

## **LABORATORIO DE TEORÍA DE COMUNICACIONES 1 – PARTE PRÁCTICA**

### **TEMA: MODULACIÓN EN FRECUENCIA**

**2024**



## HOJA DE LABORATORIO 6

### <sup>1</sup> MODULACIÓN EN FRECUENCIA

#### Integrantes

NOMBRES Y APELLIDOS	CÓDIGO	GRUPO
Christopher Orlando Terrones Peña	20182048	1
Luis Salvador Yábar Reaño	20200408	1

ACTIVIDADES		PUNTAJE
Experiencia 1	Modulación FM en el dominio del tiempo	1.5 puntos
Experiencia 2	Modulación FM en el dominio de la frecuencia	3 puntos
Experiencia 3	Demodulación FM	2.5 puntos
Conclusiones y Observaciones		1 punto

CORREGIDO POR	NOTA
<i>Nombre del JP</i>	0.0/8.0

6.5



El contenido de esta guía es de carácter estrictamente personal y aplicable solo para el curso de Teoría de Comunicaciones 1 (TEL133). Cualquier tipo de plagio será sancionado de acuerdo con el reglamento disciplinario de la PUCP.

<sup>1</sup> NOTA IMPORTANTE: CONSULTE A LOS JEFES DE PRÁCTICA ANTE CUALQUIER DUDA SOBRE EL MANEJO DE LOS EQUIPOS Y LAS CONEXIONES.

## EXPERIENCIA 1: Modulación FM en el dominio del tiempo (1.5 puntos)



**Objetivo de aprendizaje: Analizar la técnica de modulación en frecuencia (FM) mediante la medición de sus parámetros en el dominio del tiempo.**

### Indicaciones:

Realice las siguientes configuraciones:

- a) Identifique los pines de medición del circuito de modulación angular mostrado en la figura 1.

**IMPORTANTE: ANTES DE ENERGIZAR EL MÓDULO CONSULTE CON SU JP LA VALIDEZ DE LAS CONEXIONES.**

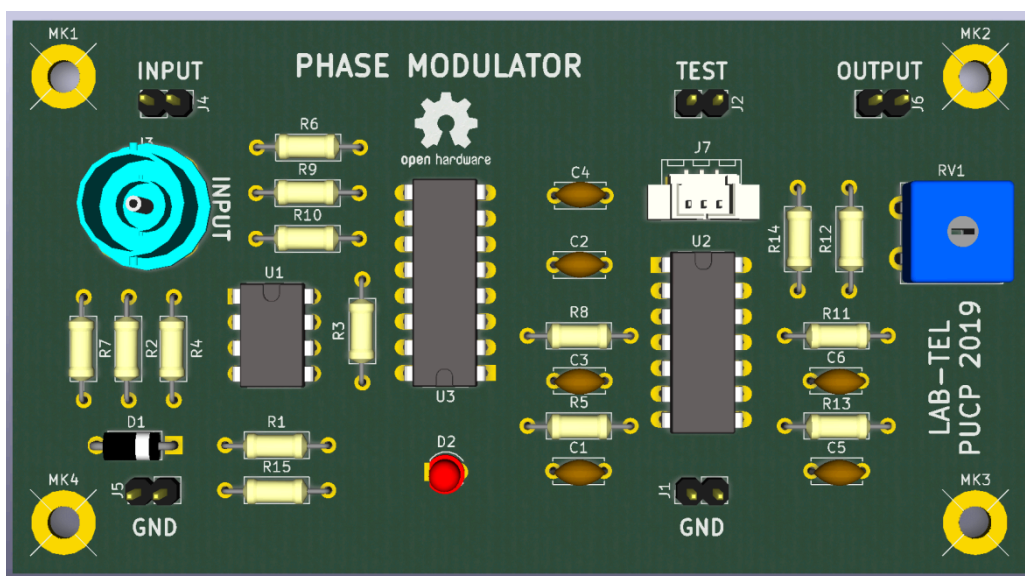


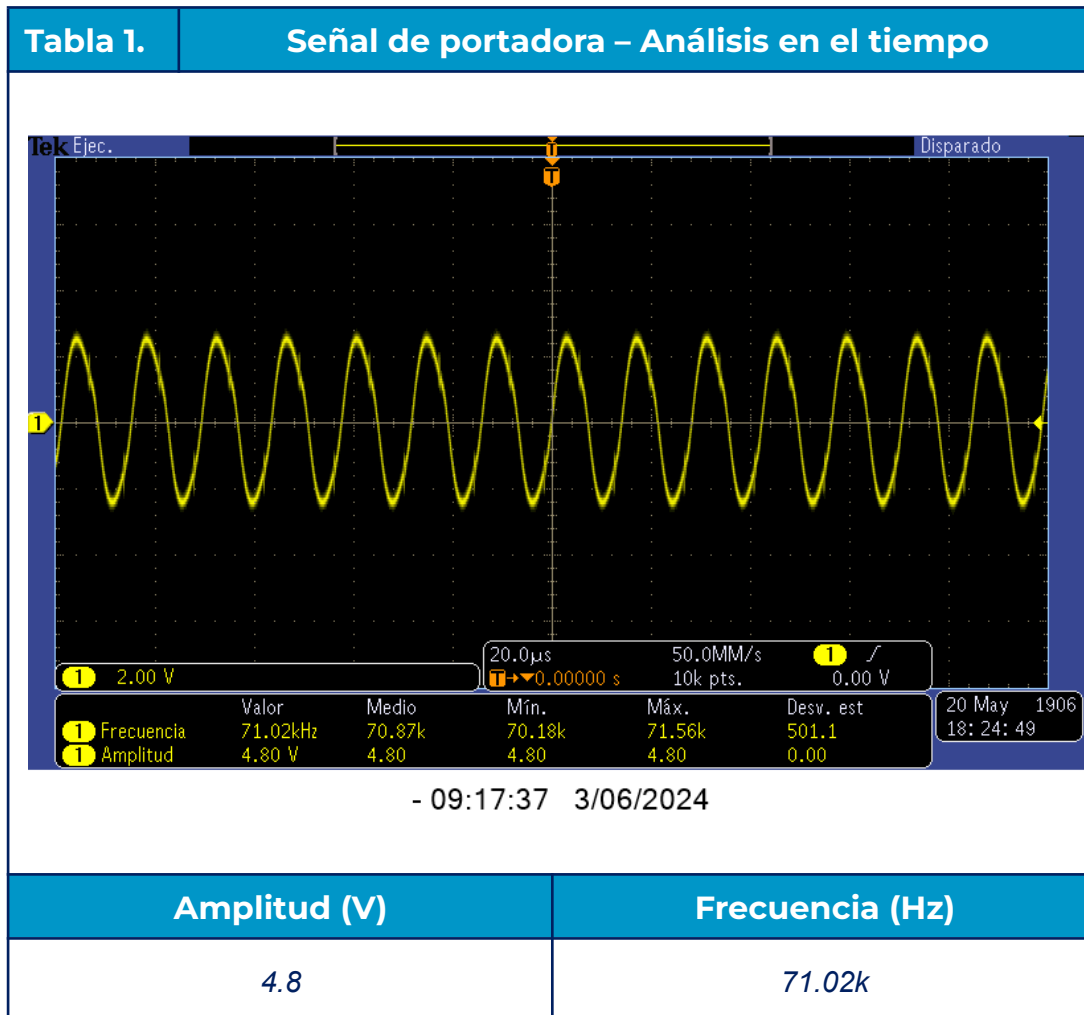
Figura 1. Modulador angular.

Descripción de los pines:

- **INPUT:** Entrada de la señal modulante
- **OUTPUT:** Salida de la señal modulada.
- **TEST:** Señal de prueba de la salida del VCO.
- **GND:** Punto de tierra.

- b) El modulador trabaja internamente con un VCO que, en ausencia de señal modulante, genera un tono de frecuencia única (portadora). Para determinar la frecuencia de la portadora, siga los siguientes pasos: **(0.5 puntos)**

- i. Conecte la señal de entrada (INPUT) a tierra (GND). Esto se realiza para determinar la frecuencia de la portadora cuando la señal de entrada tiene una desviación de 0 V.
- ii. Energice el módulo y utilice el osciloscopio para medir la señal en el pin OUTPUT.
- iii. Inserte una gráfica de la señal portadora y determine su amplitud y frecuencia. Agregue una captura de la señal (mostrando la medición) en la Tabla 1.

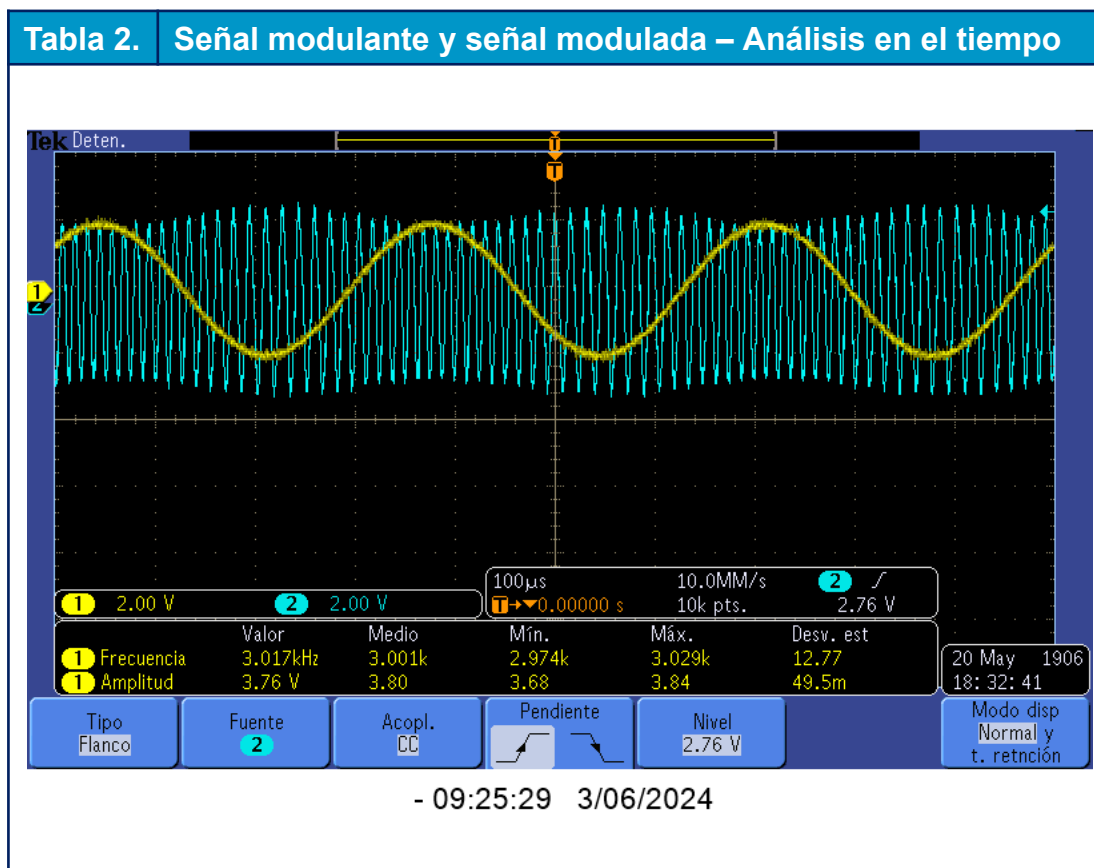


- c) ¿Cuál es el índice de modulación  $\beta$  para la señal portadora no modulada? Explique cómo realizó el cálculo. **(0.5 puntos)**  
**El índice de modulación para la portadora es 0. Debido a que no hay señal modulante.**

Explicar mejor

0.25

- d) Configure una onda sinusoidal de **3 kHz** y **4 Vpp** en el canal 1 del generador de señales. Luego, conecte la salida del generador a la entrada **INPUT** (Conector BNC) del circuito modulador. Observe la señal modulante y la señal modulada FM (**OUTPUT**) e inserte las gráficas solicitadas en la Tabla 2. **(0.25 puntos)**



- e) Identifique cuando la frecuencia de la señal FM es mínima y cuando es máxima relativa a la señal modulante o mensaje. Con ayuda del osciloscopio mida la mínima y máxima frecuencia y calcule la desviación de frecuencia ( $\Delta f$ ) para este caso. **(0.25 puntos)**

$$T1 = 12.4 \mu s \rightarrow f1 = 80.645 \text{ kHz}$$

$$T2 = 16 \mu s \rightarrow f2 = 62.5 \text{ kHz}$$

$$\Delta f = 9.07 \text{ kHz}$$



## EXPERIENCIA 2: Modulación FM en el dominio de la frecuencia (3 puntos)

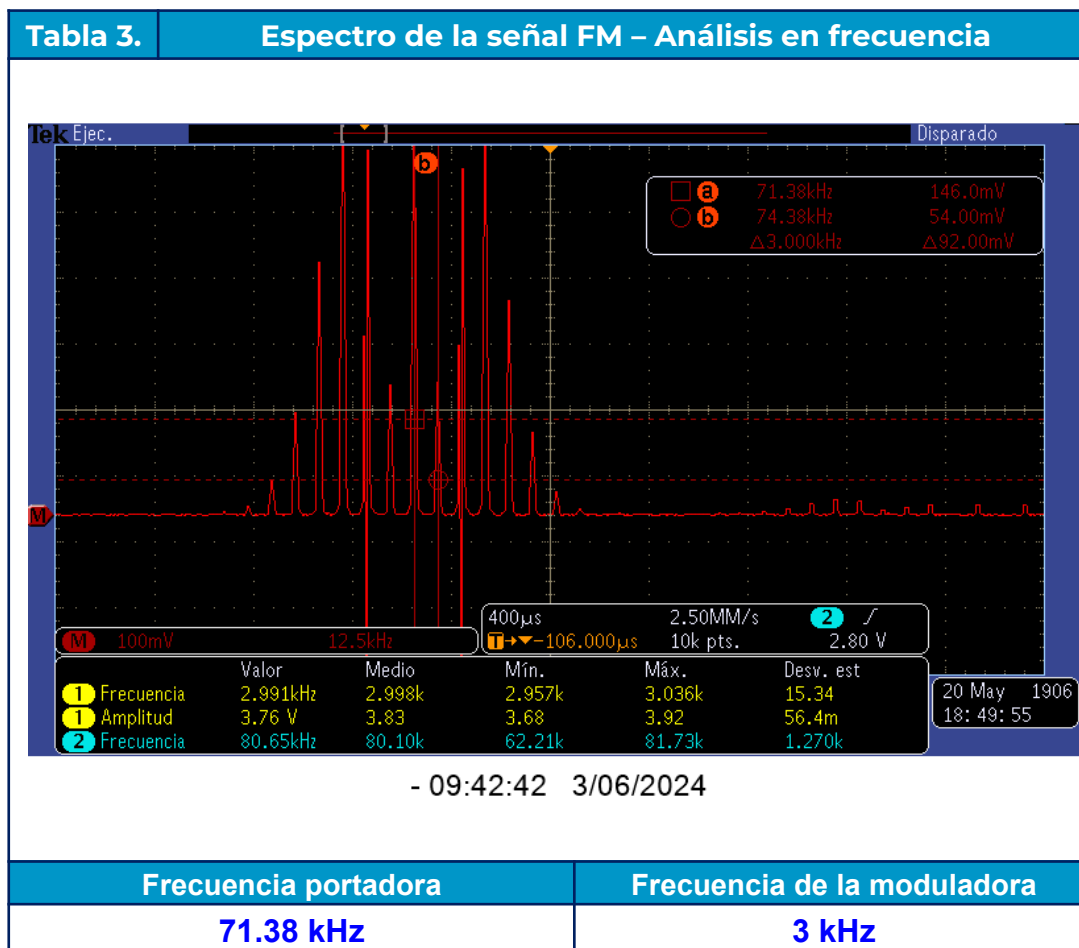


**Objetivo de aprendizaje:** Verificar el proceso de modulación FM y sus características en el dominio de la frecuencia.

### Indicaciones:

Realice las siguientes configuraciones:

- a) Manteniendo la señal modulante anterior, obtenga la Transformada Rápida de Fourier (**FFT**) de la señal modulada en escala lineal. Mida con los cursores la frecuencia de la portadora y la frecuencia de la moduladora. Complete la Tabla 3. **(0.5 puntos)**



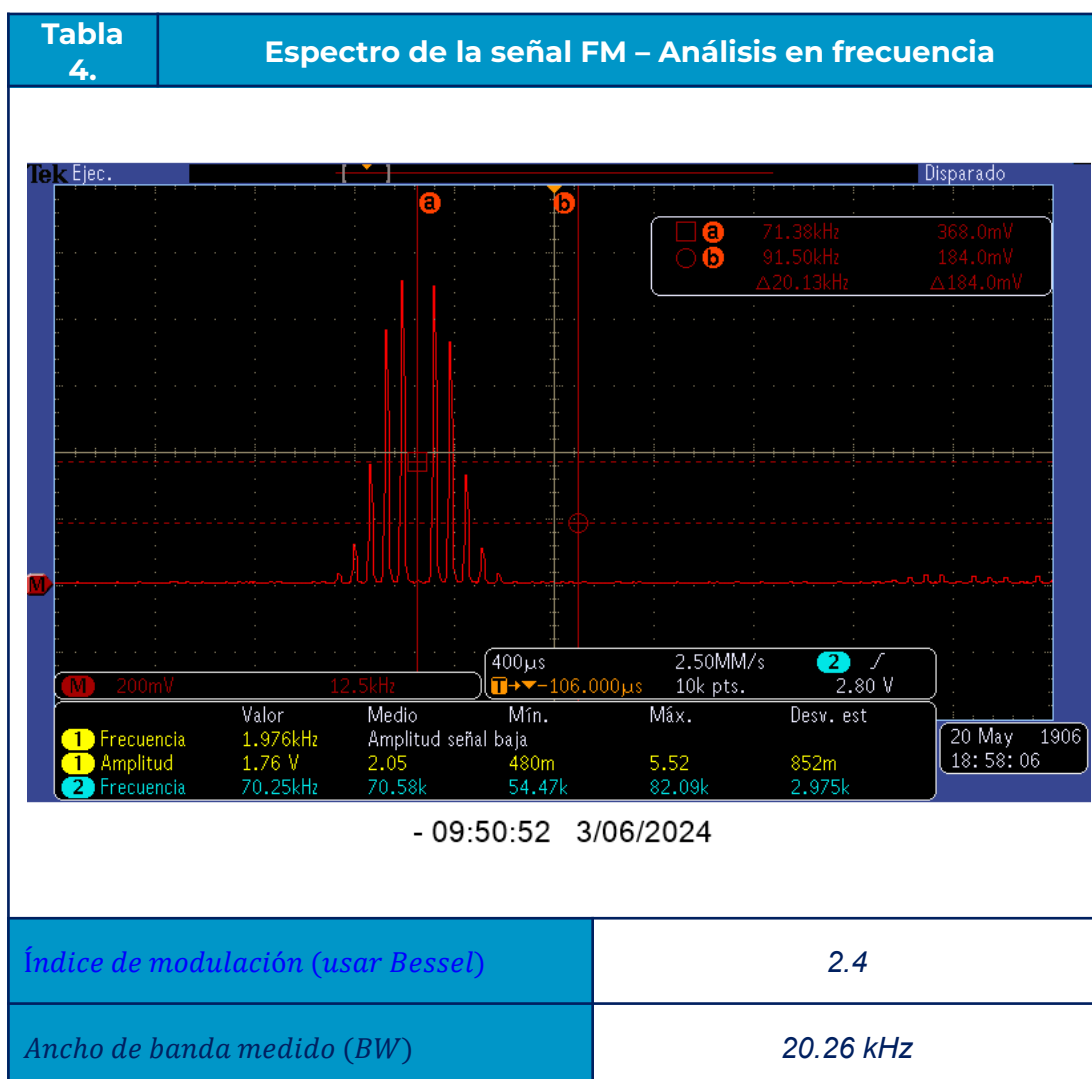
- b) Explique qué sucede con el espectro cuando se varía a) la amplitud de la señal modulante y b) la frecuencia de la señal modulante. **(0.5 puntos)**

**Cuando se varía la amplitud de la señal modulante, varía la desviación de frecuencia máxima, lo que hace que el ancho de banda varíe. Al aumentarlo, puede hacer que el índice de modulación no sea mucho menor a 1, y por lo tanto, el ancho de banda esté dado por la regla de Carson, y sea mayor.**

Debe ser mayor que 1

Al variar la frecuencia de la señal modulante, también varía la desviación de frecuencia máxima. Al aumentar esta frecuencia, la desviación disminuye, por lo que su relación es inversamente proporcional. puede aumentar ✗  
En ambos casos, se presentaría un mayor o menor número de componentes significativas en el espectro.

- c) Manteniendo activa la **FFT** de la señal FM, configure en el generador de funciones una señal modulante de **2 kHz** y amplitud mínima (**0 Vpp**). Luego, incremente gradualmente la amplitud hasta que la portadora sea mínima (**0**). Capture la gráfica que se muestra en el osciloscopio y complete la tabla 4. **(0.5 puntos)**



0.375

Mostrar medición del ancho de banda.



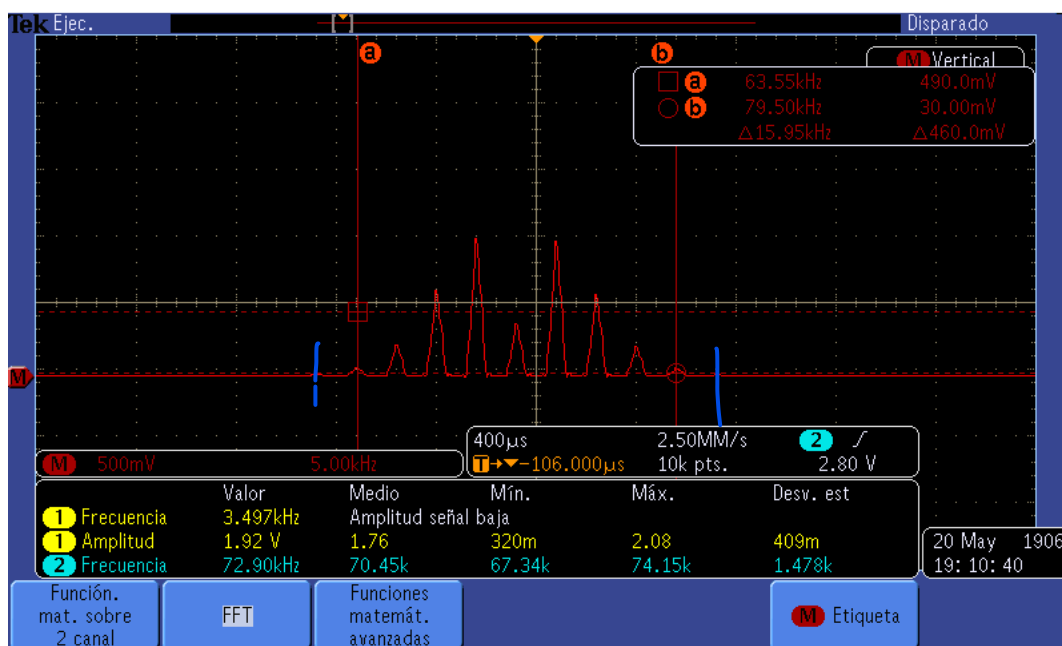
Ancho de banda – Carson 2 (BW)

17.6 kHz

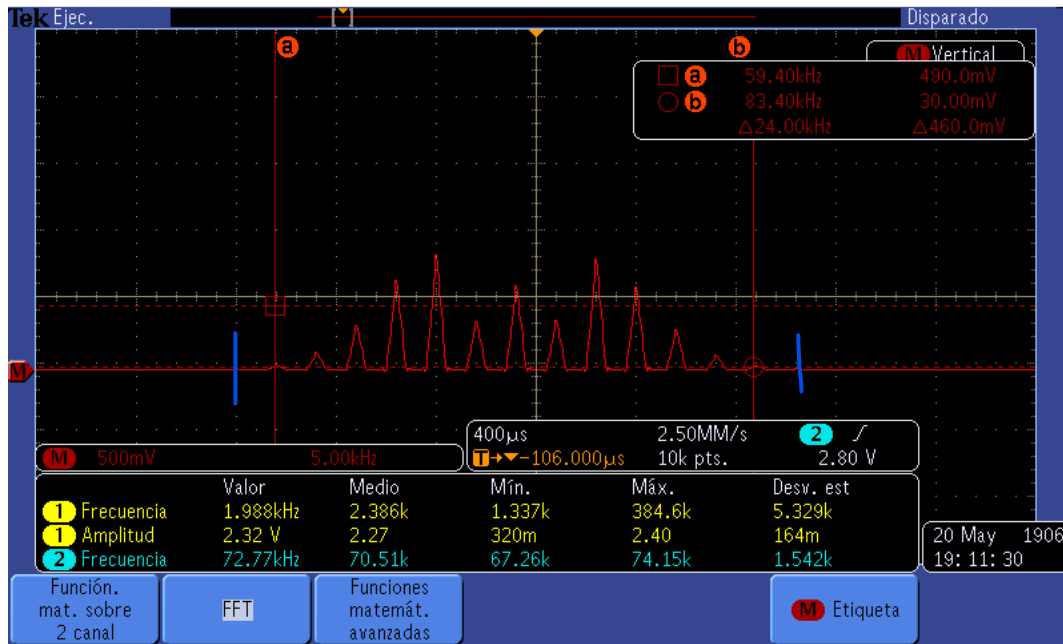
- d) A partir de los datos anteriores, determine la sensibilidad de la modulación FM dada. Complete las tablas 5 y 6. **(1 punto)**

Tabla 5	Medición de sensibilidad				
Amplitud (Vpp)	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5
BW medido (kHz)	8	15.95	24	32.05	40
Índice de modulación ( $\beta$ )	0	1.9875	4	6.0125	8
Sensibilidad (Kf) (kHz/V)	0	2.65	3.2	3.435714286	3.555555556
Fm (KHz)	2				

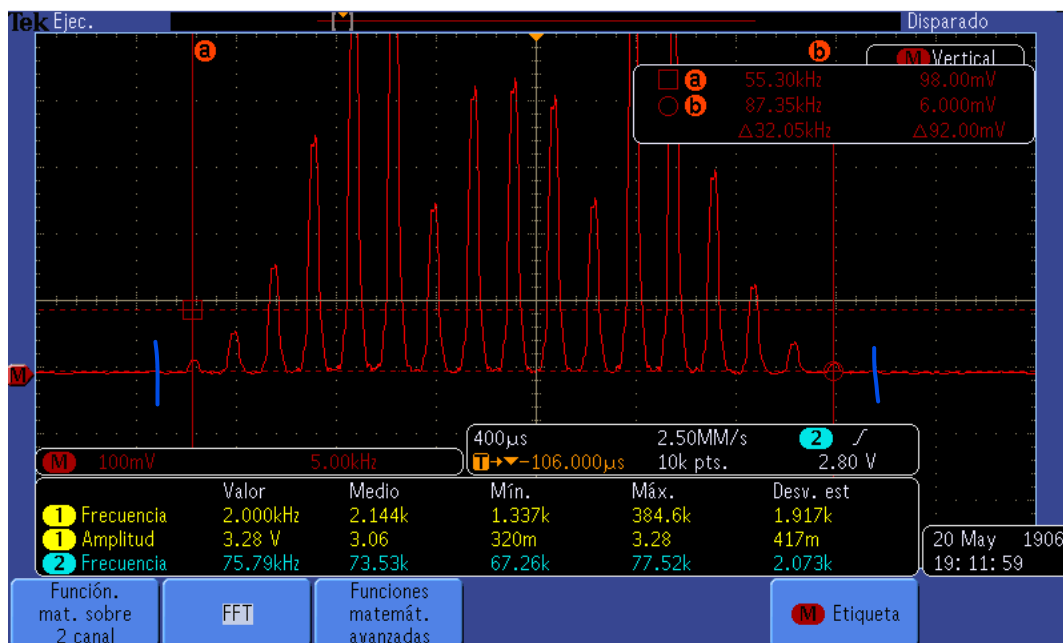
Tabla 6. Espectros de las señales moduladas (A = 1.5, 2.5, 3.5 y 4.5)



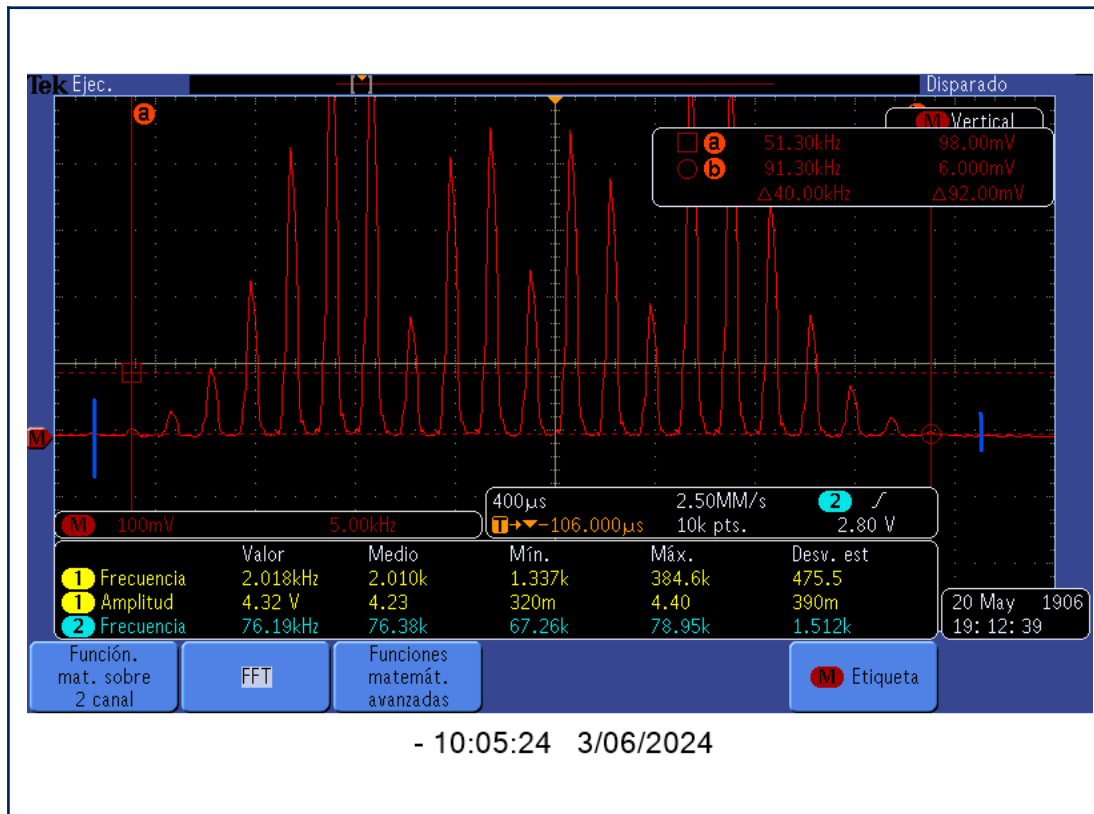
- 10:03:24 3/06/2024



- 10:04:15 3/06/2024



- 10:04:44 3/06/2024



- e) De acuerdo a la Tabla 5 verifique la invariabilidad de la sensibilidad a la desviación  $K_f$  (este es un parámetro constante e intrínseco para cada modulador FM). Colocar unidades. Adicionalmente, mencione las posibles causas de las variaciones de  $K_f$  calculadas en la tabla 5. **(0.5 puntos)**

0.375

Una de las posibles causas para la variación es que no se estén considerando todas las componentes necesarias para medir el ancho de banda, ya que se realiza esta medición visualmente.

Faltan, al menos una adicional.

$$K_f = 3.21 \text{ kHz/V}$$

### EXPERIENCIA 3: Demodulación FM (2.5 punto)



**Objetivo de aprendizaje:** Verificar el proceso de demodulación de la señal sinusoidal y de audio.

#### Indicaciones:

Realice las siguientes configuraciones:

- a) Configure una señal senoidal de **5 Vpp** y **3 kHz**. Con esta señal modulante realice la modulación angular FM. Para demodular esta señal considere el siguiente circuito demodulador de FM compuesto de un integrador y un detector de envoltura.

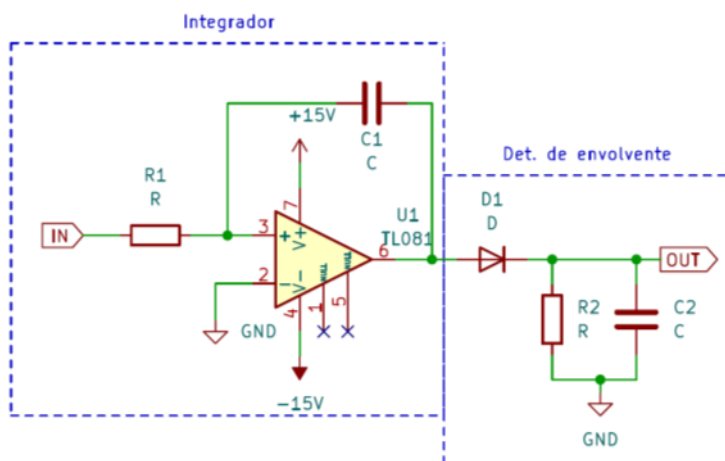


Figura 2. Circuito demodulador FM.

- b) Usando el protoboard, arme el circuito mostrado en la figura 3 (**valide el circuito con su JP antes de ingresar la señal FM**) e ingrese la señal FM a la entrada del circuito demodulador. Luego, mida con el osciloscopio la salida del circuito demodulador y verifique la señal demodulada. Complete la Tabla 7. **(1.25 puntos)**

Ver la configuración de pines del OPAMP de la figura 3 y considere los valores de los componentes, de acuerdo a la siguiente tabla:

Componente	Valor
R1	10 kOhm
C1	100 pF
D	1N4148
R2	10 kOhm
C2	47 nF

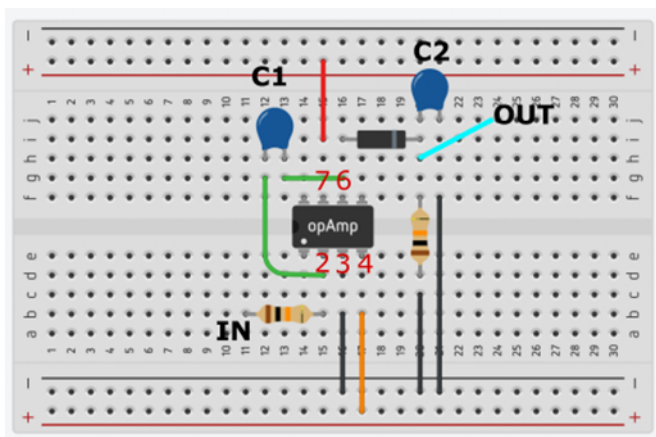
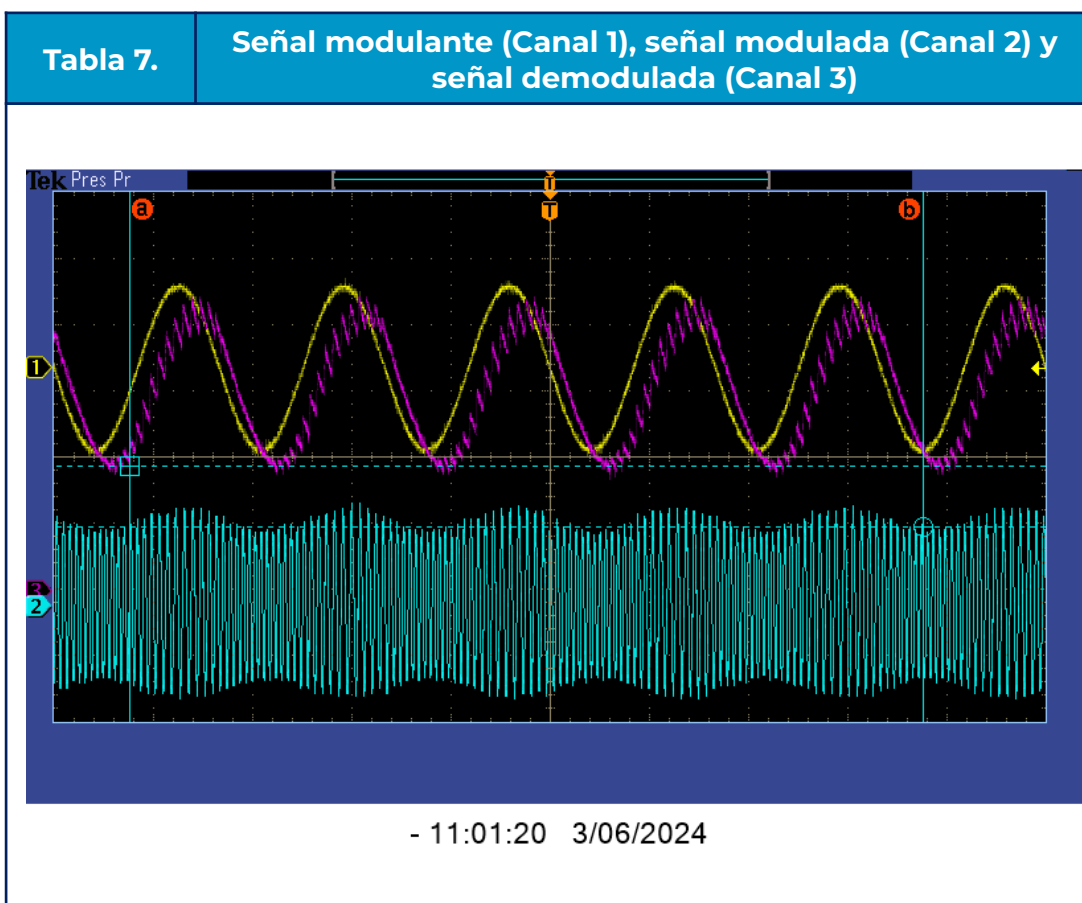
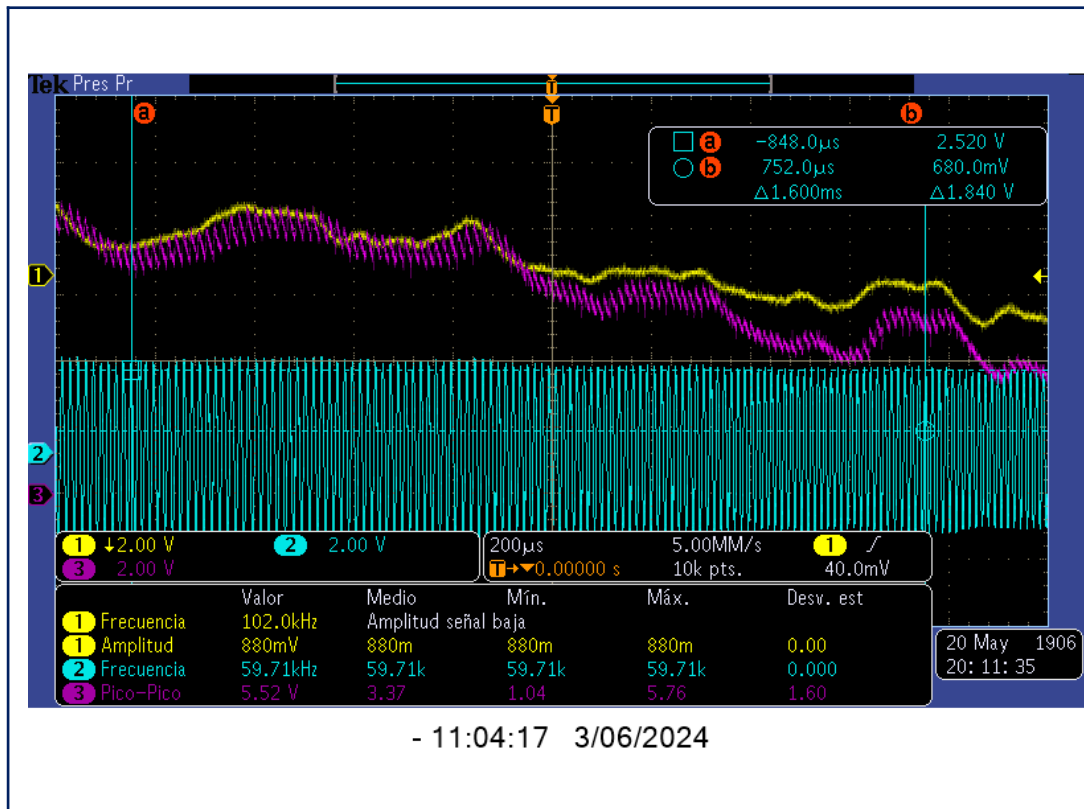


Figura 3. Implementación del circuito demodulador FM.

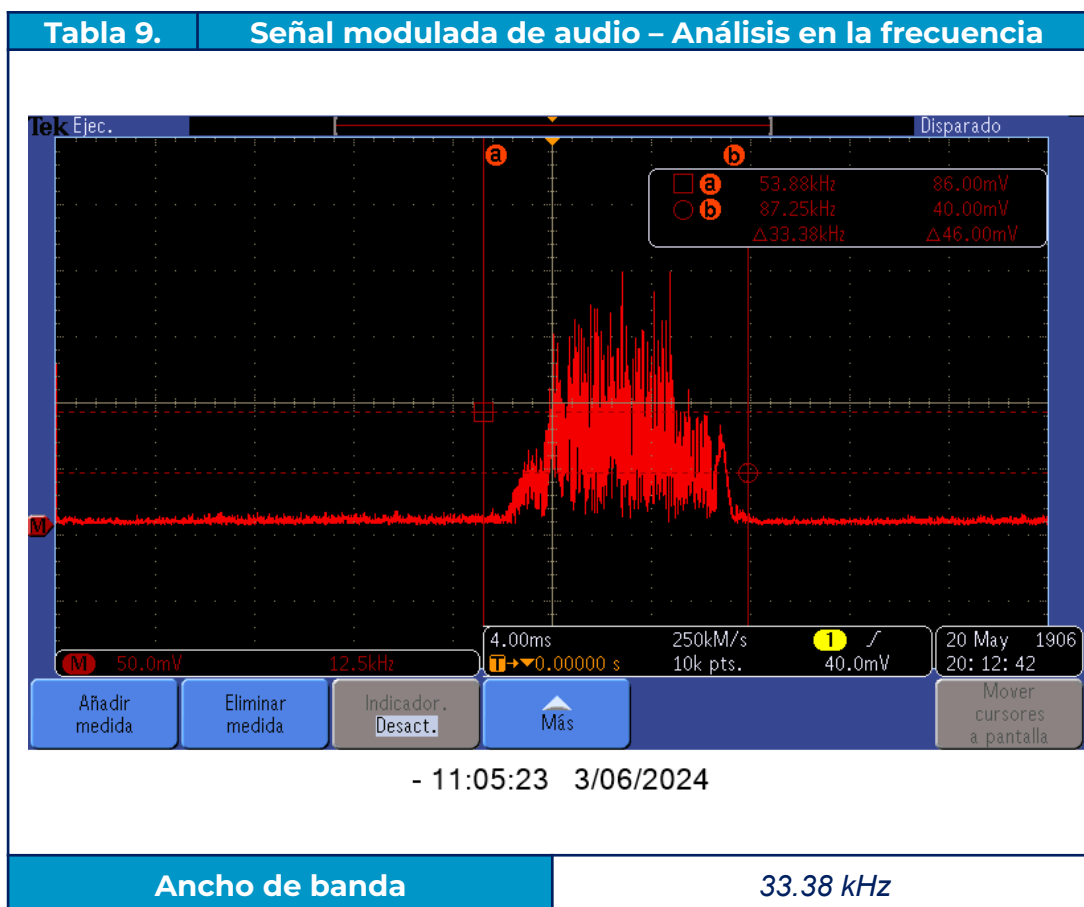


- c) Usar una señal modulante de audio (un video de YouTube de su elección, de preferencia una canción) desde los altavoces de la PC. Usando el osciloscopio, verifique que la señal de audio no sobrepase los **3 Vpp**.
- d) Realice y observe la demodulación de la señal FM en el canal 3 del osciloscopio. Luego, inserte una captura de las señales donde se muestre, con la mayor semejanza posible, la **señal de audio original** y la **señal de audio demodulada (0.5 puntos)**.

Tabla 8.	Señal moduladora (Canal 1) modulada FM (Canal 2) y demodulada (Canal 3) – Análisis en el tiempo
----------	---



- e) Obtener e insertar la gráfica del espectro de la señal modulada FM (Canal 2), Verifique la señal portadora y mida el ancho de banda usando los cursores. **(0.75 puntos)**



**CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES. (1 punto)**

0.25

Observamos que al variar la amplitud de la señal modulante, varía la desviación de frecuencia máxima y a su vez varía el ancho de banda.

Del mismo modo, al variar la frecuencia de la señal modulante, varía la desviación de frecuencia máxima. Al aumentar la frecuencia, la desviación disminuye.

También se observó que al variar la amplitud de la modulante, la amplitud de la portadora varía, para ciertos valores la amplitud de la portadora se hace 0.

conclusiones

Se pudo medir la sensibilidad a la desviación, si bien no se obtuvo un valor constante, se encontraron posibles causas para este hecho.

**INSTRUCCIONES PARA LA ENTREGA**

- La guía debe ser entregada con el formato LABX\_H69Y\_GZ.PDF, donde las letras de color rojo corresponden a los números de laboratorio, horario y grupo respectivamente.
- La entrega de la guía debe realizarse dentro del tiempo indicado en la actividad correspondiente en la plataforma PAIDEIA.
- Es responsabilidad de los integrantes del grupo verificar el documento enviado.

**CRITERIOS DE EVALUACIÓN**

Criterios	Puntaje
Seguir los pasos para determinar la frecuencia de la portadora	0.5 punto
Calcular el índice de modulación y justificar	0.5 puntos
Observar la señal modulante y la señal modulada	0.25 puntos
Calcular la desviación de frecuencia mediante análisis experimental	0.25 puntos
Medir las frecuencias de la portadora y moduladora experimentalmente	0.5 puntos
Explicar mediante análisis experimental	0.5 puntos
Determinar el ancho de banda mediante análisis teórico y experimental	0.5 puntos
Determinar la sensibilidad a partir de la experiencia realizada	1 punto
Verificar invariabilidad de la sensibilidad	0.5 puntos
Implementar el circuito demodulador y medir la salida	1.25 puntos
Realizar y observar la demodulación de la señal FM	0.5 puntos
Medir el ancho de banda experimentalmente	0.75 puntos
Concluir correctamente a partir de lo experimentado y observado	1 punto
Puntaje total	8 puntos

**ANEXO**

Coeficientes de las Funciones de Bessel de 1er. Orden											
$\beta$	$J_0$	$J_1$	$J_2$	$J_3$	$J_4$	$J_5$	$J_6$	$J_7$	$J_8$	$J_9$	$J_{10}$
0	1										
0.2	0.99	0.1									
0.4	0.96	0.2	0.02								
0.6	0.91	0.29	0.04								
0.8	0.85	0.37	0.08	0.01							
1	0.77	0.44	0.11	0.02							
1.2	0.67	0.5	0.16	0.03	< 0.01						
1.4	0.57	0.54	0.21	0.05	< 0.01						
1.6	0.46	0.57	0.26	0.07	0.01						
1.8	0.34	0.58	0.31	0.1	0.02						
2	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	< 0.01					
2.2	0.11	0.56	0.4	0.16	0.05	0.01					
2.4	0	0.52	0.43	0.2	0.06	0.02					
2.6	-0.1	0.47	0.46	0.24	0.08	0.02	< 0.01				
2.8	-0.19	0.41	0.48	0.27	0.11	0.03	< 0.01				
3	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01				
3.2	-0.32	0.26	0.48	0.34	0.16	0.06	0.02				
3.4	-0.36	0.18	0.47	0.37	0.19	0.07	0.02	< 0.01			
3.6	-0.39	0.1	0.44	0.4	0.22	0.09	0.03	< 0.01			
3.8	-0.4	0.01	0.41	0.42	0.25	0.11	0.04	0.01			
4	-0.4	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02			
4.2	-0.38	-0.14	0.31	0.43	0.31	0.16	0.06	0.02	< 0.01		
4.4	-0.34	-0.2	0.25	0.43	0.34	0.18	0.08	0.03	< 0.01		
4.6	-0.3	-0.26	0.18	0.42	0.36	0.21	0.09	0.03	0.01		
4.8	-0.24	-0.3	0.12	0.4	0.38	0.23	0.11	0.04	0.01		
5	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	< 0.01	
5.2	-0.11	-0.34	-0.02	0.33	0.4	0.29	0.15	0.07	0.02	< 0.01	
5.4	-0.04	-0.35	-0.09	0.28	0.4	0.31	0.18	0.08	0.03	< 0.01	
5.6	0.03	-0.33	-0.15	0.23	0.39	0.33	0.2	0.09	0.04	0.01	
5.8	0.09	-0.31	-0.2	0.17	0.38	0.35	0.22	0.11	0.05	0.02	< 0.01
6	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	< 0.01
6.2	0.2	-0.23	-0.28	0.05	0.33	0.37	0.27	0.15	0.07	0.03	< 0.01
6.4	0.24	-0.18	-0.3	-0.01	0.29	0.37	0.29	0.17	0.08	0.03	0.01
6.6	0.27	-0.12	-0.31	-0.06	0.25	0.37	0.31	0.19	0.1	0.04	0.01
6.8	0.29	-0.07	-0.31	-0.12	0.21	0.36	0.33	0.21	0.11	0.05	0.02
7	0.3	0	-0.3	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02
7.2	0.3	0.05	-0.28	-0.21	0.11	0.33	0.35	0.25	0.15	0.07	0.03
7.4	0.28	0.11	-0.25	-0.24	0.05	0.3	0.35	0.27	0.16	0.08	0.04
7.6	0.25	0.16	-0.21	-0.27	0	0.27	0.35	0.29	0.18	0.1	0.04
7.8	0.22	0.2	-0.16	-0.29	-0.06	0.23	0.35	0.31	0.2	0.11	0.05
8	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.11	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06
8.2	0.12	0.26	-0.06	-0.29	-0.15	0.14	0.32	0.33	0.24	0.14	0.07
8.4	0.07	0.27	0	-0.27	-0.19	0.09	0.3	0.34	0.26	0.16	0.08
8.6	0.01	0.27	0.05	-0.25	-0.22	0.04	0.27	0.34	0.28	0.18	0.1
8.8	-0.04	0.26	0.1	-0.22	-0.25	-0.01	0.24	0.34	0.29	0.2	0.11