

Mejoramiento de las comunicaciones analógicas y digitales vía el Electrochorro Ecuatorial empleando diversidad

Ing. Nadia P. Yoza

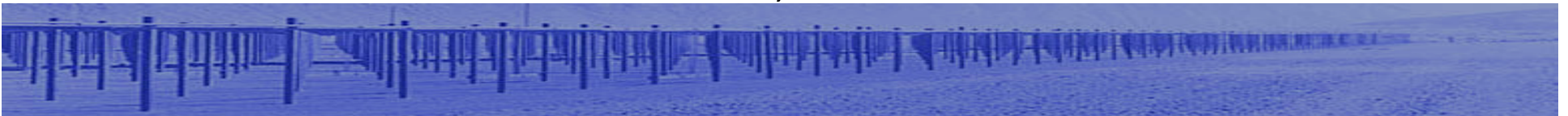
Dr. Jorge L. Chau

Dr. Ronald F. Woodman

Radio Observatorio de Jicamarca

ECI

Enero, 2010



Objetivos

1. Mejorar la calidad de las comunicaciones vía EEJ



Diversidad

2. Desarrollar un simulador de comunicaciones analógicas y digitales vía el EEJ



Mejorar el modelo de simulación analógico-digital existente

3. Validar los resultados del simulador para diferentes condiciones del sistema



Pruebas de campo

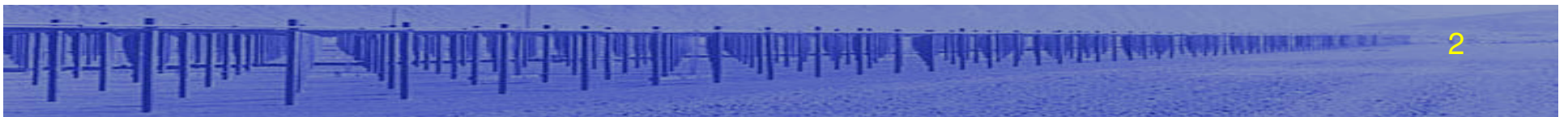
4. Experimentar con otros tipos de modulación digital



Modulación digital aplicada en simulaciones y pruebas de campo

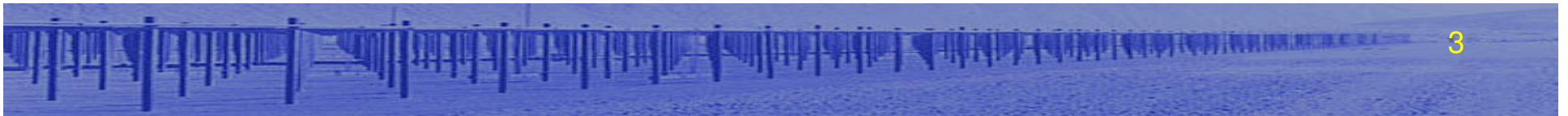


Promover el uso sistemático del EEJ como medio alternativo de comunicaciones en el Perú

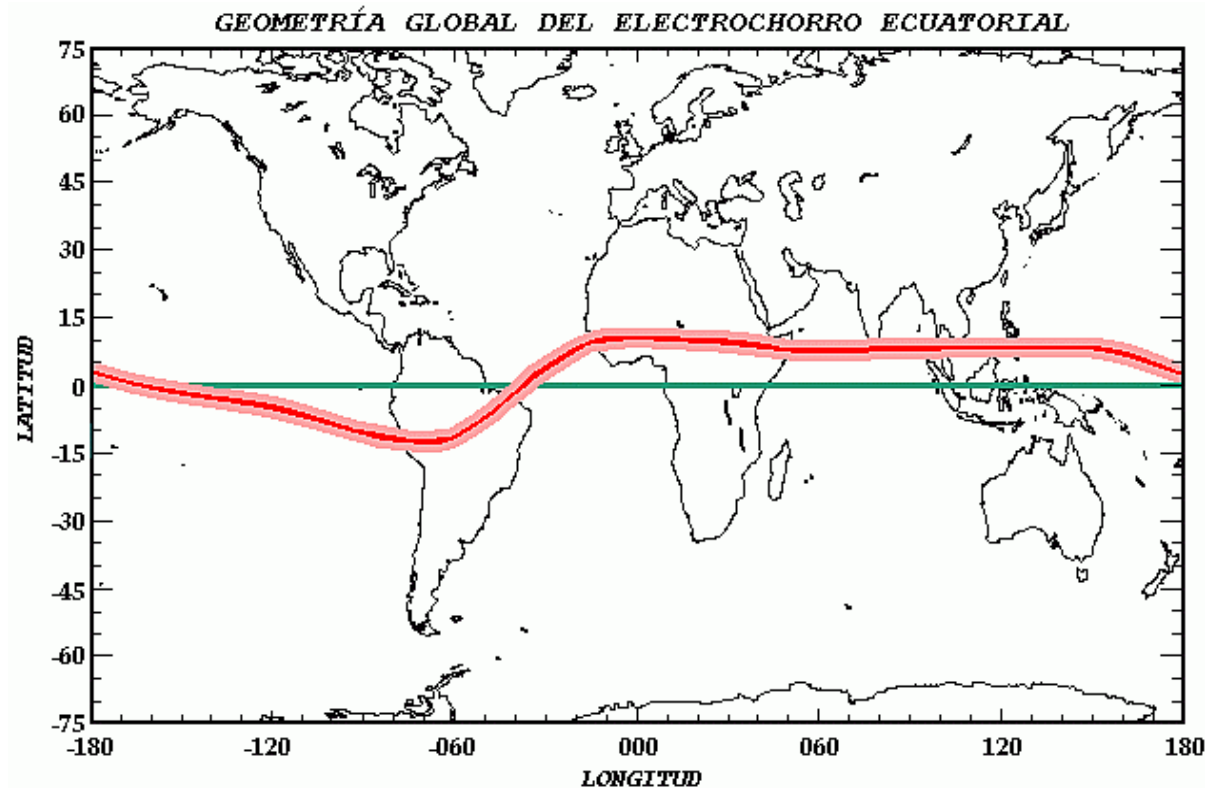


Contenido

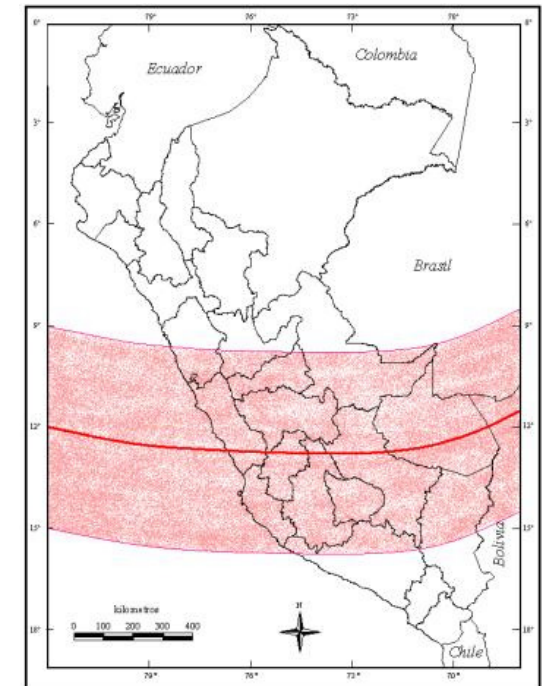
1. Marco teórico
2. Simulador de comunicaciones vía EEJ
3. Resultados de las simulaciones
4. Pruebas de campo: enlace Jicamarca–Paracas
5. Conclusiones



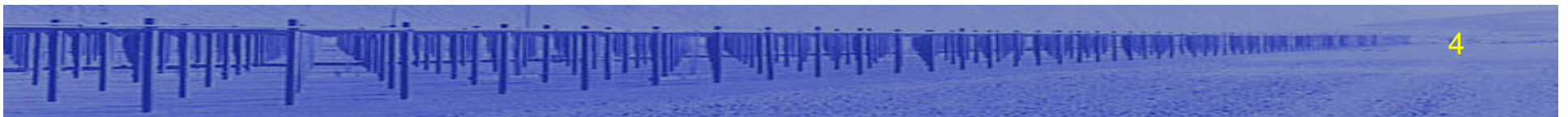
El Electrochorro Ecuatorial (EEJ)



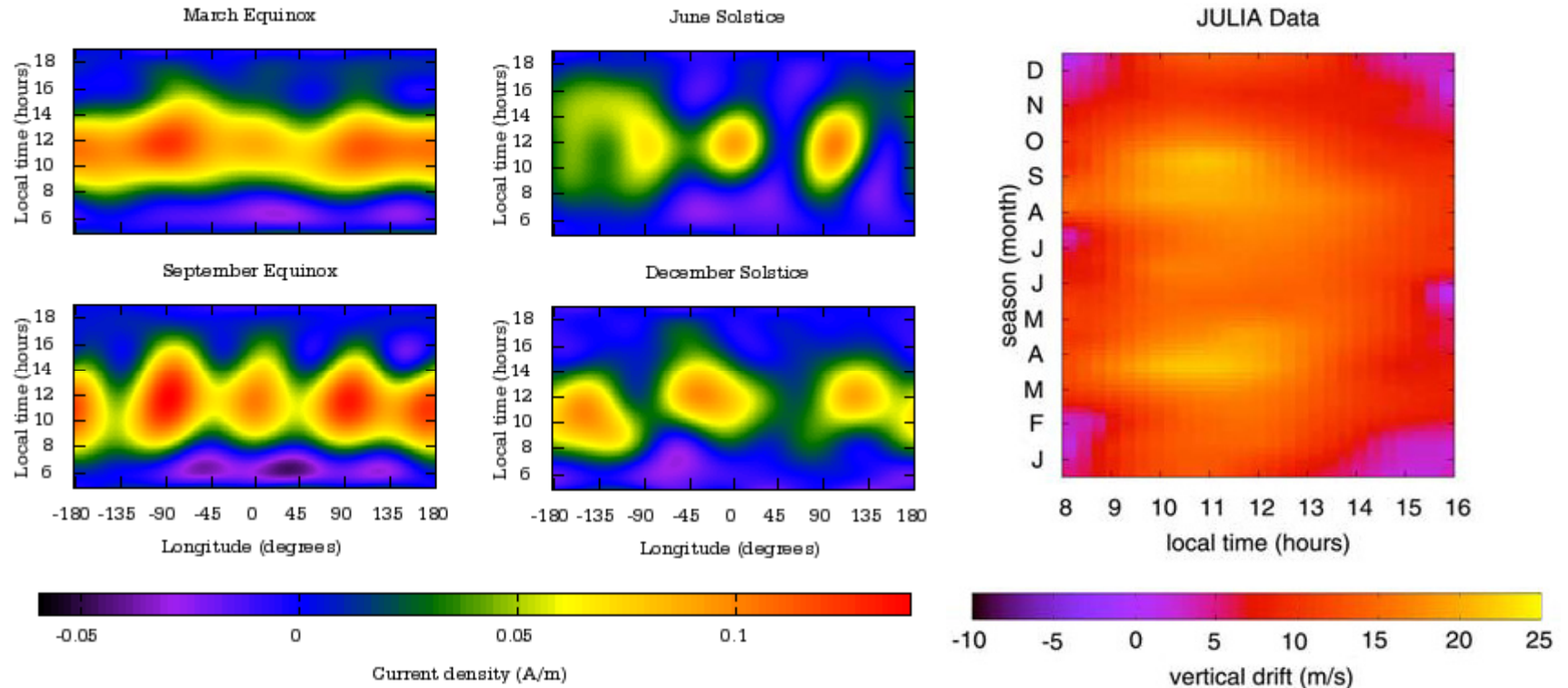
Geometría global del EEJ



Geometría local del EEJ

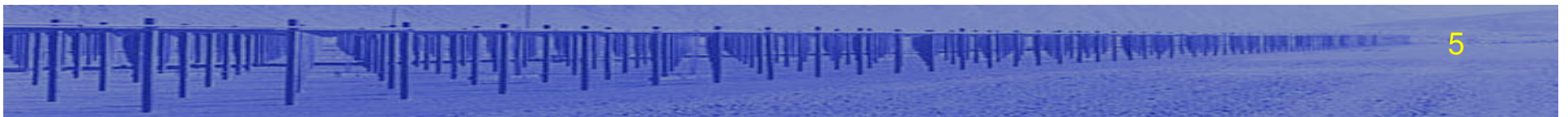


El Electrochorro Ecuatorial (EEJ)

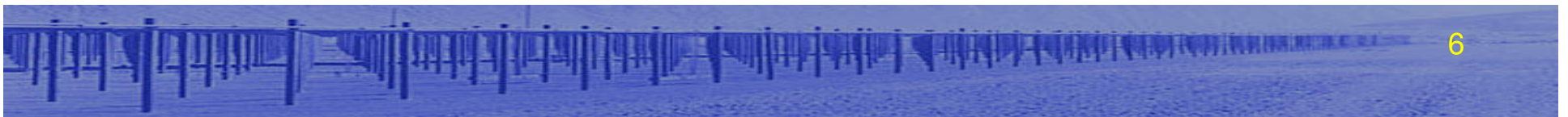
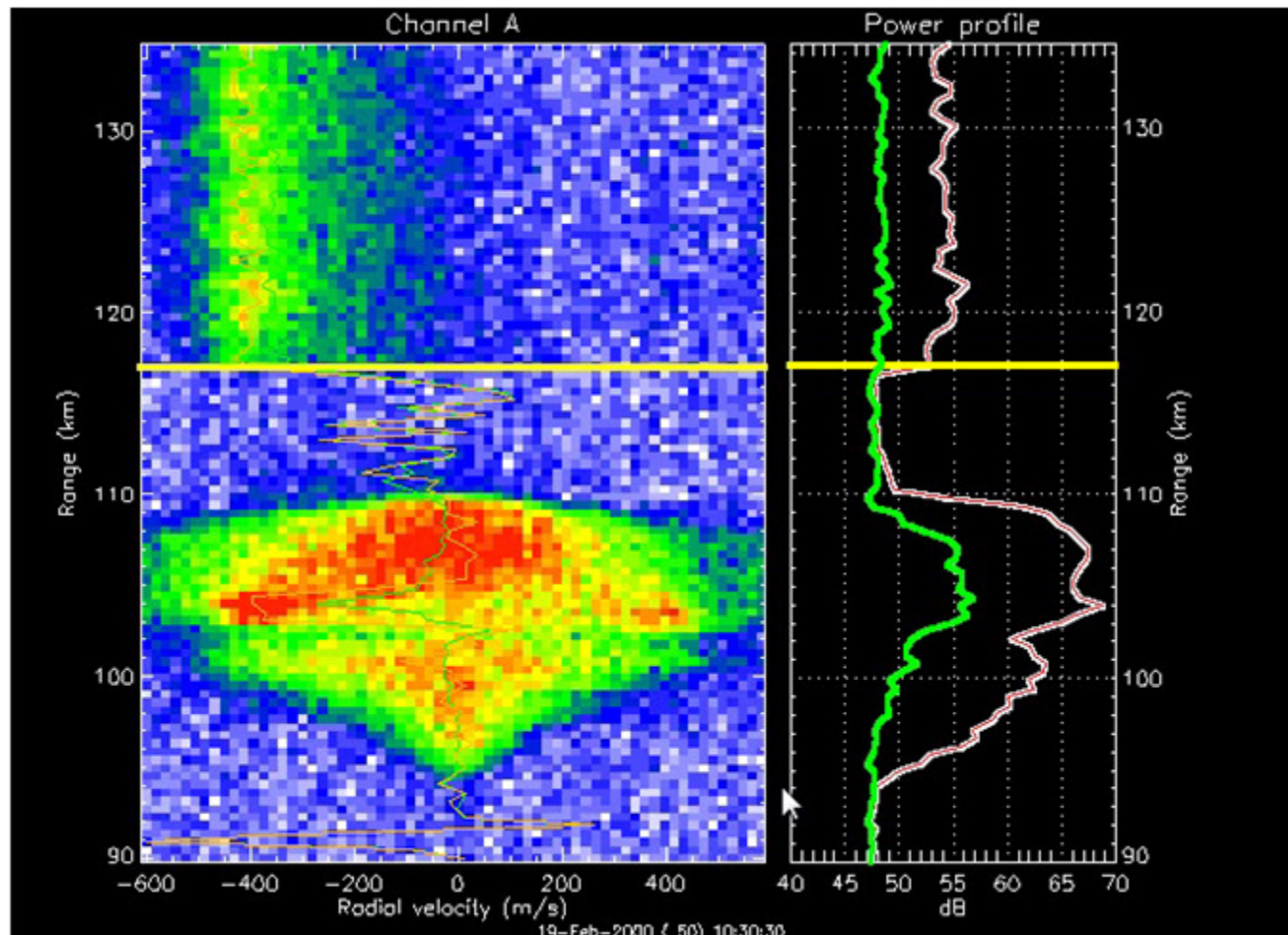


Variación temporal de la intensidad del EEJ a nivel global
[<http://geomag.org/models/EEJ.html>]

Variación estacional de la intensidad del EEJ medida en Jicamarca [Alken, 2009]

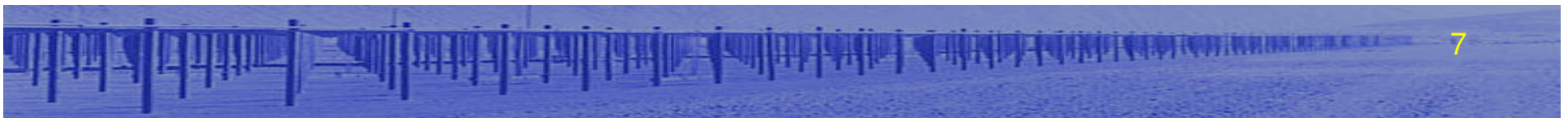
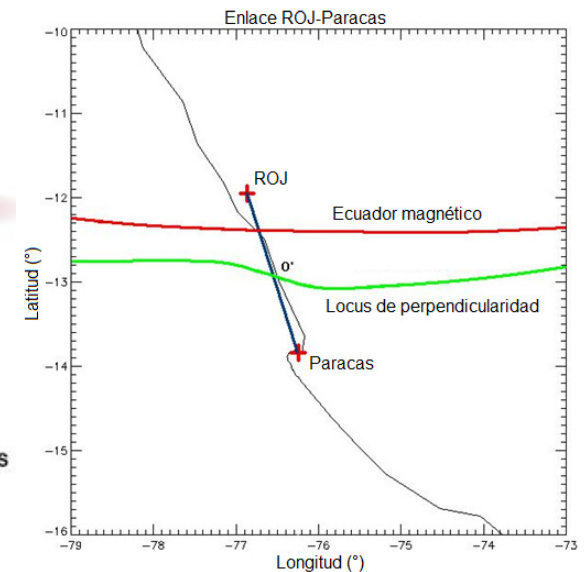
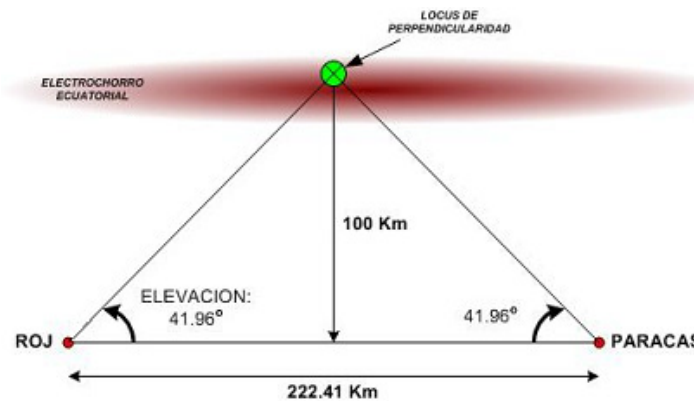
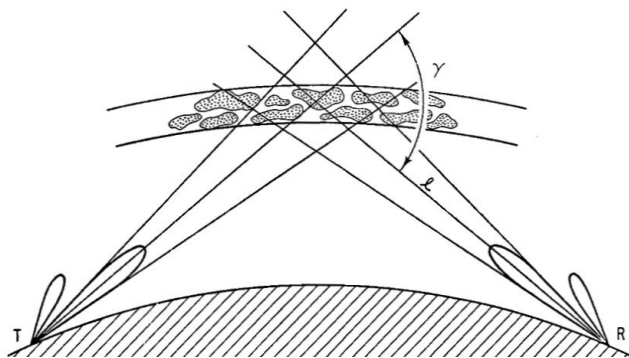


El Electrochorro Ecuatorial (EEJ)



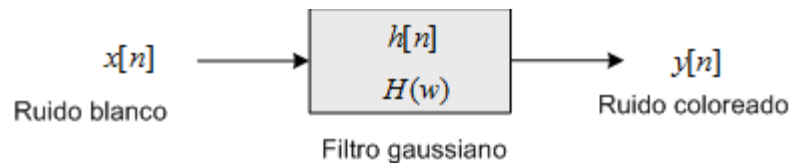
Antecedentes de las comunicaciones vía EEJ

Antecedentes	Pruebas de campo		Simulación	
	Tipo de modulación		Tipo de modulación	
	Analógica	Digital	Analógica	Digital
Cohen, Bowles (1957)	CW	-	-	-
Romero, Giesecke, Pérez (1966)	CW	-	-	-
Romero (1967)	SSB	-	-	-
Heraud (1971)	FM	-	-	-
Valladares, Woodman (1975)	-	-	FM	-
Chocos, Sarango (2005)	AM, SSB, FM	PSK31	-	-

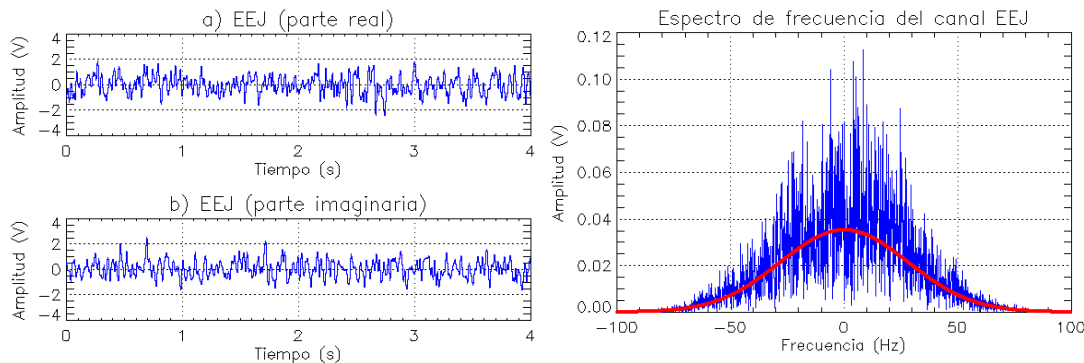


Simulador de comunicaciones vía EEJ

Basado en la técnica de simulación analógica-digital de comunicaciones vía EEJ propuesto por Valladares y Woodman (1975)



Generación del canal de comunicaciones EEJ



EEJ: Proceso aleatorio gaussiano de espectro gaussiano

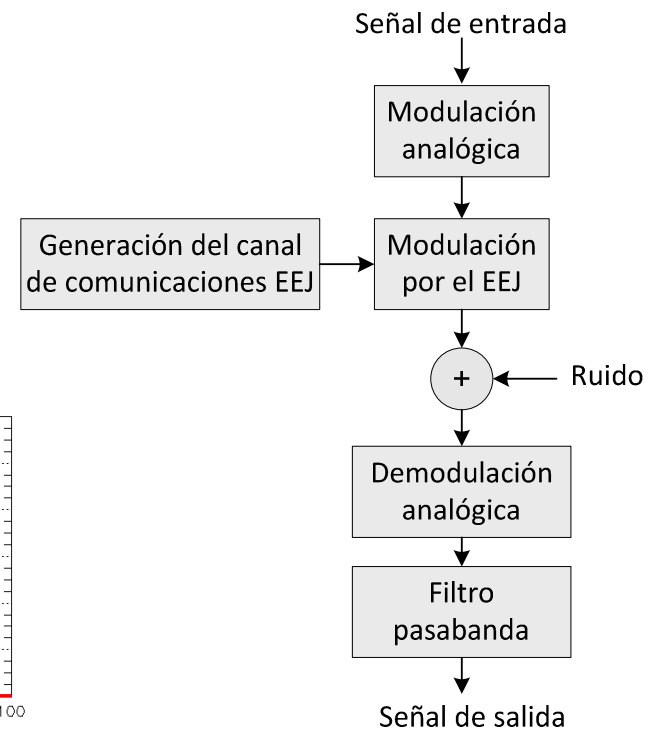
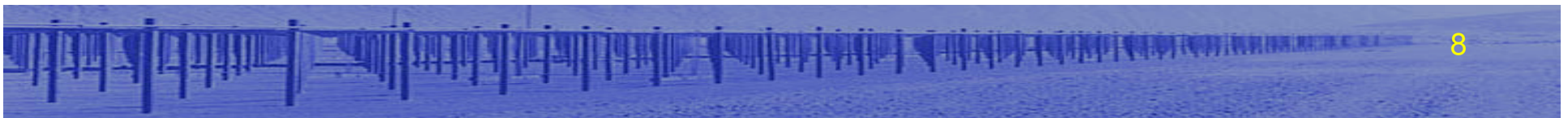
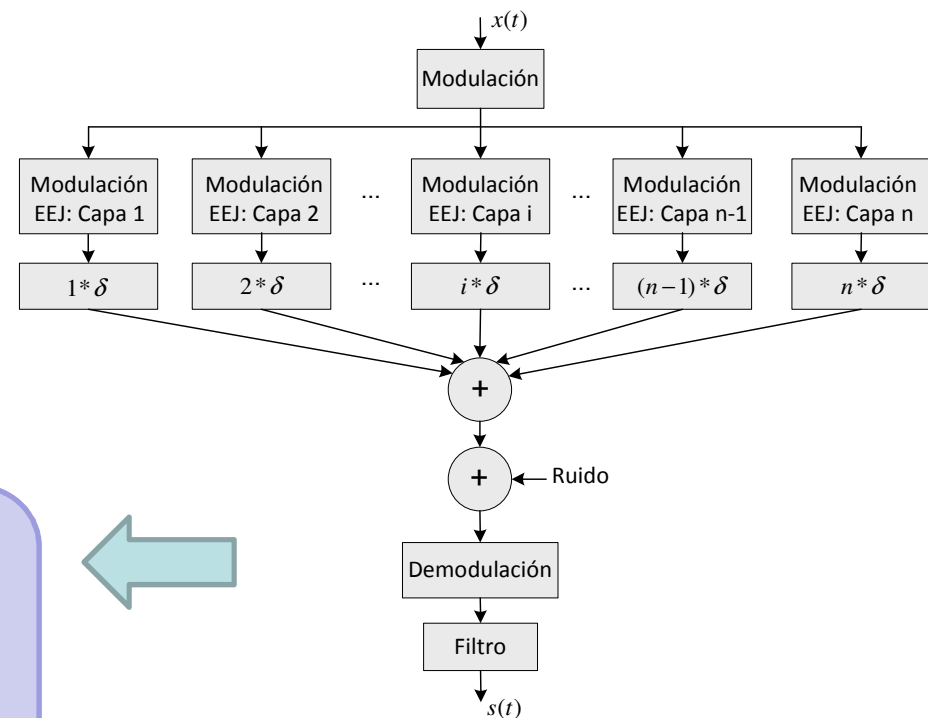
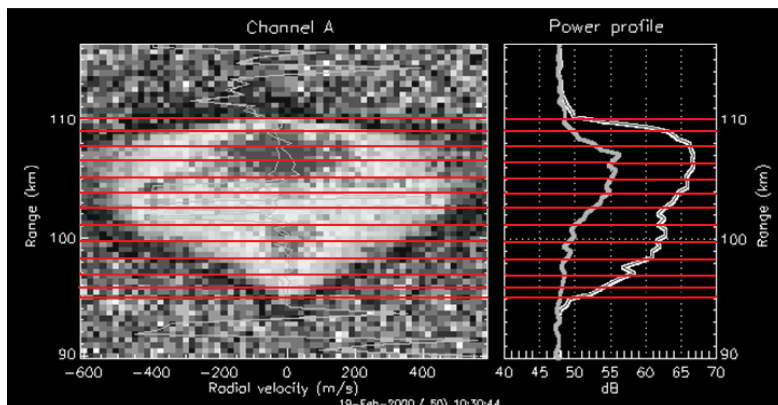


Diagrama de bloques del simulador



Simulador de comunicaciones vía EEJ

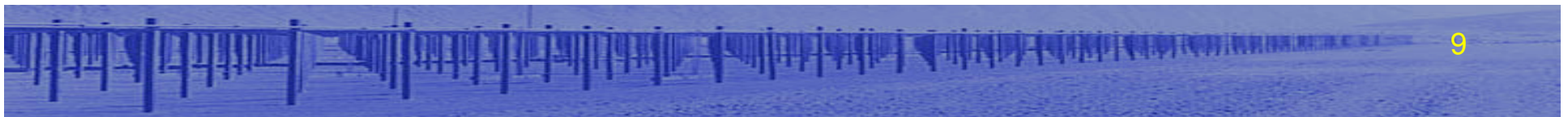
Simulación del espesor de la capa del EEJ



Parámetros del canal:

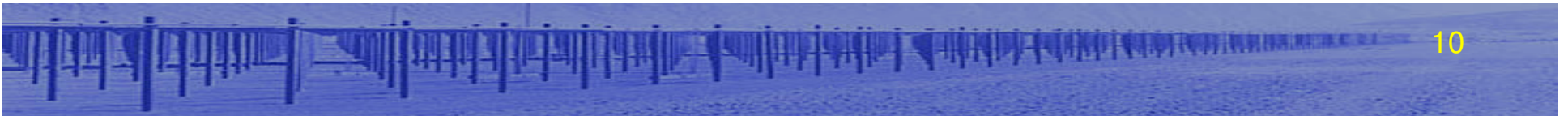
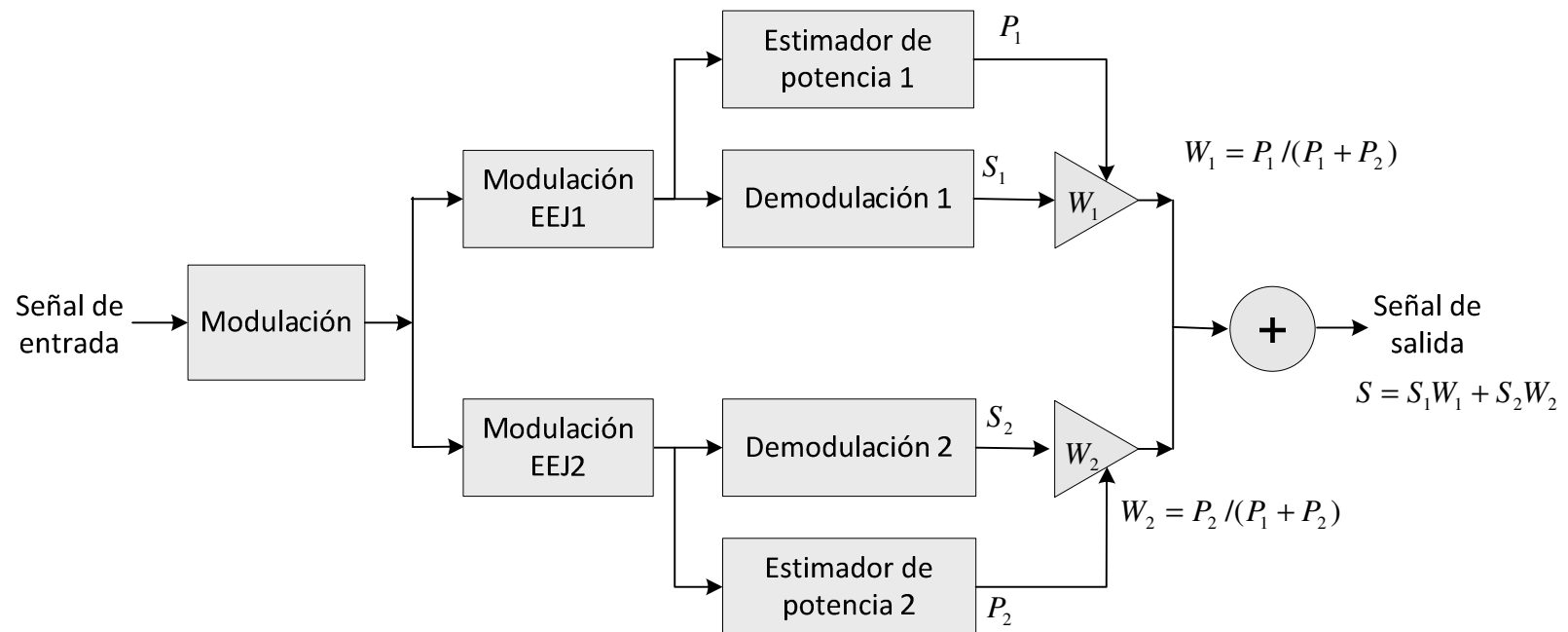
- Ancho de banda del canal EEJ:
10 kHz
- Tasa de símbolos teórica máxima:
10 kbaud

Simulación de EEJ de múltiples capas

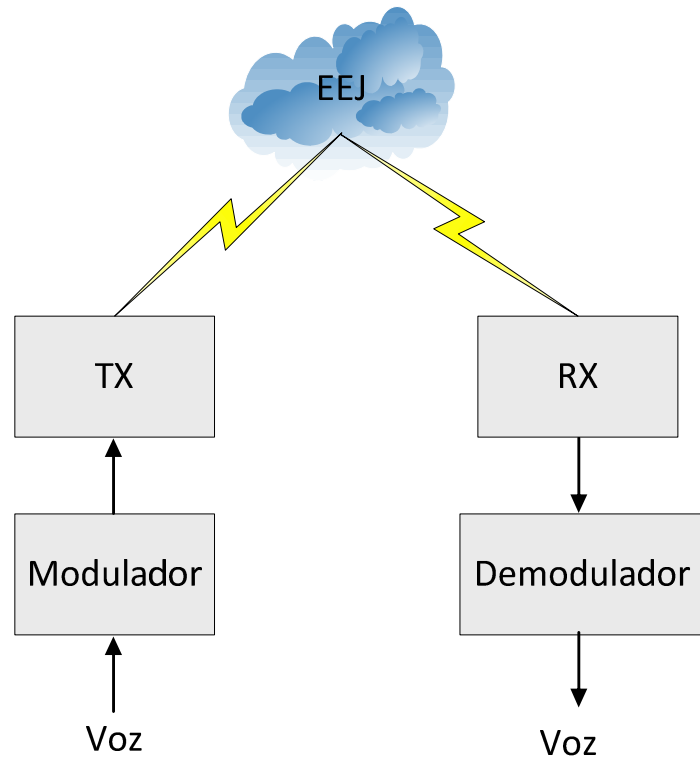


Simulador de comunicaciones vía EEJ

Simulación de diversidad



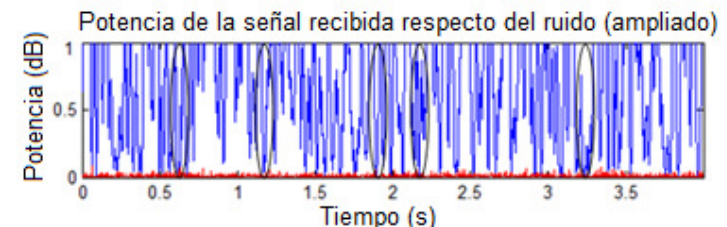
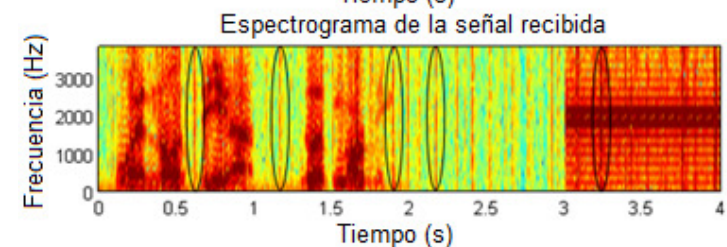
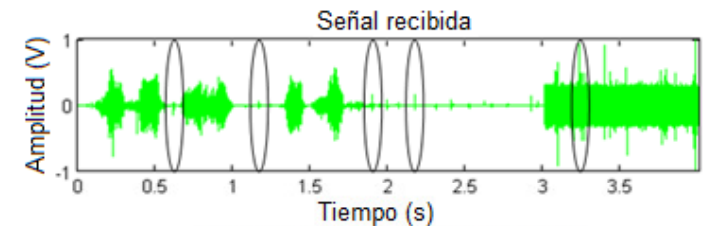
Resultados de las simulaciones Transmisión de voz



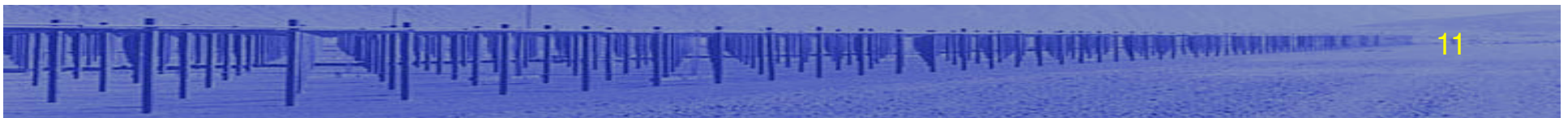
LSB: señal llorosa

FM: desvanecimientos

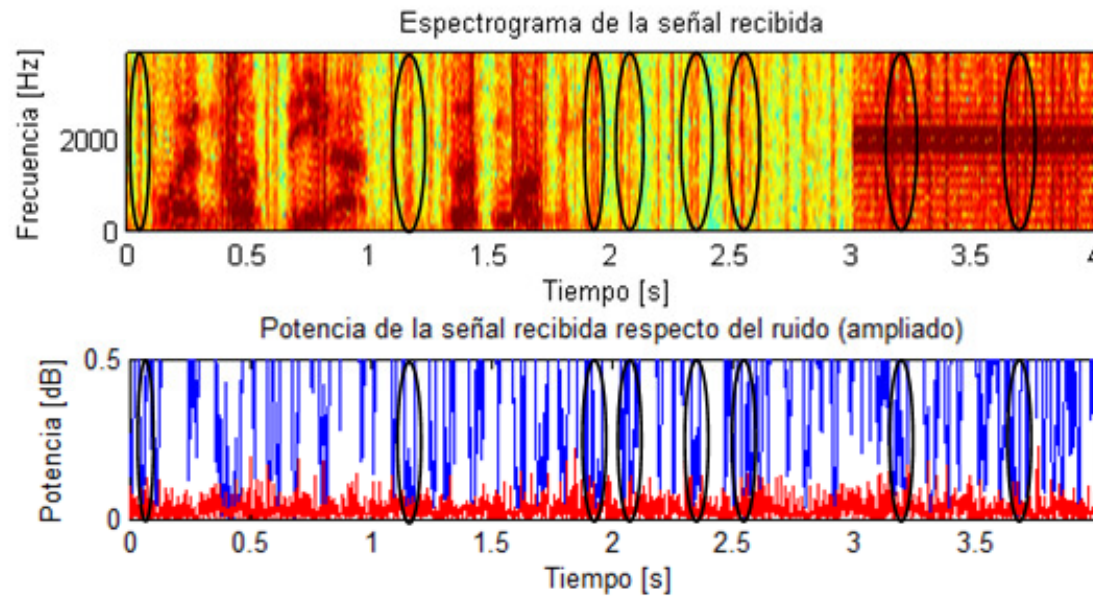
Pruebas Simulaciones



Desvanecimientos en FM



Resultados de las simulaciones Transmisión de voz

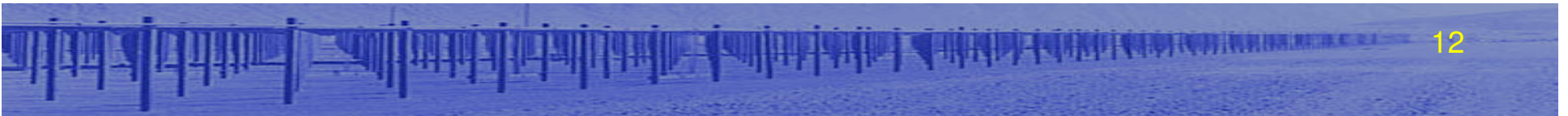


Aleatoriedad de los desvanecimientos

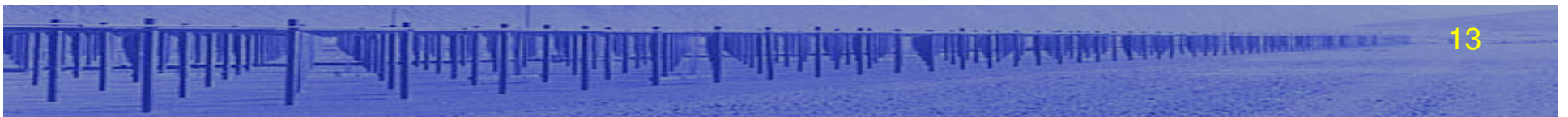
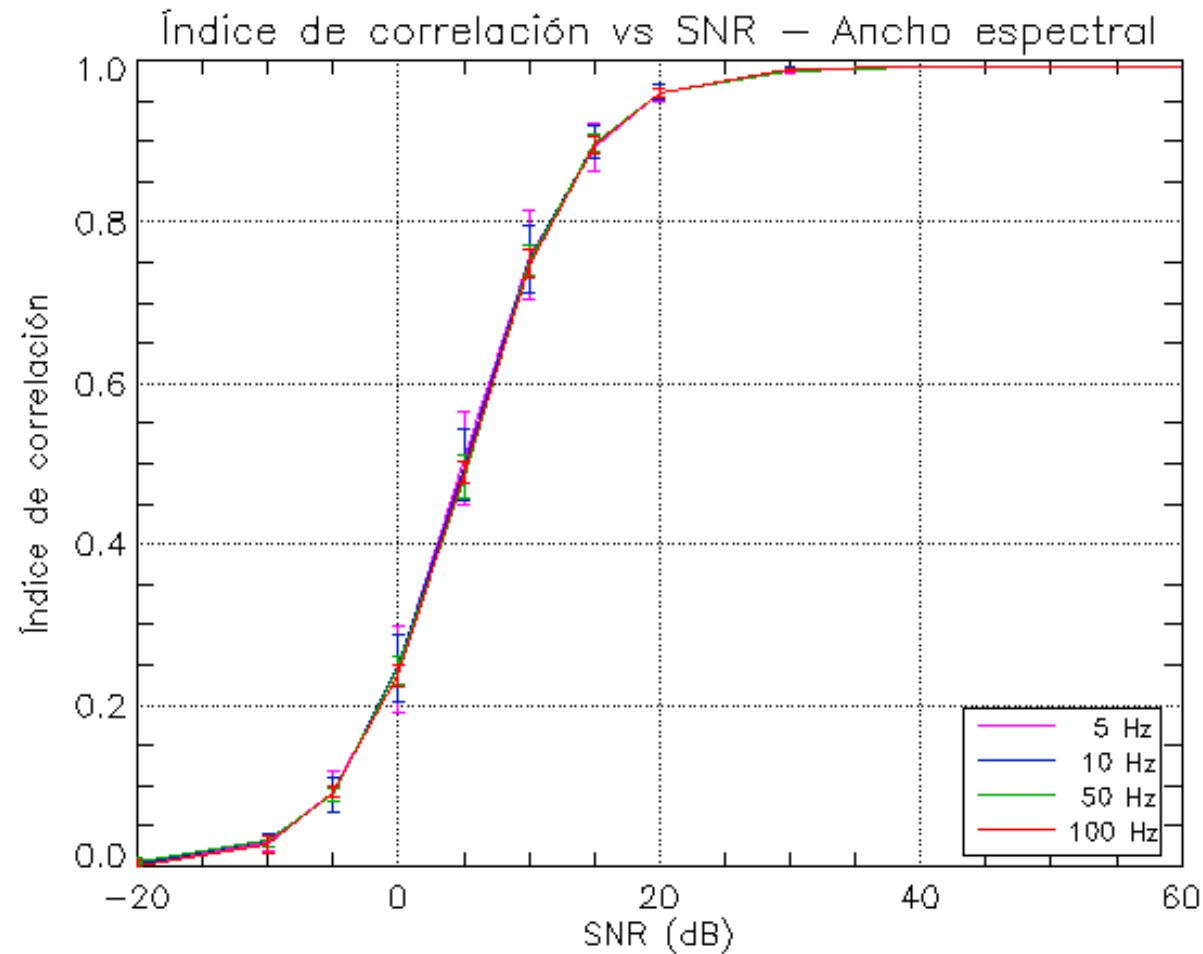
¿Cómo contrarrestarlos?



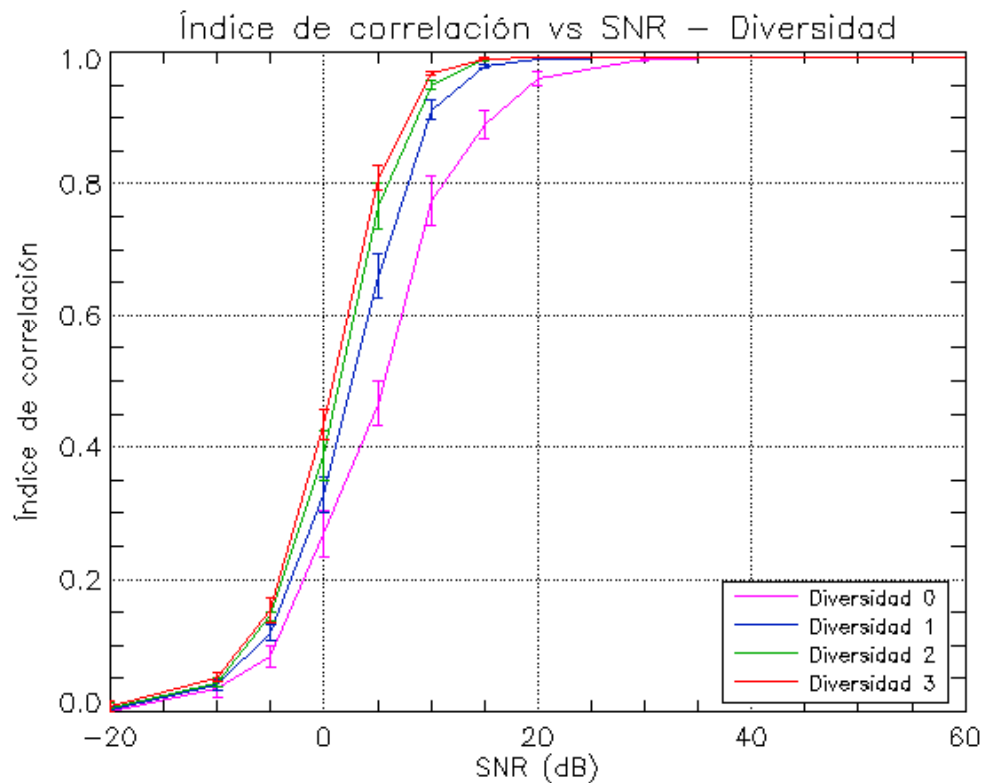
Diversidad



Resultados de las simulaciones Transmisión de voz



Resultados de las simulaciones Transmisión de voz

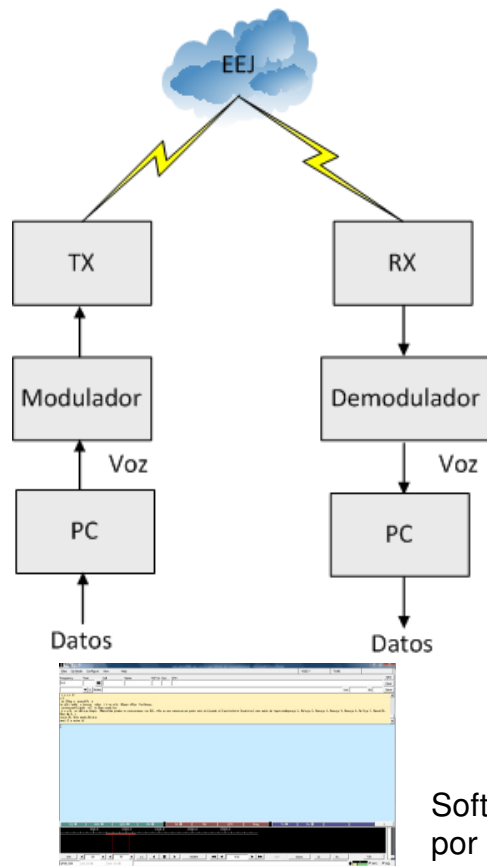


Parámetros	Sin diversidad	Con diversidad (dos realizaciones)
FM, SNR = 10 dB		
FM, SNR = 20 dB		
FM, SNR = 30 dB		



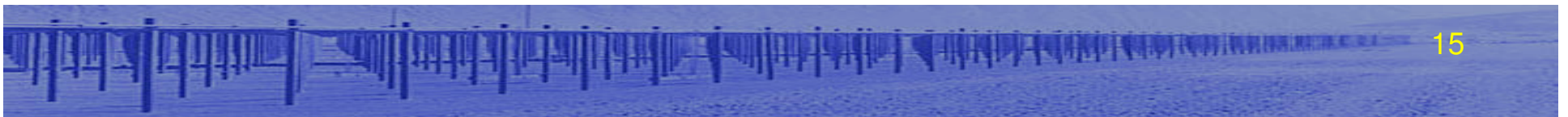
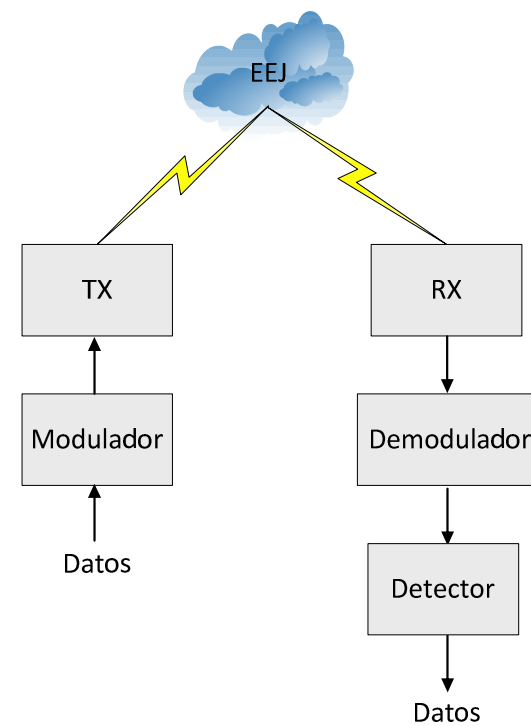
Resultados de las simulaciones Transmisión de datos

Simulación indirecta



Software de modulación digital usado
por radioaficionados

Simulación directa



Resultados de las simulaciones

Transmisión de datos de modo indirecto

Tipos de modulación empleados

Modo	Tipo de modulación	Tasa de símbolos (baudios)	Corrección de errores	Palabras por minuto (wpm)
PSK31	PSK	31.25	No	50
PSK250	PSK	250	No	400
QPSK31	QPSK	31.25	Sí	50
QPSK250	QPSK	250	Sí	400
MFSK32	16-FSK	31.25	Sí	120
MFSK64	16-FSK	62.5	Sí	240

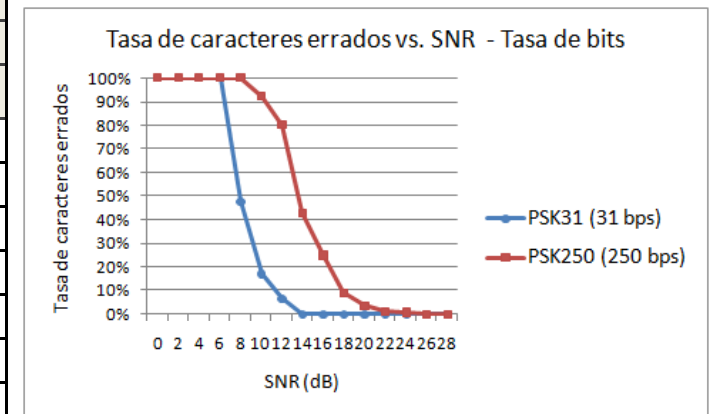


Resultados de las simulaciones

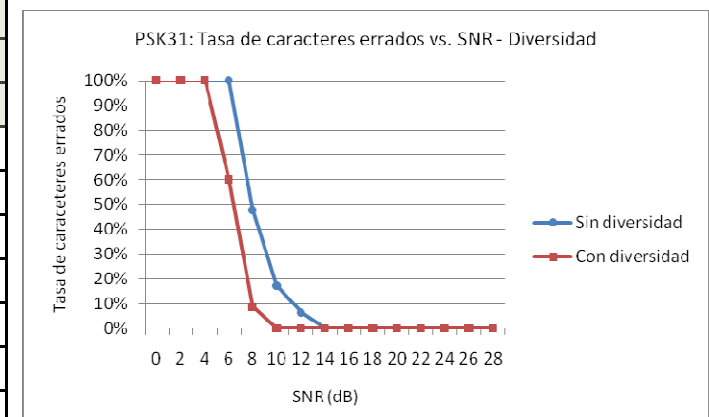
Transmisión de datos de modo indirecto

Tasa de caracteres errados

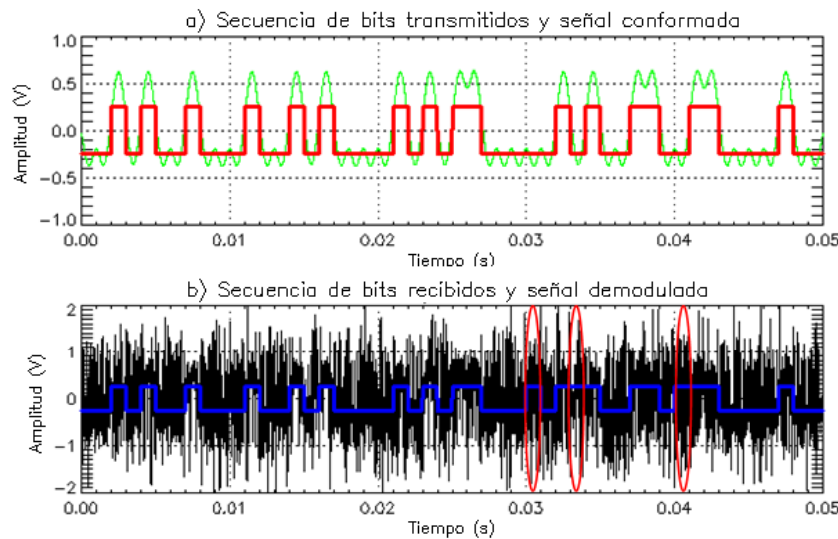
SNR (dB)	SIN DIVERSIDAD					
	PSK		QPSK		MFSK	
	PSK31	PSK250	QPSK31	QPSK250	MFSK32	MFSK64
4	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
8	47.60%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
12	6.38%	80.00%	31.21%	100.00%	0.00%	87.66%
16	0.00%	25.00%	0.00%	33.15%	0.00%	0.00%
20	0.00%	3.49%	0.00%	2.04%	0.00%	0.00%
24	0.00%	0.76%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
28	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%



SNR (dB)	CON DIVERSIDAD					
	PSK		QPSK		MFSK	
	PSK31	PSK250	QPSK31	QPSK250	MFSK32	MFSK64
4	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
8	8.51%	98.86%	70.00%	100.00%	19.15%	100.00%
12	0.00%	32.50%	0.00%	91.86%	0.00%	0.00%
16	0.00%	1.52%	0.00%	1.71%	0.00%	0.00%
20	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
24	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
28	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%



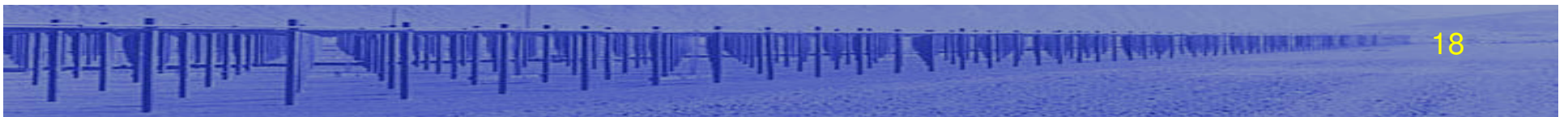
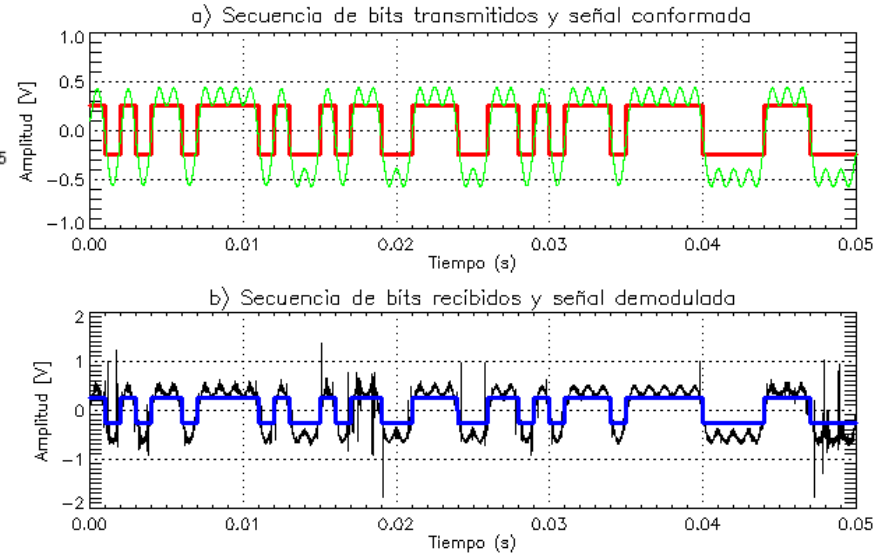
Resultados de las simulaciones Transmisión de datos de modo directo



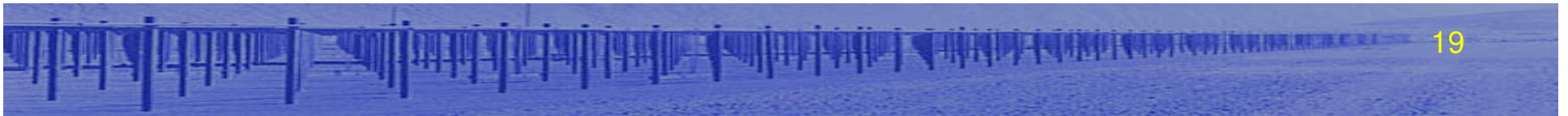
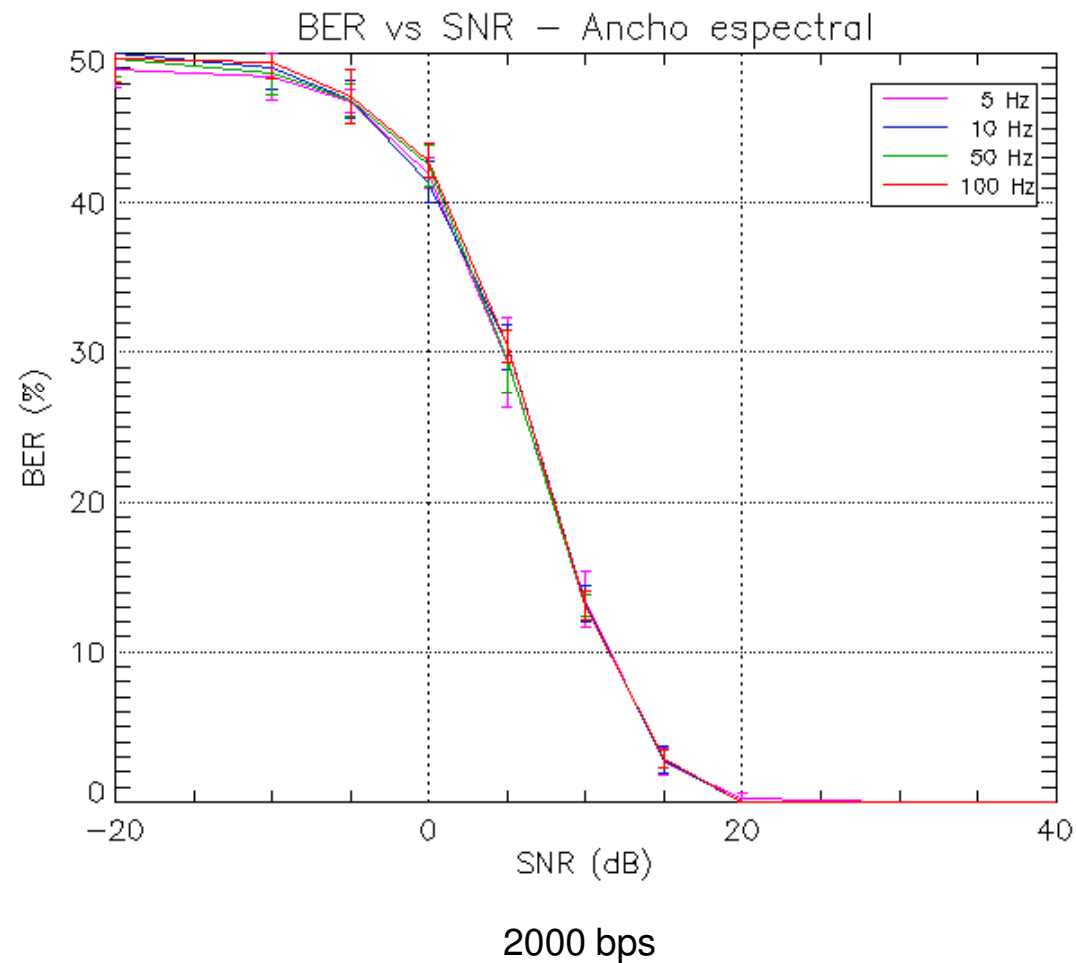
SNR = 10 dB
Bit rate = 1000 bps
BER = 6%

Pulsos gaussianos

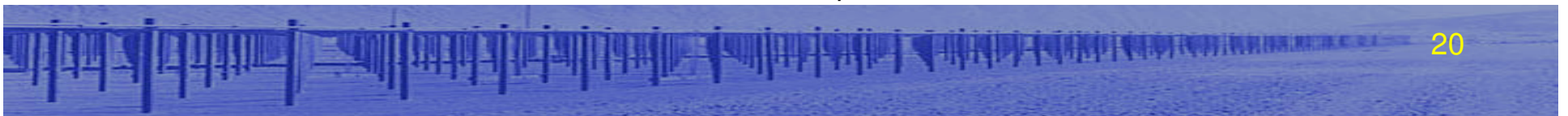
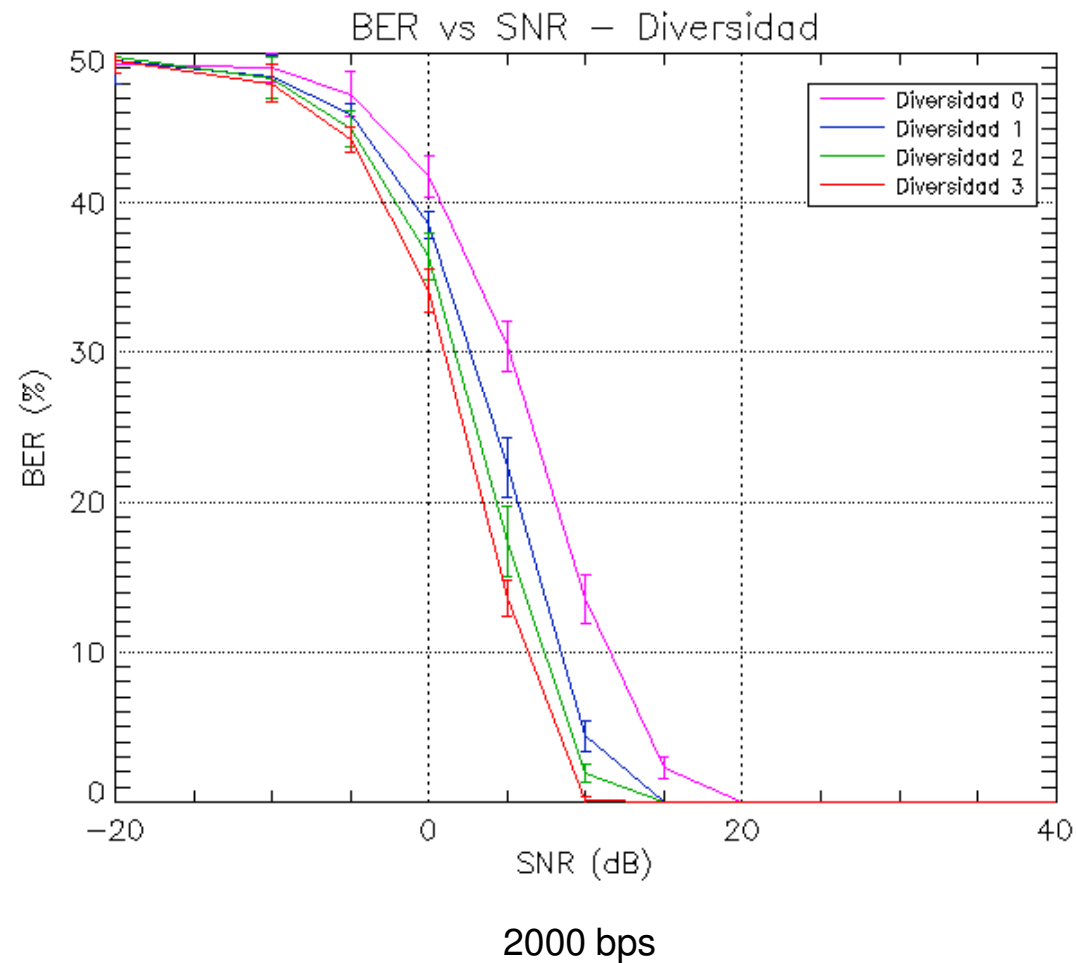
SNR = 30 dB
Bit rate = 1000 bps
BER = 0 %



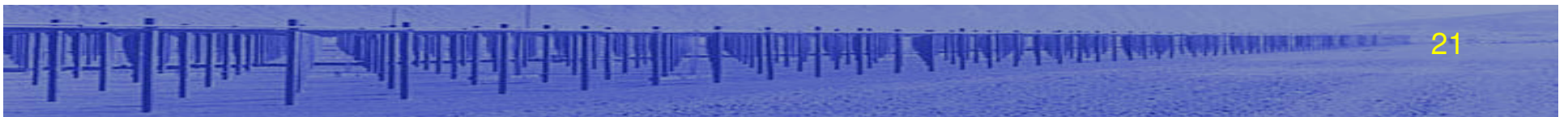
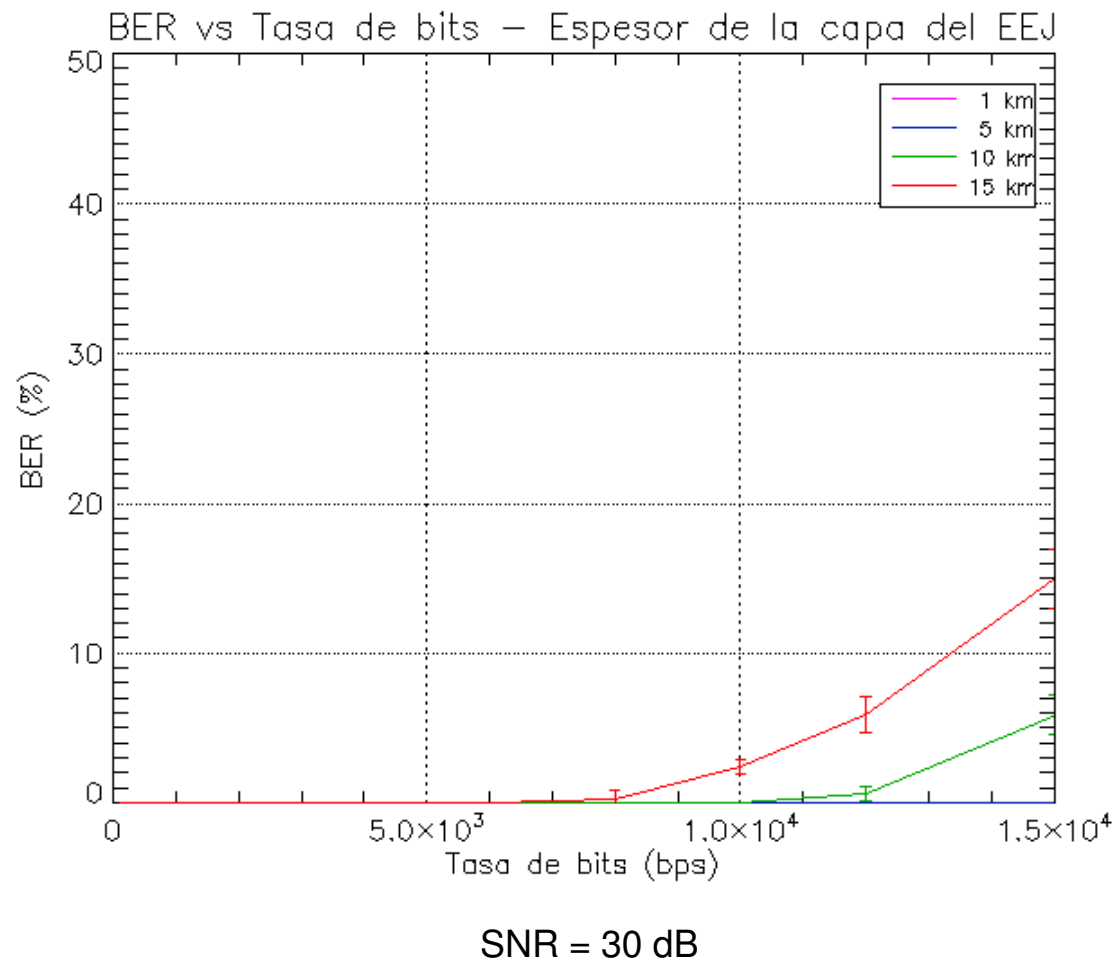
Resultados de las simulaciones Transmisión de datos de modo directo



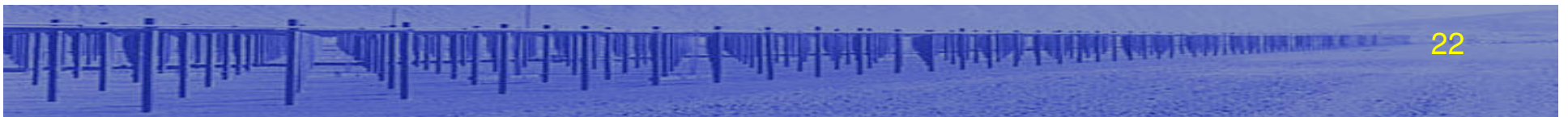
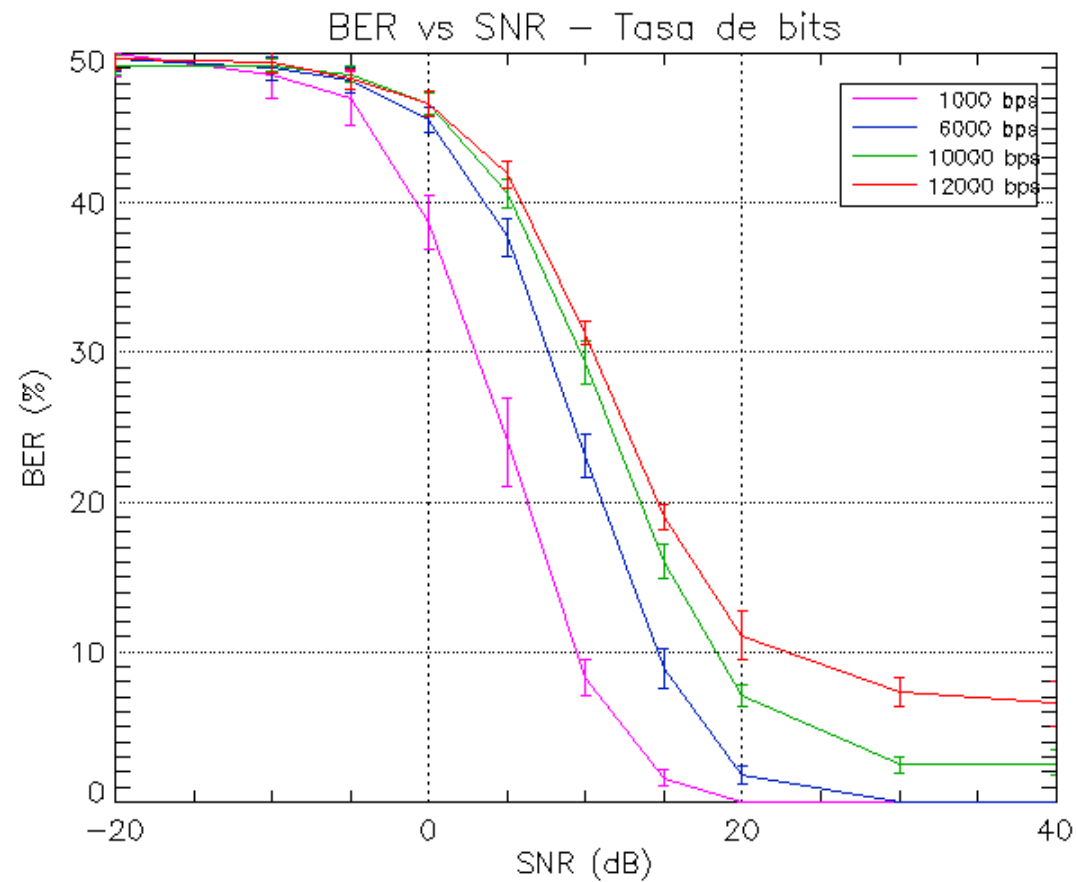
Resultados de las simulaciones Transmisión de datos de modo directo



Resultados de las simulaciones Transmisión de datos de modo directo



Resultados de las simulaciones Transmisión de datos de modo directo



Resultados de las simulaciones

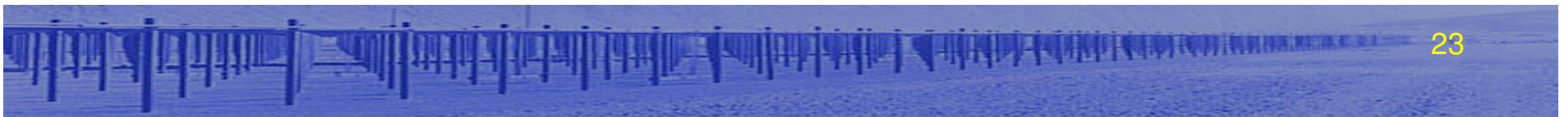
Se observa que

- A mayor **SNR**, mayor calidad de las comunicaciones de voz y datos vía EEJ.
- El uso de **diversidad** permite contrarrestar los desvanecimientos y mejorar así la calidad de la voz y datos recibidos.
- A menor **tasa de bits**, menor porcentaje de bits errados.

¿Cómo validamos estos resultados?



Pruebas de campo



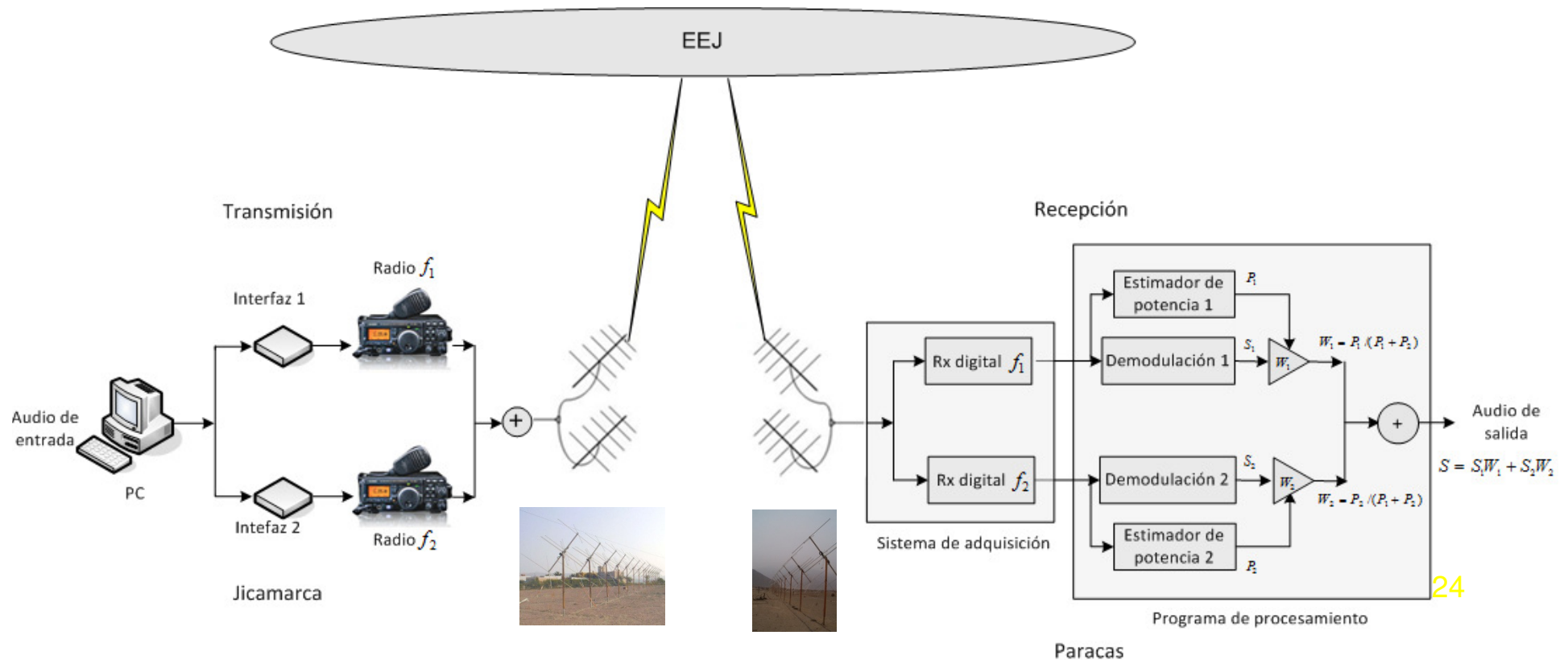
Pruebas de campo: enlace Jicamarca-Paracas



Diversidad en
frecuencia

$F_1 = 49.75 \text{ MHz}$
 $F_2 = 50.25 \text{ MHz}$

$P_{tx} = 80 \text{ W}$

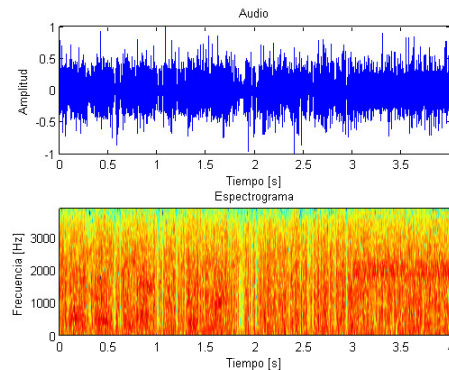


Resultados de las pruebas de campo

Transmisión de voz

Sin diversidad

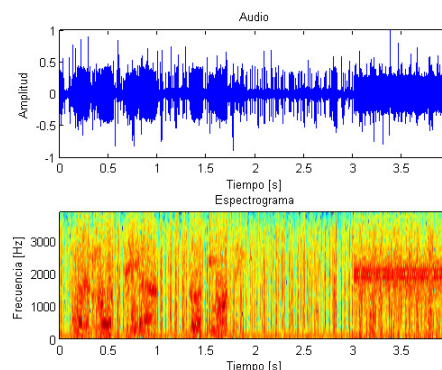
SNR bajo = 11 dB



$r=0.27$



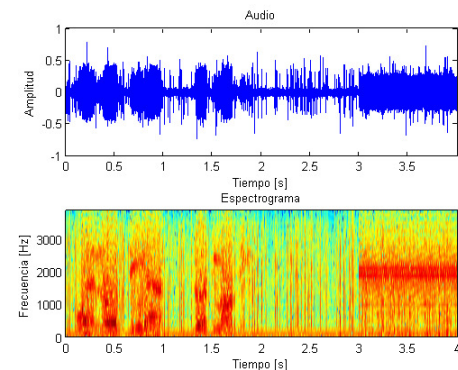
SNR medio = 17 dB



$r=0.58$



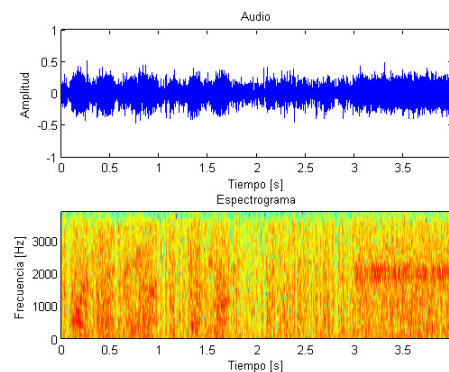
SNR alto = 21 dB



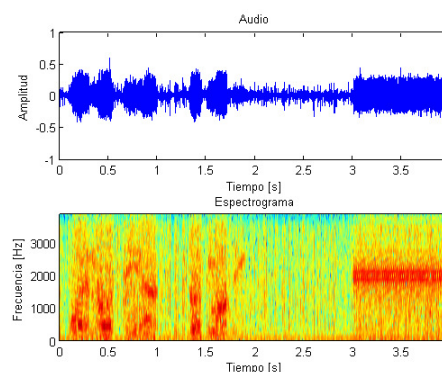
$r=0.7$



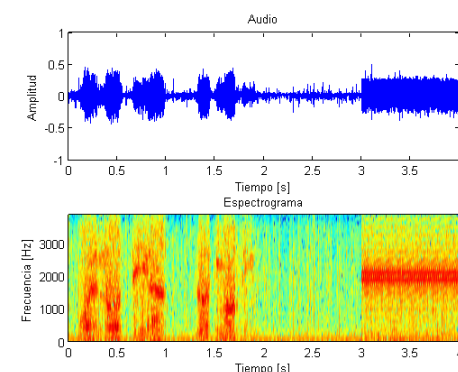
Con diversidad



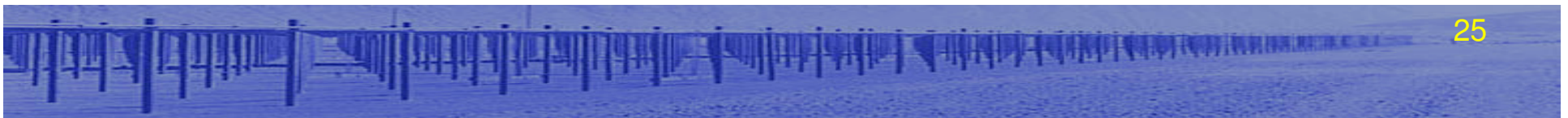
$r=0.44$



$r=0.78$



$r=0.82$



Resultados de las pruebas de campo

Transmisión de datos de modo indirecto

Tasa de caracteres errados

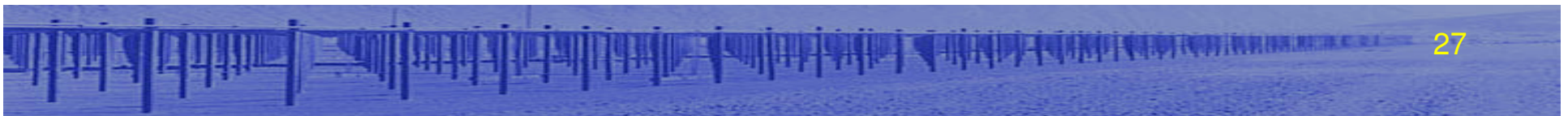
Mensaje transmitido	SNR	@Mensaje de prueba para comunicaciones via EEJ. Esta es una comunicacion punto a punto utilizando al Electrochorro Ecuatorial como medio de dispersion. Mensaje 1. Mensaje 2. Mensaje 3. Mensaje 4. Mensaje 6. Mensaje 7. Mensaje 8. Mensaje 9. Mensaje 10. Hola mundo.@"	
Mensaje recibido PSK250		Sin diversidad	Con diversidad
	15 dB	faensaje_epsece pa co euniciones vus EE Esta es ent o i edn on nO p +tmutilizando al Elect? m rro Eccatoritl como medio de d n,rsoonu Mensae. Mensaje C o MSaDa enkMen e4. Mensaje. Mensaje 7. Mensa#e 8 n teensaoaile. Mensajito. Uola muedo.@" Porcentaje de caracteres errados: 35%, aprox.	@Mensaje de prueba para comunicaciones via EEJ. Esta es una comunicacion punto a punto utilizando al Electrochorro Ecuatorial como medio de dispersion. Mensaje 1. Mensaje 2. Mensaeae en. Mensaje 4. Mensaje 6. Mensaje 7. Mensaje 8. Mensaje 9. Mensaje 10. Hola mundo.@" Porcentaje de caracteres errados: 0.76%
	17 dB	@Mensaje de prueba para comunicaciones via EE Esta es una comunicac on puen a punC utilizand al Electrochorro Ecuatorial como medit de dispersion. Mensaje 1. Mensajr2. Mea aje 3. Mensaje 4. nsaje 6. Mensaj 7. Mensaje 8u Mensaje 9. nsaje 10. HoÃ mundo.@" Porcentaje de caracteres errados: 9.47%	@Mensaje de prueba para comunicaciones via EEJ. Esta es una comunicacion punto a punto utilizando al Electrochorro Ecuatorial como medio de dispersion. Mensaje 1. Mensaje 2. Mensaje 3. Mensaje 4. Mensaje 6. Mensaje 7. Mensaje 8. Mensaje 9. Mens je 10. Hola mundo.@" Porcentaje de caracteres errados: 0.38 %
	21 dB	@Mensaje de prueba para comunicaciones via EEJ. Esta es una comunicacion punto a punto utilizando al Electrochorro Ecuatorial como medio de dispersion. Mensaje 1. Mensaje 2. Mensaje 3. Mensaje 4. Mensaje 6. Mensaje 7. Mensaje 8. Mensaje 9. Mensaje 10. Hola mundo.@" Porcentaje de caracteres errados: 0 %	@Mensaje de prueba para comunicaciones via EEJ. Esta es una comunicacion punto a punto utilizando al Electrochorro Ecuatorial como medio de dispersion. Mensaje 1. Mensaje 2. Mensaje 3. Mensaje 4. Mensaje 6. Mensaje 7. Mensaje 8. Mensaje 9. Mensaje 10. Hola mundo.@" Porcentaje de caracteres errados: 0 %

Resultados de las pruebas de campo Transmisión de datos de modo indirecto

Tasa de caracteres errados

SNR (dB)	SIN DIVERSIDAD					
	PSK		QPSK		MFSK	
	PSK31	PSK250	QPSK31	QPSK250	MFSK32	MFSK64
10	7.79%	100.00%	17.86%	100.00%	0.00%	64.94%
14	0.00%	38.96%	0.00%	81.17%	0.00%	0.00%
17	0.00%	9.47%	0.00%	10.23%	0.00%	0.00%
21	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

SNR (dB)	CON DIVERSIDAD					
	PSK		QPSK		MFSK	
	PSK31	PSK250	QPSK31	QPSK250	MFSK32	MFSK64
10	0.00%	87.66%	0.38%	100.00%	0.00%	5.52%
14	0.00%	3.57%	0.00%	11.36%	0.00%	0.00%
17	0.00%	0.38%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
21	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%



Resultados de las pruebas de campo

Se comprueba que

- A mayor **SNR**, mayor calidad de las comunicaciones de voz y datos vía EEJ.
- El uso de **diversidad** permite contrarrestar los desvanecimientos y mejorar así la calidad de la voz y datos recibidos.
- A menor **tasa de bits**, menor porcentaje de caracteres errados.

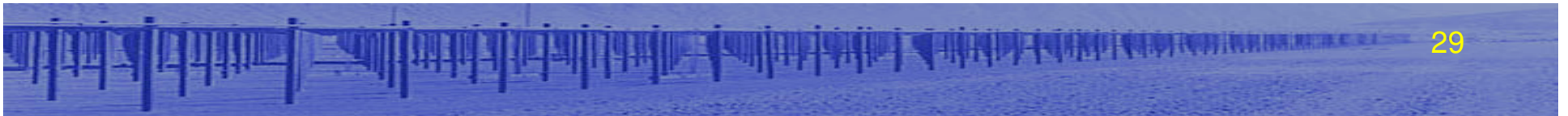


Simulador validado



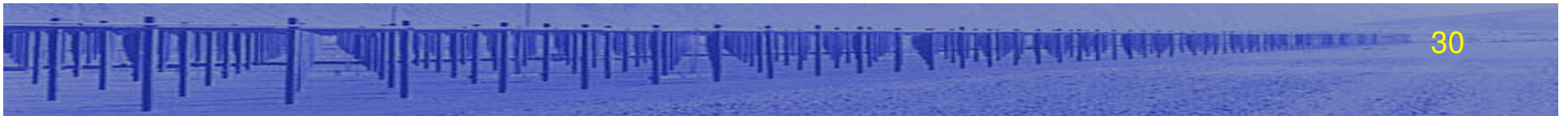
Conclusiones

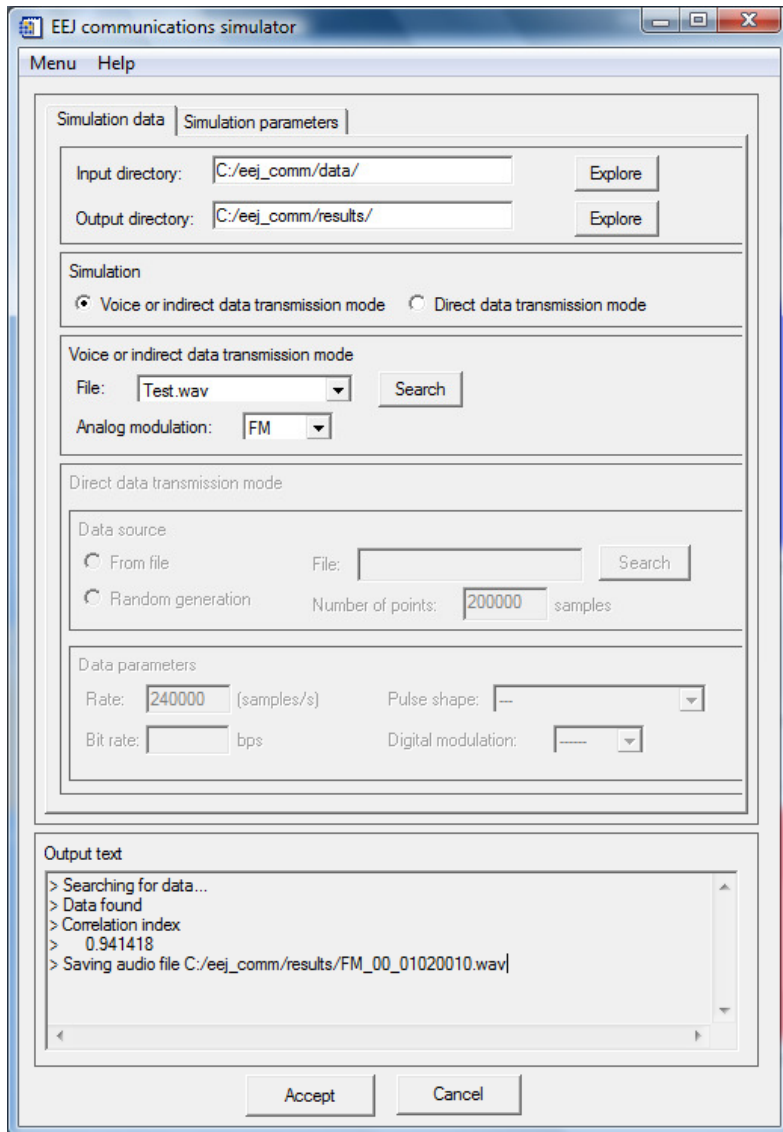
1. Se simuló con éxito las comunicaciones analógicas y digitales a través del EEJ. El simulador fue mejorado y validado mediante las pruebas de campo en diferentes condiciones.
2. Se logró mejorar considerablemente la calidad de la voz y datos recibidos usando diversidad.
3. Se logró transmitir datos empleando otras formas de modulación digital.
4. El ancho de banda teórico del canal EEJ es de 10 kHz.
5. La variación del ancho espectral del EEJ no afecta la calidad de las comunicaciones.
6. A mayor SNR, mayor calidad de las comunicaciones.
7. A mayor tasa de transmisión, los datos se verán más afectados por los desvanecimientos.



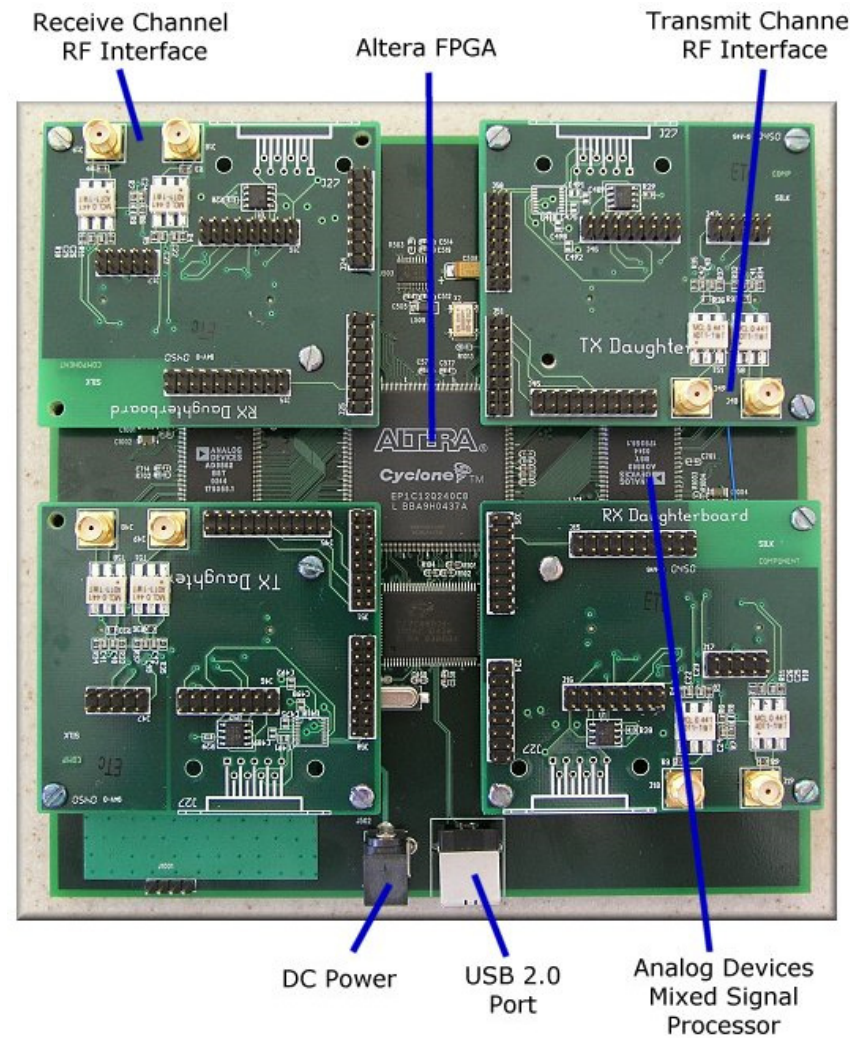
Trabajos futuros

1. Interfaz gráfica para el simulador
2. Software-Defined Radio (SDR)
3. Otras técnicas de transmisión y esquemas de modulación
4. Multichannel
5. Enlace de comunicaciones entre dos puntos ubicados en el ecuador magnético (ej: Jicamarca-Puerto Maldonado)





Simulador de comunicaciones vía EEJ



USRP



Muchas gracias

