

CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y CONCLUSIONES

1 Introducción

Una vez adquirida la base teórica necesaria y, una vez propuesta una plataforma de simulación adecuada, es el momento de extraer resultados de las simulaciones hechas. Antes de comenzar, no estaría de más hacer un breve recordatorio del propósito de este proyecto. Se pretende demostrar que existen métodos de estimación de la **BER** para sistemas de comunicaciones que, para probabilidades de error pequeñas, emplean menos recursos computacionales y consumen un menor tiempo de simulación que otros métodos empleados hasta ahora. Estos nuevos métodos están basados en la modificación de las propiedades estadísticas de los procesos de ruido para, en una determinada simulación de transmisión de bits a través de un canal de transmisión, producir un aumento en el número de errores producidos. De esta manera se obtendrán buenas estimaciones de la probabilidad de error del sistema, mediante la realización de cortas simulaciones.

Para tal propósito se emplea un sistema de comunicaciones basado en técnicas de transmisión de espectro ensanchado de secuencia directa, que emplean códigos pseudoaleatorios de longitud $L = 1023$ chips. Para desarrollar esta simulación se ha empleado el software SIMULINK 3.0 que proporciona el paquete MATLAB 5.3.1.

2 Parámetros de simulación

Una vez planteado el sistema de comunicaciones se eligen los parámetros que regirán su funcionamiento, es decir, se establece un marco de simulación adecuado, que permita alcanzar los objetivos marcados.

Se trabajará con una señal binaria cuya tasa es de 50 bps aproximadamente. La señal binaria la fabricará, a partir de una determinada semilla, un generador aleatorio binario de Bernoulli, que producirá con igual probabilidad unos y ceros. Esta señal binaria se ensanchará en el bloque *Emisor CDMA* con un *código Gold* de 1023 chips. Los *códigos Gold* empleados se generarán de forma independiente y previa a la simulación, mediante la función de MATLAB *generagold.m*, que se presenta en el **ANEXO A**. Como cada bit de la señal binaria se multiplicará por el código Gold elegido para el emisor, la tasa de la señal de espectro ensanchado será igual a $(T_b / 1023)^{-1}$, unos 50000 chips por segundo. Posteriormente, la señal resultante se modulará digitalmente en fase según una modulación **MPSK**, donde se ha tomado $M = 2$, es decir, que sólo se enviarán dos tipos de símbolos. La portadora que soportará esta modulación será una señal sinusoidal con frecuencia $F_c = 1400$ MHz. Se ha elegido esta frecuencia con el fin de asemejar este sistema a un sistema de telefonía móvil actual. A continuación, el canal de transmisión distorsionará la señal en la medida indicada por la señal a ruido propuesta. El canal de transmisión empleado será del tipo Gaussiano y de media cero. Sólo los problemas derivados del propio método del *Muestreo Enfatizado* han hecho imposible el empleo de otro tipo de canales más complejos. En el receptor ya, la señal será demodulada, extrayéndose una señal de espectro ensanchado, que será decorrelada con un *código Gold* igual al empleado en el emisor, pero

generado localmente. A continuación, mediante un decisor se intentará reproducir lo más fielmente posible la señal binaria enviada.

3 Bases para la simulación

3.1. Estimación de la probabilidad de error de chip

La estimación de las probabilidades de error se hará simultáneamente según los métodos de Monte Carlo (**MC**) y Muestreo Enfatizado (**IS**). Se determinará un número de muestras (bits a enviar) para simular y, de forma paralela se realizarán las estimaciones de las probabilidades de error por ambos métodos.

Recuérdese que, el objetivo del proyecto era establecer un análisis comparativo en la estimación de la probabilidad de error de un sistema de comunicaciones por dos métodos distintos. Ambos métodos se fundamentaban en el cálculo de la probabilidad de error a partir del número de errores producidos en la transmisión de una secuencia de muestras, pero que diferían en el tratamiento estadístico del proceso de ruido. El método **IS** modificaba las propiedades estadísticas de dicho proceso con el fin de conseguir buenas estimaciones de la probabilidad de error pero con simulaciones más cortas.

Las técnicas de muestreo enfatizado, al igual que el método **MC**, tratan de conocer las probabilidades de error de un sistema mediante estimadores de las mismas. Para poder encontrar un estimador de la probabilidad de error mediante **MC** o **IS** se volverá a tratar con el esquema de comunicaciones simplificado que se planteó en el capítulo 3 .

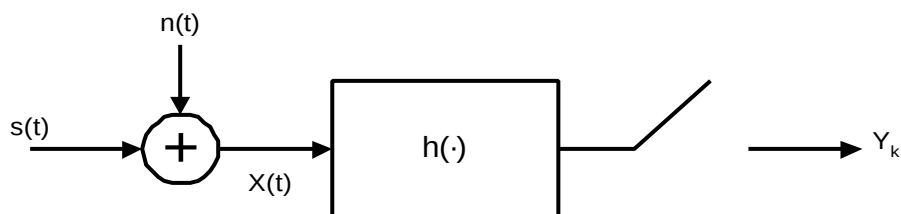


Figura 1. Esquema simplificado de comunicaciones

Para **MC** se encontró un estimador de la probabilidad de error, P :

$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_i \quad (1)$$

donde Z_i es una variable aleatoria, que toma el valor uno si el chip i -ésimo recibido es erróneo, y el valor cero si es recibido correctamente.

$$Z_i = \begin{cases} 1, & \text{con probabilidad } P_e \\ 0, & \text{con probabilidad } 1 - P_e \end{cases} \quad (2)$$

P es un estimador insesgado de la probabilidad de error P_e .

$$E[P] = E[Z_i] = P_e \quad (3)$$

$$E[Z_i] = \int_I f_x(x) dx \quad (4)$$

donde $f_x(x)$ es la fdp del proceso de entrada, e I la región de la variable de entrada X que supone un evento de error. De esta forma y según (3) y (4), P representaba una buena estimación de la probabilidad de error de chip.

Para **IS** el problema era similar: había que encontrar un estimador adecuado de la probabilidad de error.

Se trata de buscar una fdp $g_x(x)$, que verifique [BEAU90]:

$$B(x) = \frac{g_x(x)}{f_x(x)} > 1 \quad (5)$$

de forma que $Z_i'(x)$, una variable aleatoria, tome el valor $1/B(x)$ si ocurre un error, y cero en cualquier otro caso. Entonces:

$$E[Z_i'(x)] = \int_I \frac{g_x(x)}{B(x)} dx = \int_I f(x) dx = P_e \quad (6)$$

Se observa que la fdp $g_x(x)$ resulta de la transformación de la variable aleatoria X . Un estimador P' basado en esta variable aleatoria transformada es:

$$P' = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z'_i(x) \quad (7)$$

que al igual que en **MC** resulta ser un estimador insesgado de la probabilidad de error P_e :

$$E[P'] = E[Z'_i] = P_e \quad (8)$$

Así pues, el problema que plantea el método **IS** es encontrar un $g_x(x)$ adecuado. De este modo, antes de empezar las simulaciones por el método **IS**, se han de establecer las condiciones que modificarán las propiedades estadísticas de los procesos de error. Seguidamente, se mostrarán tablas y gráficas comparativas de las probabilidades de error obtenidas por el método **IS** sobre secuencias de muestras de menor longitud que las empleadas por el método **MC**.

3.2. Condiciones para la simulación por el método IS

Como ya se especificó en el capítulo 3, la aplicación del método **IS** para la estimación de la probabilidad de error en este proyecto está fundamentado en el empleo de un canal de transmisión blanco gaussiano. De esta forma, existen dos caminos para aplicar la técnica de muestreo enfatizado :

 Modificando la función densidad de probabilidad (fdp) en su varianza.

 Modificando la fdp en su media.

En este proyecto se ha optado por la segunda variante, que es la que se expone a continuación.

3.2.1. Transformación de la fdp de un proceso de ruido

Siguiendo con el desarrollo de apartados anteriores, si el proceso de entrada X tenía una fdp gaussiana $f_x(x)$, se propone una variable aleatoria X' derivada de X , que verifica:

$$X' = X + c \quad (9)$$

que supone una traslación de la variable aleatoria original X según una constante c . La función densidad de probabilidad de X' es:

$$g_x(x) = \begin{cases} f_x(x-c) & c \leq x \\ 0 & x < c \end{cases} \quad (10)$$

Con esta nueva fdp los errores ocurren con mayor frecuencia. Para esta nueva variable aleatoria de entrada X' se tiene un estimador P' dado por la fórmula (7). Este estimador está definido a partir de la variable aleatoria Z_i' , que asume el valor $1/B(x)$ si ocurre algún error y cero en caso contrario. Como ya se conoce $g_x(x)$ y $f_x(x)$ es la fdp de una gaussiana, entonces, $B(x)$ es:

$$B(x) = \begin{cases} e^{c(2x-c)/2\sigma^2} & c \leq x \\ 0 & x < c \end{cases} \quad (11)$$

De esta manera, el cálculo del estimador P' está definido. Sólo queda contrastar los resultados obtenidos de la simulación.

4 Validación de la simulación

4.1. Validez del sistema de comunicaciones

En primer lugar, y mediante una serie de pruebas sencillas, se comprobará la validez del sistema de comunicaciones propuesto para la simulación.

4.1.1. Sin distorsión en el canal de transmisión

Antes de nada se comprobará que, en ausencia de distorsión en el canal, la transmisión de símbolos a través del mismo se realiza sin errores. Para ello se realizará una simulación de 11 símbolos (bits) y se chequeará el desarrollo de la misma en varios puntos significativos del esquema de simulación. En la **figura 2** se recogen los 11 bits transmitidos:

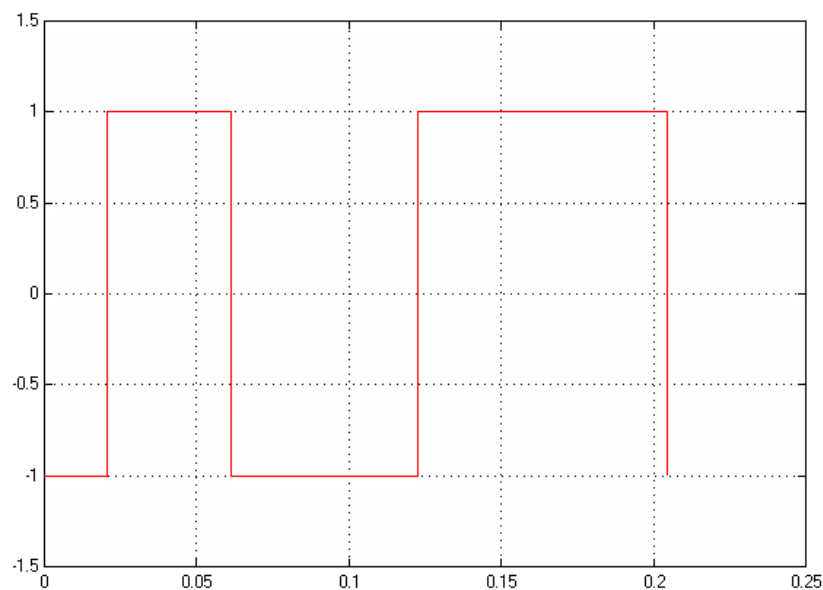


Figura 2. Señal binaria

Como es lógico pensar, en este caso no se produce ningún error en ninguno de los bits transmitidos, es más, tampoco se producirá ningún error a nivel de chip, pues no hay ningún tipo de distorsión. Recuérdese que tras el ensanchamiento de la señal binaria transmitida, cada bit viene a estar representado por 1023 chips.

Para comparar la secuencia de bits transmitidos y la secuencia de bits recibidos será necesario retrasar esta última, con el fin de sincronizar ambas secuencias. Así pues, realmente, de los 11 símbolos transmitidos sólo se podrán chequear 9, debido a los retrasos que introduce el canal de transmisión y el propio receptor.

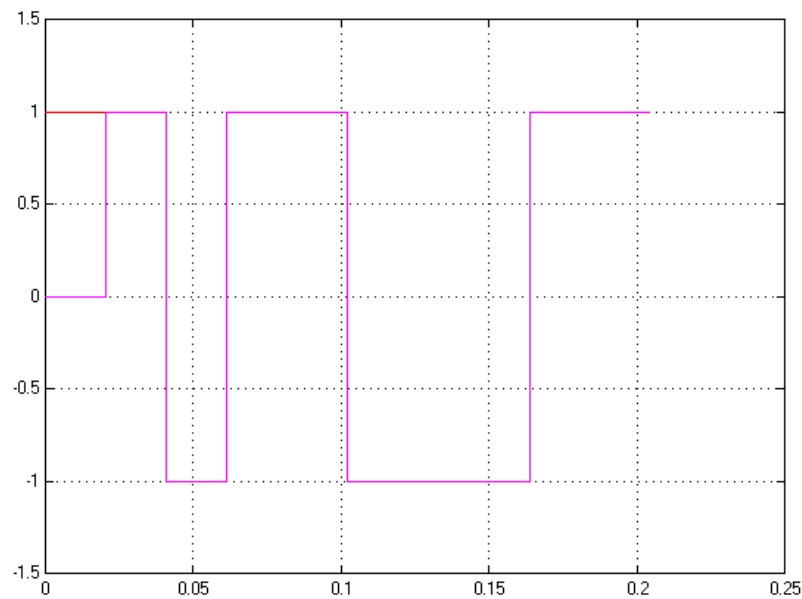


Figura 3.Comparativa Señal transmitida vs. Señal recibida

En la **figura 3** se puede observar cómo la gráfica que representa los bits recibidos solapa casi en todo momento a la gráfica que representa los bits enviados. Sólo hay un pequeño tramo (los dos primeros bits) donde no lo hace, y esto es por el retraso antes mencionado. A continuación, se muestra una tabla recogida después del bloque decisor. En este bloque realizaba una suma parcial de chips, a partir de la cual se discernía si el bit transmitido por el canal de transmisión era un -1 o un 1 .

SUMA	Bit Recibido	Bit Enviado
0	NINGUNO	1
1	NINGUNO	1
-1023	-1	-1
1023	1	1
1023	1	1
-1023	-1	-1
-1023	-1	-1
-1023	-1	-1
1023	1	1
1023	1	1
1023	1	1

Figura 4.Tabla de decisión

Recuérdese que cuanto menor fuera el efecto del ruido sobre los bits transmitidos, más próxima a 1023 o a -1023 sería la cantidad sumada. En este caso al no haber ruido, y como se puede comprobar en la columna de la izquierda de la **figura 4**, las sumas son exactas.

Otra medida del error la da la **figura 5**. En ella se observa una gráfica a modo de escalera, que representa, en cada instante, el número de bits recibidos a través de este sistema de comunicaciones. Si se hubieran recibido bits erróneos aparecería otra gráfica, también en forma de escalera, que indicaría el número de bits erróneos en cada instante. Puesto que aquí no aparece la escalera de bits erróneos, todos los bits habrán sido recibidos correctamente.

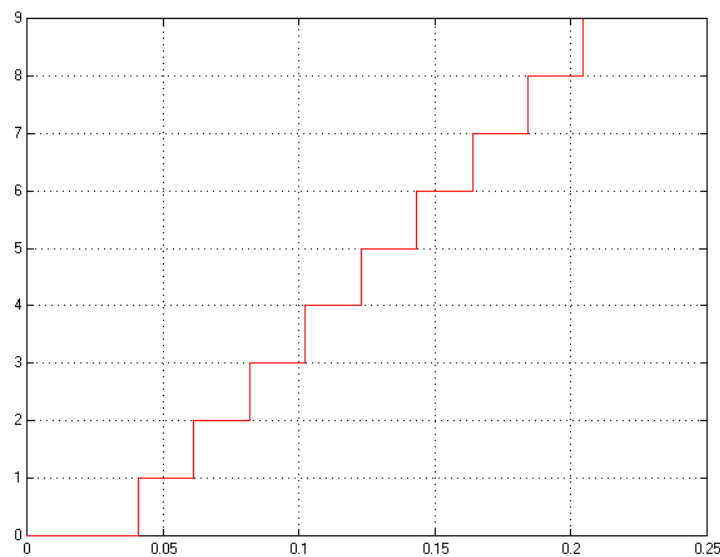


Figura 5. Representación de bits correctamente recibidos

Esta gráfica no es muy significativa en cuanto al comportamiento frente al error del sistema pues, dada la robustez de los sistemas **CDMA**, es muy difícil que un bit sea erróneo. De este modo el estudio de la probabilidad del error se enfocará mayormente al estudio de la transmisión de *chips* a través del canal de transmisión.

4.1.2. Con distorsión en el canal de transmisión

En este caso, se incluirá una fuente de distorsión gaussiana en el canal de transmisión. Las probabilidades de error con las que se trabajarán estarán referidas a errores en la transmisión de *chips*, pues sólo con relaciones *señal a ruido* del orden de 10^{-9} ó 10^{-12} se puede obtener una probabilidad de error de bit distinta de cero. Por ejemplo, para una señal a ruido de 10^{-12}

SUMA	Bit recibido	Bit Enviado
0 NINGUNO		1
1 NINGUNO		1
51	1	-1
-17	-1	1
67	1	1
-57	-1	-1
23	1	-1
29	1	-1
-15	-1	1
-25	-1	1
45	1	1

Figura 6. Tabla de decisión para una $E_c/N_0 = 10^{-12}$

Se observa cómo de los 9 bits recibidos, 6 eran erróneos.

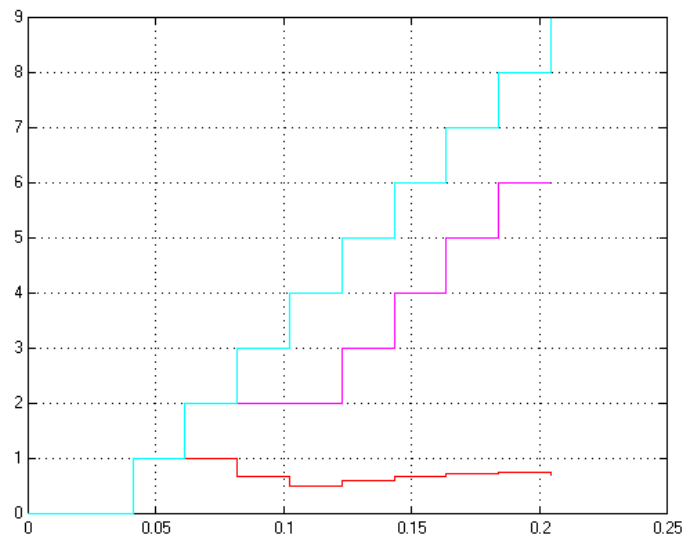


Figura 7. Bits erróneos frente a bits recibidos

En la **figura 7** también se puede comprobar que el número de bits erróneos fue 6.

La comprobación de la bondad de la simulación se hará por comparación de las probabilidades de error estimadas con las probabilidades de error correspondientes a las relaciones *señal a ruido* simuladas. La forma de calcular una probabilidad de error estimada, a partir del sistema de simulación propuesto, consistirá en dividir el número de chips recibidos erróneamente frente al número total de chips enviados. Esta forma de estimar la probabilidad de error es la que propone el *Método de Monte Carlo*. A continuación se presenta una tabla en la cual se compara la probabilidad de error de chip estimada con la probabilidad de error de chips calculada de forma teórica.

EsNo(ud.naturales)	EsNo(dB)	Varianza	Pe(formula)	Pe(simulada)	Psimu-Pformu
7,8125E-03	-21,0720997	64	0,45026225	0,446867925	0,519191069%
0,015625	-18,0617997	32	0,42984256	0,427037736	0,384765123%
0,03125	-15,0514998	16	0,4012946	0,398471698	0,382658351%
0,0625	-12,0411998	8	0,36183808	0,360358491	1,729023014%
0,125	-9,03089987	4	0,30853923	0,308075472	0,150306828%
0,25	-6,02059991	2	0,23975217	0,239245283	0,211420761%
0,5	-3,01029996	1	0,15865757	0,157698113	0,604737376%
0,625	-2,04119983	0,8	0,13177863	0,130660377	0,848587098%
0,75	-1,24938737	0,66666667	0,11033796	0,109132075	1,092900472%
0,875	-0,57991947	0,57142857	0,09294051	0,091981132	1,032254190%
1	0	0,5	0,07865162	0,078018868	0,804503377%
1,5	1,76091259	0,33333333	0,04163375	0,040283019	3,244314974%
2	3,01029996	0,25	0,02275117	0,021433962	5,789629751%
2,5	3,97940009	0,2	0,01267436	0,011528302	9,042352345%
3	4,77121255	0,16666667	0,00715341	0,006566038	8,211038893%
4	6,02059991	0,125	0,00233907	0,00190566	18,528997566%
5	6,98970004	0,1	0,00078278	0,000660377	15,637204878%
6	7,7815125	0,08333333	0,00026604	0,000264151	0,708426216%
7	8,4509804	0,07142857	9,1418E-05	0,000106918	16,954868638%
8	9,03089987	0,0625	3,1676E-05	3,14465E-05	0,725573720%
10	10	0,05	3,8729E-06	6,6667E-06	72,136960513%

Figura 8. Tabla comparativa de probabilidades de error de chips simuladas y obtenidas de forma teórica

En la tabla anterior también se muestra una medida del error relativo (última columna) entre las probabilidades calculadas de forma teórica y de forma simulada. Como se puede apreciar los errores relativos son muy pequeños y sólo crecen conforme crece la relación *señal a ruido* exigida. Esto no es porque el sistema de simulación empeore conforme crece la relación *señal a ruido* sino que el número de muestras tomadas (bits recibidos) no ha sido el suficiente, es decir que para esas probabilidades

hubiera sido necesario tomar un mayor número de muestras. Téngase en cuenta, que a ese nivel sólo se producen fallos en uno de cada 250000 chips enviados.

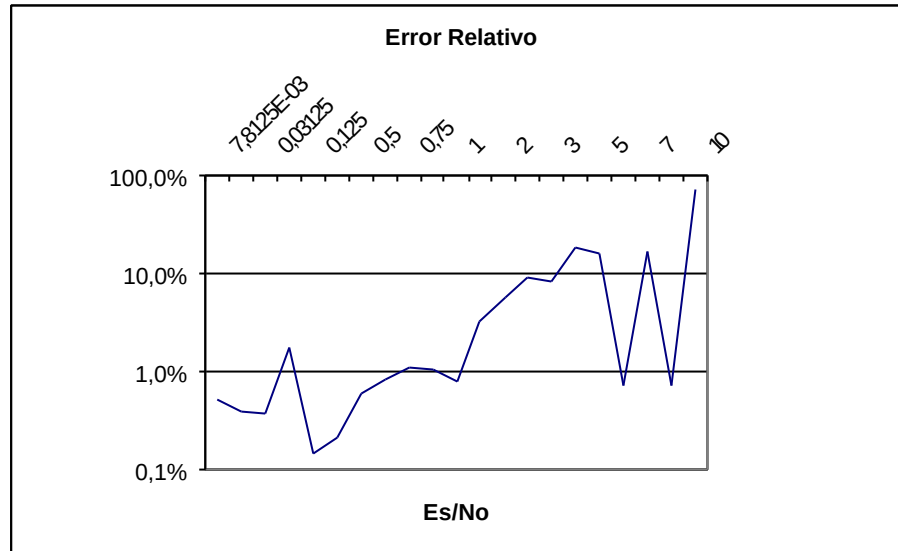


Figura 9. Error Relativo P_{simulada} vs. $P_{\text{fórmula}}$

En la **figura 9** se puede ver con más claridad la evolución del error relativo. En la **figura 10** también se puede seguir la evolución de la probabilidad de error estimada con respecto a la calculada de forma teórica.

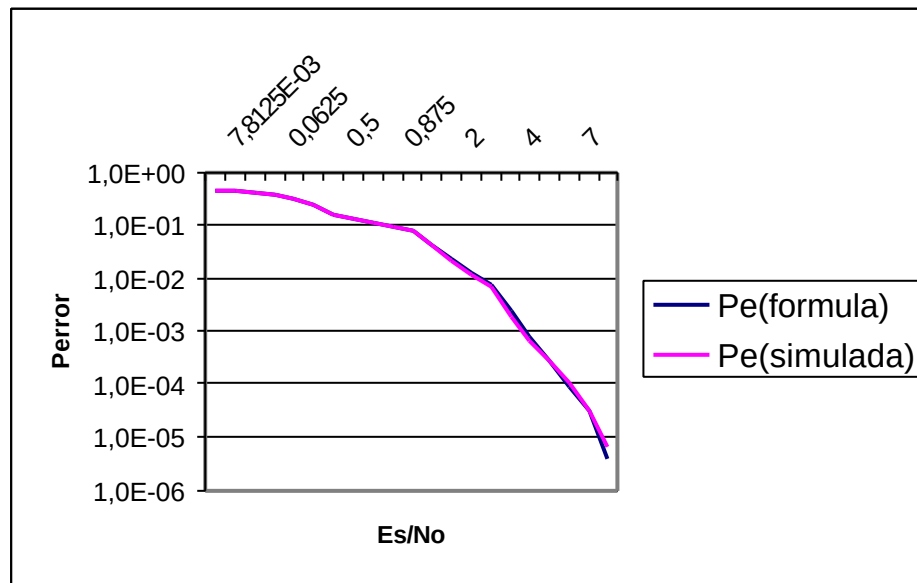


Figura 10. Probabilidad de error por fórmula vs. simulada

Según los datos obtenidos a través de la simulación, se puede decir que, el sistema de simulación con el que se trabaja, se aproxima con bastante precisión a los valores teóricos.

5 Resultados

Sentadas ya las bases teóricas necesarias y, una vez demostrada la validez de la solución propuesta, es momento de mostrar los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos por el método de Monte Carlo están recogidos ya en la tabla de la **figura 8** de este mismo capítulo. Para obtener estos resultados se emplearon simulaciones de 53000 muestras. Para el análisis del método **IS** se han realizado múltiples simulaciones de distinta duración y con distintos valores de c , el parámetro de la traslación de la media.

5.1. Análisis en función del número de muestras

Para determinados valores de c se realizan múltiples simulaciones con distinto número de muestras. El número de muestras empleado siempre será menor al empleado en el método **MC**, con el fin de justificar las simulaciones **IS** frente a éstas.

5.1.1. $c = -0.05$

Se presenta gráficas comparativas de las probabilidades de error, obtenidas en simulaciones con distinto número de muestras, comparadas con sus correspondientes probabilidades de error calculadas de forma teórica. También se mostrarán gráficas que indican el error relativo de estas medidas respecto a los valores teóricos, para dar una idea de la dispersión de las medidas obtenidas. Las tablas que recogen los valores de estas gráficas se incluyen en el **ANEXO B**.

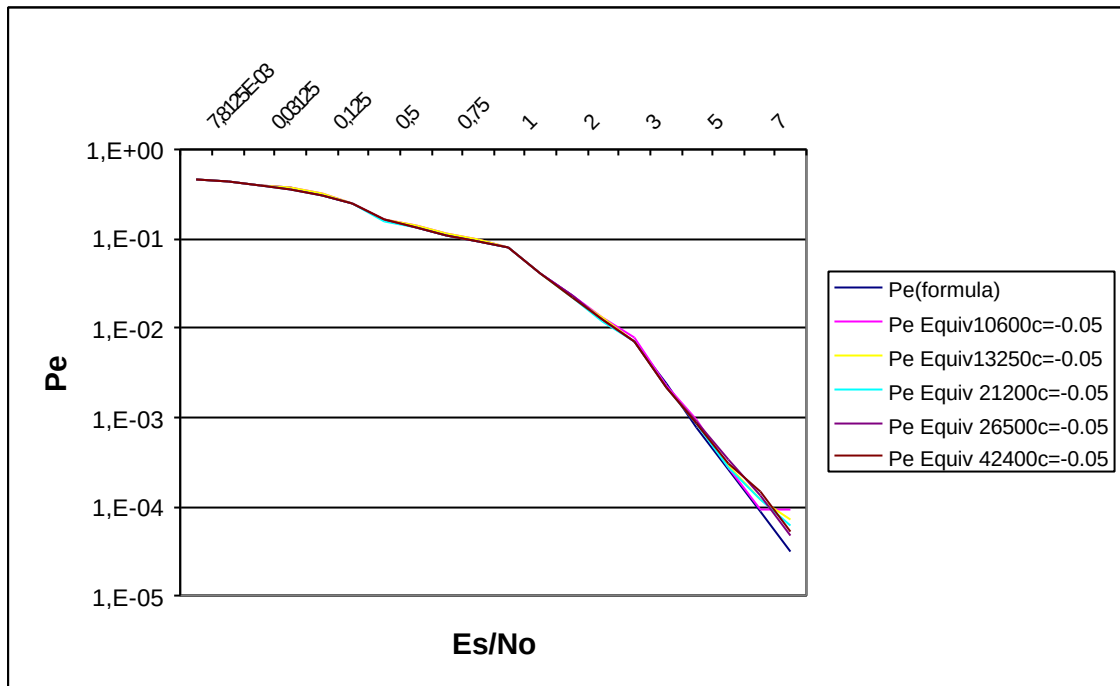


Figura 11. Probabilidades de error simuladas con $c = -0.05$ frente a Probabilidad de error teórica

Como se puede apreciar en la gráfica anterior los valores obtenidos son bastante buenos, sobre todo, para valores de señal a ruido inferiores a 5 (en uds. naturales).

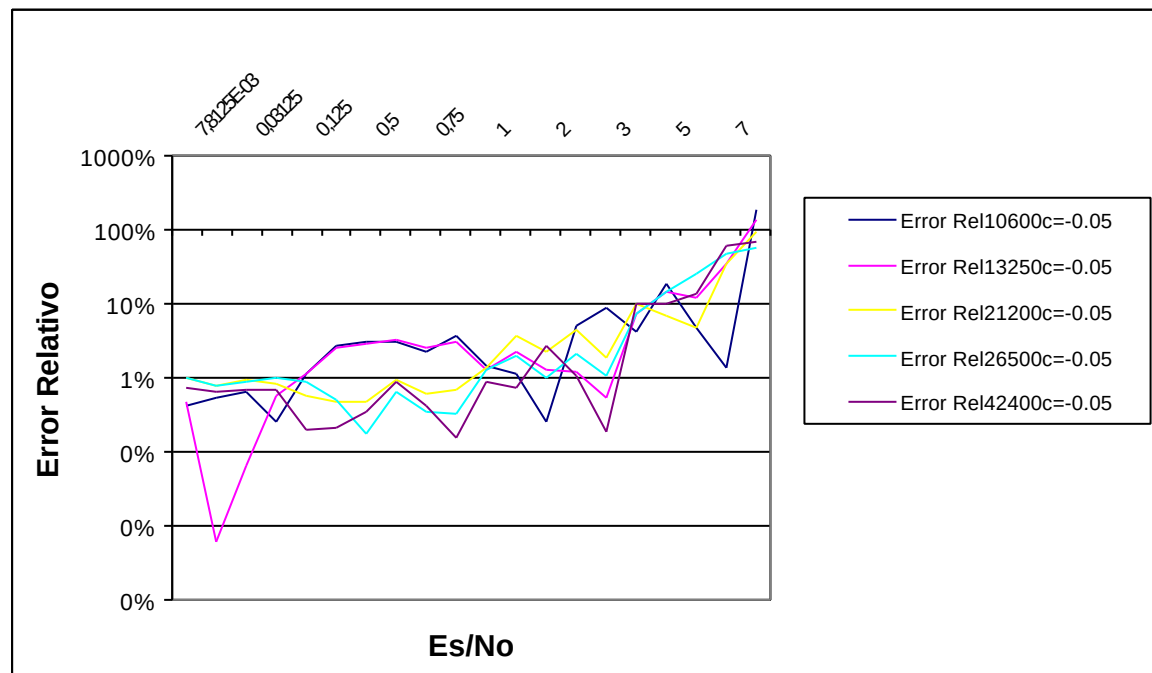


Figura 12. Medidas del error relativo en simulaciones con $c = -0.05$

En la gráfica del error relativo se ve cómo las simulaciones más largas, aquellas que emplean 26500 o 42400 muestras (sobre 53000 con método **MC**), son las que presentan mejores resultados. Conforme va disminuyendo el tiempo de simulación (10600, 13250) los resultados empeoran conforme aumentan las exigencias en lo que a señal a ruido se refiere, es decir, empeoran cuanto menor se hace la probabilidad de error exigida. De esta forma es recomendable emplear simulaciones cortas si las exigencias en la probabilidad de error no son muy fuertes.

5.1.2. $c = -0.1$

Al igual que se hizo en el caso anterior se exponen las gráficas comparativas de las probabilidades de error y del error relativo cometido al tomar distinto tamaño en el número de muestras.

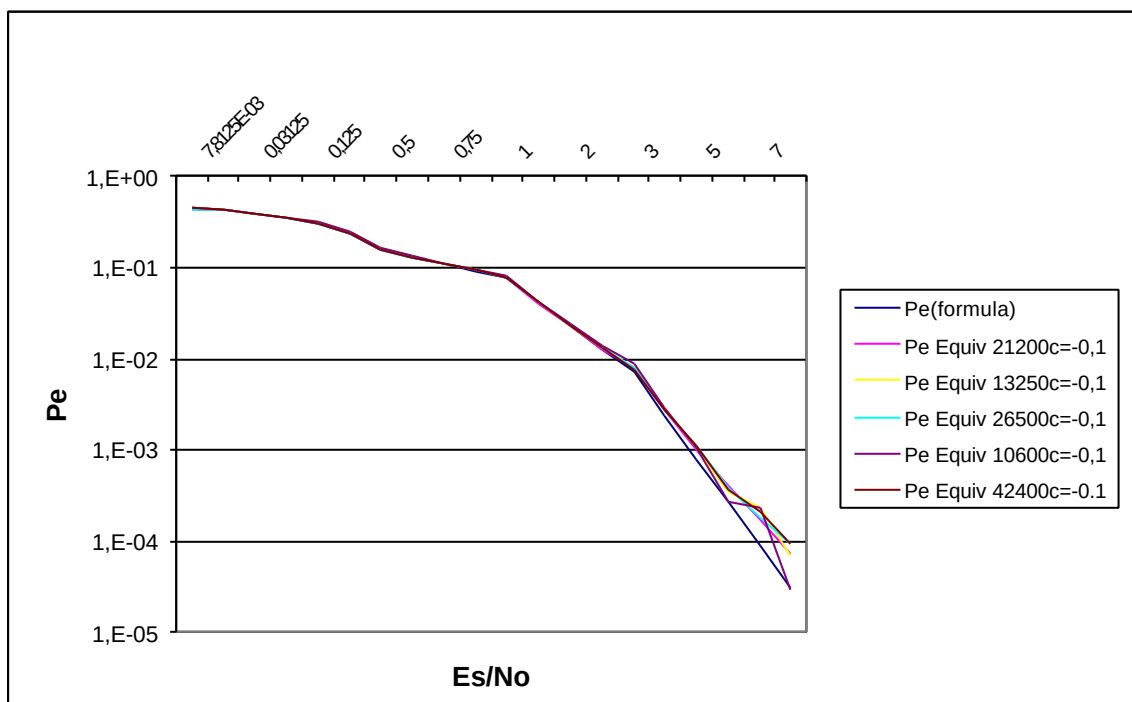


Figura 13. Probabilidades de error simuladas con $c = -0.1$ frente a Probabilidad de error teórica

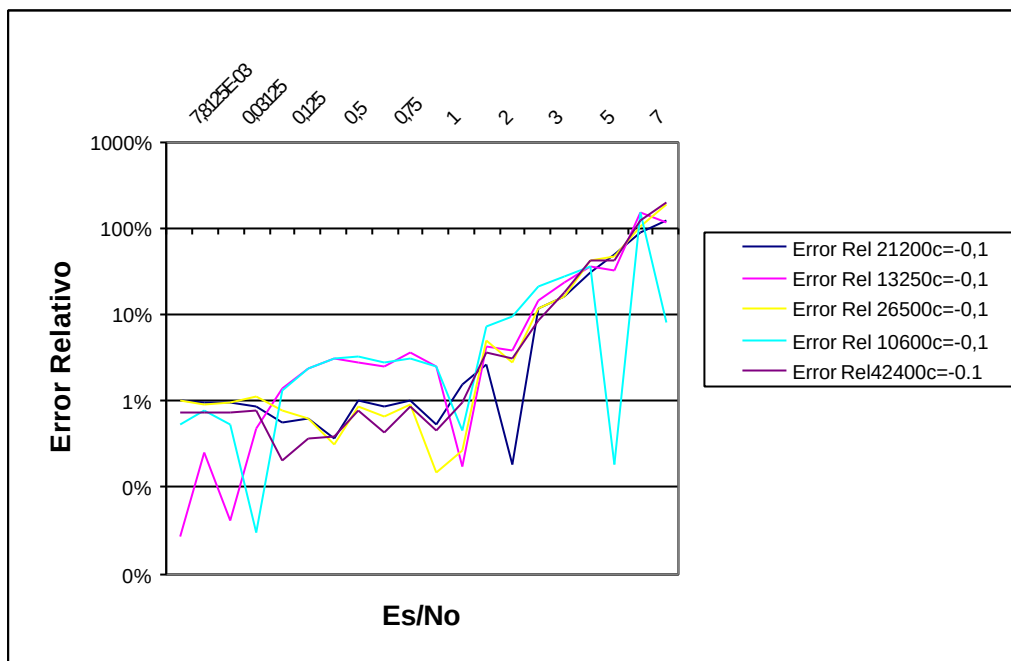


Figura 14. Medidas del error relativo en simulaciones con $c = -0.1$

Para $c = -0.1$ se observa un comportamiento similar al caso $c = -0.05$, si acaso empeora más rápidamente con la relación *señal a ruido*.

5.1.3. $c = -0.25$

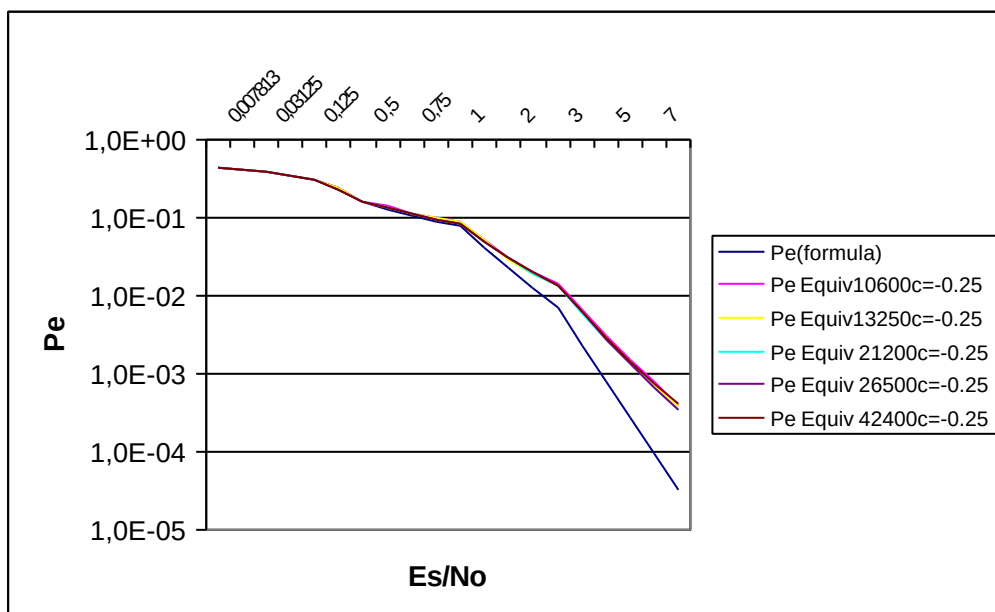


Figura 15. Probabilidades de error simuladas con $c = -0.25$ frente a Probabilidad de error teórica

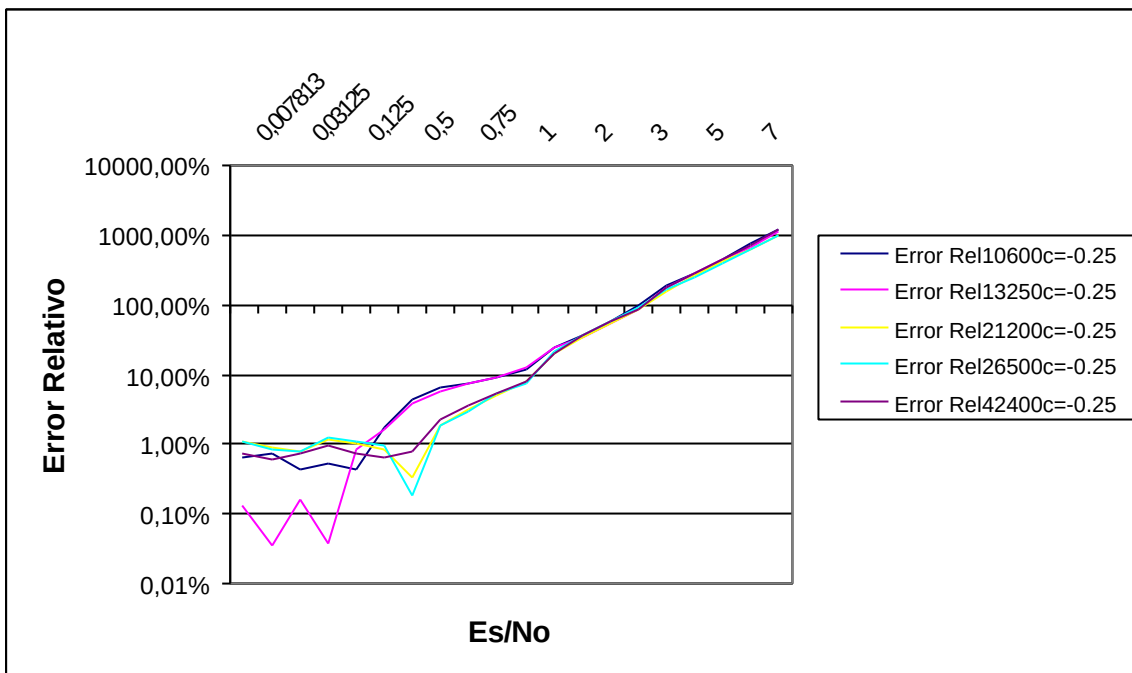


Figura 16. Medidas del error relativo en simulaciones con $c = -0.25$

Se sigue observando el empeoramiento progresivo de las probabilidades de error conforme aumenta c .

5.1.4. $c = -0.333$

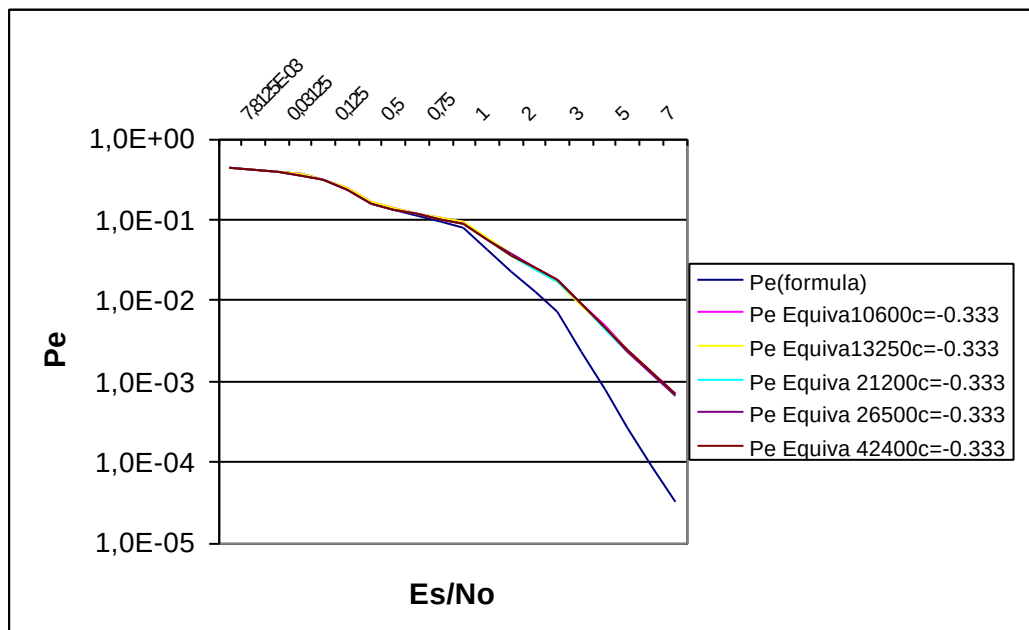


Figura 17. Probabilidades de error simuladas con $c = -0.333$ frente a Probabilidad de error teórica

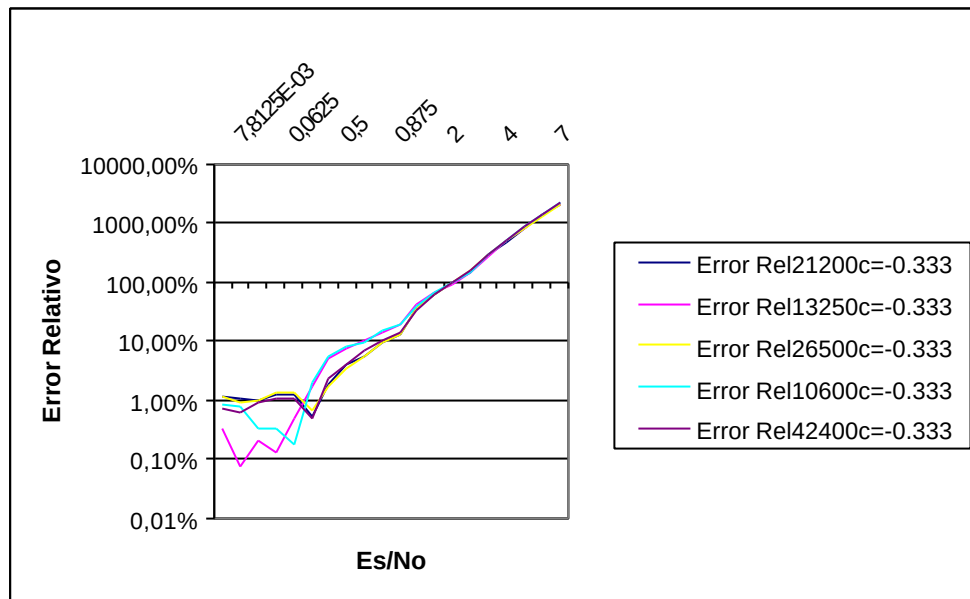


Figura 18. Medidas del error relativo en simulaciones con $c = -0.333$

En la **figura 18** se observa que el error relativo aumenta con más rapidez que en casos anteriores. De seguir así en el siguiente caso se podrá concluir que conforme c se aleja de su valor original cero, los resultados del muestreo enfatizado empeoran para los casos de mayor relación *señal a ruido*. No obstante se observa que para valores bajos de esta relación se obtienen buenas estimaciones de las probabilidades de error.

5.1.5. $c = -0.666$

En la **figura 19** se recogen de nuevo las **probabilidades** de error estimadas, esta vez para el caso de $c = -0.666$. Aunque parecen buenos resultados, la gráfica del error relativo mostrará que han vuelto a empeorar. De esta forma, ya se puede concluir con toda certeza que el empleo de valores de c alejados del valor $c = 0$ trae consigo una mayor producción en el número de errores, pero también una mayor dispersión en las estimaciones de las probabilidades de error cuando aumenta la relación *señal a ruido*.

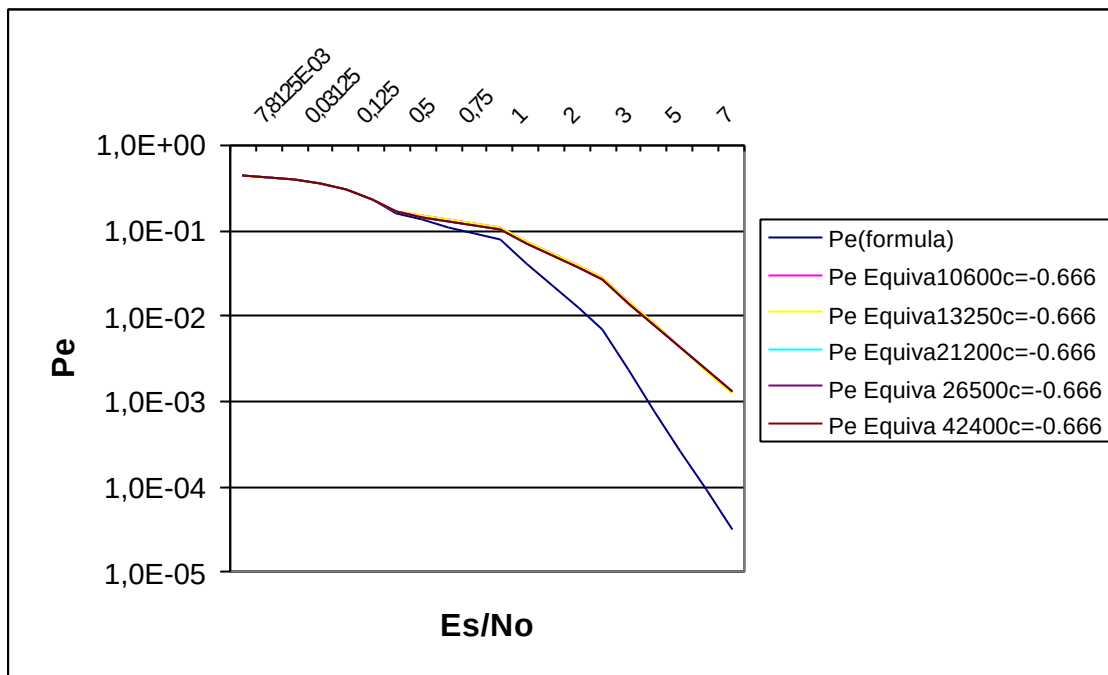


Figura 19. Probabilidades de error simuladas con $c = -0.666$ frente a Probabilidad de error teórica

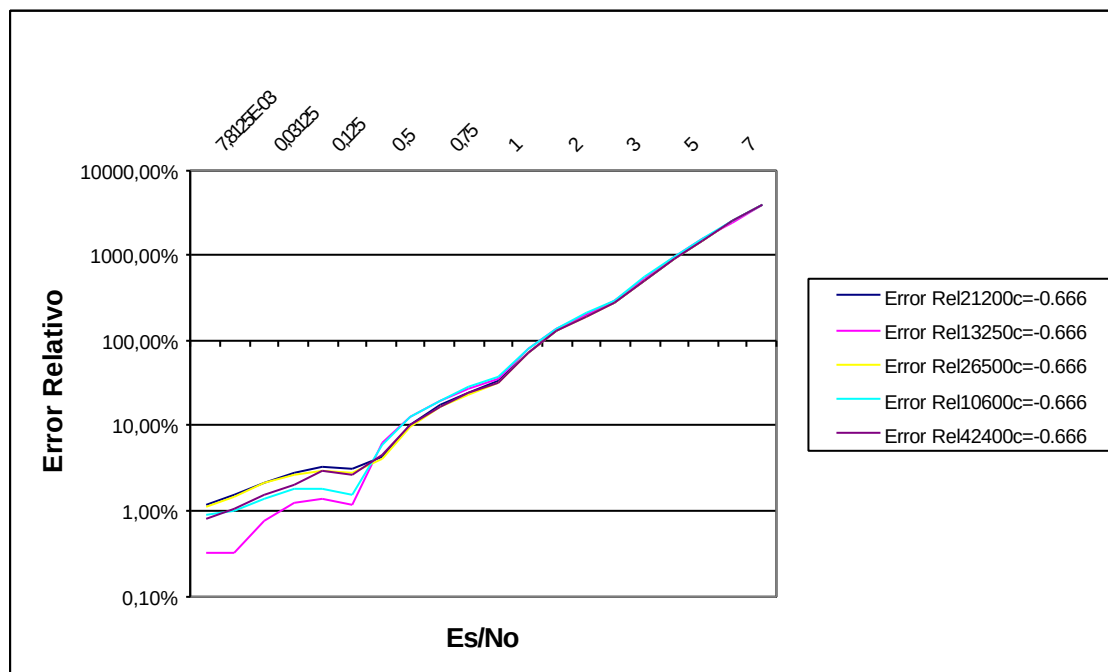


Figura 20. Medidas del error relativo en simulaciones con $c = -0.666$

5.2. Análisis en función de los valores del parámetro c

Se hará un estudio comparativo del efecto de la variación del parámetro de traslación manteniendo el tamaño de la secuencia de pruebas, es decir, manteniendo el número de muestras.

5.2.1. 10600 muestras

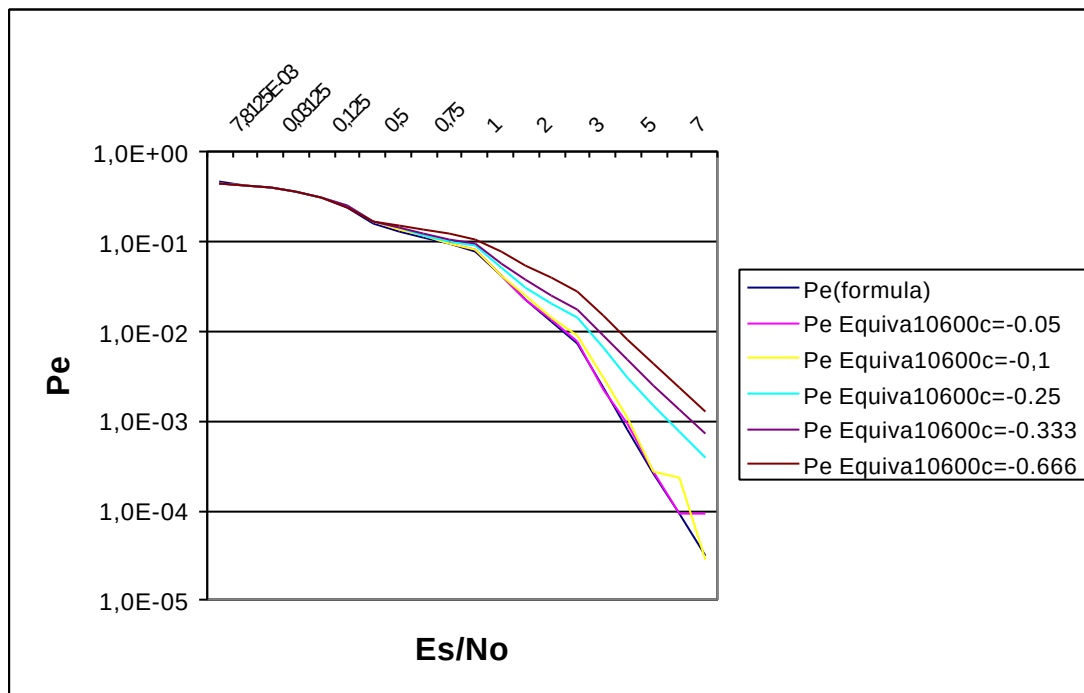
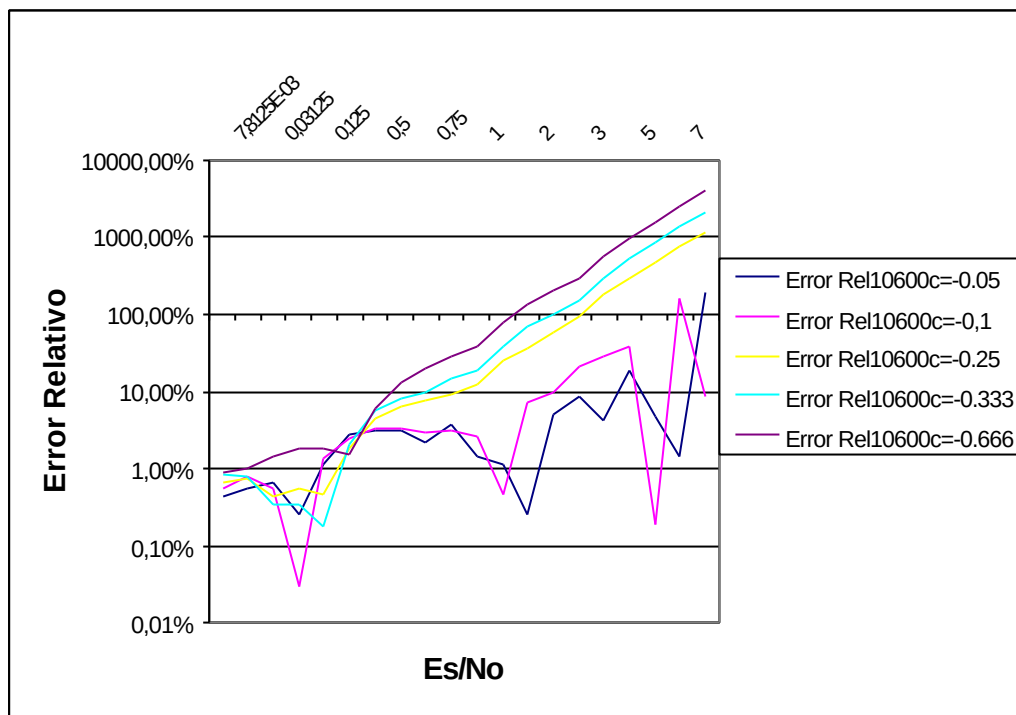


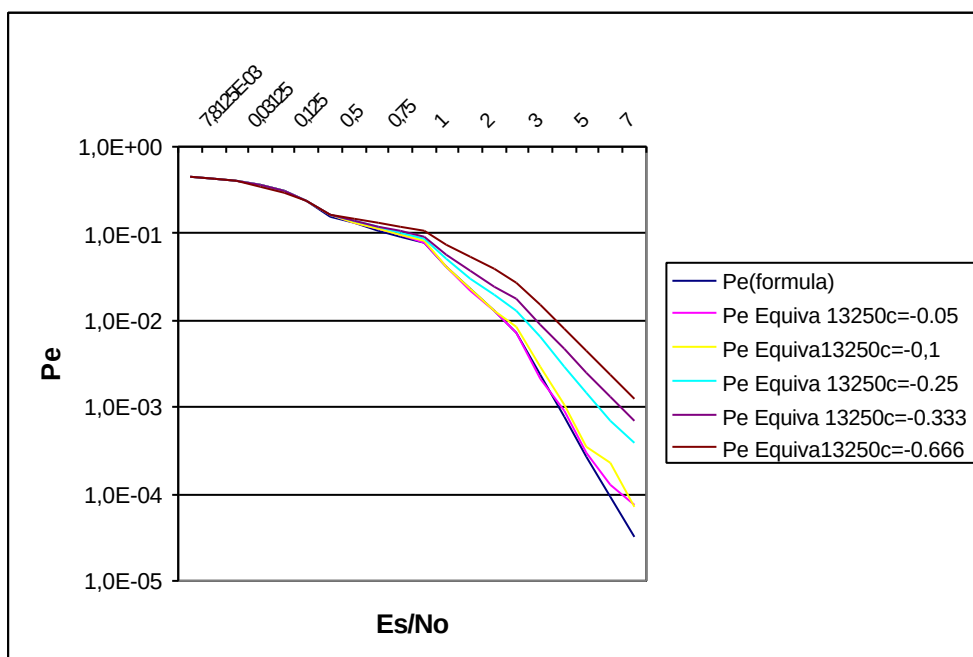
Figura 21. Probabilidades de error en función de c para 10600 muestras

El objetivo de este análisis es expresar la conveniencia de uno u otro caso en función de la casuística de c . Para el caso en el que la simulación tome 10600 muestras, se observa que sólo se obtienen buenos resultados para relaciones de *señal a ruido* bajas. Esto era más o menos previsible según las conclusiones obtenidas del análisis anterior. Se espera que, conforme aumente el número de muestras en la simulación, los resultados vayan mejorando. Como ya se dijo antes, los valores que conforman las gráficas se encuentran a modo de tablas en el **ANEXO B**.



Como se aprecia en la figura anterior, la dispersión de las medidas del error es excesiva para señales a ruido grandes.

5.2.2. 13250 muestras



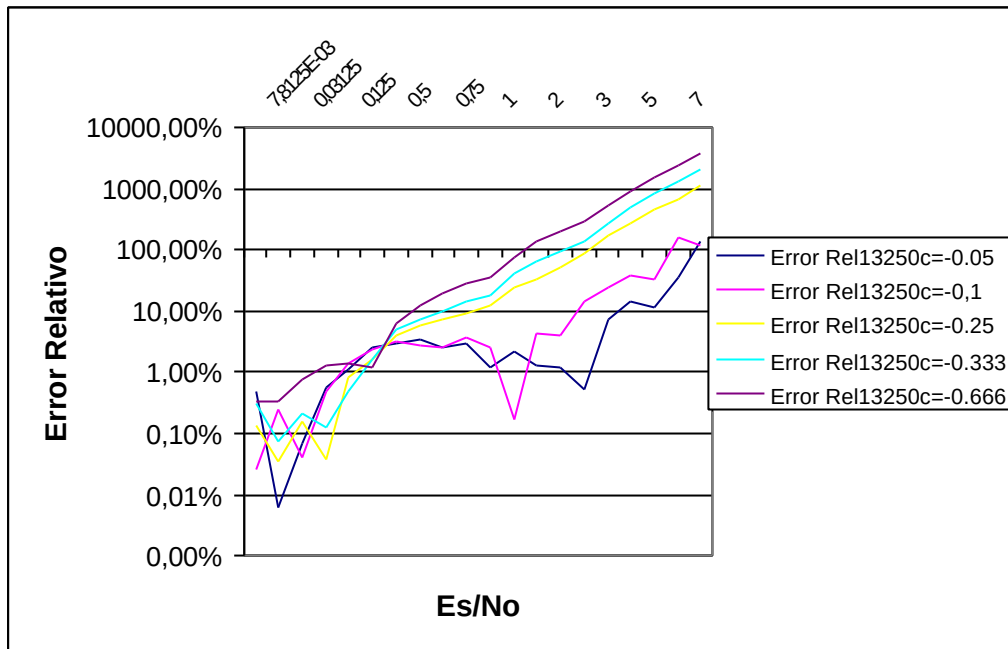


Figura 24. Medidas del error relativo en simulaciones de 13250 muestras

5.2.3. 21200 muestras

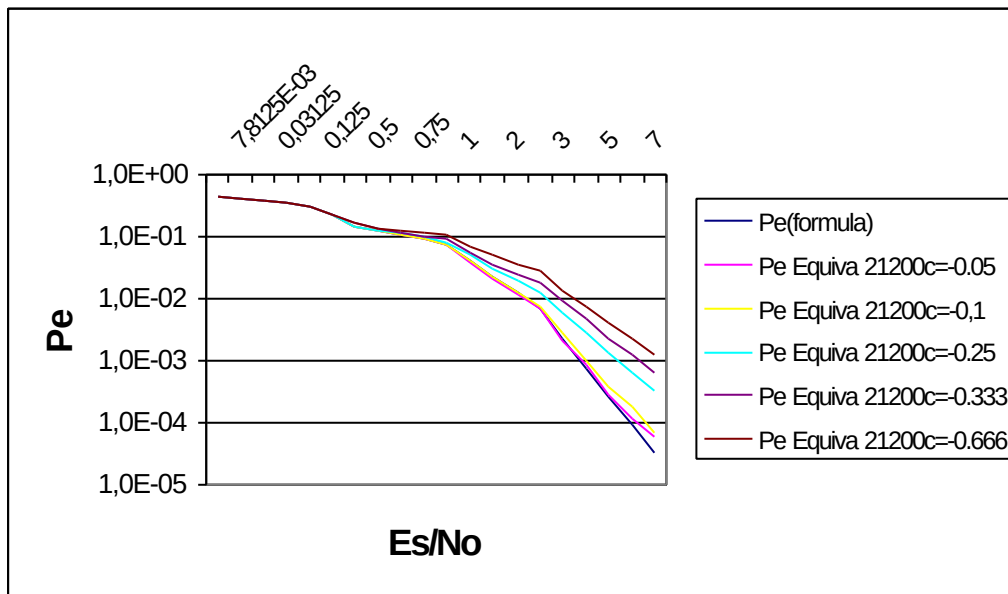


Figura 25. Probabilidades de error en función de c para 21200 muestras

Como se puede apreciar en esta gráfica, los valores de la probabilidad de error sólo son buenos para $Es/No < 1$

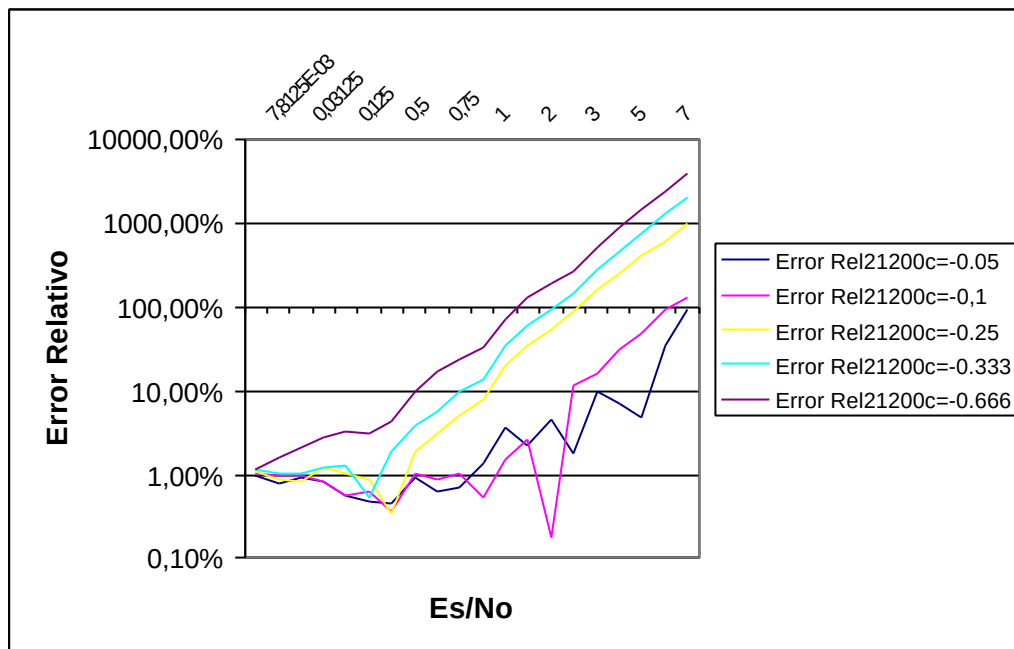


Figura 26. Medidas del error relativo en simulaciones de 21200 muestras

5.2.4. 26500 muestras

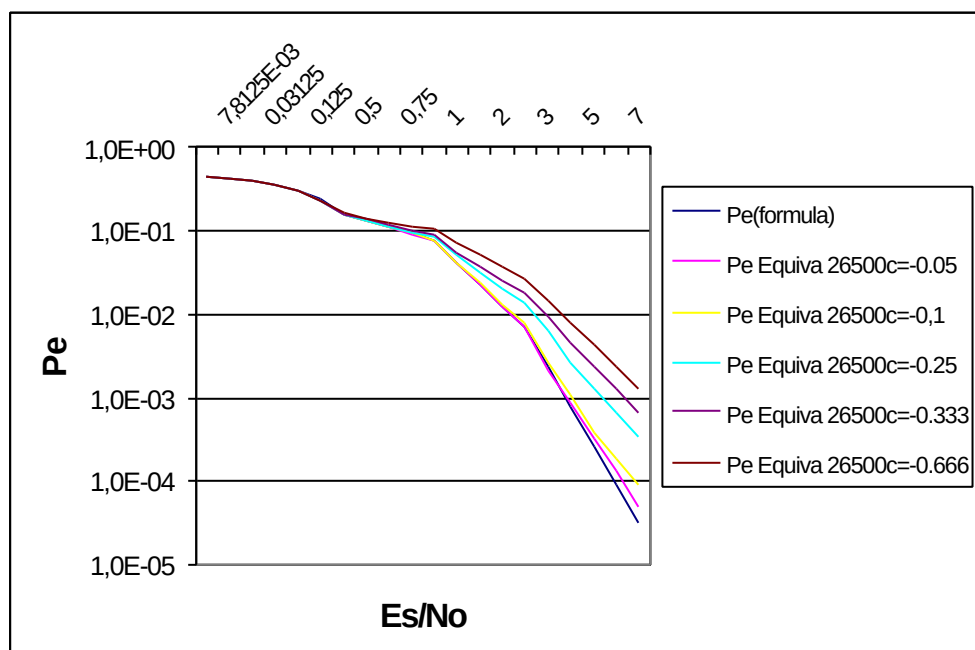


Figura 27. Probabilidades de error en función de c para 26500 muestras

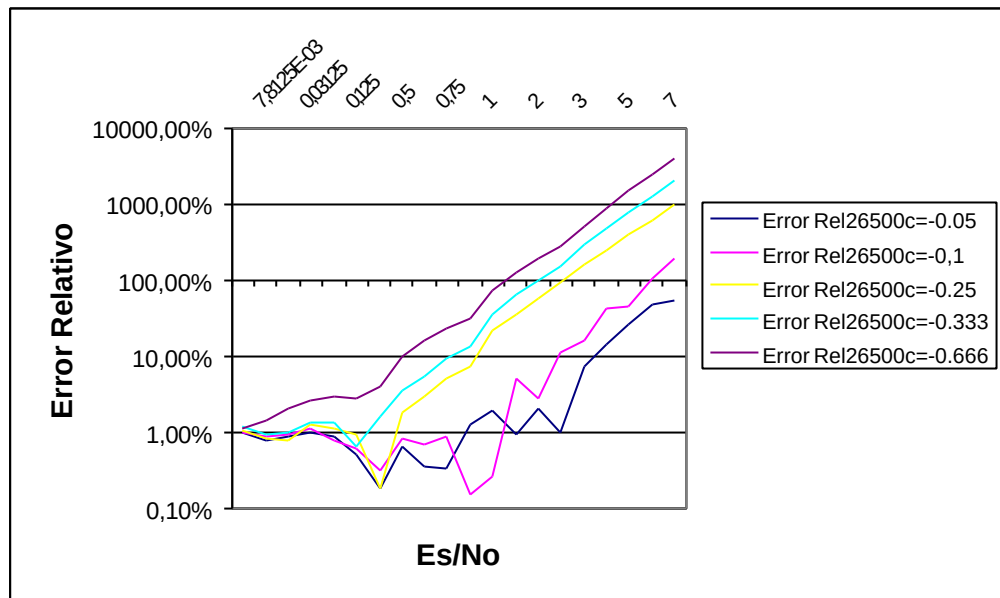


Figura 28. Medidas del error relativo en simulaciones de 26500 muestras

5.2.5. 42400 muestras

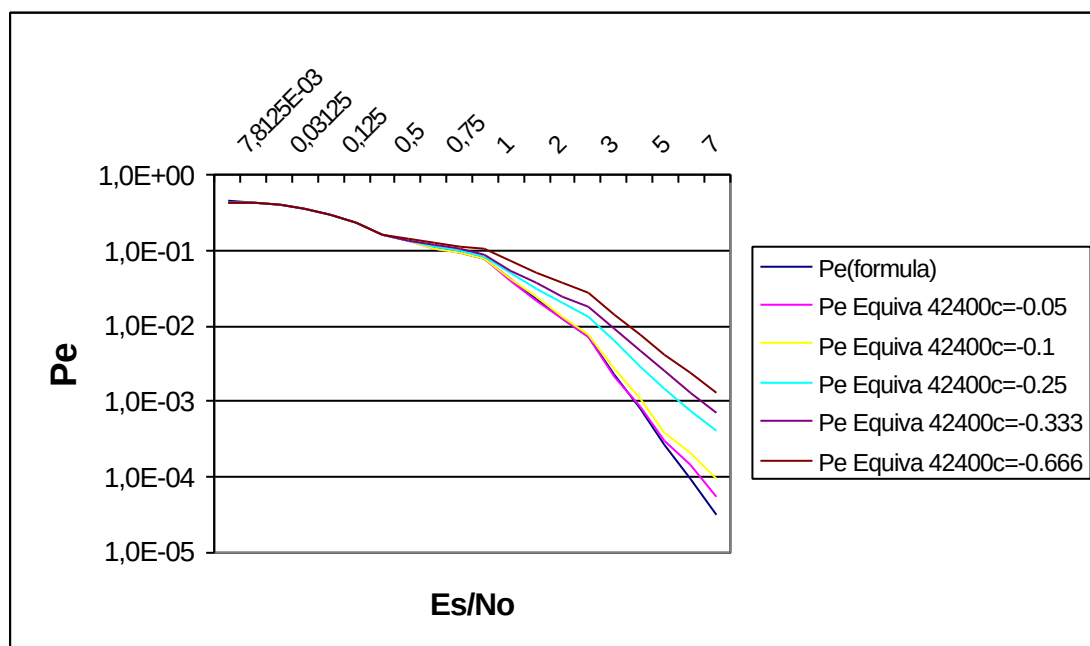


Figura 29. Probabilidades de error en función de c para 42400 muestras

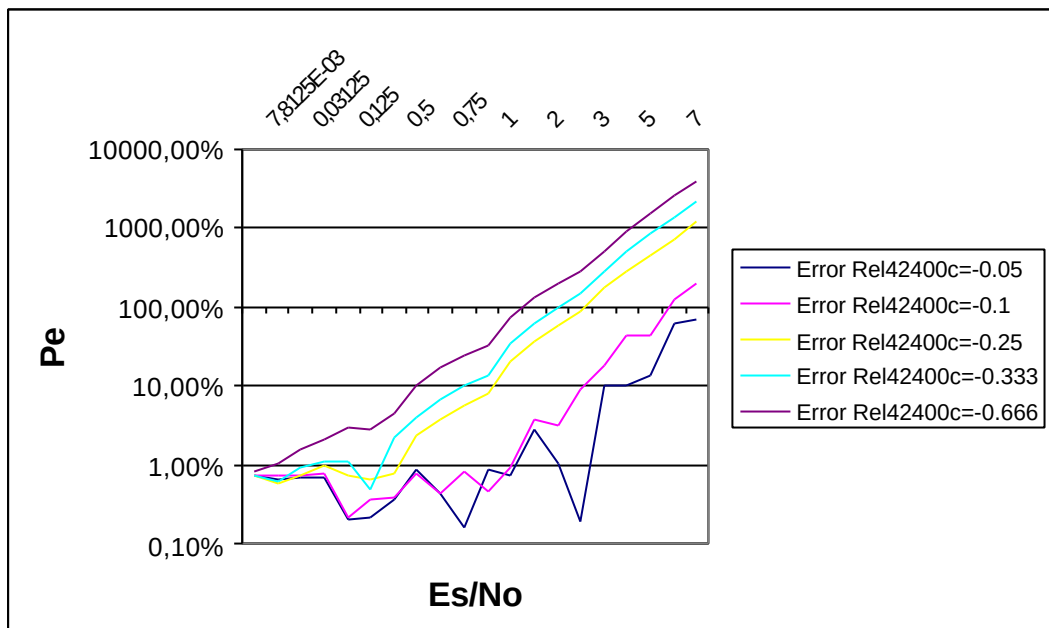


Figura 30. Medidas del error relativo en simulaciones de 42400 muestras

Para 42400 muestras se observa que con traslaciones pequeñas se obtienen buenas estimaciones de la probabilidad de error hasta valores de *señal a ruido* de 2.

6 Conclusiones

En este proyecto se plantea el estudio de la conveniencia del empleo de técnicas de modificación de las características estadísticas de los procesos de ruido en un sistema de comunicaciones (técnicas de Muestreo Enfatizado, **IS**), con el fin de obtener reducciones en número de muestras de las simulaciones de la **BER** de dichos sistemas. De este modo, se pretende resaltar las ventajas de estas técnicas frente a los clásicos métodos de simulación de Monte Carlo (**MC**).

Para la investigación propuesta en este proyecto se han extraído las siguientes conclusiones:

- ☒ Los resultados obtenidos mediante técnicas **IS** – sea cual fuere el valor del *parámetro de traslación de la media*, c - para la estimación de la BER, fueron tanto más buenos cuanto menor era la reducción en número de

muestras de la simulación. No obstante, para las probabilidades de error pequeñas, las estimaciones obtenidas se aproximaban con bastante precisión a los valores teóricos.

☒ Del mismo modo, para un número fijado de muestras en la simulación, los resultados obtenidos según el *parámetro de traslación de la media*, c , fueron tanto mejores cuanto menor fue la traslación respecto a su valor original.

☒ Para los casos en los que es posible la aplicación de técnicas **IS** se consiguen reducciones en los tiempos de simulación de un 80% en los casos más favorables y de un 20% en los más desfavorables. A continuación se presenta una tabla que recoge la reducción de los tiempos de simulación según el número de muestras empleadas en la estimación de la BER:

Número muestras simulación IS	Reducción tiempo simulación
10600	80%
13250	75%
21200	60%
26500	50%
42400	20%

Figura 31.Reducción del tiempo de simulación mediante técnicas **IS**

☒ El empeoramiento de los resultados obtenidos, para cualquier valor del *parámetro de traslación de la media*, para relaciones señal a ruido elevadas, no es solamente debido al empleo de técnicas **IS**, sino también debido al nivel de exigencia de la probabilidad de error. Para esas relaciones señal a ruido se pretenden obtener probabilidades de error del orden de 10^{-5} ó 10^{-6} . Según esto se necesitarían realizar simulaciones del orden de 100000 o 1 millón de muestras. Este tipo de simulaciones se hicieron pero la aleatoriedad de los errores producidos nunca permitió definir un número de muestras adecuado para las simulaciones.

7 Resumen

En este capítulo se ha tratado el tema principal del proyecto, es decir, se ha abordado el cálculo de la estimación de probabilidades de error mediante los métodos de Monte Carlo y Muestreo Enfatizado. Se ha demostrado que bajo ciertas condiciones, no muy estrictas en lo que a señal a ruido se refiere, el método **IS** ofrece unas buenas probabilidades de error, con lo que se podrá reducir el tiempo de simulación si se emplea este método.