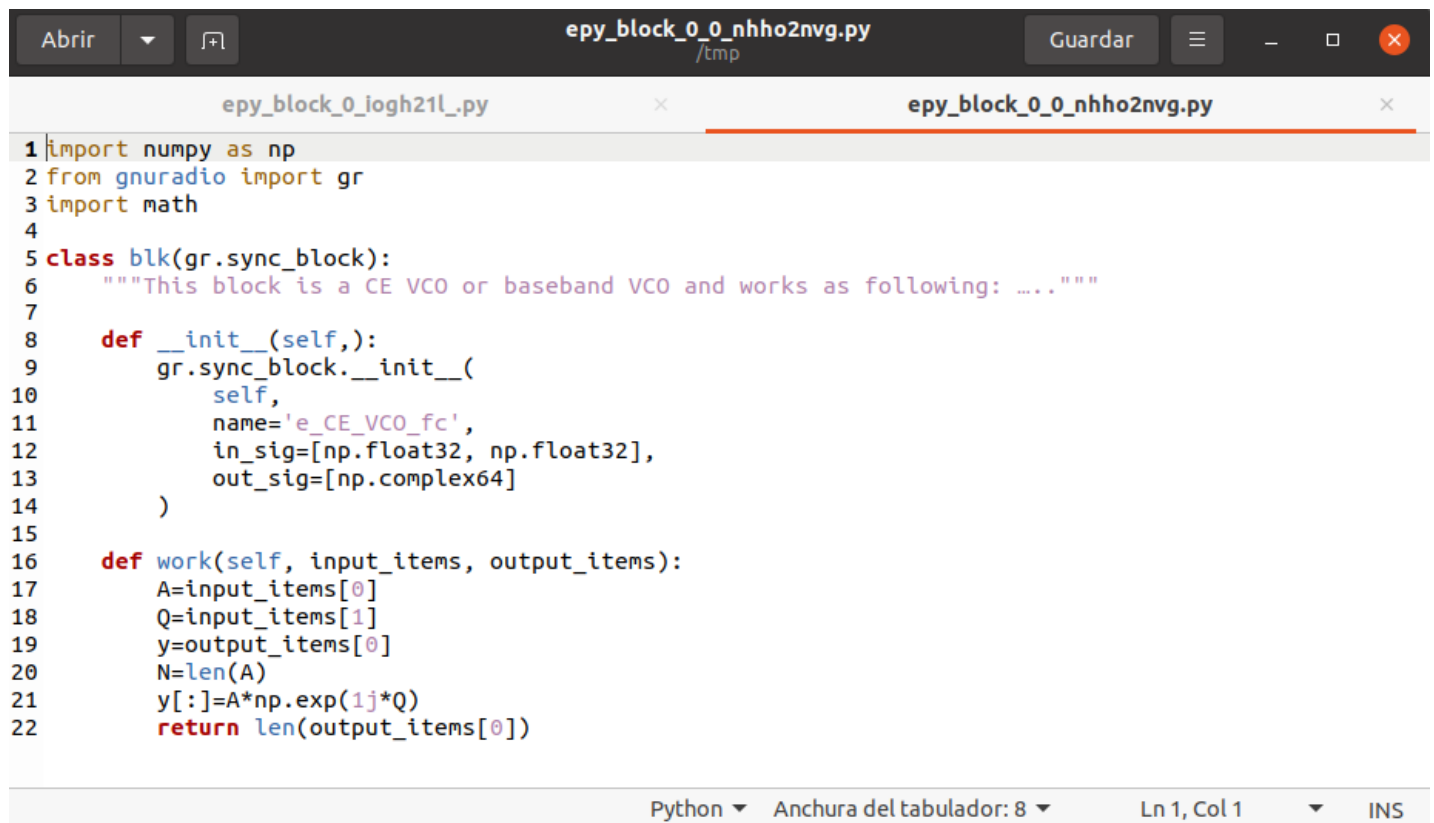
Análisis:

El código para el diagrama **e\_RF\_VCO\_ff** indica las señales que entran al bloque que son: la señal  $R(t)$  y la señal fase  $\theta(t)$ . En formula seria.

$$s(t) = R(t) \cos(2\pi f_c t + \theta(t))$$

La salida del bloque es  $s(t)$ , señal modulada.

Bloque **e\_EC\_VCO\_fc**



```
1 import numpy as np
2 from gnuradio import gr
3 import math
4
5 class blk(gr.sync_block):
6     """This block is a CE VCO or baseband VCO and works as following: ...."""
7
8     def __init__(self,):
9         gr.sync_block.__init__(
10             self,
11             name='e_EC_VCO_fc',
12             in_sig=[np.float32, np.float32],
13             out_sig=[np.complex64]
14         )
15
16     def work(self, input_items, output_items):
17         A=input_items[0]
18         Q=input_items[1]
19         y=output_items[0]
20         N=len(A)
21         y[:]=A*np.exp(1j*Q)
22         return len(output_items[0])
```

Figura 10: Bloque **e\_EC\_VCO\_fc** en GNURadio

Análisis:

El código para el diagrama **e\_EC\_VCO\_fc** indica las señales que entran al bloque que son: la señal  $R(t)$  y la señal fase  $\theta(t)$ . En formula seria

$$\tilde{g}(t) = R(t)e^{j\theta(t)}$$

La salida del bloque es  $g(t)$ , señal envolvente.

Block e\_RF\_VCO\_ff: The code for the e\_RF\_VCO\_ff diagram indicates the signals that enter the block, which are: the  $R(t)$  signal and the phase signal  $\theta(t)$ . In formula it would be.

$$s(t) = R(t) \cos(2\pi f_c t + \theta(t))$$

The output of the block is  $s(t)$ , modulated signal.

e\_EC\_VCO\_fc block: The code for the e\_EC\_VCO\_fc diagram indicates the signals that enter the block, which are: the  $R(t)$  signal and the phase signal  $\theta(t)$ . In formula it would be

$$\tilde{g}(t) = R(t)e^{j\theta(t)}$$

The output of the block is  $g(t)$ , envelope signal.

### PUNTO 3) Flujograma para BSPK

El nuevo flujograma es el siguiente:

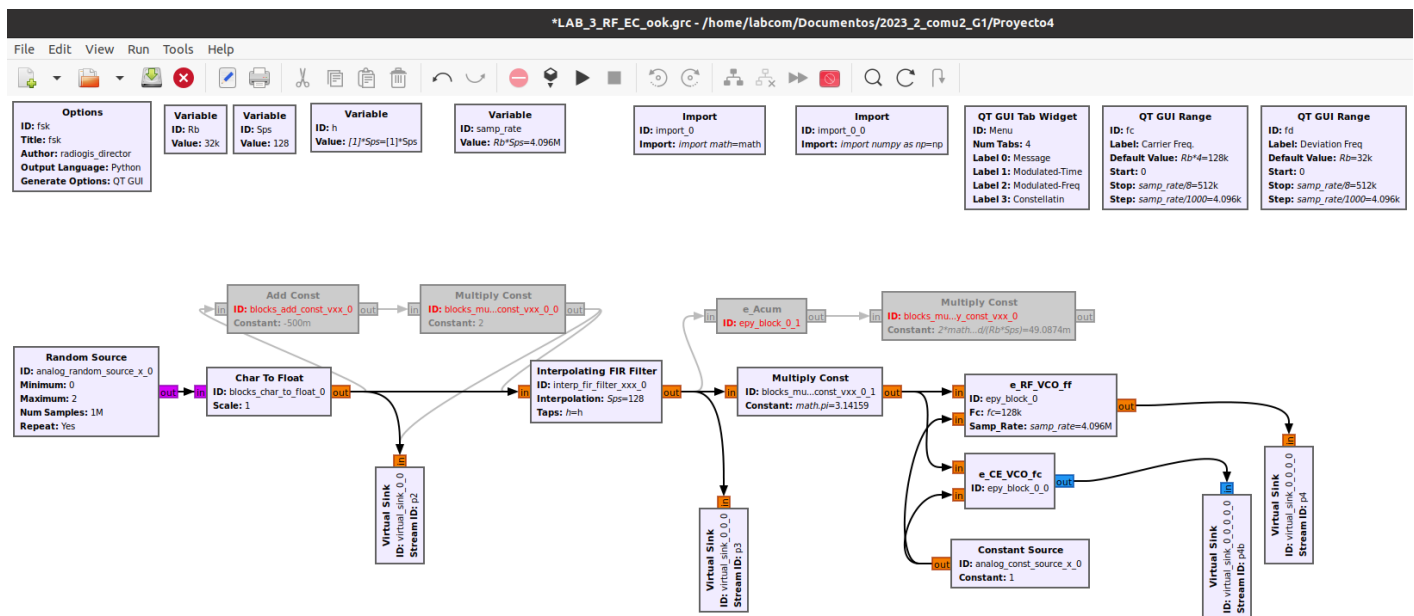


Figura 11: Flujograma modulación BSPK

Para  $F_c$  igual a 128 kHz se tiene:

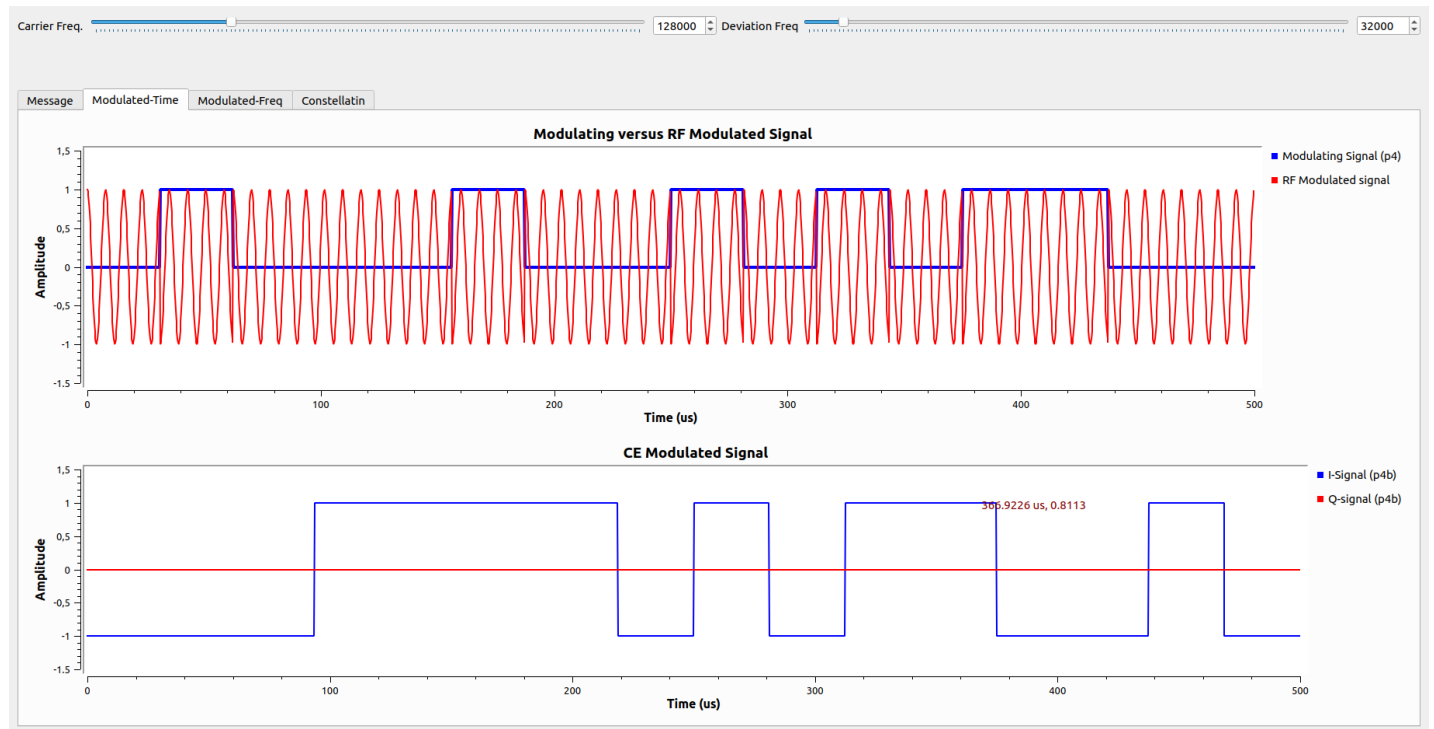


Figura 12: Modulación en tiempo en: Modulación versus señal de Modulación RF y señal CE, con  $F_c$  igual a 128 kHz. Señales I y Q.

Para  $F_c$  igual a 64 kHz se tiene:

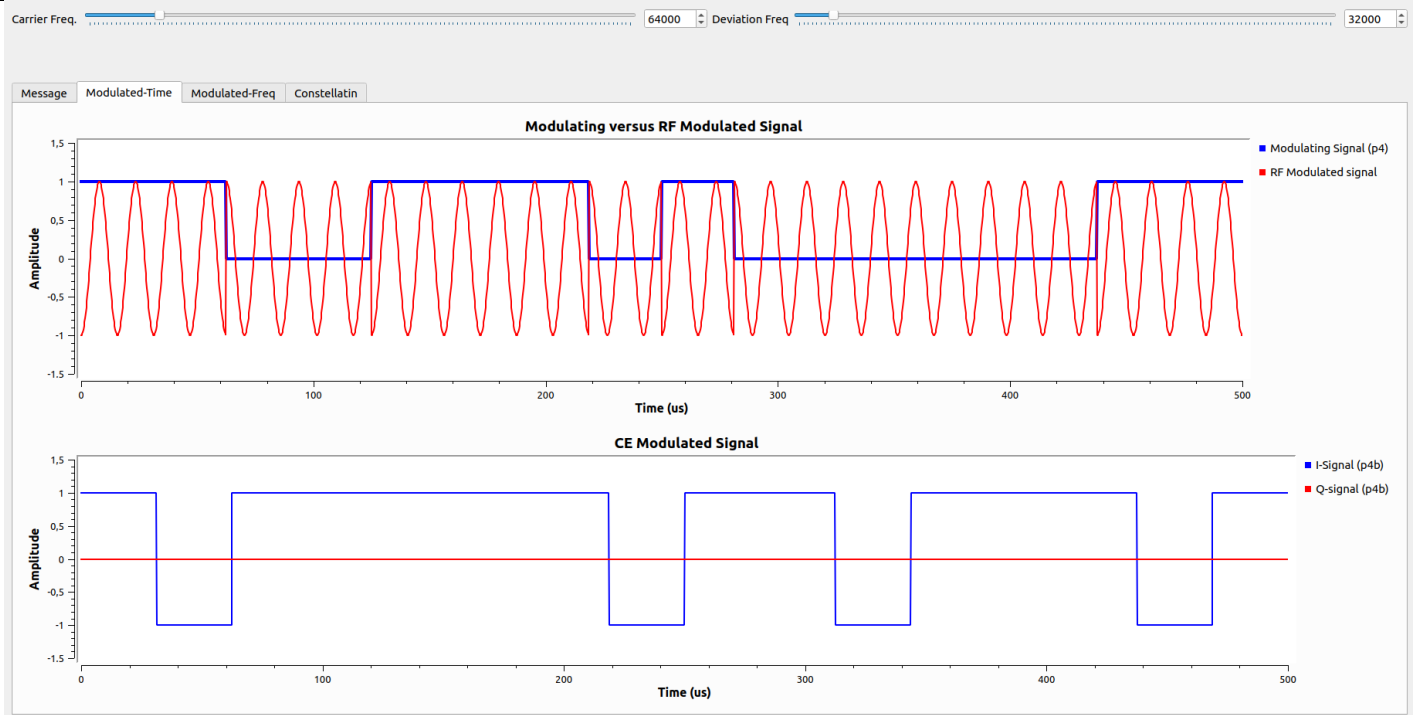


Figura 13: Modulación en tiempo en: Modulación versus señal de Modulación RF y señal CE, con  $F_c$  igual a 64 kHz. Señales I y Q.

Para  $f_c$  igual a 256 kHz se tiene:

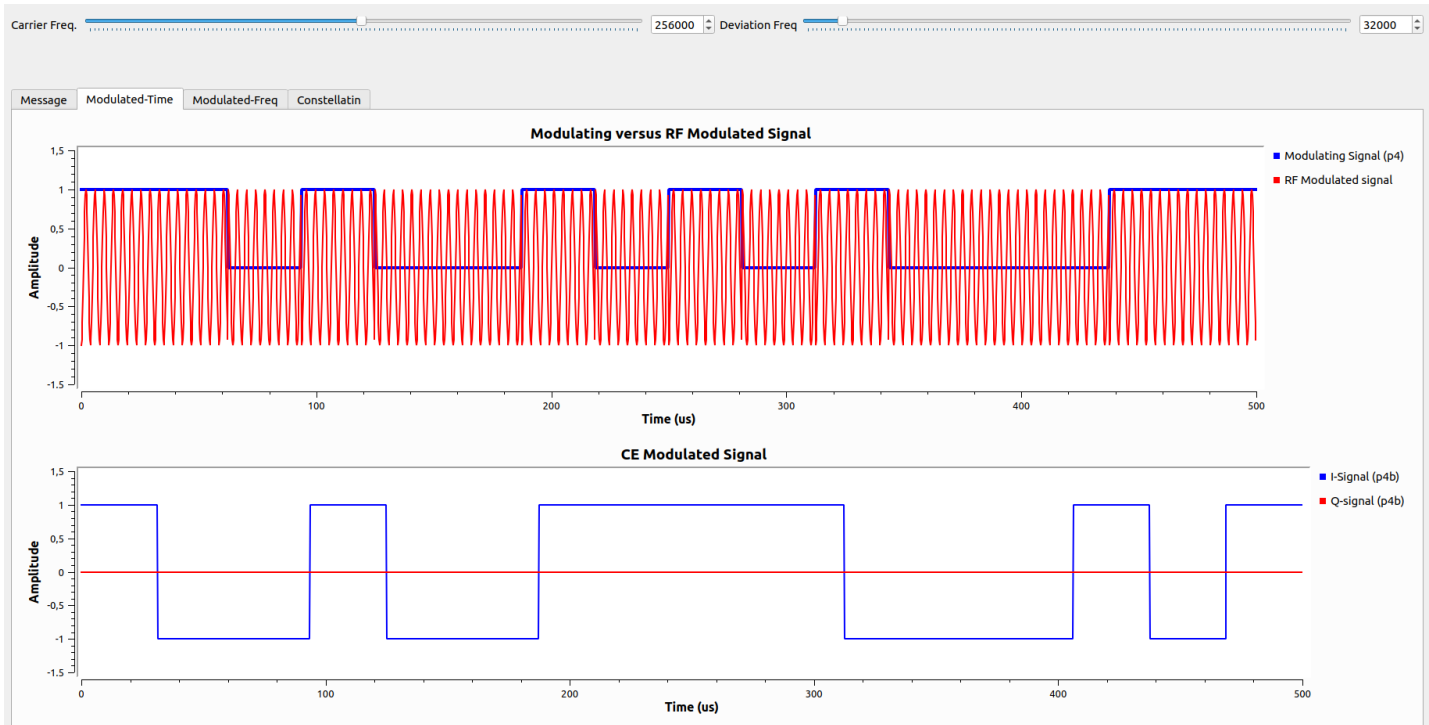


Figura 14: Modulación en tiempo en: Modulación versus señal de Modulación RF y señal CE, con  $F_c$  igual a 256 kHz. Señales I y Q.

Carrier Freq. 256000 Deviation Freq. 32000

Message Modulated-Time Modulated-Freq Constellation

**p4 Frequency**

The figure consists of two vertically stacked plots. The top plot, titled 'p4 Frequency', shows the 'Relative Gain (dB)' on the y-axis (ranging from -80 to -30) against 'Frequency (MHz)' on the x-axis (ranging from -0.35 to 0.35). It displays two signals: a blue line for 'RF Modulated Signal' and a yellow line for 'CE-Modulated Signal'. The RF signal shows a series of sharp, periodic peaks and valleys, while the CE signal is smoother. The bottom plot shows the 'Relative Gain (dB)' on the y-axis (ranging from -50 to -20) against 'Frequency (MHz)' on the x-axis (ranging from -0.10 to 0.10). It also displays the RF (blue) and CE (yellow) signals. The RF signal shows a broad, smooth peak centered at 0 MHz, while the CE signal is more jagged and shows multiple smaller peaks.

Relative Gain (dB)

Frequency (MHz)

RF Modulated Signal

CE-Modulated Signal

En RF y en EC, hay diferencia porque se está cambiando la fase, es así como se ve diferencia entre potencias. En general fue exitosa la modulación, pues en tiempo se aprecia que hay una fase de cero grados cuando el bit es uno, y otra de 180 grados cuando el bit es cero.

El flujograma queda de la siguiente manera:

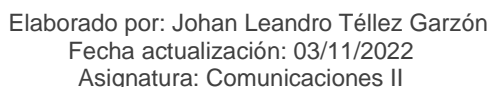


Figura 16: Flujograma modulación FSK

- I. La frecuencia de la portadora se varía, pero la desviación de frecuencias se mantiene constante

Para  $f_c$  igual a 64 kHz:

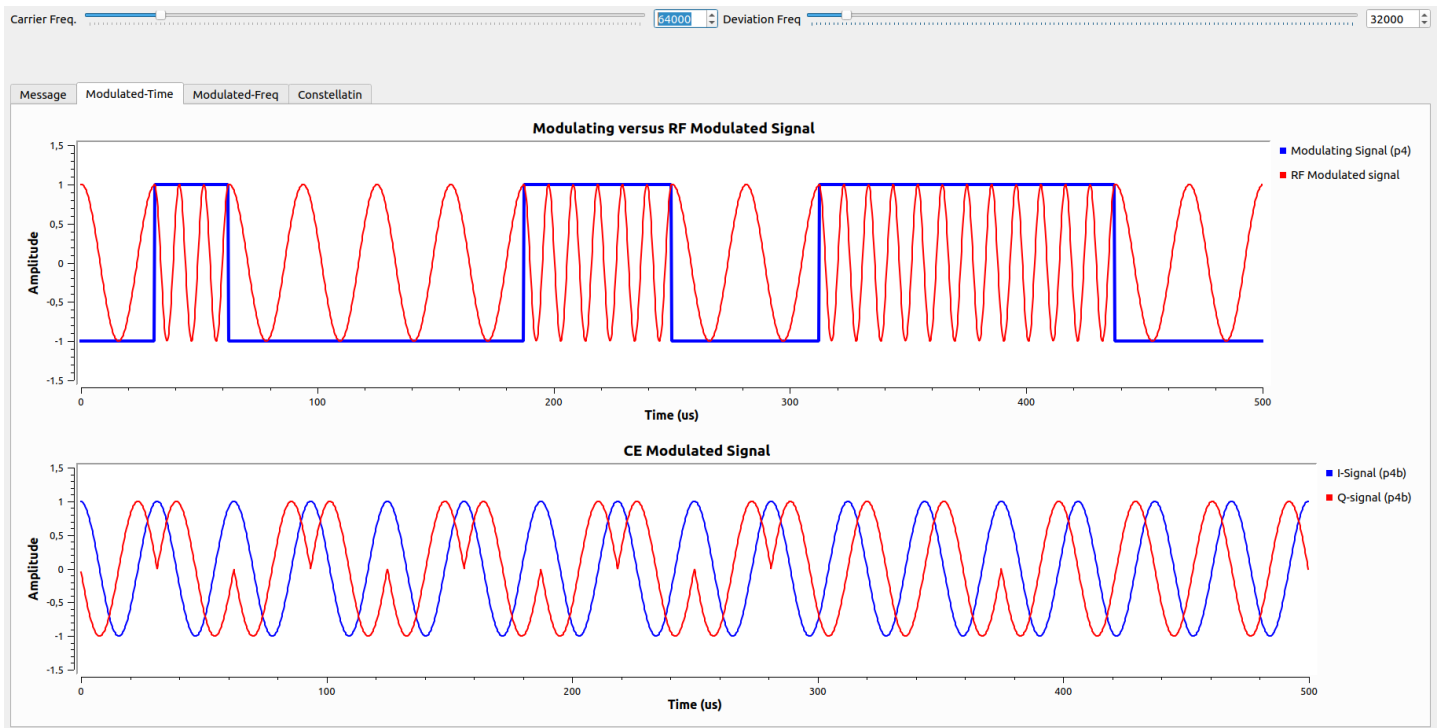


Figura 17: Modulación en tiempo en: Modulación versus señal de Modulación RF y señal CE, con  $f_c$  igual a 64 kHz. Señales I y Q.

Para  $f_c$  igual a 128 kHz:

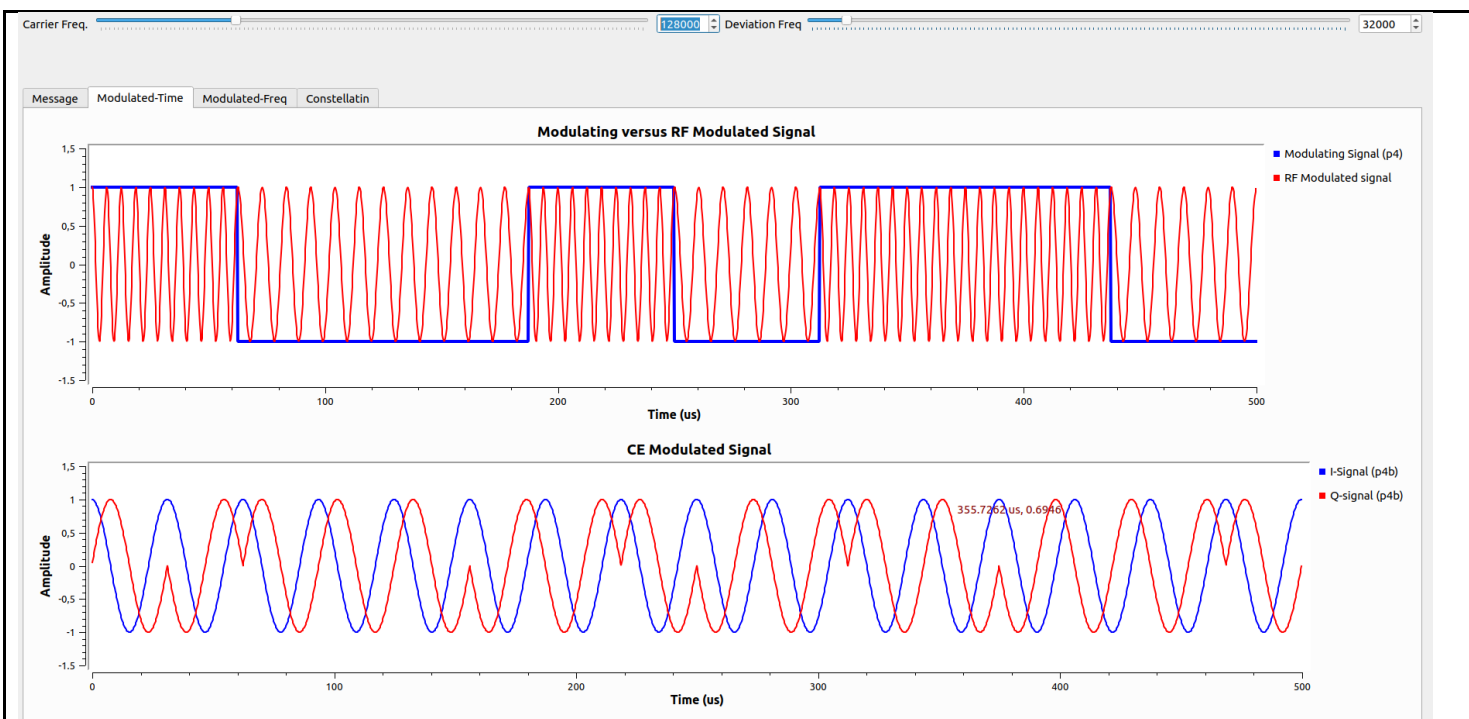


Figura 18: Modulación en tiempo en: Modulación versus señal de Modulación RF y señal CE, con  $F_c$  igual a 128 kHz. Señales I y Q.

Para  $f_c$  igual a 256 kHz

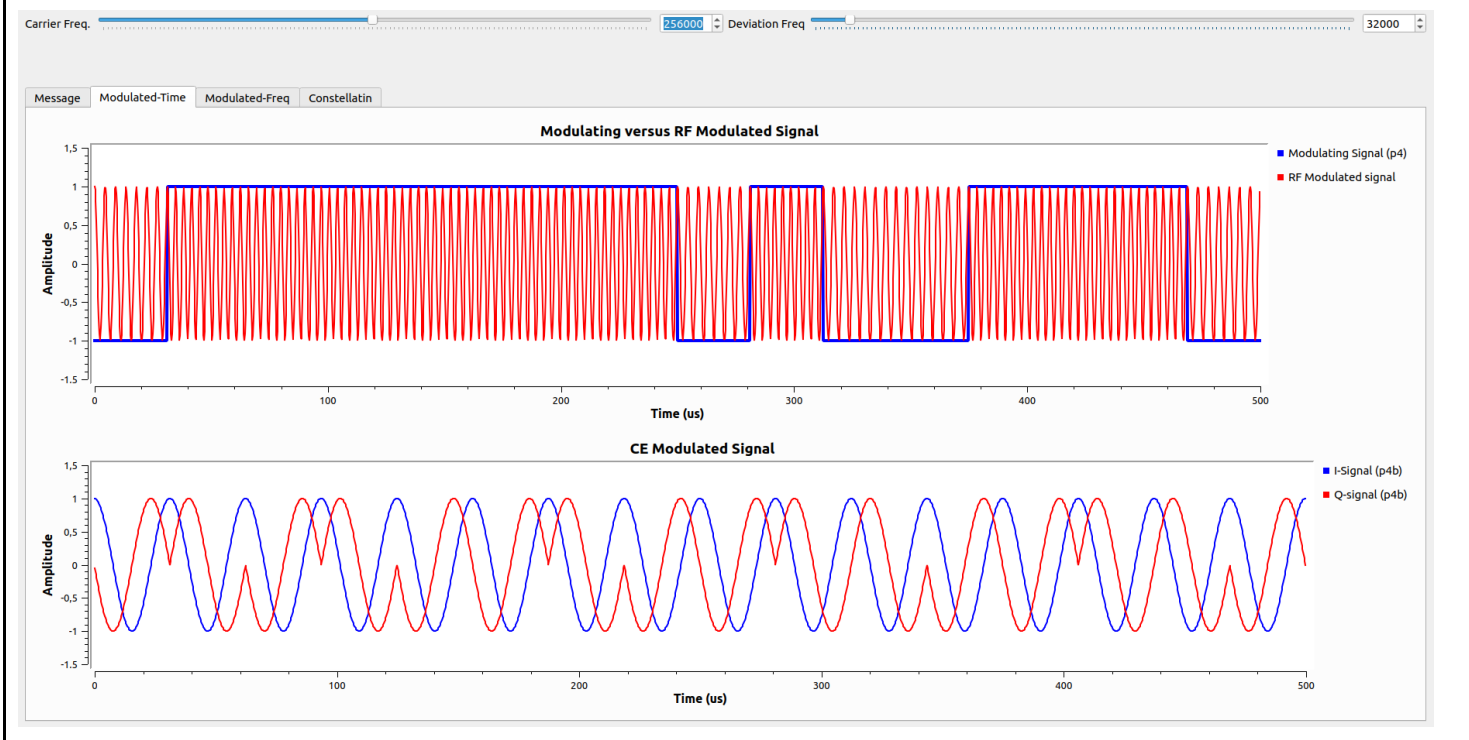




Figura 19: Modulación en tiempo en: Modulación versus señal de Modulación RF y señal CE, con  $F_c$  igual a 256 kHz. Señales I y Q.

Respecto a la variación en  $F_c$  se aprecia que hay más periodos de la señal portadora dentro de las ventanas de datos o bits.

- II. La frecuencia de la portadora se mantiene constante, pero se varía la desviación de frecuencias

Para  $F_d$  igual a 8 kHz

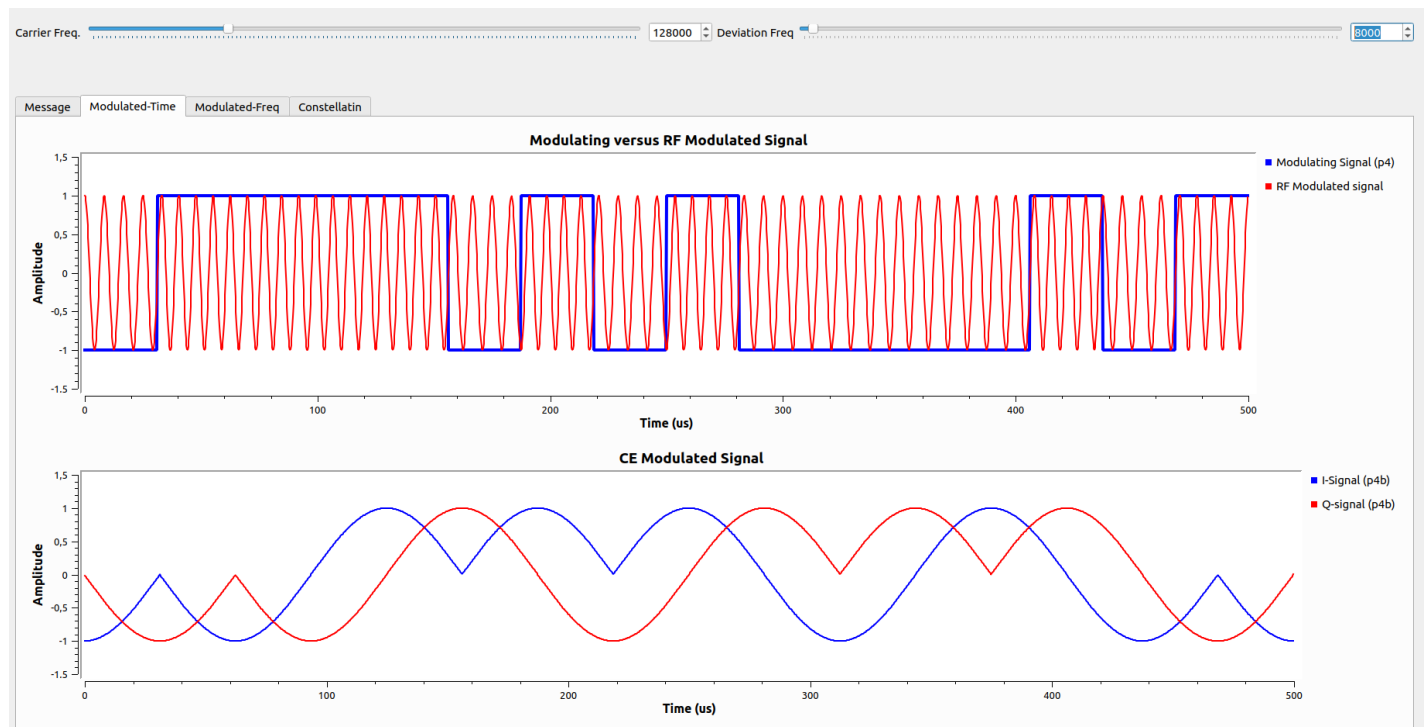


Figura 20: Modulación en tiempo en: Modulación versus señal de Modulación RF y señal CE, con  $F_d$  igual a 8 kHz. Señales I y Q.

Para  $F_d$  igual a 128 kHz:

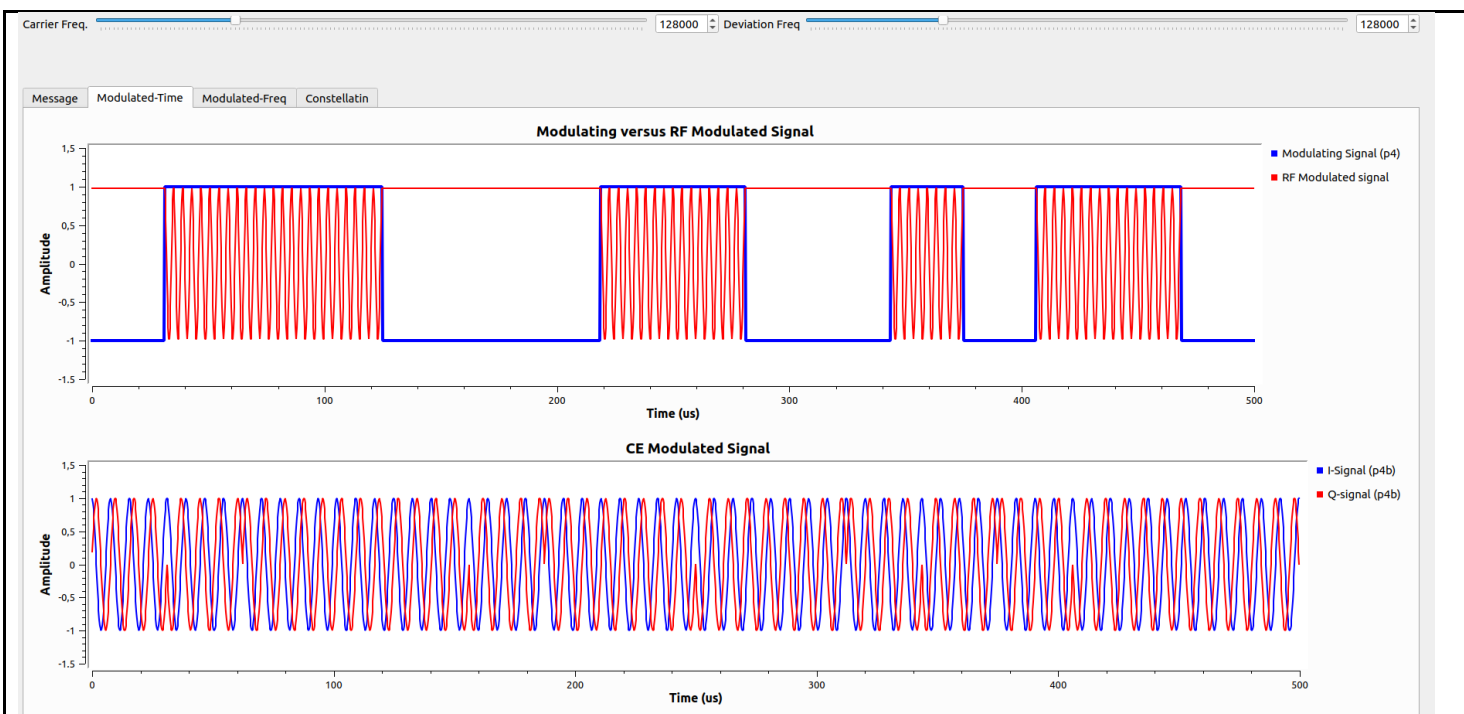


Figura 21: Modulación en tiempo en: Modulación versus señal de Modulación RF y señal CE, con  $F_d$  igual a 128 kHz. Señales I y Q.

La desviación de frecuencia al ser variada se experimenta en la gráfica que la diferencia entre las frecuencias que corresponden a 1 y 0 aumenta, es decir la frecuencia para 1 permanece estable pero la de 0 disminuye. Como se observa en la figura 20. La figura 21 es un caso especial porque tanto la desviación de frecuencia como la frecuencia de la portadora son igual y por ese se ve ese comportamiento tan particular.

En los puntos anteriores se explicó el funcionamiento interno de los VCO una vez comprendido su funcionamiento se adecua la señal de la siguiente manera para poder realizar la modulación FSK: Para el bloque RF\_VCO en su entrada de  $R(t)$  se agrega una señal constante de valor 1 y en su entrada de  $\theta(t)$  se agrega la señal resultante del acumulador multiplicado por  $2 \cdot \pi \cdot \text{desviación de la frecuencia} / R_b \cdot \text{Sps}$ , que dicha señal es el mensaje.

Exactamente de la misma manera se debe realizar la configuración descrita para el bloque EC\_VCO.

#### PUNTO 5) FSK en el dominio de las frecuencias

- I. La frecuencia de la portadora se varía, pero la desviación de frecuencias se mantiene constante

Para  $f_c$  igual a 64 kHz:

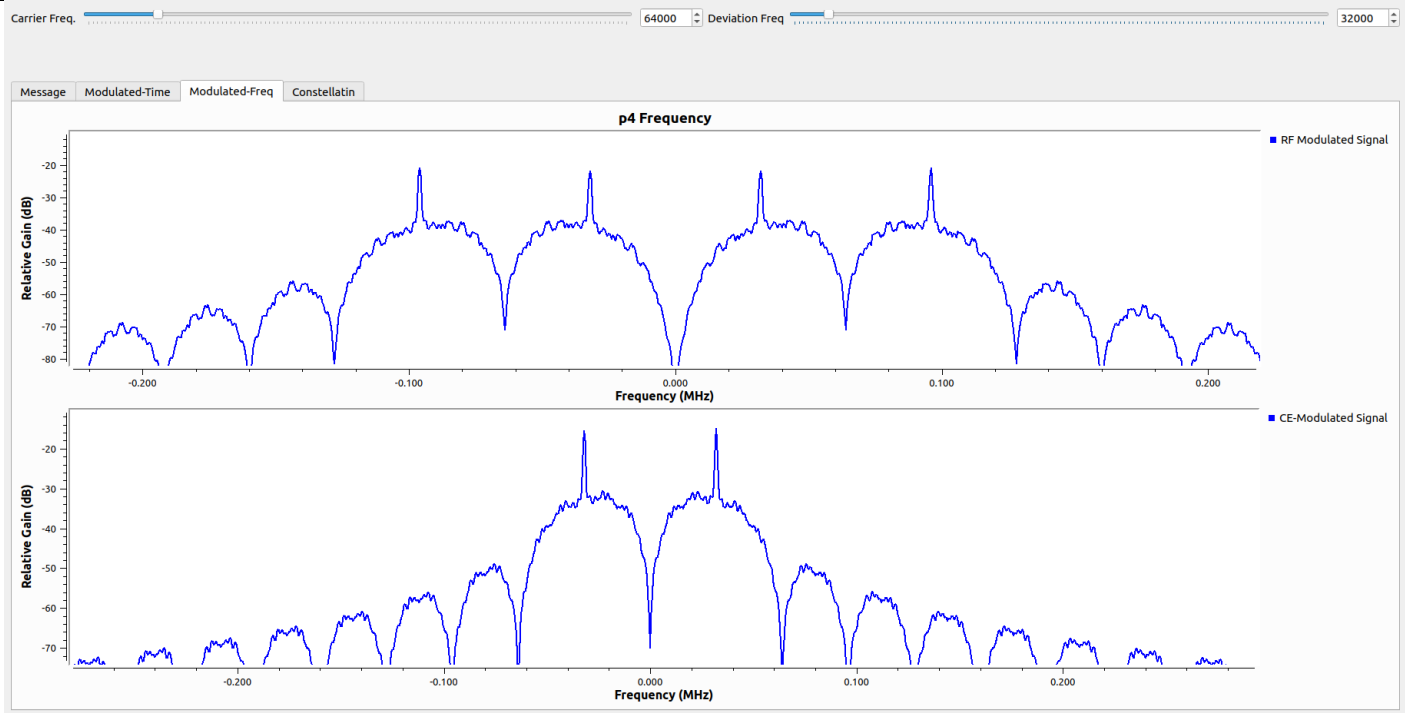


Figura 22: Modulación en frecuencia en: señal modulada RF y señal modulada CE,  $F_c$  64 kHz

Para  $F_c$  igual a 128 kHz:

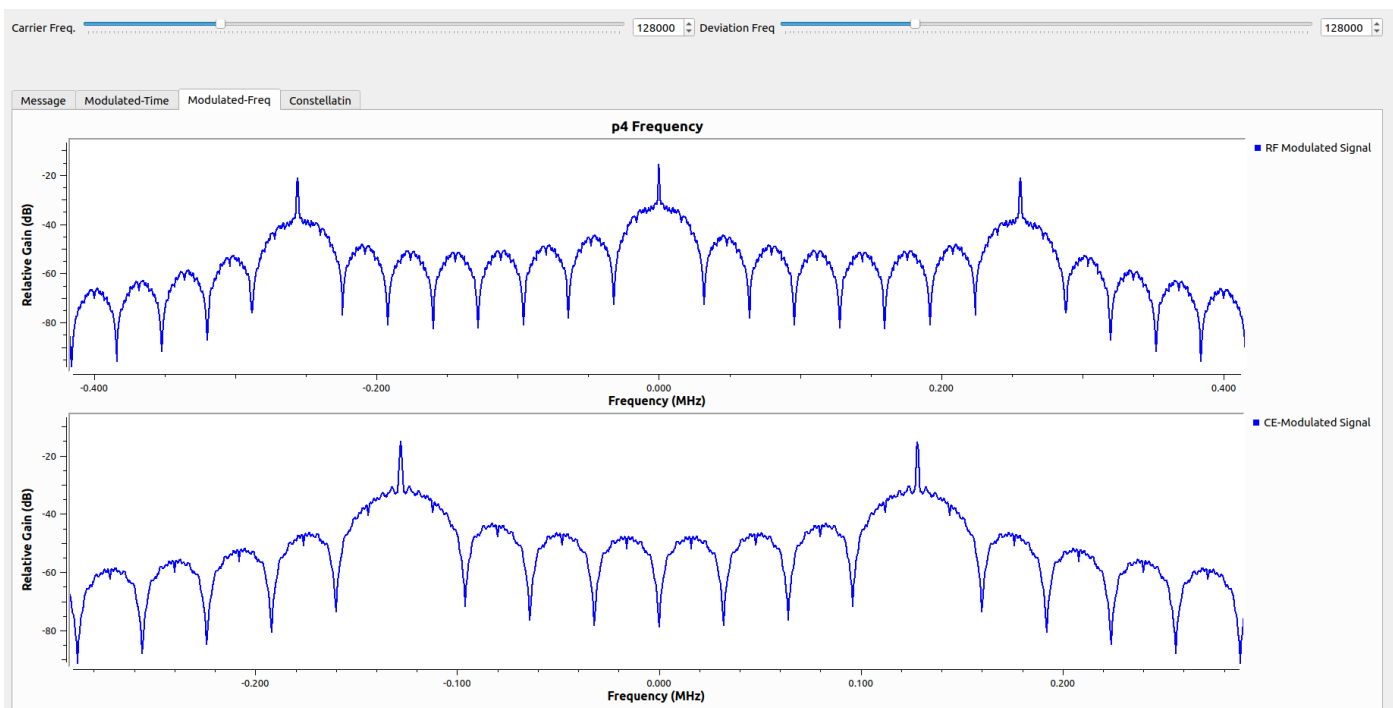
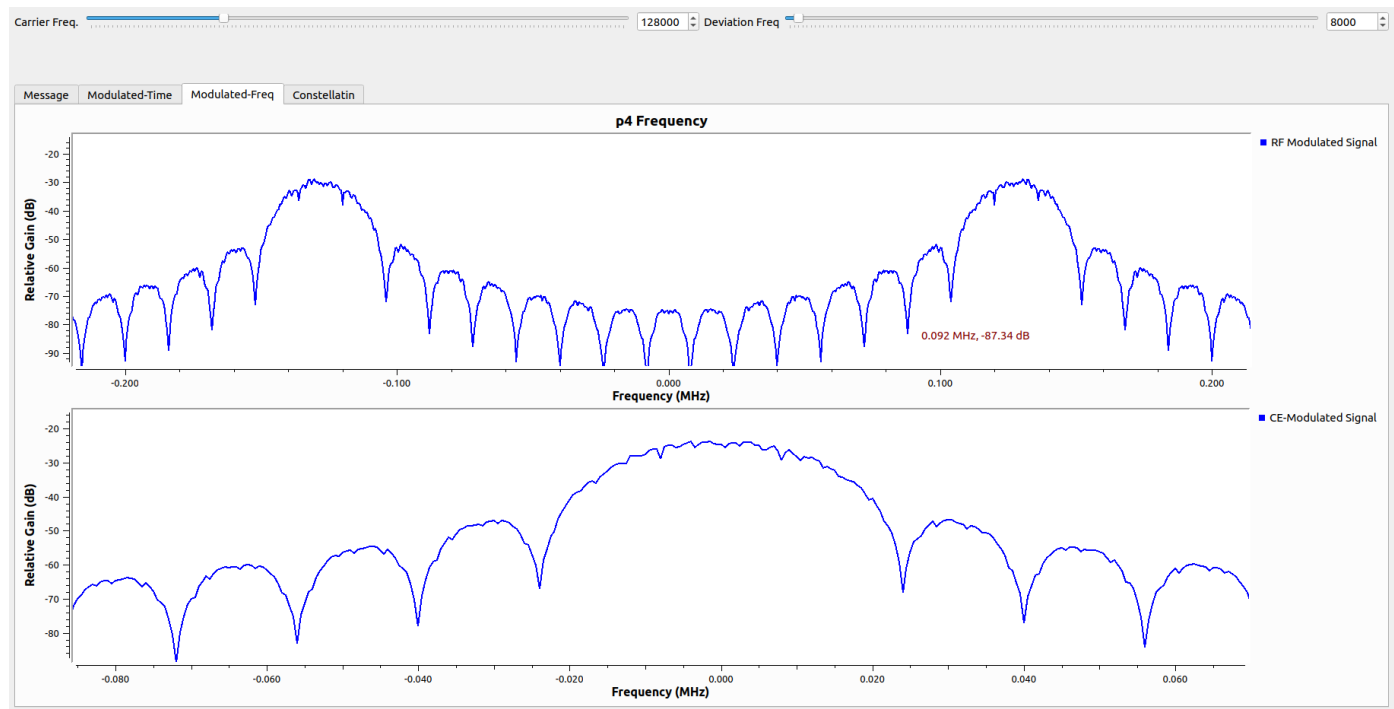


Figura 23: Modulación en frecuencia en: señal modulada RF y señal modulada CE,  $F_c$  128 kHz

Cambia la posición de la señal en RF, pero se mantienen constante la amplitud de las componentes.

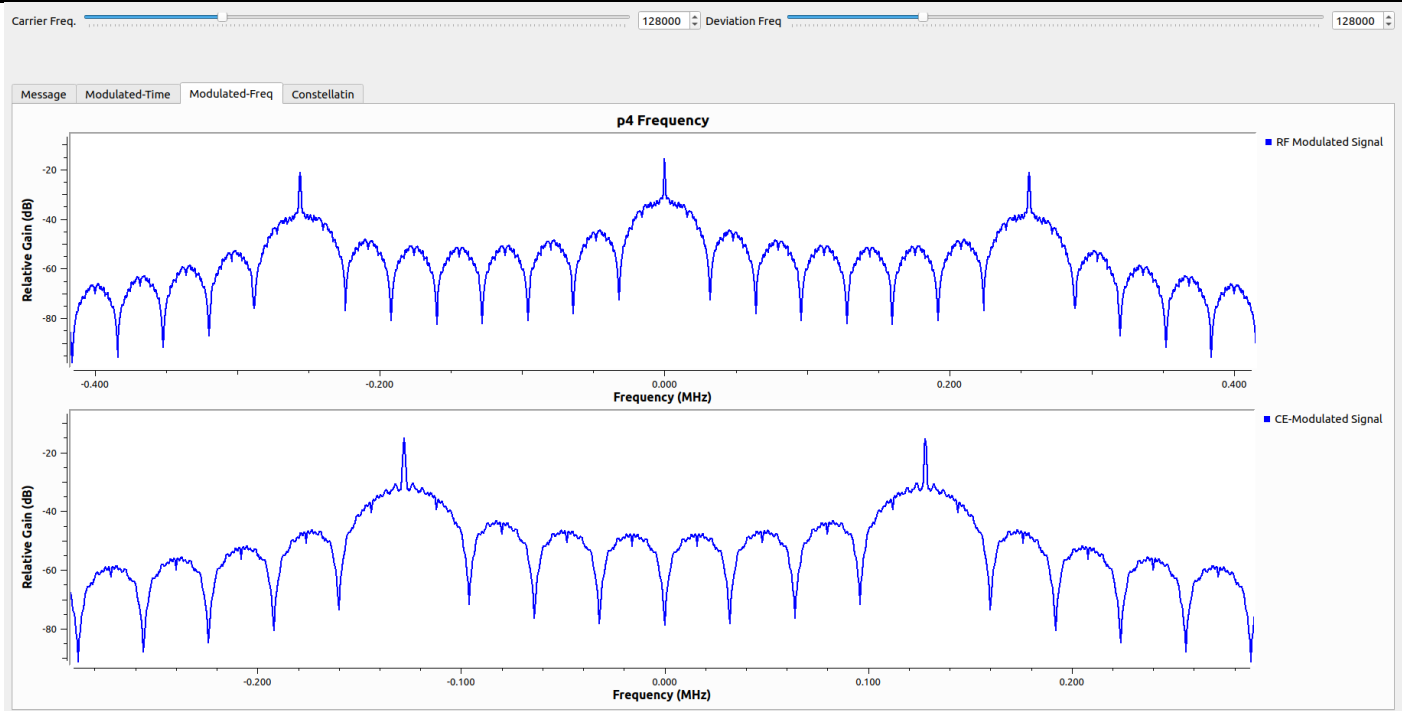
II. La frecuencia de la portadora se mantiene constante, pero se varía la desviación de frecuencias

Para  $F_d$  igual a 8 kHz:



*Figura 24: Modulación en frecuencia en: señal modulada RF y señal modulada CE,  $F_d$  8kHz*

Para  $f_d$  igual a 128 kHz:



*Figura 25: Modulación en frecuencia en: señal modulada RF y señal modulada CE,  $F_d$  128 kHz*

No cambia la posición en la señal en RF pero cambia las amplitudes en los componentes, pues esta depende del índice de modulación el cual a su vez está relacionado con la desviación de frecuencia.

¿Qué valor para la frecuencia de la portadora y para la desviación de frecuencias es en el cual el espectro se puede distinguir con el menor solapamiento posible?

Con base en la regla de Carson la cual nos dice que el ancho de banda de una señal en FSK es igual:

$$B_T = 2\Delta F + 2B = 2(\Delta F + R)$$

Donde

$\Delta F$  es la desviación de frecuencia (fd).

R es el ancho de banda nulo a nulo.

Entonces sabemos que  $F_c$  debe ser mayor a dicha expresión por tanto se propone una frecuencia de 128 kHz y sabiendo que R es igual 32 kHz por tanto el ancho de banda no puede superar los 200 kHz. Resultando entonces una desviación de frecuencia igual a 68 kHz, respetando solo el primer armónico después del lóbulo principal debido al valor de R tomado. Si se requiere mayor resolución se debe distanciar más bien sea aumentando  $F_c$  o disminuyendo la desviación de frecuencia.

PUNTO 6) FSK en la Constelación

Para  $F_c$  igual a 64 kHz:

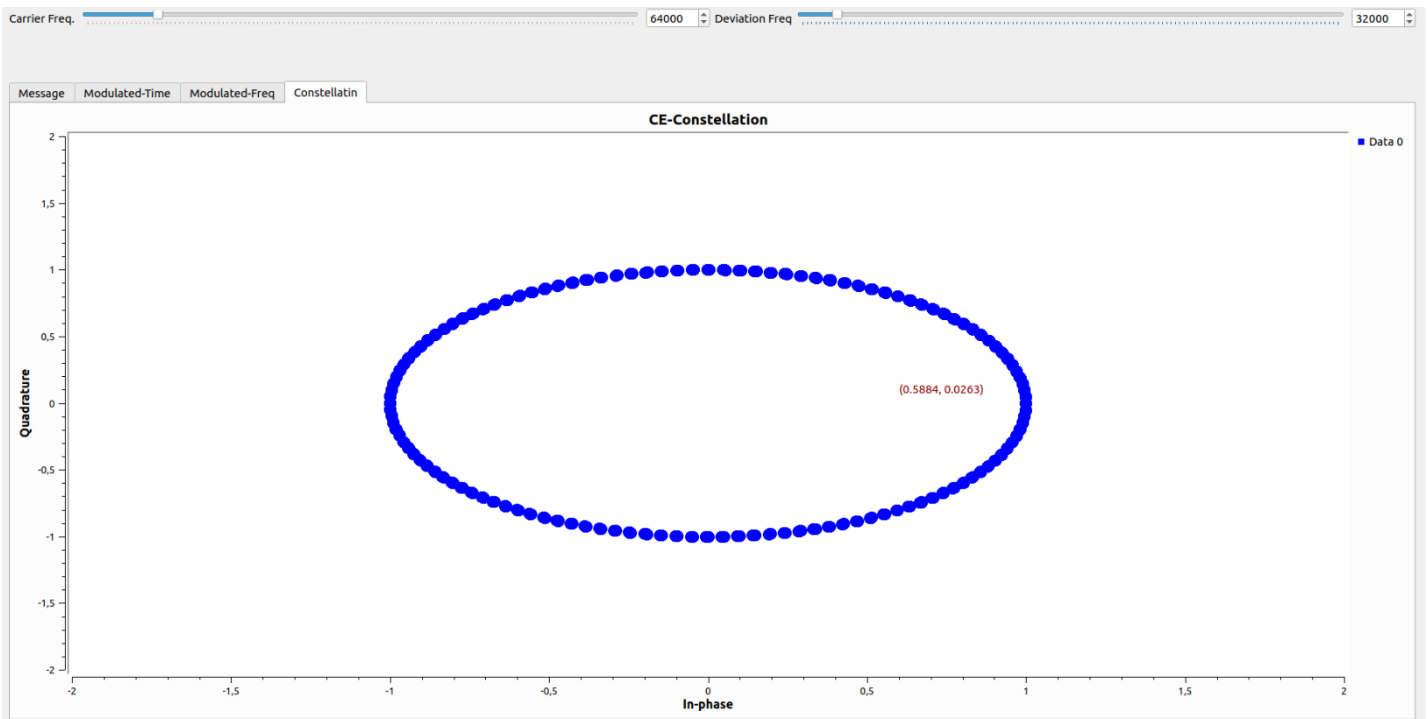


Figura 26: Constelación de una FSK con  $f_c$  de 64 kHz

Para  $F_c$  igual a 128 kHz:

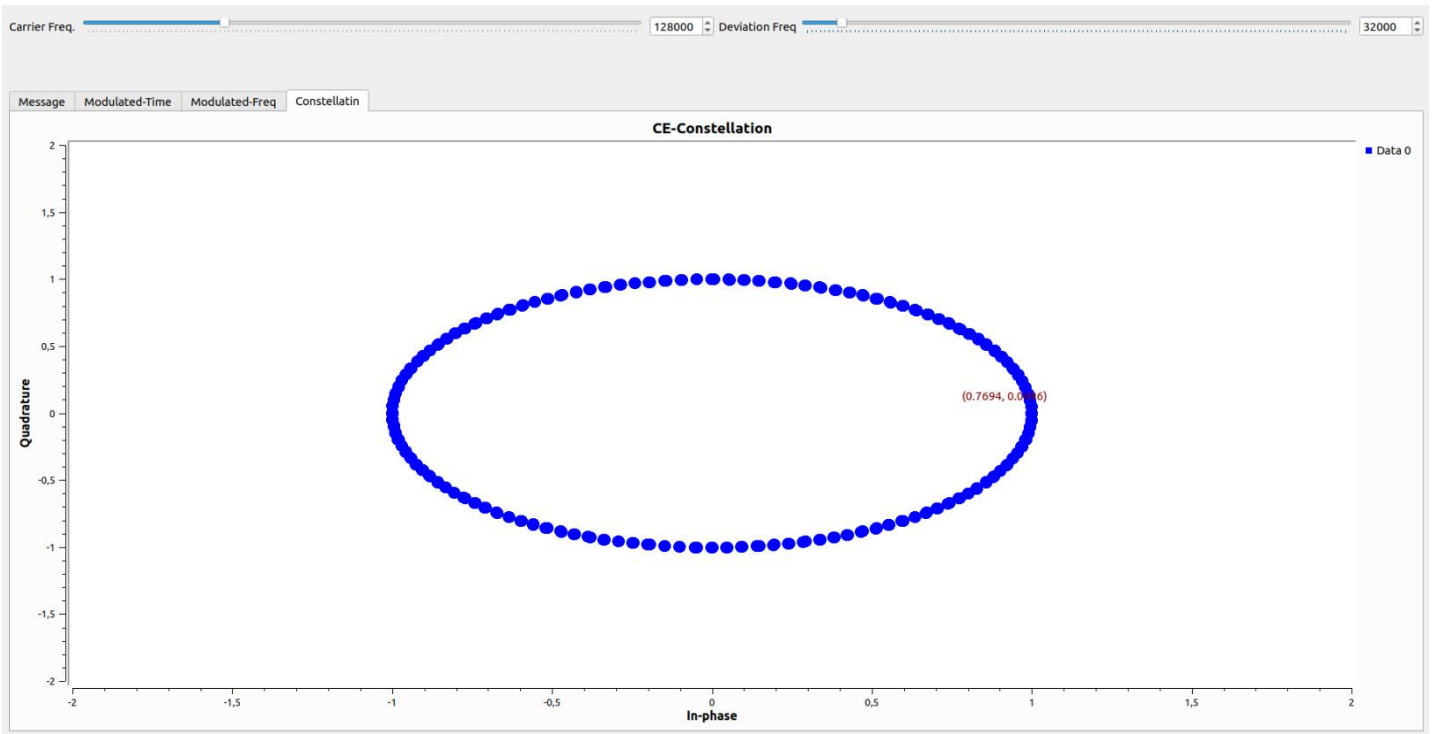


Figura 27: Constelación de una FSK con  $f_c$  de 128 kHz

Para  $F_c$  igual a 256 kHz:

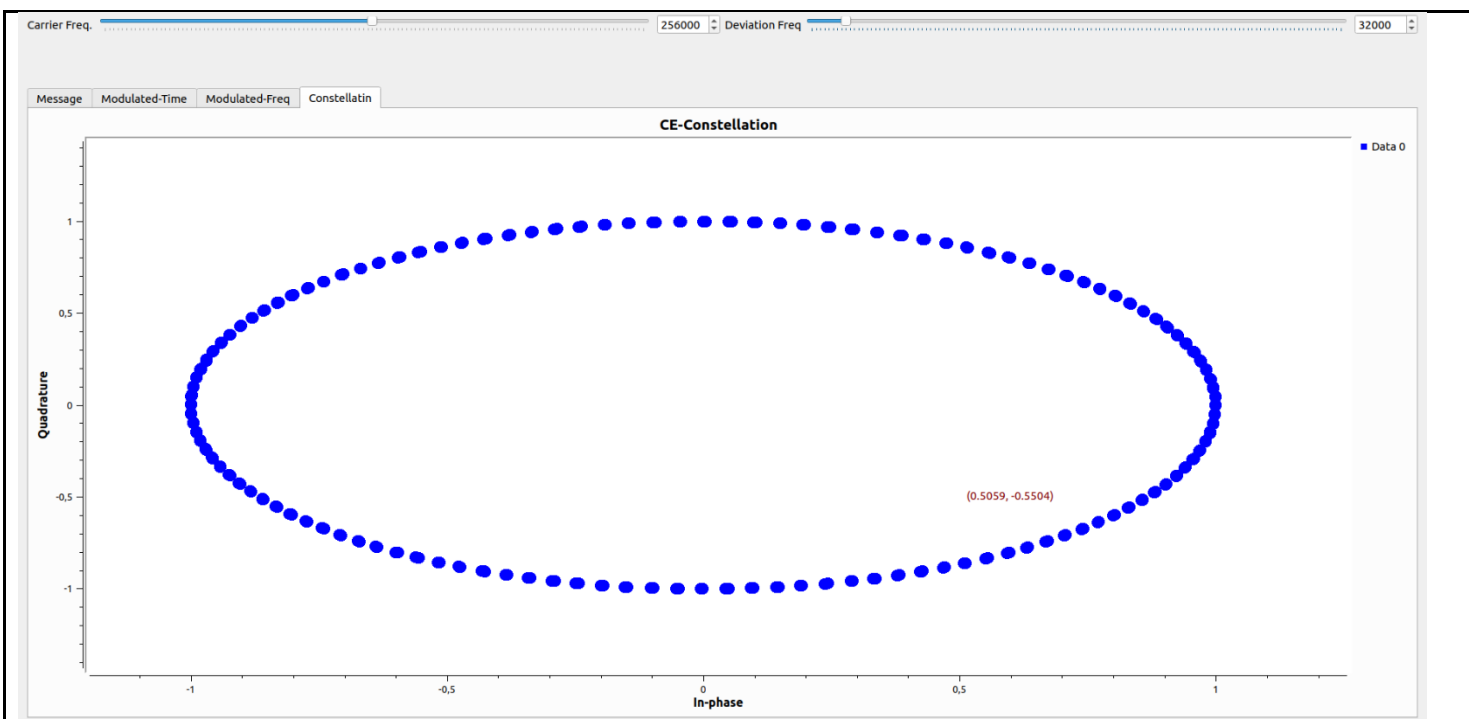


Figura 28: Constelación de una FSK con  $f_c$  de 256 kHz

Es importante recordar que el diagrama de constelación es una representación gráfica que muestra un punto en el espacio en función de la amplitud y frecuencia de la portadora. Los símbolos de una modulación FSK se representan en un diagrama de constelación, y al variar la frecuencia de la portadora en una modulación FSK, se altera la posición de estos puntos. Debido a que se tiene un flujo de información constante se obtiene un círculo variando como se observa en las figuras 26, 27 y 28.

Para  $F_d$  igual a 8 kHz:

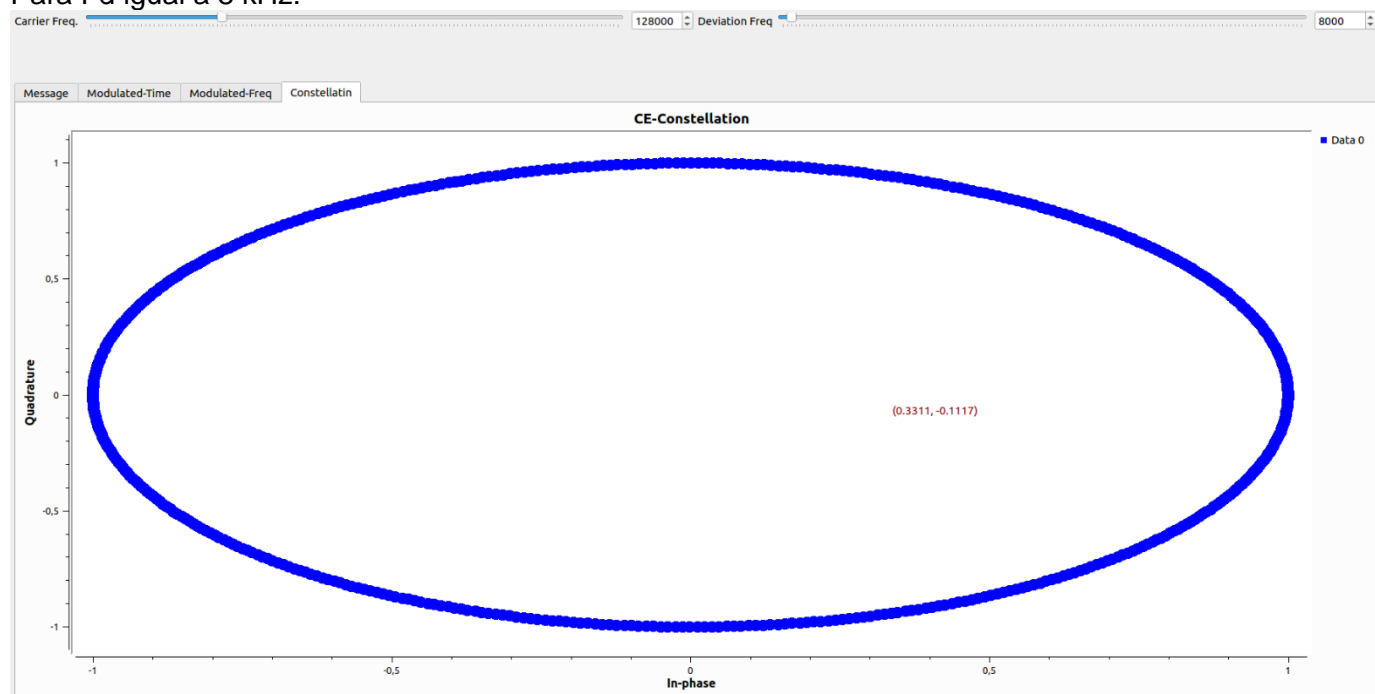


Figura 29: Constelación de una FSK con  $f_d$  de 8 kHz

Para  $f_d$  igual a 128 kHz:

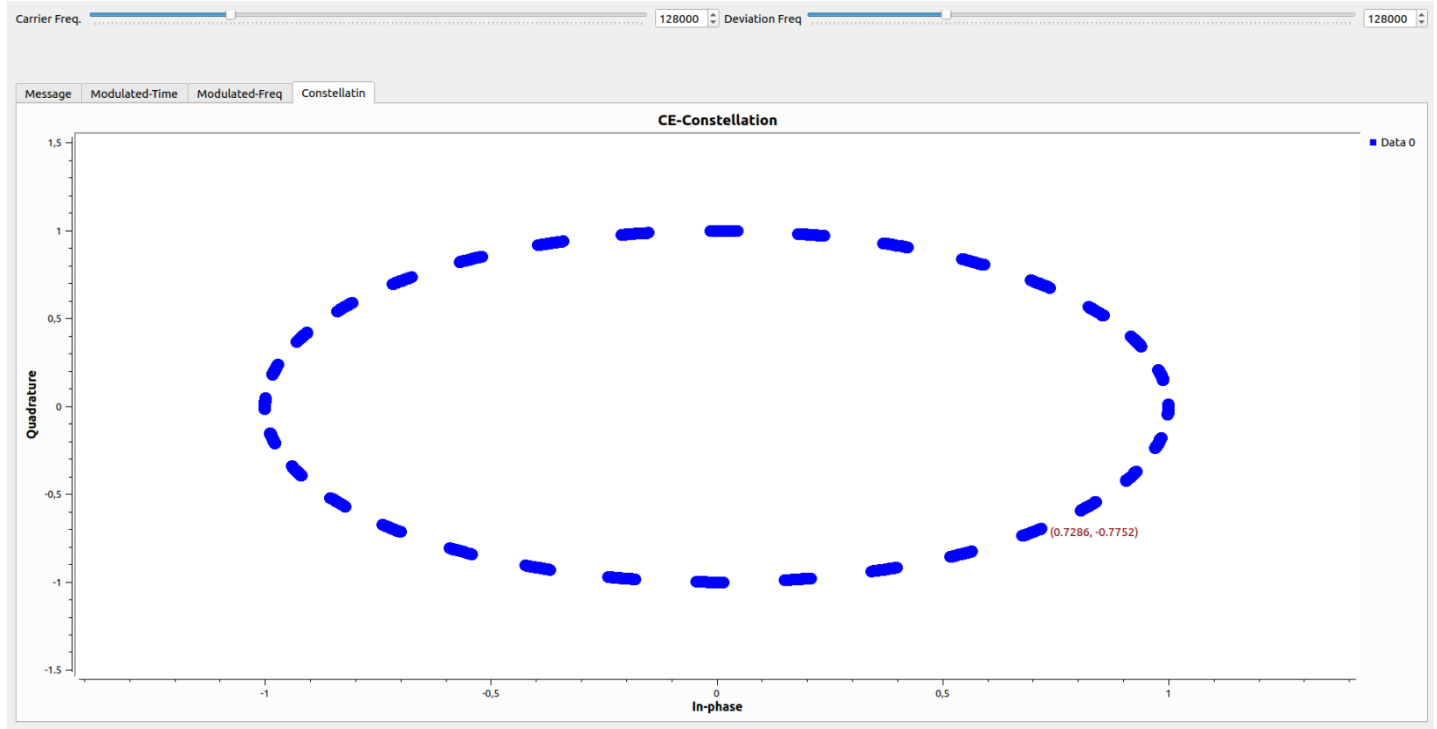


Figura 30: Constelación de una FSK con  $f_d$  de 128 kHz

Debemos recordar que la desviación de frecuencia se refiere a la diferencia entre la frecuencia de la portadora y la frecuencia de la señal. Cuando se aumenta la desviación de frecuencia, los símbolos representados en el diagrama de constelación estarán más separados entre sí, como se observa en la figura 30 al compararla con la figura 29. Este cambio es proporcional a la variación en la desviación.

#### PUNTO 7)

- Poder generar la versión paso-bandas (señal RF) de una modulación nos ha obligado a usar un valor muy alto para Sps. ¿Cómo podríamos saber que el valor elegido es apropiado o suficientemente alto?

Porque en la gráfica en tiempo se toman suficientes puntos como para tener una representación homogénea de la señal que se busca mostrar, a pesar de que en frecuencia no es necesario tomar tantas muestras debido a que, según el teorema de Nyquist,  $f_s = 2f_m$ .

- ¿Qué pasaría si el bloque "Multiply Const" que se activa para la modulación BPSK se configura con el valor 1, que es lo mismo que quitarlo?

El bloque Multiply Const es la separación de las fases, es decir el desfase, entonces, cuando se pone 1, es 1rad, que significa 57 grados, por tanto, el 1 binario se representa con una fase de 0 grados y el 0 binario representa con una fase de 57 grados

- ¿Por qué el bloque "Constant Source" se configura como cero para la modulación OOK pero no para la BPSK y la FSK?



En la modulación OOK, se configura como cero en las entradas de la fase, porque en este tipo de modulación, el desfase se mantiene constante o se hace cero. En cambio, para las modulaciones BPSK y FSK, el mensaje se modula por la fase y la amplitud permanece constante.

## 7. REJILLA DE EVALUACION

### Método de calificación por lista de cotejo

N°	Criterios	EXCELENTE (5)	BUENO (4)	REGULAR (3)	DEFICIENTE (2)
1	Los Procedimientos son completos y permiten cumplir el objetivo general y los objetivos específicos. Caso se solicite responder preguntas al final, estas son respondidas de forma adecuada y coherente.				
2	Los Resultados cumplen los siguientes criterios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coherencia con los objetivos</li> <li>• Tienen Comentarios de análisis pertinentes</li> <li>• Están en su totalidad (tiempo, frecuencia u otros solicitados)</li> </ul>				
3	Calidad del informe: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es organizado de inicio a fin</li> <li>• Etiqueta imágenes y las cita en el texto</li> <li>• Tiene ortografía</li> <li>• La escrita es clara y concisa</li> <li>• No repite informaciones</li> </ul>				
4	Tiene al menos una conclusión que sea resultado directo de la ejecución del laboratorio				
<b>Total</b>					