

Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Generación y Caracterización de Secuencias PRN

Máster Universitario en Dirección TIC para la Defensa

ALUMNO: Abel Hernández González

DIRECTORES: Paula Gómez Pérez

CURSO ACADÉMICO: 2020-2021

Universidade Vigo



Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Generación y Caracterización de Secuencias PRN

Máster Universitario en Dirección TIC para la Defensa

Especialidad de Sistemas y Tecnologías de la Información

Universidad de Vigo

RESUMEN

En este trabajo se ha llevado a cabo un estudio riguroso y exhaustivo de las secuencias PRN (Pseudo-Random Noise), que pretende ofrecer una base para el diseño o el análisis de sistemas de tecomunicación o, incluso, de información.

Las secuencias PRN (Pseudo-Random Noise) tienen características asimilables al ruido, cualidad ésta que las hace muy atractivas para determinadas aplicaciones (civiles y militares) que pueden combinar requerimientos de banda ancha, sincronismo o de acceso compartido al medio. Por ello, a lo largo del estudio se ha tratado de determinar cuáles son las prestaciones de las mismas que explican su empleo en las diversas aplicaciones.

Dada la variedad de estas secuencias, se ha pretendido cubrir con el estudio un ambicioso rango de secuencias PRN, incluyendo los principales tipos: caóticas, de longitud máxima, de Kasami y Gold.

Por la naturaleza del estudio, eminentemente práctico, el trabajo presenta dos vertientes claramente diferenciadas, la generación de las secuencias y la caracterización de las mismas, llevándose a cabo numerosos análisis cuantitativos y gráficos, sobre la base de la simulación.

Las simulaciones y análisis realizados se han centrado, sobre todo, en las prestaciones de las funciones de autocorrelación y de correlación cruzada, si bien se han considerado también propiedades espectrales y temporales de las secuencias.

Entre las conclusiones más destacadas que se alcanzan, hay que mencionar que todas ellas logran un gran reparto en banda de la potencia, muy deseable en sistemas de espectro ensanchado, que las proporciona propiedades inmunidad frente al ruido y la interferencia.

Salvando lo anterior, se concluye que, de las secuencias analizadas, las que presentan una mejor autocorrelación son las caóticas y las secuencias PN (Pseudo-Noise) de longitud máxima, dado que las de Kasami y las Gold presentan un rizado de la función para desplazamientos mayores de un chip.

Desafortunadamente, las secuencias PN de longitud máxima presentan, salvo grupos muy reducidos, una mala correlación cruzada, que las descarta para aplicaciones de acceso compartido al medio. Por su parte, las secuencias de Kasami y de Gold consiguen proporcionar grandes familias de secuencias con buenas propiedades de correlación cruzada.

PALABRAS CLAVE

Secuencia, chip, autocorrelación, correlación, potencia, pseudoaleatorio.

AGRADECIMIENTOS

A los miembros de mi familia, sin cuya comprensión, paciencia y ánimo no habría podido culminar este estudio. Soy consciente de las muchas facilidades que me han prestado, disculpándome siempre del tiempo de dedicación del que les he privado.

A mi directora de TFM, por los ánimos y colaboración que me ha brindado en todo momento.

CONTENIDO

Contenido 1
Índice de Figuras 3
Índice de Tablas 10
1 Introducción y objetivos 13
1.1 Objetivos. 13
1.2 Características generales de los Sistemas de Espectro Ensanchado. 13
1.3 Técnicas de los Sistemas de Espectro Ensanchado. 15
1.3.1 Secuencia Directa (DS) 15
1.3.2 Salto de Frecuencia (FH). 15
1.4 Secuencias pseudoaleatorias. 16
2 Ámbito de aplicación 17
2.1 Tecnologías actuales. 17
3 Desarrollo del TFM 19
3.1 Generación de secuencias caóticas. 19
3.1.1 Sistemas Caóticos. 19
3.1.2 Consideraciones de simulación de la autocorrelación. 22
3.1.3 Consideraciones de simulación de la correlación cruzada. 26
3.2 Generación de secuencias PN. 29
3.2.1 Proceso de generación de secuencias PN. 29
3.2.2 Propiedades de las secuencias PN. 34
3.2.3 Implementación hardware de generadores PN. 39
3.3 Generación de secuencias de Kasami. 42
3.3.1 Proceso de generación de secuencias de Kasami. 42
3.3.2 Propiedades de las secuencias de Kasami. 43
3.4 Generación de Secuencias Gold 47
3.4.1 Proceso de generación de secuencias Gold Genéricas 47
3.4.2 Generación de secuencias Gold para GPS 51
3.4.3 Propiedades de las secuencias Gold 53
4 Simulación 55
4.1 Caracterización de secuencias caóticas. 55
4.1.1 Caracterización temporal. 55
4.1.2 Caracterización de la autocorrelación. 56
4.1.3 Caracterización de la correlación cruzada. 72

4.1.4 Caracterización espectral. 87
4.2 Caracterización de secuencias PN. 89
4.2.1 Caracterización temporal. 89
4.2.2 Caracterización de la autocorrelación. 91
4.2.3 Caracterización de la correlación cruzada. 106
4.2.4 Caracterización espectral. 119
4.3 Caracterización de secuencias de Kasami. 125
4.3.1 Caracterización de la autocorrelación. 125
4.3.2 Caracterización de la correlación cruzada. 130
4.4 Caracterización de secuencias Gold. 134
4.4.1 Caracterización de la autocorrelación. 134
4.4.2 Caracterización de la correlación cruzada. 137
5 Conclusiones y líneas futuras 140
5.1 Introducción. 140
5.2 Líneas futuras. 140
5.3 Conclusiones. 141
5.3.1 Conclusiones generales de las secuencias PRN. 141
5.3.2 Conclusiones específicas de las secuencias caóticas. 141
5.3.3 Conclusiones específicas de las secuencias PN de longitud máxima. 142
5.3.4 Conclusiones específicas de las secuencias de Kasami. 142
5.3.5 . Conclusiones específicas de las secuencias Gold. 143
6 Bibliografía 144
Apéndice I: Parámetros de síntesis de secuencias PN de longitud máxima 146
Apéndice II: Cotas extremas de correlación de secuencias PN de longitud máxima 159
Apéndice III: Tamaño de las familias de kasami. 184

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Concepto de sistema de espectro ensanchado (tomada de [1]) 14

Figura 1-2. Región central de la función de autocorrelación de una secuencia PN 16

Figura 3-1. Sistema caótico de trabajo 20

Figura 3-2. Comparativa de la secuencia caótica generada a partir de dos estados iniciales muy próximos 21

Figura 3-3. Comparativa de gráficas temporales de la secuencia entre los casos de una única muestra por chip y de un número par de veces el régimen de chip 23

Figura 3-4. Comparativa de gráficas de autocorrelación variando la frecuencia de muestreo de la secuencia 24

Figura 3-5. Detalle de las gráficas de autocorrelación variando la frecuencia de muestreo de la secuencia 24

Figura 3-6. Comparativa de gráficas temporales de la secuencia entre los casos de una única muestra por chip y de un número impar de veces el régimen de chip 27

Figura 3-7. Comparativa de gráficas de correlación cruzada variando la frecuencia de muestreo de la secuencia 28

Figura 3-8. Detalle de las gráficas de correlación cruzada variando la frecuencia de muestreo de la secuencia 28

Figura 3-9. Codificador cíclico (*N*,*K*) directo 31

Figura 3-10. Codificador cíclico (*N*,*K*) directo con inclusión de un lazo de realimentación 32

Figura 3-11. Codificador cíclico (*N*,*K*) directo realimentado 32

Figura 3-12. Evolución del codificador cíclico (*N*,*K*) directo realimentado 33

Figura 3-13. Generador pseudoaleatorio linealmente realimentado 33

Figura 3-14. LFSR con polinomio generador $x^3 + x + 1$ 35

Figura 3-15. LFSR con polinomio generador $x^4 + x + 1$ 35

Figura 3-16. LFSR con polinomio generador $x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$ 36

Figura 3-17. LFSR con polinomio generador $x^6 + x + 1$ 36

Figura 3-18. LFSR con polinomio generador $x^{10} + x^8 + x^3 + x^2 + 1$ 37

Figura 3-19. Configuración MSRG (tomada de [5]) 39

Figura 3-20. Implementación hardware de la configuración MSRG (tomada de [5]) 40

Figura 3-21. Implementación optimizada del LFSR con polinomio generador $x^4 + x + 1$ (tomada de [5]) 40

Figura 3-22. Código VHDL que programa el circuito de la figura 3-21 (tomada de [5]) 41

Figura 3-23. LRS-200 (tomada de [7]) 41

Figura 3-24. Esquema de un Generador Gold genérico 48

Figura 3-25. Esquema del Generador Gold universal. 50

Figura 3-26. Esquema del Generador GPS de la señal *C/A* 51

Figura 4-1. Secuencia caótica de trabajo generada a partir del estado inicial $x_0 = 0.3$.....55

Figura 4-2. Ejemplo de fluctuaciones de la autocorrelación parcial de secuencias caóticas 56

Figura 4-3. Promedio de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de secuencias caóticas....57

Figura 4-4. Ídem. que la figura 4-1 para el caso de secuencia cuantificada a NRZ polar +/-1.....58

Figura 4-5. Ídem. que la figura 4-2 para el caso de secuencia cuantificada a NRZ polar +/-1.....58

Figura 4-6. Ídem. que la figura 4-3 para el caso de secuencia cuantificada a NRZ polar +/-1.....59

Figura 4-7. Comparativa de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de secuencias caóticas con y sin cuantificación a NRZ polar +/-1 59

Figura 4-8. Comparativa del promedio de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de secuencias caóticas con y sin cuantificación a NRZ polar +/-1 60

Figura 4-9. Detalle de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial para desfases inferiores a 5 chips 61

Figura 4-10. Detalle de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial para desfases inferiores a 2 chips 61

Figura 4-11. Detalle de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial en el entorno del máximo de la función.....62

Figura 4-12. Detalle del desdoblamiento de trazos en la gráfica de fluctuaciones de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica de trabajo cuantificada a NRZ polar +/-1 62

Figura 4-13. Ejemplo de fluctuaciones de la autocorrelación parcial de secuencias caóticas tomando subsecuencias consecutivas no solapadas.....64

Figura 4-14. Promedio de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica de trabajo tomando subsecuencias consecutivas no solapadas 65

Figura 4-15. Detalle de la figura 4-14 para desfases inferiores a 5 chips.....65

Figura 4-16. Comparativa de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica de trabajo en función del desplazamiento de la ventana de correlación 66

Figura 4-17. Comparativa del promedio de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica de trabajo en función del desplazamiento de la ventana de correlación 66

Figura 4-18. Detalle de la comparativa de la figura 4-16 para desfases inferiores a 5 chips 67

Figura 4-19. Detalle de la comparativa de la figura 4-17 para desfases inferiores a 5 chips 67

Figura 4-20. Comparativa de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica de trabajo en función del tamaño de la ventana de correlacion.....68

Figura 4-21. Comparativa del promedio de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica de trabajo en función del tamaño de la ventana de correlacion 69

Figura 4-22. Autocorrelación parcial de la secuencia caótica de trabajo empleando una longitud extraordinariamente larga 70

Figura 4-23. Detalle de la figura 4-22 para desfases inferiores a 5 chips.....71

Figura 4-24. Comparativa de estimaciones de la función de autocorrelación de la secuencia caótica indefinida.....72

Figura 4-25. Correlación de subsecuencias de 63 chips de la secuencia caótica óriginal 72

Figura 4-26. Propiedades de correlación de la secuencia caótica original empleando subsecuencias de 63 chips.....73

Figura 4-27. Detalle de la figura 4-26 para desplazamientos inferiores a 30 chips 73

Figura 4-28. Correlación de subsecuencias de 63 chips de la secuencia caótica binaria 74

Figura 4-29. Propiedades de correlación de la secuencia caótica binaria empleando subsecuencias de 63 chips 75

Figura 4-30. Detalle de la figura 4-29 para desplazamientos inferiores a 30 chips 75

Figura 4-31. Comparativa de correlación cruzada variando el orden de los términos de la operación, para el caso de la secuencia cáotica original 76

Figura 4-32. Detalle de la zona central de las gráficas de la figura 4-31.....77

Figura 4-33. Comparativa de correlación cruzada variando el orden de los términos de la operación, para el caso de la secuencia cuantificada a NRZ polar +/-1.....77

Figura 4-34. Detalle de la zona central de las gráficas de la figura 4-33.....78

Figura 4-35. Correlación de subsecuencias de 1023 chips de la secuencia caótica óriginal 78

Figura 4-36. Correlación de subsecuencias de 1023 chips de la secuencia caótica binaria.....79

Figura 4-37. Comparativa de correlación de subsecuencias de 1023 chips.....79

Figura 4-38. Propiedades de correlación de la secuencia caótica original empleando subsecuencias de 1023 chips 80

Figura 4-39. Propiedades de correlación de la secuencia caótica binaria empleando subsecuencias de 1023 chips 80

Figura 4-40. Comparativa de correlación cruzada entre dos tamaños distintos de la pareja de subsecuencias, para el caso de la secuencia cáotica original.....81

Figura 4-41. Comparativa de correlación cruzada entre dos tamaños distintos de la pareja de subsecuencias, para el caso de la secuencia cáotica binaria 81

Figura 4-42. Comparativa de las propiedades de correlación entre dos tamaños de subsecuencia que difieren varios órdenes de magnitud, para el caso de la secuencia cáotica original 82

Figura 4-43. Detalle de la zona central de las gráficas de la figura 4-42.....82

Figura 4-44. Comparativa de las propiedades de correlación entre dos tamaños de subsecuencia que difieren varios órdenes de magnitud, para el caso de la secuencia cáotica binaria.....83

Figura 4-45. Detalle de la zona central de las gráficas de la figura 4-44.....83

Figura 4-46. Ejemplo de propiedades de correlación de subsecuencias de una misma secuencia caótica, sin cuantificar, desfasadas unos cuantos chips 84

Figura 4-47. Ejemplo de propiedades de correlación de subsecuencias de una misma secuencia caótica, sin cuantificar, desfasadas numerosos chips.....85

Figura 4-48. Ídem. que la figura anterior con desfase circular de las subsecuencias.....85

Figura 4-49. Ejemplo de propiedades de correlación de subsecuencias de una misma secuencia caótica, cuantificada a NRZ polar +/-1, desfasadas unos cuantos chips.....86

Figura 4-50. Ejemplo de propiedades de correlación de subsecuencias de una misma secuencia caótica, cuantificada a NRZ polar +/-1, desfasadas numerosos chips 87

Figura 4-51. Espectro de la secuencia caótica original.....87

Figura 4-52. Espectro de la secuencia caótica cuantificada a NRZ polar +/-1 88

Figura 4-53. Ídem que la gráfica de la figura 4.52, insertando marcadores caóticos 88

Figura 4-54. Ejemplo de secuencia PN de longitud máxima de 7 chips con codificación de fuente NRZ polar +/-1 89

Figura 4-55. Ejemplo de secuencia PN de longitud máxima de 7 chips con codificación de fuente NRZ bipolar +/-1 90

Figura 4-56. Ejemplo de secuencia PN de longitud máxima de 15 chips con codificación de fuente NRZ polar +/-1 90

Figura 4-57. Ejemplo de secuencia PN de longitud máxima de 15 chips con codificación de fuente NRZ bipolar +/-1 91

Figura 4-58. Comparativa de fluctuaciones de la autocorrelación parcial entre una secuencia PN de periodo largo y la secuencia caótica binaria de trabajo 92

Figura 4-59. Comparativa del promedio de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial entre una secuencia PN de periodo largo y la secuencia caótica binaria de trabajo 92

Figura 4-60. Autocorrelación parcial de una secuencia PN de longitud máxima de 63 chips 93

Figura 4-61. Autocorrelación parcial de la secuencia PN de trabajo empleando una longitud de 3 ciclos 94

Figura 4-62. Detalles de la gráfica de la figura 4-61 94

Figura 4-63. Autocorrelación parcial de la secuencia PN de trabajo empleando una longitud de 10 ciclos 95

Figura 4-64. Detalles de la gráfica de la figura 4-63 96

Figura 4-65. Autocorrelación parcial de la secuencia PN de trabajo empleando una longitud de 100 ciclos 97

Figura 4-66. Detalles de la gráfica de la figura 4-65 97

Figura 4-67. Detalle de la autocorrelación parcial de la secuencia PN de trabajo empleando una longitud de 1000 ciclos 98

Figura 4-68. Comparativa del suelo de autocorrelación de la secuencia PN de trabajo tomando distinto número de ciclos en la ventana de correlación 99

Figura 4-69. Comparativa del suelo de autocorrelación de secuencias PN de longitud máxima de distinto periodo 99

Figura 4-70. Detalle de la autocorrelación parcial de la secuencia PN de trabajo para una amplitud de V=2 100

Figura 4-71. Comparativa del suelo de autocorrelación con distinta amplitud V de la secuencia PN de trabajo 100

Figura 4-72. Detalle de la autocorrelación parcial de una secuencia PN de longitud máxima de 1023 chips con V=2 101

Figura 4-73. Comparativa de la región central de la función de autocorrelación de dos secuencias PN de distinta longitud con V=2 102

Figura 4-74. Detalles de la región central de la función de autocorrelación de la secuencia PN de trabajo con codificación fuente bipolar +/-1 104

Figura 4-75. Detalles de la región central de la función de autocorrelación de la secuencia PN de trabajo con codificación fuente unipolar de amplitud V=1 104

Figura 4-76. Comparativa de la región central de la función de autocorrelación de la secuencia PN de trabajo entre los casos de codificación fuente polar y bipolar de amplitud V=1 105

Figura 4-77. Comparativa de la región central de la función de autocorrelación de la secuencia PN de trabajo entre los casos de codificación fuente polar y unipolar de amplitud *V*=1 105

Figura 4-78. Correlación de la pareja de subsecuencias de trabajo de 1 ciclo de longitud y detalle de la región central de la misma 106

Figura 4-79. Correlación de la pareja de subsecuencias de trabajo de 3 ciclos de longitud y detalle de la región central de la misma 107

Figura 4-80. Correlación de la pareja de subsecuencias de trabajo de 10 ciclos de longitud y detalle de la región central de la misma 107

Figura 4-81. Correlación de la pareja de subsecuencias de trabajo de 100 ciclos de longitud y detalle de la región central de la misma 108

Figura 4-82. Detalle de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de trabajo ilustrando varios periodos de la misma en la ventana de observación.....109

Figura 4-83. Detalle de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de trabajo ilustrando dos periodos de la misma en la ventana de observación.....109

Figura 4-84. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 1 y 2 de la tabla A1-9.....110

Figura 4-85. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 1 y 3 de la tabla A1-9.....111

Figura 4-86. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 1 y 4 de la tabla A1-9.....111

Figura 4-87. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 1 y 5 de la tabla A1-9.....112

Figura 4-88. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 1 y 6 de la tabla A1-9.....112

Figura 4-89. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 2 y 3 de la tabla A1-9.....113

Figura 4-90. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 2 y 4 de la tabla A1-9.....113

Figura 4-91. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 2 y 5 de la tabla A1-9.....114

Figura 4-92. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 2 y 6 de la tabla A1-9.....114

Figura 4-93. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 3 y 4 de la tabla A1-9.....115

Figura 4-94. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 3 y 5 de la tabla A1-9.....115

Figura 4-95. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 3 y 6 de la tabla A1-9.....116

Figura 4-96. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 4 y 5 de la tabla A1-9.....116

Figura 4-97. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 4 y 6 de la tabla A1-9.....117

Figura 4-98. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 5 y 6 de la tabla A1-9.....117

Figura 4-99. Espectro de una secuencia PN de longitud máxima de 7 chips 119

Figura 4-100. Espectro de una secuencia PN de longitud máxima de 15 chips.....120

Figura 4-101. Espectro de una secuencia PN de longitud máxima de 63 chips.....120

Figura 4-102. Espectro de una secuencia PN de longitud máxima de 1023 chips.....121

Figura 4-103. Comparativa del espectro de la secuencia PN de longitud máxima de 7 chips de trabajo empleando codificaciones fuente NRZ polar y bipolar.....122

Figura 4-104. Comparativa del espectro de la secuencia PN de longitud máxima de 15 chips de trabajo empleando codificaciones fuente NRZ polar y bipolar.....122

Figura 4-105. Comparativa del espectro de la secuencia PN de longitud máxima de 63 chips de trabajo empleando codificaciones fuente NRZ polar y bipolar.....123

Figura 4-106. Comparativa del espectro de la secuencia PN de longitud máxima de 1023 chips de trabajo empleando codificaciones fuente NRZ polar y bipolar.....123

Figura 4-107. Síntesis de señal real de la secuencia PN de longitud máxima de 7 chips de trabajo empleando codificaciones fuente NRZ polar y bipolar 124

Figura 4-108. Síntesis de señal real de la secuencia PN de longitud máxima de 15 chips de trabajo empleando codificaciones fuente NRZ polar y bipolar 124

Figura 4-109. Síntesis de señal real de la secuencia PN de longitud máxima de 63 chips de trabajo empleando codificaciones fuente NRZ polar y bipolar 124

Figura 4-110. Autocorrelación de la secuencia de Kasami resultante de emplear la primera subsecuencia $b[n]$ de la Tabla 4-13.....126

Figura 4-111. Autocorrelación de la secuencia de Kasami resultante de emplear la tercera subsecuencia $b[n]$ de la Tabla 4-13.....127

Figura 4-112. Autocorrelación de la secuencia de Kasami resultante de emplear la cuarta subsecuencia $b[n]$ de la Tabla 4-13.....127

Figura 4-113. Autocorrelación de la secuencia de Kasami resultante de emplear la quinta subsecuencia $b[n]$ de la Tabla 4-13.....128

Figura 4-114. Autocorrelación de la secuencia de Kasami resultante de emplear la sexta subsecuencia $b[n]$ de la Tabla 4-13.....128

Figura 4-115. Autocorrelación de la secuencia de Kasami resultante de emplear la séptima subsecuencia $b[n]$ de la Tabla 4-13.....129

Figura 4-116. Detalle de la autocorrelación de la secuencia de Kasami resultante de emplear la novena subsecuencia $b[n]$ de la Tabla 4-13.....129

Figura 4-117. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias de Kasami determinada por las subsecuencias $b[n]$ primera y tercera de la Tabla 4-13.....131

Figura 4-118. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias de Kasami determinada por las subsecuencias $b[n]$ primera y cuarta de la Tabla 4-13.....131

Figura 4-119. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias de Kasami determinada por las subsecuencias $b[n]$ primera y quinta de la Tabla 4-13 132

Figura 4-120. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias de Kasami determinada por las subsecuencias $b[n]$ primera y sexta de la Tabla 4-13 132

Figura 4-121. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias de Kasami determinada por las subsecuencias $b[n]$ primera y séptima de la Tabla 4-13 133

Figura 4-122. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias de Kasami determinada por las subsecuencias $b[n]$ primera y novena de la Tabla 4-13 133

Figura 4-123. Comparativa de correlación cruzada de secuencias de 63 chips de periodo entre una pareja de Kasami y una pareja PN preferente 134

Figura 4-124. Ciclo central de la función de autocorrelación de la secuencia Gold determinada por las condiciones de trabajo de partida 135

Figura 4-125. Ciclo central de la función de autocorrelación de la pareja de secuencias Gold determinada por un desplazamiento de un chip en el estado inicial del segundo generador parcial 136

Figura 4-126. Ciclo central de la función de autocorrelación de la pareja de secuencias Gold determinada por un desplazamiento de 10 chips en el estado inicial del segundo generador parcial .. 136

Figura 4-127. Ciclo central de la función de correlación de la pareja 'A' de secuencias Gold pertenecientes a la familia generada por la pareja de secuencias PN preferente (4,5) de la tabla A1-9 137

Figura 4-128. Ciclo central de la función de correlación de la pareja 'B' de secuencias Gold pertenecientes a la familia generada por la pareja de secuencias PN preferente (4,5) de la tabla A1-9 138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Valores máximos de la autocorrelación en función de la frecuencia de muestreo.....25

Tabla 3-2. Valor de las muestras centrales de la autocorrelación siendo $f_m = R_{chip}$.....25

Tabla 3-3. Valor de las muestras centrales de la autocorrelación siendo $f_m = 4\ R_{chip}$.....25

Tabla 3-4. Valor de las muestras centrales de la correlación cruzada siendo $f_m = R_{chip}$.....29

Tabla 3-5. Valor de las muestras centrales de la correlación cruzada siendo $f_m = 3\ R_{chip}$.....29

Tabla 3-6. Parámetros de configuración del Generador G_1 52

Tabla 3-7. Parámetros de configuración del Generador G_2 52

Tabla 4-1. Comparativa de las estimaciones de potencia media de la secuencia en función de sus muestras temporales y de su autocorrelación parcial.....63

Tabla 4-2. Comparativa de las estimaciones de potencia media de la secuencia en función de sus muestras temporales y de su autocorrelación promedio con subsecuencias desfasadas 1 chip 63

Tabla 4-3. Comparativa de las estimaciones de potencia media de la secuencia considerando dos tamaños distintos de subsecuencias consecutivas no solapadas para la autocorrelación promedio 69

Tabla 4-4. Comparativa de las estimaciones de potencia media de la secuencia empleando una subsecuencia extraordinariamente larga.....71

Tabla 4-5. Valores máximos de autocorrelación parcial de la secuencia PN de trabajo con una longitud de 3 ciclos 95

Tabla 4-6. Valores máximos de autocorrelación parcial de la secuencia PN de trabajo con una longitud de 10 ciclos 96

Tabla 4-7. Valor promedio del pedestal de la autocorrelación para una amplitud de señal de V=1 102

Tabla 4-8. Valor promedio del pedestal de la autocorrelación para una amplitud de señal de V=2 103

Tabla 4-9. Extracto de la tabla A1-9 con la pareja de secuencias de longitud máxima de 63 chips de interés.....106

Tabla 4-10. Relación matricial de parejas preferentes de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips 118

Tabla 4-11. Valores característicos de la función de correlación de parejas preferentes de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips con V=1 118

Tabla 4-12. Tabla resumen de propiedades espectrales de las secuencias PN de longitud máxima 125

Tabla 4-13. Subsecuencias $b[n]$ de la secuencia PN de trabajo obtenidas en función de la posición de muestreo dentro de cada bloque de Q muestras lógicas 125

Tabla 4-14. Estadística resumen del tamaño máximo de las familias de Kasami que pueden obtenerse en función del número de registros N del generador PN de longitud máxima empleado ...130

Tabla 4-15. Extracto de la tabla A1-9 con la pareja preferente de secuencias de longitud máxima de 63 chips de interés 135

Tabla A1-1. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 3 bits 146

Tabla A1-2. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N*=2 bits 146
Tabla A1-3. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 7 bits 147
Tabla A1-4. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N*=3 bits 147
Tabla A1-5. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 15 bits 147
Tabla A1-6. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N*=4 bits 147
Tabla A1-7. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 31 bits 147
Tabla A1-8. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N*=5 bits 148
Tabla A1-9. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 63 bits 148
Tabla A1-10. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N*=6 bits 148
Tabla A1-11. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 127 bits 149
Tabla A1-12. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N*=7 bits 149
Tabla A1-13. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 255 bits 149
Tabla A1-14. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N*=8 bits 150
Tabla A1-15. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 511 bits 151
Tabla A1-16. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N*=9 bits 151
Tabla A1-17. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 1023 bits 152
Tabla A1-18. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N*=10 bits 152
Tabla A1-19. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 4095 bits 157
Tabla A1-20. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N*=12 bits 157
Tabla A1-21. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N*=14 bits 158
Tabla A2-1. Cotas extremas de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 7 bits.....159
Tabla A2-2. Cotas extremas de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 15 bits.....159
Tabla A2-3. Cota superior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 31 bits.....160
Tabla A2-4. Cota inferior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 31 bits.....160
Tabla A2-5. Cota superior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 63 bits.....161
Tabla A2-6. Cota inferior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 63 bits.....161
Tabla A2-7. Cota superior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 127 bits.....162
Tabla A2-8. Cota inferior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 127 bits.....163
Tabla A2-9. Cota superior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 255 bits.....164

Tabla A2-10. Cota inferior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 255 bits.....165

Tabla A2-11. Cota superior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 511 bits.....169

Tabla A2-12. Cota inferior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 511 bits.....173

Tabla A2-13. Cota superior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 1023 bits.....178

Tabla A2-14. Cota inferior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 1023 bits.....183

Tabla A3-1. Análisis del tamaño de las familias de secuencias de Kasami de 63 bits de periodo184

Tabla A3-2. Análisis del tamaño de las familias de secuencias de Kasami de 1023 bits de periodo 185

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Objetivos.

Este trabajo pretende ser un estudio riguroso y exhaustivo de las secuencias PRN (Pseudo-Random Noise) que pueda servir de base para el diseño o el análisis de sistemas de tecomunicación o, incluso, de sistemas de información.

Este tipo de secuencias se emplean en un abanico de aplicaciones sobre la base del concepto de espectro ensanchado. Más allá de ello, diversas propiedades que reúnen las hacen muy valiosas para aplicaciones de adquisición de sincronismo y sistemas multiusuario de acceso simultáneo.

Las referidas propiedades son la autocorrelación y la correlación cruzada. Por tanto, el trabajo se centrará en el estudio de estas dos funciones, con el objeto de conocer y analizar las propiedades de las mismas en este tipo de secuencias, sin perjuicio de que se consideren y analicen otras propiedades de las citadas secuencias.

En concreto, entre otros análisis efectuados, se pretende evaluar la influencia de la longitud, de la propia secuencia considerada o del periodo de la misma, sobre las propiedades de este tipo de secuencias.

Por consiguiente, el trabajo presenta dos vertientes diferenciadas, aunque interrelacionadas: la generación de las secuencias y la caracterización de las mismas. Fiel a esta consideración, en el capítulo 3 se abordan las consideraciones más teóricas o de base, trasladando al capítulo 4 numerosos ejemplos ilustrativos del tipo de análisis realizados, con continuas referencias entre ambos capítulos.

A su vez, se ha pretendido ofrecer una amplia panorámica, extendiendo los análisis a los principales tipos de secuencias PRN: caóticas, de longitud máxima, de Kasami y Gold.

Todas las conclusiones alcanzadas en dichos capítulos han sido determinadas experimentalmente, fruto de la investigación, sobre la base de numerosas simulaciones llevadas a cabo en Matlab, sin perjuicio de otros tantos desarrollos analíticos.

En los apartados siguientes se introducirán algunos conceptos generales necesarios para entender el fundamento y ámbito de aplicación de este tipo de secuencias.

1.2 Características generales de los Sistemas de Espectro Ensanchado.

El enfoque tradicional de las comunicaciones digitales está basado en la idea de transmitir la máxima información con el mínimo ancho de banda posible. El concepto más general de sistema de espectro ensanchado se encuentra representado en la figura siguiente:

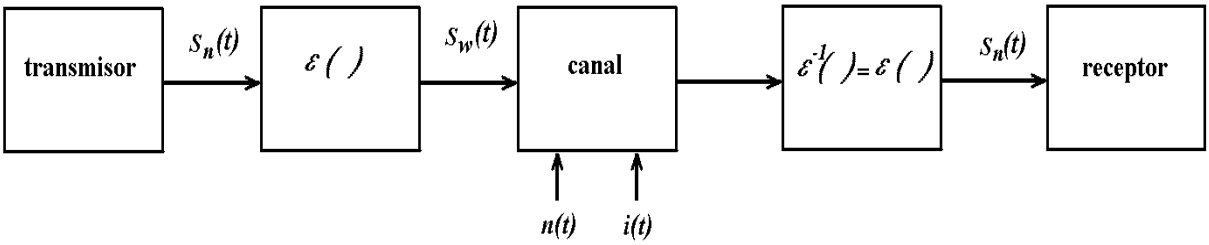


Figura 1-1. Concepto de sistema de espectro ensanchado (tomada de [1]).

Formalmente, la función del transmisor y del receptor puede ser dividida en dos pasos. En el primero o modulación primaria se constituye la señal de banda estrecha $s_n(t)$. En el segundo o modulación secundaria se aplica la operación $\varepsilon(\ )$, dando lugar a la expansión del espectro de señal en una banda de frecuencia muy ancha. Esta señal se ha denominado $s_w(t)$.

En el receptor, el primer paso es el desensanchamiento ε^{-1}, que viene a ser idéntico al proceso de ensanchamiento. Al desensanchar, la señal de banda ancha $s_w(t)$ es devuelta a su forma original $s_n(t)$, pasando a emplearse los métodos standard de demodulación.

El primer beneficio del espectro ensanchado es que propociona gran inmunidad frente a interferencias provocadas o jamming. Supóngase que la señal $s_w(t)$ es recibida junto con una señal interferente $i_n(t)$ de gran potencia y de banda relativamente estrecha. Tras el proceso de desensanchamiento se tiene:

$$\varepsilon^{-1}(s_w(t) + i_n(t)) = \varepsilon^{-1}(s_w(t)) + \varepsilon^{-1}(i_n(t)) = s_n(t) + i_w(t) \tag{1.1}$$

En otras palabras, el proceso de desensanchamiento ha convertido la señal interferente en una señal de banda ancha. Filtrando paso banda la señal $s_n(t)$ resulta:

$$F(s_n(t) + i_w(t)) = s_n(t) + F(i_w(t)) = s_n(t) + i_{wr}(t) \tag{1.2}$$

Sólo una pequeña parte de la potencia de la señal interferente pasará el filtro, y permanecerá como interferencia residual $i_{wr}(t)$.

La base de los sistemas de espectro ensanchado son las secuencias pseudoaleatorias o secuencias PRN, empleadas para ensanchar el espectro de la señal de información. Las secuencias pseudoaleatorias serán, generalmente, señales digitales binarias +/-V, es decir, polares. En el marco de las comunicaciones de espectro ensanchado, para diferenciar la secuencia pseudoaleatoria de la señal de información, los bits de la secuencia pseudoaleatoria se designan como chips.

Como las secuencias pseudoaleatorias tienen muy baja autocorrelación, los multitrayectos con retardos superiores a un periodo de chip aparecen como ruido. Por otra parte, mediante un receptor RAKE la propagación multitrayecto es aprovechable [1]. En definitiva, aparte de la capacidad antijamming, el ensanchamiento del espectro permitirá reducir los efectos de la propagación multitrayecto.

Existen dos técnicas básicas de espectro ensanchado: DS (Direct Sequence) y FH (Frecuency Hopping).

1.3 Técnicas de los Sistemas de Espectro Ensanchado.

1.3.1 Secuencia Directa (DS)

Es el modo de ensanchamiento de espectro más extendido. Consiste en la multiplicación directa de la señal de banda estrecha por la secuencia pseudoaleatoria, siendo la señal de banda estrecha una señal BPSK (si bien, es perfectamente aplicable a la secuencia en banda base). Por consiguiente, será:

$$s_n(t) = b(t)\cos(w_0 t) \quad , \quad b(t) = \pm V \tag{1.3}$$

Por su parte, la señal de banda ancha resulta ser:

$$s_w(t) = \varepsilon(s_n(t)) = c(t)\, b(t)\cos(w_0 t) \tag{1.4}$$

Donde $c(t)$ es la secuencia pseudoaleatoria. Para un ensanchamiento de espectro eficiente, el periodo de chip T_{chip} deberá ser mucho más pequeño que el de bit T_{bit}. Por consiguiente, el ancho de banda de la señal ensanchada $s_w(t)$ vendrá dado directamente por $c(t)$ y será mucho mayor el de $s_n(t)$, ya que $1/T_{chip} >> 1/T_{bit}$.

Tras el desensanchamiento se tendrá:

$$\varepsilon^{-1}(s_w(t)) = \varepsilon(s_w(t)) = c(t)\, s_w(t) = c^2(t)\, b(t)\cos(w_0 t) \tag{1.5}$$

De este modo, asumiendo para la secuencia $c(t)$ una amplitud ± 1 o, lo que es lo mismo, que las operaciones de ensanchamiento y desensanchamiento no han variado la potencia, resulta:

$$\varepsilon^{-1}(s_w(t)) = b(t)\cos(w_0 t) = s_n(t) \tag{1.6}$$

Este desarrollo tiene implícito que la secuencia $c(t)$ en transmisión y recepción se encuentran sincronizadas. El método RASE (Rapid Acquisition by Sequential Estimation) [3] es una técnica de adquisición coherente del sincronismo de la secuencia pseudoaleatoria de un sistema de espectro ensanchado. En [4] se describe un receptor no coherente de acquisión de código para un sistema DS basado en un filtro adaptado.

1.3.2 Salto de Frecuencia (FH).

En estos sistemas para la modulación primaria se emplea una modulación FSK (Frequency Shift Keying) o MFSK (*M*-ary Frequency Shift Keying).

$$FSK \Rightarrow s_n(t) = \cos([w_0 + b(t)\Delta w]t) = \cos(w_n(t)\, t) \quad , \quad b(t) = \pm 1 \tag{1.7}$$

Para la operación de ensanchamiento $\varepsilon(\,)$ se emplea un sintetizador de frecuencia, que genera una señal sinusoidal $s_\varepsilon(t)$, cuya frecuencia cambia cada T_h segundos de forma pseudoaleatoria, dentro de un rango discreto de M posibles valores de frecuencia. Si el periodo de bit $T_{bit} > T_h$ se hablaría de FFH (Fast Frequency Hopping) y si $T_{bit} < T_h$, de SFH (Slow Frequency Hopping).

La señal $s_\varepsilon(t)$ puede venir representada de la siguiente forma:

$$s_\varepsilon(t) = \cos([w_1 + M(t, T_h)\Delta w]\, t) = \cos(w_\varepsilon(t)\, t) \tag{1.8}$$

Siendo $M(t, T_h)$ un número pseudoaleatorio que puede tomar cada T_h segundos distintos valores dentro de un conjunto de M posibles. La operación $\varepsilon(\,)$ consiste en multiplicar $s_n(t)$ y $s_\varepsilon(t)$ y, tras el proceso de mezcla, filtrar paso alto la frecuencia determinada por la pulsación:

$$w_t(t) = w_\varepsilon(t) + w_n(t) = w_0 + w_1 + [b(t) + M(t, T_h)]\,\Delta w \tag{1.9}$$

La pulsación $w_t(t)$ tiene una componente fija, $w_c = w_0 + w_1$, y una componente variable, dada por el término $[b(t) + M(t, T_h)]\,\Delta w$. Siendo $b(t) \in [-1, 1]$, si $M(t, T_h) \in [0, 1,..., M]$, la señal $s_w(t)$, resultante de la operación $\varepsilon\ (\ )$, ocupará en el transcurso del tiempo un ancho de banda B_w comprendido entre $(w_c - \Delta w)$ y $(w_c + [M + 1]\,\Delta w)$, resultando ser:

$$B_w = (M + 2)\Delta w \cong M\Delta w \ , \quad M \text{ es grande.} \tag{1.10}$$

La operación de desensanchamiento consistirá en multiplicar nuevamente las señales $s_w(t)$ y $s_\varepsilon(t)$ y filtrar, en este caso, paso banda la frecuencia dada por $w_t(t) - w_\varepsilon(t) = w_n(t)$, resultando la señal FSK de banda estrecha original, que ocupa un ancho de $\pm\Delta w$ en torno a w_0.

El sintetizador de frecuencia generará la señal $s_\varepsilon(t)$ en función de una secuencia pseudoaleatoria que se aplicará a su entrada. En entornos de acceso múltiple, la señal de un usuario individual, en un instante determinado, ocupará un estrecho canal (modulado en FSK), ocupado únicamente por dicho usuario (salvo interferencias). Las frecuencias portadoras de cada usuario irán cambiando de forma pseudoaleatoria.

1.4 Secuencias pseudoaleatorias.

Las secuencias pseudoaleatorias constituyen la base de los sistemas de espectro ensanchado. Ante todo, son secuencias digitales, generalmente binarias.

El término secuencia PRN (Pseudo-Random Noise) es la denominación más general para referirse a este tipo de secuencias, englobando las secuencias caóticas y las secuencias PN (Pseudo-Noise) en general. El término secuencia PN es la denominación clásica de las secuencias producidas por un generador constituido de registros de desplazamiento linealmente realimentados.

Aunque las secuencias de Kasami y de Gold pueden considerarse un tipo de secuencias PN, en este trabajo se empleará ésta última denominación para referirse a la generación clásica, normalmente de secuencias de longitud máxima.

Por lo general, cuando se hable de secuencias pseudoaleatorias se sobreentenderán las siguientes propiedades:

- Son señales aperiódicas o con un periodo tan largo que un observador no autorizado las vería como ruido.
- Su valor medio resulta aproximadamente 0, es decir, aproximadamente tendrán igual número de "ceros" que de "unos". En otras palabras, hay equiprobabilidad de símbolos.
- Presentan una autocorrelación parecida a la del ruido. Idealmente, para desplazamientos inferiores al periodo de la secuencia, presentan una función de autocorrelación similar a la mostrada en la figura, donde V es la amplitud de los chips (supuesta una codificación NRZ polar), Δ el periodo de chip y N es el número de chips del periodo.

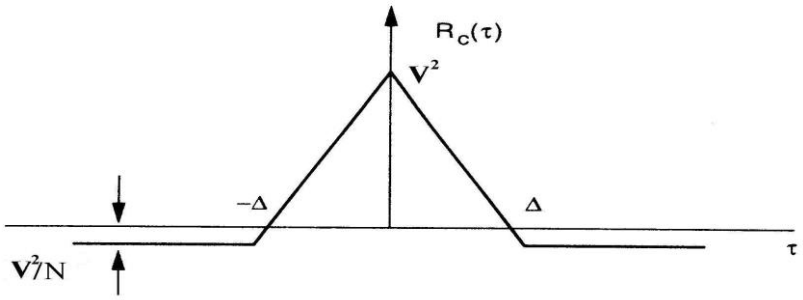


Figura 1-2. Región central de la función de autocorrelación de una secuencia PN.

2 ÁMBITO DE APLICACIÓN

2.1 Tecnologías actuales.

En muchas aplicaciones la transmisión de datos debe desarrollarse con una baja relación señal a ruido (SNR). Así por ejemplo, en determinadas aplicaciones se precisa transmitir con muy poca potencia para reducir el consumo de batería. En un contexto militar la restricción de transmisión con baja SNR puede responder a un propósito de confidencialidad (impedir que el enemigo detecte la transmisión).

Si bien las técnicas de espectro ensanchado pueden aplicarse a sistemas de comunicaciones militares o privados, o a equipos de telemetría de precisión (caso de las técnicas SS-DS, cuando no existe señal de información), el principal frente de difusión de las técnicas de espectro ensanchado viene dado hoy día por su aplicación a entornos de acceso múltiple (comunicaciones móviles y redes satélite). Esta tecnología se conoce como SSMA (Spread Spectrum Multiple Access) o, comercialmente, CDMA (Code Division Mutiple Access). Si en CDMA se emplea como técnica DS, se hablaría de DS-CDMA (o simplemente CDMA), y si se emplea FH se hablaría de FH-CDMA o FHMA.

Las técnicas tradicionales de multiacceso, FDMA y TDMA, asignaban recursos disjuntos (de frecuencia o de tiempo) a cada canal. Las técnicas de CDMA, por el contrario, otorgan a cada canal toda la anchura de la banda espectral, durante todo el tiempo. Por consiguiente, CDMA permite la transmisión simultánea de varias comunicaciones que emplean los mismos recursos a la vez. La separación entre ellas se basa en asignarlas distintos códigos. Pueden encontrarse recogidas en [2] las ventajas de DS-CDMA sobre FDMA y TDMA.

Además de su aplicación a la telefonía móvil, CDMA ha sido empleado en diversos sistemas militares desde hace bastantes años. Uno ejemplo de los ejemplos más conocidos es el de los sistemas de radio tierra/aire (por ejemplo, Harris), que suelen contar con modos seguros de transmisión en FHMA.

Un ejemplo más reciente lo constituyen los terminales satélite transportables SATCOM, que se integran en una red CDMA (denominada DAMA-FAS) de baja capacidad, que permite varias comunicaciones simultáneas (a 8 y 64 Kbps) de los usuarios en la misma banda, desde distintos emplazamientos remotos. Para acceder a la red, estos terminales debe identificarse en el nodo servidor de la estación de anclaje, pudiendo entonces establecer comunicación con cualquiera de los otros terminales remotos que se encuentren en red.

El sistema IDIRECT es una tecnología de comunicación satélite de aplicación militar, que se encuentra en fase de implantación en la actualidad. Aunque se basa en TDMA, es decir, acceso múltiple al medio por división del tiempo, los terminales cuentan con modos que aplican modulación

de espectro ensanchado (por secuencia directa), con distintos factores, a la transmisión de los slot temporales.

Otro campo de aplicación de las secuencias pseudoaleatorias es el de la geolocalización. El Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System) es un sistema que permite posicionar un objeto sobre la Tierra con una precisión de metros o, incluso, de centímetros (si se utiliza GPS diferencial). El sistema fue desarrollado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos (si bien, actualmente, es propiedad de la Fuerza Espacial de los Estados Unidos, contando con una red de 24 satélites en órbita (a 20 200 km de altitud), provistos con relojes atómicos a bordo de cada uno [10].

Cuando se desea obtener la posición de un usuario, el dispositivo empleado localiza un mínimo de cuatro satélites de la red de forma automática, de los que recibe la señal pseudoaleatoria. Esta señal va permitir determinar la identificación y hora del reloj de cada uno de ellos. El dispositivo sincroniza su propio reloj con el de las señales GPS recibidas, calculando el tiempo que tardan en llegar dichas señales, a fin de determinar la distancia a cada satélite en cuestión. A partir de aquí, mediante el método de trilateración inversa determinará su propia localización.

En el ámbito de aplicación militar, se ha comprobado que un esquema estándar de espectro ensanchado de secuencia directa (DS-SS) no es suficiente para asegurar bajas probabilidades de detección (LPD) y/o de Interceptación (LPI), incluso si la SNR es inferior a 0 dB, debido a la naturaleza periódica del código de ensanchamiento. Ello conlleva que un receptor no autorizado aun no consciente de la transmisión en el canal podría ser capaz de determinar que una señal cualquiera está siendo transmitida (interceptación). En tal caso, la demodulación se hace viable si el proceso de generación del código de ensanchamiento resulta conocido (detección).

En [8] se estudia la aplicación del caos a esquemas DS-SS, técnica conocida como CD3S, para la consecución de objetivos de LPI/LPD orientados al desarrollo de redes acústicas submarinas.

En los últimos años se ha producido un gran interés en explorar el caos en sistemas de comunicaciones. Dado su aparente comportamiento aleatorio y sus características de banda ancha, un sistema caótico dinámico puede ser muy útil para fines de confidencialidad. Un código caótico, no sólo ensancha el espectro de la señal de información, sino que actúa como una clave de encriptación. De este modo, sin conocimiento del tipo de no-linearidad en la que la transmisión está basada, será extremadamente difícil para un usuario no-autorizado ser consciente de la transmisión que está teniendo lugar para acceder a la información. Por otra parte, dichas señales son potencialmente robustas contra las imperfecciones del canal, tales como la propagación multitrayecto o el jamming.

Debido a la fuerte dependencia de sus condiciones iniciales, los sistemas caóticos son capaces de producir grandes conjuntos de señales incorreladas. Esta gran sensibilidad a la variación de las condiciones iniciales puede comprobarse fácilmente observando las secuencias generadas a partir de dos estados iniciales muy próximos. Después de la generación de unos pocos valores, las dos secuencias resultantes parecerán completamente incorreladas. El gran conjunto de señales generado constituye una valiosa propiedad en un contexto de transmisión de acceso múltiple.

En CD3S se reemplaza el código PN periódico empleado en los sistemas de comunicaciones DS-SS estándar por un código caótico [9]. Con ello se pretende la obtención de un sistema DS-SS basado en el caos.

Podría decirse que una diferencia fundamental para un Sistema Caótico DS-SS (CD3S), en comparación con un sistema clásico DS-SS, es que cada símbolo de la secuencia de datos es multiplicado por un código de ensanchamiento diferente cada vez. En este sentido, suele hablarse de sistema caótico dinámico.

El esquema de recepción más sencillo de CD3S recibe la denominación de demodulación de Secuencia de Ensanchamiento Exacta (ESS), y está basado en la generación en el receptor de una réplica exacta del código de ensanchamiento caótico aplicado en el lado del transmisor.

3 DESARROLLO DEL TFM

3.1 Generación de secuencias caóticas.

3.1.1 Sistemas Caóticos.

Cualquier sistema caótico puede ser descrito por ecuaciones de estado *n*-dimensionales:

$$x_{k+1} = f(x_k) \qquad , k = 0, 1, 2, \ldots \tag{3.1}$$

Donde $x_k \in \Re^n$ es denominado *estado* y $f(\cdot)$ mapea el estado x_k al siguiente estado x_{k+1}.

Dado un sistema caótico, cualquier mínima diferencia entre dos estados iniciales x_0 conducirá a una divergencia en la secuencia de salida del sistema. Asintóticamente, las dos secuencias de salida llegarán a ser completamente incorreladas, según se ilustrará en el capítulo 4.

La sucesión de secuencias de longitud finita *L*, producidas por una ecuación de estado, se conoce como mapa logístico caótico. En un contexto de aplicación CDMA, el mapa tiene que poseer una función de autocorrelación parcial parecida a la mostrada en la figura 1.2, para una adecuada detección y separación de señal, siendo deseable una secuencia simétrica de media cero.

Para el estudio se ha tomado la siguiente ecuación de estado:

$$x_{k+1} = 1 - 2x_k^2 \tag{3.2}$$

Siendo: $x_0 \in (-1,1) - \{0, \pm 0.5\}$

Los estados iniciales $x_0 = 0$, $x_i = \pm 1$ y $x_i = \pm 0.5$ son estados prohibidos, dado que conllevarían que la secuencia no oscilase, permaneciendo en un valor constante (-1 o 0.5, según el caso). De igual modo, tratándose de una secuencia caótica, tampoco alcanzará ninguno de estos valores en las iteraciones o ciclos de reloj sucesivos. Nótese que, para que la secuencia tomase el valor 0, el estado previo tendría que ser un valor irracional ($\sqrt{2}/2$) que, por definición, no puede ser determinado mediante una fracción de números enteros y, por tanto, tampoco cuantificado de un modo exacto (y, por ende, alcanzado) por ningún sistema discreto. Consecuentemente, tampoco podrá alcanzar el valor 1, ya que ello precisaría que el estado previo fuera 0. Por otra parte, para alcanzar el valor -1 sería necesario que el estado previo fuese, precisamente, ± 1. Finalmente, para alcanzar el valor 0.5, el estado previo tendría que ser también ±0.5 que, en el caso de -0.5, precisaría de otro número racional como estado previo ($\sqrt{3}/2$). En definitiva, la secuencia no podrá alcanzar ninguno de estos estados prohibidos, salvo que fueran forzados inicialmente.

Tales valores resultan de la resolución de las siguientes ecuaciones de convergencia:

$$x_k = x_{k+1} \quad / \quad x_{k+1} = 1 - 2\,x_k{}^2 \tag{3.3}$$

$$x_{k+1} = x_{k+2} \quad / \quad x_{k+2} = 1 - 2\,x_{k+1}{}^2 = -8x_k{}^4 + 8x_k{}^2 - 1 \tag{3.4}$$

$$x_{k+2} = x_{k+3} \quad / \quad x_{k+3} = 1 - 2\,x_{k+2}{}^2 = -128x_k{}^8 + 256x_k{}^6 - 160x_k{}^4 + 32x_k{}^2 - 1 \tag{3.5}$$

La ecuación superior, que conlleva que la secuencia ya ha alcanzado la convergencia en el estado actual, proporciona como soluciones x_k = -1 y x_k =0.5. La segunda ecuación, que conlleva que la secuencia converja en el próximo estado (es decir, al siguiente ciclo de reloj), proporciona como soluciones adicionales, además de las anteriores, x_k = 1 y x_k = - 0.5. Finalmente, la ecuación inferior, que conlleva que la secuencia logre la convergencia dos estados más tarde (es decir, tras dos ciclos de reloj), proporciona como solución adicional, además de las anteriores, x_k = 0.

Se muestra a continuación un esquema que ilustra el funcionamiento de la ecuación de estado anterior:

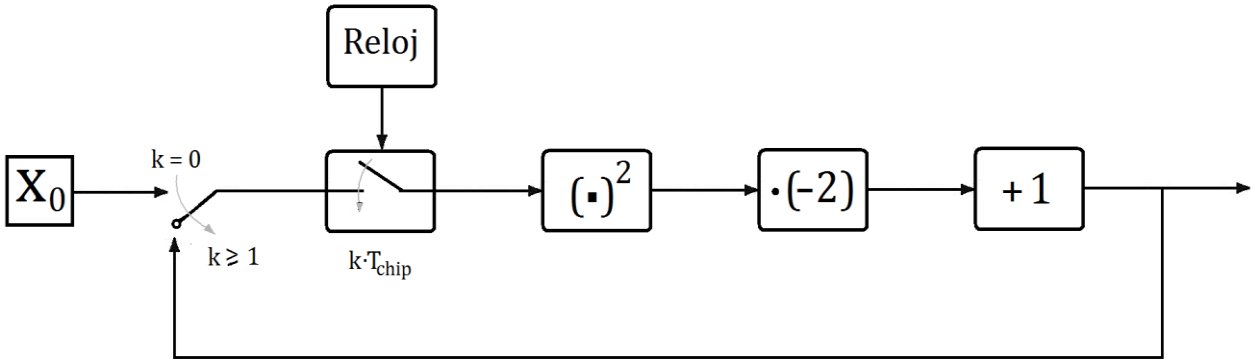
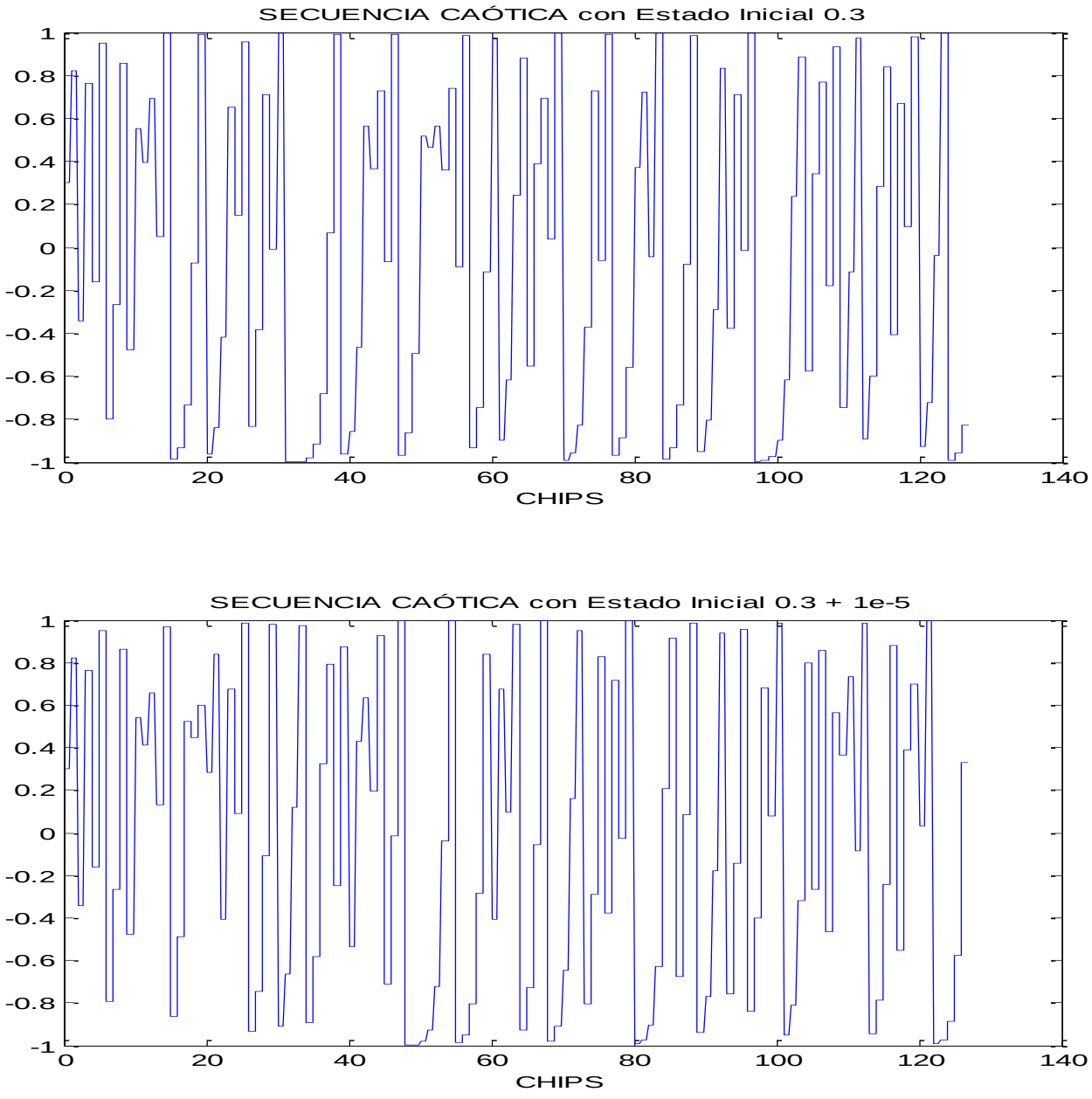


Figura 3-1. Sistema caótico de trabajo.

El esquema cuenta con un muestreador que adquiere una muestra de entrada en los múltiplos enteros del periodo de chip, siendo procesada a continuación. El valor de entrada inicial x_0 se toma de un registro de memoria durante el primer ciclo de reloj (es decir, siendo k=0), en tanto que, a partir del siguiente ciclo de reloj (es decir, con $k \geq 1$), las muestras se toman del lazo de realimentación, previa modificación de la conexión de entrada al muestreador mediante un interruptor.

Un sistema caótico es un sistema determinista, aunque no parece serlo, como consecuencia de su extrema sensibilidad a las condiciones iniciales. A fin de ilustrar esta cuestión, las figuras siguientes muestran los valores de la secuencia generada[1] por el sistema anterior, a partir de dos estados iniciales x_0 muy próximos.

[1] Simulaciones realizadas en Matlab tomando 8 muestras por chip.



a) Superior: con estado inicial 0.3. **b) Inferior: con estado inicial $0.3+10^{-5}$.**

Figura 3-2. Comparativa de la secuencia caótica generada a partir de dos estados iniciales muy próximos.

Se comprueba, en ambos casos, que la secuencia caótica producida por el sistema es una secuencia de media cero, cuyos valores se encuentran comprendidos en el intervalo $(-1,1)$, exceptuando 0 y ± 0.5 que, según se ha determinado, provocarían que la secuencia convergiese a los valores -1 y 0.5, respectivamente.

Por otra parte, la comparativa permite apreciar claramente (obviando los primeros quince chips) una baja correlación cruzada entre las dos gráficas, aunque el estado inicial de las dos secuencias difiera sólo en 10^{-5}.

Finalmente, nótese que no existe ninguna restricción en una secuencia caótica en cuanto a su longitud. Este no es el caso de los códigos PN estándar (es decir, de longitud máxima), cuyo periodo de repetición tiene una longitud igual a $2^N - 1$.

La información es estructurada en tramas en el transmisor, compuestas por un determinado número de bits cada una, de tal modo que un periodo de bit a cero inyectado en la secuencia caótica (siendo T_{bit} mucho mayor que T_{chip}) indicará el comienzo de trama. Dicho bit se denomina marcador caótico y es necesario para la sincronización del receptor.

Llegados a este punto, conviene realizar un análisis más exhaustivo de las propiedades de correlación de estas secuencias que el ofrecido por la mera comparativa de sus gráficas temporales, que será abordado en detalle en el capítulo 4. No obstante, para ello, es preciso analizar algunas cuestiones previas inherentes a la simulación.

3.1.2 Consideraciones de simulación de la autocorrelación.

En este apartado se lleva a cabo una discusión en cuanto a la frecuencia de muestreo de la secuencia que ha de emplearse para realizar una buena simulación de su autocorrelación y, por ende, un buen análisis de la misma.

En un análisis temporal cuatitativo (es decir, numérico) en ausencia de ruido es suficiente con disponer de una muestra por chip, ya que ese valor es representativo del nivel de tensión a lo largo de la duración del chip. Dicho en otras palabras, ese valor es el mismo en cualquier instante del chip (obviando el transitorio correspondiente a los flancos entre transiciones).

Sin embargo, en un análisis temporal gráfico, una muestra por chip resulta claramente insuficiente, siendo necesario más de dos muestras por chip para obtener una buena ilustración en ausencia de ruido, requiriéndose de un mayor número para poder apreciar (de modo razonable) las desviaciones de éste último sobre los niveles puros.

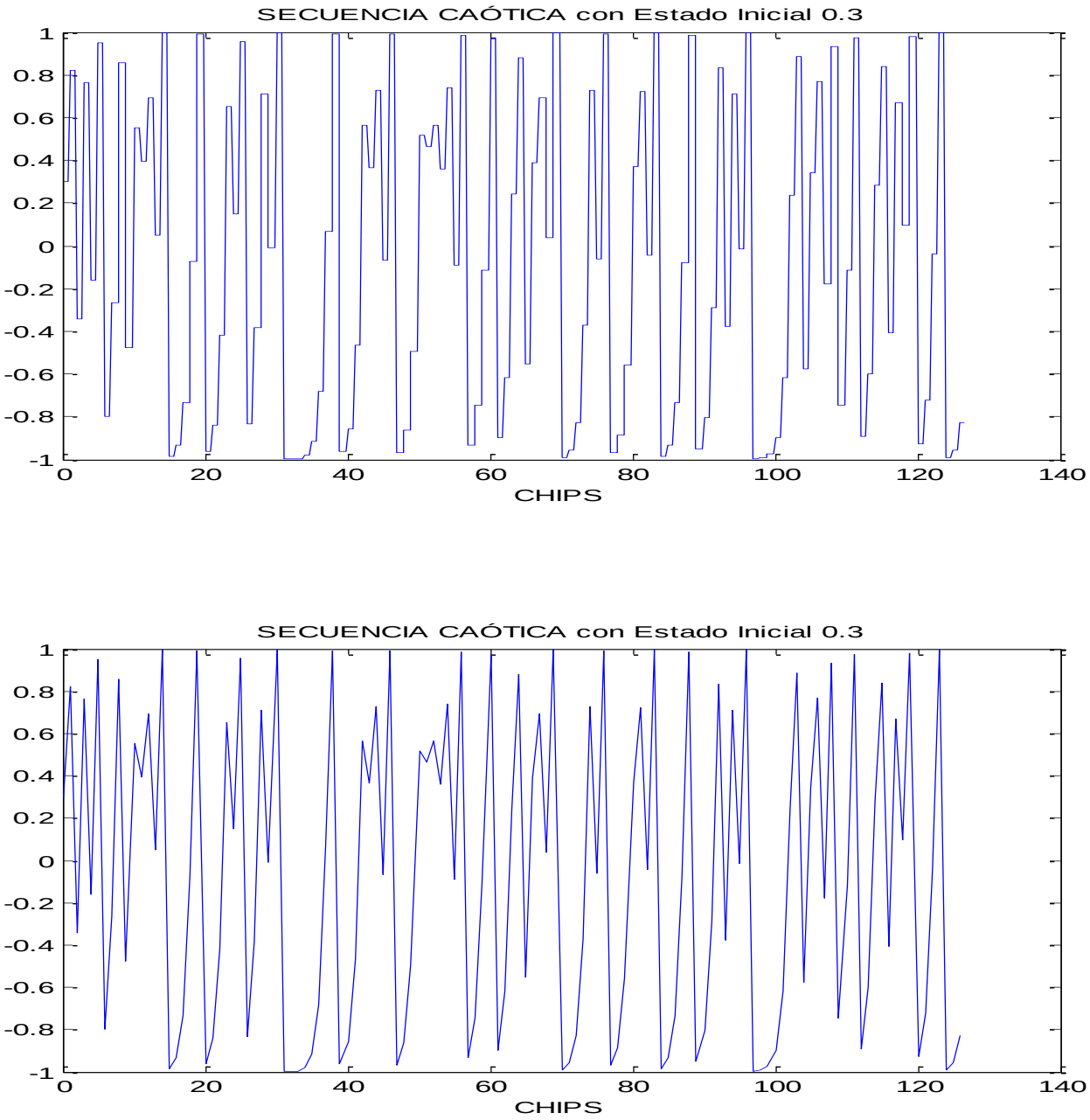
Cabe preguntarse, por tanto, con qué frecuencia se han de tomar muestras de una secuencia para obtener su autocorrelación. Lógicamente, la simulación en Matlab proporcionará un muestreo de dicha función, que habrá de ser lo suficientemente consistente para el propósito concreto, sea éste un análisis gráfico o un análisis cuantitativo, en las condiciones de trabajo (ya sea con o en ausencia de ruido).

Para analizar esta cuestión se va a tomar, por ejemplo, la secuencia producida a partir del estado inicial x_0=0.3 en el sistema de la figura 3-1 y se va a obtener su autocorrelación bajo dos condiciones de muestreo distintas: habiendo sido muestreada la secuencia con cuatro muestras y con una única muestra por chip. Es decir:

Caso a) $f_m = 4\,R_{chip}$.

Caso b) $f_m = R_{chip}$.

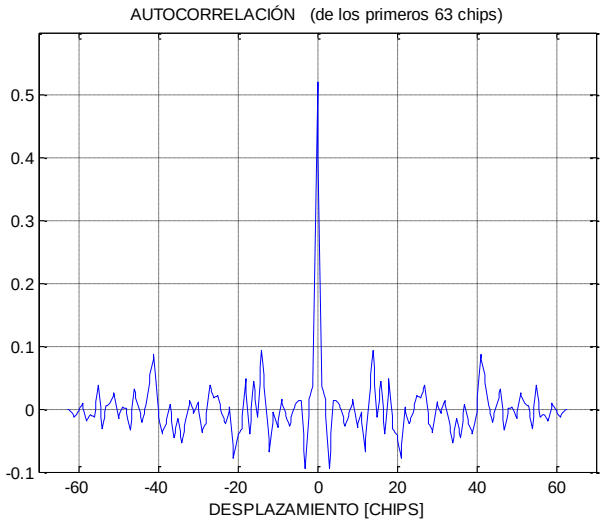
A continuación, se muestran las gráficas temporales resultantes (de los primeros 127 bits) en ambos casos. En la comparativa de las mismas puede observarse que, a nivel gráfico, una muestra por chip resulta insuficiente para ilustrar debidamente la señal en el tiempo.



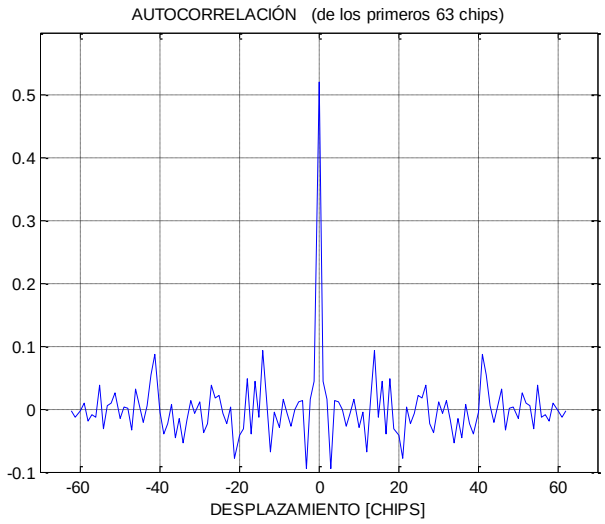
a) Superior: con $f_m = 4\,R_{chip}$. **b) Inferior: con $f_m = R_{chip}$.**

Figura 3-3. Comparativa de gráficas temporales de la secuencia entre los casos de una única muestra por chip y de un número par de veces el régimen de chip.

Véase, a continuación, qué ocurre en ámbos casos con la gráfica de autocorrelación, considerando la secuencia constituida por los primeros 63 chips.



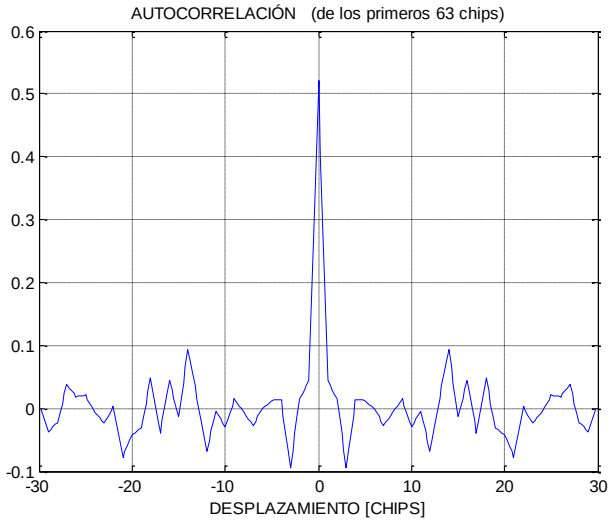
a) $f_m = 4\ R_{chip}$.



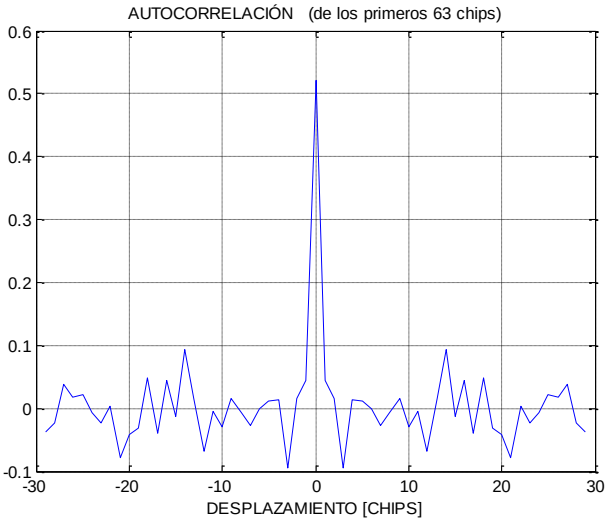
b) $f_m = R_{chip}$.

Figura 3-4. Comparativa de gráficas de autocorrelación variando la frecuencia de muestreo de la secuencia.

Para una mejor comparativa, se han situado las gráficas obtenidas una al lado de la otra, resultando difícil apreciar diferencias entre ellas en esa escala. No obstante, a fin de evitar toda duda, a continuación se va a realizar una ampliación de la zona central de ambas gráficas.



a) $f_m = 4\ R_{chip}$.



b) $f_m = R_{chip}$.

Figura 3-5. Detalle de las gráficas de autocorrelación variando la frecuencia de muestreo de la secuencia.

Aunque no se aprecian diferencias sensibles, el trazo de la gráfica de la izquierda ha sido construido interpolando cuatro veces más puntos (muestras de autocorrelación) que el trazo de la gráfica de la derecha, según se desprende de la comparativa de la longitud de los vectores de autocorrelación proporcionados por Matlab en ambos casos (503 y 125, respectivamente). Para una comprobación más rigurosa, se han obtenido los máximos de las gráficas en uno y otro caso, empleando la máxima precision numérica de Matlab:

	Frecuencia de muestreo de la secuencia	
	$f_m = 4\,R_{chip}$	$f_m = R_{chip}$
Valor del máximo	0.52189574181117	0.52189574181117
Valor del 2º máximo	0.09431822860822	0.09431822860822

Tabla 3-1. Valores máximos de la autocorrelación en función de la frecuencia de muestreo.

Se concluye que, en ausencia de ruido, a los efectos de obtener gráficamente la autocorrelación de una señal digital, ésta puede ser muestreada empleando una única muestra por bit. Lógicamente, en presencia de ruido no puede garantizarse que no se pierda información, a nivel gráfico (en el tiempo y, consecuentemente, en la autocorrelación), trabajando con una frecuencia de muestreo de la secuencia demasiado baja.

Llegados a este punto cabe plantearse qué ocurre si se desea obtener el valor de autocorrelación en puntos (o desplazamientos) intermedios de los empleados para la interpolación gráfica. A fin de analizar esta cuestión, se van a mostrar a continuación los valores de las muestras de autocorrelación proporcionados por Matlab, en uno y otro caso, correspondientes a un desplazamiento de hasta 4 chips a izquierda y a derecha.

Para ello, en el caso de $f_m = R_{chip}$, basta con situarse en la muestra central del vector de autocorrelación (correspondiente al máximo) y mostrar desde los cuatro valores situados a su izquierda hasta los cuatro valores situados a su derecha:

0.0137	-0.0942	0.0157	0.0435	0.5219	0.0435	0.0157	-0.0942	0.0137

Tabla 3-2. Valor de las muestras centrales de la autocorrelación siendo $f_m = R_{chip}$.

En cambio, en el caso de $f_m = 4\,R_{chip}$, habiéndose situado en la muestra central del vector de autocorrelación, habrá que mostrar los dieciséis valores situados a su izquierda y los dieciséis valores situados a su derecha:

0.0137	-0.0133	-0.0402	-0.0672	-0.0942	-0.0667	-0.0392	-0.0117	0.0157	0.0227	0.0296	0.0366	0.0435	0.1631	0.2827	0.4023	0.5219	0.4023	0.2827	0.1631	0.0435	0.0366	0.0296	0.0227	0.0157	-0.0117	-0.0392	-0.0667	-0.0942	-0.0672	-0.0402	-0.0133	0.0137

Tabla 3-3. Valor de las muestras centrales de la autocorrelación siendo $f_m = 4\,R_{chip}$.

Nótese que los valores sombreados en amarillo en la tabla de $f_m = 4\,R_{chip}$ coinciden con los valores de la tabla de $f_m = R_{chip}$, si bien, ésta última constituye un muestreo o diezmado de la anterior. Se significa que, aunque en esta ocasión únicamente se han mostrado cuatro decimales para una mayor claridad, la coincidencia resultaba completa en la totalidad de los decimales mostrados por Matlab, como ya se comprobó en la tabla de los dos primeros máximos de la autocorrelación (tabla 3-1). Por otra parte, puede comprobarse que los valores intermedios situados entre los sombreados se corresponden con una interpolación lineal de los dos valores sombreados entre los que se encuentran, según se demuestra a continuación.

Por ejemplo, cójase el valor de la muestra central y el de la primera sombreada en amarillo (a izquierda o derecha). Se va a calcular su diferencia δ y ésta se repartirá en cuatro escalones de cuantificación Δ:

$$\delta=0.5219 - 0.0435 = 0.4784 \quad (3.6)$$

$$\Delta= \delta/4 = 0.1196$$

Puede comprobarse que, si al valor de la muestra central se le resta un escalón de cuatificación, se obtiene el valor de la primera muestra situada a su izquierda y derecha. Y, si al valor de la muestra central se le restan los cuatro escalones de cuantificación, se obtiene el valor de la primera muestra sombreada en amarillo (a izquierda o derecha):

$$0.5219 - \delta=0.4023 \quad (3.7)$$

$$0.5219 - 4\delta = 0.0435$$

Se concluye que, si se desea obtener el valor de autocorrelación para desplazamientos distintos de los múltiplos enteros de un periodo de chip, será necesario tomar varias muestras de la secuencia por cada chip. Esta conclusión será igualmente extensible a la operación de correlación cruzada, dado que el mecanismo de cómputo (en este caso, la función de Matlab empleada) es igual en ambos casos; de tal modo que, para obtener la correlación cruzada se emplean dos términos (secuencias) diferentes, y para obtener la autocorrelación, dos términos iguales (la propia secuencia). En todo caso, si se desconoce la función matemática o el algoritmo informático, pueden surgir dudas en este sentido, que se abordan a continuación.

3.1.3 Consideraciones de simulación de la correlación cruzada.

En este apartado se pretende comprobar experimentalmente si las conclusiones alcanzadas en el punto anterior para la autocorrelación, relativas a la frecuencia de muestreo requerida de la secuencia, son extensibles también a la operación de correlación cruzada (de dos secuencias).

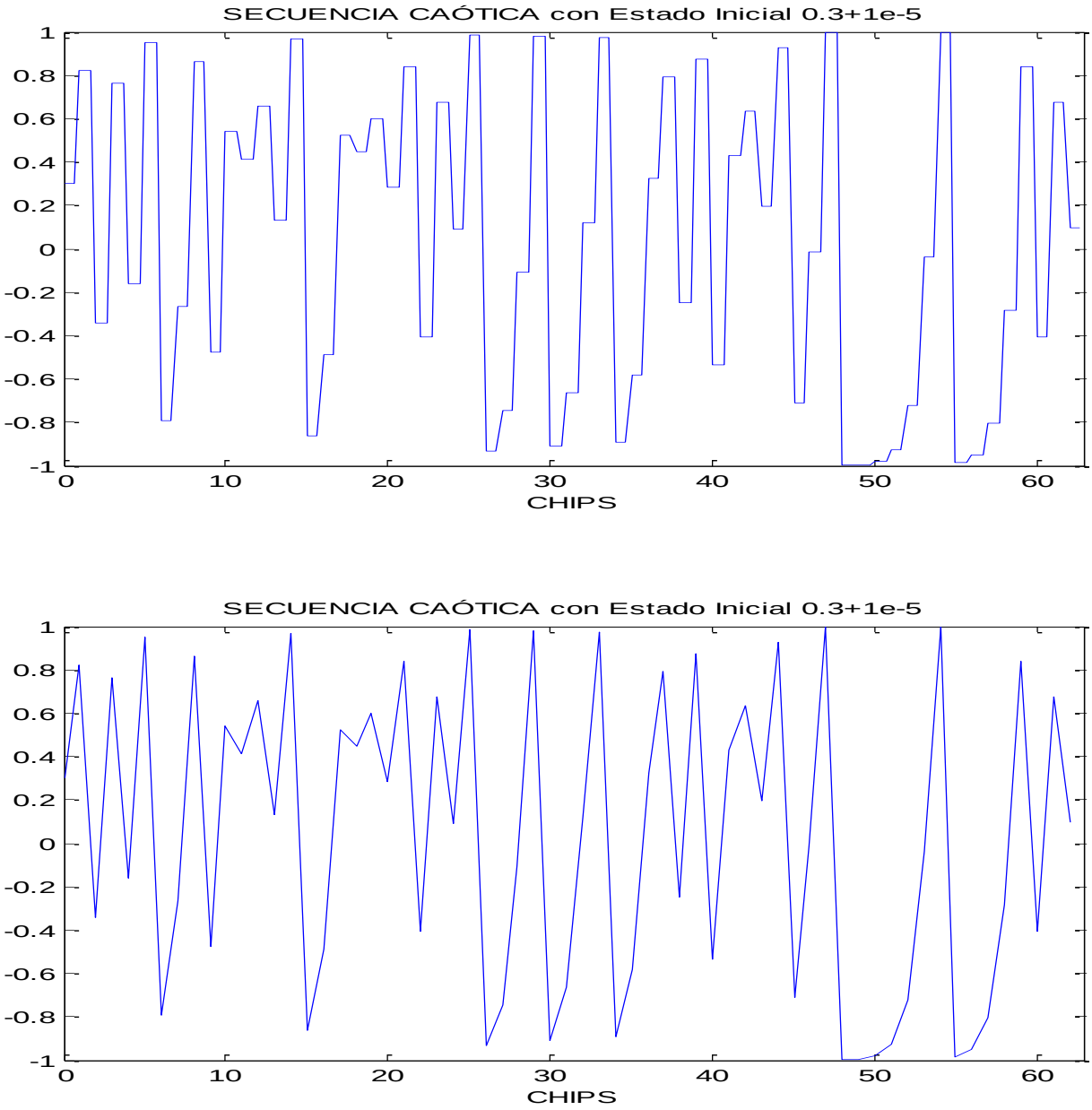
Para analizar esta cuestión se van a considerar, por ejemplo, las secuencias producidas a partir de los estados iniciales x_0=0.3 y x_0=0.3+10^{-5} en el sistema caótico de la figura 3-1. A fin de facilitar la comparación de resultados con los del apartado anterior, se tomarán también subsecuencias de 63 chips.

De modo análogo al del apartado anterior, se obtendrá la correlación (cruzada) de las subsecuencias bajo dos condiciones de muestreo distintas. En este caso, habiendo sido muestreadas con tres y con una única muestra por chip, con el propósito de que la frecuencia de muestreo mayor que R_{chip} a emplear en la comparativa fuera un número impar de veces el régimen de chip, a diferencia de la del apartado anterior. Es decir:

Caso a) $f_m = 3\ R_{chip}$.

Caso b) $f_m = R_{chip}$.

A continuación, se muestran los efectos de la frecuencia de muestreo sobre las gráficas temporales. Para ello, se ha tomado la secuencia con estado inicial x_0 = 0.3+1e^{-5} (es decir, x_0= 0.30001), completando así las ilustraciones de la figura 3-3 (en las que se tomaba x_0 = 0.3), si bien ciñendo las gráficas al tamaño de las subsecuencias empleadas, exclusivamente.

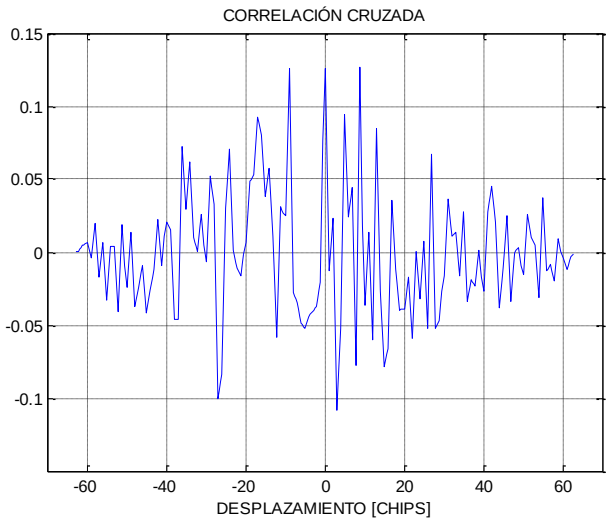


a) Superior: con $f_m = 3\ R_{chip}$. **b) Inferior: con $f_m = R_{chip}$.**

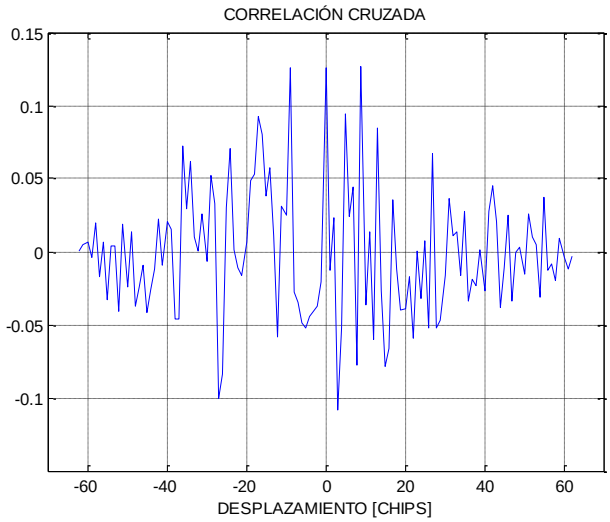
Figura 3-6. Comparativa de gráficas temporales de la secuencia entre los casos de una única muestra por chip y de un número impar de veces el régimen de chip.

De nuevo, puede observarse que, a nivel gráfico, una muestra por chip resulta insuficiente para ilustrar debidamente la señal en el tiempo. En principio, $f_m = 3\ R_{chip}$ resultaría suficiente para este propósito, salvando el efecto visual quebradizo de las transiciones entre niveles, asociado a la resolución gráfica de Matlab y del propio editor de texto (Word), que se solventa fácilmente mostrando solo unos pocos chips.

A continuación, véase qué ocurre con la gráfica de correlación de las subsecuencias en ámbos casos.



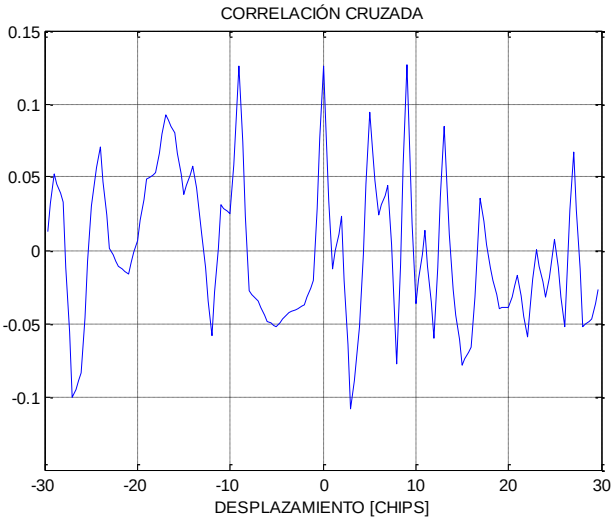
a) $f_m = 3\ R_{chip}$.



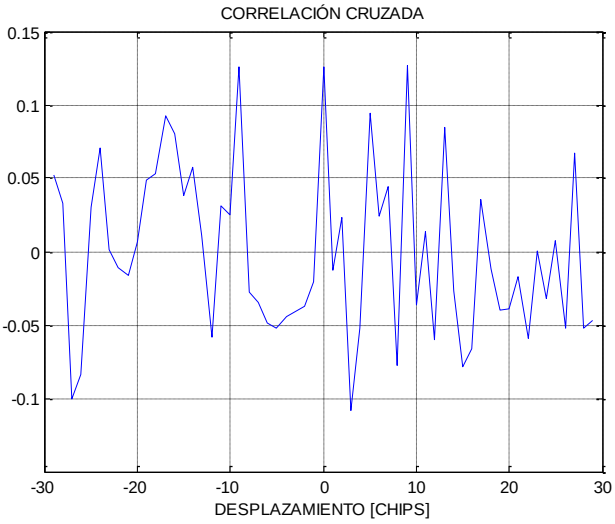
b) $f_m = R_{chip}$.

Figura 3-7. Comparativa de gráficas de correlación cruzada variando la frecuencia de muestreo de la secuencia.

Como ya se hiciera en el apartado anterior, se han situado las gráficas resultantes bajo las refereridas condiciones alineadas, siendo difícil apreciar diferencias entre ellas en esa escala. Por ello, seguidamente se muestra una ampliación de la zona central de ambas gráficas, no apreciándose tampoco diferencias sensibles (salvando algunos detalles perfectamente achacables a los ajustes de la gráfica en Matlab y en el editor de texto).



a) $f_m = 3\ R_{chip}$.



b) $f_m = R_{chip}$.

Figura 3-8. Detalle de las gráficas de correlación cruzada variando la frecuencia de muestreo de la secuencia.

Se van a mostrar a continuación los valores de las muestras de correlación cruzada proporcionados por Matlab, bajo ambas condiciones de muestreo, correspondientes a un desplazamiento de hasta 5 chips a izquierda y a derecha.

Para ello, en el caso de $f_m = R_{chip}$, basta con situarse en la muestra central del vector de correlación cruzada y mostrar desde los cinco valores situados a su izquierda hasta los cinco valores situados a su derecha:

-0.0524	-0.0440	-0.0408	-0.0372	-0.0204	0.1256	-0.0127	0.0229	-0.1081	-0.0519	0.0942

Tabla 3-4. Valor de las muestras centrales de la correlación cruzada siendo $f_m = R_{chip}$.

En cambio, en el caso de $f_m = 3\ R_{chip}$, situándose en la muestra central del vector de correlación cruzada, habrá que mostrar los quince valores situados a su izquierda y los quince valores situados a su derecha:

-0.0524	-0.0496	-0.0468	-0.0440	-0.0429	-0.0419	-0.0408	-0.0396	-0.0384	-0.0372	-0.0316	-0.0260	-0.0204	0.0283	0.0769	0.1256	0.0795	0.0334	-0.0127	-0.0009	0.0110	0.0229	-0.0207	-0.0644	-0.1081	-0.0893	-0.0706	-0.0519	-0.0032	0.0455	0.0942

Tabla 3-5. Valor de las muestras centrales de la correlación cruzada siendo $f_m = 3\ R_{chip}$.

Nótese que los valores sombreados en amarillo en la tabla de $f_m = 3\ R_{chip}$ coinciden con los valores de la tabla de $f_m = R_{chip}$, si bien, ésta última constituye un muestreo o diezmado de la anterior. Por otra parte, puede comprobarse que los valores intermedios situados entre los sombreados se corresponden con una interpolación lineal de los dos valores sombreados entre los que se encuentran, según se ilustró en el apartado anterior.

Por tanto, se demuestra que, en ausencia de ruido y a los efectos de obtener gráficamente la correlación de dos señales digitales, éstas pueden ser muestreadas empleando una única muestra por chip (o bit, según el caso). En cambio, si se desea obtener el valor de correlación cruzada para desplazamientos distintos de los múltiplos enteros de un periodo de chip, será necesario tomar varias muestras de la secuencia por cada chip.

3.2 Generación de secuencias PN.

3.2.1 Proceso de generación de secuencias PN.

Sin perjuicio de que existan otros mecanismos, en este apartado se explicará el proceso de generación de secuencias pseudoaleatorias basado en codificación cíclica (*N*, *K*) directa, donde:

N: Número de bits de la palabra de salida del codificador o palabra código.

K: Número de bits de la palabra de entrada al codificador.

$N > K$

Una palabra de código $\boldsymbol{c}$ puede verse como un vector:

$$\boldsymbol{c} = (\, c_{(N-1)},\ c_{(N-2)},\ \dots,\ c_1,\ c_0\,)\ /\ c_i \in \{0,1\} \tag{3.8}$$

Se dice que un código de bloque es cíclico cuando:

$$(\, c_{(N-1)},\ c_{(N-2)}, \dots,\ c_1\ ,\ c_0\,) \in C \ \Leftrightarrow\ (\, c_{(N-2)},\ c_{(N-3)},\ \dots,\ c_1,\ c_0\ ,\ c_{(N-1)}) \in C \tag{3.9}$$

Donde:

C: Conjunto de palabras código.

Los códigos cíclicos son lineales, de tal modo que las palabras código pueden representarse como polinomios del siguiente tipo:

$$c(x) = c_{(N-1)} \cdot x^{(N-1)} + c_{(N-2)} \cdot x^{(N-2)} + \cdots + c_1 \cdot x + c_0 \quad / c_i \in \{0,1\} \tag{3.10}$$

La notación anterior introduce la consideración de que la palabra código pueda ser generada secuencialmente, bit a bit, a partir de una combinación lineal de registros de desplazamiento; de tal modo que el primer bit de la palabra código, proporcionado por el codificador, será el bit c_0, seguido del bit c_1, y así sucesivamente, hasta sea extraído el bit $c_{(N-1)}$.

Manteniendo la nomenclatura anterior, asociado a un código cíclico (*N*, *K*) existe un polinomio *g(x)* de orden (*N*-*K*), y sólo uno, tal que toda palabra código *c(x)* es múltiplo de *g(x)*. Dicho polinomio, denominado generador, puede expresarse del siguiente modo:

$$g(x) = x^{(N-K)} + g_{(N-K-1)} \cdot x^{(N-K-1)} + g_{(N-K-2)} \cdot x^{(N-K-2)} + \cdots + g_1 \cdot x + 1 \tag{3.11}$$

Donde:

$g_i \in \{0,1\}$

Como consecuencia de lo anterior, si la codificación cíclica se lleva a cabo de forma directa, se verifica que:

$$c(x) = g(x) \cdot d(x) \tag{3.12}$$

Donde:

d(x): Polinomio del vector (o palabra) de entrada:

$d(x) = d_{(K-1)} \cdot x^{(K-1)} + d_{(K-2)} \cdot x^{(K-2)} + \cdots + d_1 \cdot x + d_0 \quad / d_i \in \{0,1\}$

La expresión polinómica anterior conlleva que los bits de la palabra código se obtienen como una combinación lineal de los elementos del polinomio generador con los bits de la palabra de entrada. Lógicamente, estas operaciones se desarrollan en aritmética binaria, donde la suma de términos se implementa mediante el operador OR-Exclusiva ('⊕') y su multiplicación mediante el operador AND ('·').

De este modo, multiplicando término a término, agrupando los términos del mismo orden y comparando con la expresión de *c(x)*, se desprende que:

$$c_0 = d_0 \tag{3.13}$$

$$c_1 = d_0 \cdot g_1 \oplus d_1 \tag{3.14}$$

$$c_2 = d_0 \cdot g_2 \oplus d_1 \cdot g_1 \oplus d_2 \tag{3.15}$$

$$c_3 = d_0 \cdot g_3 \oplus d_1 \cdot g_2 \oplus d_2 \cdot g_1 \oplus d_3 \tag{3.16}$$

…

Operando cada una de estas expresiones resulta, respectivamente, el valor del bit c_i de la palabra código.

Este desarrollo puede implementarse mediante el siguiente esquema, que supone que el estado inicial de carga de los registros es cero y que la palabra de entrada va seguida de ceros:

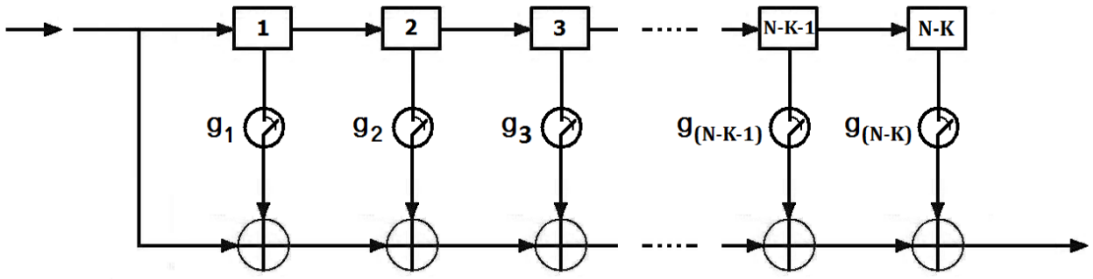


Figura 3-9. Codificador cíclico (*N*,*K*) directo.

El codificador cíclico tendrá tantos registros de desplazamiento como orden tenga su polinomio generador *g(x)* que, según se ha indicado, es de orden (*N*-*K*). Nótese que en el dibujo se ha omitido la señal de reloj, que sincronizaría el conjunto de registros de desplazamiento.

El polinomio *g(x)* define el estado (ON/OFF) de la conexión de cada uno de los registros del codificador con su respectivo sumador XOR, de tal modo que, si g_i es 0, no existe la conexión o se encuentra abierta; y, si g_i es 1, el registro *i* se encuentra conectado al sumador.

Empleando notación matricial:

$$g = [\, g_1 \;\; g_2 \;\; g_3 \;\; \cdots \;\; g_{N-K-1} \;\; g_{N-K} \,] \tag{3.17}$$

Donde:

$$g_i \in \{\, 0 \,, 1 \,\} \;\; / \;\; i \neq (N-K)$$
$$g_{(N-K)} = 1$$

Nótese que el primer bit de la palabra de entrada en entrar (es decir, aplicado) al codificador es d_0, según se deduce fácilmente de la comparativa con la expresión de los distintos c_i, considerando que el primer bit de la palabra código en ser extraído coincidirá con el primer bit de entrada al codificador, por ser cero el estado inicial de carga de los registros (para cada palabra a codificar).

El circuito extraerá un bit con cada nuevo ciclo de reloj, hasta que el último bit de la palabra de entrada alcance (es decir, se cargue en) el registro *N*-*K* del codificador. Nótese que serán necesarios *N*-*K* ciclos de reloj para que el primer bit de la palabra de entrada alcance dicha posición y otros *K* ciclos de reloj para que salga el último bit de la misma.

Empleando notación matricial a modo de eje de tiempos, la palabra código resultante será:

$$c = [\, c_0 \;\; c_1 \;\; c_2 \;\; \cdots \;\; c_{N-2} \;\; c_{N-1} \,] \tag{3.18}$$

Donde c_0 es el primer bit de la palabra código en salir del codificador y c_{N-1} el último.

Llegados a este punto, si se desease alimentar la entrada del circuito con los mismos bits generados a su salida, se precisaría introducir, al menos, un registro de desplazamiento en el lazo de realimentación, que separase el valor de entrada y de salida del codificador en un mismo ciclo de reloj, a fin de mantener la estabilidad del circuito:

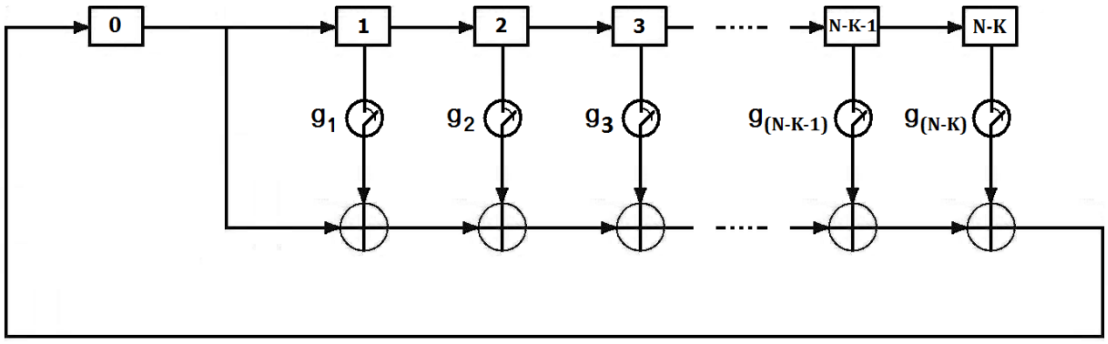


Figura 3-10. Codificador cíclico (*N*,*K*) directo con inclusión de un lazo de realimentación.

El esquema de la figura 3-10 ilustra la inclusión de un lazo de realimentación en el circuito de la figura 3-9, respetando íntegramente el esquema del codificador cíclico (*N*,*K*) directo dibujado. No obstante, considerando que con cada ciclo de reloj se produce el salto al registro siguiente de cualquiera de los bits cargados en los registros, lo propio (a nivel esquemático) sería tomar la conexión al sumador módulo 2 del mismo recuadro '0', y no de su salida, entendiendo que la carga de un registro viene a ser, en todo caso, la transferencia de un valor desde su entrada a su salida, manteniéndolo durante el ciclo de reloj actual.

En definitiva, el circuito de la figura 3-10 puede representarse "canónicamente" del siguiente modo:

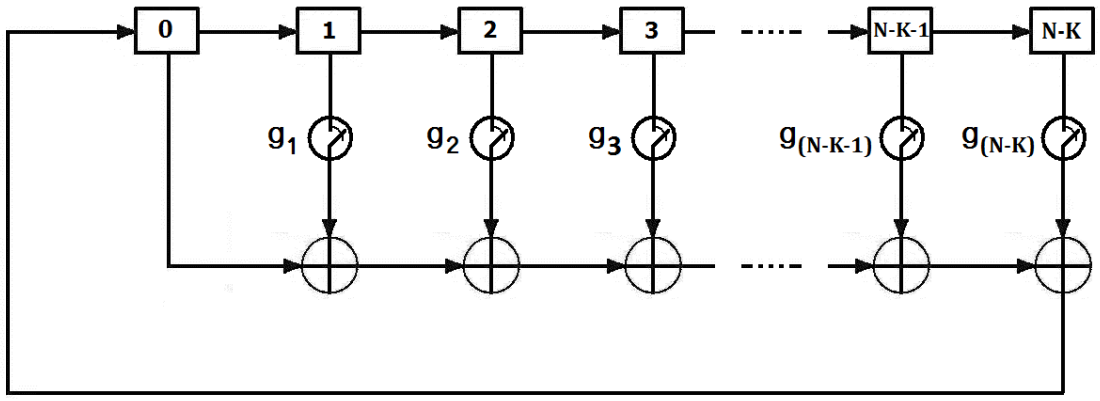


Figura 3-11. Codificador cíclico (*N*,*K*) directo realimentado.

Nótese que en el esquema de las figuras 3-10 y 3-11 el recuadro marcado con el número '0', insertado en el lazo de realimentación, viene a ilustrar, indistintamente, la inclusión de uno o varios registros de desplazamiento consecutivos, de tal modo que la conexión hacia el sumador módulo 2 estaría tomada del último de los registros del lazo, actuando los precedentes como meros retardadores.

Por otra parte, para posibilitar la evolución del codificador cíclico directo realimentado hacia el esquema del generador PN, han de aplicarse otras transformaciones sobre el circuito de la figura 3-11, basadas en las propiedades de la puerta lógica OR-Exclusiva (o XOR).

La puerta OR-Exclusiva verifica las siguientes propiedades:

Conmutativa: $a \oplus b = b \oplus a$ (3.19)

Asociativa: $(a \oplus b) \oplus c = a \oplus (b \oplus c) = a \oplus b \oplus c$ (3.20)

A partir de las dos propiedades anteriores, se deduce la siguiente:

$$a \oplus b \oplus c = a \oplus (b \oplus c) = a \oplus (c \oplus b) = (c \oplus b) \oplus a = c \oplus b \oplus a \tag{3.21}$$

Denominado V_{sal} al estado estable (‘0’ o ’1’) alcanzado en el lazo de realimentación después de cada ciclo de reloj, conforme a la figura 3-11, resulta ser:

$$V_{sal} = R_0 \oplus (R_1 \cdot g_1) \oplus (R_2 \cdot g_2) \oplus (R_3 \cdot g_3) \ldots \oplus \left(R_{(N-K-1)} \cdot g_{(N-K-1)}\right) \oplus \left(R_{(N-K)} \cdot g_{(N-K)}\right) \tag{3.22}$$

Donde *Ri* representa el estado actual (tras cada ciclo de reloj) de los distintos registros.

Considerando ahora la propiedad de la expresión 3.21, también podrá formularse V_{sal} del siguiente modo:

$$V_{sal} = \left(R_{(N-K)} \cdot g_{(N-K)}\right) \oplus \left(R_{(N-K-1)} \cdot g_{(N-K-1)}\right) \ldots \oplus (R_3 \cdot g_3) \oplus (R_2 \cdot g_2) \oplus (R_1 \cdot g_1) \oplus R_0 \tag{3.23}$$

Esta última expresión implementa el siguiente esquema:

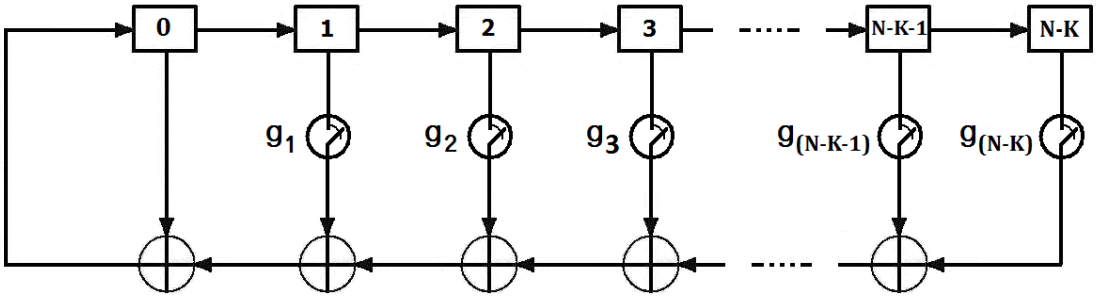


Figura 3-12. Evolución del codificador cíclico (*N*,*K*) directo realimentado.

Llegados a este punto, nótese que, si la caja ‘0’ corresponde a un único registro, desde el mismo no se podrá alimentar el circuito con la palabra de entrada sin sobreescribir los primeros valores obtenidos del lazo de realimentación. Por tanto, sin abandonar aún la filosofía del codificador cíclico, si se desea que el circuito pueda “procesar” los *K* bits de la palabra de entrada como paso previo a una generación autónoma, el lazo de realimentación deberá contar con *K* registros, llegándose al esquema genérico del generador pseudoaleatorio, o PN (de ‘pseudo-noise’), linealmente realimentado.

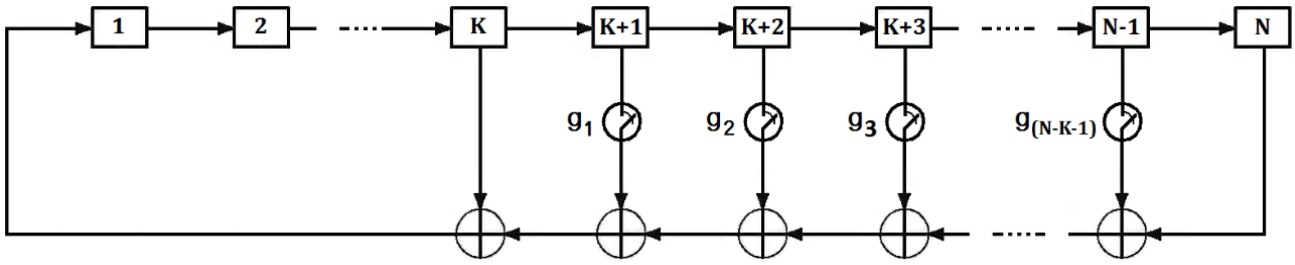


Figura 3-13. Generador pseudoaleatorio linealmente realimentado.

A la vista del esquema de la figura 3-13, el polinomio generador *p(x)* correspondiente al generador pseudoaleatorio linealmente realimentado será:

$$p(x) = x^N + g_{(N-K-1)} \cdot x^{(N-1)} + g_{(N-K-2)} \cdot x^{(N-2)} + \ldots + g_2 \cdot x^{(K+2)} + g_1 \cdot x^{(K+1)} + x^K + 1 \quad (3.24)$$

Donde:

N: Número de registros del generador pseudoaleatorio linealmente realimentado.

K: Número de registros del lazo de realimentación.

$N > K \quad / \quad N, K \in \mathbb{N}$

Nótese que el orden del polinomio generador *p(x)* correspondiente al generador pseudoaleatorio linealmente realimentado es *N*, en tanto que el orden del polinomio generador *g(x)* del codificador cíclico directo en que se basa es *N-K*.

Observando la figura anterior, se deduce fácilmente que existen 2^{N-K-1} posibilidades diferentes de combinar los interruptores g_i. Ahora bien, sólo una parte de las combinaciones proporcionarán secuencias de longitud máxima, cuyo periodo sea 2^N -1, según puede comprobarse experimentalmente.

3.2.2 Propiedades de las secuencias PN.

En sistemas de espectro ensanchado suelen emplearse generadores de secuencia pseudoaleatoria basados en registros de desplazamiento linealmente realimentados, en los que a la entrada del primer registro (registro número 1, según la figura 3-13) se aplica una combinación lineal del estado de los restantesregistros. Por consiguiente, la lógica combinacional necesaria se basará en el empleo de sumadores módulo 2. En SS-DS las secuencias pseudoaleatorias empleadas suelen ser, además, de longitud máxima.

Los generadores PN linealmente realimentados tienen las siguientes propiedades:

- La salida para la generación de código se puede tomar de cualquier registro, siendo el código generado el mismo. Ahora bien, existirá un desfase de un ciclo del reloj local entre las secuencias obtenidas de dos registros consecutivos.
- Si se cargan los *N* registros del generador con una porción del código generado, éste comenzará a generar, precisamente, la secuencia de bits que seguía a dicha porción en el código.
- Siendo el generador de longitud máxima, si se suman en módulo 2 los niveles lógicos de dos subsecuencias del código, de un periodo de longitud, con un desfase (circular) arbitrario, la subsecuencia resultante sigue siendo la misma con otro desfase (circular).
- Siendo el generador de longitud máxima, podrá cargarse con cualquier estado inicial, salvo todos los registros a "0", ya que, para generar un periodo completo de código, el generador pasa por todos sus estados posibles.
- Si el generador es de longitud máxima, un ciclo de la función de autocorrelación de la secuencia indefinida se corresponde con la mostrada en la figura 1.2, lo que se traduce espectralmente en una envolvente de potencia de tipo sinc cuadrado, con una mínima componente continua.

Las conexiones que determinan la combinación lineal del estado de los *N* registros que se realimenta hacia la entrada vienen determinadas por el denominado polinomio generador:

$$p(x) = x^n + c_{n-1} \cdot x^{n-1} + \ldots + c_2 \cdot x^2 + c_1 \cdot x + 1 \quad , \quad c_i = \in \{0, 1\} \quad (3.25)$$

El grado *n* del polinomio determina el número de registros de desplazamiento del generador. Los coeficientes c_i de cada sumando indican si existe conexión del registro *i* con el lazo de realimentación. Todas las conexiones con el lazo de realimentación se realizan mediante sumadores módulo 2.

Para que un generador PN linealmente realimentado produzca una secuencia de longitud máxima es necesario que su polinomio generador sea un polinomio primitivo.

Se dice que un polinomio generador de grado *n* es irreducible si no es divisible por ningún otro polinomio de grado menor que *n* y mayor que 0. Los polinomios primitivos son polinomios irreducibles de grado *n* tales que el generador linealmente realimentado que implementan produce una secuencia de periodo $2^n - 1$.

El estudio siguiente se va a centrar en los generadores PN linealmente realimentados de longitud máxima. A modo de ejemplo, se estudiarán generadores de 7, 15, 63 y 1023 bits de periodo de secuencia *L*. Los códigos de menor longitud permitirán estudiar y observar más fácilmente las propiedades espectrales de los códigos PN de longitud máxima. A fin de abreviar, se empleará la nomenclatura LFSR[2] para denominar los generadores linealmente realimentados.

- Ejemplo de un generador de *L*=7 bits:

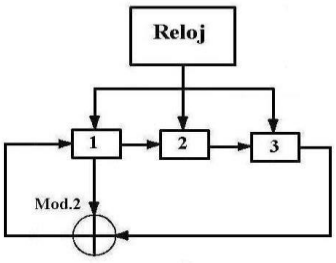


Figura 3-14. LFSR con polinomio generador $x^3 + x + 1$**.**

Si, por ejemplo, se cargan los registros del generador de la figura 3-14 con el estado inicial 1 0 1, y se toma como salida el registro 1, con el siguiente impulso de reloj comenzará a generarse de forma periódica la siguiente secuencia[3]: 0011101.

- Ejemplo de un generador de *L*=15 bits:

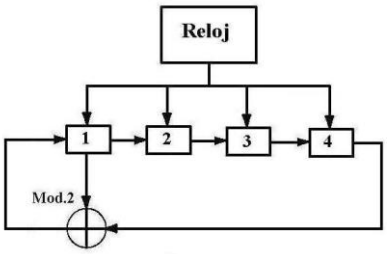


Figura 3-15. LFSR con polinomio generador $x^4 + x + 1$**.**

Si, por ejemplo, se cargan los registros del generador de la figura 3-15 con el estado inicial 1 0 1 0 [4], y se toma como salida el registro 1, con el siguiente impulso de reloj comenzará a generarse de forma periódica la siguiente secuencia: 100100011110101.

[2] Del inglés, Linear Feedback Shift Register.
[3] Se aclara que los bits salen según se lee la secuencia, es decir, el bit de la izquierda es el primer bit en salir.
[4] Se aclara que la carga es: '1' en el registro 1, '0' en el registro 2, '1' en el registro 3 y '0' en el registro 4.

- Ejemplo Nº1 de generador de *L*=63 bits:

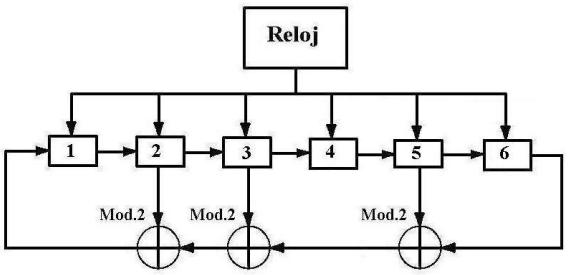


Figura 3-16. LFSR con polinomio generador $x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$**.**

Si, por ejemplo, se cargan los registros del generador de la figura 3-16 con el estado inicial 1 0 1 0 1 0, y se toma como salida el registro 1, con el siguiente impulso de reloj comenzará a generarse de forma periódica la siguiente secuencia:

000110011110111010110100110110001001000011100000101111110010101.

Llegados a este punto es necesario comentar que las figuras 3-14 y 3-15 corresponden a configuraciones óptimas, en el sentido de que emplean la mínima lógica combinacional, es decir, permiten generar la secuencia de longitud máxima con el menor número posible de sumadores módulo 2.

Sin embargo, la configuración de la figura 3-16 no es óptima, ya que emplea tres sumadores, en tanto que la configuración de la figura 3-17, para el mismo número de registros de desplazamiento, permite generar una secuencia de longitud máxima empleando un único sumador.

- Ejemplo Nº2 de generador de *L*=63 bits:

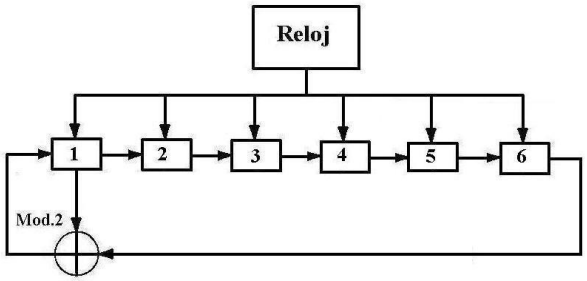


Figura 3-17. LFSR con polinomio generador $x^6 + x + 1$**.**

Si, por ejemplo, se cargan los registros del generador de la figura 3-17 con el estado inicial 1 0 1 0 1 0, y se toma como salida el registro 1, con el siguiente impulso de reloj comenzará a generarse de forma periódica la siguiente secuencia:

100110111011010010011100010111100101000110000100000111111010101.

A la luz de las secuencias generadas, se comprueba que las configuraciones de las figuras 3-16 y 3-17 no generan la misma secuencia o réplicas desfasadas. Sin embargo, puede encontrarse en ambas secuencias las mismas agrupaciones de '0' y '1' en distinto orden.

- Ejemplo de un generador de L=1023 bits:

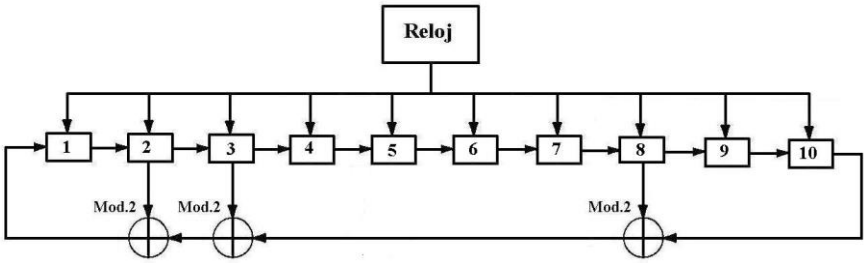


Figura 3-18. LFSR con polinomio generador $x^{10} + x^8 + x^3 + x^2 + 1$**.**

Las simulaciones llevadas a cabo en el capítulo 4, junto a otras adicionales, han permitido determinar que la función de autocorrelación de las secuencias PN de longitud máxima toma los siguientes valores característicos:

$$\mathcal{R}_{cc}[\tau] = \begin{cases} V^2 & , \quad \tau = K' \cdot L \cdot T_{chip} \\ -\dfrac{V^2}{L} & , \quad \left[T_{chip} + |K'| \cdot L \cdot T_{chip}\right] < |\tau| < \left[(L-1) \cdot T_{chip} + |K'| \cdot L \cdot T_{chip}\right] \end{cases} \tag{3.26}$$

Donde:

τ : desfase entre dos réplicas cualesquiera de la secuencia.

T_{chip}: periodo de chip.

$K' \in \mathbb{Z}$

L: número de chips del periodo de la secuencia $c[n]$.

En primer lugar, nótese que, tal y como está expresada, se trata de una función periódica, donde los valores que toma para desplazamientos comprendidos entre cada uno de los máximos y un periodo de chip (o chip, simplemente) a su izquierda y derecha resultan de la interpolación lineal de los dos valores característicos anteriores.

Según se desprende de la expresión anterior, se trata de secuencias de muy baja autocorrelación, dado que el nivel de la misma se aproxima a cero a medida que aumenta la longitud del periodo L, para desfases τ comprendidos entre uno y L-1 chips, formando un suelo o "pedestal" de autocorrelación.

Para desfases menores de un chip, el valor que toma la autocorrelación corresponde a la interpolación lineal de los dos valores característicos anteriores: el del máximo de la función y el del pedestal de autocorrelación.

Esa propiedad de muy baja autocorrelación resulta muy deseable para aplicaciones de sincronismo y aquellas en las que se requiera una buena distribución en banda de la potencia de la señal.

En cambio, la correlación de dos secuencias PN de longitud máxima, por lo general, va a proporcionar resultados pobres. No obstante, hay determinadas parejas de secuencias PN de longitud máxima, denominadas preferentes, que presentan buenas propiedades de correlación, estando acotada entre dos valores característicos. Estas parejas se entienden referidas siempre a dos secuencias PN de longitud máxima de la misma longitud de periodo. En el capítulo 4 se ilustra la identificación de estas parejas con varios ejemplos.

En concreto, la correlación de una pareja preferente toma los siguientes valores característicos o representativos (que se corresponden con los obtenidos en las simulaciones, tomando una muestra por chip):

$$\mathcal{R}_{c1c2}[\tau] = \left\{ \begin{array}{l} -\frac{V^2}{L} \\ -V^2\ \frac{2^{\left(\frac{N+1}{2}\right)}+1}{L} \\ V^2\ \frac{2^{\left(\frac{N+1}{2}\right)}-1}{L} \end{array} \right\} \Leftrightarrow N \text{ es impar} \tag{3.27}$$

$$\mathcal{R}_{c1c2}[\tau] = \left\{ \begin{array}{l} -\frac{V^2}{L} \\ -V^2\ \frac{2^{\left(\frac{N+2}{2}\right)}+1}{L} \\ V^2\ \frac{2^{\left(\frac{N+2}{2}\right)}-1}{L} \end{array} \right\} \Leftrightarrow N \text{ es par} \tag{3.28}$$

Donde:

L: Longitud del periodo de las secuencias que componen la pareja preferente.

V: Amplitud de señal, supuesta una codificación NRZ polar de las secuencias lógicas.

N: Número de registros de desplazamiento del correspondiente generador pseudoaleatorio linealmente realimentado.

Se comprueba que el primero de los valores, en ambos casos, se corresponde con el valor del pedestal de autocorrelación (expresión 3.26), siendo los otros dos valores las cotas extremas, positiva y negativa, que toma la función de correlación cruzada en el caso de las parejas preferentes.

Ha podido observarse que ambas cotas extremas aparecen en todas las funciones de correlación de parejas preferentes, proporcionando un "rizado" Δ a la función que resulta ser:

$$\Delta = V^2\ \frac{2^{\frac{N+3}{2}}}{L} \quad \Leftrightarrow N \text{ impar} \tag{3.29}$$

$$\Delta = V^2\ \frac{2^{\frac{N+4}{2}}}{L} \quad \Leftrightarrow N \text{ par} \tag{3.30}$$

Nótese que el rizado de la correlación disminuye conforme aumenta la longitud *L* del periodo de la secuencia, del mismo modo que el pedestal de autocorrelación se aproximaba a cero.

Se significa que aunque las parejas preferentes ofrecen buenas prestaciones de correlación cruzada, no necesariamente van a proporcionar los valores óptimos del conjunto de parejas de secuencias de longitud máxima. Esto quiere decir que, si bien garantizan o aseguran unos valores de correlación acotados en un rango más estrecho que los proporcionados por otras tantas parejas, pueden existir parejas que proporcionen un rizado o una cota máxima, en valor absoluto, inferior.

Sin embargo, tales secuencias van a mostrar más de tres valores característicos, a diferencia de las preferentes. Por otra parte, las preferentes van a mostrar un rizado bien definido, a diferencia de las anteriores. En todo caso, se ha observado que el valor promedio de correlación resulta menor para las preferentes.

Las parejas preferentes pueden agruparse formando un conjunto preferente, donde todas las parejas que puedan establecerse entre secuencias del conjunto sean preferentes. Sin embargo, el número de secuencias de longitud máxima que componen un conjunto preferente es muy reducido, por lo que, generalmente, no resultan un opción válida para sistemas de acceso múltiple al medio por compartición de código.

En el Apéndice I se incluyen una serie de tablas, obtenidas mediante simulación, que resumen los parámetros de síntesis de las distintas secuencias PN de longitud máxima. Por su parte, en el Apéndice II se proporcionan las matrices de cotas extremas de correlación de las diferentes parejas de secuencias PN de longitud máxima, obtenidas también mediante simulación.

3.2.3 Implementación hardware de generadores PN.

Para estudiar la implementación hardware, se va a partir de la expresión genérica del polinomio generador, dado por la expresión 3.25. El LFSR de dicha expresión puede implementarse según muestra el esquema siguiente, denominado configuración de Galois o MSRG (Modular Shift Register Generator):

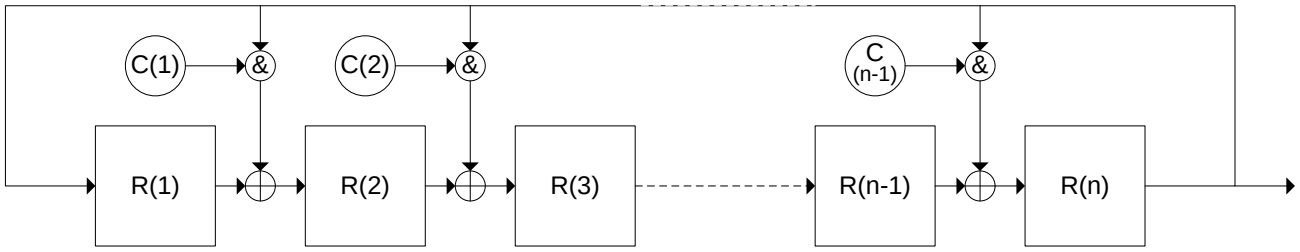


Figura 3-19. Configuración MSRG (tomada de [5]).

En este esquema, los coeficientes c_i del polinomio generador de la expresión 3.25 han sido sido denominados mediante la nomenclatura *C(i)*. La configuración de esta figura puede implementarse en hardware mediante los siguientes elementos, obteniéndose el circuito de la figura 3-20:

- *n* flip-flops tipo D.
- *n* puertas lógicas AND.
- *n* puertas lógicas XOR.

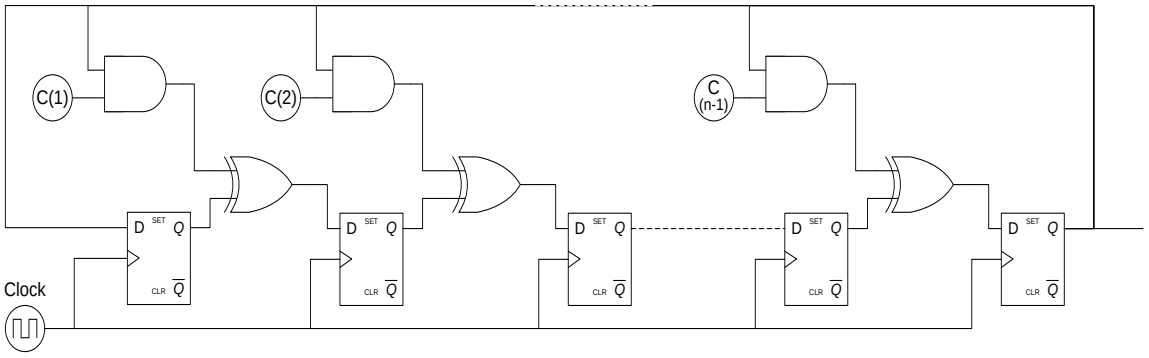


Figura 3-20. Implementación hardware de la configuración MSRG (tomada de [5]).

La configuración general de la figura 3-20 permite la implementación de cualquier polinomio generador de grado *n*. Para ello, basta con inicializar los coeficientes *C*(*i*) con '1' o '0', en función de si el polinomio tiene o no, respectivamente, término en x^i.

Si, por el contrario, se desea implementar un polinomio específico para una aplicación particular, no es necesario recurrir al esquema genérico de la figura 3-20, que conllevaría un empleo innecesario de lógica combinacional, pudiendo implementarse un esquema más sencillo aplicando las siguientes simplificaciones:

- Si *C*(*i*) es '0' se conecta la salida del registro *R*(*i*) directamente con la entrada de *R*(*i*+1), suprimiendo del esquema de la figura 3-20 las correspondientes puertas AND y XOR.
- Si *C*(*i*) es '1' se suprime la puerta AND, conectando la rama procedente del lazo de realimentación directamente con la puerta XOR.

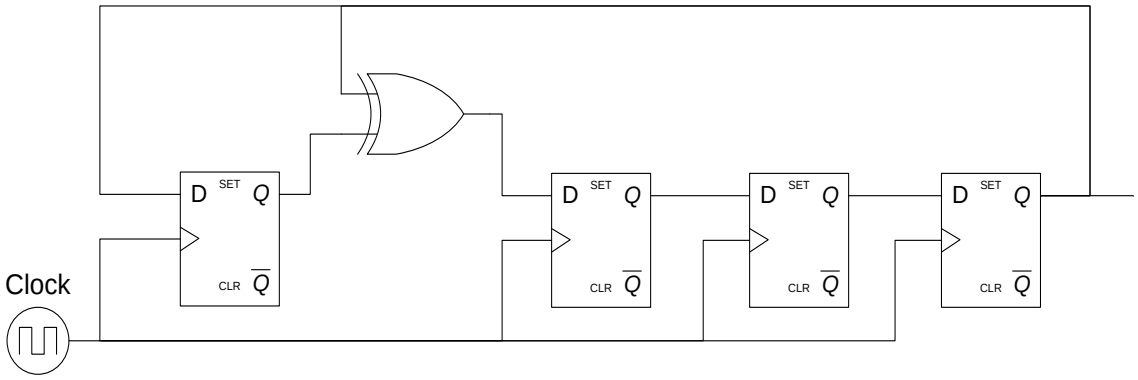


Figura 3-21. Implementación optimizada del LFSR con polinomio generador $x^4 + x + 1$ (tomada de [5]).

Por la sencillez de los circuitos de los LFSR, normalmente están integrados en ASICs, FPGAs o CPLDs de un sistema mayor que emplea la secuencia PN. Estos sistemas se programan mediante lenguajes de descripción de hardware (HDL), como por ejemplo, VHDL, Verilog o System C. A continuación se muestra, a modo de ejemplo, el código VHDL correspondiente al circuito de la figura 3-21:

```
LFSR: process (Clk, Reset) is
        begin
            if (Reset = '1') then
                R <= "0001";
            elsif rising_edge(Clk) then
                R(1) <= R(4);
                R(2) <= R(1) xor R(4);
                R(3) <= R(2);
                R(4) <= R(3);
            end if;
        end process LFSR;
```

Figura 3-22. Código VHDL que programa el circuito de la figura 3-21 (tomada de [5]).

Algunas implementaciones emplean registros de desplazamiento de longitud variable, que permiten sustituir una sucesión de flip-flops D conectados en cascada (es decir, sin puertas XOR en medio) [6]. La desventaja es que sus registros deben cargarse en serie.

Si el chip dispone de varios LFSR existe la posibilidad de construir un sintetizador de secuencias PN, ideal para el desarrollo y verificación de sistemas de espectro ensanchado. Un ejemplo de estos equipos lo constituye la familia de los LRS-200 de New Wave Instruments [7].

Los LRS-200 disponen de un LFSR de alta velocidad de longitud variable de 2 a 32 etapas, denominado R-32 pseudonoise generator. Opcionalmente, se pueden integrar hasta un máximo seis R-32, permitiendo, tanto la generación independiente de múltiples secuencias PN, como su agrupación en cascada y/o paralelo para conseguir secuencias de mayor longitud (hasta 2192 – 1 chips).

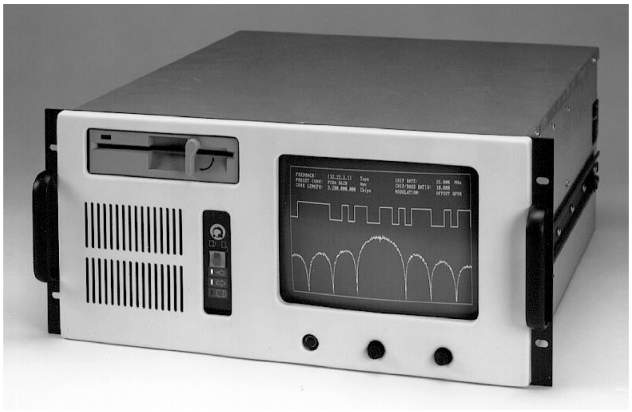


Figura 3-23. LRS-200 (tomada de [7]).

Entre las prestaciones que ofrece esta familia de equipos se encuentra la opción de proporcionar la secuencia PN de forma íntegra o separando chips alternativos en dos canales, favoreciendo, de este modo, la realización de una modulación QPSK. Permite, a su vez, añadir una secuencia de datos exterior y realizar internamente la suma módulo 2 con la secuencia PN, posibilitando la generación de señales de espectro ensanchado de secuencia directa. La modulación de RF se realizaría externamente, con la frecuencia de portadora deseada. Por su parte, el equipo ofrece al usuario la posibilidad de variar la tasa de chip, hasta una frecuencia máxima de 25 MHz.

3.3 Generación de secuencias de Kasami.

3.3.1 Proceso de generación de secuencias de Kasami.

El proceso de generación de una familia de secuencias de Kasami comienza con la selección de una secuencia pseudoaleatoria binaria +/-1 de longitud máxima, *a[n]*:

$$a[n] = +/-1 \tag{3.31}$$

Donde:

$n \in \mathbb{N}$

$$a[n] = a[n - K' \cdot L] \tag{3.32}$$

Siendo:

$L \in \mathbb{N}$: Número de muestras del periodo.

$K' \in \mathbb{Z}$

Se va a considerar que cada muestra de la secuencia *a[n]* representa un chip, resultando indistinto hablar de chips o muestras en este apartado. Esto es equivalente a considerar que la señal digital (NRZ polar de amplitud 1) ha sido muestreada con una muestra por chip.

De este modo, siendo *a[n]* una secuencia PN de longitud máxima, el número *L* de chips o muestras del periodo de la secuencia *a[n]* será:

$$L = 2^N - 1 \tag{3.33}$$

Donde:

N: Número de registros de desplazamiento del generador linealmente realimentado de la secuencia *a[n]*.

A continuación, se ha de aplicar a la secuencia *a[n]* un diezmado para obtener una subsecuencia *b[n]*, tal que:

$$b[n] = a[n'] = a[Q \cdot n - K] \tag{3.34}$$

Donde:

$$Q = 2^{N/2} + 1 \quad , \ N \text{ es par.} \tag{3.35}$$

$K \in \{ 0, 1, 2, \dots , Q - 1 \}$

A la vista de las expresiones anteriores, se deduce que *Q* aumentará conforme aumente *L*, y viceversa. En todo caso, se comprueba fácilmente mediante la combinación de sus expresiones, para la obtención de *Q*(*L*) y *L*(*Q*):

$$Q = 1 + \sqrt{L + 1} \ \Leftrightarrow \ L = Q\,(Q - 2) \quad , \ L \geq Q \quad \Rightarrow \quad L \uparrow \Leftrightarrow Q \uparrow \tag{3.36}$$

Expresado en palabras, el proceso de diezmado anterior se traduce en que, para formar la subsecuencia *b[n]*, se ha de sub-muestrear la secuencia *a[n]* tomando una muestra de cada *Q* muestras consecutivas. Dicho de otro modo, se ha de recorrer la secuencia *a[n]* en bloques de *Q* muestras, tomándose las muestras que ocupen una misma posición en cada uno de los bloques. Dicha posición queda determinada por el número *K*.

Por tanto, dado que la secuencia *a[n]* tiene un periodo de *L* muestras, el número de muestras *L'* correspondiente al proceso de diezmado de un periodo de secuencia *a[n]*, tomadas para obtener la subsecuencia *b[n]*, será:

$$L' = \frac{L}{Q} = \frac{2^N - 1}{2^{N/2}+1} = \frac{(2^{N/2}+1)\cdot(2^{N/2}-1)}{2^{N/2}+1} = \left(2^{N/2} - 1\right) \Rightarrow L' = Q - 2 \tag{3.37}$$

Cabe plantearse, en principio, la posibilidad que *Q* no se encuentre contenido un número entero de veces en *L*, es decir, que el último bloque de *Q* muestras de *a[n]* resultase incompleto. Esto supondría que, el valor de *L´* (- obtenido como el cociente de *L* y *Q*-) habría de redondearse, dependiendo del valor de *K*, al número entero superior o inferior. En otras palabras, habría de redondearse en uno u otro sentido, respectivamente, en función de si *b[n]* obtiene o no muestra del bloque incompleto de *Q* muestras, conforme a la posición definida (mediante *K*) en que se toma muestra de cada bloque.

Lógicamente, tal y como ha sido definido *Q* en la expresión de *b[n]*, es un número entero. Por consiguiente, según el resultado anterior, *L´* será también un número entero. Esto conlleva lo siguiente:

- Recorriendo de modo ilimitado la secuencia *a[n]* en bloques de *Q* muestras, el número de muestras *L´* resultante del proceso de diezmado de cada ciclo de *a[n]* será siempre el mismo.

- El número de muestras *L* del periodo de la secuencia *a[n]* será múltiplo del número de muestras *Q* del tamaño de bloque. Dicho de otro modo, *L* será *Q* veces mayor que el número de muestras *L´* resultante del diezmado de un ciclo cualquiera de *a[n]*:

$$L = Q \cdot L' \tag{3.38}$$

En definitiva, las consideraciones anteriores se traducen en que, conservando el periodo de muestreo, las posiciones de las muestras del proceso de diezmado, para la formación de la subsecuencia *b[n]*, serán las mismas en cada ciclo de *a[n]*.

Como consecuencia inmediata de lo anterior, se llega a la conclusión de que la subsecuencia *b[n]* es una secuencia periódica de periodo *L´*chips. De este modo, una vez construida la subsecuencia *b[n]* de la secuencia *a[n]*, considerando la misma duración o periodo de chip en ambas, un periodo de la secuencia *a[n]* tendrá la misma duración que *Q* periodos de la secuencia *b[n]*.

Bajo la consideración anterior, se obtendría una secuencia de Kasami *c[n]* realizando la operación 'OR-Exclusiva', muestra a muestra, entre las secuencias *a[n]* y *b[n]*, es decir, entre las *L* muestras de *a[n]* y las *L* muestras correspondientes a los *Q* ciclos de *b[n]*. Se deduce fácilmente que la secuencia *c[n]* resultante será periódica de periodo *L* chips, al igual que la secuencia *a[n]*.

3.3.2 Propiedades de las secuencias de Kasami.

Las simulaciones realizadas, esbozadas en el capítulo 4, han permitido determinar que los valores más representativos que toma la función de autocorrelación son los siguientes:

$$\mathcal{R}_{cc}[\tau] = \begin{cases} V^2 & , \quad \tau = K' \cdot L \cdot T_{chip} \\ -\frac{V^2}{L} & \\ -\frac{V^2 \cdot Q}{L} & \\ \frac{V^2(Q-2)}{L} = \frac{V^2}{Q} & \end{cases} \tag{3.39}$$

Donde:

$\tau = K' \cdot T_{chip} \quad , \quad K' \in \mathbb{Z}$

T_{chip} es el periodo de chip.

L: número de chips del peri odo de la secuencia *c[n]*.

Los restantes valores vendrán dados por la interpolación lineal entre dos valores consecutivos de los anteriores, según puede observarse en las gráficas del capítulo 4 (apartado 4.3.1).

La función de autocorrelación $\mathcal{R}_{cc}[\tau]$de una secuencia de Kasami *c[n]* será periódica de periodo L chips, al igual que la propia secuencia *c[n]*, según se ha podido concluir en el apartado anterior (3.3.1) y corroborar con las simulaciones del capítulo 4 (apartado 4.3.1).

Puede observarse en las referidas gráficas que, a diferencia del caso de las secuencias producidas por los generadores linealmente realimentados de longitud máxima, en el caso de las secuencias de Kasami no puede hablarse de un pedestal de autocorrelación, propiamente dicho, para desplazamientos comprendidos entre uno y L -1 chips, ya que la función no toma un valor constante.

Por el contrario, puede hablarse de un rizado en la función de autocorrelación para desplazamientos comprendidos entre uno y L -1 chips, cuya amplitud pico a pico $\Delta\mathcal{R}_{cc}$, o diferencia entre los valores máximo y mínimo, será:

$$\Delta\mathcal{R}_{cc} = \frac{V^2(Q-2)}{L} - \left(-\frac{V^2 \cdot Q}{L}\right) \Longrightarrow \Delta\mathcal{R}_{cc} = \frac{2V^2}{L}(Q-1) \tag{3.40}$$

El rizado disminuirá al aumentar el número de registros de desplazamiento N del generador linealmente realimentado de la secuencia *a[n]*. En definitiva, el rizado será menor conforme aumente el número de chips L del periodo de la secuencia PN de longitud máxima generadora *a[n]* y, por consiguiente, conforme mayor sea el número de chips L del periodo de la secuencia de Kasami *c[n]*.

Esta conclusión no resulta inmediata a la vista de la expresión anterior, ya que Q puede expresarse en función de L, o ambos parámetros ser expresados en función de N. Haciendo cualquiera de dichas sustituciones se llega a la conclusión anterior, según se muestra a continuación:

$$\Delta\mathcal{R}_{cc} = \begin{cases} \frac{2V^2}{Q\cdot L'}\,(Q-1) = \frac{2V^2}{Q}\cdot\frac{(Q-1)}{(Q-2)} \approx \frac{2V^2}{Q} \\ \\ \frac{2V^2}{2^N-1}\left[(2^{N/2}+1)-1\right] = 2V^2\,\frac{2^{N/2}}{2^N-1} \approx 2V^2\,\frac{2^{N/2}}{2^N} = \frac{2V^2}{2^{N/2}} \end{cases} \tag{3.41}$$

Sin perjuicio de lo anterior, también puede observarse en las gráficas que, al aumentar *L*, las cotas del rizado tienden a ser simétricas respecto del eje de abscisas, quedando un rizado perfectamente balanceado, según se demuestra a continuación.

Tomando el límite inferior del rizado:

$$-\frac{V^2\cdot Q}{L} = -\frac{V^2\cdot Q}{(Q-2)\cdot Q} = -\frac{V^2}{(Q-2)} \cong -\frac{V^2}{Q} \Rightarrow \Delta\mathcal{R}_{cc} \cong \frac{2V^2}{Q} \tag{3.42}$$

$$\Uparrow$$

$$L\uparrow \Leftrightarrow Q\uparrow$$

El valor promedio del rizado de la autocorrelación, es decir, el valor promediado de la función de autocorrelación para desplazamientos comprendidos entre uno y *L* -1 chips, dependerá del número de ocurrencias de estos cuatro valores o, dicho de otro modo, del número de muestras de la función de autocorrelación que tomen esos valores.

Según se ha explicado anteriormente, para obtener la subsecuencia *b[n]* se ha de sub-muestrear la secuencia *a[n]* tomándose una muestra de cada *Q* muestras consecutivas. Esto supone que se habrán de seleccionar las muestras que ocupen una misma posición cualesquiera, de la 1 a la *Q*, en cada uno de los bloques; lo que conllevaría, en principio, un máximo teórico de *Q* subsecuencias *b[n]* distintas generadas a partir de una misma secuencia *a[n]*. Esto implicaría que una familia de secuencias de Kasami podría integrar, en principio, hasta un máximo teórico de *Q* secuencias *c[n]* distintas.

Sin embargo, se ha comprobado mediante simulación que, en ningún caso, se alcanza dicho valor teórico y que, a medida que aumenta *L*, el número real de secuencias de Kasami obtenidas se aleja del mencionado límite. En la tabla 4-14 se muestran los resultados que ilustran esta cuestión.

Numerosas simulaciones realizadas muestran que, dentro del referido conjunto resultante de secuencias distintas de Kasami, se encuentra incluida la propia secuencia *a*[*n*], producida a partir de la subsecuencia *b*[*n*] con todos sus chips a cero. [5] Puede comprobarse fácilmente con las secuencias lógicas incluidas en los ejemplos del punto 3.2.2 (producidas por los generadores de las figuras 3-14 a 3-17) que en una de las posibles posiciones de muestreo, de la 1 a la *Q*, se produce siempre un *b*[*n*] con todos sus chips a cero.

Según se desprende de las consideraciones anteriores, se entiende por 'familia' de secuencias de Kasami el conjunto de secuencias generadas a partir de una misma secuencia PN de longitud máxima *a[n]*, según el procedimiento descrito en el apartado 3.3.1.

Nótese que la secuencia *a[n]* comenzará a generarse en un estado de fase distinto en función del estado inicial de carga de los registros del generador linealmente realimentado. Por tanto, de cara a la realización de la operación Or-Exclusiva con una misma secuencia *b[n]*, no será lo mismo el operar con dos bloques de *L* muestras de *a[n]* generados a partir de dos estados iniciales de carga distintos,

[5] Nótese que la operación Or-Exclusiva de una subsecuencia lógica con otra subsecuencia de ceros devuelve como resultado la subsecuencia original. En el caso de una secuencia de unos devuelve la secuencia lógica original invertida.

aunque los bloques serán réplicas desfasadas circularmente el uno del otro. Por otra parte, el proceso de diezmado en las Q posiciones podrá dar lugar a conjuntos distintos de subsecuencias $b[n]$ en función del estado de fase de la secuencia $a[n]$. En definitiva, todo ello se traduce en que podrán obtenerse distintas familias de secuencias de Kasami variando únicamente el estado inicial de carga del generador. Dos familias así generadas podrán compartir secuencias, entendiendo con ello versiones desfasadas de una misma secuencia $c[n]$, pero también podrán integrar secuencias $c[n]$ genuinamente distintas.

En el Apéndice 3 se incluyen una serie de tablas, para distintas longitudes de periodo L, que ilustran cómo varía el tamaño de las familias de Kasami.

Por otra parte, las simulaciones incluidas en el capítulo 4 (apartado 4.3.2) y otras adicionales han permitido determinar la función de correlación de dos secuencias de Kasami de la misma familia, c_1 y c_2, toma los siguientes valores característicos:

$$\mathcal{R}_{c_1 c_2}[\tau] = \begin{cases} -\frac{V^2}{L} \\ -\frac{V^2 \cdot Q}{L} \\ \frac{V^2(Q-2)}{L} = \frac{V^2}{Q} \end{cases} \tag{3.43}$$

Donde:

$\tau = K' \cdot T_{chip} \quad , \quad K' \in \mathbb{Z}$

T_{chip} es el periodo de chip.

L: número de chips del periodo de las secuencias $c_1[n]$ y $c_2[n]$.

Puede observarse que éstos son los mismos valores característicos que tomaba la función de autocorrelación, con la salvedad del máximo de autocorrelación (V^2), originándose el mismo rizado. Los restantes valores de la función vendrán dados por la interpolación lineal entre dos valores consecutivos de los anteriores, según puede observarse en las gráficas del apartado 4.3.2.

Se ha podido comprobar, así mismo, que el periodo de la función de correlación de una pareja de secuencias de la misma familia resulta ser también de L chips, al igual que el de las propias secuencias que se correlan y el de su función de autocorrelación.

Se ha observado también que el valor central de la función de correlación, es decir, para un desplazamiento de cero chips (esto es, $\tau = 0$) resulta ser el indicado a continuación, con independencia del generador PN linealmente realimentado que determine la secuencia $a[n]$, para cualquier longitud de periodo y estado inicial:

$$\mathcal{R}_{c_1 c_2}[0] = -\frac{V^2 \cdot Q}{L} \tag{3.44}$$

Se comprueba, además que la función no es simétrica respecto del origen, comprobándose que las correlaciones de c_1 con c_2 y de c_2 con c_1 son especulares entre sí:

$$\mathcal{R}_{c_1c_2}[\tau] = \mathcal{R}_{c_2c_1}[-\tau] \tag{3.45}$$

Puede comprobarse analíticamente que el rizado de la función de correlación de una pareja de secuencias de Kasami de una misma familia (o de la autoorrelación de cada una de las secuencias de la pareja), determinado por la expresión 3.40, resulta inferior al proporcionado por la función de correlación de una pareja preferente de secuencias PN, determinado por las expresiones 3.29 y 3.30. Baste para ello, operar sobre la expresión 3.40:

$$\Delta\mathcal{R}_{cc} = \frac{2V^2}{L}(Q-1) = \frac{2V^2}{L}\left(2^{\frac{N}{2}}+1\right) \cong \frac{2V^2}{L}2^{\frac{N}{2}} = \frac{V^2}{L}\,2^{\frac{N+2}{2}} \tag{3.46}$$

$$\Uparrow$$

$$N \uparrow$$

Se comprueba a simple vista que la expresión 3.46 resulta inferior que la expresión 3.30, correspondiente al caso de *N* par (condición ésta en el proceso de generación de Kasami). Dividiendo ambas expresiones, se determina que la una es el doble de la otra, concluyéndose que, a medida que aumenta *N* (o, en definitiva, *L*) el rizado de Kasami tiende a ser la mitad del rizado de las secuencias preferentes, para una misma longitud de periodo *L*. En la figura 4.123 se ilustra una comparativa de ejemplo que corrobora el desarrollo analítico.

3.4 Generación de Secuencias Gold

3.4.1 Proceso de generación de secuencias Gold Genéricas

Considerando secuencias de un solo periodo de longitud, la familia de secuencias Gold asociada a una pareja preferente de secuencias PN, m_1 y m_2, estará compuesta por dicha pareja más la suma modulo-2 u OR-Exclusiva de la primera secuencia con cualquier versión de la segunda desfasada un número entero de posiciones o ciclos de reloj:

$$\{Gold\} = \{m_1,\ m_2,\ m_1 \oplus m_2,\ m_1 \oplus m_2^1,\ m_1 \oplus m_2^2,\ m_1 \oplus m_2^3\ \ldots,\ m_1 \oplus m_2^{L-1}\} \tag{3.47}$$

Donde *L* es el número de bits de las secuencias de la pareja y m_i^k es la secuencia que resulta de desplazar cíclicamente *k* posiciones la secuencia m_i, entendiéndose que todos los desplazamientos de la expresión se realizan en el mismo sentido; de tal modo que el desplazamiento de una posición de los bits de la secuencia hacia la derecha conlleva que el bit situado más a la derecha pasa a situarse el primero por la izquierda, y viceversa. Lógicamente, la referida operación modulo-2 de dos secuencias se realiza bit a bit entre aquéllos que ocupan una misma posición dentro de sus respectivas secuencias.

El número de secuencias Gold que integran la familia asociada a una pareja preferente será:

$$M = 2^N + 1 \tag{3.48}$$

Para alcanzar la conclusión anterior, baste considerar que existen 2^N-1 desplazamientos posibles, en un mismo sentido, de la versión a actual de una determinada secuencia (sin considerar sus múltiplos enteros). Por tanto, el conjunto *M* de secuencias de la familia estará formado por las 2^N-1 secuencias resultantes de las combinaciones en módulo-2, junto a las dos secuencias originales.

Puede comprobarse que en ninguna de las secuencias Gold resultantes de la combinatoria se produce patrón periódico alguno a lo largo de sus *L* bits de longitud. Por consiguiente, dado que las secuencias que componen una pareja preferente son secuencias de longitud máxima, si se consideran

las extensiones periódicas, todas las secuencias de su familia tendrán periodo de longitud 2^N-1 bits, al igual que las dos secuencias originales. Esta conclusión será razonada en detalle más adelante.

Considérese el esquema de un generador Gold genérico, mostrado en la figura siguiente.

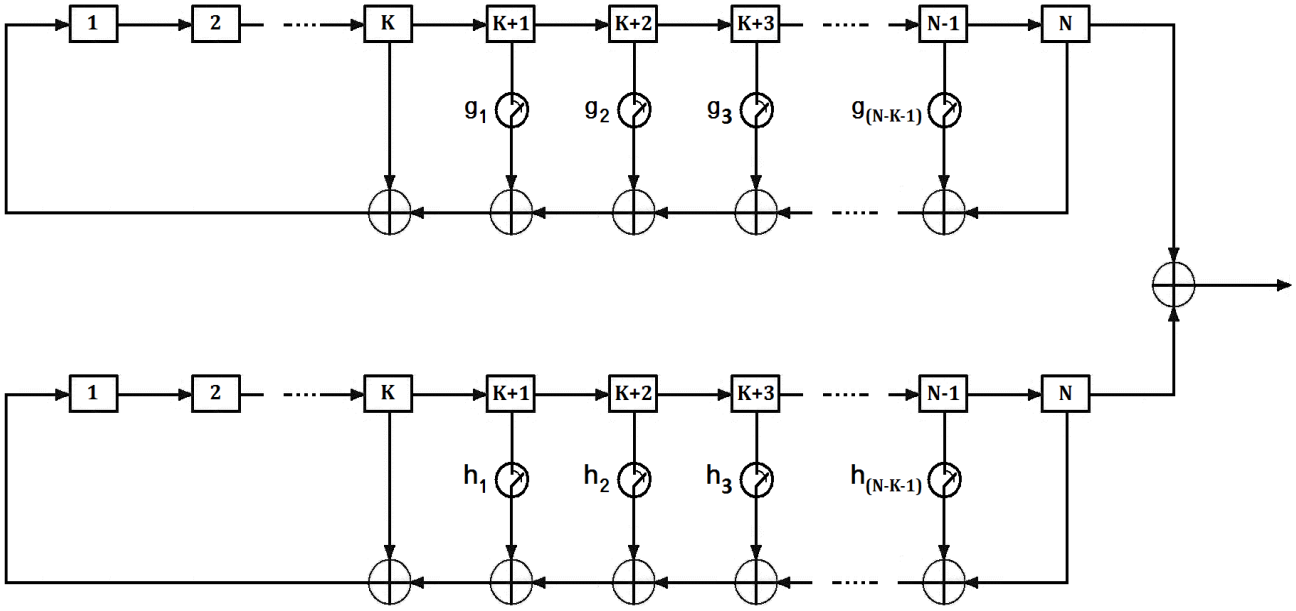


Figura 3-24. Esquema de un Generador Gold genérico.

Puede observarse que la secuencia de salida se obtiene a partir de la operación OR-exclusiva de las secuencias de salida de dos generadores linealmente realimentados. Para mayor claridad, en la figura se ha tomado la salida de dichos generadores de su registro *N*-ésimo, si bien se aclara que podría haberse tomado de cualquier otro registro, pudiendo ser distinto en ámbos. Nótese que estas modificaciones se traducen únicamente en cambios de fase de la secuencia producida por los generadores parciales, dando lugar a la generación de distintas secuencias Gold de la familia. Esta concepción universal del generador Gold aparece ilustrada en el esquema de la figura 3-25.

Conforme a lo indicado al comienzo del apartado, las secuencias producidas por los generadores parciales han de formar una pareja preferente, además de ser éstos de longitud máxima. Esta condición de las secuencias generadas queda establecida mediante conexionado adecuado de los vectores g y h. Si las secuencias, correspondientes a un periodo de longitud, producidas por dos generadores linealmente realimentados de longitud máxima constituyen una pareja preferente, también lo serán dos réplicas cualesquiera desfasadas cíclicamente un número entero de posiciones de las anteriores (ya que las cotas positiva y negativa de la correlación de ambas no variarán, aunque tendrán lugar en distintos valores de τ).

Como los generadores de longitud máxima pasan por todos los estados posibles de carga (del conjunto de los *N* registros de desplazamiento) durante el proceso de generación, el variar el estado inicial de los registros se va a traducir únicamente en un cambio del estado de fase inicial de la secuencia generada. Por tanto, a partir de un esquema determinado de Generador Gold, los m_i^k de la expresión 3.47 podrán obtenerse variando el estado inicial de carga de los registros de uno cualquiera de los generadores parciales. Igualmente, podrían aplicarse cambios del estado inicial de los registros en ámbos generadores, dado que, en cualquiera de los casos, habrá un máximo de 2^N-1 desplazamientos relativos posibles entre las secuencias generadas.

En conclusión, para una configuración determinada de los vectores *g* y *h* del esquema de la figura 3.24, que se corresponda con la generación de una pareja de secuencias preferente, podrán obtenerse todas las secuencias posibles *M* que componen la familia de dicha pareja, variando el estado inicial de carga de uno cualquiera de los generadores parciales (o de ámbos). Lógicamente, las secuencias originales, m_1 y m_2, podrán obtenerse (en distintos estados de fase inicial) tomándolas directamente de un registro cualquiera del correspondiente generador (conexión de salida del Generador Gold que no aparece ilustrada en el esquema de la figura).

Dicho con otras palabras, dado un generador Gold determinado (es decir, con un conexionado preestablecido de los vectores *g* y *h*), pueden obtenerse todas las secuencias de la correspondiente familia Gold variando el estado inicial de carga de los registros de los generadores parciales. Es decir, una implementación concreta de Generador Gold proporciona una familia determinada de secuencias Gold.

De igual modo, con una configuración preestablecida de los vectores *g* y *h*, pueden obtenerse todas las secuencias de la familia (asociada a la correspondiente pareja preferente), para cualquier conexionado de salida de los generadores parciales (ilustrado en la figura 3.25), variando el estado inicial de carga de los registros de dichos los generadores.

Aunque el resultado haya sido previamente verificado de manera experimental, llegados a este punto, puede llegar a concluirse ya, de un modo intuitivo, que el periodo de cualquier secuencia Gold sea de 2^N-1 bits. Para ello, analícese la función desempeñada por el sumador modulo-2 de salida. Puede observarse que:

- Si el bit de salida del generador inferior es un '0', la puerta lógica devuelve el valor de salida del generador superior.
- Si el bit de salida del generador inferior es un '1', la puerta lógica devuelve el valor de salida invertido del generador superior (es decir, los 'ceros' convertidos en 'unos', y viceversa).

La consideración anterior conlleva asimilar el conjunto formado por el sumador modulo-2 de salida y el generador inferior al de un "aleatorizador", que respeta el valor de una parte de los bits de salida del generador superior e invierte el valor de la otra parte, de un modo casi balanceado (dado que siempre hay una diferencia de uno entre el número de 'unos' y 'ceros' de la secuencia PN de longitud máxima, si bien este efecto se minora conforme aumenta el número de registros).

Bajo esta concepción, la señal de salida del generador superior sería la señal de entrada a la puerta lógica, en tanto que la señal de salida del generador inferior sería una señal de control que, al activarse (ponerse a '1'), invertiría la señal de entrada al dispositivo lógico, manteniéndola sin cambios (como un interruptor cerrado) estando inactiva (es decir, a '0'). Lógicamente, esta presunta labor de modificación aleatoria del valor de la mitad de los bis de salida del generador superior lleva consigo que la señal de control de la puerta lógica varíe realmente de forma aleatoria, logrando mantener, con ello, los estadísticos y propiedades de autocorrelación de la señal original.

Dicho de otro modo, el cambio aleatorio de la mitad de los bits se traduce en que la elección de los mismos sea realizada de modo incorrelado con su proceso de generación. En este sentido, las parejas preferentes aseguran unos niveles de correlación cruzada lo suficientemente bajos.

Realmente, la cuestión de que el cambio de estado sea aplicado a la mitad de los bits no resulta intrínsecamente necesaria para asegurar que no se produzcan patrones de repetición en las señales resultantes del generador Gold (que originen periodos inferiores al de la señal original), si bien, al efectuarse de un modo "pseudoaleatorio" (dado que la señal del generador inferior es realmente determinista y periódica, aunque de periodo muy largo), dicha cuestión va a contribuir a lograr el grado de incorrelación necesario entre las secuencias de ambos generadores, a la vez que entre las

distintas secuencias de la familia, debido al considerable número de transiciones (entre los niveles de los 'ceros' y los 'unos') sin un patron, a priori, determinado.

Sin ánimo de incidir más en la idea anterior, la evolución de la salida del generador Gold va a quedar determinada por la evolución del estado de los registros de los generadores parciales (que producen las secuencias m_1 y m_2).

Por otra parte, siendo las secuencias de ambos generadores PN de longitud máxima, el conjunto de los registros de cada uno de ellos no volverá a su estado inicial hasta transcurridos 2^N-1 ciclos de reloj, de tal modo que, al cabo de ese tiempo, el generador Gold habrá retornado a su estado de partida, comenzando a generar una nueva réplica de la secuencia de bits producida, con una longitud L de periodo de 2^N-1 bits.

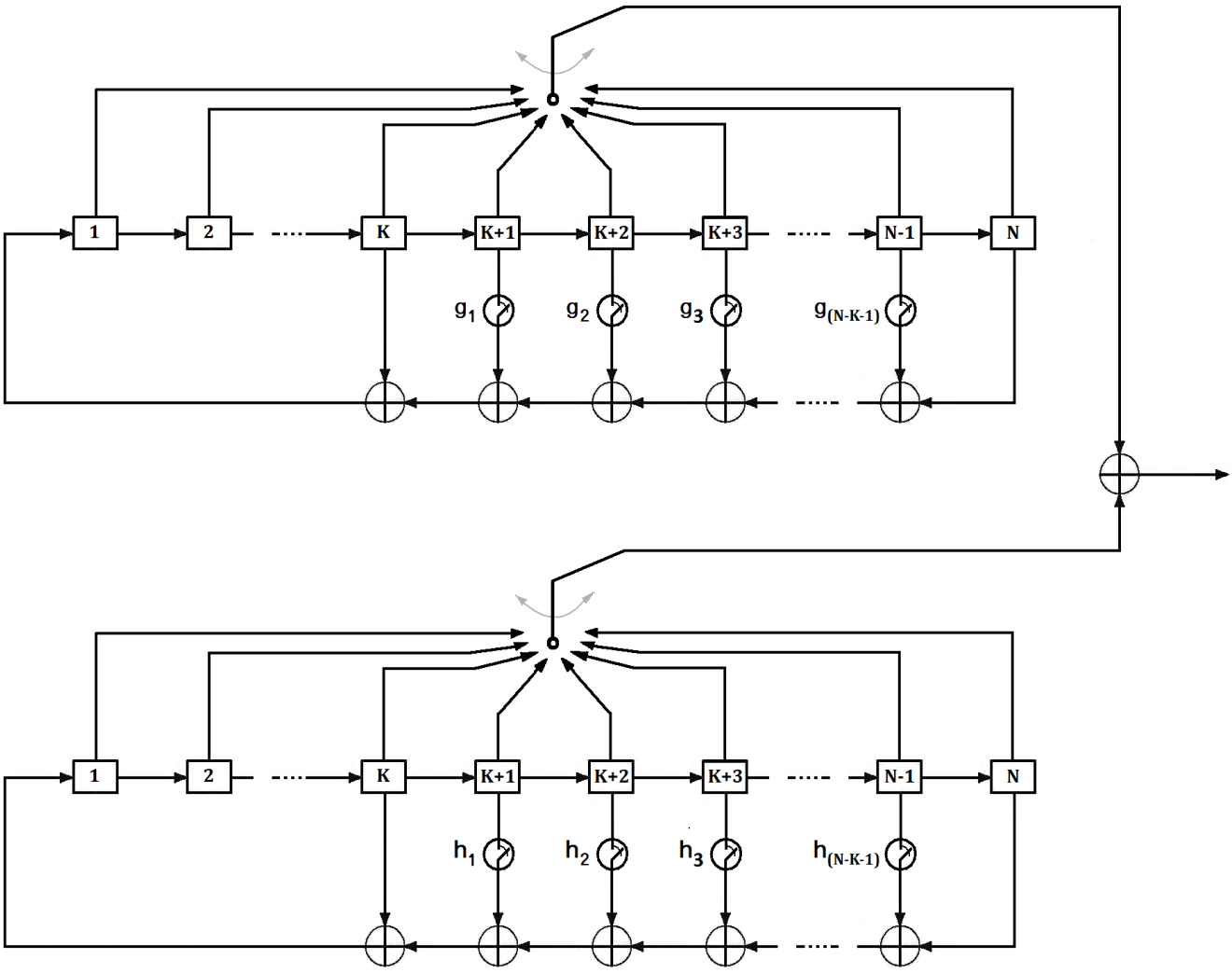


Figura 3-25. Esquema del Generador Gold universal.

3.4.2 Generación de secuencias Gold para GPS

En un sistema GPS[6] cada satélite emplea dos secuencias pseudoaleatorias de distinta longitud de periodo. En la figura siguiente se muestra el esquema de generación de la señal *C/A*, en la que se basa el servicio estándar civil de posicionamiento. Dicha señal es una secuencia Gold de 1023 chips de periodo.

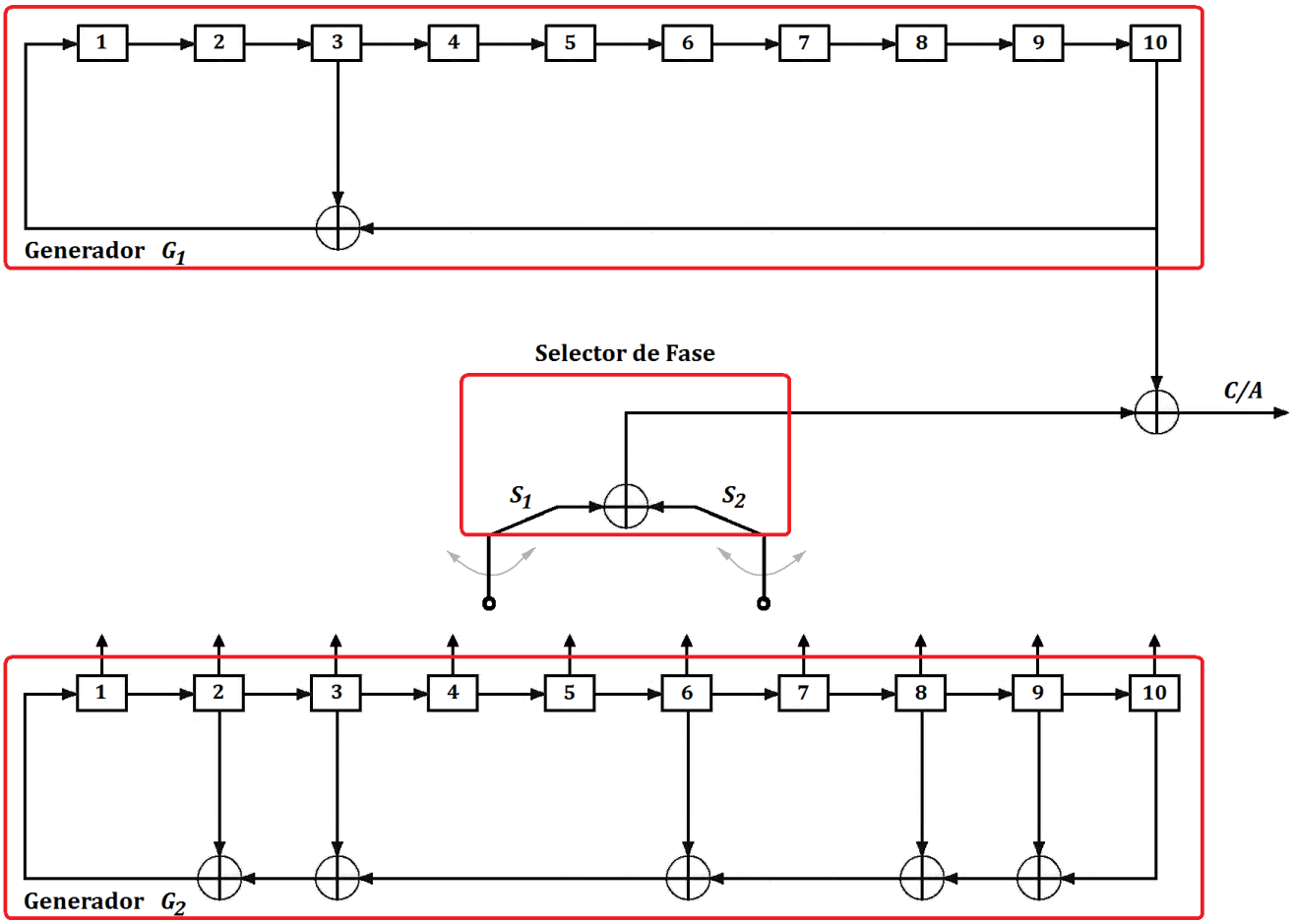


Figura 3-26. Esquema del Generador GPS de la señal *C/A*.

Según pretende ilustrar la figura 3-26, para obtener la secuencia de salida del generador GPS de la señal *C/A*, la salida del generador G_1 se toma de su último registro, en tanto que del generador G_2 se toman dos señales de salida, S_1 y S_2, de dos registros cualesquiera (distintos) del mismo.

Las señales S_1 y S_2 se aplican a un módulo denominado "selector de fase", cuya señal de salida, junto a la obtenida del generador G_1, constituyen las entradas al sumador módulo-2 de salida del generador GPS de señal *C/A*.

El conexionado de los generadores G_1 y G_2, asimilándolo a la notación empleada en las figuras 3-24 y 3-25, vendrá determinado por los siguientes parámetros (conforme al proceso descrito de generación de secuencias pseudoaleatorias mediante registros de desplazamiento linealmente realimentados):

[6] Del inglés, Global Positioning Sistem.

N	K	g_1	g_2	g_3	⋯	g_{N-K-1}	g_{N-K}	$p(x)$	L
10	3	0	0	0	0	0	0	1	$x^{10}+x^3+1$	1023

Tabla 3-6. Parámetros de configuración del Generador G_1.

N	K	h_1	h_2	h_3	…	h_{N-K-1}	h_{N-K}	$p(x)$	L
10	2	1	0	0	1	0	1	1	1	$x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^3+x^2+1$	1023

Tabla 3-7. Parámetros de configuración del Generador G_2.

En las tablas 3-6 y 3-7 figura indicado, de izquierda a derecha, el número de registros del generador respectivo (*N*), el número de registros de su lazo de realimentación (*K*), el estado de conexión de sus interruptores g_i o h_i, su polinomio generador (*p(x)*) y el periodo de su secuencia de salida en bits (*L*).

Según se observa en la figura, el selector de fase realiza la operación OR-Exclusiva, bit a bit, de la secuencia de salida obtenida de dos registros diferentes del generador G_2. Dicho en otras palabras, realiza la suma módulo-2, bit a bit, de dos réplicas desfasadas un número entero de bits de la misma secuencia m_2.

Nótese que, tomando la salida de diferentes registros del generador G_2, pueden obtenerse diez posibles estados de fase de la misma secuencia, conforme al esquema de la figura (hasta once, si se habilita también conexión desde el propio lazo de realimentación, es decir, desde la entrada del primer registro).

Llegados a este punto, conviene recordar que en los generadores linealmente realimentados de longitud *L* (bits) máxima se verifica que, realizando la suma módulo-2 de dos versiones de su secuencia de salida desfasadas un número entero de bits, resulta de nuevo la misma secuencia desfasada (respecto de cualquiera las versiones originales) un número entero de bits cualesquiera, comprendido entre $-L+1$ y $L-1$. Esta propiedad puede observarse, tanto cíclicamente con secuencias de un periodo de longitud sujetas a desplazamientos circulares de sus bits, como de manera indefinida en un proceso de combinación continuo a lo largo del tiempo.

Esta propiedad puede explicase considerando que los generadores linealmente realimentados de longitud máxima, durante el proceso de generación de la secuencia, pasan por todos los estados de carga posibles de sus registros. Como consecuencia de ello, si a los *N* bits que definen el estado actual de carga de los registros se les suma en módulo-2 una subsecuencia cualquiera de *N* bits, se produce otro estado de carga, al que resulta factible que el generador evolucione desde el estado de carga anterior. De este modo, si comenzase a generar la secuencia de nuevo, lo haría partiendo desde un estado inicial de los registros distinto (del que antes fuera su estado actual) y, por ende, la secuencia generada arrancaría también en diferente estado de fase del que le correspondiera anteriormente.

Se concluye así que el módulo denominado "selector de fase", acorde a su nombre, no modifica la estructura de la secuencia producida por el generador G_2, sino que únicamente le aplica cambios de fase. De acuerdo con el esquema de la figura, a su salida podrían obtenerse un máximo de $[N\cdot(N-1)]/2$ estados de fase, es decir, 45. Téngase en cuenta que las entradas S_1 y S_2, al estar aplicadas a una puerta OR-Exclusiva (que verifica la propiedad conmutativa), resultan indistintas, de tal modo que, tomándolas de dos registros cualesquiera, resulta ser: $S_1 \oplus S_2 = R_i \oplus R_j = R_j \oplus R_i = S_2 \oplus S_1$. Por ello, el número total de combinaciones del par (S_1,S_2) que proporcionan estados de fase distintos queda dividido por dos.

Nótese que, aplicando a las entradas S_1 y S_2 la misma señal (tomada de un mismo registro) la operación OR-Exclusiva produciría a la salida del selector una secuencia sólo de ceros y, por

consiguiente, la salida *C/A* coincidiría con la secuencia generada por G_1. En cambio, podrían conseguirse *N* estados de fase adicionales no conectando (o dejando a cero, en función de la implementación) una de las entradas del selector.

Sea como fuere, el selector de fase incrementa considerablemente el número de desfases relativos que pueden lograse respecto de una réplica cualesquiera de la secuencia del generador G_2. De este modo, el generador G_2 junto al selector de fase pueden verse como dos módulos de un mismo generador G_2', responsable de la generación de la secuencia m_2 en un estado de fase seleccionable (correspondiente a una de las versiones m_2^k de la expresión 3.47).

Como consecuencia de ello, actuando en el selector de fase se logran distintas secuencias *C/A* de la familia Gold asociada a la pareja de secuencias preferente que implementan los generadores G_1 y G_2 determinada por los parámetros de las tablas 3-6 y 3-7. Lógicamente, los generadores G_1 y G_2' implementan la misma pareja de secuencias preferente.

Nótese, sin embargo, que el esquema de la figura 3-26 (generador GPS de la señal *C/A*), va a permitir obtener sólo hasta 45 (o, en su caso 55) secuencias de la familia Gold correspondiente, frente a las 1025 que la integran (acorde a la expresión 3.48); o las 1023, excluyendo las secuencias de la propia pareja preferente (m_1 y m_2). En cualquier caso, GPS va a emplear únicamente 37 de las secuencias *C/A* posibles del esquema de la figura 3-26, suficientes para identificar los 32 satélites que emplea el sistema y disponer de algunas señales de test.

3.4.3 Propiedades de las secuencias Gold

Las simulaciones llevadas a cabo han permitido corroborar que todas las secuencias de una familia Gold tienen longitud *L* de periodo de $2^N - 1$ bits, es decir, la misma que las secuencias preferentes en que se basan.

Ha podido observarse que no todas las secuencias Gold tienen $2^N/2$ unos, es decir, el número de unos de las secuencias de longitud máxima. Las que no tienen el número de unos anterior tienen un número de unos igual a:

$$Nº\ unos = \begin{cases} \frac{2^N}{2} \pm 2^{\frac{N}{2}} \iff N\ es\ par \\ \frac{2^N}{2} \pm 2^{\frac{N-1}{2}} \iff N\ es\ impar \end{cases} \tag{3.49}$$

En el apartado 4.4.1 se muestra un ejemplo del tipo de simulaciones efectuadas para determinar la autocorrelación de las secuencias Gold, comprobándose que, además del máximo de la función, presenta únicamente tres valores característicos, en cuyos desfases τ asociados puede variar la pendiente de la función. Dicho en otras palabras, su función de autocorrelación sólo presenta cuatro valores característicos (incluido el máximo), cuya interpolación lineal contiene cualquier otro valor intermedio que tome la función.

Las simulaciones realizadas han permitido concluir que, obviando el máximo, los tres valores característicos de la función de autocorrelación de las secuencias Gold coinciden con los valores característicos que toma la función de correlación de las parejas de secuencias preferentes, para una misma longitud de periodo, determinados por las expresiones 3.27 y 3.28.

Por otra parte, se ha podido observar que no todas las secuencias manifiestan en su función de autocorrelación dichos valores característicos (véase, por ejemplo, la figura 4-126b). En este sentido, se ha observado que para algunas secuencias desaparece la cota extrema inferior de las expresiones 3-27 y 3.28, coincidiendo, en esos casos, la cota inferior de la función con el pedestal de autocorrelación de las secuencias PN de longitud máxima. Este efecto sólo se ha observado en generadores con longitud de periodo de secuencia baja (en concreto, en los generadores de 7, 31 y 63

chips de periodo), volviéndose estadísticamente improbable conforme aumenta del número de registros de los generadores PN. En el caso de la longitud de periodo de 7 chips, incluso pudo observarse la desaparición de ambas cotas negativas en una de las posibles secuencias.

En el apartado 4.4.2 se muestra un ejemplo del tipo de simulaciones efectuadas para determinar la función de correlación cruzada de las secuencias Gold de una misma familia.

La función de correlación cruzada de secuencias Gold de una misma familia únicamente presenta tres valores característicos, cuya interpolación lineal contendrá cualquier otro valor intermedio que tome la función. Se ha podido determinar que estos valores característicos son los mismos que toma su función de autocorrelación, salvando el máximo de la misma.

Por consiguiente, dichos valores coinciden, además, con los valores característicos que toma la función de correlación de las parejas preferentes, para una misma longitud de periodo (expresiones 3.27 y 3.28). Por tanto, el rizado que presenta la función de correlación cruzada de secuencias Gold de la misma familia resulta también el mismo que el de las parejas preferentes de secuencias PN (expresiones 3.29 y 3.30).

Por otra parte, no todas las parejas de la familia muestran los tres valores característicos de correlación. En este sentido, se ha observado que en el caso de algunas parejas desaparece la cota extrema inferior, produciéndose únicamente los otros dos valores. Este efecto, poco frecuente, se ha podido apreciar en determinadas parejas de secuencias de distintas familias Gold de 63 y 31 chips de longitud de secuencia.

En el caso de las secuencias C/A de GPS, se ha comprobado que las 32 secuencias que identifican cada uno de los satélites tienen un periodo de 1023 chips, de los cuales 512 son ‘unos’, verificando las restantes propiedades comentadas. Se ha comprobado, además, que el rizado de la función de autocorrelación de todas ellas toma ambas cotas extremas, positiva y negativa.

4 SIMULACIÓN

4.1 Caracterización de secuencias caóticas.

4.1.1 Caracterización temporal.

En este apartado se va a trabajar con el mismo sistema caótico empleado en el tema 3 para introducir la generación de secuencias caóticas. La secuencia producida por el sistema en cuestión viene determinada por la siguiente ecuación de estado:

$$x_{k+1} = 1 - 2x_k^2 \tag{4.1}$$

Siendo: $x_0 \in (-1,1) - \{0, \pm 0.5\}$ (4.2)

Los estados $x_i = 0$, $x_i = \pm 1$ y $x_i = \pm 0.5$ constituyen estados prohibidos, dado que la particularización de la ecuación para alguno de dichos valores provocaría que la secuencia $x[k]$ no oscilase, permaneciendo en un valor constante (-1 o 0.5, según el caso). Por tanto, partiendo de un estado inicial x_0 cualquiera del rango $(-1,1) - \{0, \pm 0.5\}$, se comprueba fácilmente que la secuencia sólo tomará los valores definidos por el mismo rango.

Considérese la secuencia producida a partir del estado inicial x_0=0.3, el mismo empleado en el tema 3 para el análisis de los efectos de la frecuencia de muestreo sobre las operaciones de correlación de señales digitales. En la gráfica siguiente se muestran los primeros 127 chips.

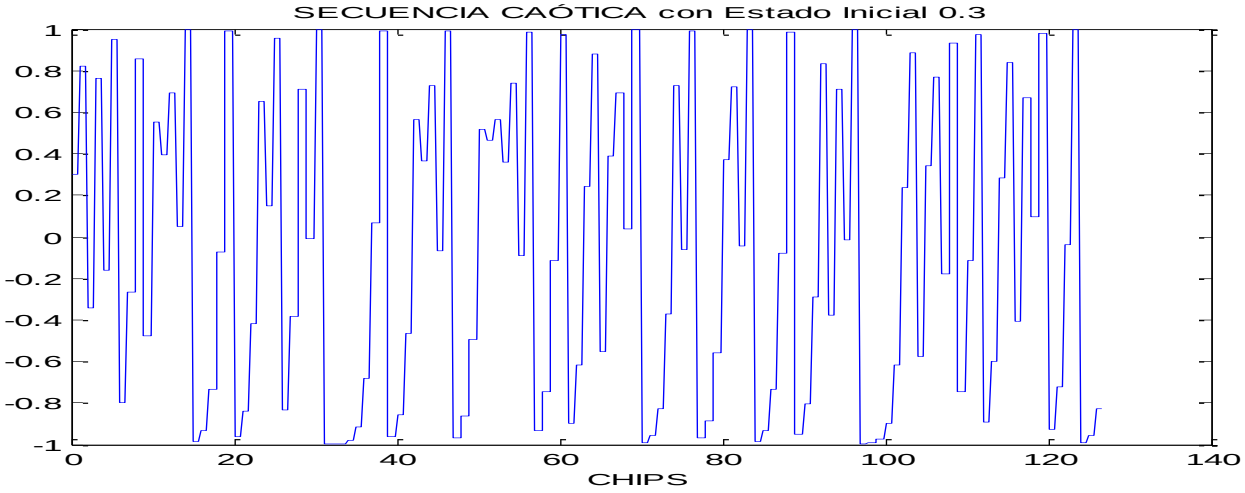


Figura 4-1. Secuencia caótica de trabajo generada a partir del estado inicial x_0 = 0.3.

Pese a ser una secuencia determinista (definida por la función o ecuación anterior), se trata de una secuencia ilimitada (al ser generada mediante un sistema realimentado) y, además, aperiódica o de periodo extraordinariamente largo, aún no determinado, cuestión que se ilustrará experimentalmente más adelante.

De este modo, cabe pensar que de la misma secuencia pueden generarse una infinidad de códigos, tomando secuencias finitas (o subsecuencias) de la misma longitud, de cara a su aplicación en entornos de acceso múltiple al medio o en sistemas multiusuario, en general.

4.1.2 Caracterización de la autocorrelación.

Bajo el planteamiento anterior, se van a tomar 100 subsecuencias de 63 chips (la misma longitud de referencia empleada en el análisis del tema 3, por razones de continuidad), de tal modo que el primer chip de la secuencia *n*-ésima corresponda al segundo chip de la secuencia *n*-ésima−1. Dicho en otras palabras, se van a generar 100 subsecuencias de 63 chips con un desfase de un chip entre cada una de ellas y la siguiente, comenzando la primera en el estado inicial x_0=0.3. En la siguiente gráfica, se muestra la autocorrelación de todas ellas solapada.

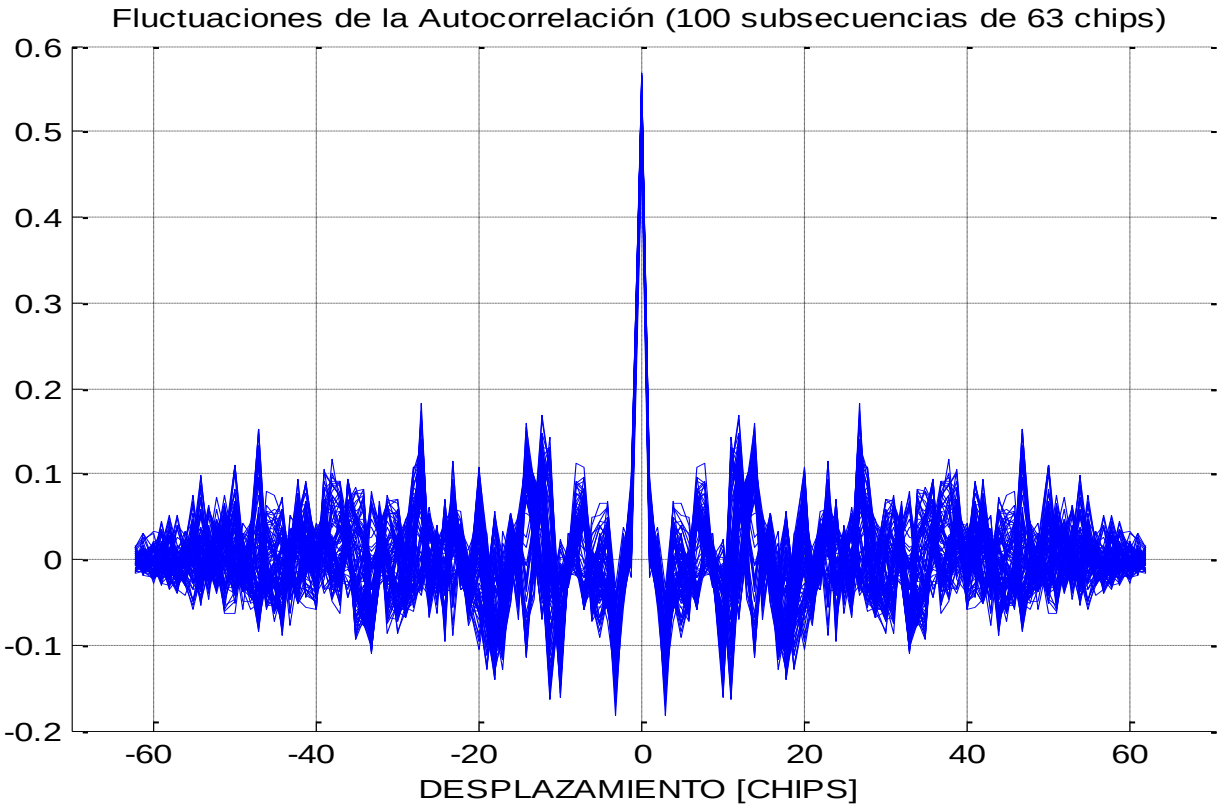


Figura 4-2. Ejemplo de fluctuaciones de la autocorrelación parcial de secuencias caóticas.

Mediante esta gráfica se comprueba que las distintas subsecuencias tienen una autocorrelación relativamente baja que, aunque resulta bastante similar, muestra fluctuaciones en la proyección consecutiva de todas ellas. Nótese que, con este experimento, se está realizando un análisis temporal de la autocorrelación parcial de la secuencia, vista como un proceso estocástico no estacionario. En definitiva, permite observar la evolución temporal de la autocorrelación de la secuencia empleando una "ventana de correlación" de 63 chips.

Aunque el mapa logístico fuera capaz de producir un conjunto infinito de códigos (mediante la elección de diferentes estados iniciales), a la luz de esta gráfica, no resulta evidente poder servirse de propiedades de ortogonalidad de los mismos, dado que para secuencias de longitud finita aparecen picos secundarios no despreciables en la autocorrelación parcial, según se aprecia en la gráfica.

Sin perjuicio de lo anterior, en la gráfica siguiente se muestra el promedio de los valores de autocorrelación de las 100 iteraciones.

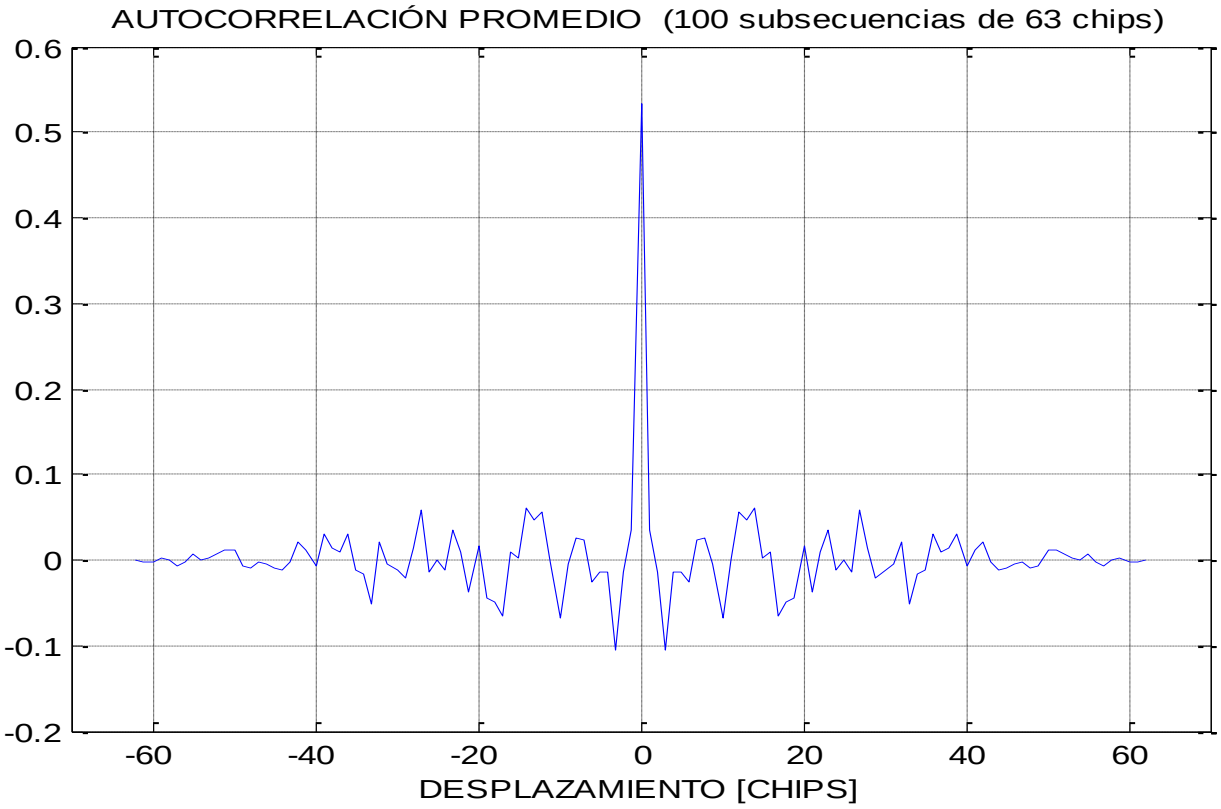


Figura 4-3. Promedio de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica de trabajo.

Puede observarse como la amplitud de los picos secundarios disminuye en valor medio. Este análisis puede entenderse como una primera aproximación a la autocorrelación de la secuencia indefinida [7].

Antes de proseguir con el análisis en detalle de la autocorrelación, se van a repetir las simulaciones anteriores empleando la misma secuencia, aunque cuantificada a los niveles NRZ polar +/-1, a fin de evaluar las implicaciones de este proceso sobre la autocorrelación de la secuencia binaria resultante, estableciendo la comparativa con la de la secuencia caótica original.

[7] Aunque en la gráfica sólo aparecen representados los desplazamientos hasta 62 chips (a izquierda y derecha), en este tipo de secuencias (aperiódicas o de periodicidad indeterminada), se asumiría prolongado indefinidamente el "suelo de ruido", a izquierda y derecha, sobre la base de la invarianza de la señal.

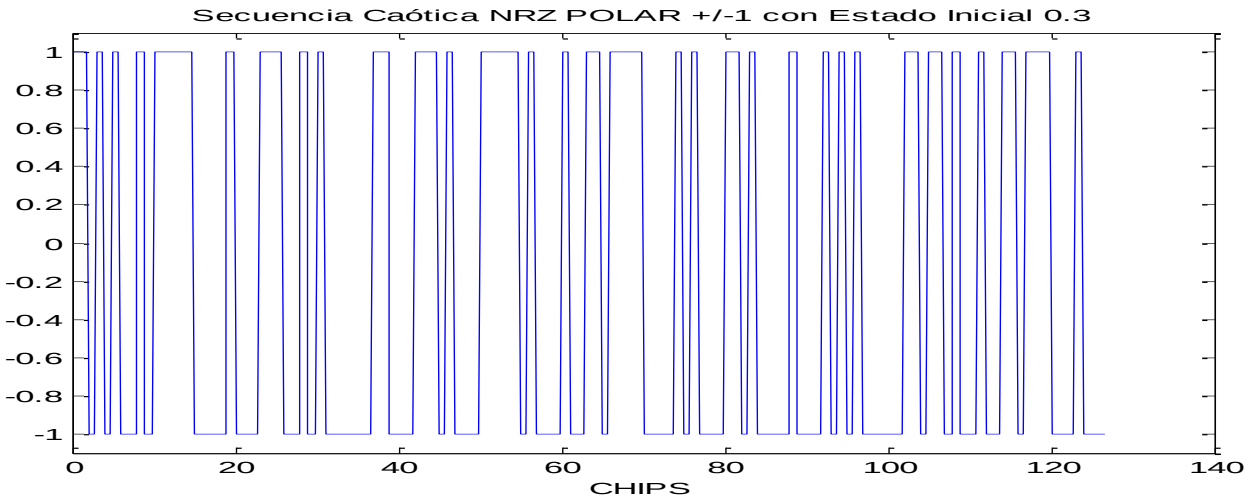


Figura 4-4. Ídem que la figura 4-1 para el caso de secuencia cuantificada a NRZ polar +/-1.

El proceso de cuantificación binaria podría conducir a variaciones sensibles en el valor medio de la señal, en función de las características de ésta. Sin embargo, dado que en un periodo de observación suficientemente grande (para diluir los efectos del estado inicial y de la longitud finita) la secuencia caótica puede tomar valores en el rango (-1,1), con equiprobabilidad de símbolos positivos y negativos, este proceso no altera el valor medio de la señal, que sigue siendo nulo, según se desprende de la gráfica superior.

Se muestran, a continuación, las gráficas de fluctuaciones de la autocorrelación parcial y del promediado de las mismas para el caso de la secuecia caótica cuatificada a NRZ polar +/-1.

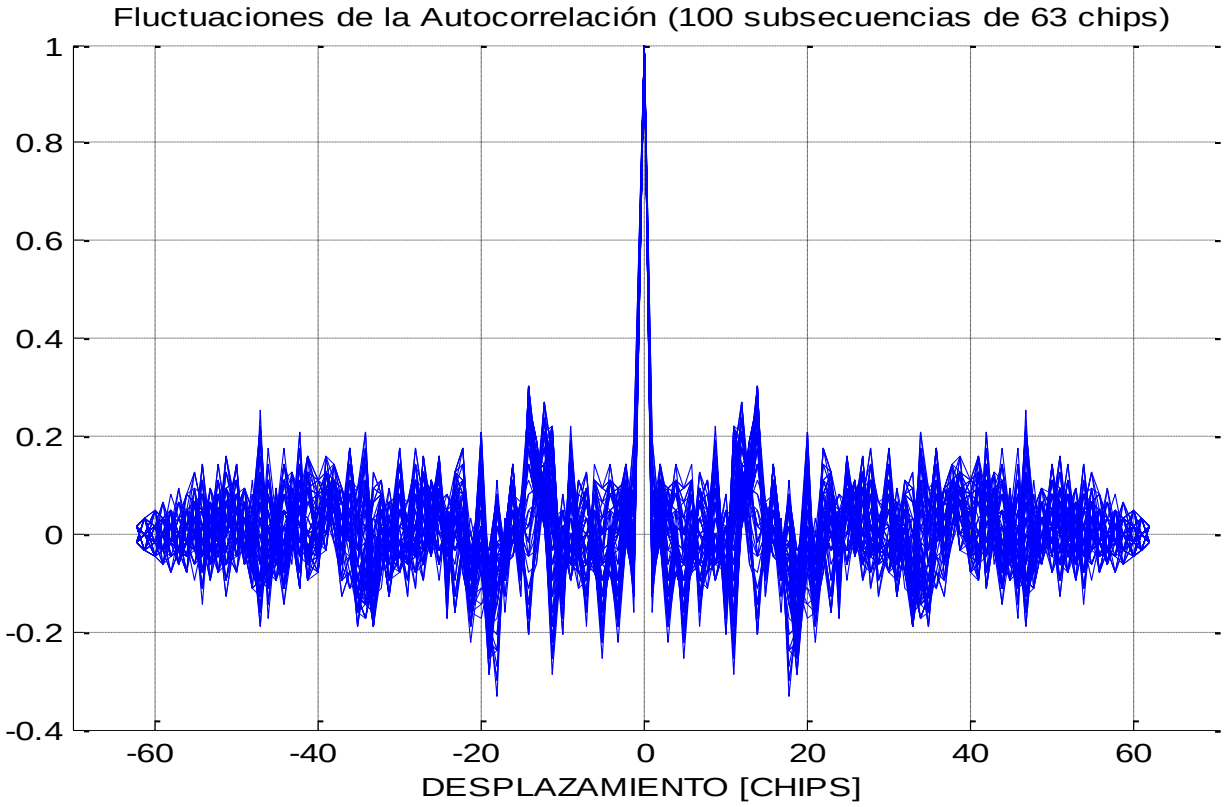


Figura 4-5. Ídem que la figura 4-2 para el caso de secuencia cuantificada a NRZ polar +/-1.

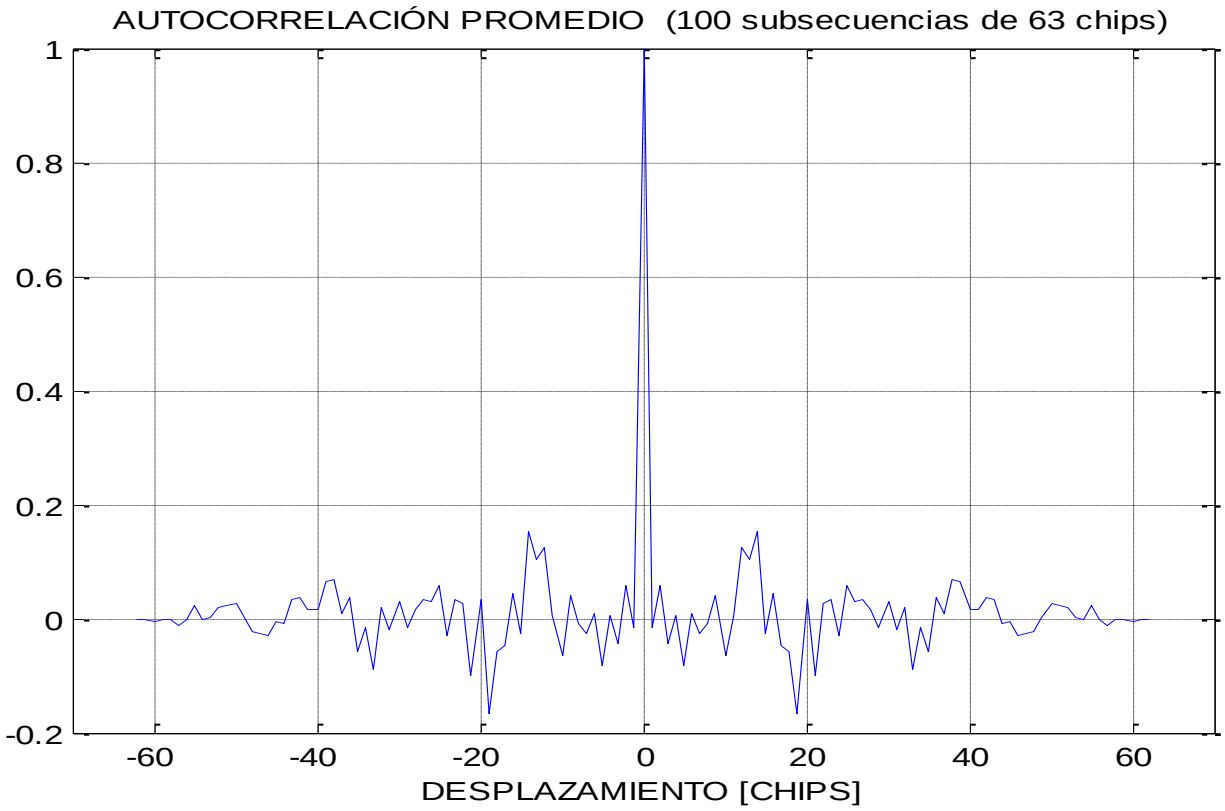
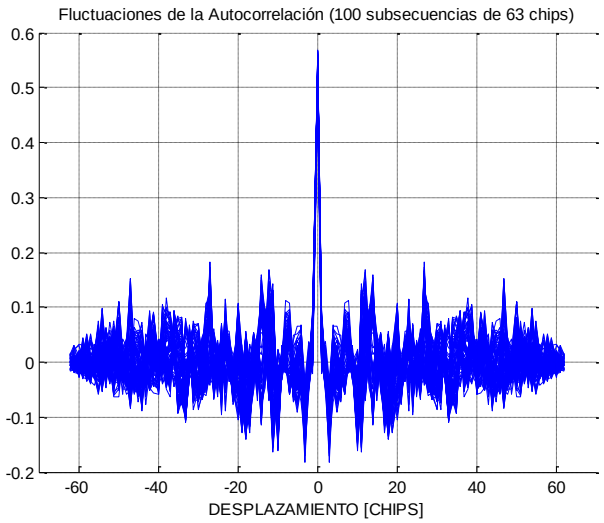
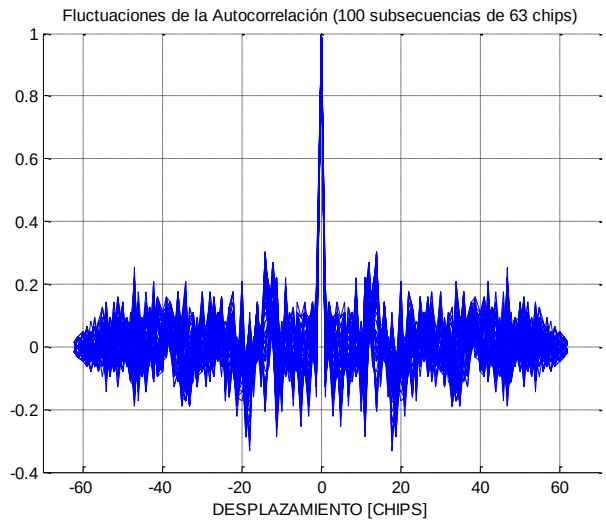


Figura 4-6. Ídem que la figura 4-3 para el caso de secuencia cuantificada a NRZ polar +/-1.

A fin de poder establecer una comparativa clara, a continuación, se muestran alineadas las gráficas de fluctuaciones y de promediado de la autocorrelación parcial de sendos casos (secuencia caótica original y cuatificada a niveles NRZ polar +/-1).



a) Secuencia caótica original.

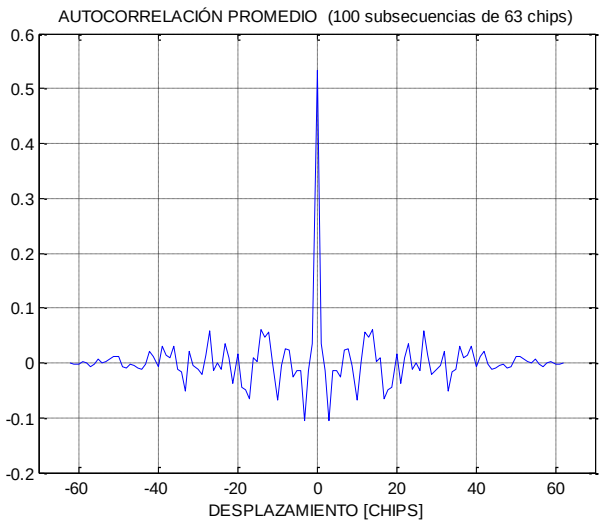


b) Secuencia cuantificada a NRZ polar +/-1.

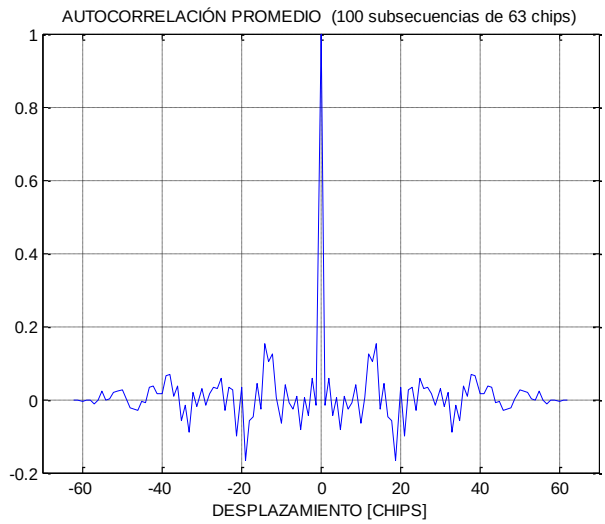
Figura 4-7. Comparativa de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de secuencias caóticas con y sin cuantificación a NRZ polar +/-1

De la comparativa de gráficas se desprende que los picos secundarios de la autocorrelación parcial resultan mayores en el caso de la secuencia cuantificada. No obstante, teniendo en cuenta que el máximo de la gráfica es también mayor para el caso cuantificado, en términos relativos, no se observa un empeoramiento de las propiedades de autocorrelación por el hecho de cuantificar de modo binario la secuencia caótica. Si cabe, se distinguen menos picos secundarios en el caso cuantificado.

A fin de dilucidar entre una posible mejora o empeoramiento por causa del proceso de cuantificación, a continuación se muestra la comparativa de gráficas de fluctuaciones promediadas. Lejos de arrojar un resultado concluyente, tomando la cota máxima inferior de cada gráfica, se comprueba que su amplitud normalizada (respecto del máximo de la gráfica correspondiente) resulta muy similar.



a) Secuencia caótica original.



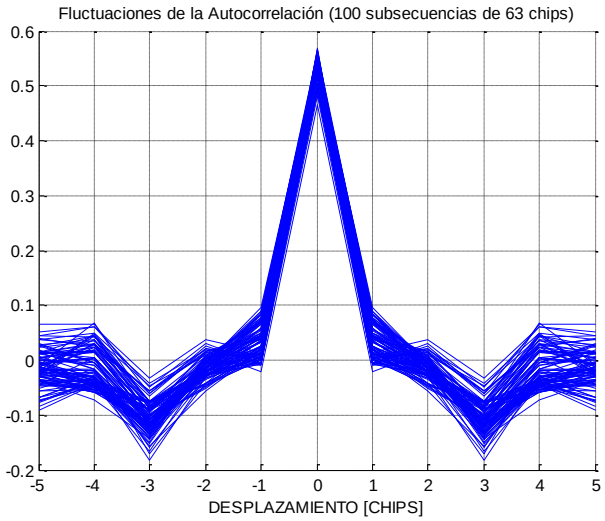
b) Secuencia cuantificada a NRZ polar +/-1.

Figura 4-8. Comparativa del promedio de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de secuencias caóticas con y sin cuantificación a NRZ polar +/-1

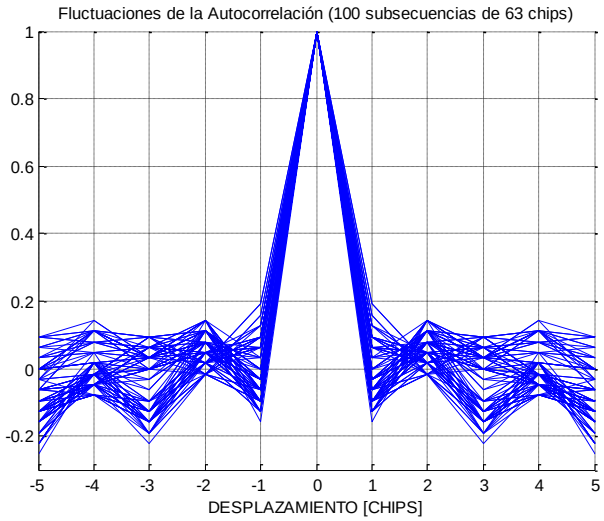
Puede observarse, de la comparativa entre gráficas de fluctuaciones y gráficas promediadas, que el máximo de la gráfica para el caso cuantificado se mantiene en 1 en ambos casos, mientras que, en el caso de la secuencia caótica original, éste disminuye en la gráfica promediada con respecto a la gráfica de fluctuaciones. Esto significa que el máximo de la autocorrelación parcial de secuencias caóticas sin cuantificar fluctúa (levemente) de una iteración a otra.

No obstante, este resultado resulta lógico considerando que el máximo de la autocorrelación parcial se corresponde con la potencia media de la secuencia. Dado que en cada iteración la subsecuencia es distinta, la potencia media de cada subsecuencia original resulta distinta, en tanto que, en el caso cuantificado, la potencia media de todas las subsecuencias es siempre la misma (V^2=1), ya que la amplitud de los chips es +/-1.

El efecto anterior se aprecia mejor en las gráficas de detalle siguientes, que muestran la zona central de la autocorrelación parcial, con desfases de 5 y 2 chips, respectivamente.

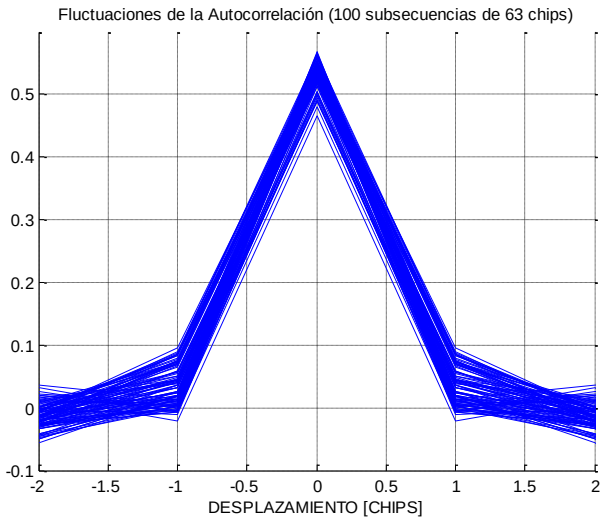


a) Secuencia caótica original.

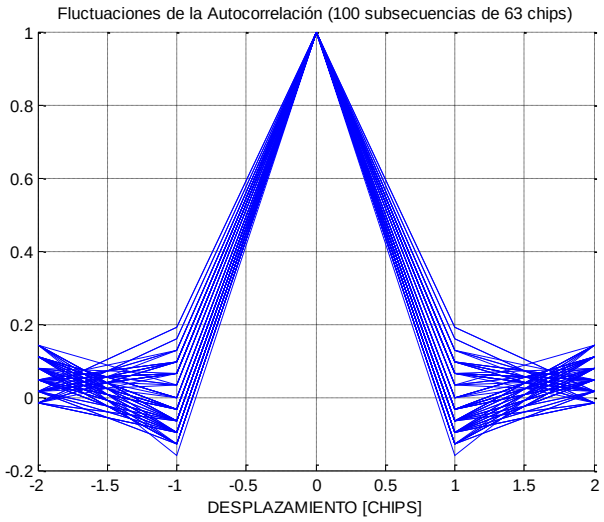


b) Secuencia cuantificada a NRZ polar +/-1.

Figura 4-9. Detalle de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial para desfases inferiores a 5 chips.



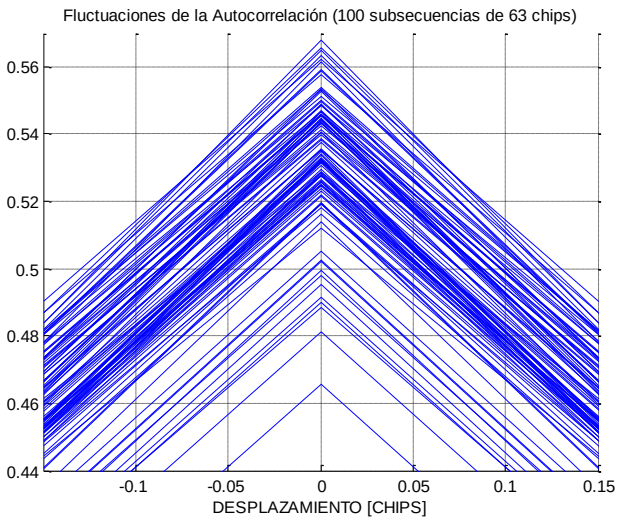
a) Secuencia caótica original.



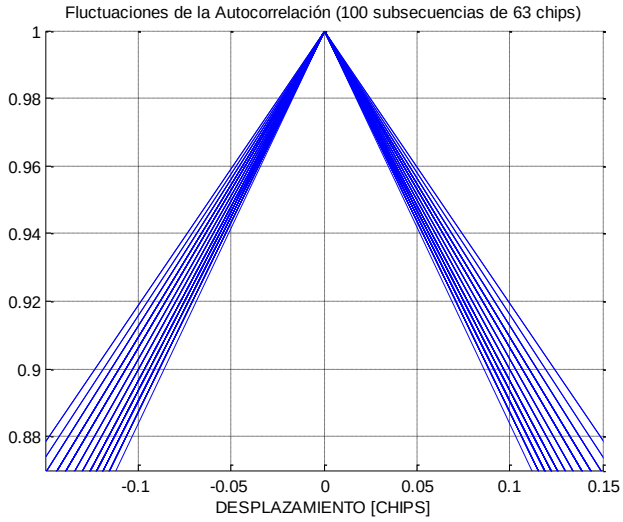
b) Secuencia cuantificada a NRZ polar +/-1.

Figura 4-10. Detalle de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial para desfases inferiores a 2 chips.

Puede observarse en las gráficas anteriores el diferente modo en que las diversas realizaciones de la autocorrelación parcial se aproximan al máximo de la función, en uno y otro caso. En el caso de la secuencia caótica original, los trazos se aproximan de forma paralela, en tanto que, en el caso de la secuencia cuantificada todos convergen en el valor máximo. Por tanto, en el caso de la secuencia original se producen fluctuaciones del valor máximo de la autocorrelación parcial. Esto mismo puede apreciarse, inequívocamente, en la comparativa siguiente, en la que se muestra un detalle del entorno del máximo de la función (obtenido para desfases inferiores a 0.15 chips).



a) Secuencia caótica original.



b) Secuencia cuantificada a NRZ polar +/-1.

Figura 4-11. Detalle de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial en el entorno del máximo de la función.

Como consecuencia del proceso de cuantificación binaria, cabría la posibilidad de que algunas subsecuencias, siendo diferentes en la versión original, acabasen siendo iguales en la versión cuantificada, si bien la probabilidad de que esto ocurriese se reduciría drásticamente conforme aumentase la longitud de las subsecuencias. En este sentido, nótese que en la gráfica de la derecha sólo se muestran doce trazos. Esto significa que varias de las autocorrelaciones de las 100 subsecuencias se solapan (es decir, que coinciden) en ese rango de desfases (+/- 0.15 chips). Cabe plantearse, por tanto, si el proceso de cuantificación binaria ha producido secuencias iguales.

En la gráfica inferior se muestra un detalle de la autocorrelación de las subsecuencias, para desfases en el entorno de 1 chip, en el que puede observarse cómo se desdoblan los trazos de algunas de las subsecuencias que se solapaban cerca del origen.

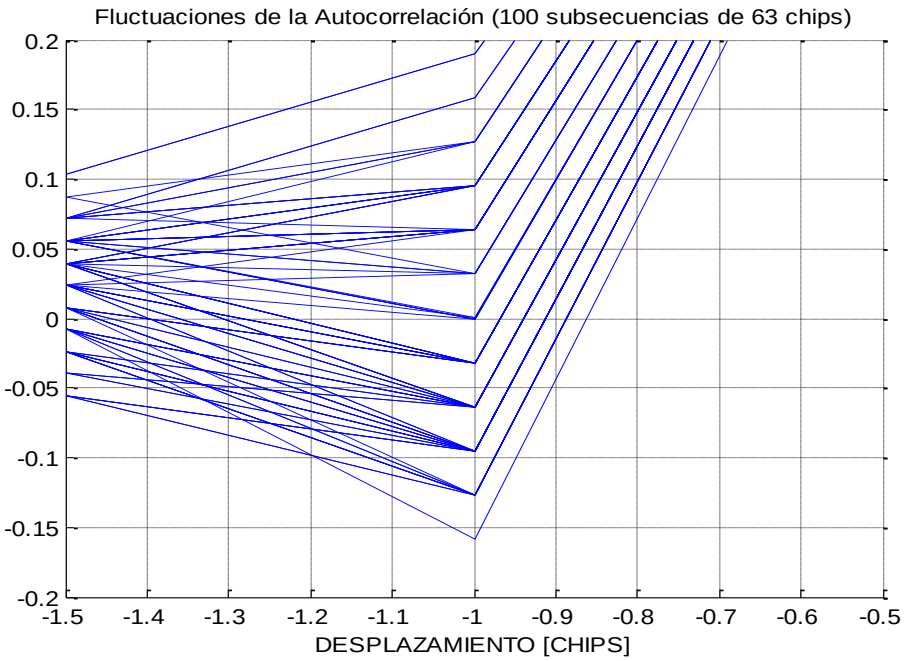


Figura 4-12. Detalle del desdoblamiento de trazos en la gráfica de fluctuaciones de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica de trabajo cuantificada a NRZ polar +/-1.

No obstante, ninguna de las observaciones realizadas, en multitud de desfases, ha permitido apreciar los 100 trazos diferenciados, existiendo un gran solape de valores de las distintas réplicas. En cualquier caso, experimentos basados en la correlación cruzada[8] han permitido determinar que las 100 subsecuencias cuantificadas son diferentes (y, por ende, también las originales). En definitiva, el proceso de cuatificación binaria de secuencias caóticas hace improbable que se produzcan subsecuencias iguales trabajando con longitudes mayores que la del ejemplo

Sin perjuicio de lo anterior, la probabilidad de que se generen subsecuencias que difieran en unos pocos símbolos será mayor que empleando la versión original de la secuencia caótica. En todo caso, según se comprobará más adelante, este hecho no se traducirá en un empeoramiento de la correlación cruzada.

Mediante los resultados de la tabla inferior, y algunos otros experimentos, se ha comprobado que el máximo de la autocorrelación de una subsecuencia cualesquiera coincide con la potencia media de dicha subsecuencia[9].

Secuencia caótica original		**Secuencia caótica cuantificada**	
Potencia media (primeros 63 chips)	**Máximo de la autocorrelación parcial**	**Potencia media (primeros 63 chips)**	**Máximo de la autocorrelación parcial**
0.5219	0.5219	1	1

Tabla 4-1. Comparativa de las estimaciones de potencia media de la secuencia en función de sus muestras temporales y de su autocorrelación parcial.

En la tabla siguiente se muestra la potencia media de la secuencia en un intervalo de tiempo mayor y el valor máximo del promedio de las autocorrelaciones de las cien subsecuencias, para el caso de la secuencia caótica original y el de su versión cuantificada binaria. El valor de potencia media de la tabla se ha obtenido de los 162 primeros chips, necesarios para generar las 100 subsecuencias de 63 chips desfasadas un chip.

Secuencia caótica original		**Secuencia caótica cuantificada**	
Potencia media (primeros 162 chips)	**Máximo de la autocorrelación promedio**	**Potencia media (primeros 162 chips)**	**Máximo de la autocorrelación promedio**
0.5075	0.5328	1	1

Tabla 4-2. Comparativa de las estimaciones de potencia media de la secuencia en función de sus muestras temporales y de su autocorrelación promedio con subsecuencias desfasadas 1 chip.

[8] Consistentes en la construcción de una matriz cuadrada con el valor máximo de la correlación cruzada de todas las posibles combinaciones de parejas de subsecuencias (diferenciando el orden de las subsecuencias en cada pareja). Si todas las subsecuencias son distintas, sólo los valores de la diagonal principal tomarán el valor 1 (correspondiente al máximo de la autocorrelación de la subsecuencia). En caso contrario, podrá concluirse que hay subsecuencias iguales.

[9] Es decir, con el valor cuadrático medio de los chips (o símbolos) que componen la subsecuencia. Se trata, por tanto, de la potencia media en un intervalo de tiempo (el de duración de la subsecuencia). Asimilar esta potencia a la secuencia (indefinida) conlleva presuponer que la secuencia se mantiene invariante en el tiempo, es decir, que considerando una porción de la misma, de tamaño un número entero de veces la longitud de la subsecuencia, la potencia media de la secuencia en ese intervalo es la misma que la potencia media de la subsecuencia.

A diferencia de la situación ilustrada en la tabla 4.1, puede comprobarsese en la tabla 4.2 que, en el caso de la secuencia caótica original, el máximo de la autocorrelación promedio de las subsecuencias difiere sensiblemente de la potencia media de la secuencia determinada por sus primeras decenas de chips.

Este hecho puede explicarse considerando que, conforme al algoritmo de "ventana de correlación deslizante" empleado, los chips de los extremos de la subsecuencia de 162 chips tienen muy poco peso en el cálculo la autocorrelación promedio, a diferencia de los chips centrales, que ponderan mucho. También cabe pensar que el modelado de la autocorrelación de la secuencia (indefinida), mediante el promediado de las autocorrelaciones de numerosas subsecuencias de igual longitud, no resulta ser una buena aproximación, en tanto que el cálculo de la potencia media a partir de los 162 primeros chips sí puede ser suficientemente aproximado.

A fin de dilucidar sobre la cuestión anterior, a continuación se van a tomar 100 bloques consecutivos de chips de la secuencia caótica original, de 63 chips cada uno. Es decir, en la simulación siguiente no se va a ir deslizando la "ventana de correlación" de chip en chip en cada iteración, sino de 63 chips en 63 chips o, lo que es lo mismo, desplazándola el tamaño de la subsecuencia en cada iteración. En la gráfica siguiente se muestra superpuesta la autocorrelación de las 100 primeras subsecuencias (partiendo del estado inicial x_0=0.3):

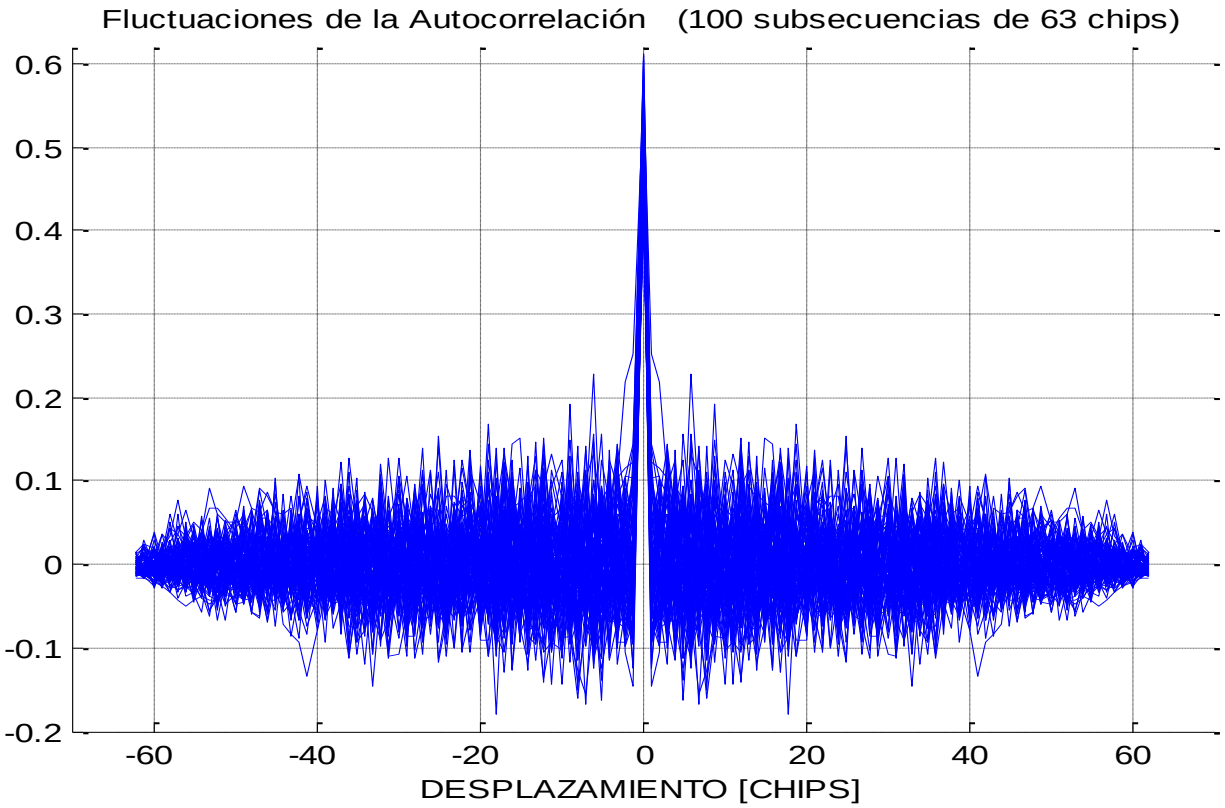


Figura 4-13. Ejemplo de fluctuaciones de la autocorrelación parcial de secuencias caóticas tomando subsecuencias consecutivas no solapadas.

En la gráfica superior puede apreciarse que hay mucha fluctuación en la proyección consecutiva de la autocorrelación de las distintas subsecuencias, es decir, que las gráficas individuales presentan diferencias significativas en la posición de sus picos secundarios. Por otra parte, aunque para la mayoría de desplazamientos la autocorrelación resulta relativamente baja, se distinguen algunos picos secundarios importantes en la proyección de los distintos trazos.

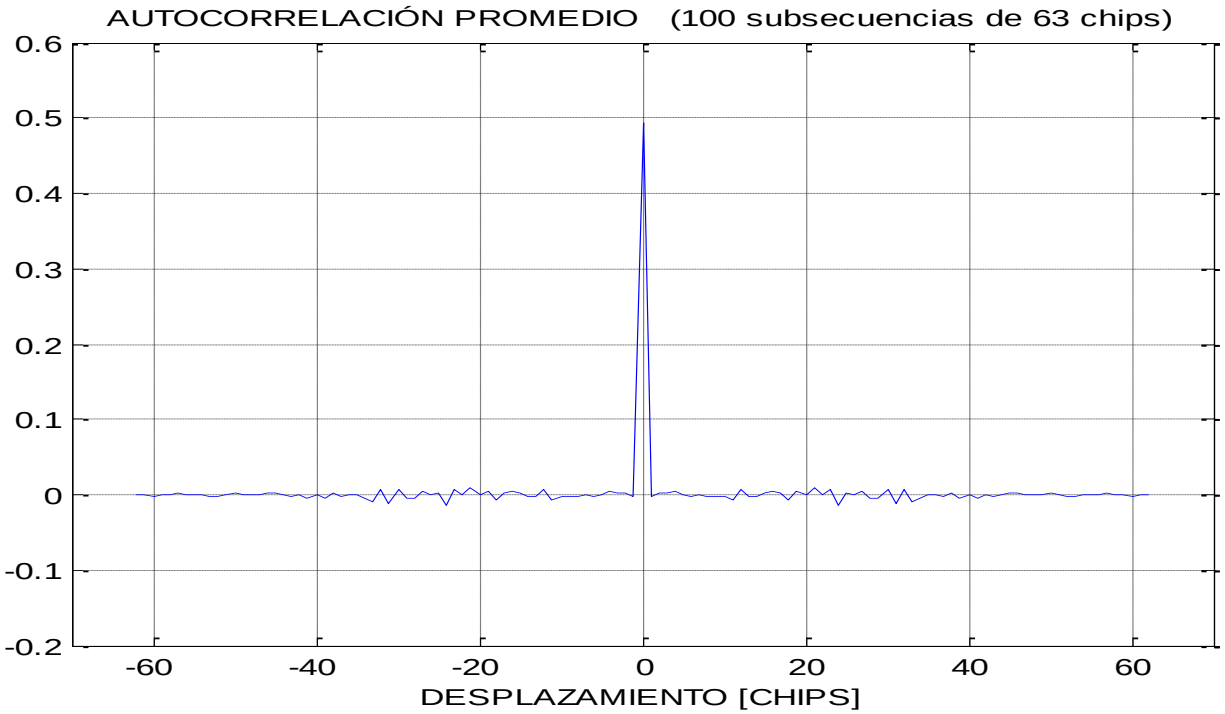


Figura 4-14. Promedio de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica de trabajo tomando subsecuencias consecutivas no solapadas.

A pesar de lo anterior, se comprueba que en la gráfica de la autocorrelación promedio (de los cien trazos de autocorrelaciones parciales), prácticamente, desaparecen los picos u oscilaciones de la función en todo el rango de desplazamientos. En la gráfica siguiente se muestra un detalle de la función para desplazamientos en las inmediaciones del origen, apreciándose claramente la formación del "pedestal de autocorrelación" en torno al valor 0 del eje de ordenadas.

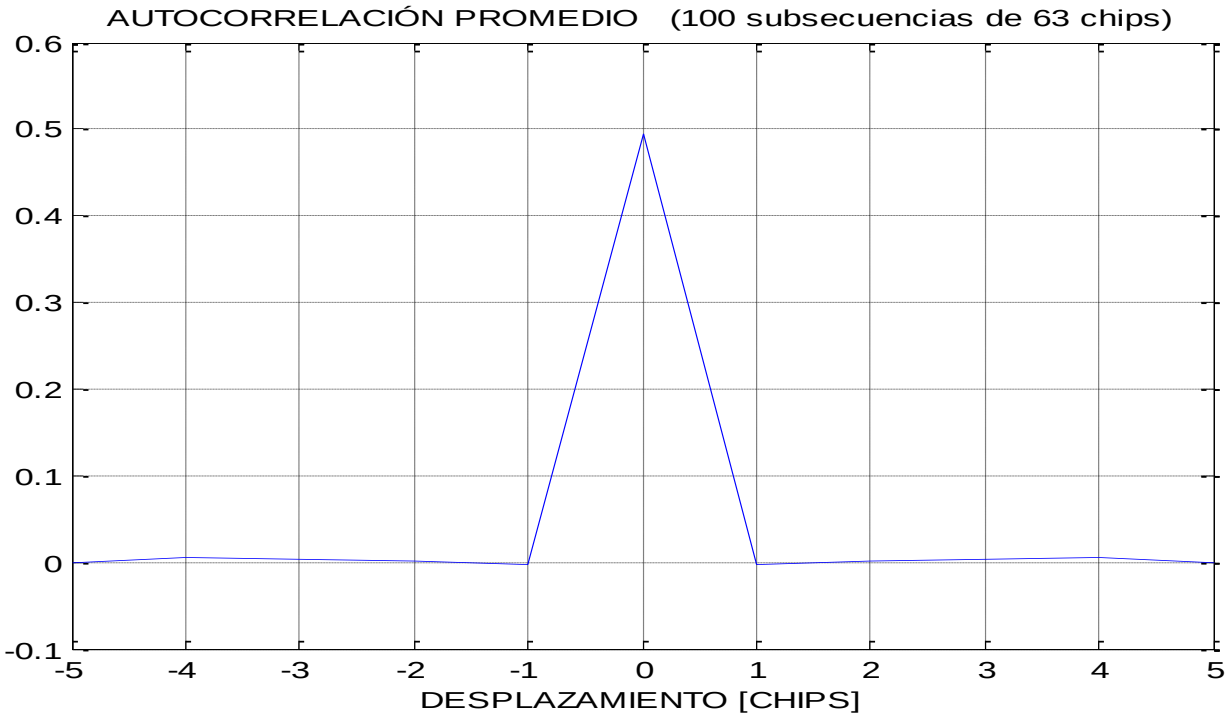
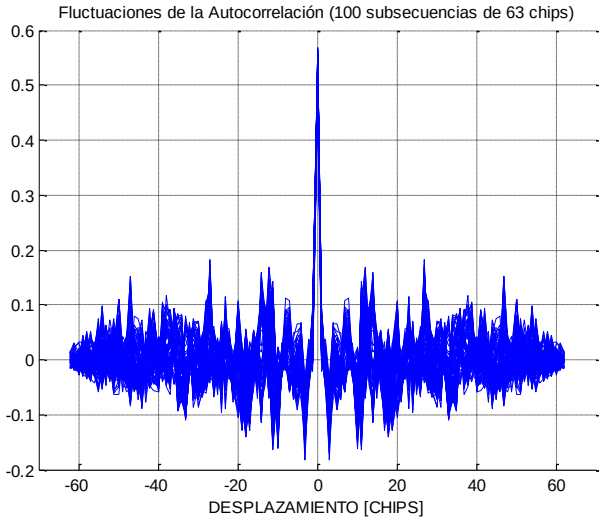


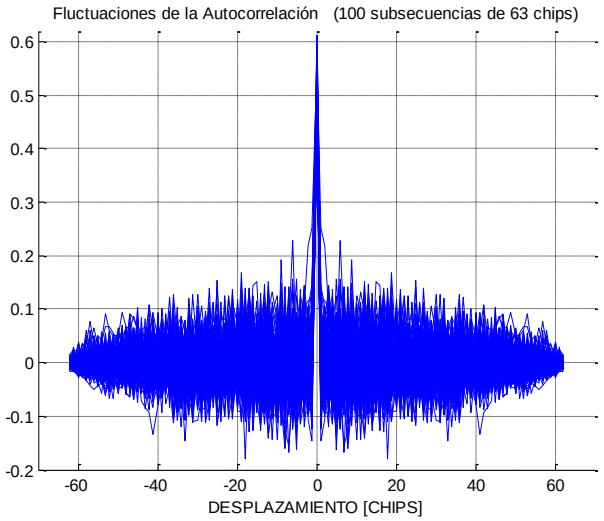
Figura 4-15. Detalle de la figura 4-14 para desfases inferiores a 5 chips.

En definitiva, a la luz de las gráficas anteriores (y la corroboración de otras mostradas más adelante, incluido el caso cuantificado), se concluye que los picos secundarios de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica desaparecen (es decir, se cancelan o compensan) en la gráfica de la autocorrelación promedio.

A fin de comprobar que esto no ocurría empleando subsecuencias sucesivas desfasadas un chip, a continuación se muestran alineadas las gráficas resultantes con una y otra técnica.

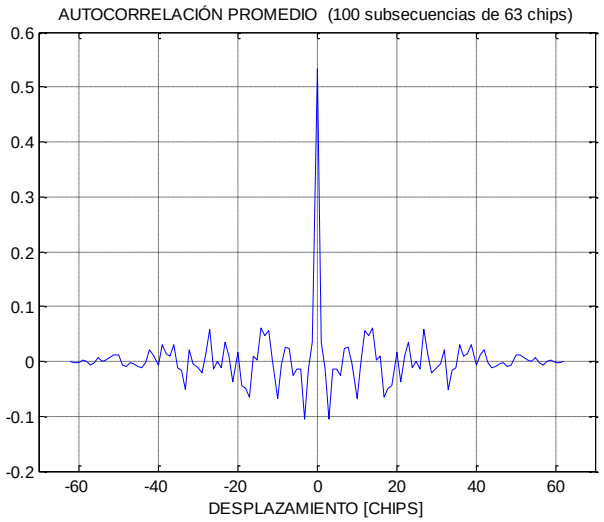


a) Empleando subsecuencias sucesivas desfasadas un chip.

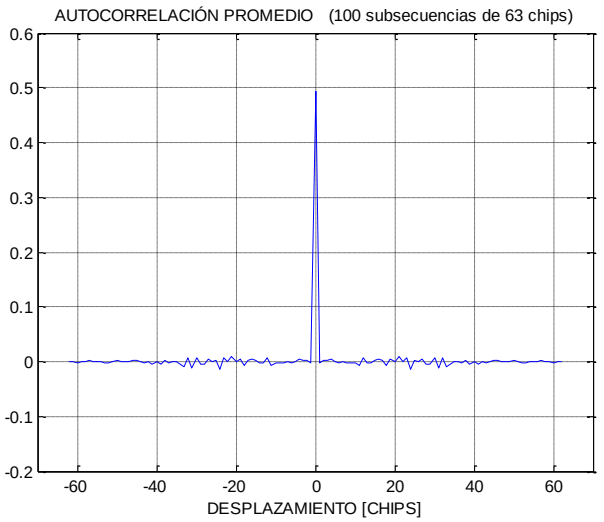


b) Empleando subsecuencias consecutivas no solapadas.

Figura 4-16. Comparativa de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica de trabajo en función del desplazamiento de la ventana de correlación.



a) Empleando subsecuencias sucesivas desfasadas un chip.

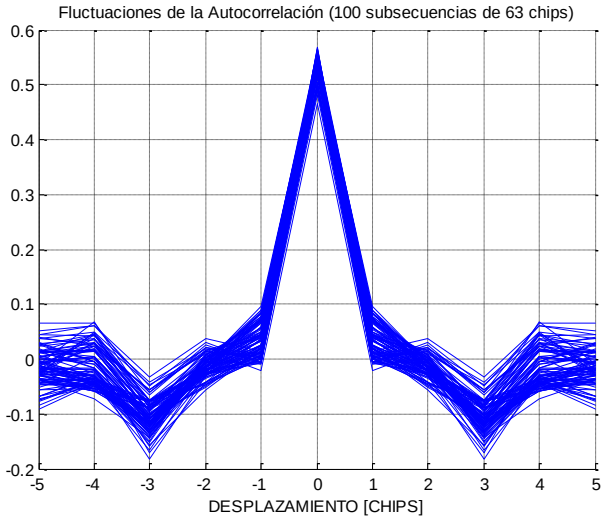


b) Empleando subsecuencias consecutivas no solapadas.

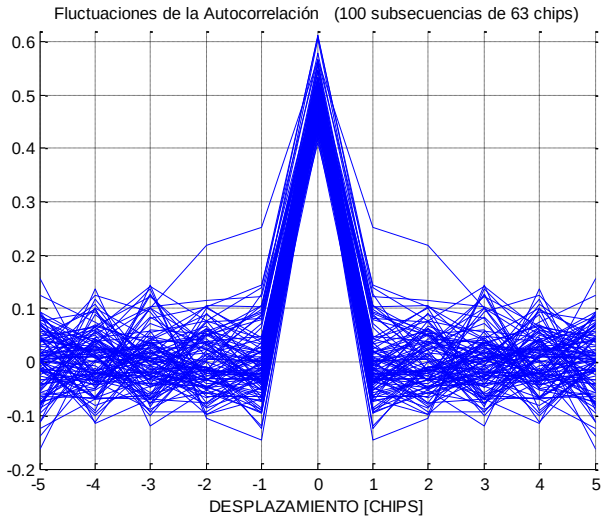
Figura 4-17. Comparativa del promedio de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica de trabajo en función del desplazamiento de la ventana de correlación.

Según ilustran las figuras anteriores, contrariamente al mecanismo de desplazamiento chip a chip de la ventana de correlación, tomando subsecuencias no solapadas de chips consecutivos de la secuencia caótica, si bien resulta una mayor fluctuación de la autocorrelación parcial, en promedio, el "suelo" de la función resulta prácticamente plano.

A fin de facilitar la comprensión del resultado, con uno y otro mecanismo, del promediado de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial, en las gráficas siguientes se analiza cómo se produce la superposición de los trazos de las distintas réplicas (es decir, de la autocorrelación de las distintas subsecuencias) en las inmediaciones del origen de desplazamientos.

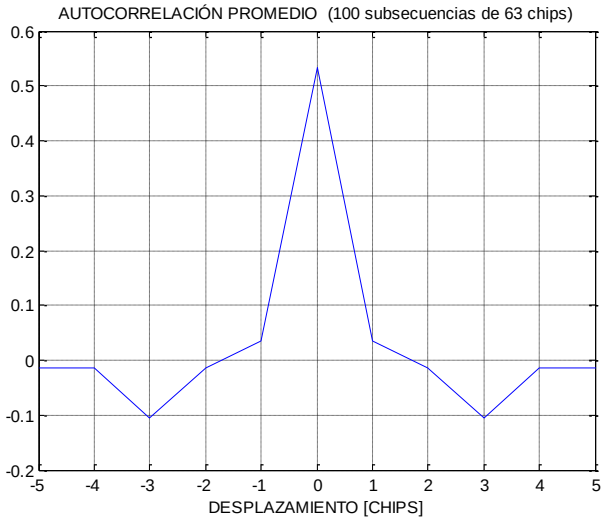


a) Empleando subsecuencias sucesivas desfasadas un chip.

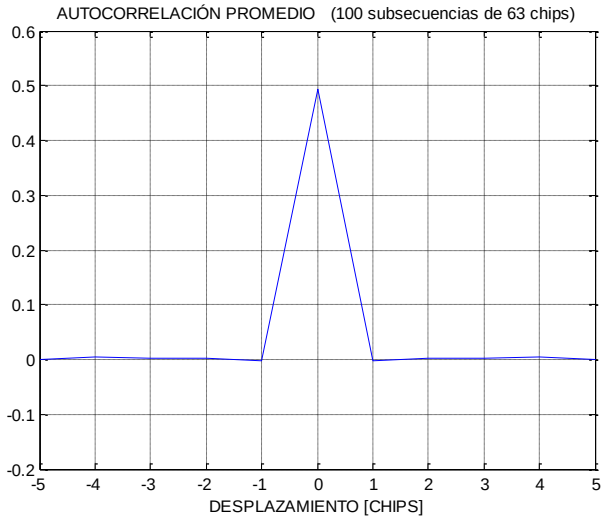


b) Empleando subsecuencias consecutivas no solapadas.

Figura 4-18. Detalle de la comparativa de la figura 4-16 para desfases inferiores a 5 chips.



a) Empleando subsecuencias sucesivas desfasadas un chip.



b) Empleando subsecuencias consecutivas no solapadas.

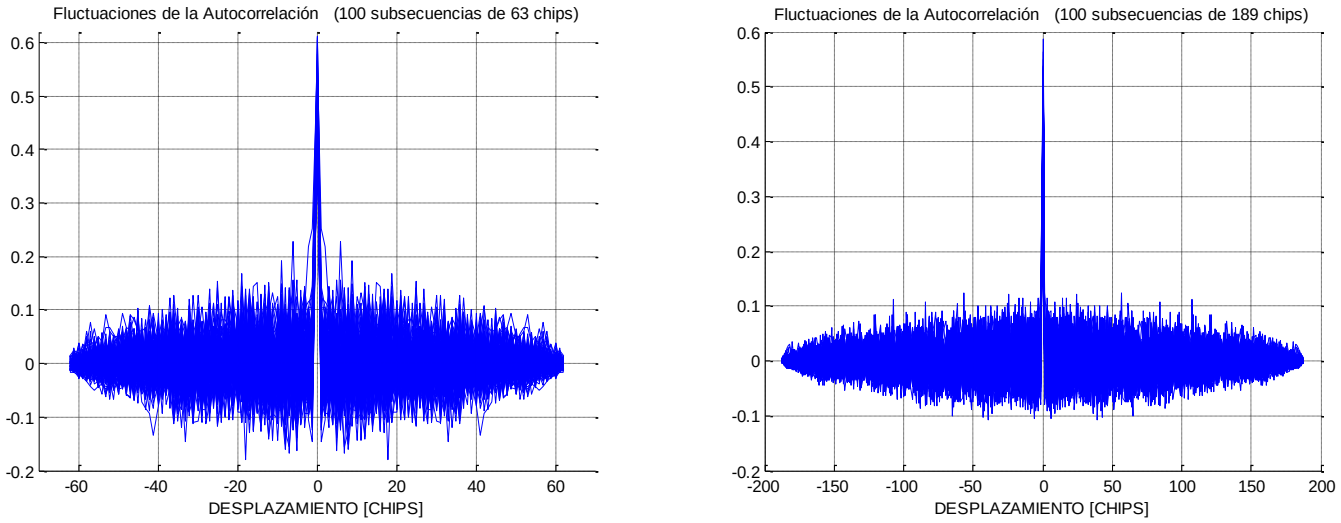
Figura 4-19. Detalle de la comparativa de la figura 4-17 para desfases inferiores a 5 chips.

Una vez concluida la cuestión del mecanismo de promediado de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica, de aquí en adelante se mantendrá la filosofía de las subsecuencias consecutivas no solapadas[10], salvo que se indique lo contrario.

En el experimento siguiente se van a seguir realizando 100 iteraciones de cálculo de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica, si bien, empleando un tamaño de subsecuencia de mayor longitud que en el experimento anterior. En esta ocasión, de 189 chips, es decir, de tres bloques de 63 chips. Dicho en otras palabras, se va a repetir la simulación considerando tres bloques de 63 chips en la ventana de correlación, en lugar de uno sólo. Por tanto, en este experimento se trabaja también con la secuencia caótica original.

El hecho de considerar bloques de 63 chips responde a una doble finalidad. Por una parte, mantener la continuidad y la coherencia de la simulación con los experimentos anteriores. Por otra, la perspectiva de poder establecer una comparativa con la simulación de una secuencia PN de periodo dicha longitud.

En las figuras siguientes se muestra la comparativa de resultados, relativos a la autocorrelación, en ambos escenarios: subsecuencias de 63 chips y subsecuencias de 63x3 chips (es decir, 189 chips).



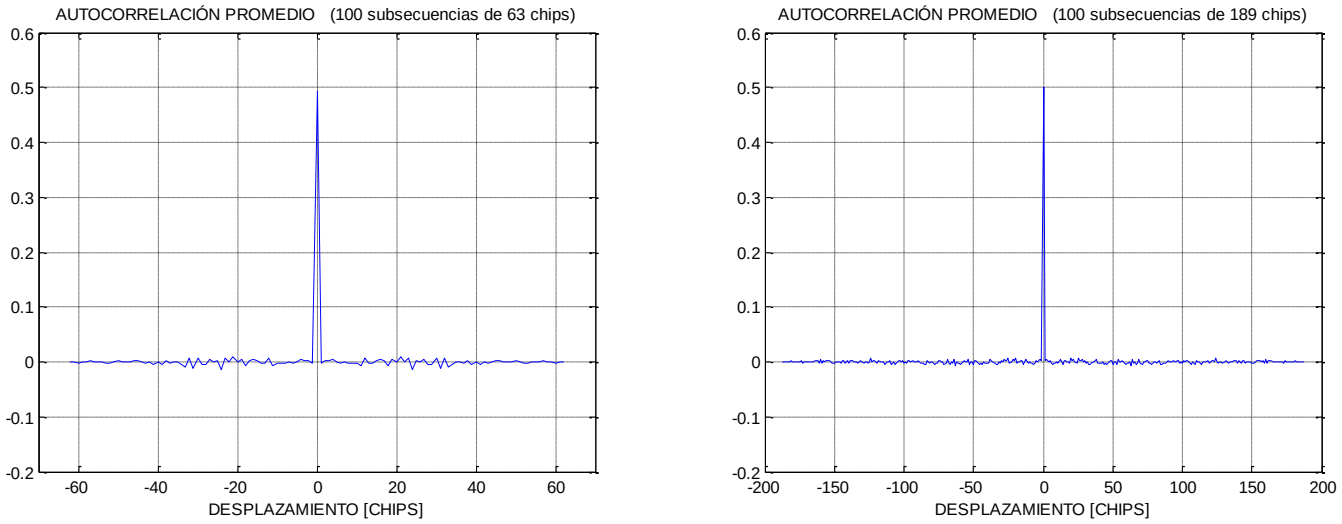
a) Empleando subsecuencias de 63 chips.

b) Empleando subsecuencias de 189 chips.

Figura 4-20. Comparativa de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica de trabajo en función del tamaño de la ventana de correlacion.

En la figura superior puede apreciarse cómo las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica disminuyen en el caso de las subsecuencias de 189 chips.

[10] Entiéndase el término 'subsecuencias consecutivas' referido a que el conjunto de bits que integran todas ellas son consecutivos. Es decir, que no sólo los bits de cada subsecuencia son consecutivos, sino que el último de bit de cada una precede al primer bit de la siguiente. No obstante, dadas las propiedades de la secuencia caótica de trabajo, mientras las subsecuencias no solapen (es decir, no compartan bits) resulta irrelevante que se encuentren inmediatamente consecutivas dentro de la secuencia.



a) Empleando subsecuencias de 63 chips.

b) Empleando subsecuencias de 189 chips.

Figura 4-21. Comparativa del promedio de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial de la secuencia caótica de trabajo en función del tamaño de la ventana de correlacion.

En cuanto a la autocorrelación promedio, puede apreciarse también cierta mejora en el caso de las cien subsecuencias de 189 chips, mostrando la gráfica un suelo de autocorrelación (para desplazamientos mayores de un chip) aún más plano que en el caso de las cien subsecuencias de 63 chips.

En la tabla siguiente se muestra el valor de potencia media, determinado en ambos escenarios, tanto a partir del total de muestras temporales requeridas en cada escenario, como de la respectiva autocorrelación promedio.

100 subsecuencias de 63 chips		**100 subsecuencias de (3x63) chips**	
Potencia media (6300 chips)	**Máximo de la autocorrelación promedio**	**Potencia media (18900 chips)**	**Máximo de la autocorrelación promedio**
0.49449325735297	0.49449325735297	0.49963004596918	0.49963004596918

Tabla 4-3. Comparativa de las estimaciones de potencia media de la secuencia considerando dos tamaños distintos de subsecuencias consecutivas no solapadas para la autocorrelación promedio.

A diferencia de lo que sucedía en el caso de la tabla 4.2, en donde la autocorrelación promedio se determinaba empleando una sucesión de 100 subsecuencias de 63 chips desfasadas chip a chip, en esta ocasión, el máximo de la función promedio sí que coincide con el valor de potencia media de los 6300 chips.

Por otra parte, se ha visto que, aunque empleando subsecuencias consecutivas no solapadas resulta una mayor fluctuación de la autocorrelación parcial, en promedio, el "suelo" de la función resulta prácticamente plano. Este hecho, unido a la coincidencia del máximo de la autocorrelación promedio con la potencia media de las muestras temporales, hace que este segundo mecanismo sea una mejor simulación, en el sentido de que aproxima mejor la autocorrelación de la secuencia caótica indefinida, según se corroborará a continuacion.

En todo caso, el mecanismo anterior ha permitido comprobar que, simplemente variando en un chip la subsecuencia (la misma que la precedente, pero desplazada un chip), la autocorrelación parcial fluctúa, es decir, varía, si bien difiere poco de una iteración a otra.

Volviendo al experimento en cuestión (100 subsecuencias de 189 chips), nótese que se toman tres veces más chips que en el anterior. Como consecuencia de ello, la potencia media se aproxima más al valor teórico, que se desprende que debe ser 0.5, la misma que la de una señal sinusoidal de amplitud 1.

Para concluir este estudio de la autocorrelación de la secuencia caótica, cabe plantearse si la secuencia de trabajo es o no periódica, es decir, si partiendo de un determinado estado inicial x_0 se puede llegar o no al mismo estado.

Es seguro que la secuencia no puede volverse periódica a partir de un determinado instante de tiempo, ya que la ecuación de estado que la determina se comporta igual avanzando o retrocediendo en el tiempo. En definitiva, la secuencia es invariante en el tiempo. Sin embargo, cabe plantearse si puede tener un periodo tan largo que no haya sido observado.

Una forma de determinar si la secuencia es periódica es comprobando si aparecen picos elevados en la autocorrelación parcial, empleando una subsecuencia de gran longitud (con el ánimo de que pudiera contener un periodo completo de la secuencia y, al menos, parte de otro).

A fin de dilucidar la cuestión, se realizó una simulación empleando una subsecuencia de 756.000 chips, obteniéndose la autocorrelación parcial mostrada en la siguiente gráfica.

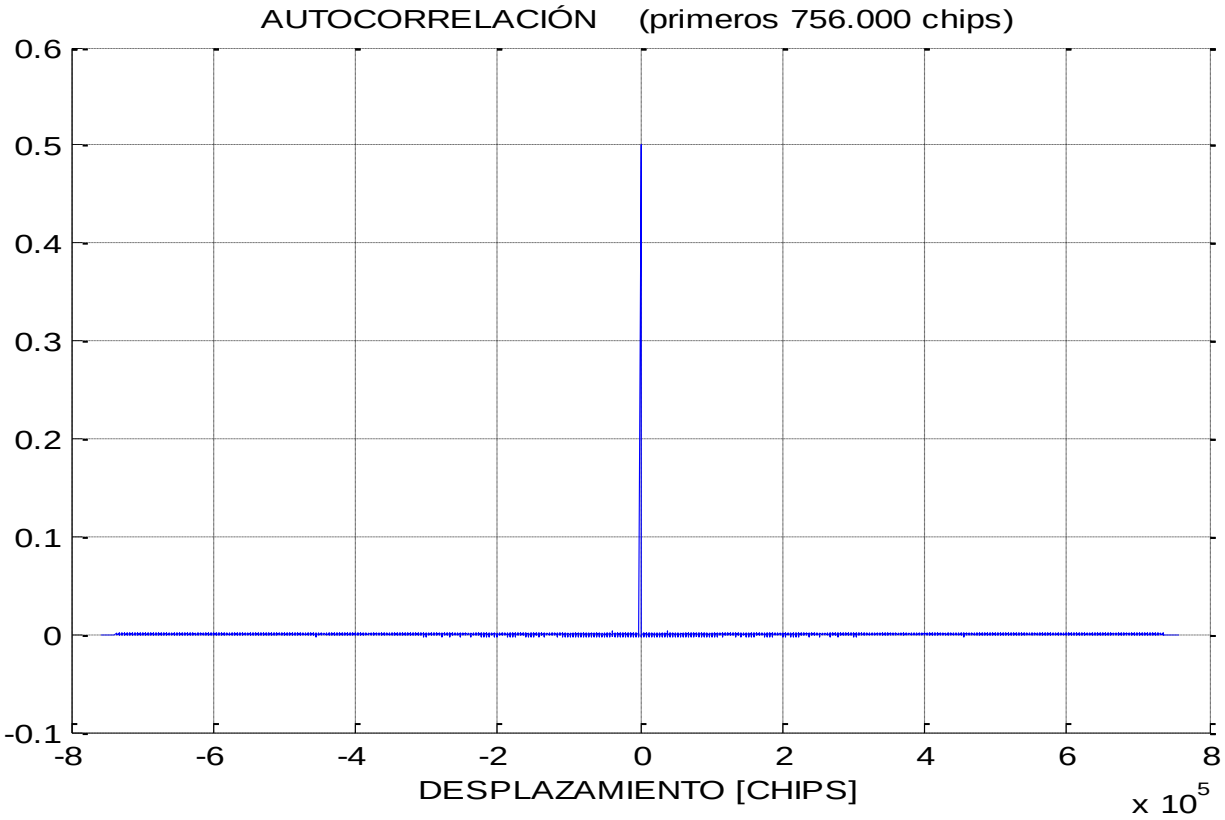


Figura 4-22. Autocorrelación parcial de la secuencia caótica de trabajo empleando una longitud extraordinarimente larga.

Esta gráfica no muestra evidencia alguna de que la secuencia sea periódica. Aunque no resulta concluyente para descartar que sea periódica, de serlo, su periodo sería extraordinariamente largo, como mínimo, de ese orden de longitud.

Sin embargo, considerando la serie matemática temporal de la ecuación de estados (esbozada en el capítulo 3), que define la progresión de las oscilaciones, este experimento sugiere que la secuencia originada a partir del estado inicial x_0 =0.3 no converge nunca a un valor previo, es decir, que es aperiódica.

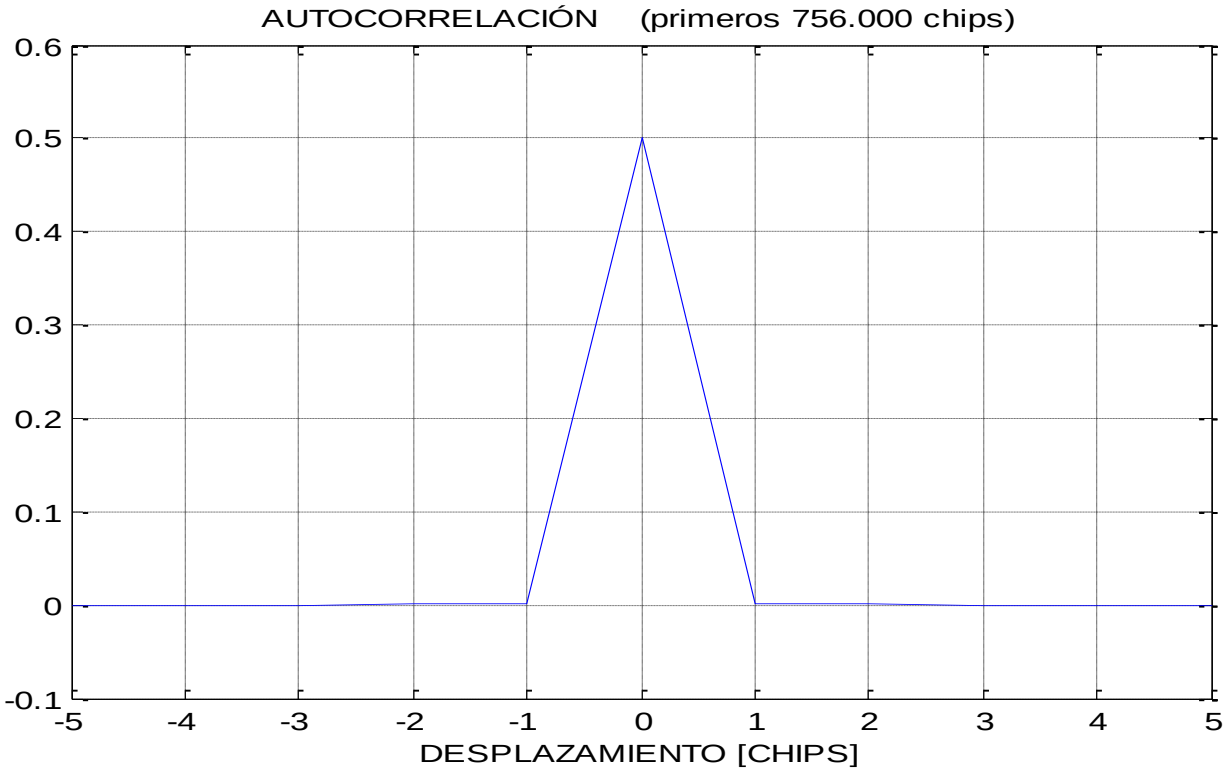


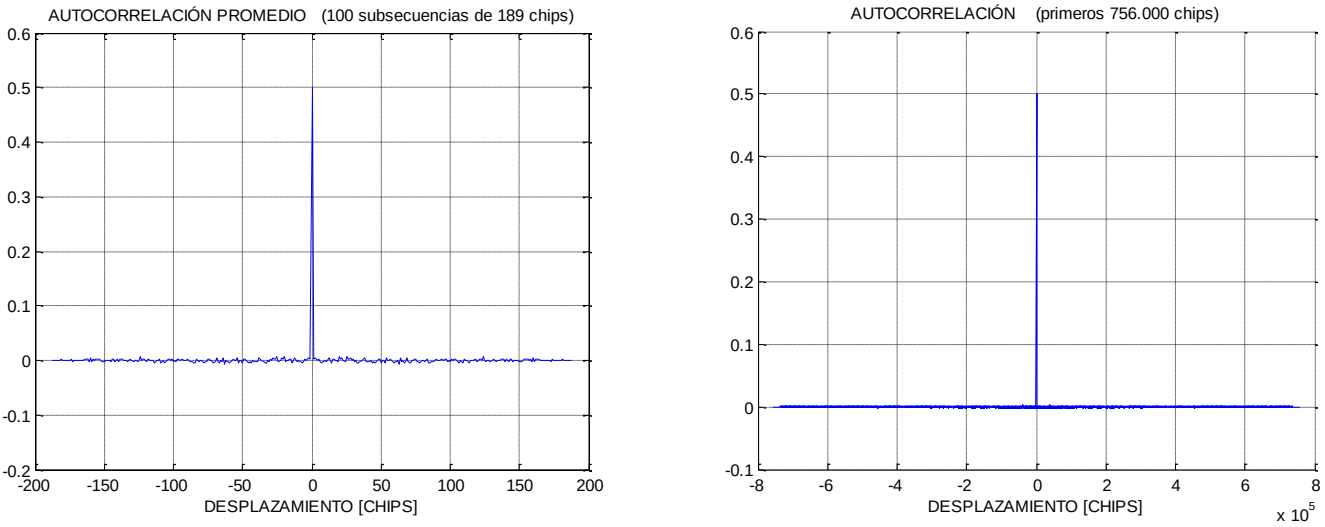
Figura 4-23. Detalle de la figura 4-22 para desfases inferiores a 5 chips.

En la tabla siguiente se muestra el valor de potencia media de la secuencia caótica que resulta de la subsecuencia considerada (756.000 chips), tanto a partir de sus muestras temporales, como de la autocorrelación parcial. Puede comprobarse que difiere muy poco del obtenido en la tabla 4.3, confirmándose un valor de potencia media de la secuencia caótica indefinida de 0.5.

Potencia media (primeros 756,000 chips)	Máximo de la autocorrelación parcial
0.50039922567592	0.50039922567589

Tabla 4-4. Comparativa de las estimaciones de potencia media de la secuencia empleando una subsecuencia extraordinariamente larga.

Más allá de las consideraciones en cuanto a periodicidad de la secuencia, esta última simulación ha permitido corroborar que el mecanismo de promediado de la autocorrelación parcial empleando subsecuencias consecutivas no solapadas constituye una muy buena aproximación a la autocorrelación de la secuencia caótica indefinida, según ilustra la comparativa de la figura siguiente.



a) Mecanismo de promediado (subsecuencias pequeñas). **b) Autocorrelación parcial (subsecuencia muy larga).**

Figura 4-24. Comparativa de estimaciones de la función de autocorrelación de la secuencia caótica indefinida.

Nótese que en la simulación de la izquierda se han empleado sólo 18.900 chips, mientras que en la de la derecha se han empleado 756.000 chips, proporcionando ambas simulaciones gráficas y valores de potencia muy similares.

Lógicamente, atendiendo al eje de abscisas, en la gráfica de la izquierda sólo aparece representada una sección de la función mostrada por la gráfica de la derecha. En concreto, la zona central. En todo caso, en este tipo de secuencias, aperiódicas o de periodicidad indeterminada, se asumiría prolongado indefinidamente, a izquierda y derecha, el suelo de ruido, sobre la base de la invarianza de la señal.

4.1.3 Caracterización de la correlación cruzada.

En este apartado se pretende estudiar las propiedades de correlación cruzada de la secuencia producida por el sistema caótico de trabajo (figura 3.1). Para el análisis se tomarán las secuencias generadas a partir de los estados iniciales habituales: x_{01}=0.3 y x_{02}=0.3+10^{-5}. Considerando una subsecuencia de 63 chips de cada una, resulta la siguiente gráfica, en el caso de la secuencia caótica original:

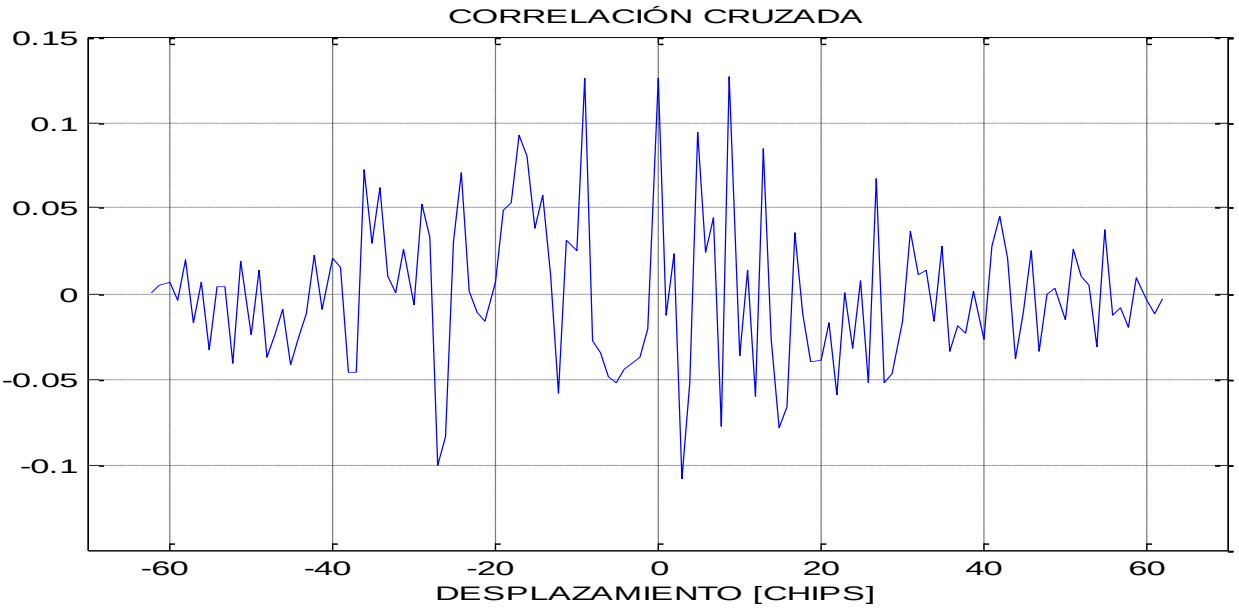


Figura 4-25. Correlación de subsecuencias de 63 chips de la secuencia caótica óriginal.

A fin de ilustrar la magnitud de las oscilaciones observadas, en las gráficas siguientes se muestra la correlación de la pareja de subsecuencias en la misma escala que la autocorrelación de la secuencia caótica indefinida.

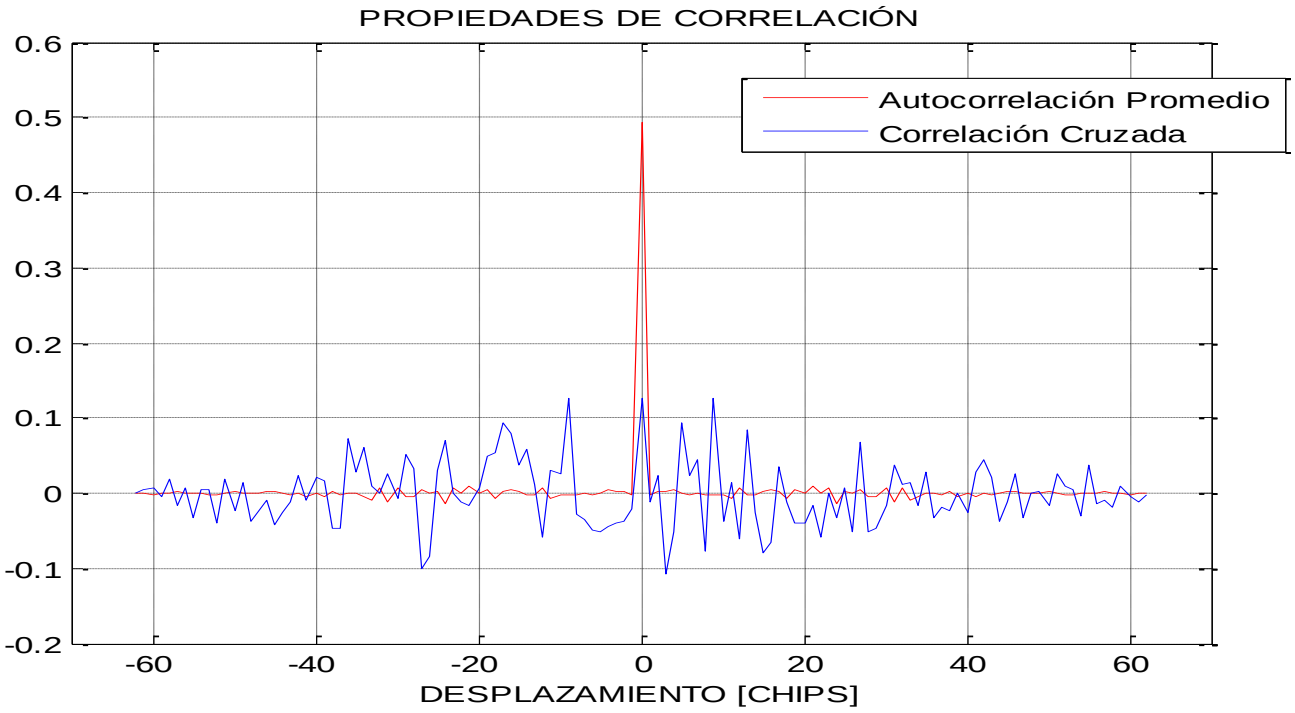


Figura 4-26. Propiedades de correlación de la secuencia caótica original empleando subsecuencias de 63 chips.

Aunque se observa, en general, un nivel relativamente bajo de correlación cruzada, la gráfica muestra algunos picos significativos, en absoluto despreciables en entornos de acceso múltiple al medio. Para mayor claridad, se muestra a continuación un detalle de la zona central de la gráfica, considerando los desplazamientos inferiores a 30 chips.

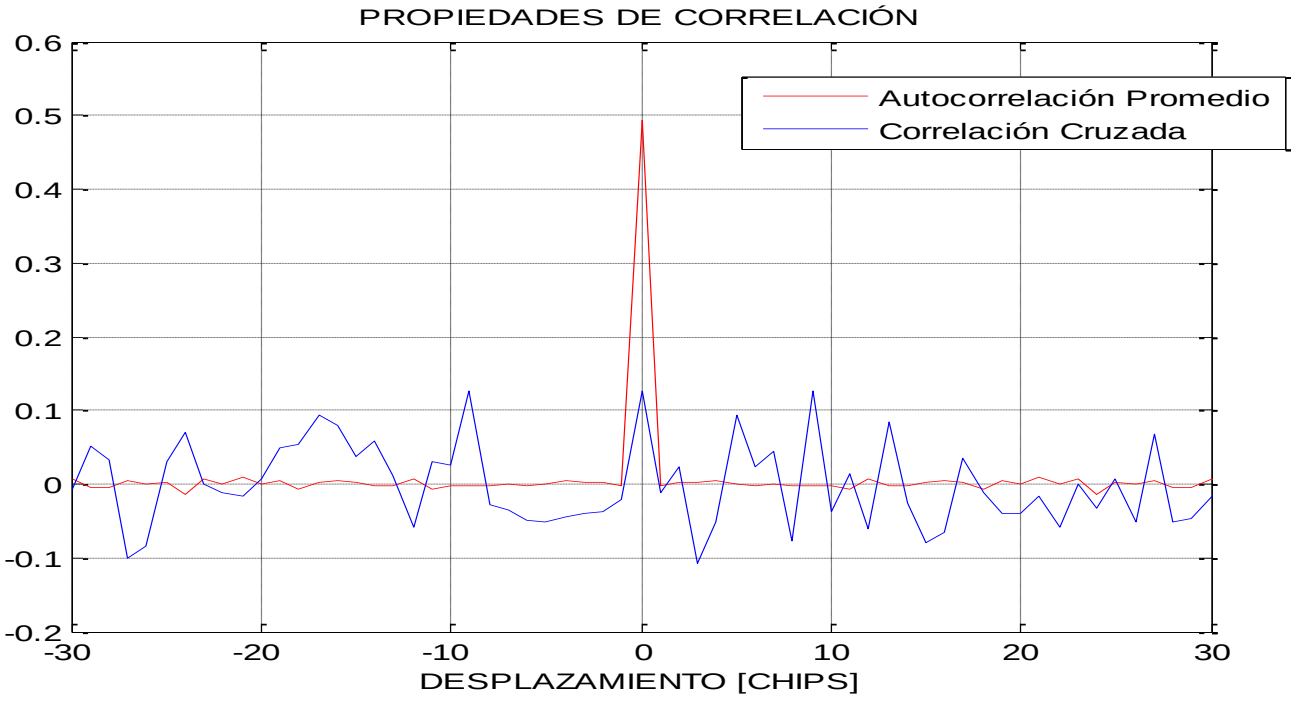


Figura 4-27. Detalle de la figura 4-26 para desplazamientos inferiores a 30 chips.

A la luz de esta gráfica, se comprueba que los picos de correlación cruzada no rebasan el 24% del valor máximo de la autocorrelación.

En las figuras siguientes se muestran las gráficas resultantes de la misma simulación, pero empleando ahora la versión binaria de las subsecuencias, es decir, habiendo sido cuantificada la secuencia caótica original a niveles NRZ polar +/-1.

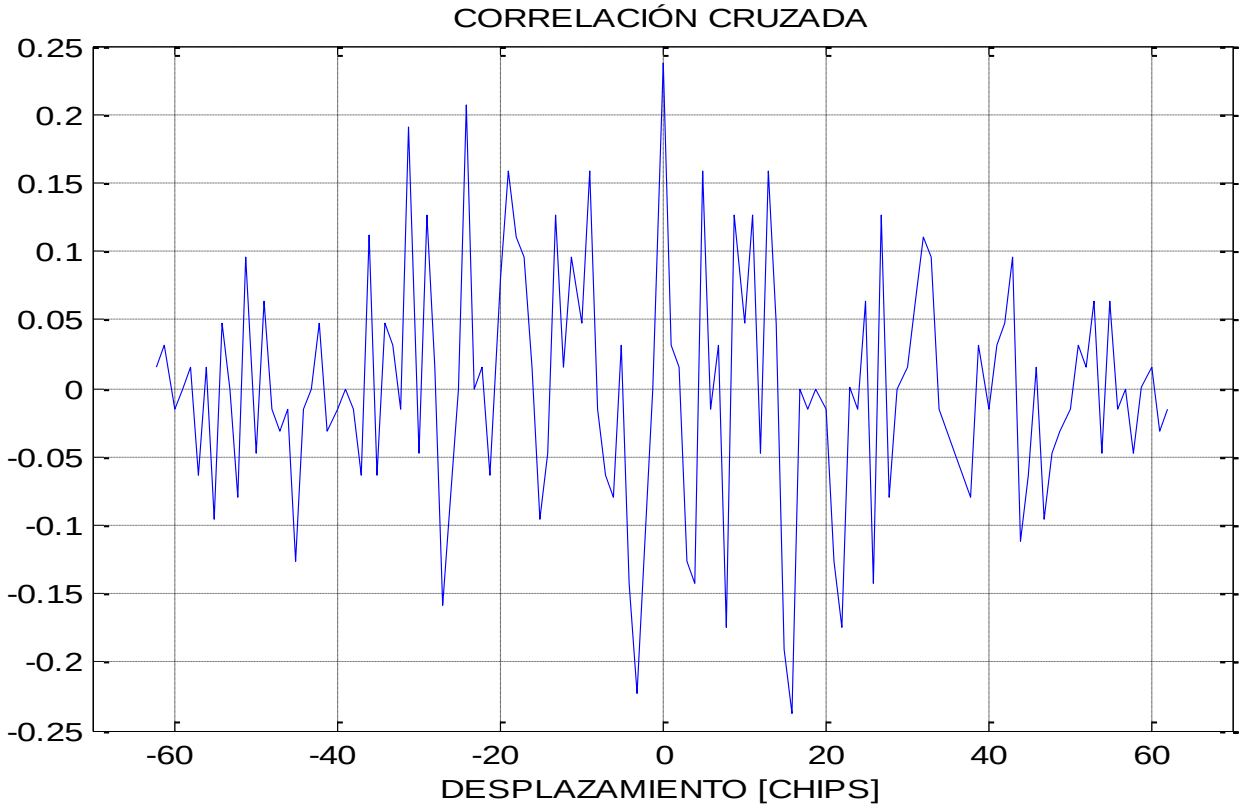


Figura 4-28. Correlación de subsecuencias de 63 chips de la secuencia caótica binaria.

A la vista de la escala del eje de ordenadas, se comprueba que la amplitud de los picos resulta mayor que en el caso de la secuencia caótica original. No obstante, dado que la potencia media de la señal cuantificada es el doble que la de la señal original, resulta lógico que las oscilaciones de la correlación tengan también mayor amplitud en el caso cuantificado.

Por esa razón, a fin de ilustrar claramente la magnitud de las oscilaciones observadas, en las gráficas siguientes se muestra la correlación de la pareja de subsecuencias en la misma escala que la autocorrelación de la secuencia caótica indefinida binaria.

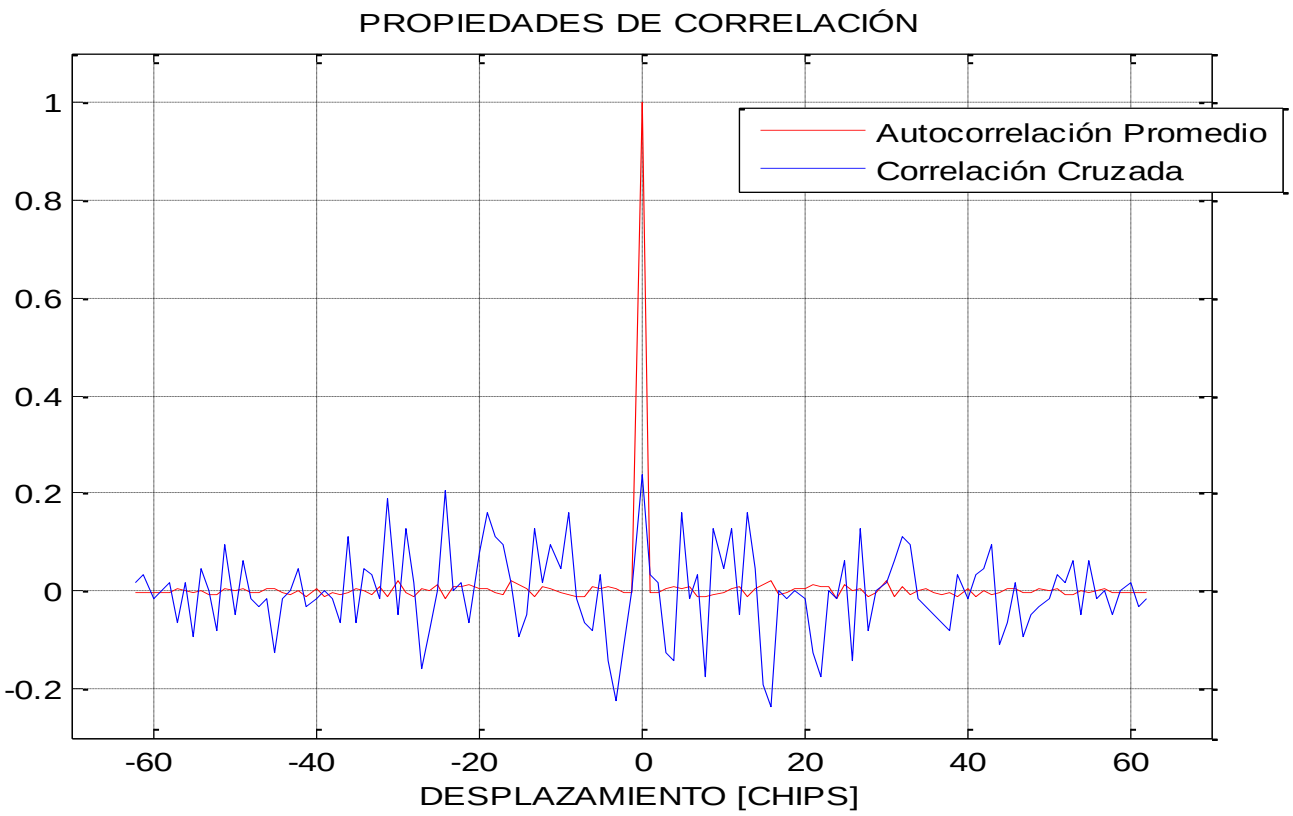


Figura 4-29. Propiedades de correlación de la secuencia caótica binaria empleando subsecuencias de 63 chips.

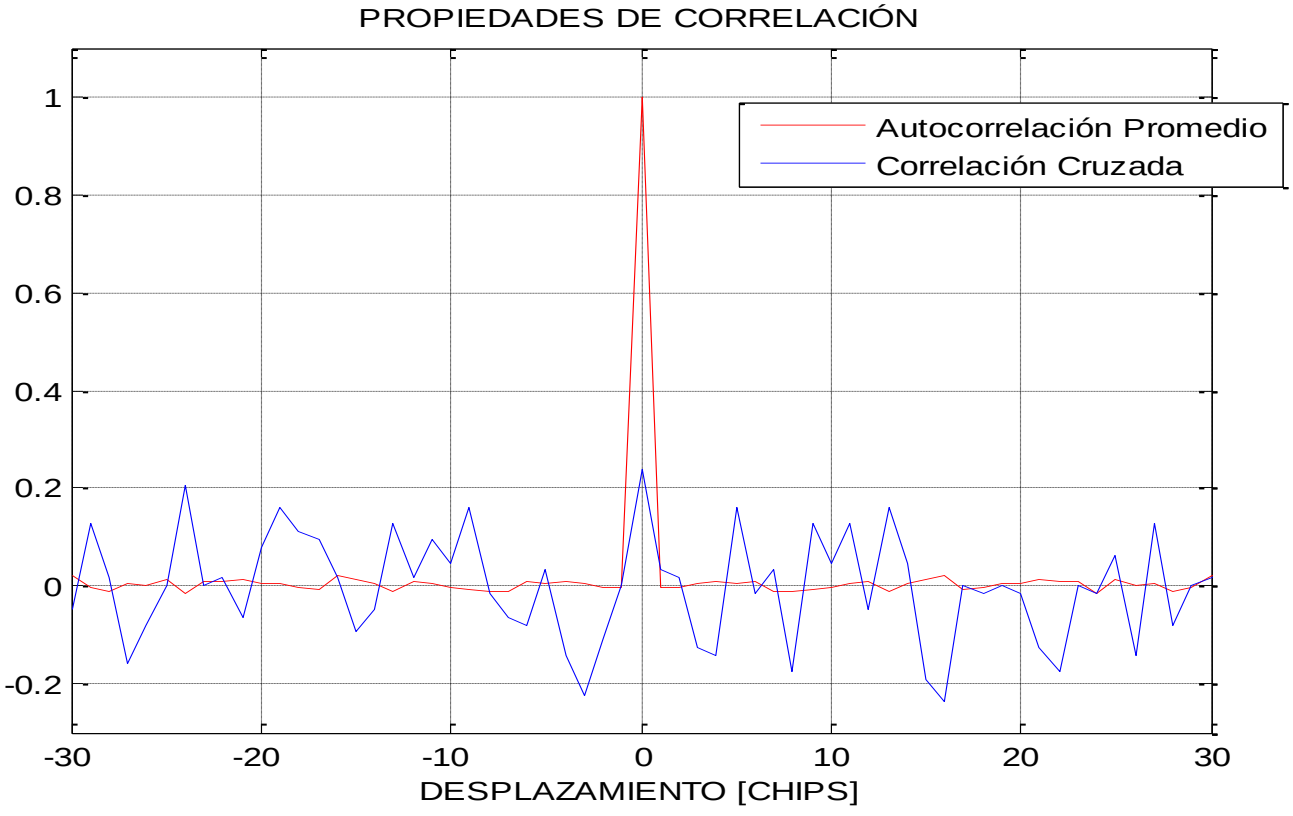


Figura 4-30. Detalle de la figura 4-29 para desplazamientos inferiores a 30 chips.

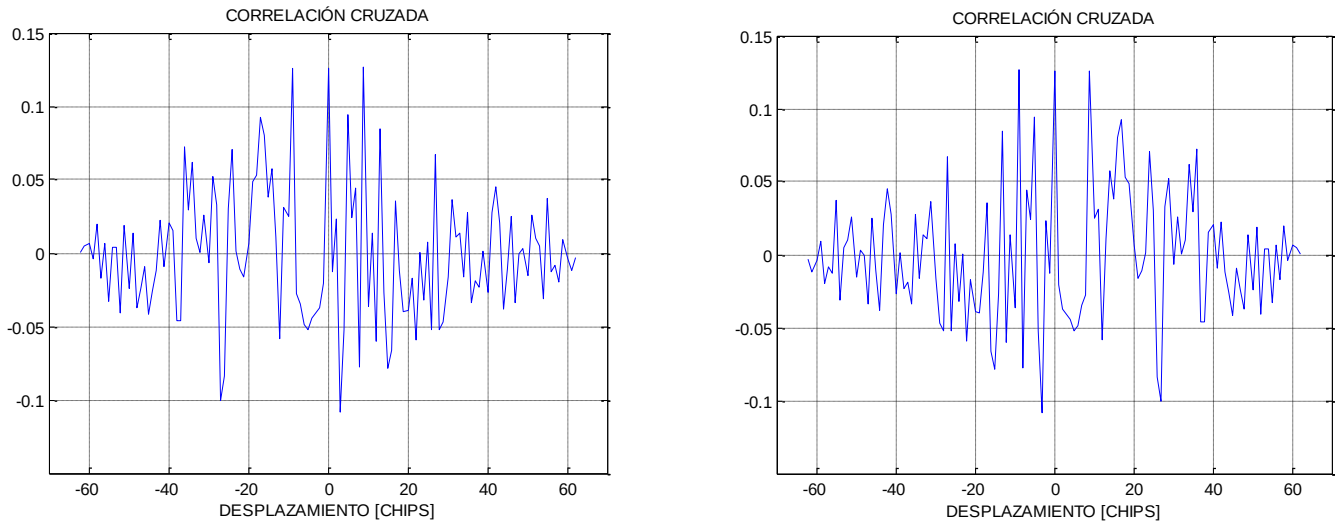
De este modo, obviando la escala del eje de ordenadas, se observa una función de correlación cruzada similar al caso de la secuencia caótica original, con una desviación máxima por debajo del 23% del máximo de la autocorrelación.

Al igual que en el caso de la secuencia caótica original, se concluye que los niveles de correlación cruzada, si bien son relativamente bajos, algunos de los picos resultan demasiado acusados para su aplicación en entornos de acceso múltiple al medio.

Se significa que el cómputo de la autocorrelación promedio mostrada en las gráficas se ha basado en el empleo de subsecuencias no solapadas de chips consecutivos de la secuencia caótica (de conformidad con las conclusiones, alcanzadas en el apartado 4.1.2, relativas a la aproximación a la función de autocorrelación de la secuencia caótica indefinida).

Tras el análisis anterior, cabe plantearse si resulta lo mismo la operación de correlación de la subsecuencia c_1 con la subsecuencia c_2 que la de la subsecuencia c_2 con la subsecuencia c_1, es decir, si se cumple que $\mathcal{R}_{c_1c_2}[\tau] = \mathcal{R}_{c_2c_1}[\tau]$. Dicho en otras palabras, se pretende comprobar experimentalmente si el orden en que se tomen los términos influye en el resultado de la operación de correlación.

Continuando con el experimento planteado hasta ahora (en el que se toman dos subsecuencias de 63 chips de la secuencia caótica de trabajo, a partir de los estados iniciales x_{01}=0.3 y x_{02}=0.3+1e^{-5}), si se invierte el orden de los términos de la operación de correlación, resultan las siguientes gráficas.

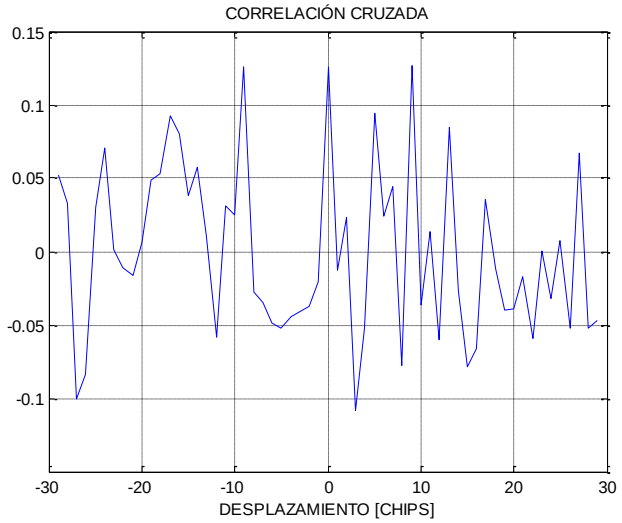


a) Gráfica de $\mathcal{R}_{c_1c_2}[\tau]$.

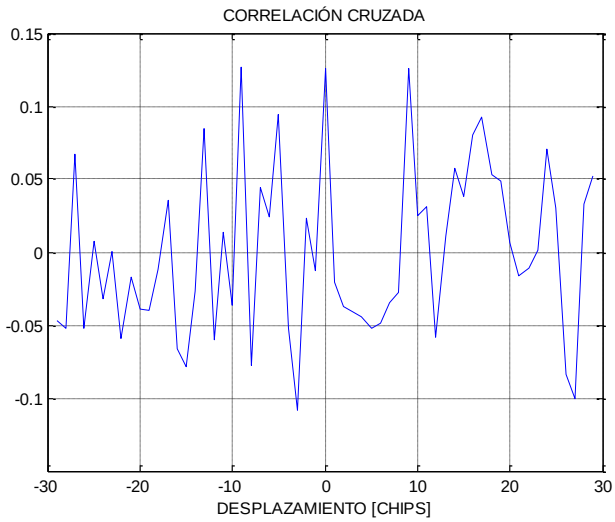
b) Gráfica de $\mathcal{R}_{c_2c_1}[\tau]$.

Figura 4-31. Comparativa de correlación cruzada variando el orden de los términos de la operación, para el caso de la secuencia caótica original.

Se comprueba que las gráficas de la izquierda y de la derecha no resultan iguales, si bien, la una es la imagen especular de la otra. A fin de que pueda apreciarse con mayor claridad, a continuación se muestra un detalle de la zona central de las gráficas. En concreto, para desplazamientos inferiores a 30 chips.



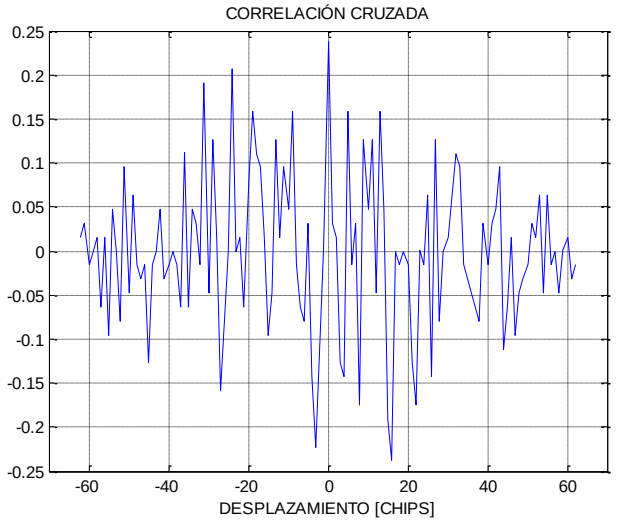
a) Gráfica de $\mathcal{R}_{c_1c_2}[\tau]$.



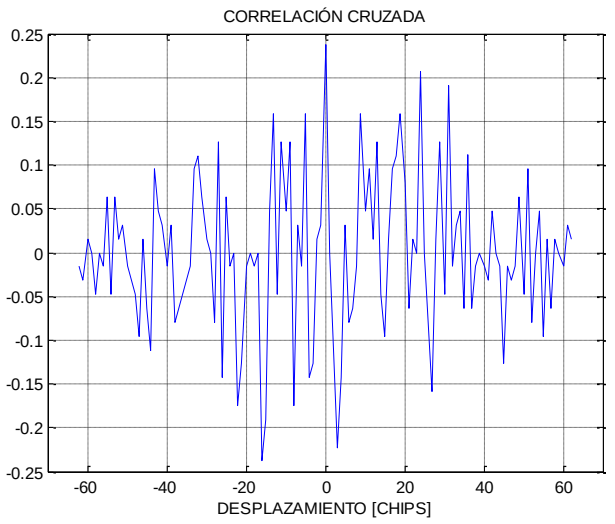
b) Gráfica de $\mathcal{R}_{c_2c_1}[\tau]$.

Figura 4-32. Detalle de la zona central de las gráficas de la figura 4-31.

Realizando la misma comprobación con la versión binaria de las subsecuencias (es decir, cuantificadas a niveles NRZ polar +/-1), resultan las siguientes gráficas:

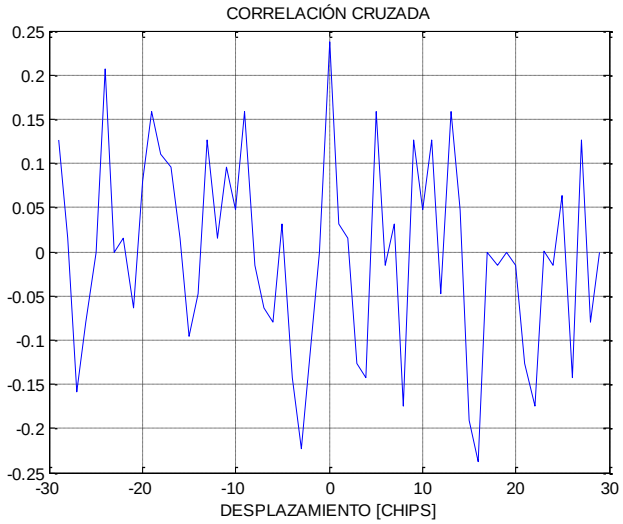


a) Gráfica de $\mathcal{R}_{c_1c_2}[\tau]$.

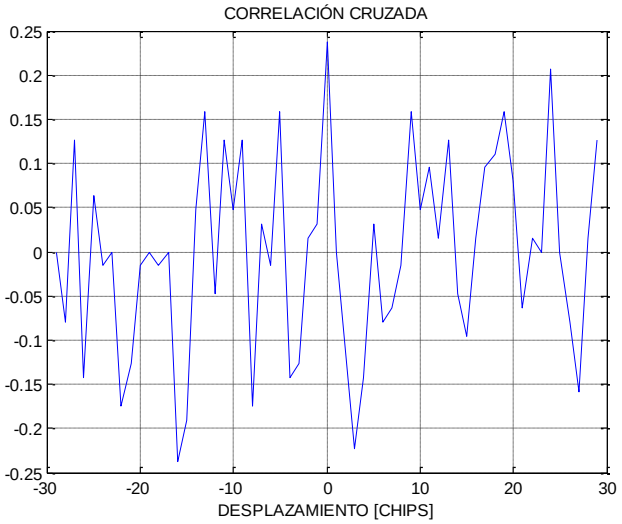


b) Gráfica de $\mathcal{R}_{c_2c_1}[\tau]$.

Figura 4-33. Comparativa de correlación cruzada variando el orden de los términos de la operación, para el caso de la secuencia cuantificada a NRZ polar +/-1.



a) Gráfica de $\mathcal{R}_{c_1c_2}[\tau]$.



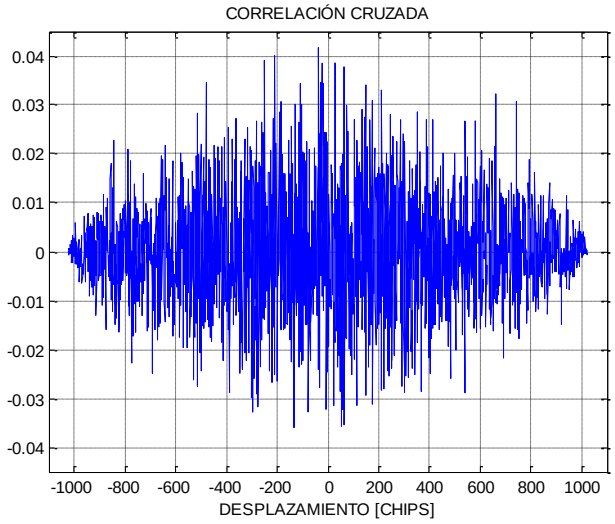
b) Gráfica de $\mathcal{R}_{c_2c_1}[\tau]$.

Figura 4-34. Detalle de la zona central de las gráficas de la figura 4-33.

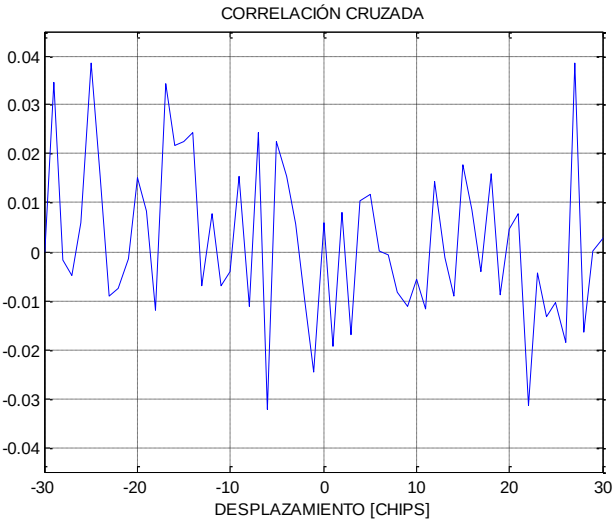
Las gráficas mostradas, en los casos de la secuencia caótica original y de su versión binaria, junto con otras pruebas realizadas, permiten concluir que $\mathcal{R}_{c_1c_2}[\tau] = \mathcal{R}_{c_2c_1}[-\tau]$.

Tras este inciso (para corroborar la propiedad de simetría especular de la correlación cruzada), a continuación se van a repetir los experimentos realizados previamente con las subsecuencias de 63 chips de longitud, si bien, empleando ahora subsecuencias de 1023 chips, generadas a partir de los mismos estados iniciales (x_{01}=0.3 y x_{02}=0.3+1e^{-5}) que en el caso anterior.

En la figura siguiente se muestran las gráficas resultantes empleando la versión original de las subsecuencias (es decir, sin cuantificar a NRZ polar +/-1), apreciándose un nivel de correlación considerablemente bajo.



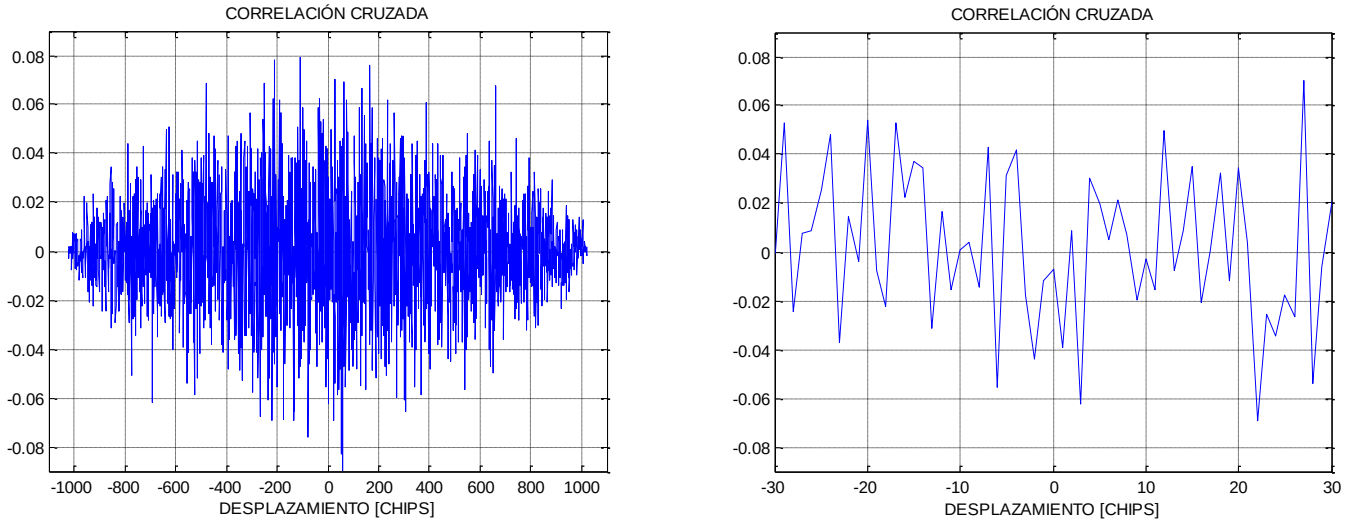
a) Gráfica completa.



b) Detalle para desplazamientos inferiores a 30 chips.

Figura 4-35. Correlación de subsecuencias de 1023 chips de la secuencia caótica óriginal.

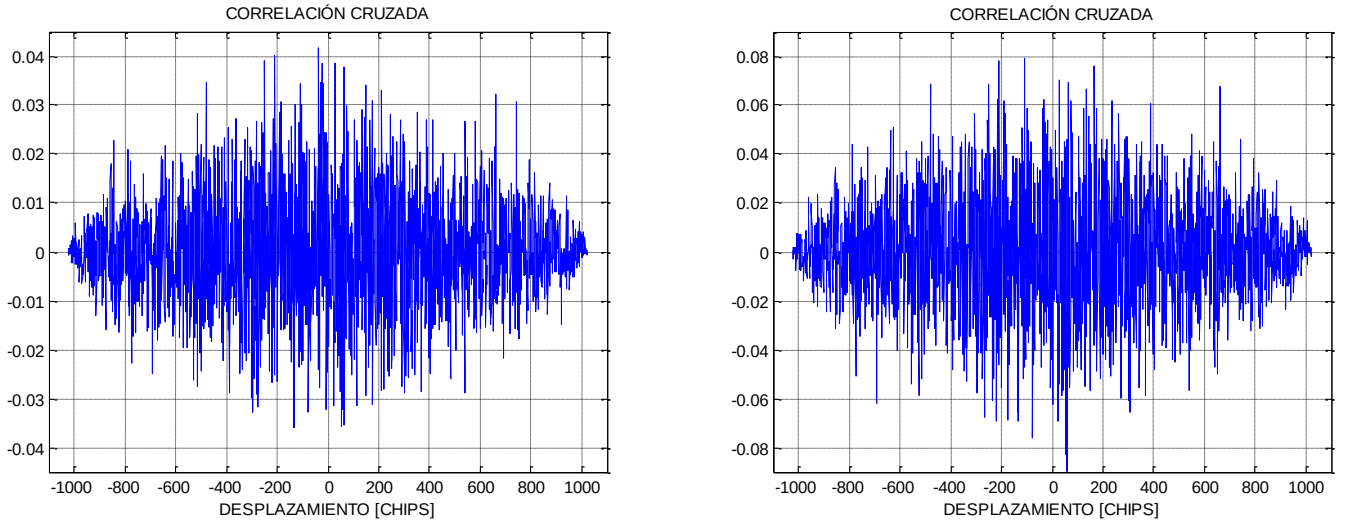
En la figura siguiente se muestran las gráficas resultantes empleando la versión binaria de las subsecuencias, es decir, habiendo sido cuantificada la secuencia caótica original a niveles NRZ polar +/-1.



a) Gráfica completa. **b) Detalle para desplazamientos inferiores a 30 chips.**

Figura 4-36. Correlación de subsecuencias de 1023 chips de la secuencia caótica binaria.

De igual modo, se aprecian niveles muy bajos correlación, comparables a los del caso anterior, aunque de mayor amplitud. A fin de facilitar la comparativa, a continuación se muestran alineadas las gráficas completas de uno y otro caso.



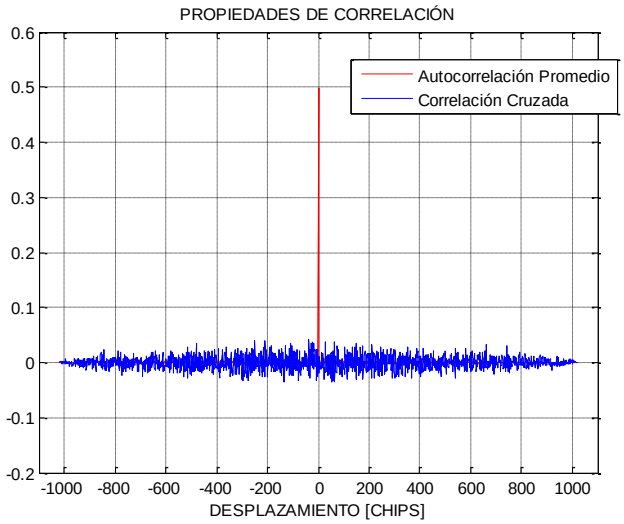
a) Subsecuencias sin cuantificar. **b) Subsecuencias cuantificas a NRZ polar +/-1.**

Figura 4-37. Comparativa de correlación de subsecuencias de 1023 chips.

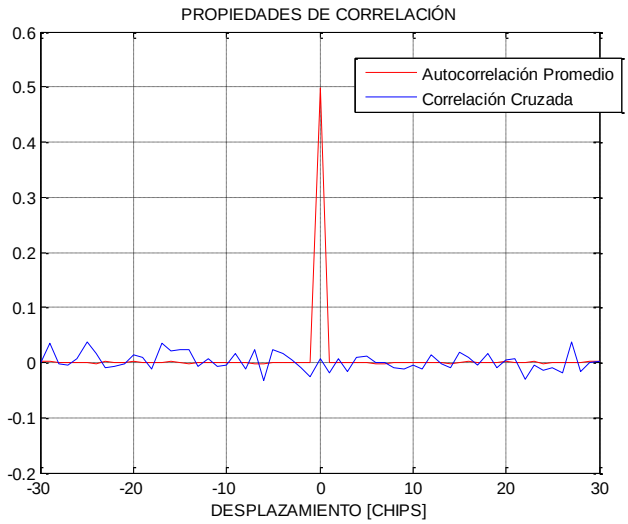
Al igual que en el caso de las subsecuencias de 63 chip, se comprueba que, aunque la amplitud de los trazos es similar en ambas gráficas, la escala del eje de ordenadas de la gráfica del caso cuantificado es el doble que la empleada en la gráfica del caso sin cuantificar, por lo que las oscilaciones del caso cuantificado resultan mayores. No obstante, dado que la potencia media de la

señal cuantificada es el doble que la de la señal original, resulta lógico que las oscilaciones de la correlación tengan también mayor amplitud en el caso cuantificado.

Por otra parte, como ya se hiciera en el caso de las subsecuencias de 63 chips, a fin de ilustrar la magnitud de dichas oscilaciones, en las gráficas siguientes se muestra la correlación de la pareja de subsecuencias en la misma escala que la autocorrelación de la secuencia caótica indefinida.

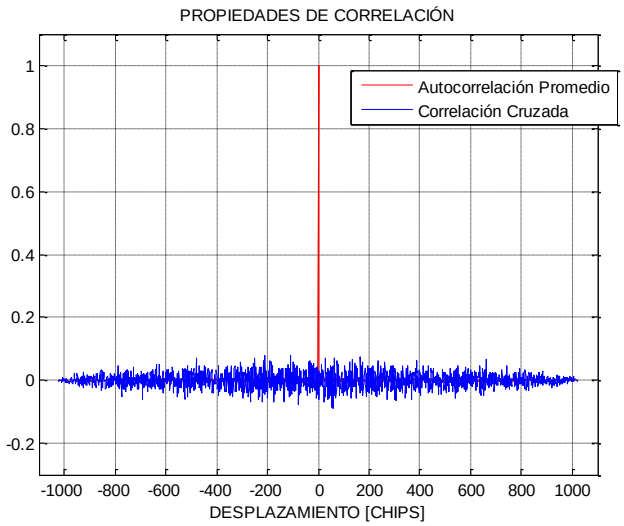


a) Gráfica completa.

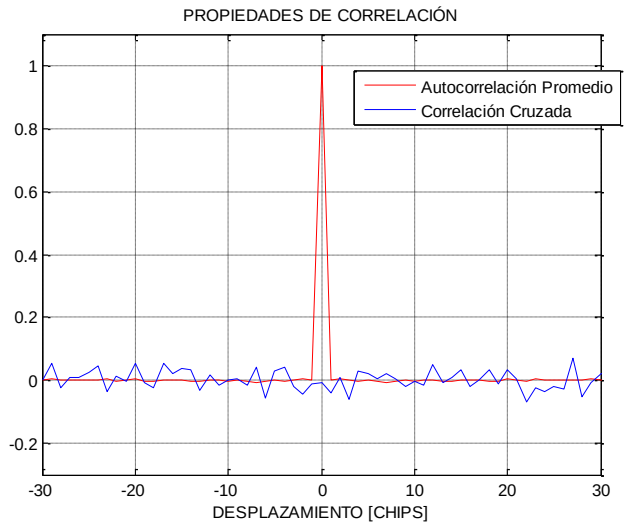


b) Detalle para desplazamientos inferiores a 30 chips.

Figura 4-38. Propiedades de correlación de la secuencia caótica original empleando subsecuencias de 1023 chips.



a) Gráfica completa.



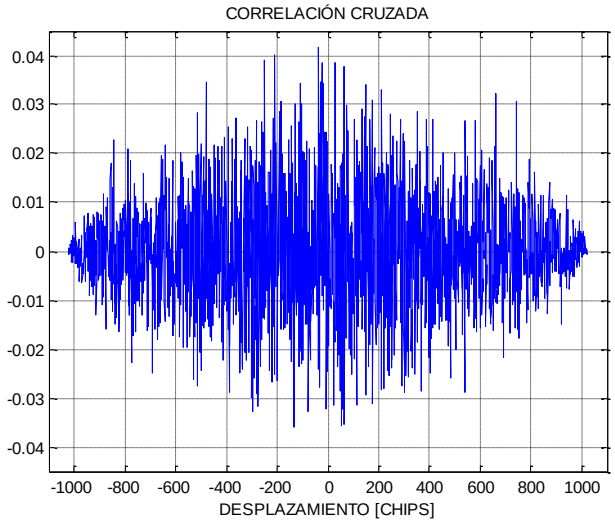
b) Detalle para desplazamientos inferiores a 30 chips.

Figura 4-39. Propiedades de correlación de la secuencia caótica binaria empleando subsecuencias de 1023 chips.

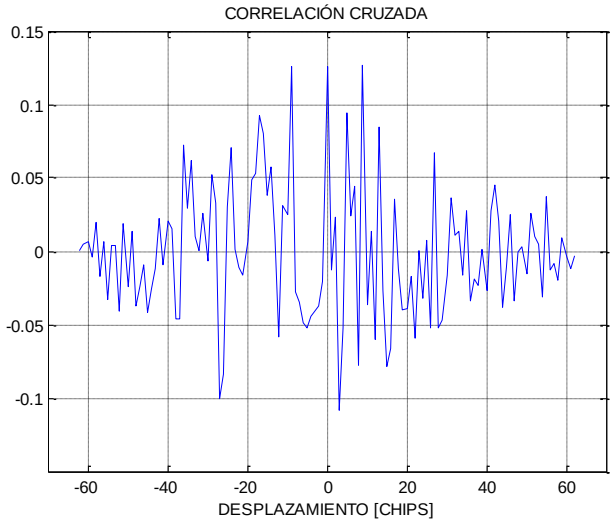
A la luz de las gráficas anteriores, puede concluirse que, empleando subsecuencias de 1023 chips, la amplitud de las oscilaciones de la correlación resulta ya relativamente pequeña.

Llegados a este punto del estudio, en que se han obtenido las gráficas de correlación cruzada del experimento para dos tamaños distintos de la pareja de subsecuencias, conviene establecer las comparativas pertinentes, a fin de extraer conclusiones relativas a la longitud de las mismas. En este

sentido, a continuación se muestran alineadas las gráficas resultantes para cada longitud de subsecuencia, tanto en el caso de la secuencia caótica original, como en el de su versión binaria.

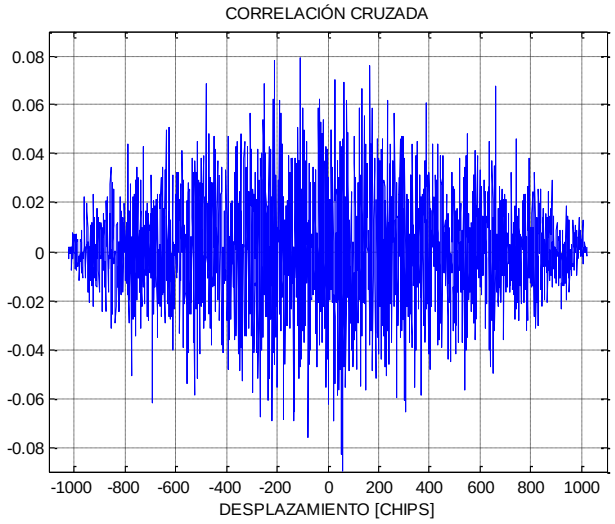


a) Subsecuencias de 1023 chips.

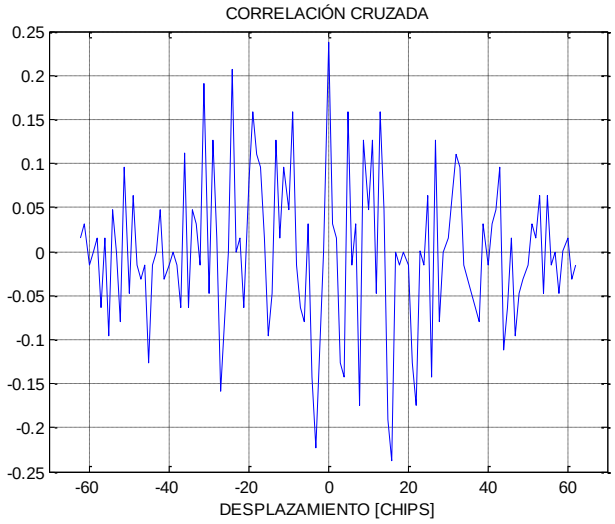


b) Subsecuencias de 63 chips.

Figura 4-40. Comparativa de correlación cruzada entre dos tamaños distintos de la pareja de subsecuencias, para el caso de la secuencia caótica original.



a) Subsecuencias de 1023 chips.

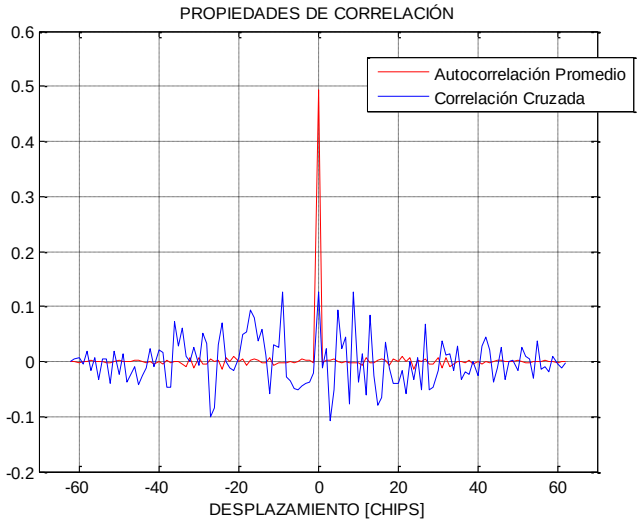


b) Subsecuencias de 63 chips.

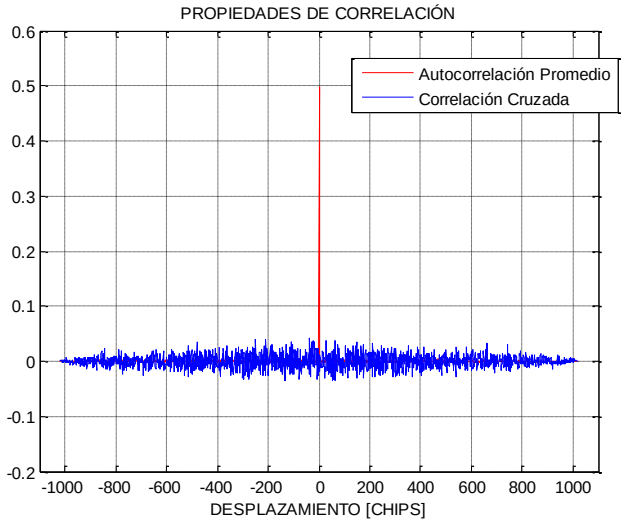
Figura 4-41. Comparativa de correlación cruzada entre dos tamaños distintos de la pareja de subsecuencias, para el caso de la secuencia caótica binaria.

Observando la escala del eje de ordenadas de las gráficas de la izquierda y de las de la derecha de este experimento, se comprueba que la amplitud de las oscilaciones de la correlación cruzada disminuye al aumentar la longitud de las subsecuencias caóticas empleadas, según se ha podido corroborar también con longitudes de 10^6 chips.

Con el propósito de facilitar una comparativa visual de resultados entre las opciones de empleo de subsecuencias de 63 o de 1023 chips de longitud, a continuación se muestran alineadas las gráficas de las propiedades de correlación obtenidas anteriormente, tanto empleando subsecuencias extraídas de la secuencia caótica original, como empleando las obtenidas de su versión binaria.



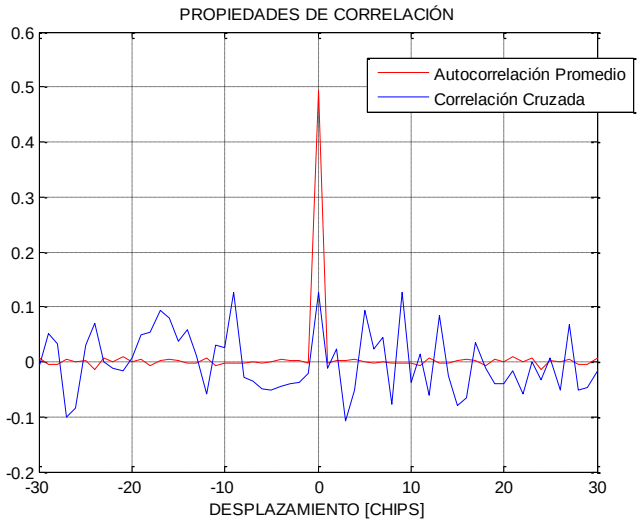
a) Subsecuencias de 63 chips.



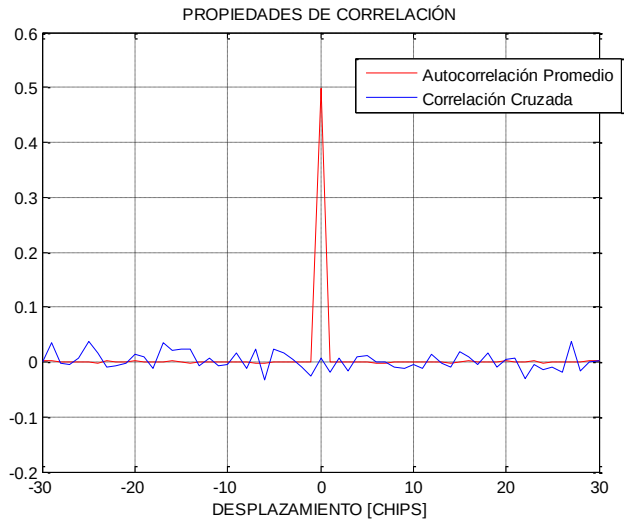
b) Subsecuencias de 1023 chips.

Figura 4-42. Comparativa de las propiedades de correlación entre dos tamaños de subsecuencia que difieren varios órdenes de magnitud, para el caso de la secuencia caótica original.

Dado que las gráficas anteriores se encuentran en la misma escala, puede observarse una reducción significativa de la amplitud de los picos de correlación en el caso de empleo de subsecuencias de 1023 chips, con respecto al caso de las subsecuencias de 63 chips. A fin de ilustrar esta cuestión con más claridad, a continuación se muestra un detalle de la zona central de las gráficas anteriores. En este caso, para desfases inferiores a 30 chips.



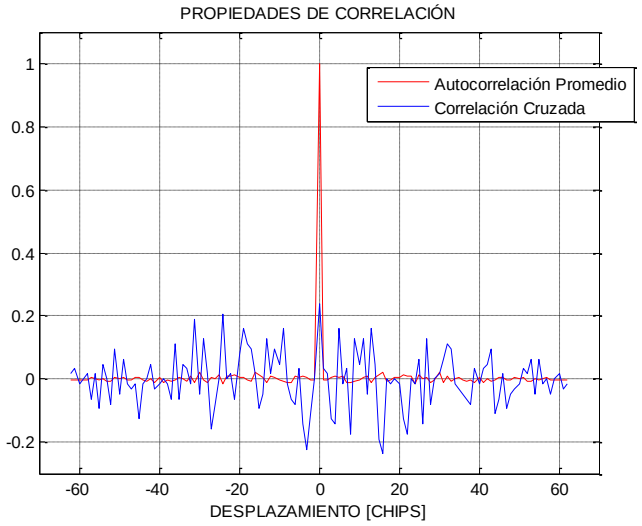
a) Subsecuencias de 63 chips.



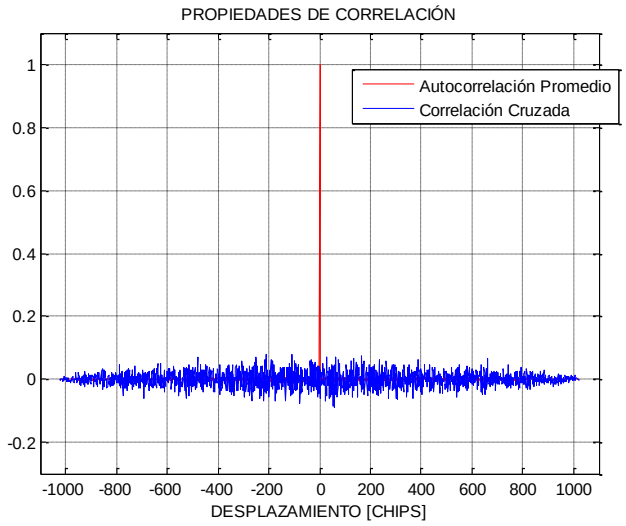
b) Subsecuencias de 1023 chips.

Figura 4-43. Detalle de la zona central de las gráficas de la figura 4-42.

En las gráficas siguientes se ilustra, de nuevo, la comparativa de propiedades de correlación entre los casos de subsecuencias de 63 y de 1023 chips de longitud, si bien, ahora extraídas de la secuencia caótica cuantificada a niveles NRZ polar +/-1.

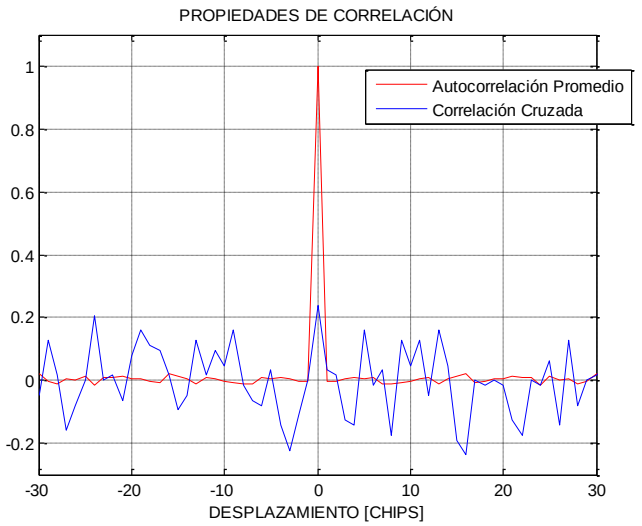


a) Subsecuencias de 63 chips.

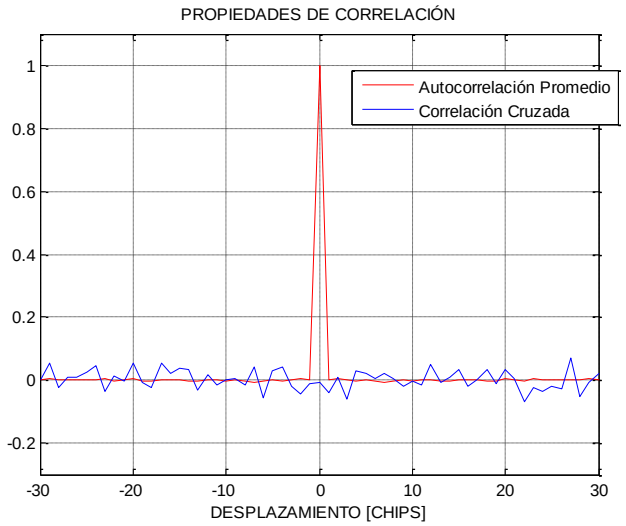


b) Subsecuencias de 1023 chips.

Figura 4-44. Comparativa de las propiedades de correlación entre dos tamaños de subsecuencia que difieren varios órdenes de magnitud, para el caso de la secuencia cáotica binaria.



a) Subsecuencias de 63 chips.



b) Subsecuencias de 1023 chips.

Figura 4-45. Detalle de la zona central de las gráficas de la figura 4-44.

En definitiva, los experimentos mostrados en el presente trabajo y otros tantos realizados (a partir de la secuencia caótica original y de su version binaria) permiten concluir que, al aumentar la longitud de las subsecuencias caóticas, mejoran sus propiedades de correlación cruzada.

Para concluir el estudio de la correlación de subsecuencias de una misma secuencia caótica, a continuación, se va a estudiar el caso de la correlación de subsecuencias (de la misma longitud) solapadas. Dicho de otro modo, se va a estudiar el caso de tener dos subsecuencias desfasadas un número de chips inferior a su longitud, es decir, que van a compartir varios de sus chips. En definitiva, las subsecuencias a correlar van a proceder de la extracción solapada de dos subsecuencias de la misma secuencia caótica; en este caso, tomando como estado inicial de la subsecuencia de referencia $x_0 = 0.3$ y retrasando la otra subsecuencia respecto de la primera.

Nótese que en los experimentos anteriores las subsecuencias se extraían a partir de dos estados iniciales muy "próximos", ya que había una diferencia en su valor de sólo 10^{-5}. En cambio, en este caso, se trata de dos estados iniciales muy próximos en el tiempo, ya que el sistema caótico, en su proceso de generación de la secuencia, pasa por ámbos con una diferencia de sólo alguna decena de chips.

Para que resulte más ilustrativo el estudio, se emplearán subsecuencias de tan sólo 63 chips, comenzando el análisis por el caso de la secuencia caótica original, es decir, sin cuantificar a niveles NRZ polar. En la figura siguiente, se muestra la gráfica resultante para un desfase de 20 chips.

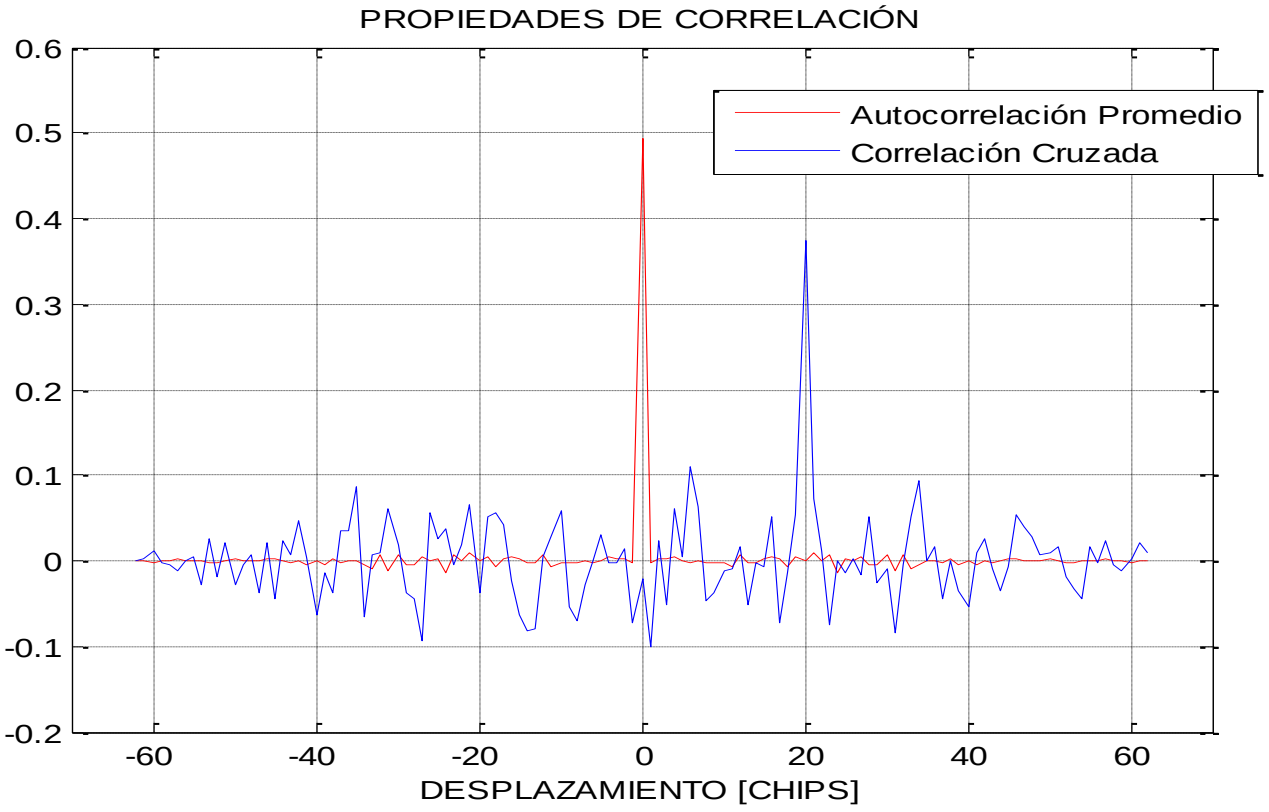
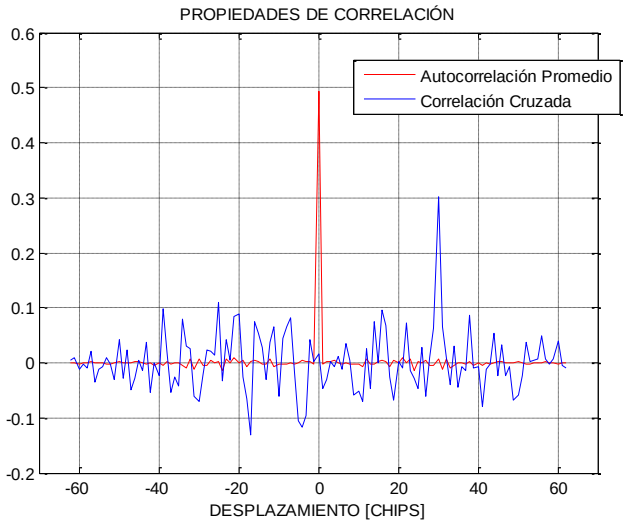
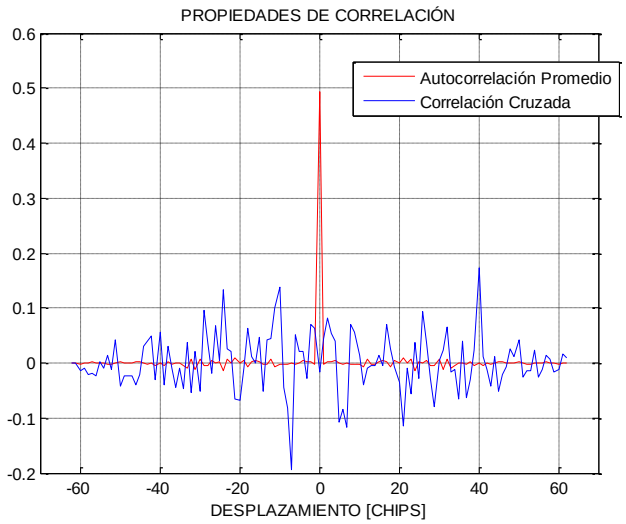


Figura 4-46. Ejemplo de propiedades de correlación de subsecuencias de una misma secuencia caótica, sin cuantificar, desfasadas unos cuantos chips.

Puede observarse la aparición de un importante pico de correlación, comparable al valor máximo de autocorrelación, para un desplazamiento de, precisamente, 20 chips. La explicación reside en el hecho de que, partiendo de las dos subsecuencias alineadas sobre un mismo eje de tiempos, si una de ellas se desplaza 20 chips (en el sentido correcto), se logra la coincidencia temporal en ambas de 43 de los 63 que las componen. En las gráficas siguientes se muestra el resultado aplicando desfases mayores de las subsecuencias. En este caso, de 30 y 40 chips.



a) Desfasadas 30 chips.



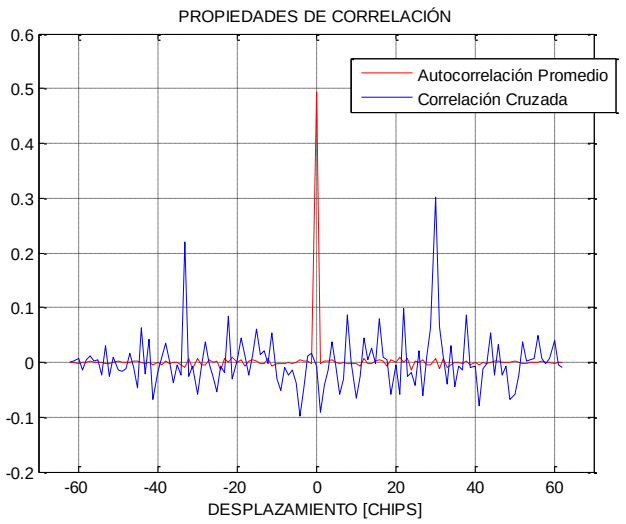
b) Desfasadas 40 chips.

Figura 4-47. Ejemplo de propiedades de correlación de subsecuencias de una misma secuencia caótica, sin cuantificar, desfasadas numerosos chips.

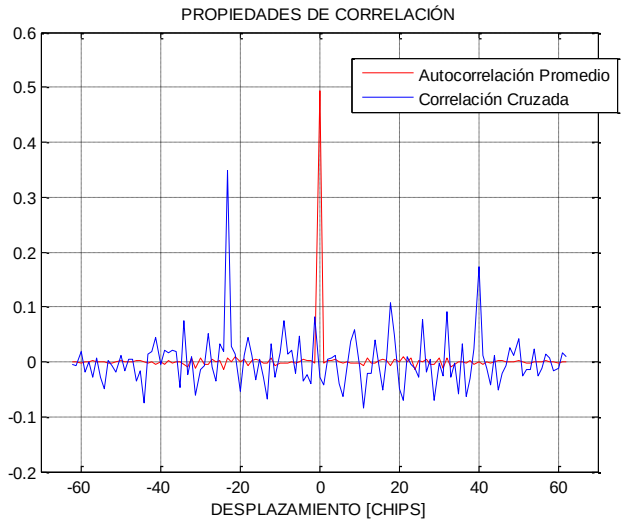
Puede observarse que, conforme aumenta el desfase, el pico secundario de correlación (situado en los desplazamientos determinados por los desfases de las subsecuencias), disminuye.

Se hace notar que el cálculo de la autocorrelación promedio mostrada en las gráficas se ha basado en el empleo de subsecuencias no solapadas de chips consecutivos de la secuencia caótica caótica (de conformidad con las conclusiones, alcanzadas en el apartado 4.1.2, relativas a la aproximación a la función de autocorrelación de la secuencia caótica indefinida).

Por otra parte, se subraya que las subsecuencias empleadas en este experimento no son dos réplicas (de una misma subsecuencia) desfasadas circularmente. En todo caso, antes de proseguir con el estudio, se ha querido hacer un inciso para ilustrar, en las gráficas de la figura siguiente, el comportamiento de la correlación en el supuesto de las dos réplicas desfasadas circularmente.



a) Desfasadas 30 chips.



b) Desfasadas 40 chips.

Figura 4-48. Ídem que la figura anterior con desfase circular de las subsecuencias.

La comparativa de la figura anterior (4-48) con la figura previa (4-47) (es decir, desfase lineal de las subsecuencias frente a desfase circular) permite comprobar que, en el caso del desfase circular, además del pico de correlación de la parte derecha de la gráfica, aparece otro pico en la parte izquierda. Para ayudar a comprender esto, tómese como referencia el desplazamiento de 0 chips. Para llegar a esa misma situación de desfase habrá que girar circularmente *L* chips una secuencia respecto de la otra (en cualquier sentido); en este caso, 63 chips. Por tanto, si se desfasan las subsecuencias *K* chips en un determinado sentido, el desfase en el otro sentido será de *L-K* chips, donde *L* es el número de chips de las subsecuencias. Dicho de otro modo, desplazar circularmente *K* chips una subsecuencia (respecto de la otra) en un sentido es lo mismo que desplazarla *L-K* chips en el otro sentido. Lógicamente, el pico de correlación será más alto cuanto más cerca se encuentre del origen de desplazamientos, cualquiera que sea el sentido de giro de una subsecuencia respecto de la otra.

En definitiva, en el ejemplo de las figuras, el desfase de 30 chips en un sentido conlleva un desfase de 33 chips en el otro; y el desfase de 40 chips en un sentido supone un desfase de 23 chips en el otro.

Tras este inciso, a continuación, se muestran los gráficas del experimento de la correlación de subsecuencias, de una misma secuencia caótica, desfasadas varios chips, para el caso paralelo de la secuencia cuantificada con niveles NRZ polar +/-1.

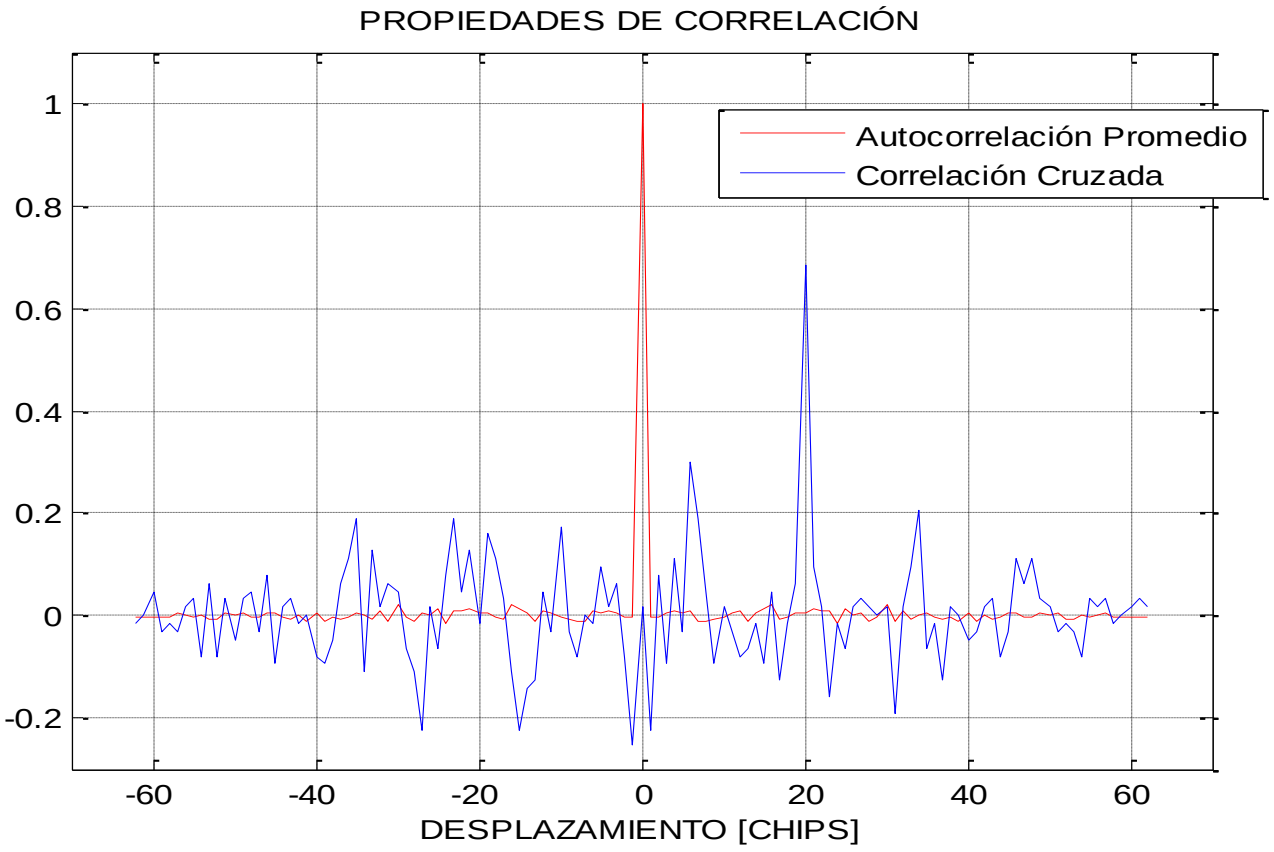
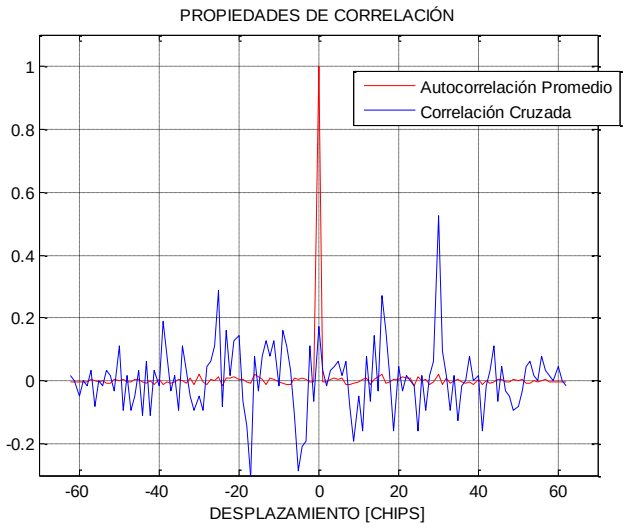
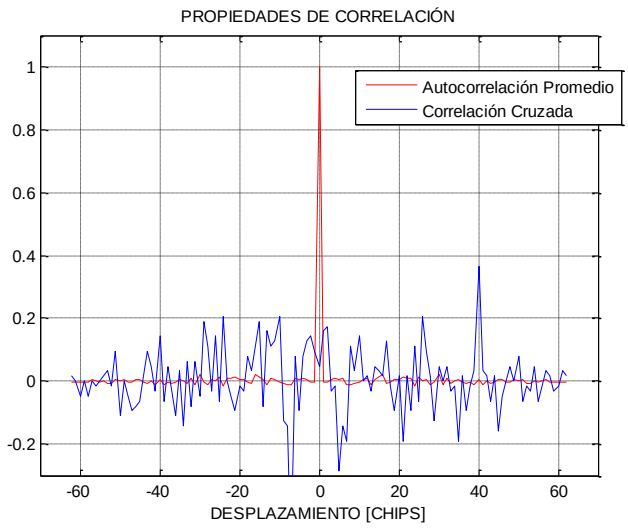


Figura 4-49. Ejemplo de propiedades de correlación de subsecuencias de una misma secuencia caótica, cuantificada a NRZ polar +/-1, desfasadas unos cuantos chips.



a) Desfasadas 30 chips.



b) Desfasadas 40 chips.

Figura 4-50. Ejemplo de propiedades de correlación de subsecuencias de una misma secuencia caótica, cuantificada a NRZ polar +/-1, desfasadas numerosos chips.

La comparativa de las gráficas de las figuras anteriores (4-49 y 4-50) con sus respectivas del caso de la secuencia original (figuras 4-46 y 4-47) no permite hablar de un empeoramiento sensible por el hecho de cuantificar la señal de forma binaria. Si cabe, en términos relativos (es decir, en porcentaje de amplitud de los picos secundarios respecto del máximo de la autocorrelación), se desprende un comportamiento ligeramente mejor en el caso cuantificado o, en todo caso, similar.

4.1.4 Caracterización espectral.

A continuación se muestra el espectro resultante para la secuencia caótica original y la cuantificada a NRZ polar, para una ventana temporal de 10 segundos y un periodo de chip de 10 milisegundos, suponiendo una amplitud en voltios igual a la representada en las gráficas de las figuras 4.1 y 4.4[11], respectivamente. La señal en banda base ha sido modulada con una portadora f_c de 1 KHz.

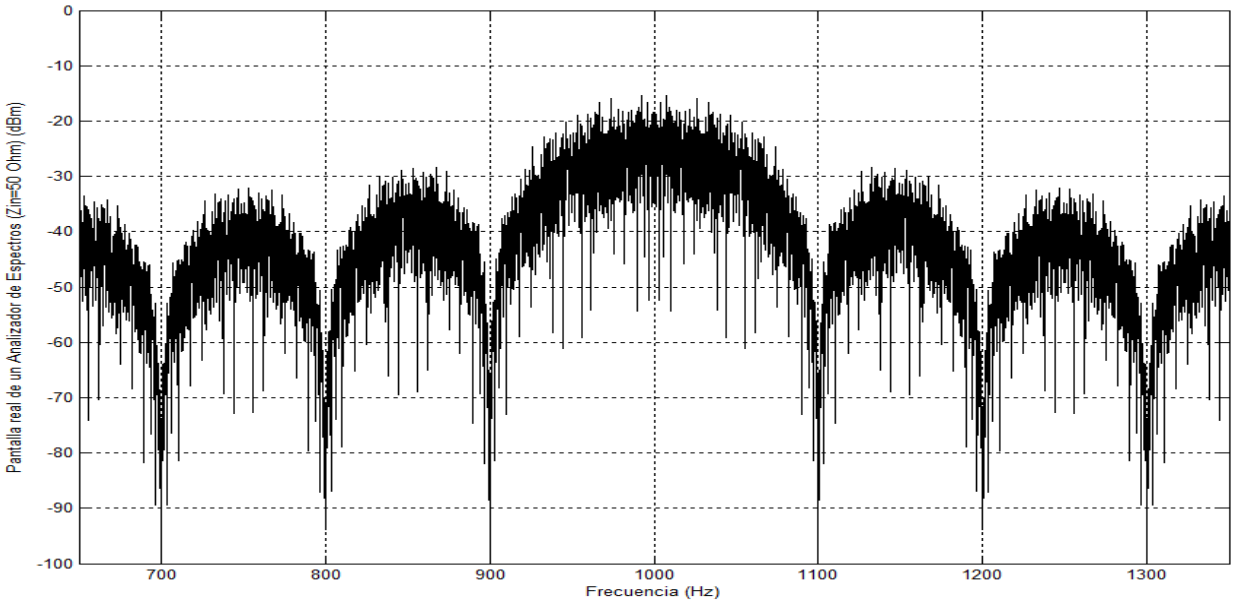


Figura 4-51. Espectro de la secuencia caótica original.

[11] Se ha tomado estado inicial 0.3.

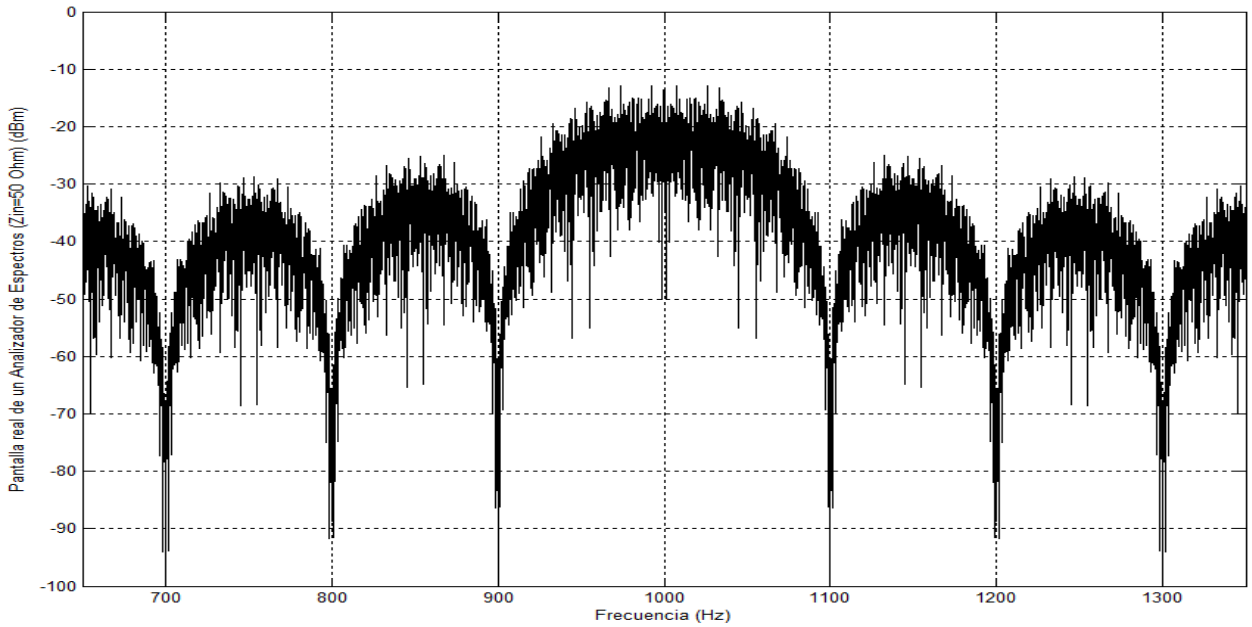


Figura 4-52. Espectro de la secuencia caótica cuantificada a NRZ polar +/-1.

Las gráficas muestran un comportamiento espectral muy similar en ambos casos, si bien, puede apreciarse en el lóbulo principal que su nivel en la figura 4.52 es ligeramente mayor que en la figura 4.51, dado el mayor nivel de potencia de la secuencia cuantificada.

Por último, se ha considerado el caso de que los 1000 chips de secuencia caótica correspondan a 4 tramas, con una duración 10 periodos de bit cada una (lo que supondría una ganancia del proceso de 25, es decir, 25 chips por cada periodo de bit). Insertando un marcador caótico (es decir, la duración de un periodo de bit con todos los chips a 0) al comienzo de cada trama, resultaría el siguiente espectro, para el caso de la secuencia cuantificada:

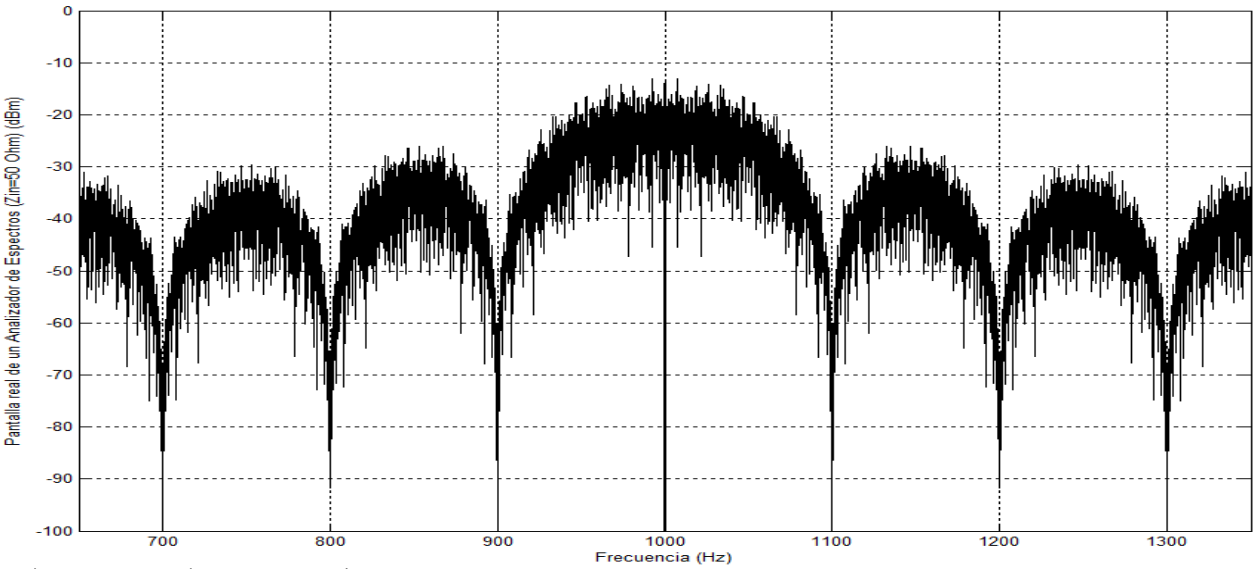


Figura 4-53. Ídem que la gráfica de la figura 4.52, insertando marcadores caóticos.

Comparando la gráfica superior con la gráfica de la figura 4.52, se comprueba que la inserción de los marcadores no altera sensiblemente el comportamiento espectral de la secuencia.

4.2 Caracterización de secuencias PN.

4.2.1 Caracterización temporal.

En este apartado se pretende mostrar el aspecto de las secuencias PN desde el punto de vista de señales, es decir, en el tiempo; a la vez que corroborar que las secuencias de longitud máxima tienen un periodo 2^N-1 chips, conclusión alcanzada en el capítulo 3, siendo *N* el número de registros (binarios) de desplazamiento de su correspondiente generador linealmente realimentado.

En las gráficas siguientes se muestra[12] la secuencia PN de longitud máxima de 7 bits correspondiente al polinomio generador x^3+x+1 , producida a partir del estado inicial *1 0 1* con el siguiente impulso de reloj, tomando como salida del generador el registro 1.

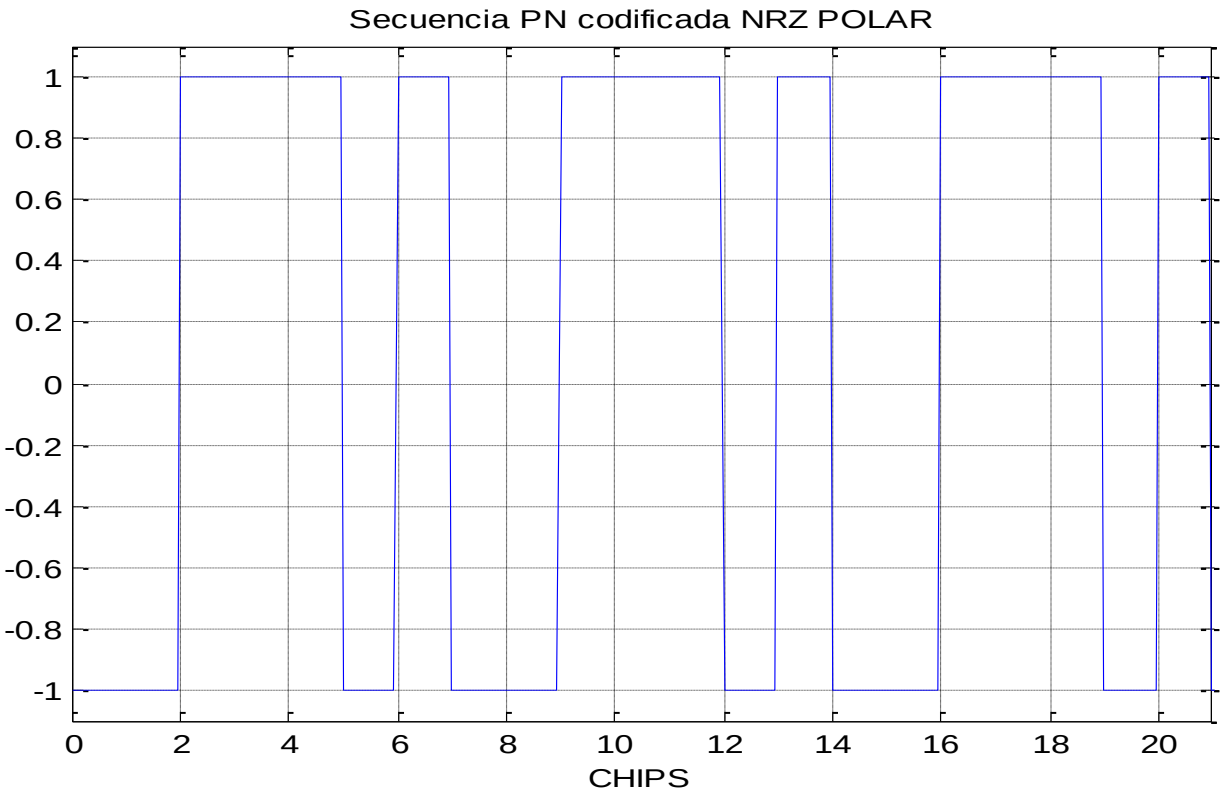


Figura 4-54. Ejemplo de secuencia PN de longitud máxima de 7 chips con codificación de fuente NRZ polar +/-1.

En la gráfica superior se muestran los 21 primeros chips, empleando una codificación polar de amplitud *V*=1. Es decir, los '0' se codifican con el nivel de tensión -1, en tanto que los '1' se codifican con el nivel de tensión +1. Nótese que corresponden a tres periodos (de 7 bits) de la secuencia.

Por otra parte, en la gráfica siguiente se muestra la misma secuencia empleando una codificación bipolar de la misma amplitud. Es decir, los '0' se codifican con el nivel de tensión cero, en tanto que los '1' se codifican con niveles alternativos de tensión +/-1.

[12] En las gráficas de este apartado se ha empleado una frecuencia de muestreo elevada, de 16 R_{chip}, a fin de minimizar los transitorios por causa de las transiciones entre niveles.

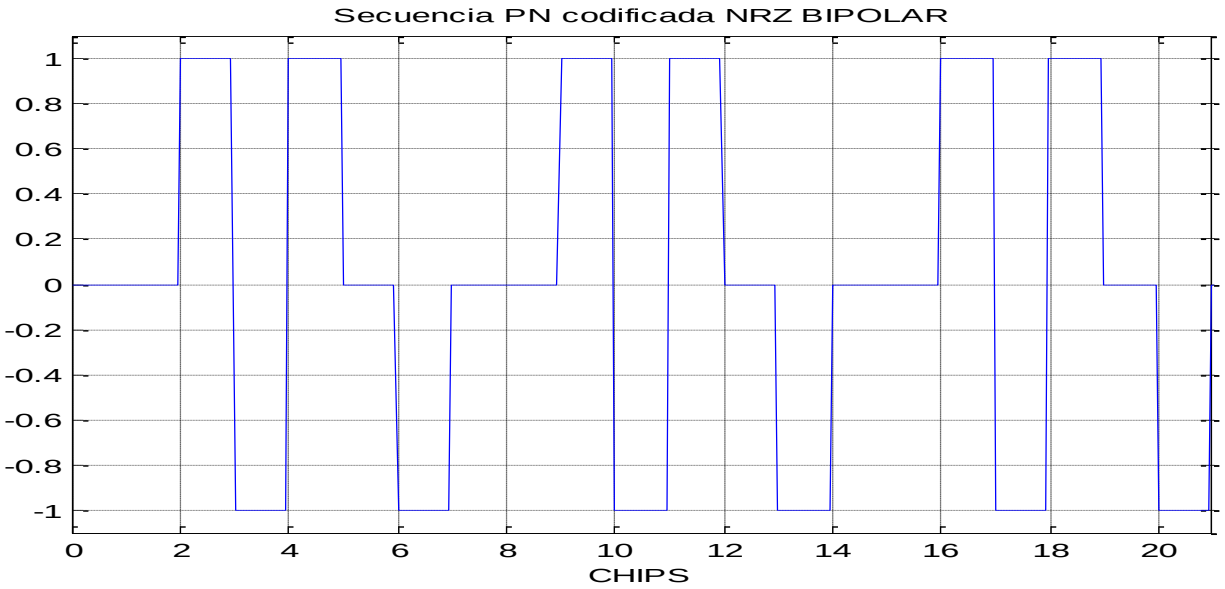


Figura 4-55. Ejemplo de secuencia PN de longitud máxima de 7 chips con codificación de fuente NRZ bipolar +/-1.

En este punto cabe plantearse que el periodo de la secuencia bipolar pudiese diferir del periodo de la secuencia polar, siendo mayor, dependiendo de si el número de '1' de la secuencia lógica (es decir, constituida por '0' y '1') fuese par o impar. Nótese que en el caso de ser impar, dos ciclos consecutivos de la secuencia lógica se traducirían en dos subsecuencias bipolares distintas.

Puede observarse, sin embargo, que en la gráfica de la secuencia bipolar se identifican los mismos tres periodos que en la gráfica de la secuencia polar (figura 4-54), ya que el número de '1' resulta par.

A fin de proporcionar otro ejemplo, en las gráficas siguientes se muestra la secuencia PN de longitud máxima de 15 bits correspondiente al polinomio generador x^4+x+1 , producida a partir del estado inicial *1 0 1 0* [13] con el siguiente impulso de reloj, tomando como salida del generador el registro 1. A continuación, se representan los 30 primeros chips de la secuencia.

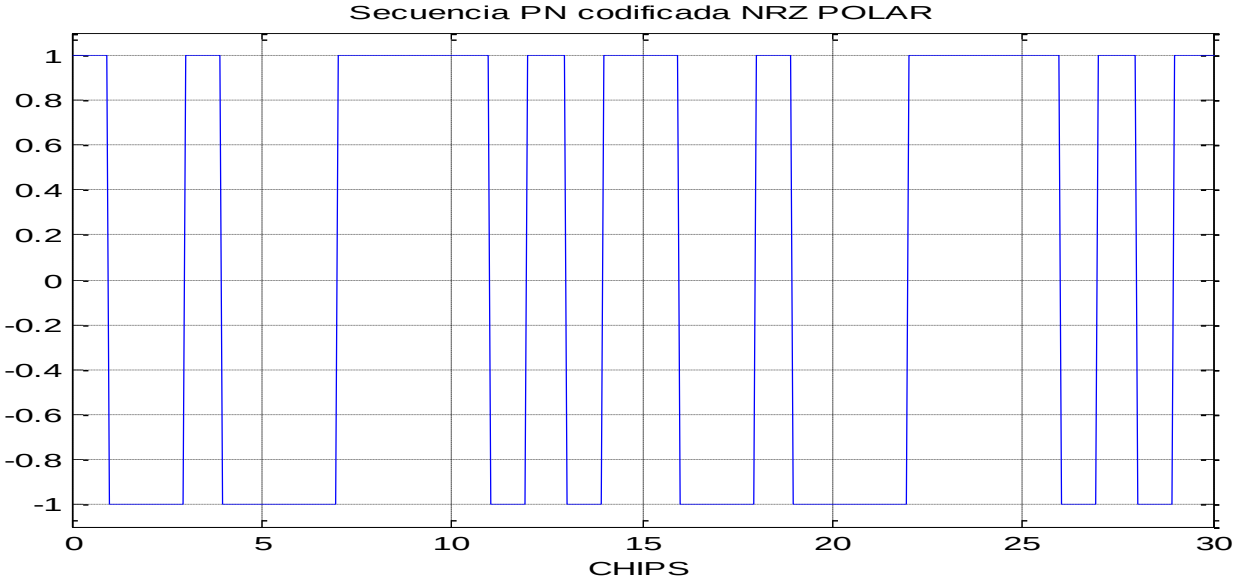


Figura 4-56. Ejemplo de secuencia PN de longitud máxima de 15 chips con codificación de fuente NRZ polar +/-1.

[13] Se aclara que la carga es: '1' en el registro 1, '0' en el registro 2, '1' en el registro 3 y '0' en el registro 4, siendo éste último el primero en salir del generador.

Tomando como referencia el eje central de la figura (chip número 15), se comprueba que la gráfica contiene, en este caso, dos ciclos (de 15 chips) de la secuencia. A continuación se muestra la misma secuencia habiendo empleado la codificación bipolar.

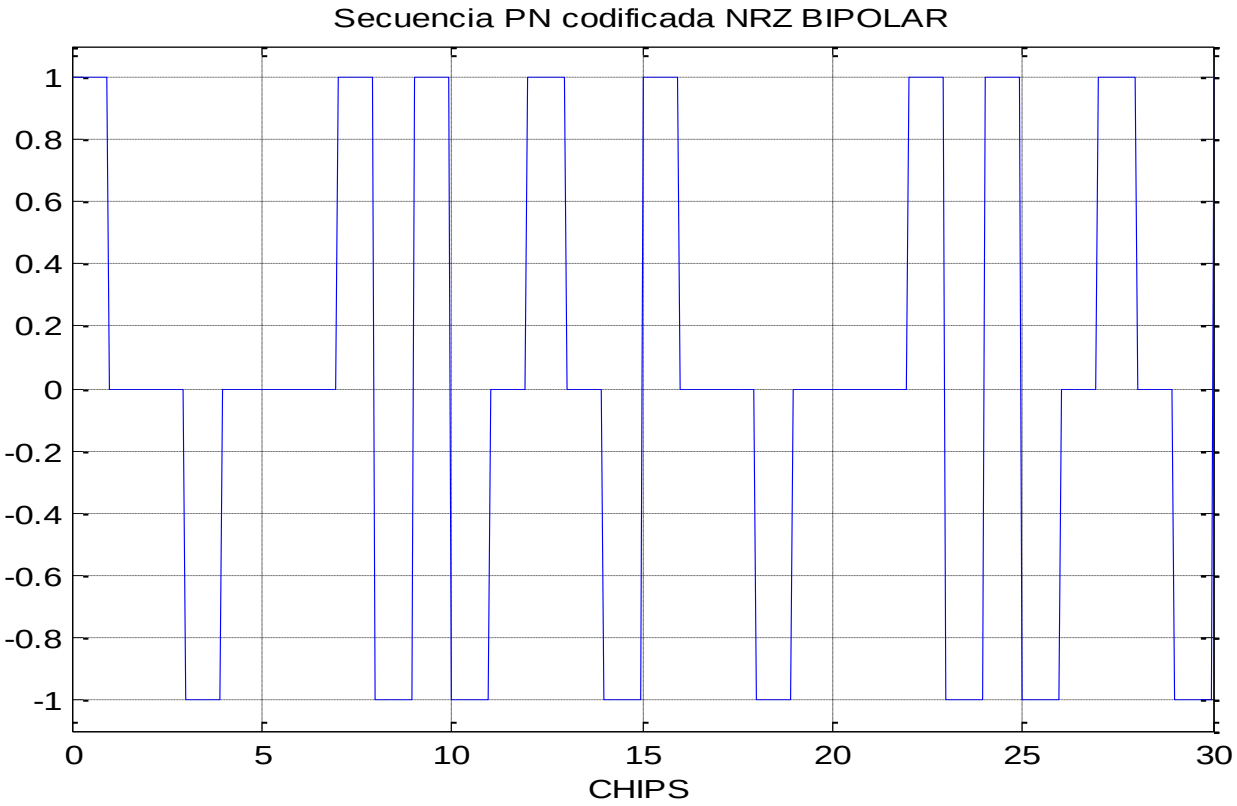


Figura 4-57. Ejemplo de secuencia PN de longitud máxima de 15 chips con codificación de fuente NRZ bipolar +/-1.

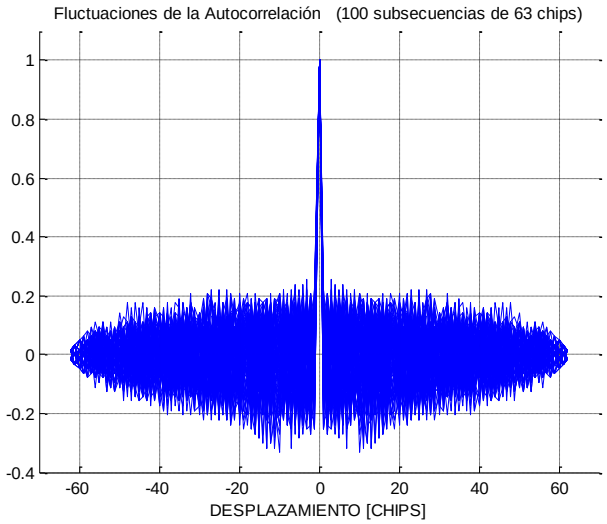
Se comprueba en la gráfica superior que los 30 chips mostrados se corresponden también con dos periodos de secuencia, al igual que en el caso de la secuencia polar, dado que el número de '1' de la correspondiente secuencia lógica es par (según se desprende de la figura 4-56).

Más allá de si el número es o no par, las gráficas de las figuras 4-54 y 4-56 permiten corroborar que el número de unos del periodo de las secuencias PN de longitud máxima resulta ser $2^N / 2$, propiedad determinada en el capítulo 3.

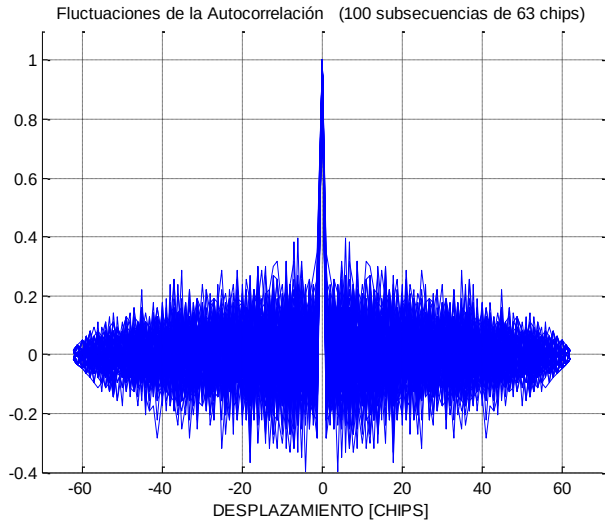
4.2.2 Caracterización de la autocorrelación.

Se va a comenzar el estudio de la autocorrelación tomando 100 bloques de 63 chips de una secuencia PN de periodo largo. En este caso, se ha considerado un código PN de longitud máxima de 1023 chips. Por consiguiente, en este experimento se generan un total de 6300 chips, es decir, poco más de seis periodos de la secuencia PN.

En la figura siguiente (lado izquierdo) se muestra la autocorrelación de las cien subsecuencias (de 63 chips) superpuesta. Alineada a su derecha se ha incluido la gráfica resultante empleando la versión binaria de la secuencia caótica de trabajo del punto 4.1 (con x_0=0.3), es decir, cuantificada a niveles NRZ polar +/-1.



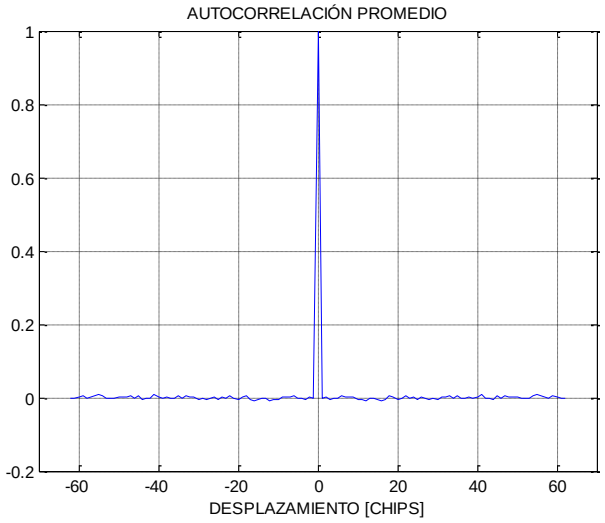
a) Secuencia PN de 1023 chips.



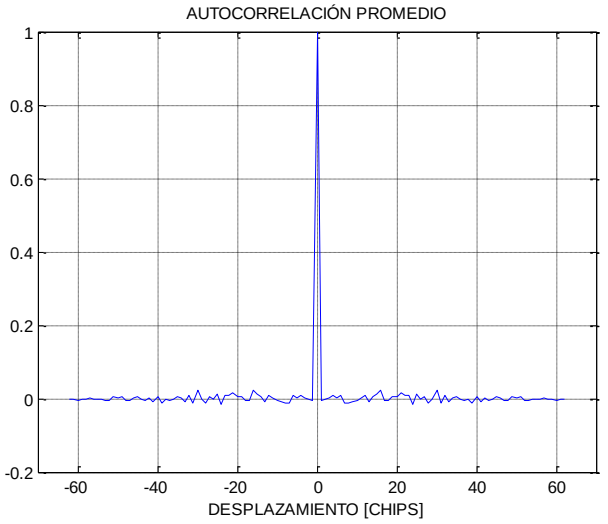
b) Secuencia caótica binaria.

Figura 4-58. Comparativa de fluctuaciones de la autocorrelación parcial entre una secuencia PN de periodo largo y la secuencia caótica binaria de trabajo.

Se comprueba que las gráficas de la secuencia caótica binaria presentan mayor nivel de fluctuación, si bien, se trata de gráficas bastante parecidas. Como consecuencia de ello, el promediado de las fluctuaciones (es decir, de los cien trazos de autocorrelación parcial de la secuencia indefinida) muestra un suelo ligeramente más plano en el caso de la secuencia PN, según se observa a continuación.



a) Secuencia PN de 1023 chips.



b) Secuencia caótica binaria.

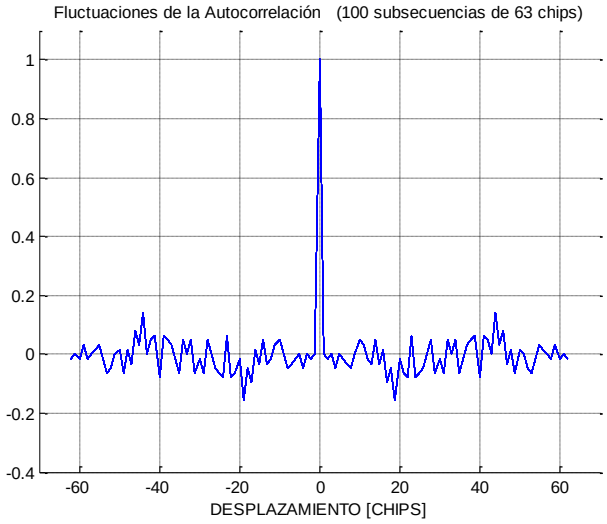
Figura 4-59. Comparativa del promedio de las fluctuaciones de la autocorrelación parcial entre una secuencia PN de periodo largo y la secuencia caótica binaria de trabajo.

Las gráficas de ambas comparativas pretenden ilustrar el comportamiento pseudoaleatorio de la secuencia PN de longitud máxima, que se asemeja al de una secuencia caótica indefinida. En este

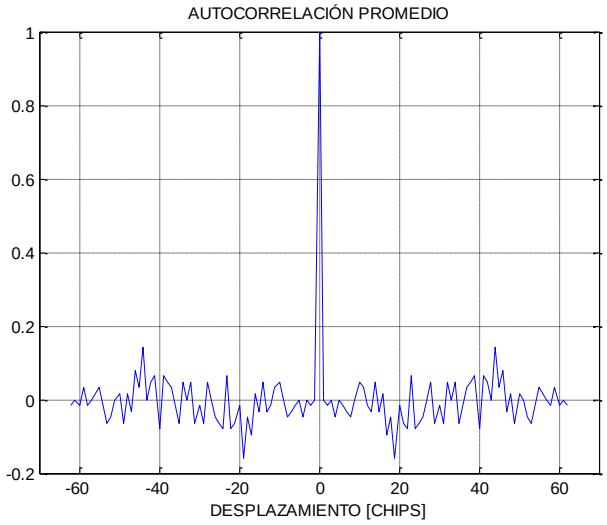
sentido, la secuencia caótica podría asimilarse[14] a una señal de información (desconocida y, por tanto, de naturaleza aleatoria), de tal modo que la secuencia PN "emula" ese comportamiento aleatorio.

Más allá de estas consideraciones, la gráfica anterior de la autocorrelación promedio no puede tomarse como representativa de la autocorrelación de la secuencia PN indefinida, según se razona a continuación.

En la simulación siguiente se ha repetido el experimento, pero considerando una secuencia PN de longitud máxima de 63 chips, en lugar de la de 1023 chips. En concreto, la correspondiente al polinomio generador $x^6+ x^5+ x^3+ x^2+1$, producida a partir del estado inicial *1 0 1 0 1 0* con el siguiente impulso de reloj, tomando como salida del generador el registro 1. En las gráficas siguientes se muestra el resultado:



a) Fluctuaciones de la autocorrelación.



b) Autocorrelación promedio.

Figura 4-60. Autocorrelación parcial de una secuencia PN de longitud máxima de 63 chips.

Puede observarse que la gráfica de fluctuaciones muestra un único trazo, es decir, ahora no se produce fluctuación alguna de la autocorrelación parcial de la secuencia. En consecuencia, dicha gráfica coincide con la de la autocorrelación promedio.

Nótese que en este experimento el tamaño de bloque o subsecuencia coincide con el periodo de la secuencia PN. Por tanto, las cien subsecuencias consideradas resultan iguales. En definitiva, a los efectos de la autocorrelación, resulta inútil tomar las cien subsecuencias, dado que, con una sóla, se dispone de toda la información.

Por el contrario, en el primer experimento, la ventana de correlación (63 chips) es insuficiente para "ver" todas las transiciones de la secuencia periódica, ya que su periodo es de 1023 chips, mucho mayor. Ello explica la obtención de gráficas similares a las de la secuencia caótica binaria.

Llegados a este punto, el mantenimiento de un paralelismo con el estudio llevado a cabo con las secuencias caóticas, sugiere tomar ahora una subsecuencia de 189 chips de la secuencia PN (indefinida), que, en este caso, se corresponden con tres ciclos de la misma.

[14] Ya que, realmente, es una señal determinista, cuyos valores vienen determinados por su ecuación de estado. No obstante, al hablar de "secuencia caótica indefinida" se alude a una secuencia aperiódica o de periodo muy largo, no determinado. Esto, junto a las consideraciones del estado inicial de partida, permite asimilarla a una señal de naturaleza aleatoria.

Salvo que se indique lo contrario, en los experimentos siguientes se empleará la misma secuencia de la simulación anterior (figura 4-60), es decir, la correspondiente al polinomio generador $x^6+ x^5+ x^3+ x^2+1$ (producida a partir del estado inicial *1 0 1 0 1 0* con el siguiente impulso de reloj, tomando como salida del generador el registro 1). En la gráfica siguiente se muestra la autocorrelación parcial de la secuencia PN.

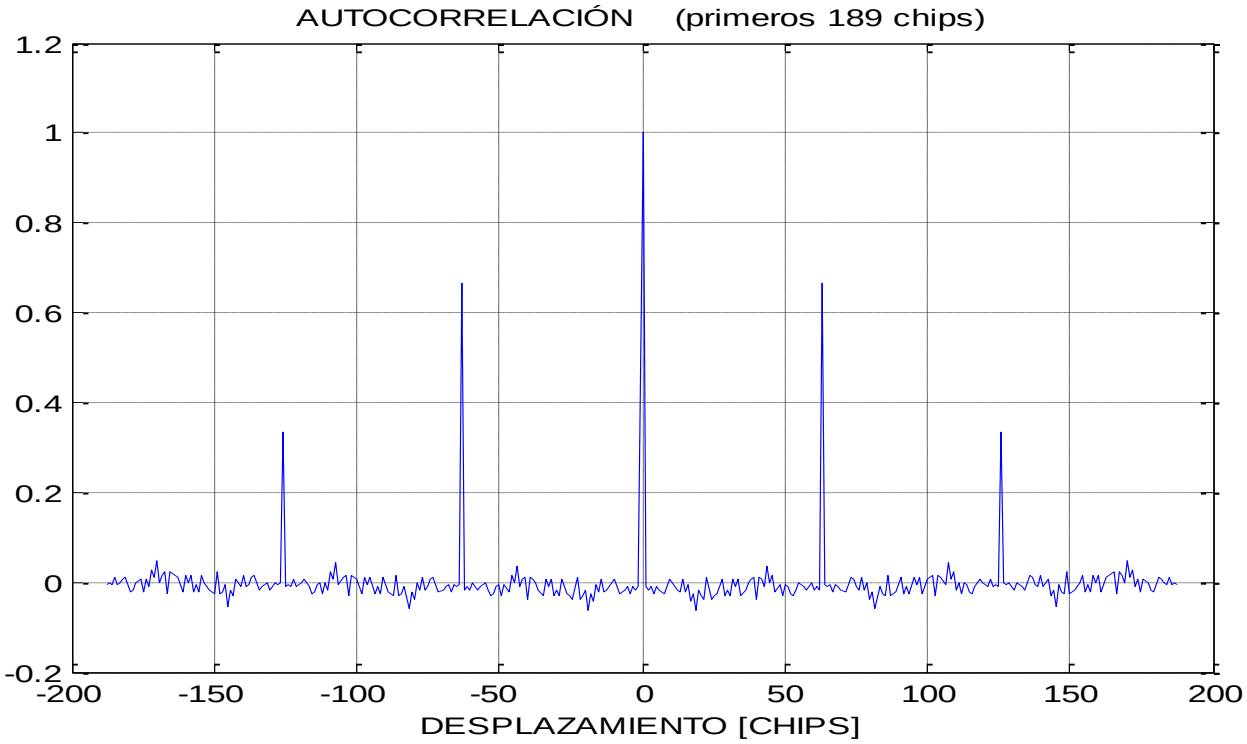
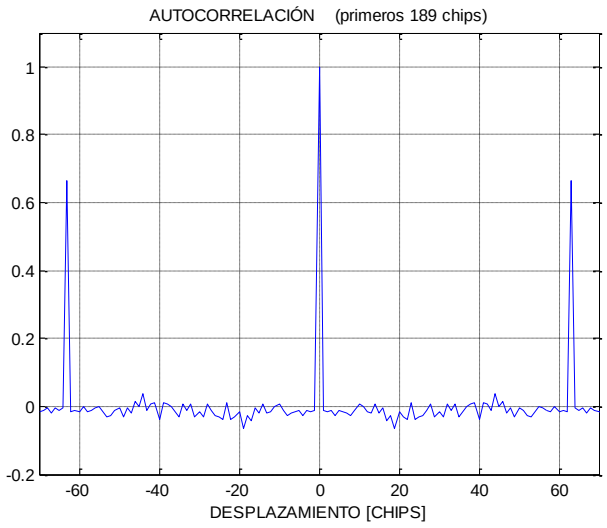
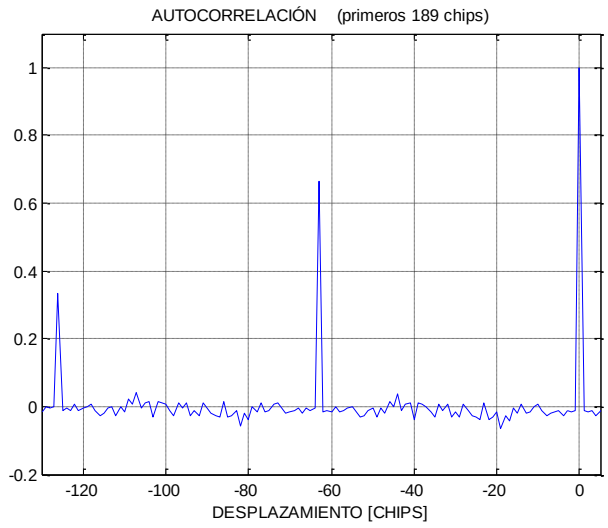


Figura 4-61. Autocorrelación parcial de la secuencia PN de trabajo empleando una longitud de 3 ciclos.

Puede observarse la aparición de dos nuevos picos de autocorrelación, tanto a la izquierda, como a la derecha del central, todos ellos equiespaciados. En las gráficas siguientes se muestra un detalle de la zona central de la gráfica y de la correspondiente a uno de los semiejes de abscisas.



a) Desplazamientos inferiores a 70 chips.



b) Semieje izquierdo de τ (-130 < τ [chips] < 5).

Figura 4-62. Detalles de la gráfica de la figura 4-61.

Puede observarse que los picos aparecen en los desplazamientos múltiplos de la longitud (en chips) del periodo de la secuencia. Es decir, en ±63 chips y ±126 chips.

En la siguiente tabla se muestran los valores de los máximos de la gráfica de la figura 4-61, comprobándose que la amplitud del segundo pico se corresponde con la interpolación lineal de las amplitudes del pico principal y del tercer pico.

$\tau < 0$		$\tau = 0$	$\tau > 0$	
Tercer pico	**Segundo pico**	**Máximo**	**Segundo pico**	**Tercer pico**
0.3333	0.6667	1	0.6667	0.3333

Tabla 4-5. Valores máximos de autocorrelación parcial de la secuencia PN de trabajo con una longitud de 3 ciclos.

A continuación se repite la misma simulación, pero considerando una subsecuencia de 10 ciclos de la secuencia PN.

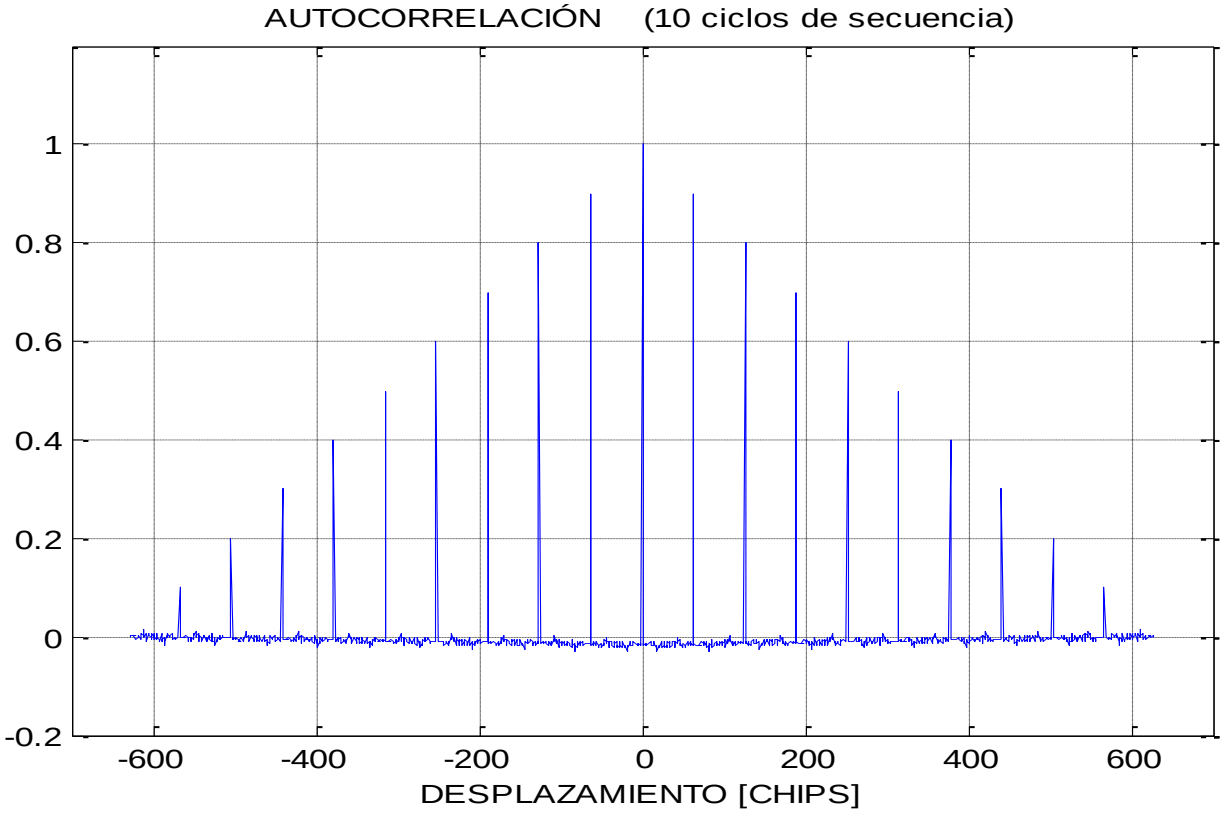
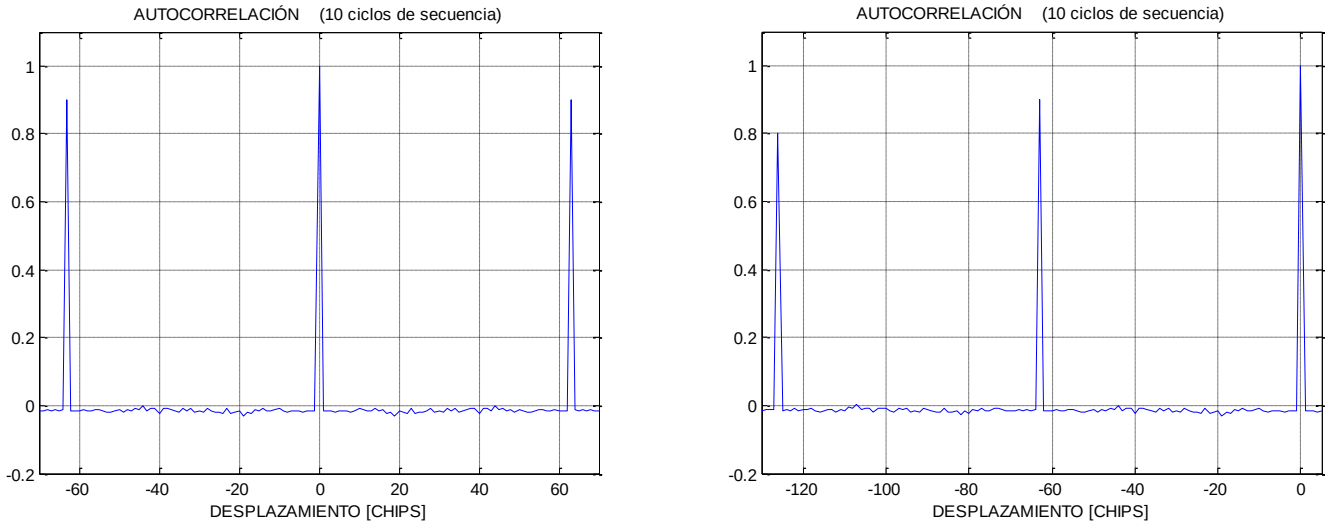


Figura 4-63. Autocorrelación parcial de la secuencia PN de trabajo empleando una longitud de 10 ciclos.



a) Desplazamientos inferiores a 70 chips. **b) Semieje izquierdo de τ (-130 < τ [chips] < 5).**

Figura 4-64. Detalles de la gráfica de la figura 4-63.

Puede observarse en la figura 4-64 que, en esta nueva simulación, la amplitud del segundo pico se aproxima a la del máximo. Lo mismo sucede con las amplitudes del tercer y segundo pico. A fin de ilustrar esta cuestión, en la siguiente tabla se muestran los valores de los máximos de la gráfica de la figura 4-63, obviándose los correspondientes a uno de los semiejes de abscisas, dada la simetría de la función.

Puesto de los picos por su amplitud									
1º	**2º**	**3º**	**4º**	**5º**	**6º**	**7º**	**8º**	**9º**	**10º**
1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1

Tabla 4-6. Valores máximos de autocorrelación parcial de la secuencia PN de trabajo con una longitud de 10 ciclos.

Se comprueba, de nuevo, que la amplitud de los picos intermedios se corresponde con la interpolación lineal de las amplitudes del pico principal y del último pico.

Por otra parte, con esta simulación se concluye que habrá en cada semieje de τ tantos picos de autocorrelación como ciclos se hayan considerado en la ventana de correlación, siendo el pico central común para ambos semiejes. Dicho en otras palabras, habrá en cada semieje de τ tantos picos como ciclos contenga la subsecuencia considerada.

Finalmente, se aportan las gráficas resultantes de la simulación considerando 100 ciclos de la secuencia PN.

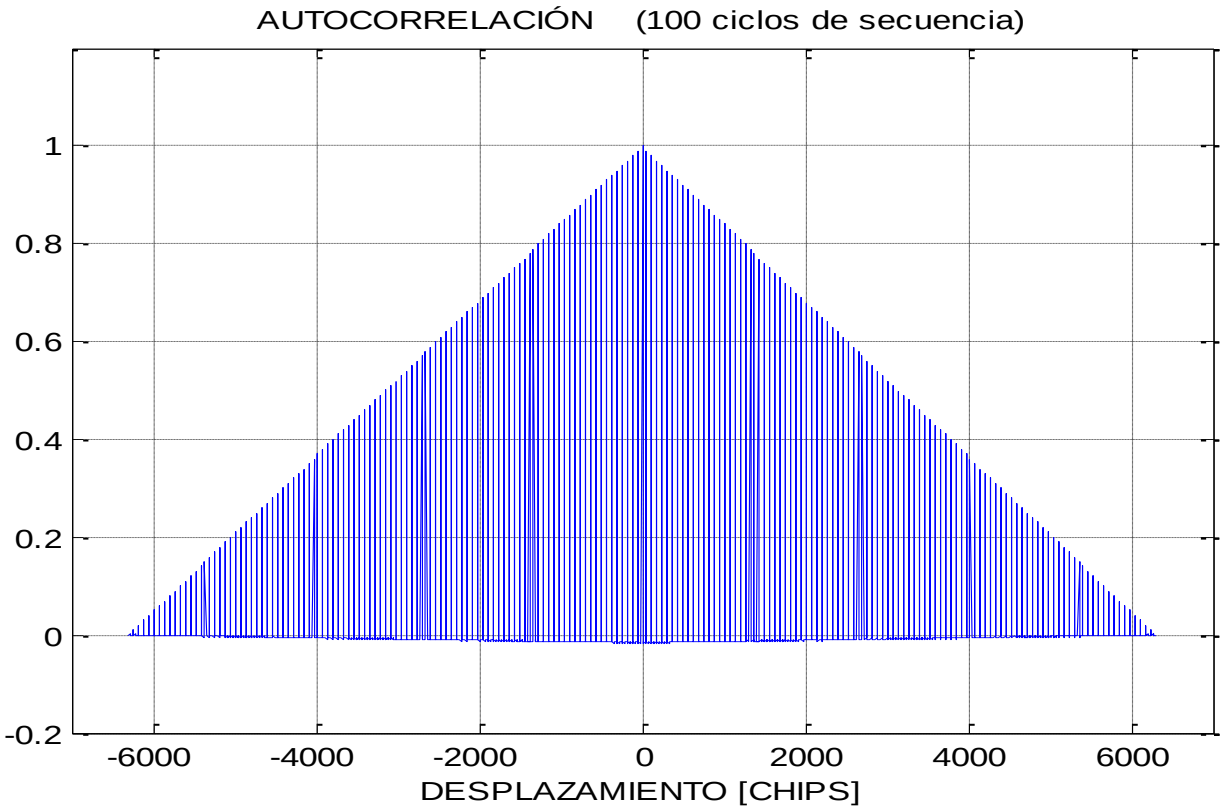
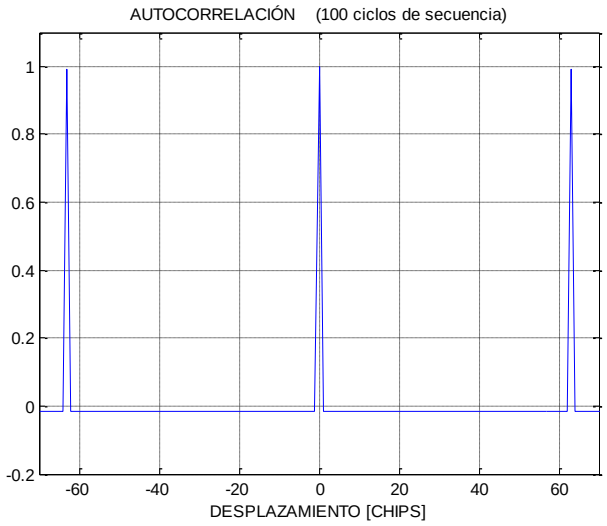
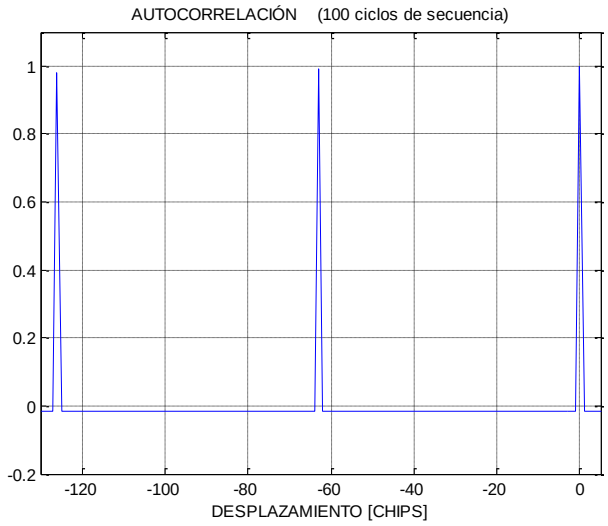


Figura 4-65. Autocorrelación parcial de la secuencia PN de trabajo empleando una longitud de 100 ciclos.



a) Desplazamientos inferiores a 70 chips.



b) Semieje izquierdo de τ (-130 < τ [chips] < 5).

Figura 4-66. Detalles de la gráfica de la figura 4-65.

En la figura 4-65 se observa, con claridad, el triángulo que describen gráficamene las envolventes de los picos de autocorrelación de las distintas réplicas, según se ha demostrado numéricamente mediante las tablas 4-5 y 4-6.

Los distintos picos surgen como consecuencia de que para desfases múltiplos del periodo (de la secuencia PN) dos réplicas de la subsecuencia considerada presentarían alineados gran cantidad de sus chips. Lógicamente, cuanto más desplazada se encuentre una réplica respecto de la otra, menos chips tendrán ocasión de alinear en los desfases múltiplos del periodo. Por tanto, este suceso ocurrirá cualesquiera que sea la secuencia PN considerada, es decir, independientemente de su longitud, se trate o no de una secuencia de longitud máxima (según quedará también ilustrado con alguno de los experimentos siguientes).

Sin perjuicio de lo anterior, puede observarse que, en esta ocasión, los dos picos de autocorrelación más próximos al central presentan, prácticamente, su misma amplitud. En definitiva, puede ya concluirse que la autocorrelación de una secuencia PN indefinida es una función periódica, según ilustra la gráfica siguiente, obtenida a partir de una subsecuencia de 1000 ciclos de la secuencia de trabajo.

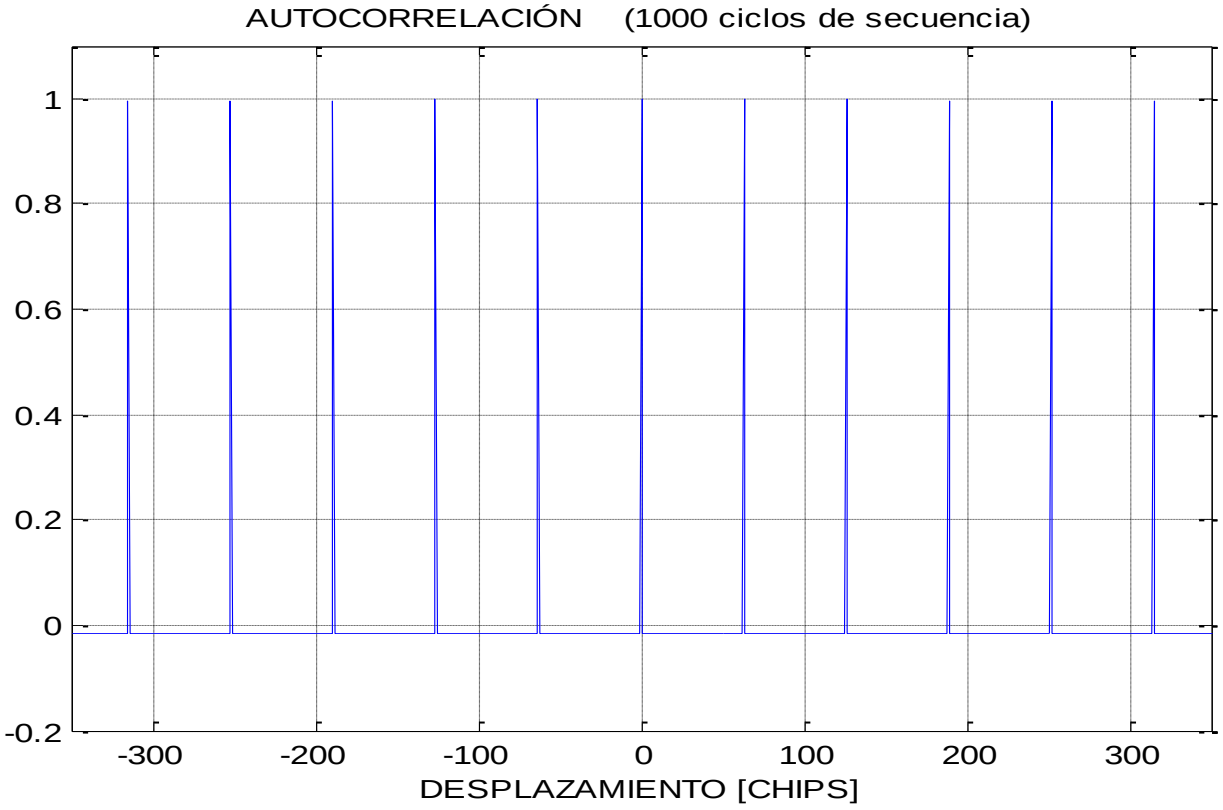
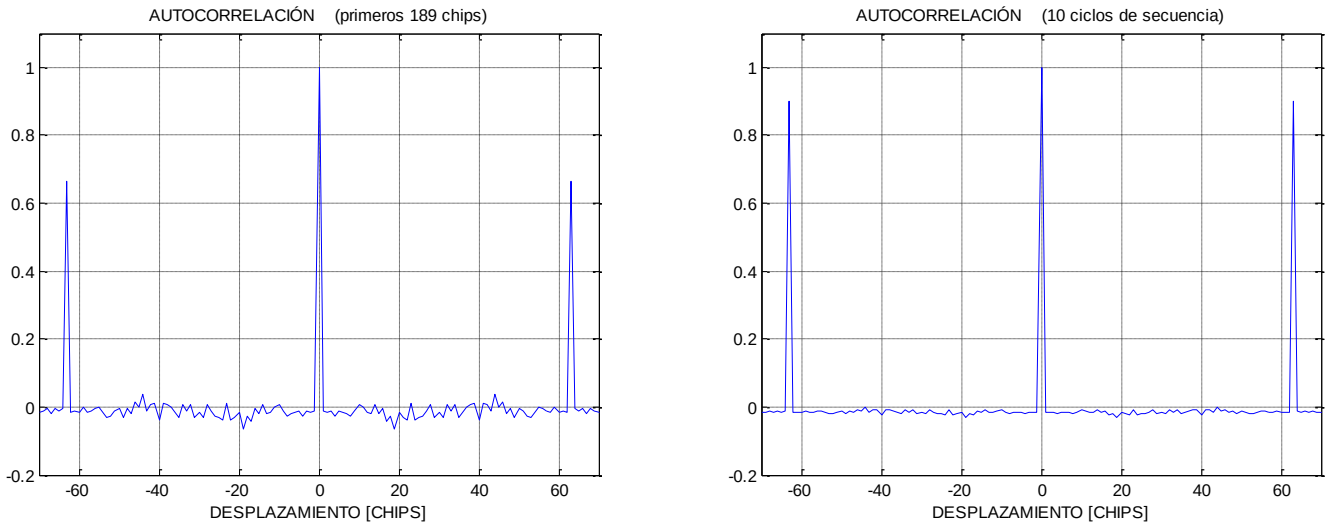


Figura 4-67. Detalle de la autocorrelación parcial de la secuencia PN de trabajo empleando una longitud de 1000 ciclos.

El análisis realizado sugiere que, para obtener una buena aproximación de la función de autocorrelación de una secuencia PN indefinida, mediante simulación, no es suficiente considerar un único periodo de secuencia PN, sino que ha de ser un número suficientemente grande de ciclos, debiéndose realizar la observación en el entorno del pico central.

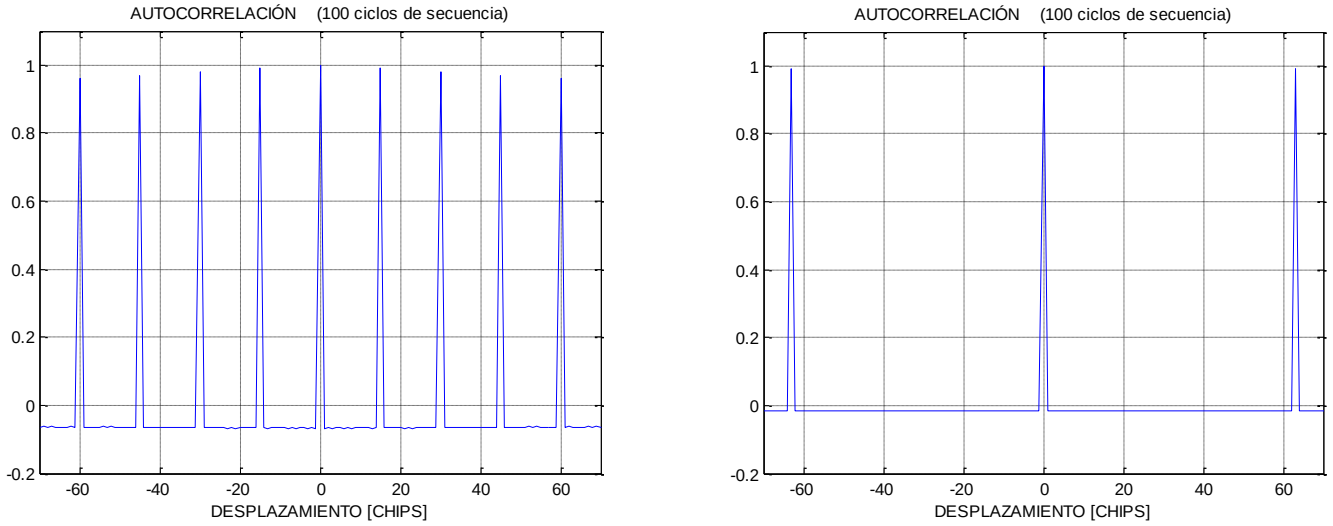
Por otra parte, se ha podido comprobar como, a medida que aumenta el número de ciclos considerados, al mismo tiempo que se constituye la amplitud de los picos adyacentes al principal, se va formado también un suelo o pedestal de autocorrelación, según ilustra la comparativa siguiente, hasta que llega a ser gráficamente plano.



a) 3 ciclos de secuencia. **b) 10 ciclos de secuencia.**

Figura 4-68. Comparativa del suelo de autocorrelación de la secuencia PN de trabajo tomando distinto número de ciclos en la ventana de correlación.

Tras el análisis anterior, cabe plantearse cómo varía el pedestal de autocorrelación en función de la longitud de la secuencia PN considerada. Para dilucidar esta cuestión, además de la secuencia de trabajo de 63 chips, se va considerar la secuencia PN de longitud máxima de 15 chips correspondiente al polinomio generador x^4+x+1, producida a partir del estado inicial *1 0 1 0* con el siguiente impulso de reloj, tomando como salida del generador el registro 1. En la figura siguiente se muestra la comparativa, considerando 100 ciclos en la ventana de correlación:



a) Secuencia de 15 chips. **b) Secuencia de 63 chips.**

Figura 4-69. Comparativa del suelo de autocorrelación de secuencias PN de longitud máxima de distinto periodo.

La comparativa superior muestra claramente como, al aumentar la longitud del periodo de la secuencia, disminuye el pedestal de autocorrelación, en el sentido de que se aproxima más a cero. Puede observarse a simple vista que, al menos, se ha reducido por tres.

Finalmente, cabe plantearse también cómo varía el pedestal (y la gráfica, en general) en función de la amplitud *V* de la secuencia polar. De este modo, en la gráfica siguiente se ha considerado una amplitud de *V*=2 en la secuencia PN de 63 chips de trabajo.

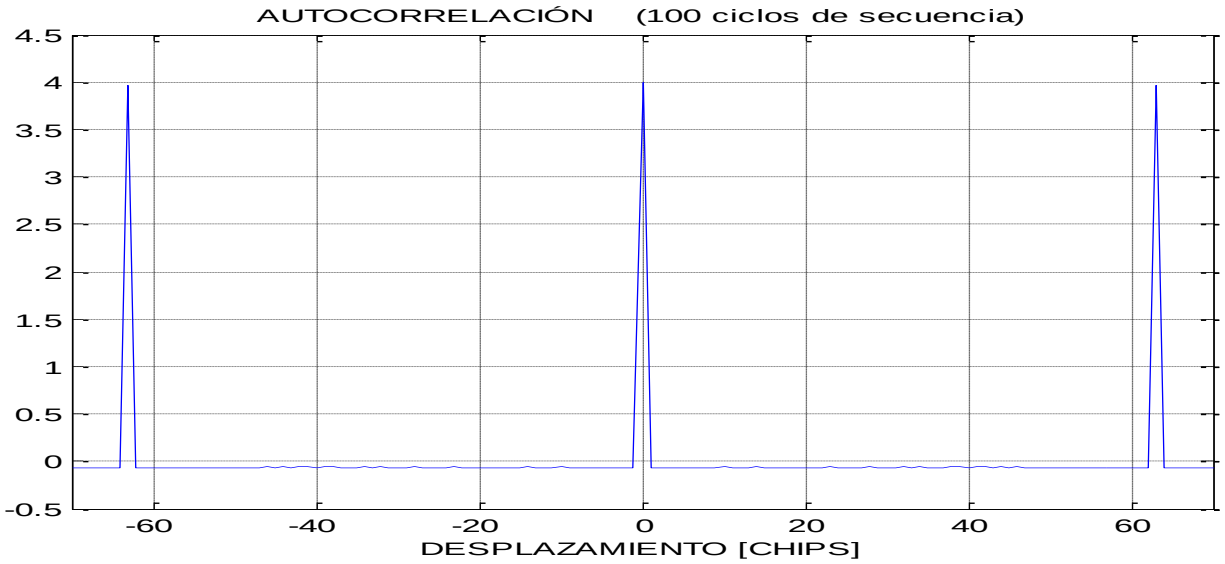
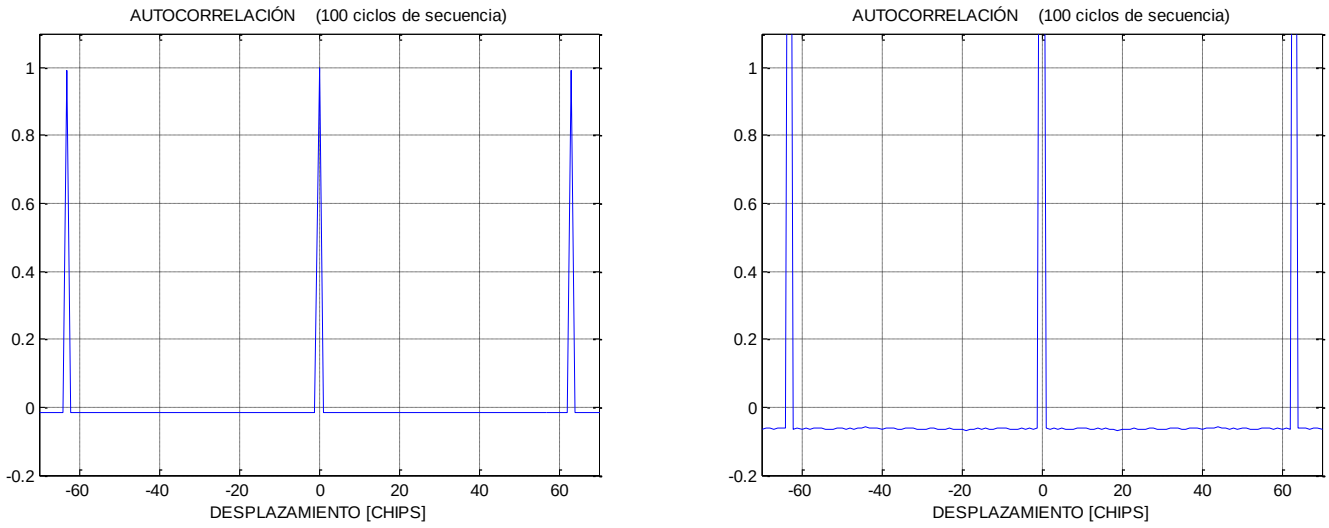


Figura 4-70. Detalle de la autocorrelación parcial de la secuencia PN de trabajo para una amplitud de *V*=2.

Puede observarse que ahora los máximos de la función de autocorrelación de la secuencia PN indefinida toman el valor de 4, en lugar de 1. Dicho de otro modo, se comprueba que la amplitud de los mismos resulta ser V^2, es decir, el valor de potencia media de la señal, según se determinó en los estudios de potencia del apartado 4.1.2.

A fin de determinar cómo afecta al pedestal de autocorrelación la variación de la amplitud de la secuencia, en la figura siguiente se realiza la comparativa de gráficas resultantes en los casos de *V*=1 y *V*=2, empleando la misma escala.



a) *V*=1. **b) *V*=2.**

Figura 4-71. Comparativa del suelo de autocorrelación con distinta amplitud *V* de la secuencia PN de trabajo.

Se comprueba cómo el pedestal se hace mayor (más negativo) al aumentar la amplitud de la señal. A simple vista, la comparativa ya sugiere que ha quedado multiplicado por cuatro, como así confirmarán los análisis cuantitativos incluidos más adelante.

A fin de corroborar todas las conclusiones anteriores con una longitud de periodo diferente, a continuación se va a considerar la secuencia PN de longitud máxima de 1023 chips correspondiente al polinomio generador $x^{10}+x^8+x^3+x^2+1$, producida a partir del estado inicial *1 0 1 0 1 0 1 0 1 0* con el siguiente impulso de reloj, tomando como salida del generador el registro 1. De nuevo, se ha considerado una amplitud V =2 de la señal polar. En la gráfica siguiente se muestra el resultado, considerando 1000 ciclos de la secuencia:

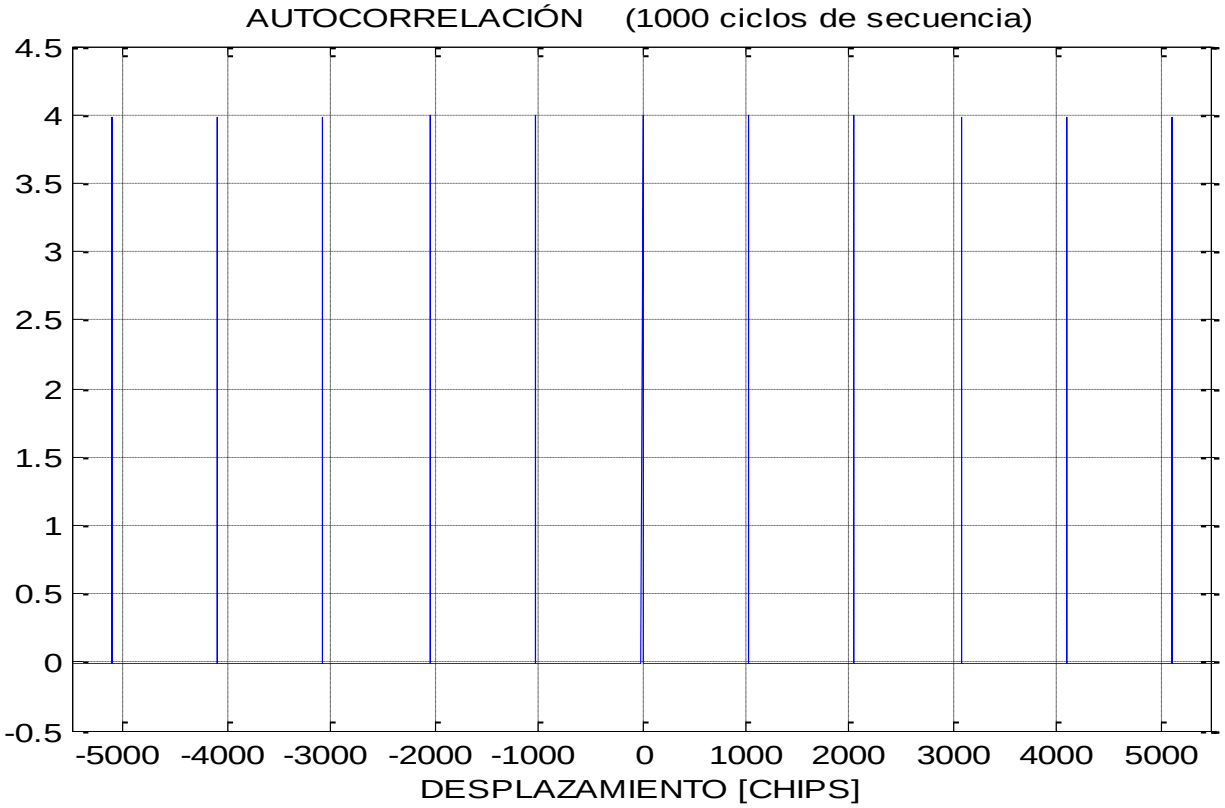
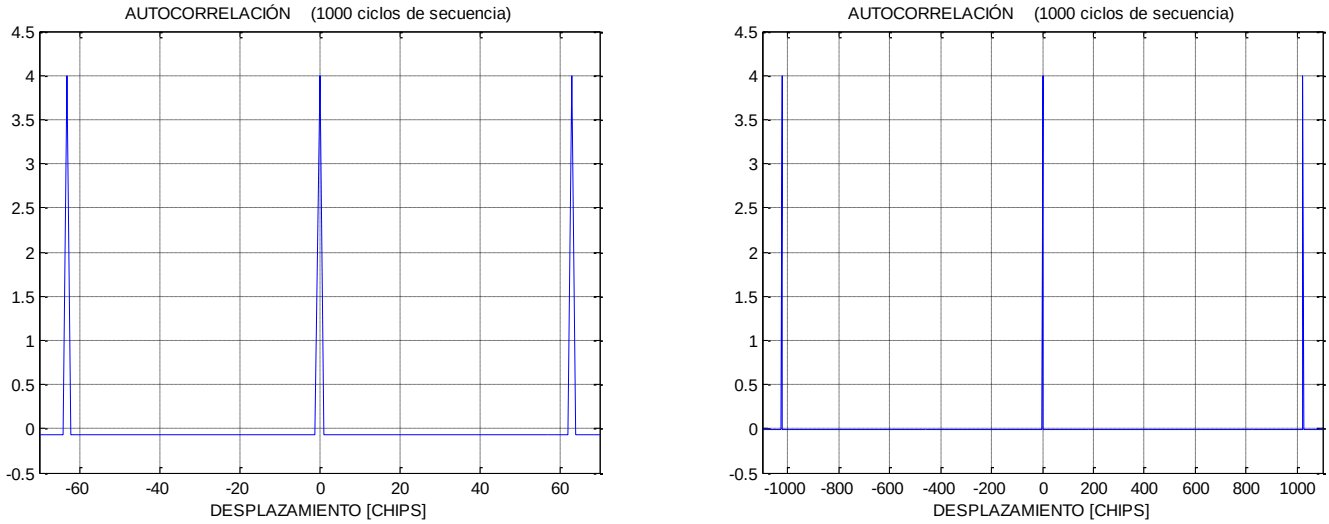


Figura 4-72. Detalle de la autocorrelación parcial de una secuencia PN de longitud máxima de 1023 chips con *V*=2.

Según se ha razonado anteriormente, esta gráfica puede tomarse como una porción de la función de autocorrelación de la secuencia PN indefinida. Puede observarse que los máximos se encuentran posicionados en los múltiplos enteros de la longitud (en chips) del periodo de la secuencia. Por tanto, se concluye que la autocorrelación de una secuencia PN indefinida es una función periódica de periodo L, al igual que la secuencia.

Se muestra a continuación la comparativa, en las mismas condiciones, con la secuencia de trabajo de 63 chips, pudiéndose apreciar, de nuevo, como el suelo de autocorrelación disminuye (aproximándose a cero) al aumentar la longitud del periodo de la secuencia.



a) Secuencia de 63 chips. **b) Secuencia de 1023 chips.**

Figura 4-73. Comparativa de la región central de la función de autocorrelación de dos secuencias PN de distinta longitud con *V*=2.

Las tablas siguientes constituyen un resumen de los experimentos realizados para el estudio y caracterización del pedestal de autocorrelación. En ellas se ha registrado el valor promediado del pedestal para dos amplitudes distintas de la secuencia, permitiendo determinar que su valor teórico[15] resulta ser - V^2/L.

	Número de ciclos de la ventana de correlación					Valor Teórico
Periodo *L*	**1**	**10**	**100**	**1,000**	**10,000**	**$-V^2/L$**
7	-0.14285714	-0.14285714	-0.14285714	-0.14285714	-0.14285714	-0.14285714
15	-0.04761905	-0.06476190	-0.06647619	-0.06664762	-0.06666476	-0.06666667
63	-0.02508961	-0.01679467	-0.01596518	-0.01588223	-0.01587394	-0.01587302
1023	-0.00067145	-0.00094691	-0.00097446	-0.00097721		-0.00097752

Tabla 4-7. Valor promedio del pedestal de la autocorrelación para una amplitud de señal de *V*=1.

[15] Con 'valor teórico' se alude a una secuencia indefinida, es decir, considerando un número infinito de ciclos. Dicho en otras palabras, haciendo tender a infinito el tamaño de la ventana de correlación (o la subsecuencia) empleada en la operación de autocorrelacion parcial de la secuencia.

	Número de ciclos de la ventana de correlación					Valor Teórico
Periodo *L*	**1**	**10**	**100**	**1,000**	**10,000**	**$-V^2/L$**
7	-0.57142857	-0.57142857	-0.57142857	-0.57142857	-0.57142857	-0.57142857
15	-0.19047619	-0.25904762	-0.26590476	-0.26659048	-0.26665905	-0.26666667
63	-0.10035842	-0.06717870	-0.06386073	-0.06352893	-0.06349575	-0.06349206
1023	-0.00268578	-0.00378764	-0.00389783	-0.00390884		-0.00391007

Tabla 4-8. Valor promedio del pedestal de la autocorrelación para una amplitud de señal de *V*=2.

En primer lugar, hay que decir que el pedestal de autocorrelación se aproxima a cero a medida que aumenta la longitud del periodo de la secuencia *L*, según se ha podido comprobar en las gráficas, dado que figura en el denominador de la expresión teórica.

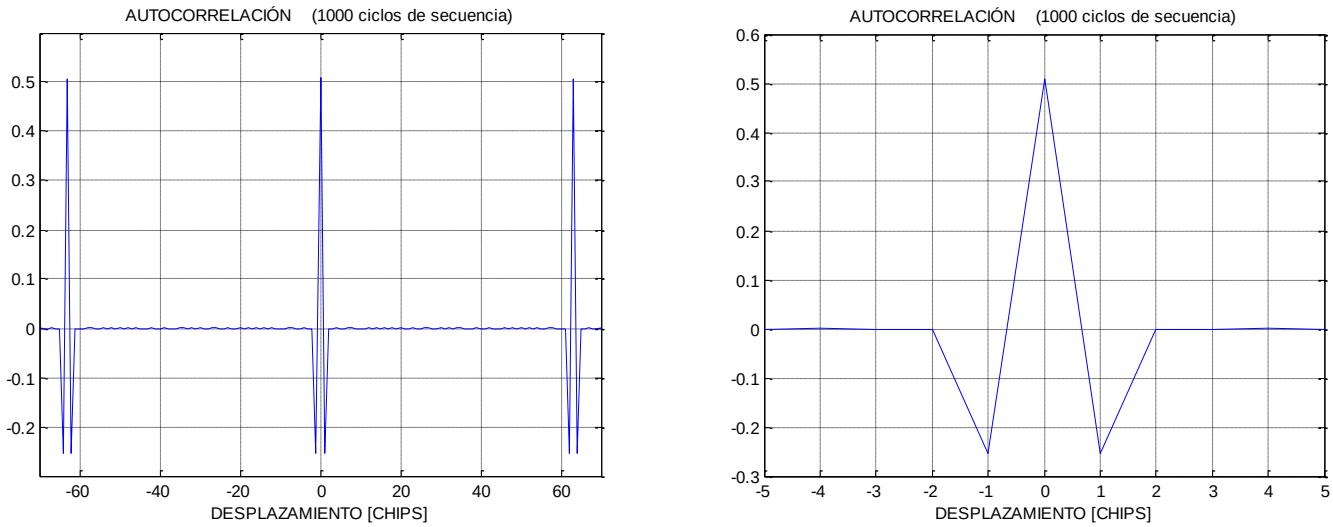
Puede observarse en las tablas que, conforme aumenta el número de ciclos considerados en la ventana de correlación, el valor promediado del pedestal de la autocorrelación se aproxima más al valor teórico. Por tanto, se corrobora que, para obtener mediante simulación una buena aproximación de la función de autocorrelación de una secuencia PN indefinida, no resulta suficiente considerar un único periodo de secuencia PN, sino que ha de ser un número suficientemente grande de ciclos, debiéndose realizar la observación en el entorno del pico central.

Para la determinación del valor teórico del piso de autocorrelación, además del aumento progresivo del número de ciclos considerados dentro de la ventana de correlación, ha sido necesario llevar a cabo el promediado de las muestras del mismo. A fin de minimizar el efecto del tamaño finito de las subsecuencias, se han considerado sólo las muestras correspondientes a la réplica principal de la función, es decir, las situadas entre el máximo y el segundo pico (a izquierda o derecha). De ellas, se han tomado únicamente la mitad más próxima al pico central, dado que las de la otra mitad estarían asociadas a la segunda réplica (a izquierda o derecha).

La aplicación del promediado es debida a que el valor del piso de autocorrelación oscila en función del desplazamiento (aunque sea de forma muy leve), siendo necesario deshacer esa dependencia para un análisis cuantitativo. No obstante, se ha podido comprobar en las gráficas que el piso de autocorrelación se suaviza al aumentar el número de ciclos de la ventana de correlación. De este modo, si el número de periodos considerados es lo suficientemente grande, el suelo de las réplicas principales resulta gráficamente plano. Por tanto, podría estimarse el valor teórico del pedestal, $-V^2/N$, sin necesidad de promediar, sobre la base de unas buenas simulaciones.

Este pedestal de autocorrelación es debido a la componente continua de la secuencia PN, producida por el hecho de que difiera en uno el número de '1' y '0' de cada ciclo. Lógicamente, al aumentar la longitud del periodo, el porcentaje de diferencia en el número de '1' y '0' se reduce, disminuyendo también el valor de la componente continua.

Para concluir el estudio de la autocorrelación de las secuencias PN se ha creído interesante razonar el empleo de la codificación NRZ polar con la secuencia lógica, frente a otros tipos de codificación fuente. De este modo, en la figura siguiente se ilustra el efecto, sobre la autocorrelación de la secuencia PN de trabajo (63 chips), del empleo de la codificación NRZ bipolar +/-1.

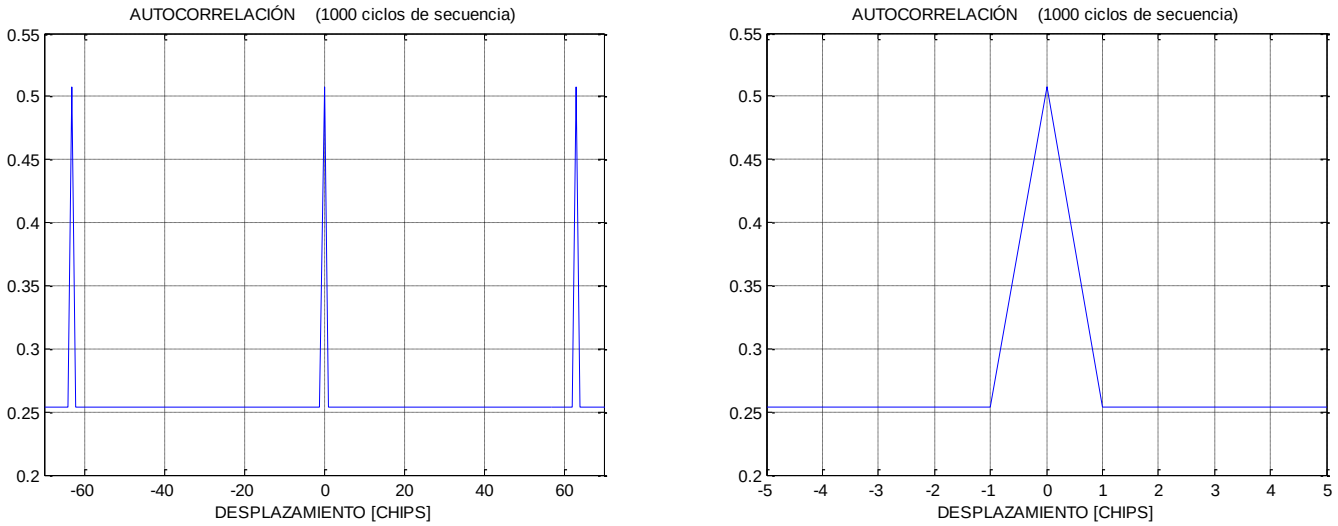


a) Desplazamientos inferiores a 70 chips. **b) Desplazamientos inferiores a 5 chips.**

Figura 4-74. Detalles de la región central de la función de autocorrelación de la secuencia PN de trabajo con codificación fuente bipolar +/-1.

Puede observarse la aparición de importantes picos negativos de autocorrelación en los desplazamientos de +/-1 chip de la posición de los máximos.

En la gráfica siguiente se muestra la situación en el caso de emplear una codificación NRZ unipolar de amplitud 1, es decir, tomando como nivel de señal los niveles lógicos (‘0’/‘1’), directamente.



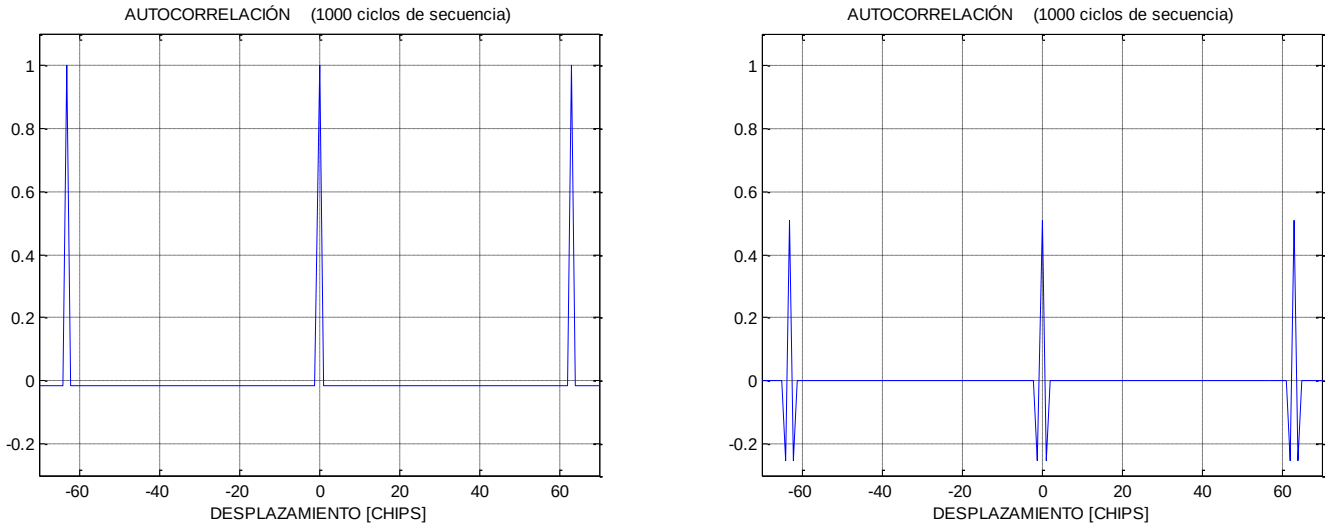
a) Desplazamientos inferiores a 70 chips. **b) Desplazamientos inferiores a 5 chips.**

Figura 4-75. Detalles de la región central de la función de autocorrelación de la secuencia PN de trabajo con codificación fuente unipolar de amplitud *V*=1.

En este caso, a diferencia del anterior, no aparece ningún pico secundario de autocorrelación, al igual que en el caso de la codificación polar. Resulta lógico, dado que la secuencia tendría la misma forma de onda en ambos casos, con la salvedad de la adición de una componente continua en el caso unipolar. Dicha componente continua se plasma en la aparición de un importante pedestal positivo de autocorrelación, según se observa en la figura de la derecha.

Se desprende (del máximo de las gráficas) que la potencia media de las secuencias bipolar y unipolar es de 0.5, en tanto que la de la secuencia polar resultaba de 1. No obstante, salvando las consideraciones de potencia media, la amplitud de la secuencia es la misma en los tres casos: V=1. Es decir, que la potencia máxima instantánea es también la misma en los tres casos.

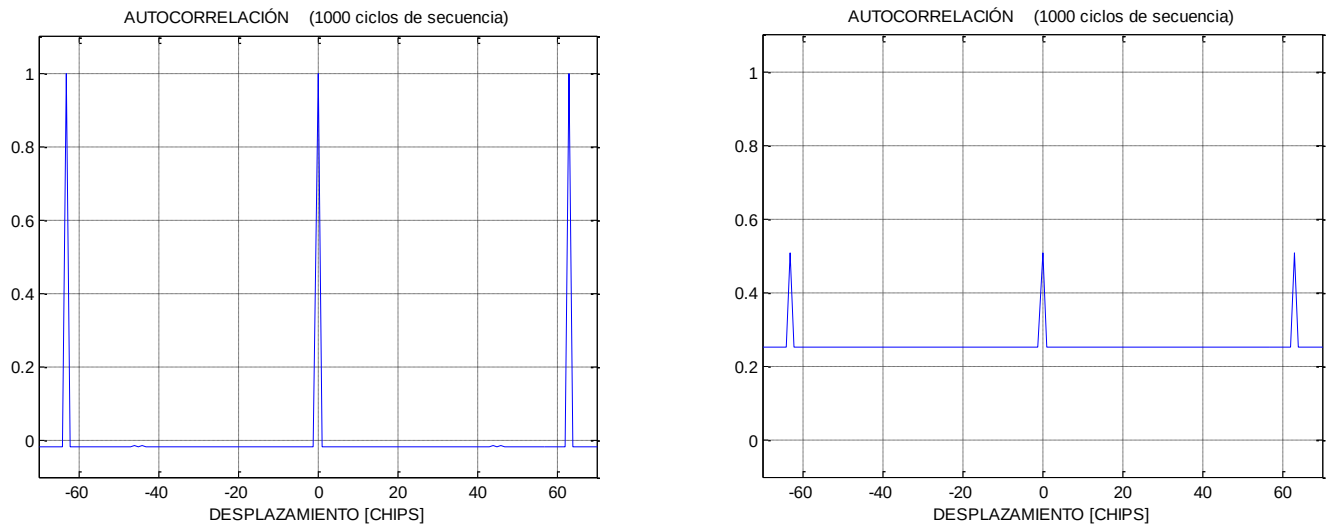
Bajo la perpectiva anterior, resulta razonable la realización de una comparativa directa de resultados. De este modo, en las figuras siguientes se lleva a cabo la comparativa de los casos bipolar y unipolar con el caso polar, haciendo uso de la misma escala gráfica.



a) Codificación NRZ polar. **b) Codificación NRZ bipolar.**

Figura 4-76. Comparativa de la región central de la función de autocorrelación de la secuencia PN de trabajo entre los casos de codificación fuente polar y bipolar de amplitud V=1.

Puede observarse que la autocorrelación de la secuencia bipolar no presenta pedestal de autocorrelación, dado que el número de '1' de las secuencias de longitud máxima es siempre par, quedando perfectamente balanceado el número de niveles +1 y -1 en cada ciclo.



a) Codificación NRZ polar. **b) Codificación NRZ unipolar.**

Figura 4-77. Comparativa de la región central de la función de autocorrelación de la secuencia PN de trabajo entre los casos de codificación fuente polar y unipolar de amplitud V=1.

En los sistemas de espectro ensanchado de secuencia directa es deseable que exista la máxima amplitud en la función de autocorrelación entre su valor máximo y cero, además de que no existan picos secundarios importantes, razones éstas para descartar las codificaciones bipolar y unipolar en favor de la polar.

Por otra parte, resulta siempre deseable una componente continua lo más baja posible, descartándose, de nuevo, la codificación unipolar. En el caso polar, la pequeña componente continua (que denota el pedestal de autocorrelación) se compensa aumentando la longitud del periodo de la secuencia.

4.2.3 Caracterización de la correlación cruzada.

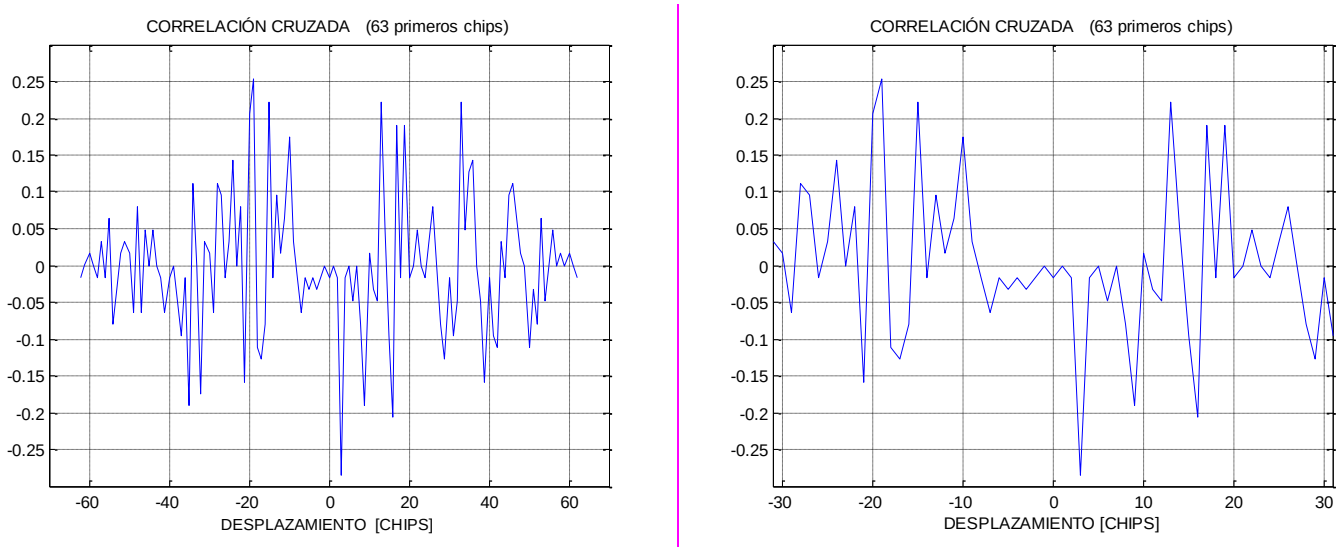
Se va comenzar este apartado siguiendo un análisis paralelo al efectuado inicialmente para la caracterización de la autocorrelación, que permita determinar si las conclusiones alcanzadas en cuanto a la simulación de la misma son también extrapolables a la función de correlación cruzada de secuencias PN indefinidas. En todas las simulaciones de este apartado se considerarán niveles de amplitud NRZ polar +/-1.

Para llevar a cabo el estudio se han tomado de ejemplo dos secuencias PN de longitud máxima de 63 chips. En concreto, las secuencias N^{os} 4 y 5 de la tabla A1-9, determinadas por los polinomios generadores siguientes (a partir del mismo estado inicial, *1 0 1 0 1 0*, con el siguiente impulso de reloj, tomando como salida del generador el registro 1).

O	*N*	*K*	$g = [\, g_1 \;\; g_2 \;\; g_3 \;\; \cdots \;\; g_{N-K-1} \;\; g_{N-K} \,]$	*p(x)*	*L*
4	6	1	0 0 1 1 1	$x^6 + x^5 + x^4 + x + 1$	63
5	6	1	0 1 1 0 1	$x^6 + x^4 + x^3 + x + 1$	63

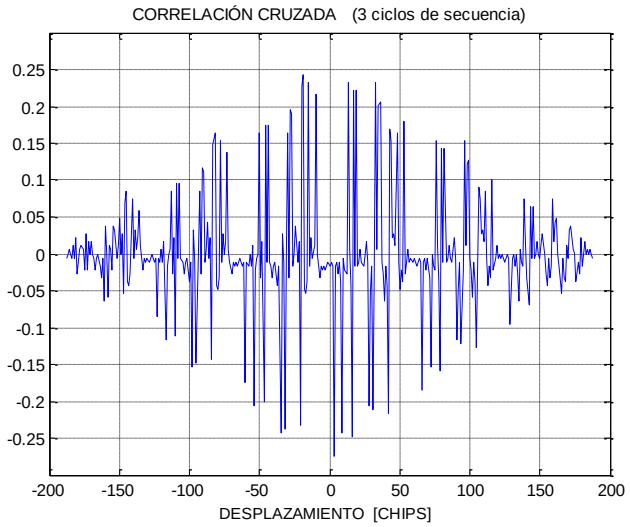
Tabla 4-9. Extracto de la tabla A1-9 con la pareja de secuencias de longitud máxima de 63 chips de interés.

En las figuras siguientes se muestran las gráficas de correlación cruzada de la pareja de subsecuencias (de igual tamaño,) de 1, 3, 10 y 100 ciclos de longitud, extraídas de las respectivas secuencias PN indefinidas.

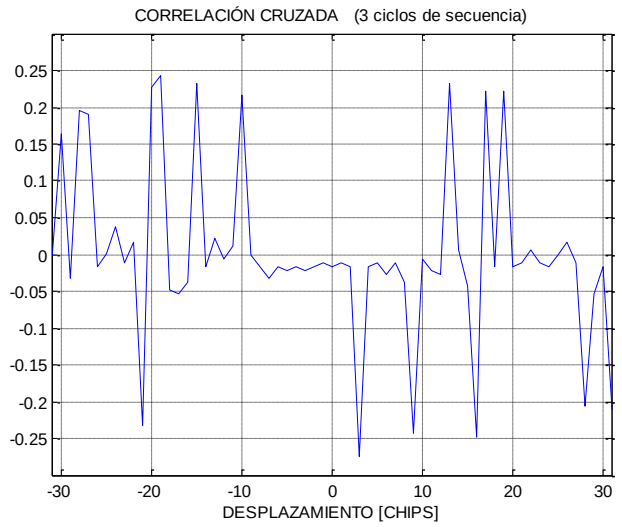


a) Gráfica completa. **b) Región central ($|\tau| \leq 31$ chips).**

Figura 4-78. Correlación de la pareja de subsecuencias de trabajo de 1 ciclo de longitud y detalle de la región central de la misma.

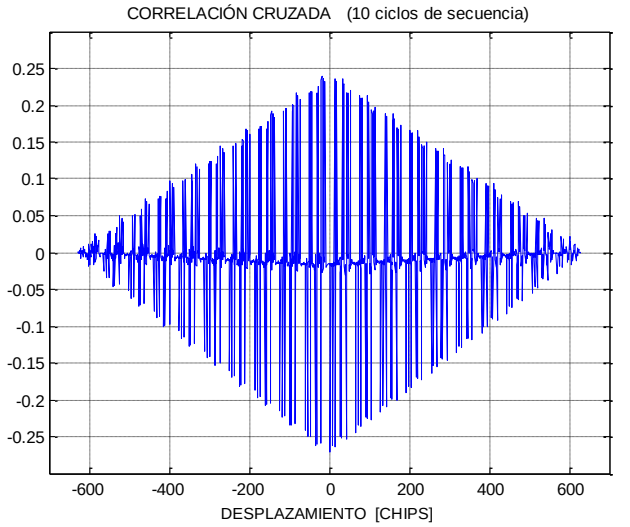


a) Gráfica completa.

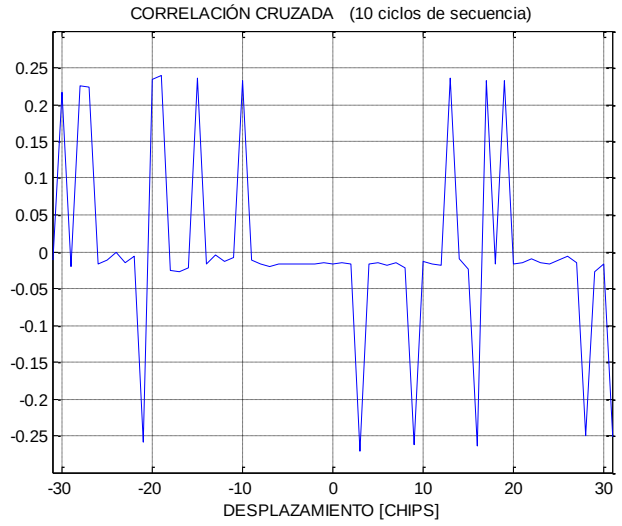


b) Región central ($|\tau| \leq 31$ chips).

Figura 4-79. Correlación de la pareja de subsecuencias de trabajo de 3 ciclos de longitud y detalle de la región central de la misma.

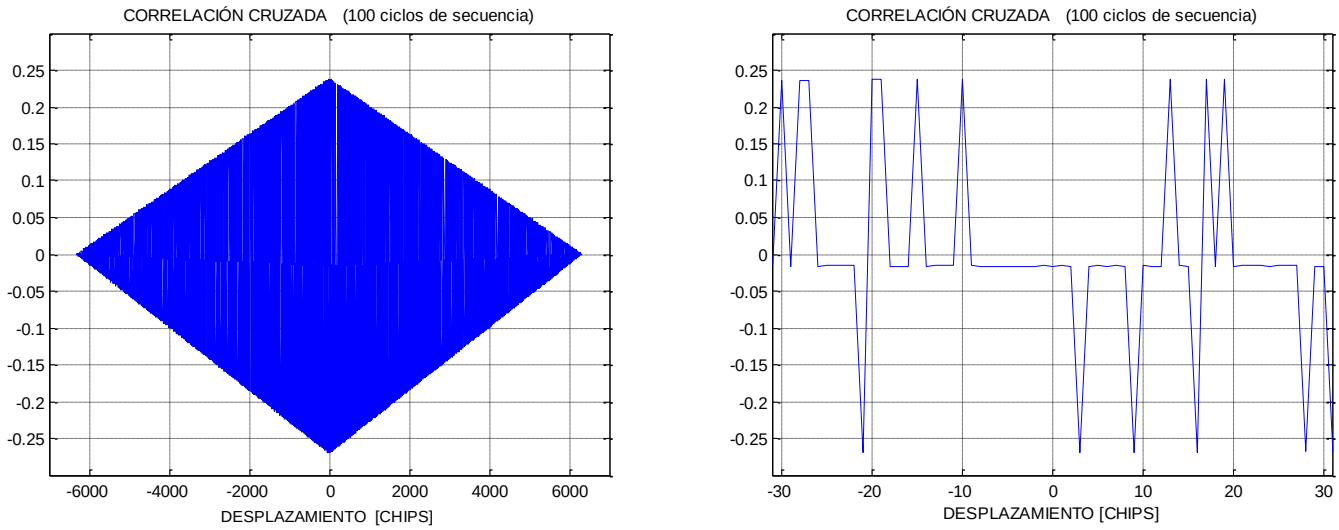


a) Gráfica completa.



b) Región central ($|\tau| \leq 31$ chips).

Figura 4-80. Correlación de la pareja de subsecuencias de trabajo de 10 ciclos de longitud y detalle de la región central de la misma.



a) Gráfica completa. **b) Región central ($|\tau| \leq 31$ chips).**

Figura 4-81. Correlación de la pareja de subsecuencias de trabajo de 100 ciclos de longitud y detalle de la región central de la misma.

Puede comprobarse, siguiendo la serie de gráficas de la region central, cómo se va conformando la función de correlación cruzada de la pareja de secuencias PN (indefinidas) a medida que aumenta el número de ciclos considerados de las mismas.

Se observa claramente que, tomando subsecuencias de 1 y 3 ciclos de longitud, la función no se encuentra debidamente formada (figuras 4-78b y 4-79b). Con subsecuencias de 10 ciclos de longitud ya se obtiene una aproximación razonable de la región central (figura 4-80b). Sin embargo, a poco que se ampliase el campo de observación de τ, la simulación no resultaría válida, según sugiere la correspondiente gráfica de la derecha (figura 4-80a), dado que el valor de los picos de correlación tendería a verse amortiguado conforme aumentase el desplazamiento τ considerado. Finalmente, tomando subsecuencias de 100 ciclos de longitud, se comprueba que el suelo de correlación de la región central ya no presenta ninguna oscilación (figura 4-81b), lo que sugiere que la aproximación gráfica seguiría siendo válida aunque se emplease una ventana de observación varias veces mayor.

En definitiva, al igual que en el caso de la autocorrelación, se concluye que, para obtener (mediante simulación) una buena aproximación de la función de correlación de dos secuencias PN indefinidas, no resulta suficiente considerar subsecuencias de un único ciclo de longitud, sino que han de ser de un número suficientemente grande de ciclos, debiéndose realizar la observación en la región central, es decir, en el entorno del origen de desplazamientos ($\tau = 0$).

En la gráfica siguiente se ha tomado una ventana de observación de la región central el triple de grande que en las simulaciones anteriores. A fin de obtener, en la ventana de observación, una buena aproximación de la función de correlación de la pareja de secuencias PN (indefinidas) de trabajo, se han empleado subsecuencias de 1000 ciclos de longitud.

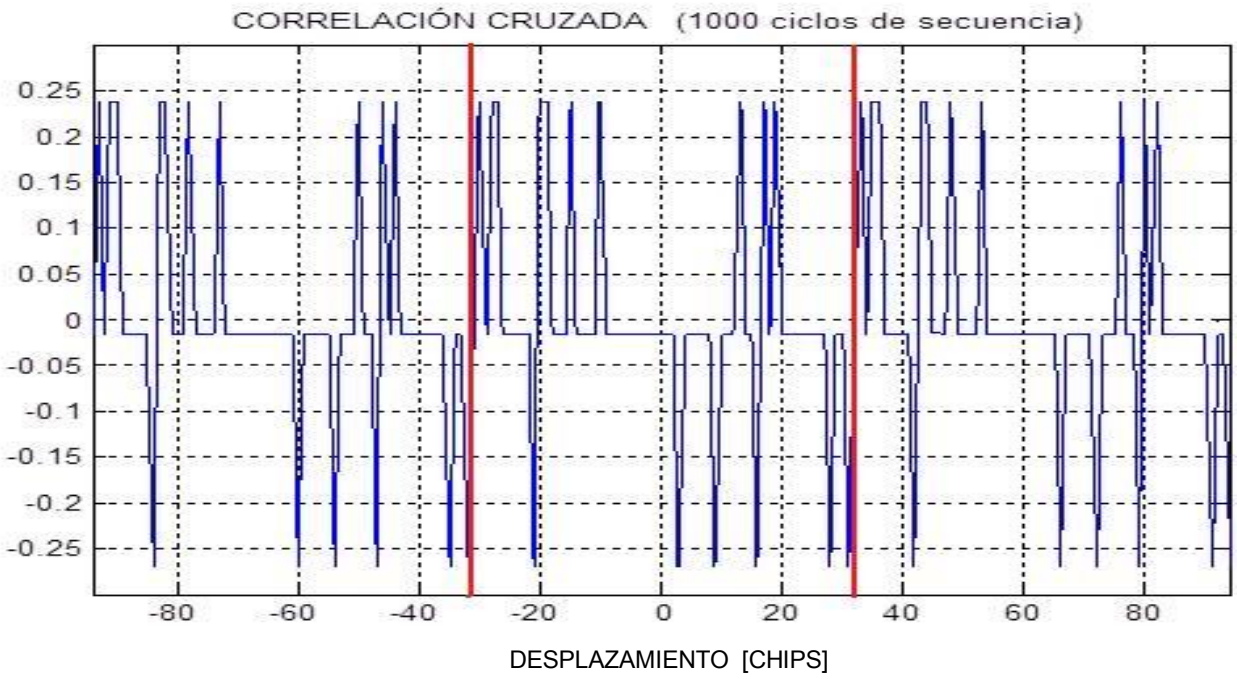


Figura 4-82. Detalle de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de trabajo ilustrando varios periodos de la misma en la ventana de observación.

Salvando las diferencias introducidas por los editores (gráfico y de texto), con ayuda de los trazos rojos, puede identificarse un patrón de valores consecutivos de la función que se repite tres veces en la gráfica. Por otra parte, se comprueba que dicho patrón se repite cada 63 chips de desplazamiento.

Por tanto, se concluye que la función de correlación cruzada de secuencias PN es una función periódica de periodo *L* chips, al igual que la secuencias y la autocorrelación de las mismas. A fin de ilustrarlo con mayor claridad, en la figura siguiente se ha reducido la ventana de observación, ajustándola a dos periodos de correlación.

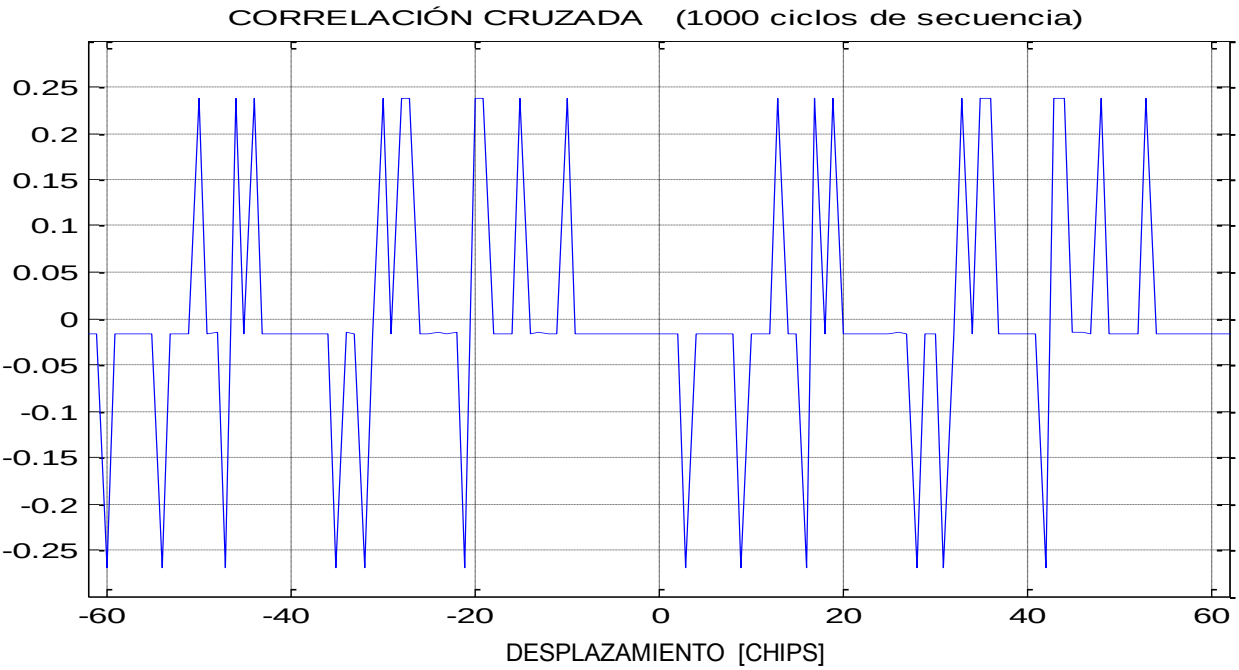


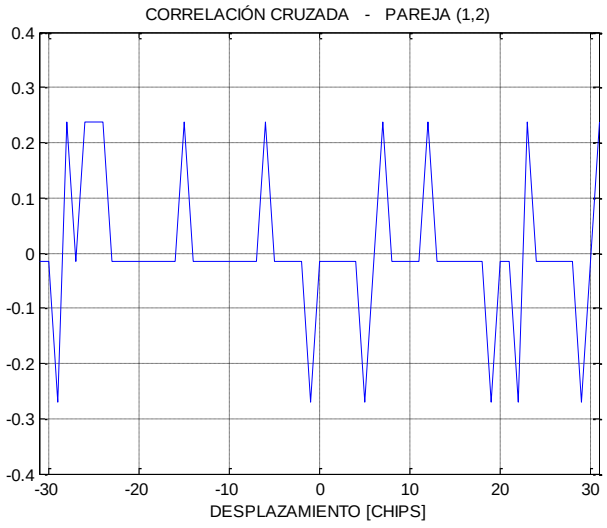
Figura 4-83. Detalle de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de trabajo ilustrando dos periodos de la misma en la ventana de observación.

De este modo, tomándose como referencias el extremo izquierdo de la gráfica y el origen de desplazamientos, y moviéndose hacia la derecha de la gráfica, se comprueba la existencia de dos periodos de la función de correlación cruzada.

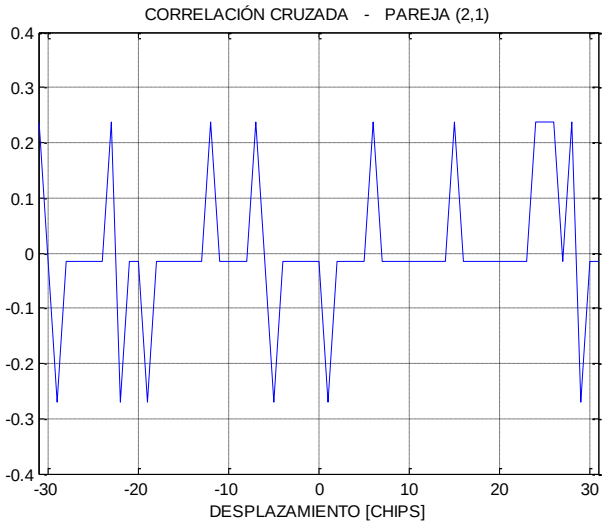
Para concluir este análisis de la correlación cruzada de secuencias PN, se va a obtener la correlación de todas las parejas de secuencias de longitud máxima de 63 chips, mostrando un único ciclo (centrado en el origen de desplazamientos), a fin de extraer las conclusiones pertinentes. Dichas secuencias se encuentran relacionadas en la tabla A1-9, siendo un total de 6.

Por tanto, puede constituirse una matriz de combinaciones de 6 filas por 6 columnas, es decir, de 36 elementos. Así, por ejemplo, en las tablas A2-5 y A2-6 se incluyen sendas matrices de cotas superiores e inferiores, es decir, de valores extremos de correlación cruzada de las distintas parejas de secuencias de 63 chips, conforme al orden de lista (*O*) establecido en la tabla A1-9. En dichas tablas de matrices se han suprimido los elementos de la diagonal principal, por estar referidos a la correlación de una secuencia consigo misma, es decir, a la autocorrelación. De este modo, resultan un total de 30 elementos o combinaciones posibles. En definitiva, 15 parejas de secuencias.

En el apartado 4.1.3 ya se concluyó la simetría especular del par de funciones de correlación asociadas a una pareja de secuencias cualesquiera tomadas en distinto orden ($\mathcal{R}_{c_1c_2}[\tau] = \mathcal{R}_{c_2c_1}[-\tau]$), sobre la base de que las secuencias caóticas no toman un conjunto discreto de valores. Es decir, que las secuencias PN encarnarían un caso particular de las anteriores. En todo caso, en las figuras siguientes se muestran alineadas ambas funciones de una misma pareja de secuencias, permitiendo corroborar el cumplimiento de la propiedad anterior en el caso de las secuencias PN.

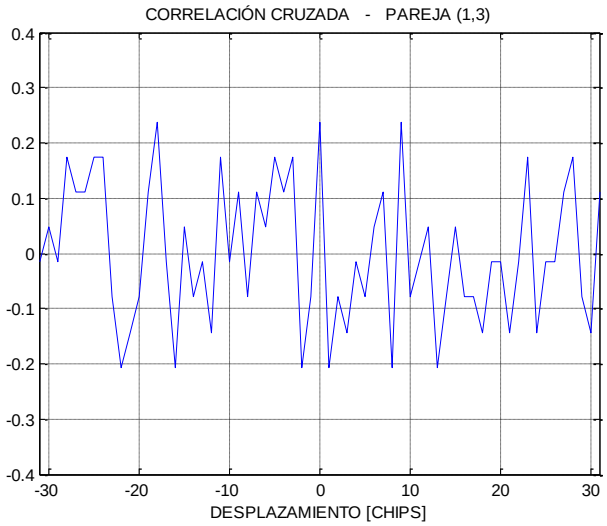


a) $\boldsymbol{R_{1,2}(\tau)}$.

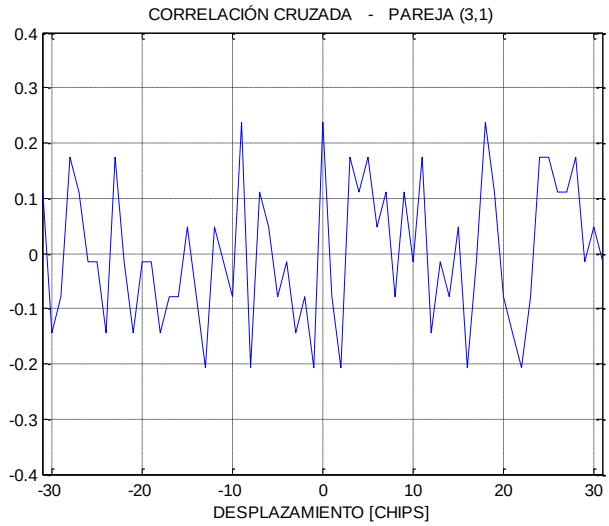


b) $\boldsymbol{R_{2,1}(\tau)}$.

Figura 4-84. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 1 y 2 de la tabla A1-9.

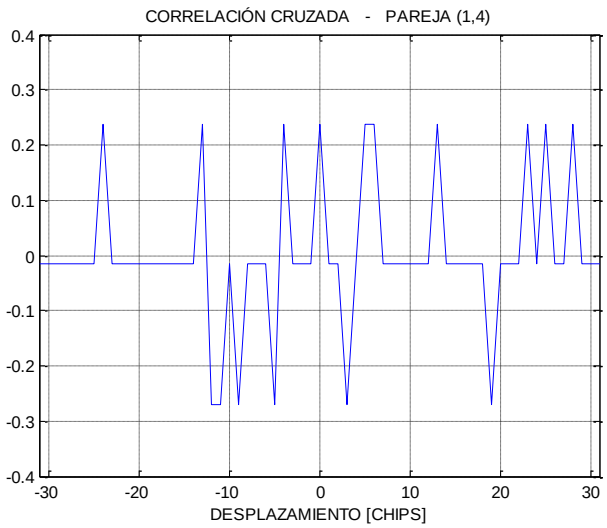


a) $R_{1,3}(\tau)$.

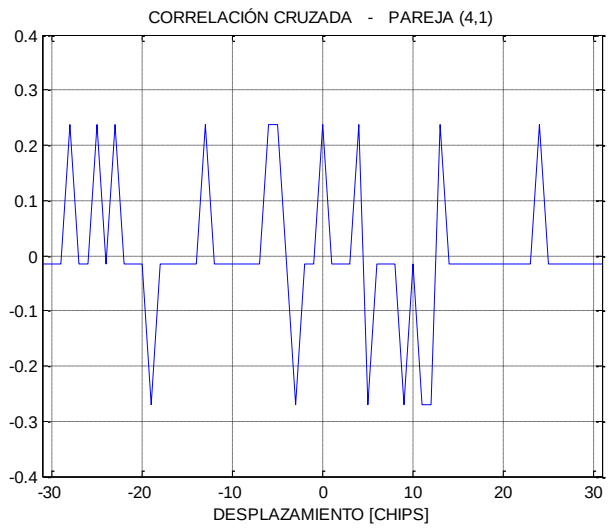


b) $R_{3,1}(\tau)$.

Figura 4-85. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 1 y 3 de la tabla A1-9.

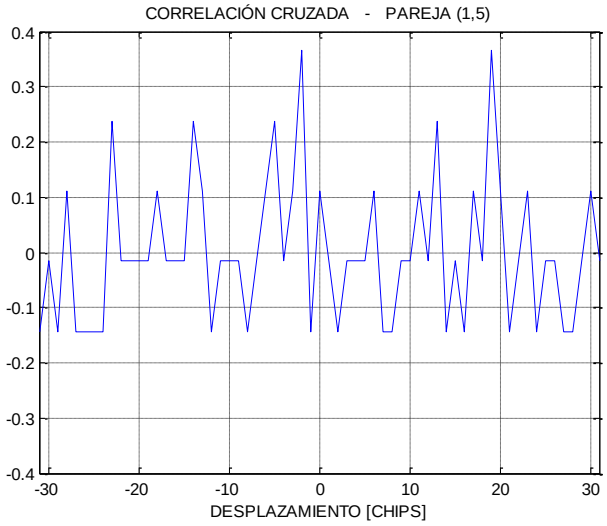


a) $R_{1,4}(\tau)$.

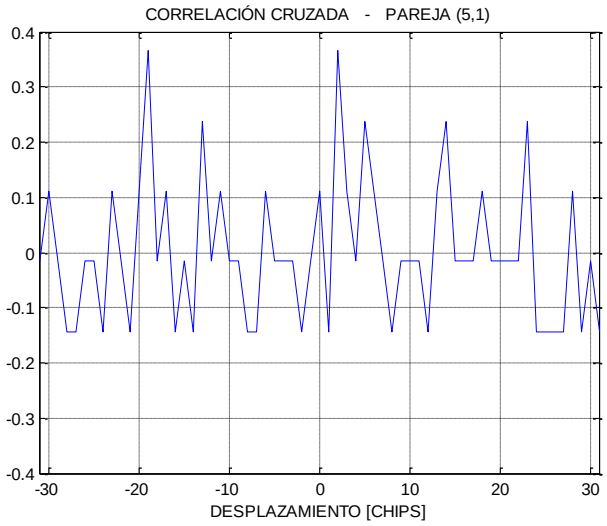


b) $R_{4,1}(\tau)$.

Figura 4-86. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 1 y 4 de la tabla A1-9.

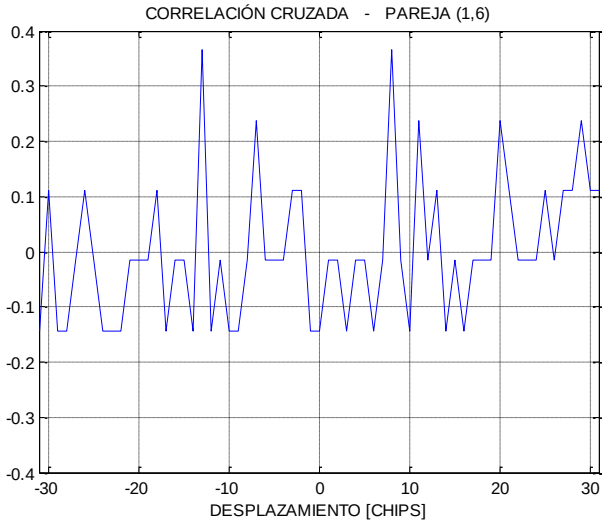


a) $R_{1,5}(\tau)$.

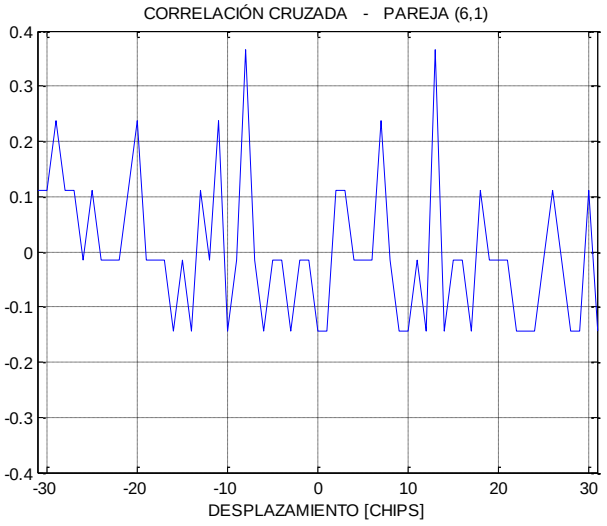


b) $R_{5,1}(\tau)$.

Figura 4-87. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 1 y 5 de la tabla A1-9.

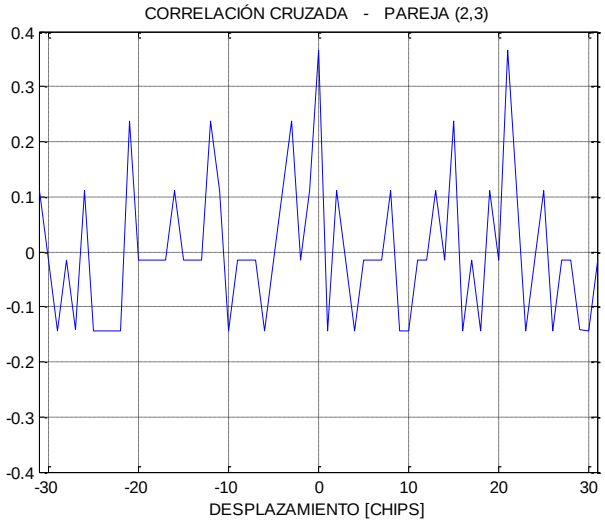


a) $R_{1,6}(\tau)$.

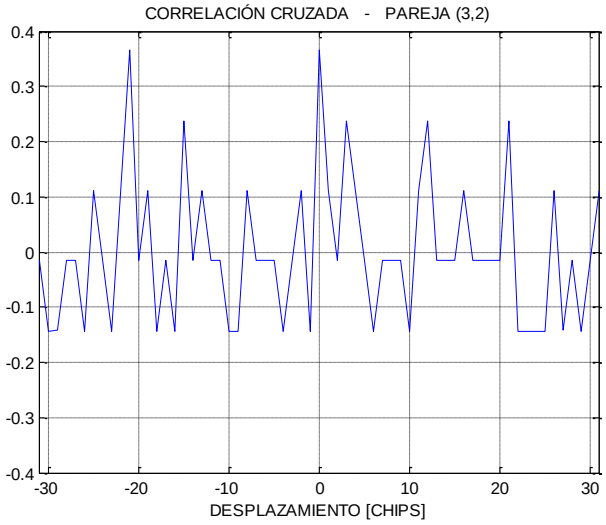


b) $R_{6,1}(\tau)$.

Figura 4-88. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 1 y 6 de la tabla A1-9.

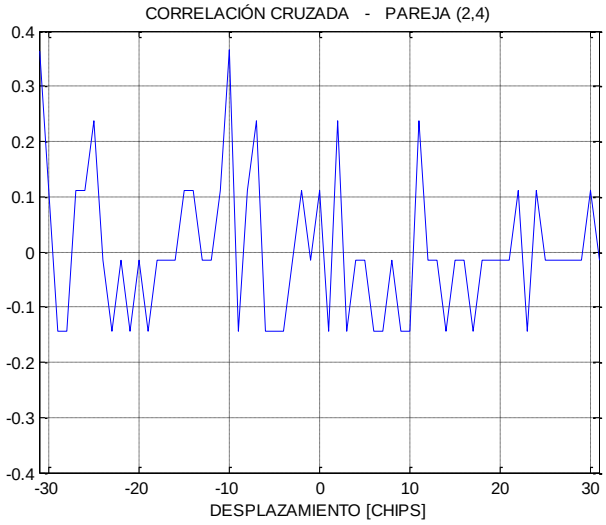


a) $R_{2,3}(\tau)$.

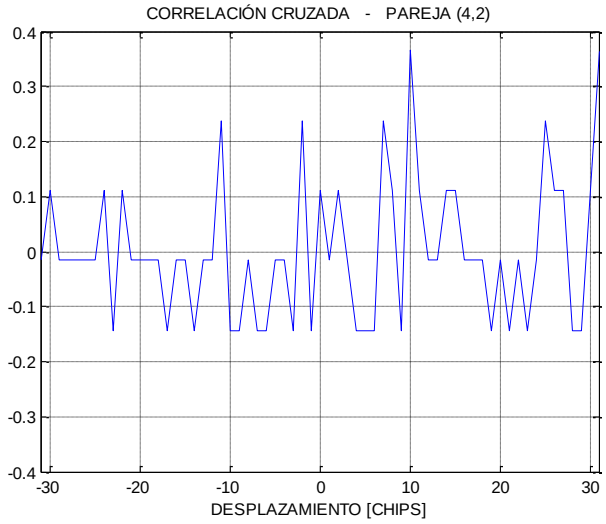


b) $R_{3,2}(\tau)$.

Figura 4-89. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 2 y 3 de la tabla A1-9.

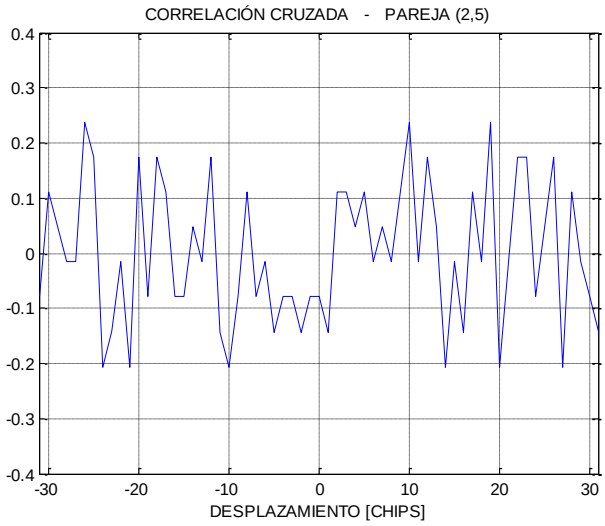


a) $R_{2,4}(\tau)$.

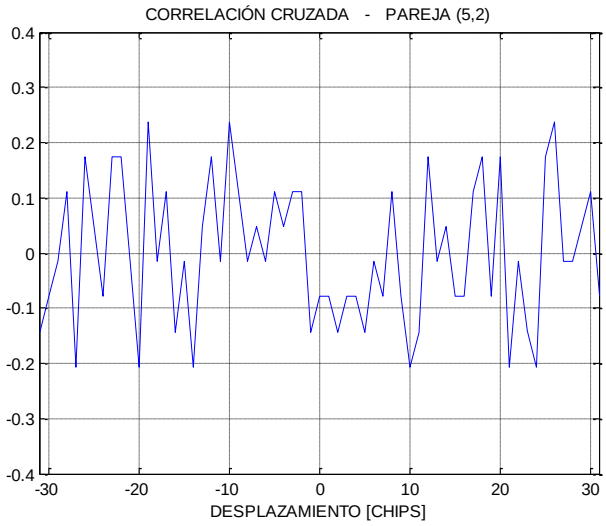


b) $R_{4,2}(\tau)$.

Figura 4-90. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 2 y 4 de la tabla A1-9.

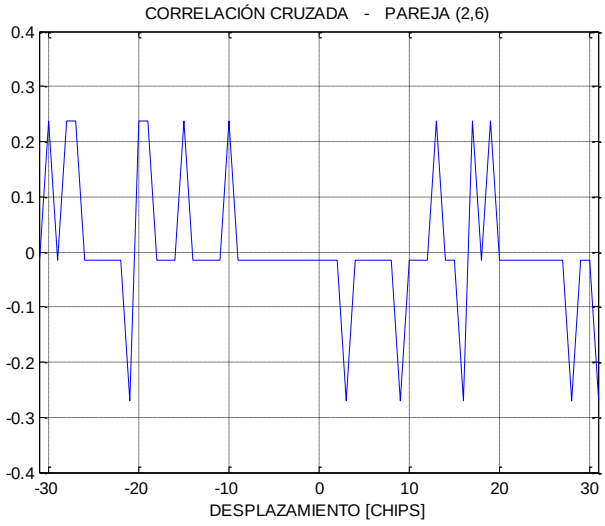


a) $R_{2,5}(\tau)$.

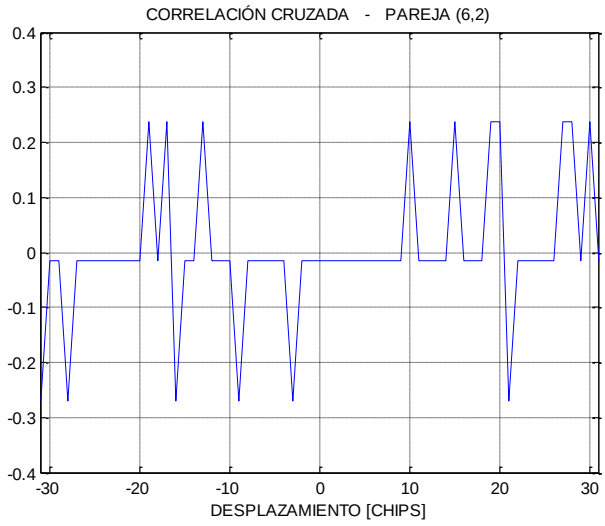


b) $R_{5,2}(\tau)$.

Figura 4-91. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 2 y 5 de la tabla A1-9.

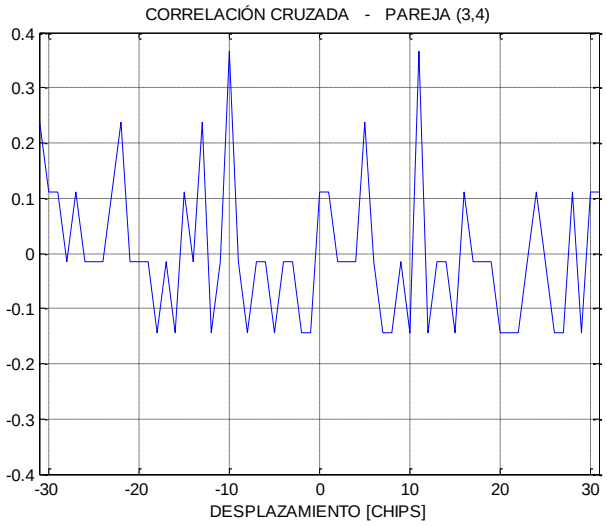


a) $R_{2,6}(\tau)$.

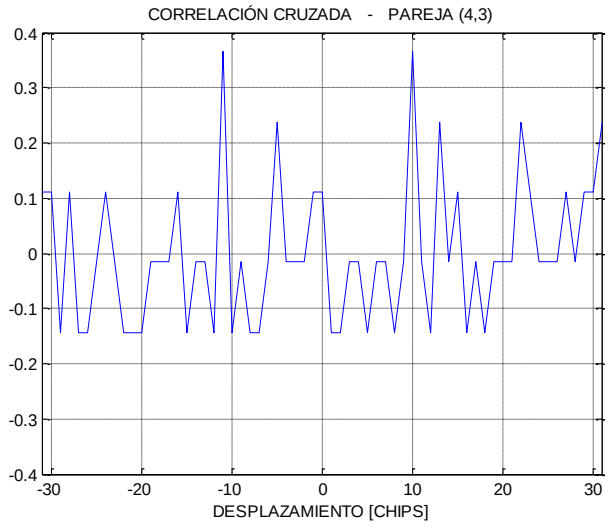


b) $R_{6,2}(\tau)$.

Figura 4-92. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 2 y 6 de la tabla A1-9.

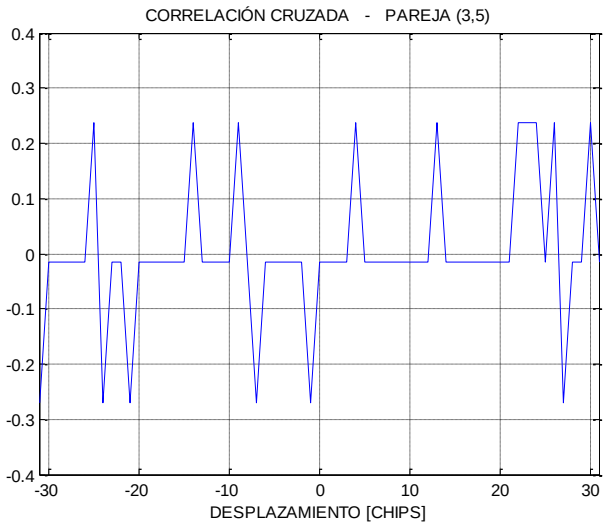


a) $R_{3,4}(\tau)$.

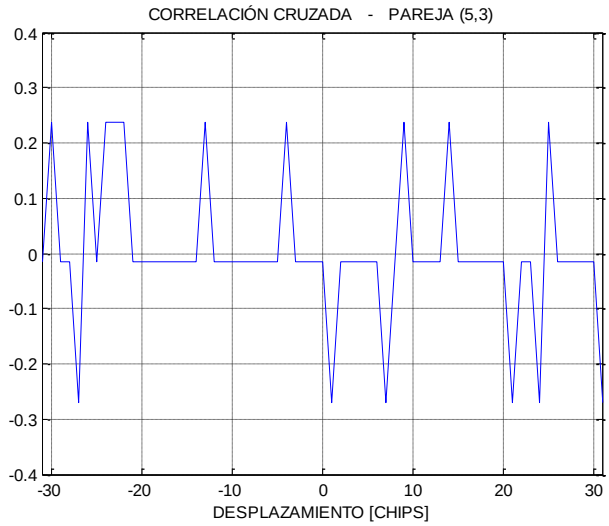


b) $R_{4,3}(\tau)$.

Figura 4-93. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 3 y 4 de la tabla A1-9.

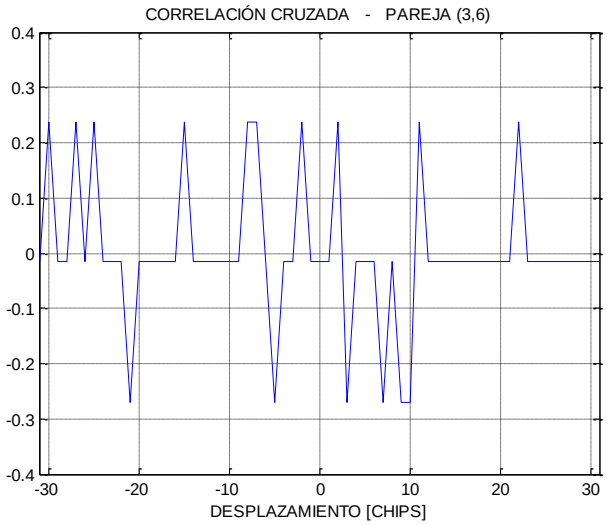


a) $R_{3,5}(\tau)$.

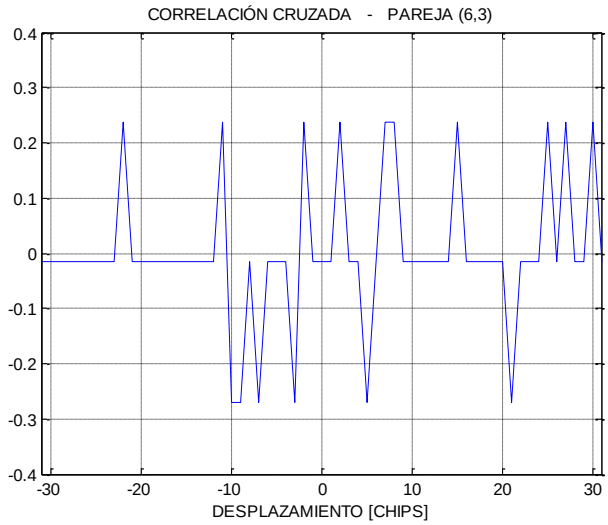


b) $R_{5,3}(\tau)$.

Figura 4-94. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 3 y 5 de la tabla A1-9.

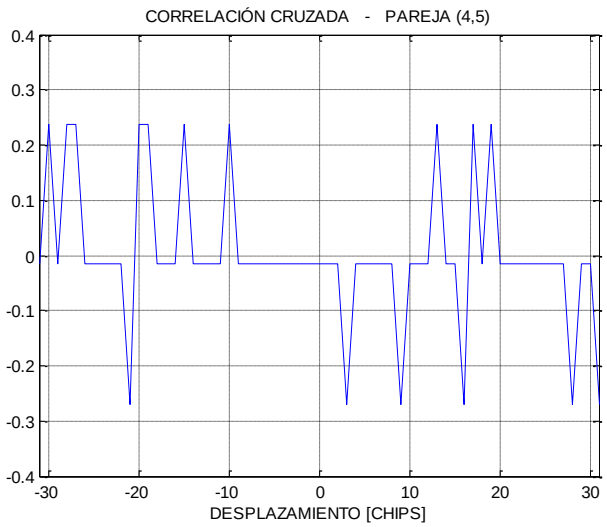


a) $R_{3,6}(\tau)$.

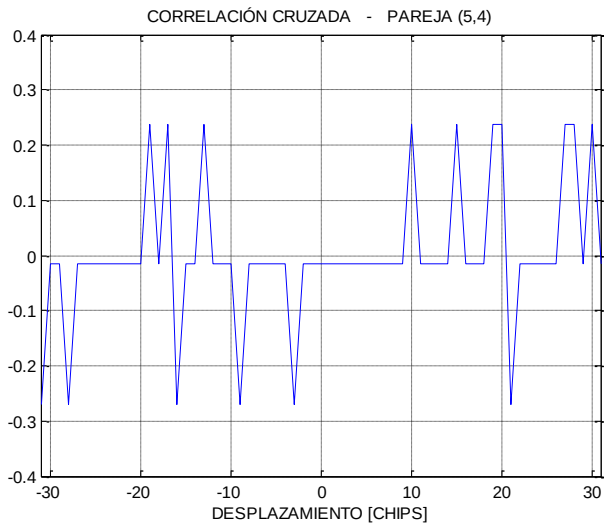


b) $R_{6,3}(\tau)$.

Figura 4-95. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 3 y 6 de la tabla A1-9.

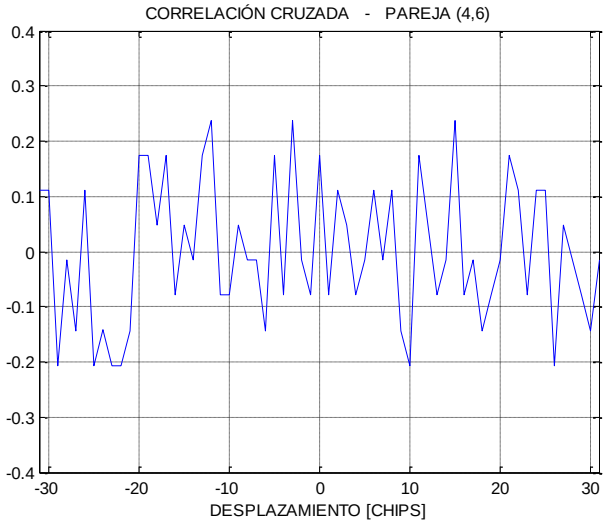


a) $R_{4,5}(\tau)$.

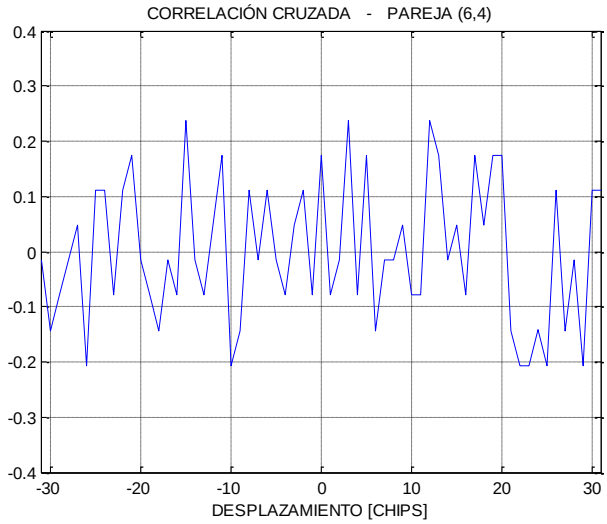


b) $R_{5,4}(\tau)$.

Figura 4-96. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 4 y 5 de la tabla A1-9.

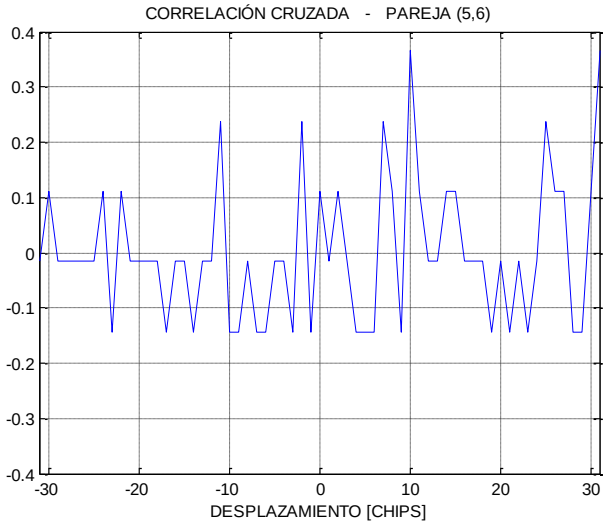


a) $\boldsymbol{R_{4,6}(\tau)}$.

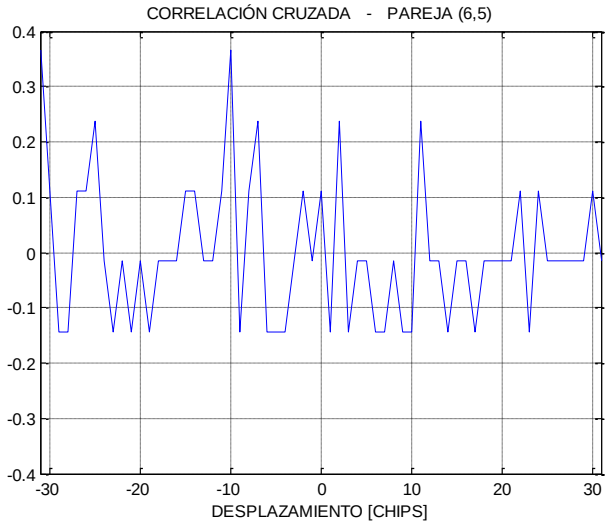


b) $\boldsymbol{R_{6,4}(\tau)}$.

Figura 4-97. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 4 y 6 de la tabla A1-9.



a) $\boldsymbol{R_{5,6}(\tau)}$.



b) $\boldsymbol{R_{6,5}(\tau)}$.

Figura 4-98. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips constituida por las secuencias 5 y 6 de la tabla A1-9.

Observando la serie de figuras anteriores, puede comprobarse que 6 de las 15 parejas tienen la peculiaridad de presentar únicamente tres valores característicos, siendo los valores restantes la interpolación lineal de los anteriores. Nótese que esta propiedad proporciona a las transiciones de la correlación la apariencia gráfica de un "rizado", pudiéndose hablar, así, del rizado de la correlación.

Por otra parte, obsérvese que los referidos valores característicos tienen la propiedad de encontrarse semi-balanceados. Es decir, mientras uno de los valores se encuentra relativamente proximo a cero, los otros dos resultan bastante parecidos en módulo, aunque de signo opuesto.

Las parejas de secuencias PN de longitud máxima que verifican estas dos propiedades se denominan "parejas preferentes". De este modo, a la luz de las gráficas anteriores, en la tabla siguiente se especifican las distintas parejas preferentes del conjunto de parejas posibles de longitud máxima de 63 chips. A fin de facilitar una rápida identificación, se han sombreado las casillas correspondientes a parejas preferentes.

		Orden de lista de la secuencia en la tabla A1-9					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Orden de lista de la secuencia en la tabla A1-9	**1**		SÍ	NO	SÍ	NO	NO
	2	SÍ		NO	NO	NO	SÍ
	3	NO	NO		NO	SÍ	SÍ
	4	SÍ	NO	NO		SÍ	NO
	5	NO	NO	SÍ	SÍ		NO
	6	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	

Tabla 4-10. Relación matricial de parejas preferentes de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips.

A fin de realizar un análisis cuantitativo, en la tabla siguiente se han registrado las cotas extremas (positiva y negativa) de correlación y el valor promediado del "suelo de correlación" [16] resultantes para dos parejas preferentes. En concreto, además de la pareja (4,5) de trabajo, se ha tomado la pareja (3,6).

Se ha obtenido, además, la diferencia de valor entre la cota máxima superior y el suelo de correlación, bajo la notación Δ_1, y la diferencia entre el suelo y la cota máxima inferior, con la notación Δ_2.

Pareja	**Cota máxima inferior**	**Cota máxima superior**	**Suelo**	Δ_1	Δ_2
(4,5)	-0.269857	0.238111	-0.015866	0.253977	0.253991
(3,6)	-0.269889	0.238127	-0.015872	0.253999	0.254017

Tabla 4-11. Valores característicos de la función de correlación de parejas preferentes de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips con V=1.

[16] Para el promediado del suelo se han computado las muestras correspondientes del ciclo central de la función, habiendo empleado 1000 ciclos en la ventana de correlación (al igual que en las gráficas anteriores). Por tanto, se han observado las 31 muestras a izquierda y a derecha de la muestra central de la función o, lo que es lo mismo, de la muestra correspondiente al desplazamiento nulo ($\tau = 0$).

Se comprueba que el suelo de correlación de las parejas preferentes viene a ser una componente continua de la función de correlación cruzada, equidistante de los picos positivos y negativos. Estos experimentos, junto a otros complementarios, permitieron determinar las expresiones de los tres valores característicos de la función de correlación de las parejas preferentes, incluidas en el capítulo 3.

Como parte de esos trabajos, en el Apéndice II se han registrado en distintas tablas las cotas extremas (positiva y negativa) de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima (de hasta 1023 chips de periodo) con amplitud V=1, de gran ayuda para determinar las parejas candidatas a preferentes.

4.2.4 Caracterización espectral.

En este apartado se pretende caracterizar espectralmente las secuencias PN de longitud máxima, analizando la influencia de la longitud de su periodo L en las prestaciones del código pseudoaleatorio. Para ello, se estudiará el comportamiento espectral de algunos de los generadores presentados en el capítulo 3. En concreto, se tomarán como secuencias de trabajo las producidas por los siguientes polinomios generadores:

- $p(x)= x^3 + x + 1$, para la secuencia PN de longitud máxima de L=7 chips.
- $p(x)= x^4 + x + 1$, para la secuencia PN de longitud máxima de L=15 chips.
- $p(x)= x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$, para la secuencia PN de longitud máxima de L= 63 chips.
- $p(x)= x^{10} + x^8 + x^3 + x^2 + 1$, para la secuencia PN de longitud máxima de L=1023 chips.

Se muestran a continuación las gráficas resultantes[17] empleando una amplitud de +/-1 V, estableciéndose para el análisis un periodo de chip T_{chip} de 10 msg y una frecuencia de portadora f_c de 1 KHz, al igual que en el caso de la secuencia caótica:

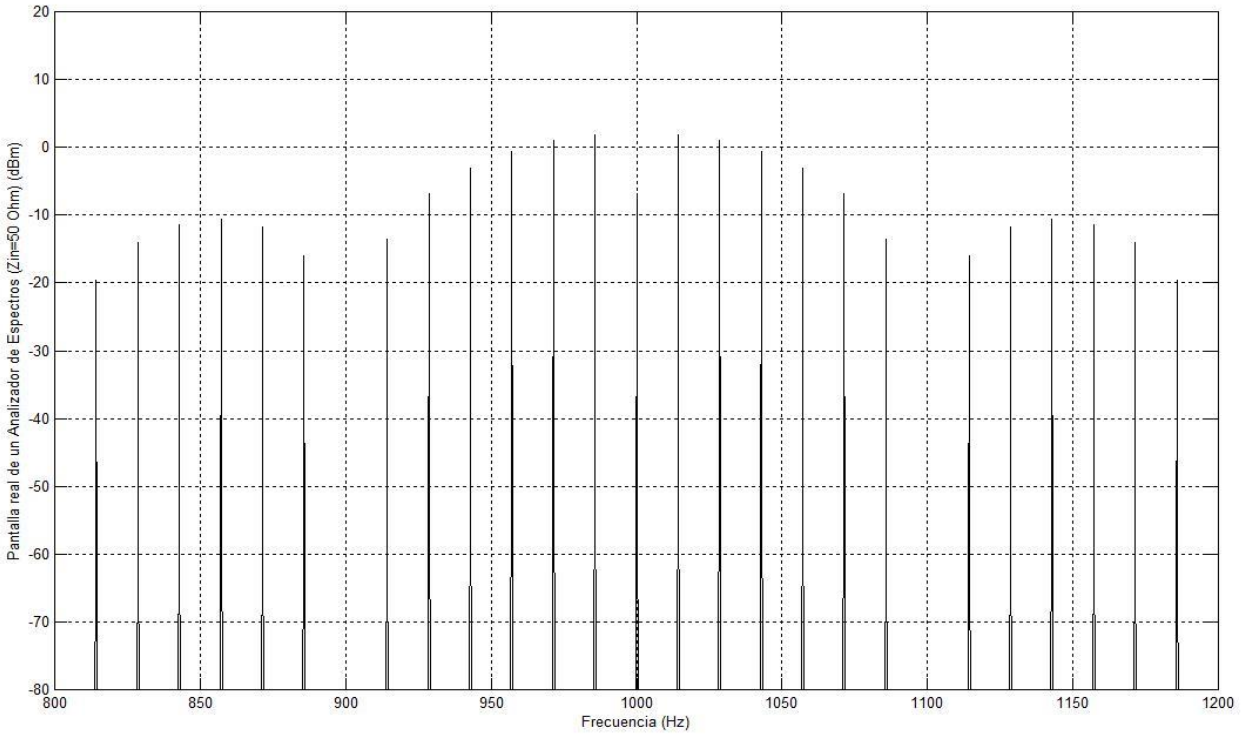


Figura 4-99. Espectro de una secuencia PN de longitud máxima de 7 chips.

[17] Para la obtención de las gráficas de las secuencias de 7, 15 y 63 chips se han empleado en las simulaciones con Matlab ventanas de tiempo de 10 periodos de código, mientras que para las secuencias de 1023 chips se ha empleado una ventana temporal de 1 periodo de código.

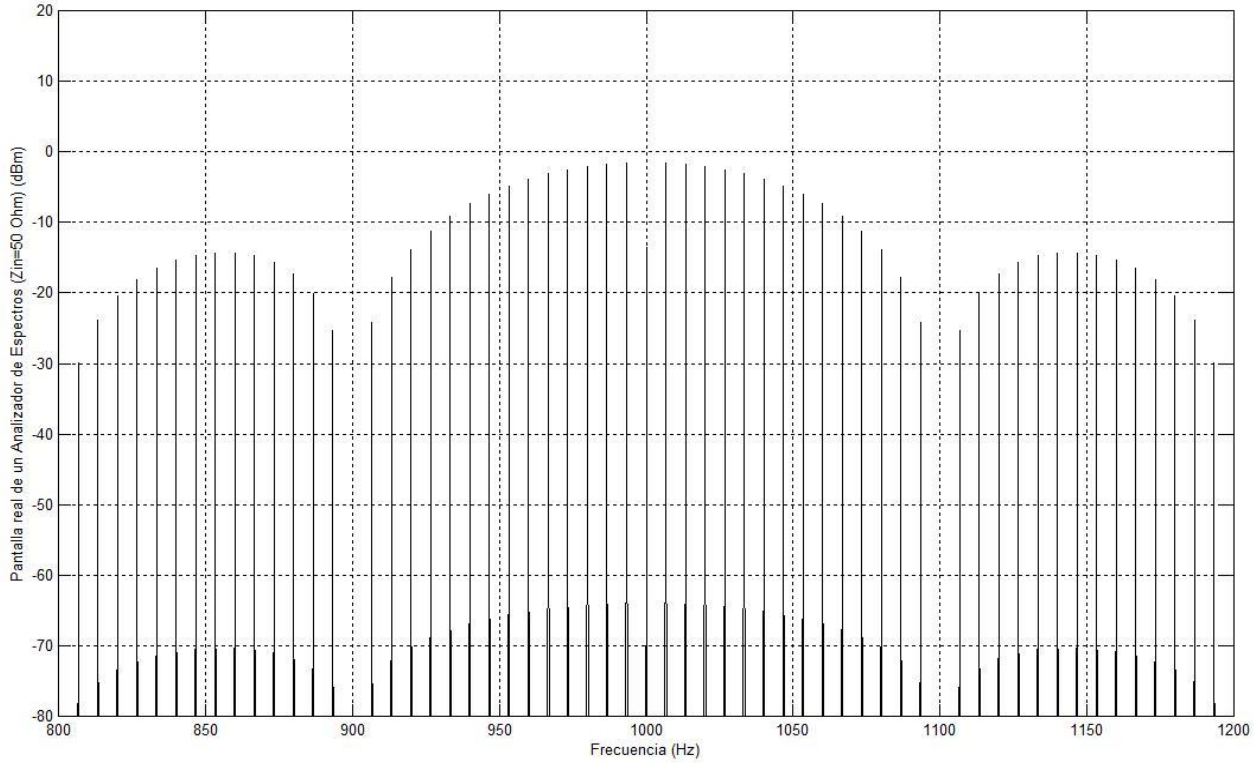


Figura 4-100. Espectro de una secuencia PN de longitud máxima de 15 chips.

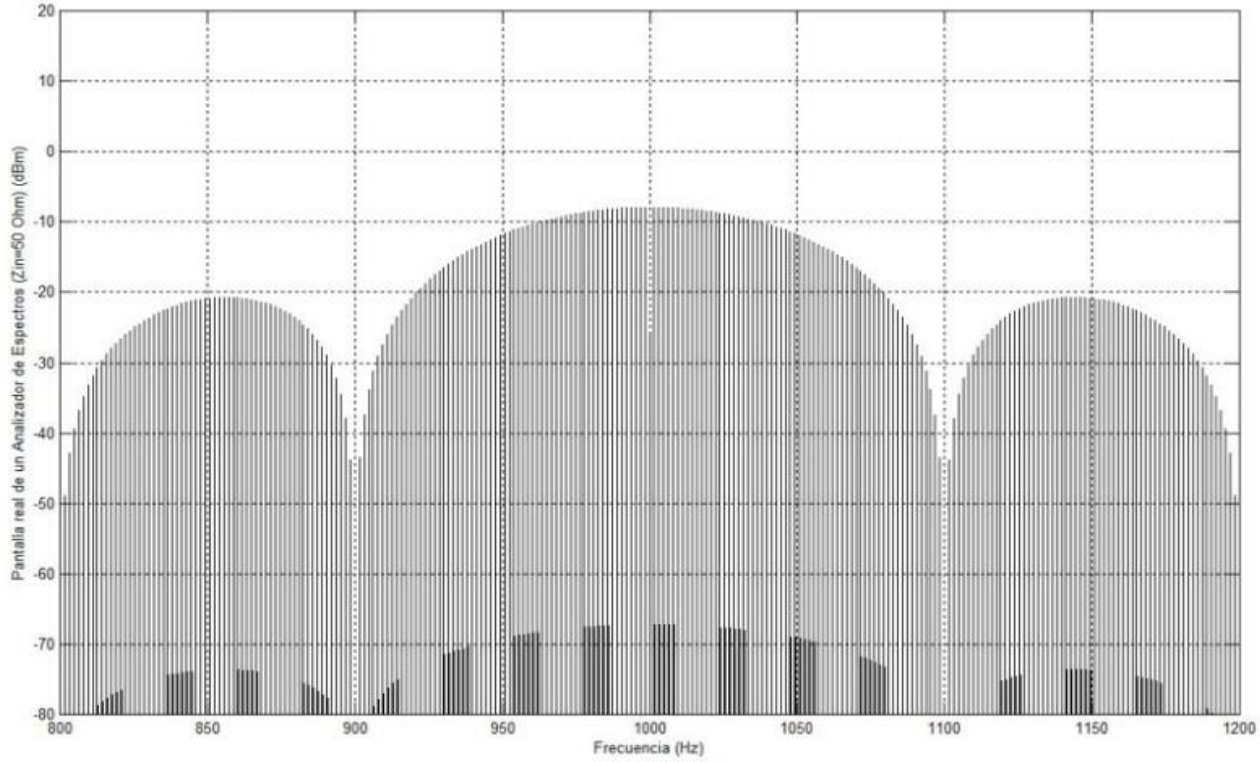


Figura 4-101. Espectro de una secuencia PN de longitud máxima de 63 chips.

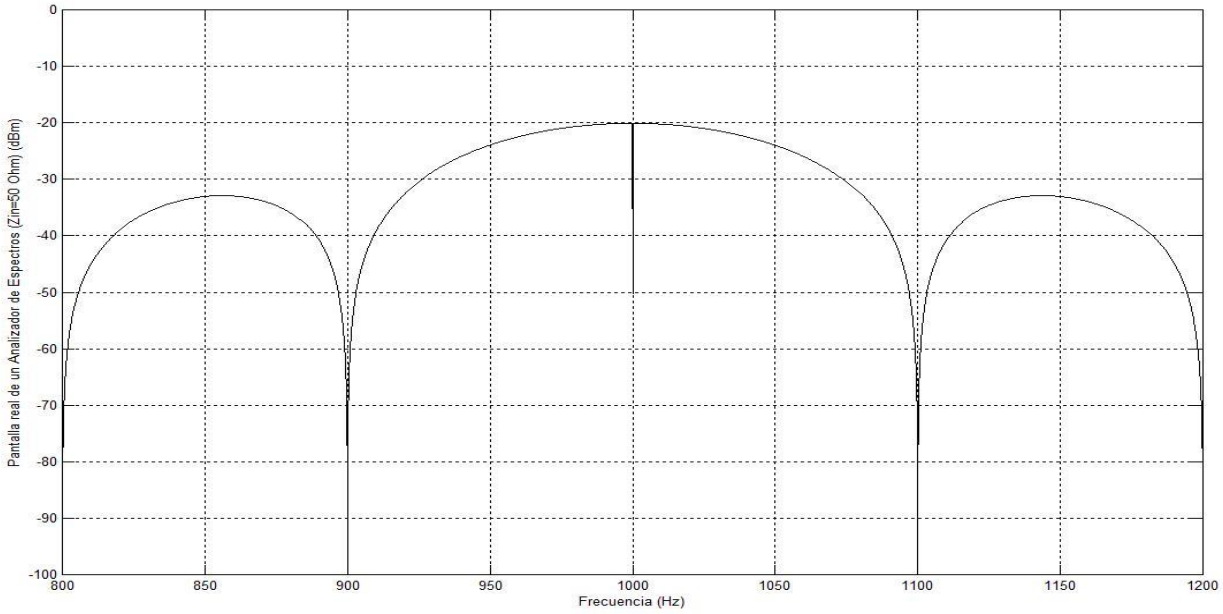


Figura 4-102. Espectro de una secuencia PN de longitud máxima de 1023 chips.

A la luz de las gráficas, se concluye que, conforme aumenta la longitud del periodo de la secuencia PN, disminuye el nivel de la envolvente de potencia en el espectro. Según se observa, esto se debe a que aumenta la riqueza espectral de la secuencia a medida que aumenta la longitud de su periodo.

A final del apartado 4.2.2 (figuras 4-74 a 4-77) se abrió una discusión relativa a la codificación fuente de los niveles lógicos de señal de una secuencia PN. Sin perjuicio de las conclusiones allí alcanzadas, se pretende efectuar a continuación una comparativa del espectro resultante en los casos de codificación fuente (o de línea) NRZ polar y bipolar, concluyendo con una síntesis real de la señal a fin de verificar los resultados de las simulaciones. Por tanto, el experimento siguiente constará de dos fases:

- Síntesis: Generación simulada y real de la señal pseudoaleatoria producida por los generadores PN linealmente realimentados de longitud máxima.
- Análisis: Obtención del espectro sobre un analizador simulado y real, con parámetros óptimos para su visualización.

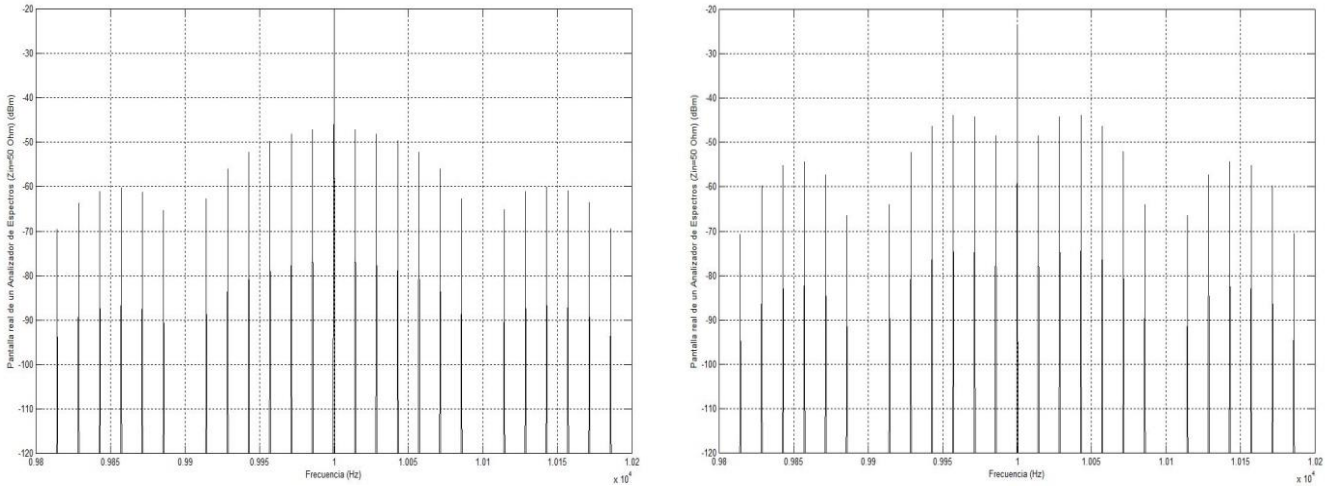
Se indica a continuación la relación de medios disponibles y los parámetros seleccionados:

- Equipos de laboratorio:
  - Generador Rohde & Schwarz APN04 (1Hz….260KHz)
  - Analizador Dinámico Agilent 35670A
  - Bus GPIB para control remoto desde PC.
- Generación de secuencia PN:
  - Con codificación de línea NRZ Polar:
    - Nivel de 0's: 15 mV_{rms}
    - Nivel de 1's: 20 mV_{rms}
  - Con codificación de línea NRZ Bipolar:
    - Nivel de 0's: 15 mV_{rms}
    - Polo positivo de 1's: 20 mV_{rms}
    - Polo negativo de 1's: 10 mV_{rms}

- Parámetros de frecuencia:
  - Frecuencia de portadora f_c: 10 KHz.
  - Régimen de chip R_{chip}: 100 Hz

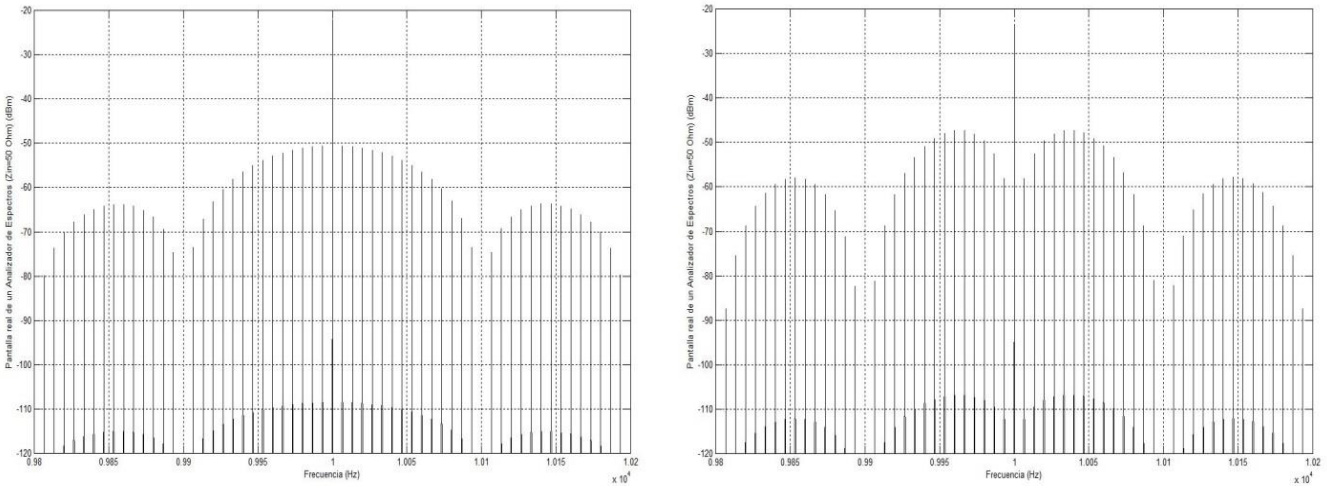
Con los parámetros indicados se ha sintetizado (o emulado) una señal sinusoidal de frecuencia f_c y amplitud pulsada definida por los niveles de tensión de la secuencia PN con un periodo de chip T_{chip} = 1/ R_{chip}, es decir, de 10 msg. Este mecanismo de implementación se debe a que no se disponía de un generador PN (banda base), ni tampoco de un generador de señal de onda rectangular. Por tanto, se asume que la señal de código resultante se encuentra ya modulada y que la señal sin modular presenta componente continua.

Se muestran a continuación las gráficas resultantes en Matlab:



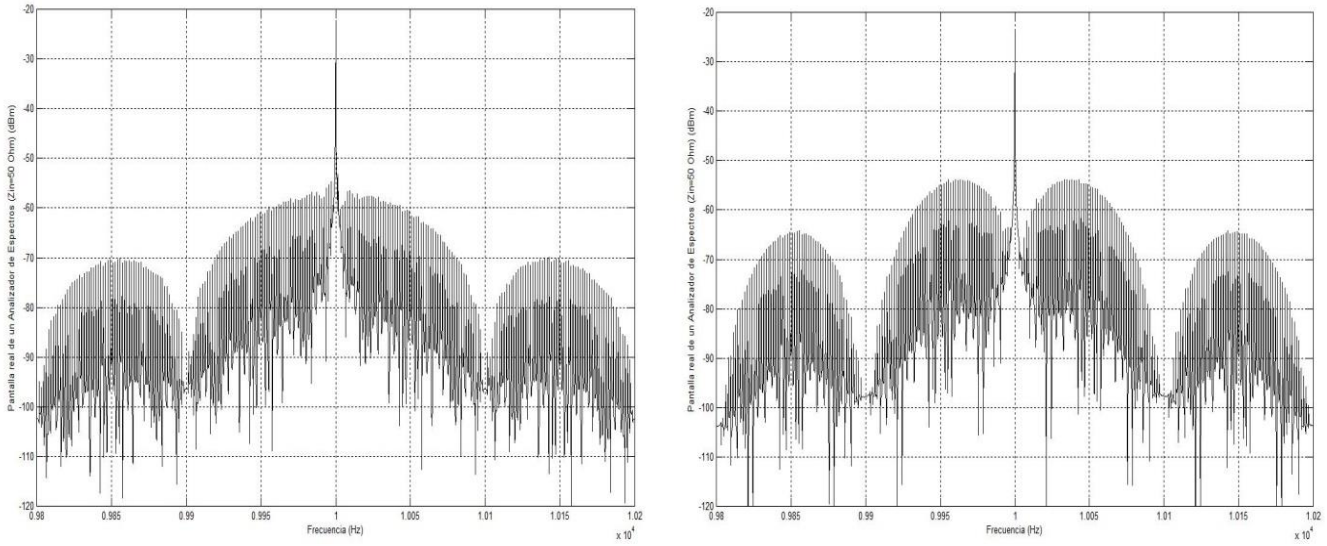
a) Polar. **b) Bipolar.**

Figura 4-103. Comparativa del espectro de la secuencia PN de longitud máxima de 7 chips de trabajo empleando codificaciones fuente NRZ polar y bipolar.



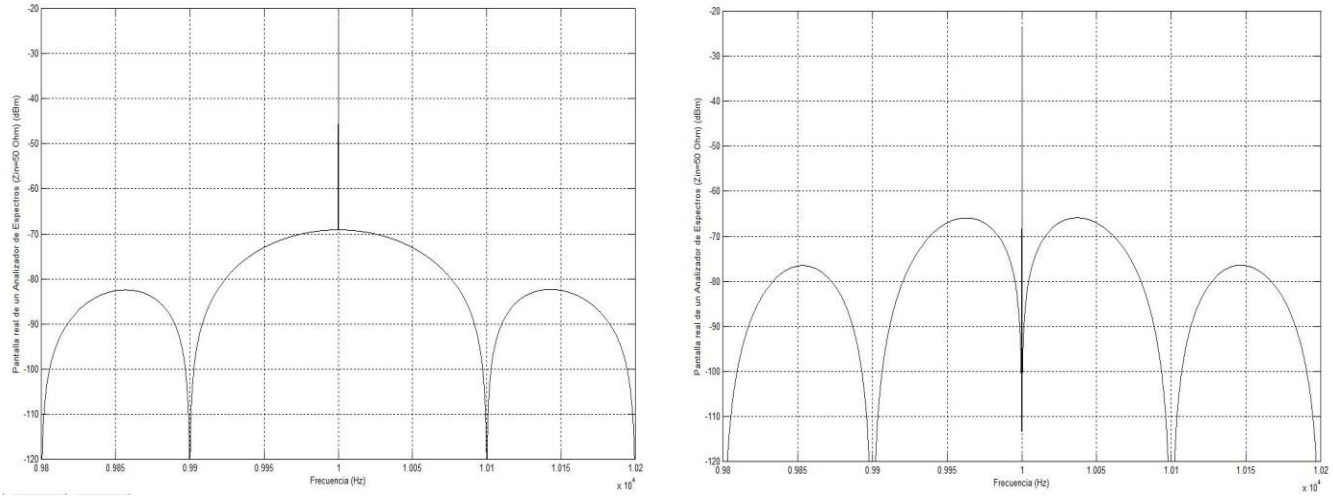
a) Polar. **b) Bipolar.**

Figura 4-104. Comparativa del espectro de la secuencia PN de longitud máxima de 15 chips de trabajo empleando codificaciones fuente NRZ polar y bipolar.



a) Polar. **b) Bipolar.**

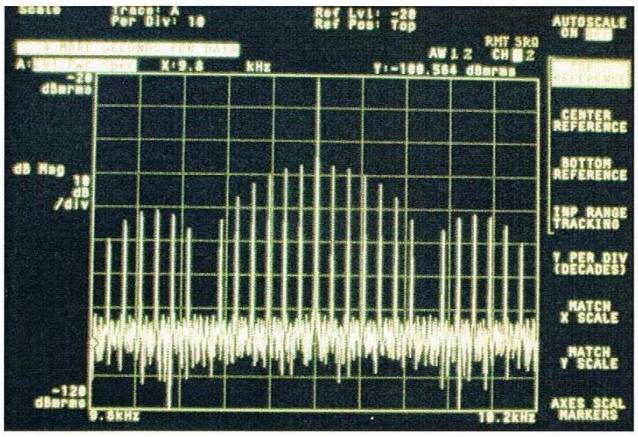
Figura 4-105. Comparativa del espectro de la secuencia PN de longitud máxima de 63 chips de trabajo empleando codificaciones fuente NRZ polar y bipolar.



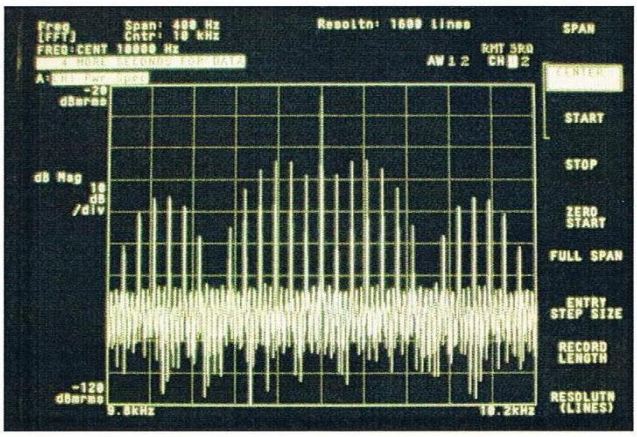
a) Polar. **b) Bipolar.**

Figura 4-106. Comparativa del espectro de la secuencia PN de longitud máxima de 1023 chips de trabajo empleando codificaciones fuente NRZ polar y bipolar.

A continuación se muestran las gráficas obtenidas en el analizador de espectros. A fin de favorecer la comparativa con los resultados simulados, se ha empleado la misma escala de las gráficas de Matlab, comprobándose la correspondencia con ellas.

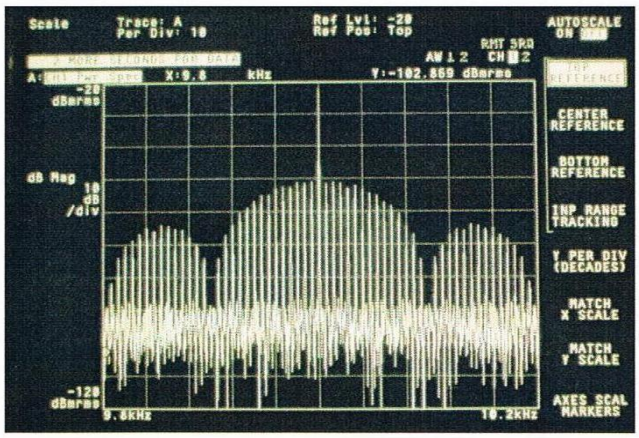


a) Polar.

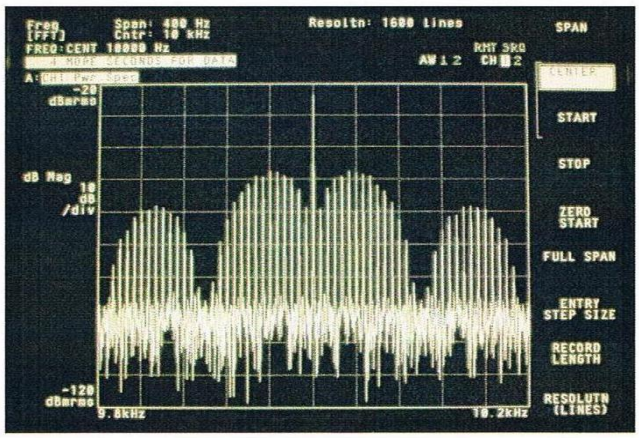


b) Bipolar.

Figura 4-107. Síntesis de señal real de la secuencia PN de longitud máxima de 7 chips de trabajo empleando codificaciones fuente NRZ polar y bipolar.

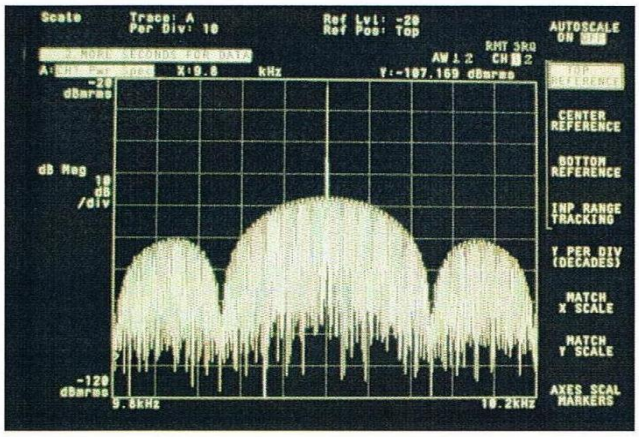


a) Polar.

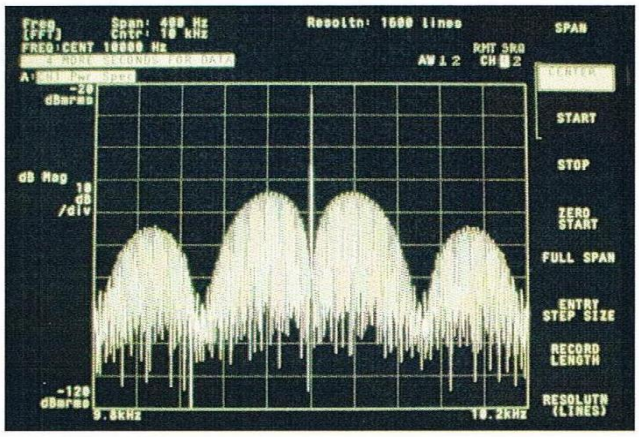


b) Bipolar.

Figura 4-108. Síntesis de señal real de la secuencia PN de longitud máxima de 15 chips de trabajo empleando codificaciones fuente NRZ polar y bipolar.



a) Polar.



b) Bipolar.

Figura 4-109. Síntesis de señal real de la secuencia PN de longitud máxima de 63 chips de trabajo empleando codificaciones fuente NRZ polar y bipolar.

Del análisis minucioso de las gráficas se desprenden las siguientes conclusiones:

- De nuevo, se ha podido observar cómo va disminuyendo la envolvente de potencia al aumentar la longitud del periodo de la secuencia. La razón de ello es que la misma potencia[18] se reparte entre un mayor número de componentes.
- El número de componentes en cada lóbulo (unilateralmente hablando, es decir, en R_{chip} Hz) es $L-1$, donde L es el periodo de la secuencia expresado en chips.
- La separación entre componentes espectrales es R_{chip}/L.

Código	Número de componentes por lóbulo	Separación de componentes [*Hz*]
PN-7	6	14.28
PN-15	14	6.666
PN-63	62	1.587
PN-1023	1022	0.0977

Tabla 4-12. Tabla resumen de propiedades espectrales de las secuencias PN de longitud máxima.

4.3 Caracterización de secuencias de Kasami.

4.3.1 Caracterización de la autocorrelación.

En este apartado se pretende mostrar un ejemplo del tipo de análisis llevados a cabo para caracterizar la función de autocorrelación de las secuencias de Kasami.

Se ha tomado como secuencia PN de longitud máxima de trabajo la secuencia de 63 chips de periodo correspondiente al polinomio generador $x^6+x^5+x^3+x^2+1$, producida a partir del estado inicial *1 0 1 0 1 0* con el siguiente impulso de reloj, tomando como salida del generador el registro 1.

La secuencia lógica producida habrá de submuestrearse, tomando una de cada Q muestras de la misma, siendo $Q = 9$. El resultado de este proceso de diezmado, aplicado a un ciclo de la secuencia de longitud máxima, dará lugar a las siguientes Q subsecuencias de longitud $L' = Q - 2 = 7$.

Posición	*b*[*n*]
1	0 1 1 1 0 0 1
2	0 1 1 1 0 0 1
3	0 0 0 0 0 0 0
4	1 1 1 0 0 1 0
5	1 1 0 0 1 0 1
6	0 1 0 1 1 1 0
7	0 0 1 0 1 1 1
8	1 1 1 0 0 1 0
9	1 0 0 1 0 1 1

Tabla 4-13. Subsecuencias *b*[*n*] de la secuencia PN de trabajo obtenidas en función de la posición de muestreo dentro de cada bloque de *Q* muestras lógicas.

[18] La componente (es decir, la potencia) de señal es la misma independientemente de la longitud de la secuencia. La componente de continua varía ligeramente en función de la longitud, como consecuencia de que en las secuencias no existe exactamente el mismo número de 0's que de 1's, haciéndose la proporción tanto más igual cuanto mayor sea la longitud de la secuencia.

Cada una de estas subsecuencias $b[n]$ correponde a una posición distinta de la toma de muestra dentro de cada bloque de submuestreo. Como cada bloque consta de Q muestras, se podrá tomar muestra desde la primera a la Q-ésima posición, resultando Q subsecuencias $b[n]$. Se han sombreado aquellas subscuencias que han resultado iguales, haciendo un total de 7 subsecuencias $b[n]$ distintas. Dicho de otro modo, como consecuencia del proceso de generación de secuencias de Kasami, con el generador de trabajo definido, para el estado de carga establecido, se obtendrán 7 secuencias de Kasami $a[n]$ distintas, que constituyen una familia de secuencias de Kasami.

Una de las secuencias de la familia es la propia secuencia PN de longitud máxima de trabajo. En concreto, la que resulta de emplear la subsecuencia $b[n]$ tercera de la tabla anterior, comenzado por arriba.

Se significa que el mismo generador de longitud máxima empleado en esta simulación, en función del estado inicial de carga de sus registros, podrá dar lugar a diferente número de secuencias de Kasami (distintas). En este caso, el número podrá variar entre 6 y 7 secuencias distintas.

A continuación, se muestra la función de autocorrelación de las 7 secuencias de Kasami resultantes del proceso anterior, bajo las consideraciones explicadas en el apartado 4.2 para las secuencias PN de longitud máxima[19].

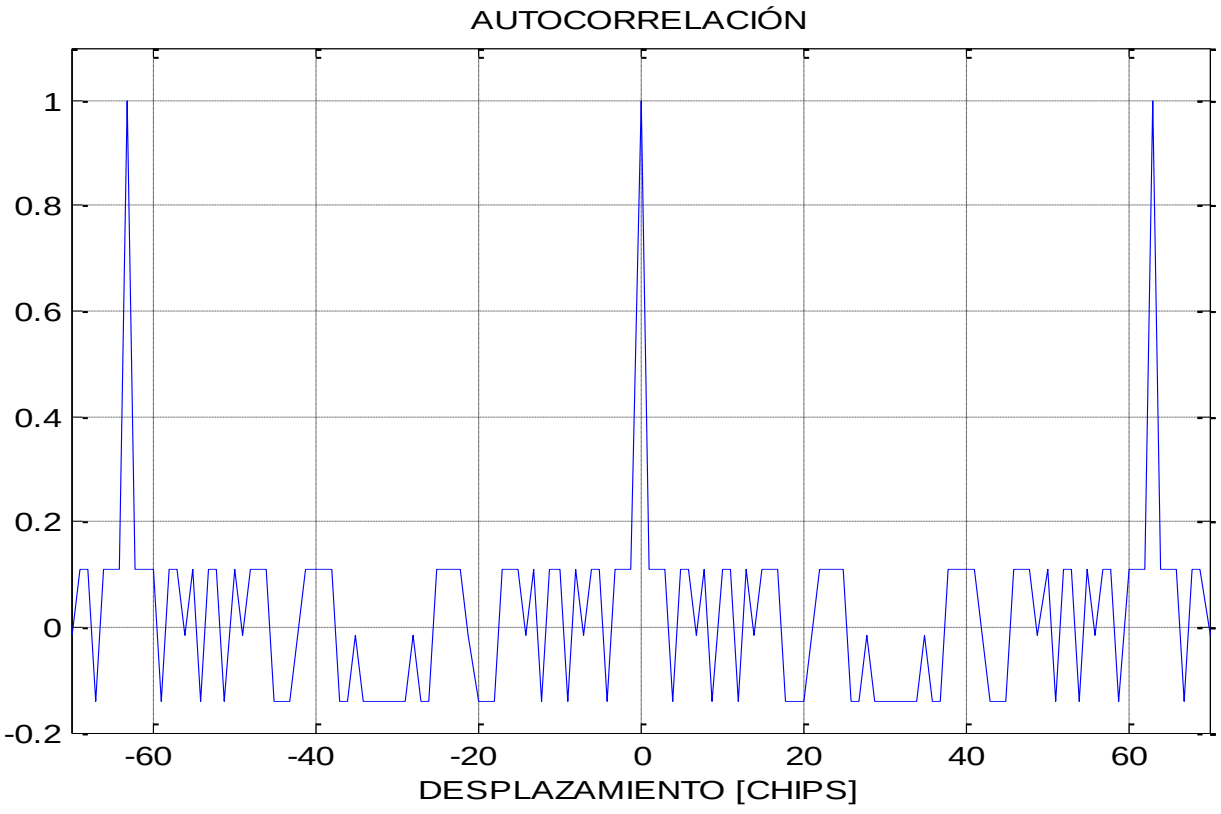


Figura 4-110. Detalle de la autocorrelación de la secuencia de Kasami resultante de emplear la primera subsecuencia *b*[*n*] de la Tabla 4-13.

[19] Entre otras, se han empleando 1000 ciclos de secuencia en la ventana de correlación, tanto para las simulaciones de la autocorrelación como de la correlación cruzada (apartado siguiente), tomándose la zona central de la gráfica completa.

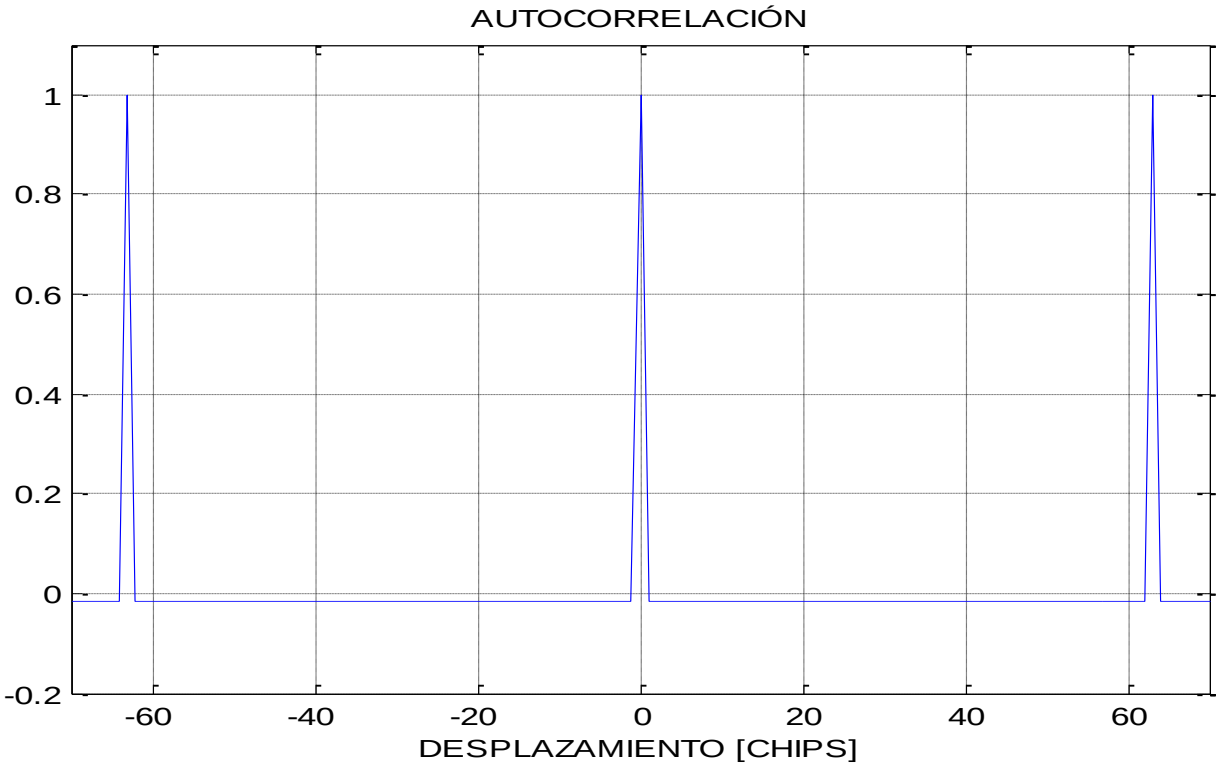


Figura 4-111. Detalle de la autocorrelación de la secuencia de Kasami resultante de emplear la tercera subsecuencia *b*[*n*] de la Tabla 4-13.

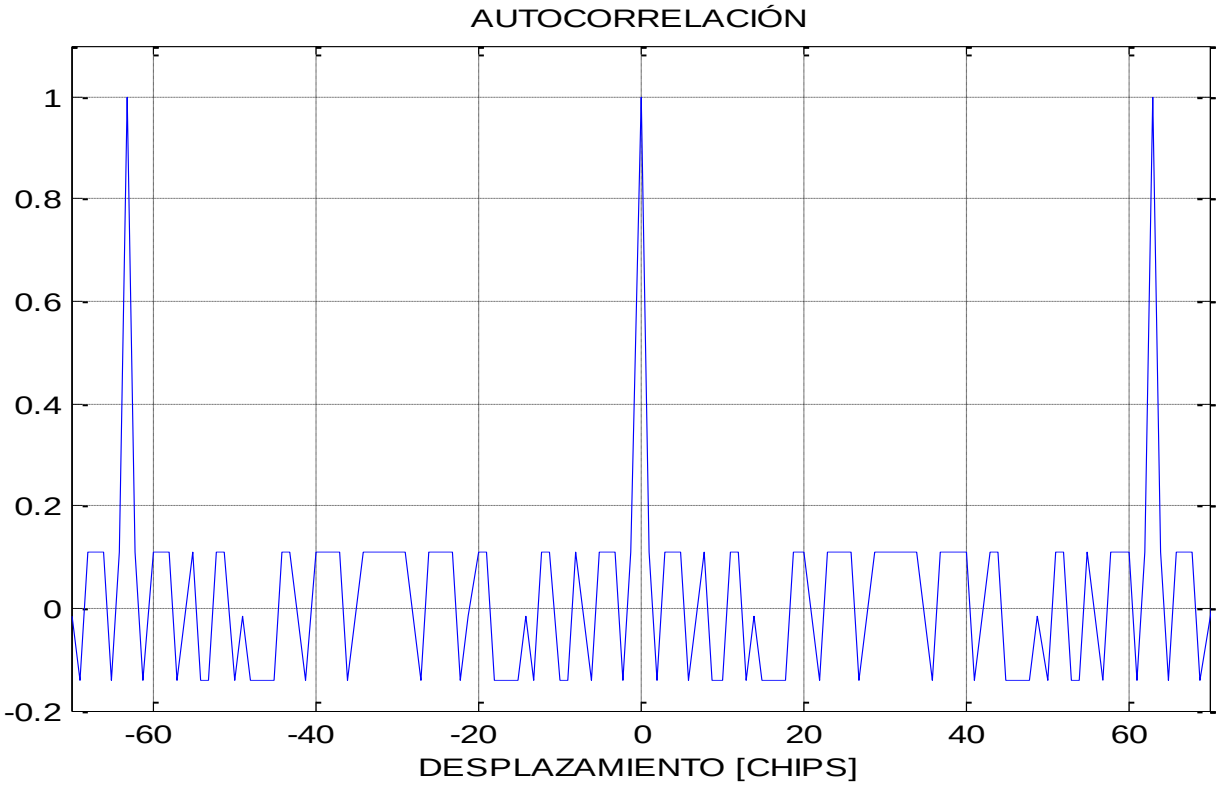


Figura 4-112. Detalle de la autocorrelación de la secuencia de Kasami resultante de emplear la cuarta subsecuencia *b*[*n*] de la Tabla 4-13.

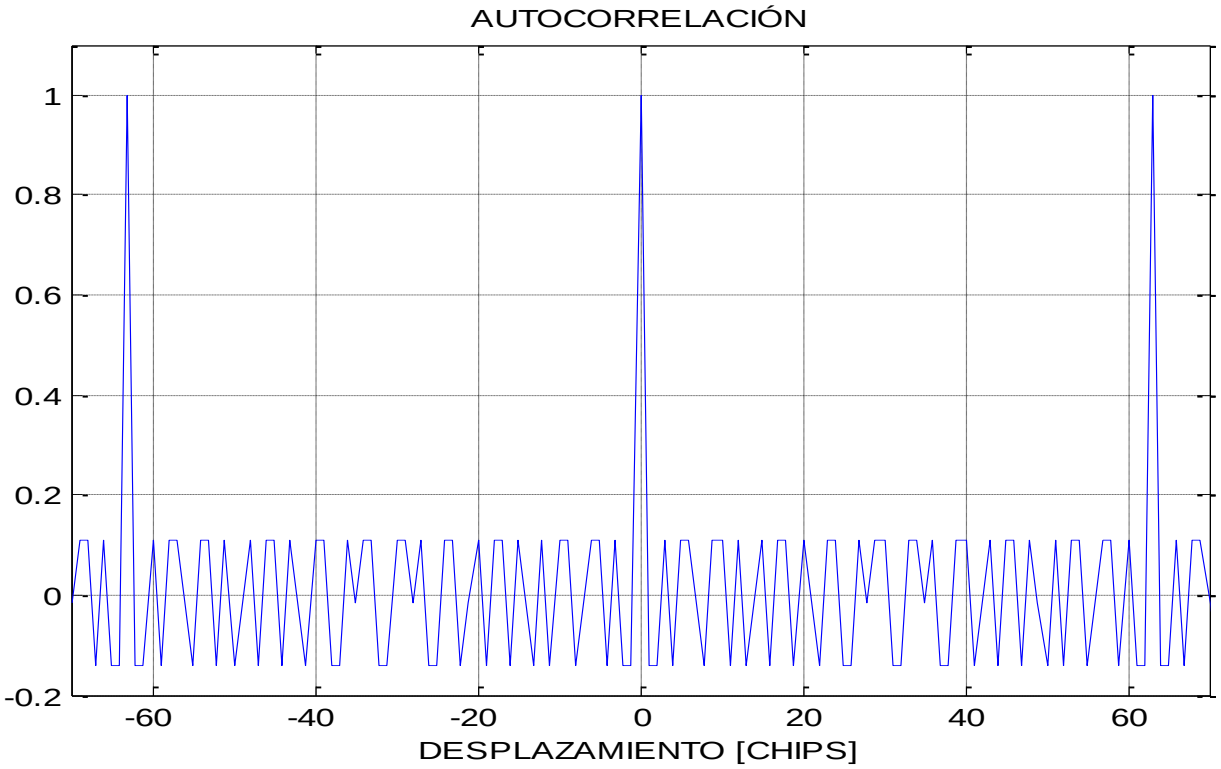


Figura 4-113. Detalle de la autocorrelación de la secuencia de Kasami resultante de emplear la quinta subsecuencia *b*[*n*] de la Tabla 4-13.

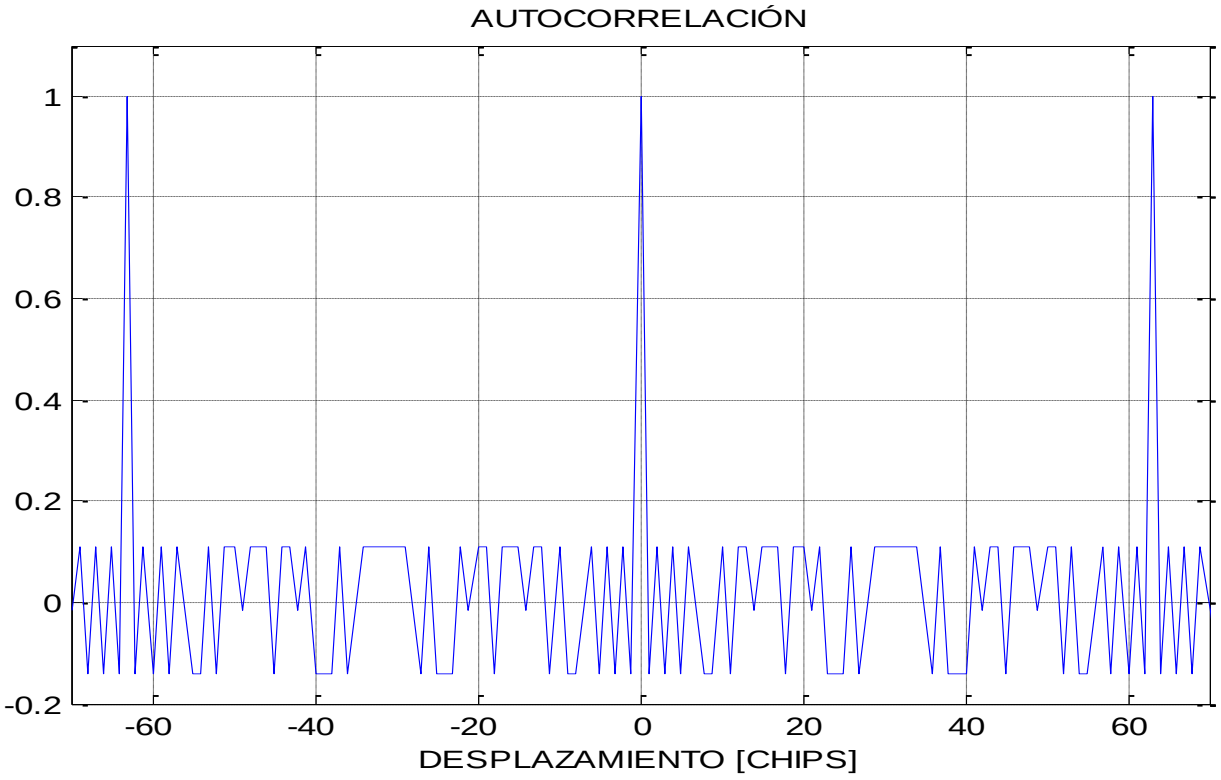


Figura 4-114. Detalle de la autocorrelación de la secuencia de Kasami resultante de emplear la sexta subsecuencia *b*[*n*] de la Tabla 4-13.

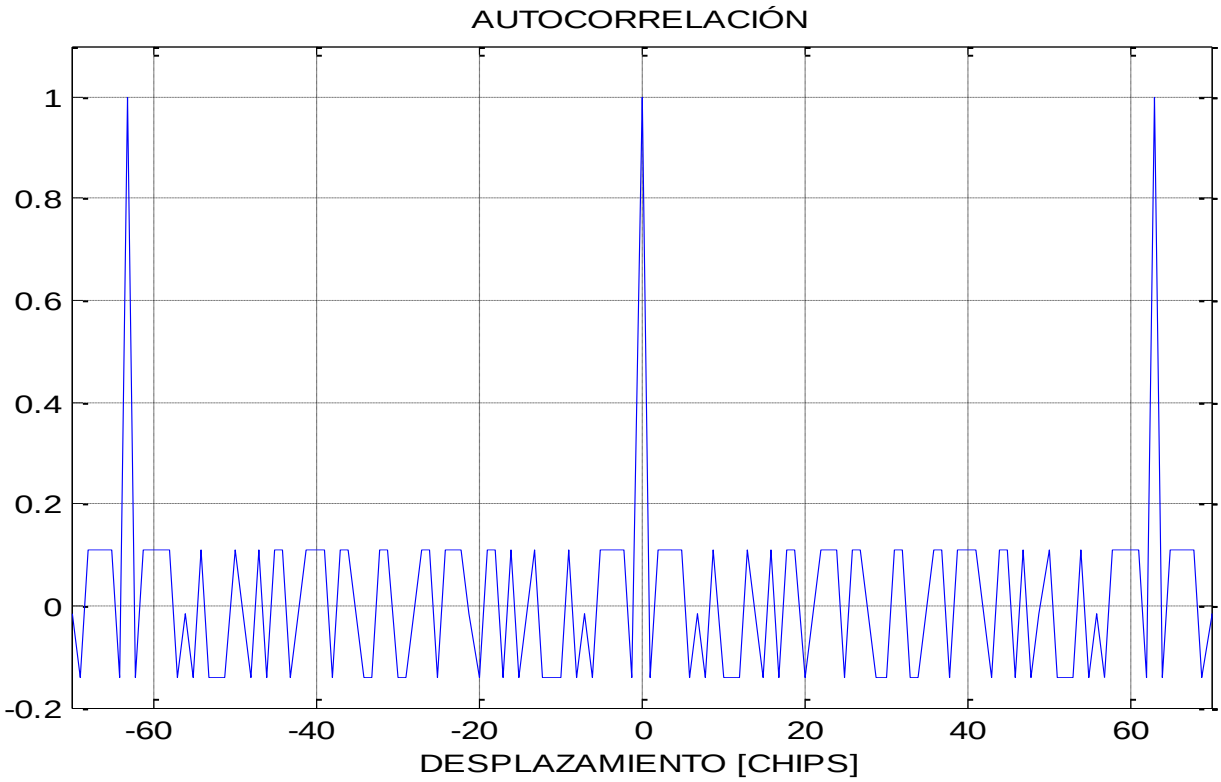


Figura 4-115. Detalle de la autocorrelación de la secuencia de Kasami resultante de emplear la séptima subsecuencia *b*[*n*] de la Tabla 4-13.

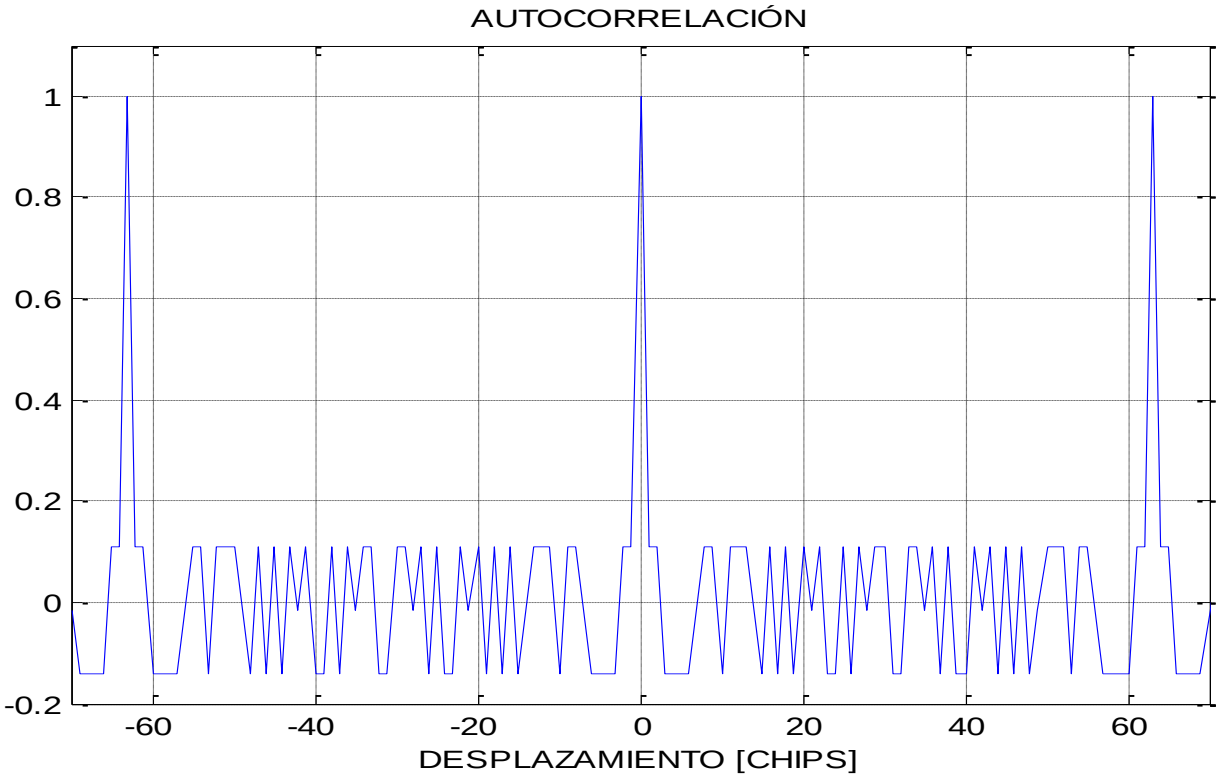


Figura 4-116. Detalle de la autocorrelación de la secuencia de Kasami resultante de emplear la novena subsecuencia *b*[*n*] de la Tabla 4-13.

Las gráficas anteriores muestran un rizado de la función de autocorrelación para desplazamientos mayores de un chip, con la salvedad de la secuencia correspondiente a la tercera subsecuencia $b[n]$ de la tabla 4-13 (figura 4-111). Puede apreciarse que este rizado queda determinado por tres valores representativos. En el caso de la tercera subsecuencia $b[n]$, como la secuencia de Kasami $a[n]$ resultante coincide con la propia secuencia PN de longitud máxima de partida, el "rizado" quedaría reducido a un único valor de los tres, quedando el mismo suelo o pedestal de autocorrelación de las secuencias PN de longitud máxima.

Simulaciones adicionales realizadas permitieron determinar las expresiones de estos tres valores representativos, en función de L y Q, recogidas en el capítulo 3. Finálmente, en el Apéndice 3 se ha incluido un estudio en el que se relaciona el número máximo y mínimo de secuencias de Kasami distintas que pueden generarse (en función del estado de carga de los registros) para los generadores de longitud máxima implementados mediante los polinomios generadores (de orden par) listados en el Apéndice 1.

En la tabla siguiente se proporciona una estadística resumen de los resultados más representativos del Apéndice 3, donde T representa el tamaño máximo de las familias de Kasami que pueden obtenerse en cada caso.

N	L	Q	T	$Q - T$	T / Q
4	15	5	4	1	0.8000
6	63	9	7	2	0.7777
8	255	17	13	4	0.7647
10	1023	33	25	8	0.7575
12	4095	65	49	16	0.7538
14	16383	129	93	36	0.7209

Tabla 4-14. Estadística resumen del tamaño máximo de las familias de Kasami que pueden obtenerse en función del número de registros N del generador PN de longitud máxima empleado.

.

4.3.2 Caracterización de la correlación cruzada.

Como continuación del apartado anterior, en este apartado se pretende mostrar algunos ejemplos del tipo de simulaciones efectuadas para determinar las expresiones, incluidas en el capítulo 3, relativas a la correlación cruzada de secuencias de Kasami.

De nuevo, se ha tomado como secuencia PN de longitud máxima de trabajo la secuencia de 63 chips de periodo empleada para estudiar las propiedades de autocorrelación de las secuencias de Kasami (apartado anterior, 4.3.1), es decir, la correspondiente al polinomio generador $x^6+ x^5+ x^3+ x^2+1$, producida a partir del estado inicial *1 0 1 0 1 0* con el siguiente impulso de reloj, tomando como salida del generador el registro 1.

Según se vio en el apartado anterior, resultaban 7 secuencias de Kasami distintas. Por tanto, podrían establecerse un total de 42 ($=7^2-7$) combinaciones de correlación cruzada, de las que 21 serían la imagen especular de las otras 21, según quedó suficientemente demostrado en los apartados 4.1.3 y 4.2.3.

Dado el elevado número de combinaciones posibles, se tomará una de ellas y se correlará con las seis restantes. De este modo, se ha tomado la secuencia de Kasami resultante del empleo de la primera

subsecuencia $b[n]$ de la tabla 4.13, pasando a correlarla con las seis secuencias resultantes del empleo de las subsecuencias $b[n]$ tercera, cuarta, quinta, sexta, séptima y novena de la misma tabla.

Se incluyen a continuación las gráficas obtenidas, mostrando un único ciclo de la función de correlación para mayor claridad. Se ha empleado la misma denominación de las secuencias $b[n]$ de la tabla 4.13 (determinada por la posición de la toma de muestra) para referirse a la secuencia de Kasami $a[n]$ resultante de cada una.

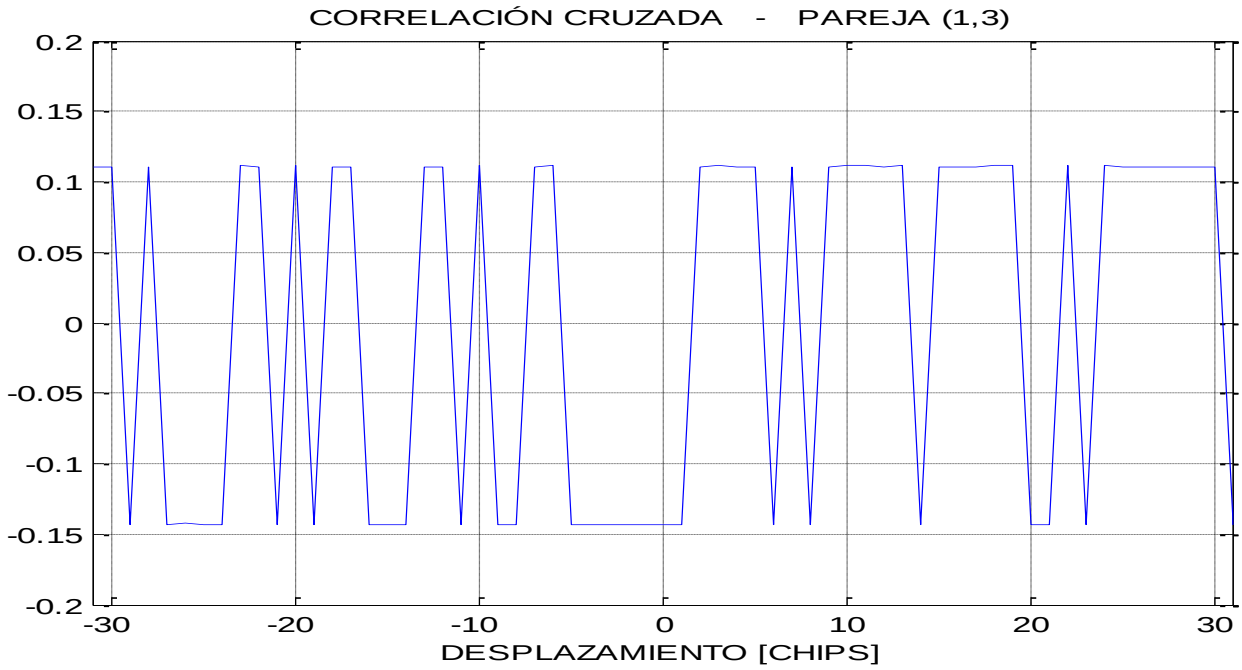


Figura 4-117. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias de Kasami determinada por las subsecuencias *b*[*n*] primera y tercera de la Tabla 4-13.

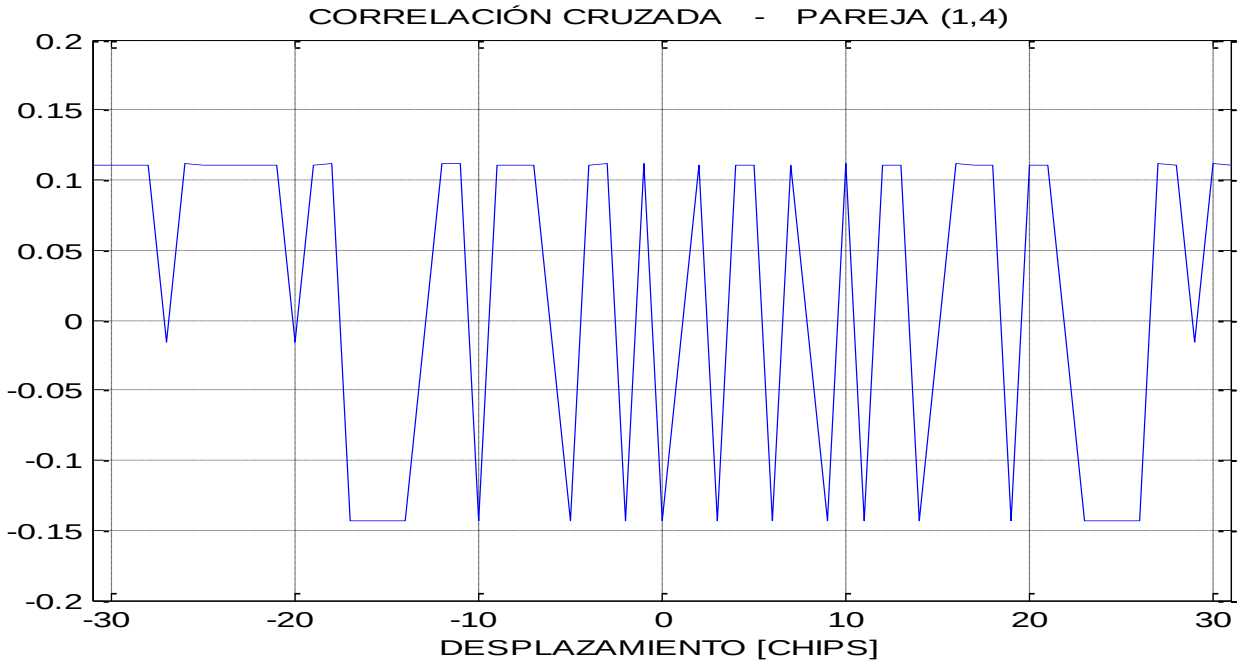


Figura 4-118. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias de Kasami determinada por las subsecuencias *b*[*n*] primera y cuarta de la Tabla 4-13.

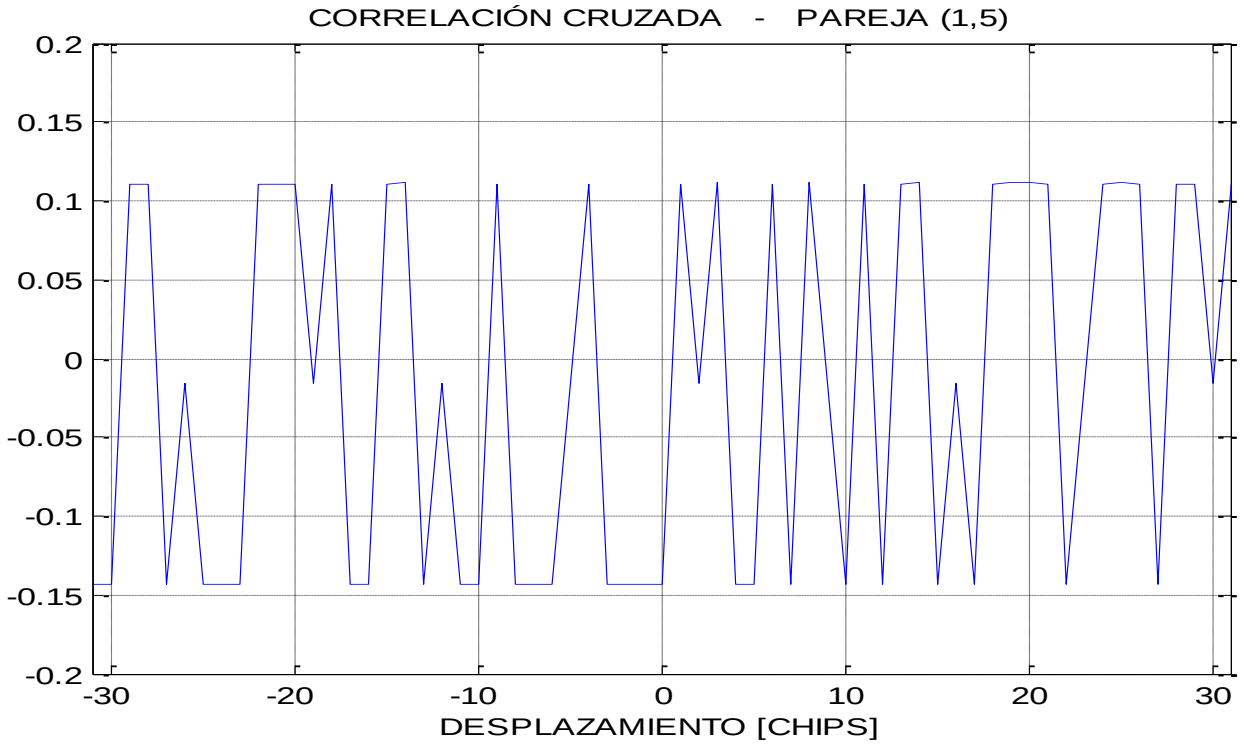


Figura 4-119. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias de Kasami determinada por las subsecuencias *b*[*n*] primera y quinta de la Tabla 4-13.

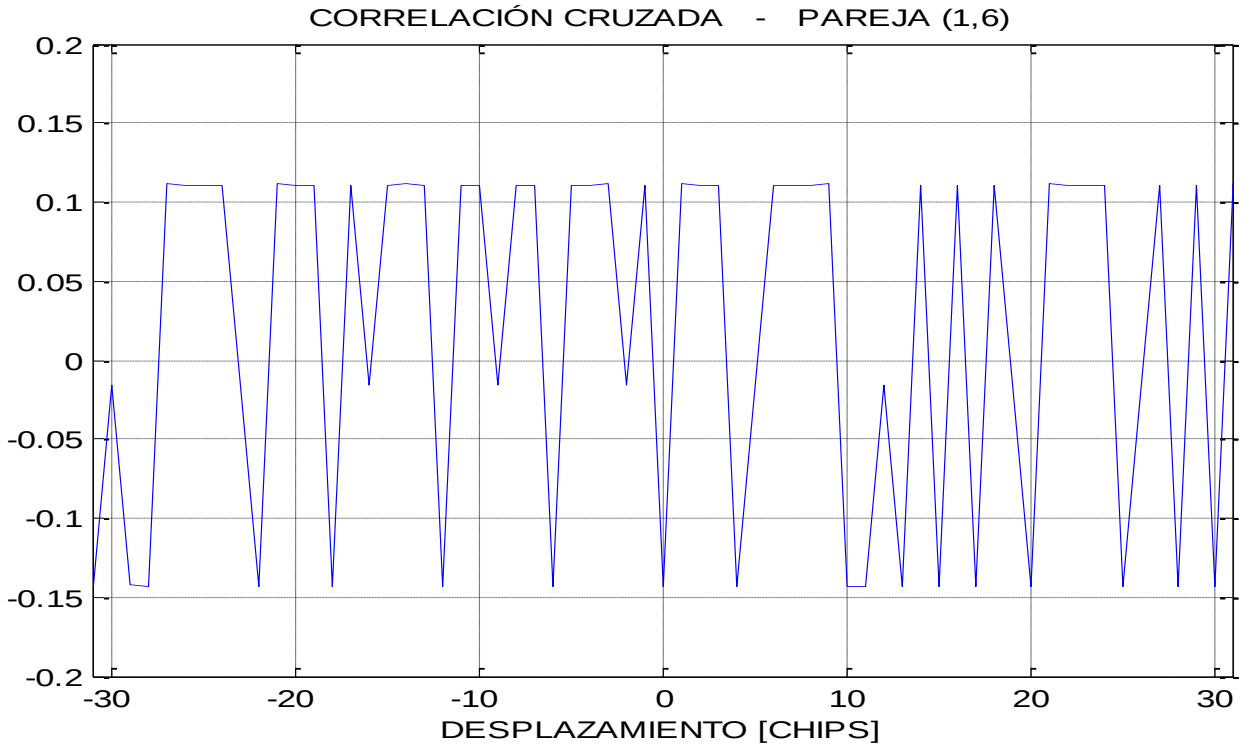


Figura 4-120. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias de Kasami determinada por las subsecuencias *b*[*n*] primera y sexta de la Tabla 4-13.

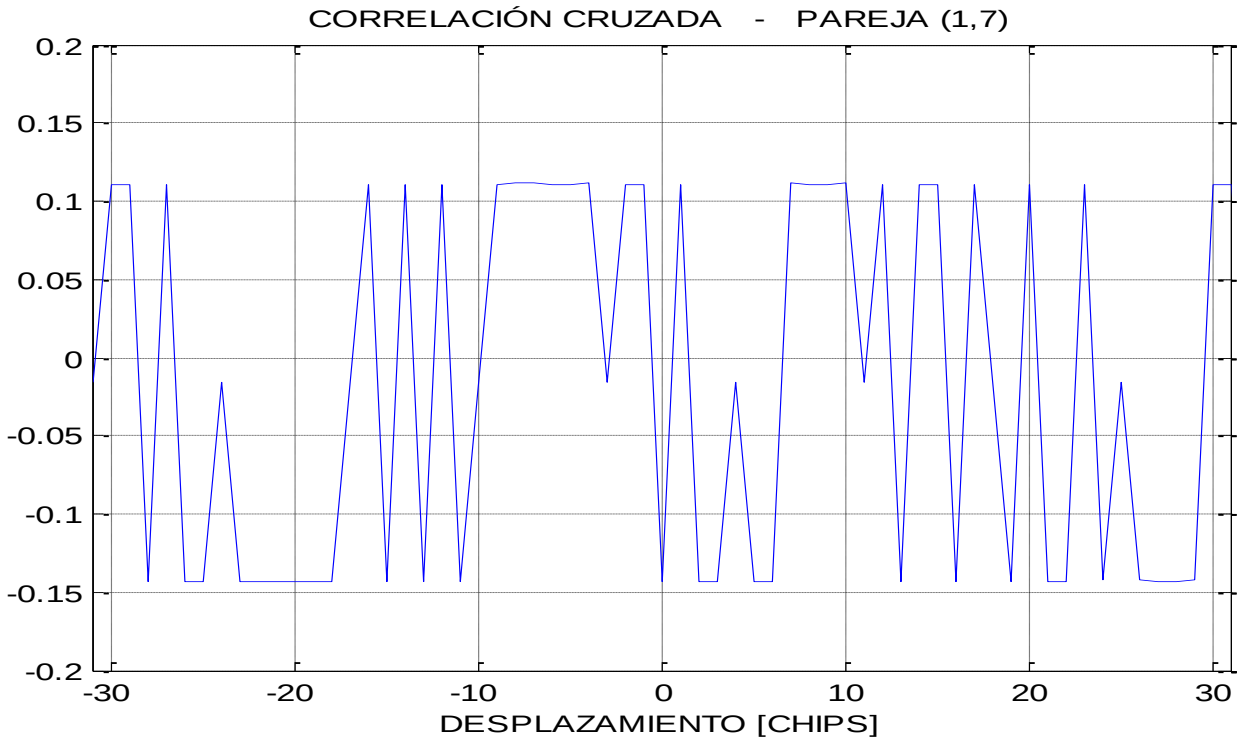


Figura 4-121. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias de Kasami determinada por las subsecuencias *b*[*n*] primera y séptima de la Tabla 4-13.

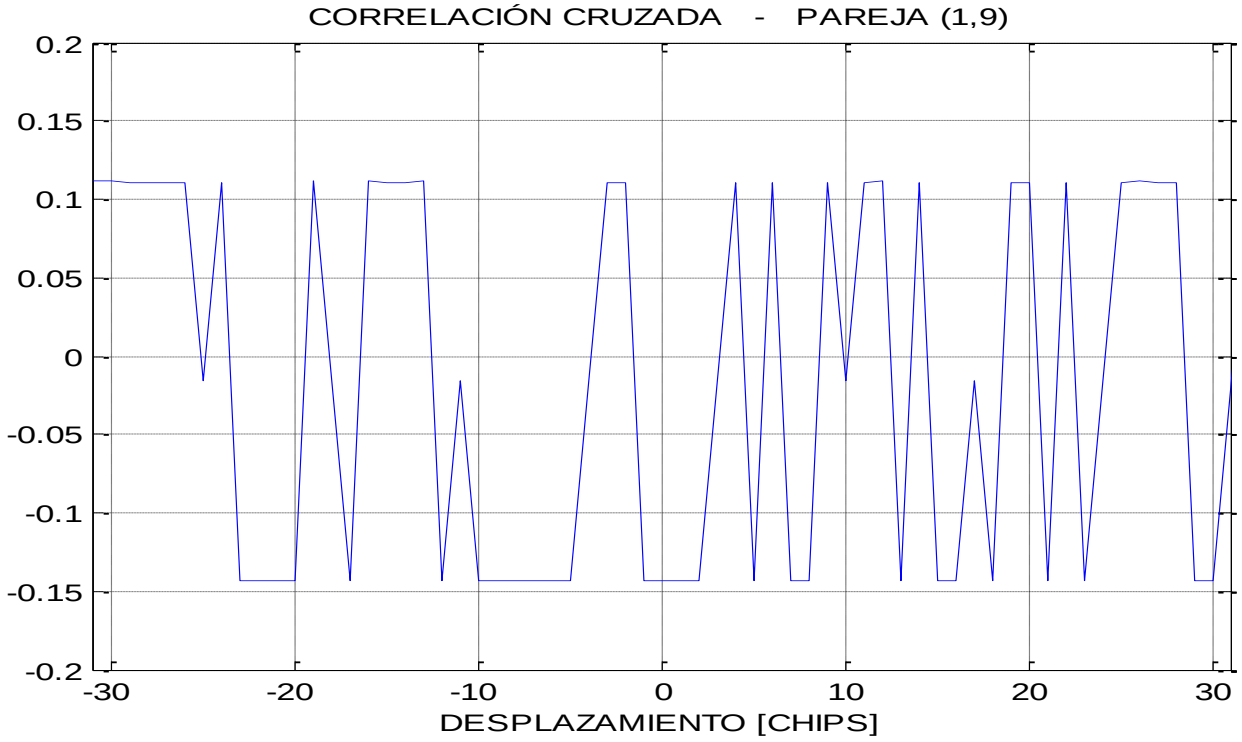
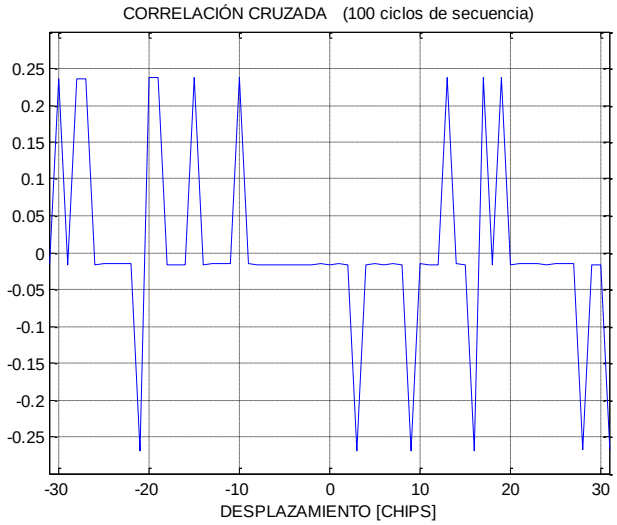


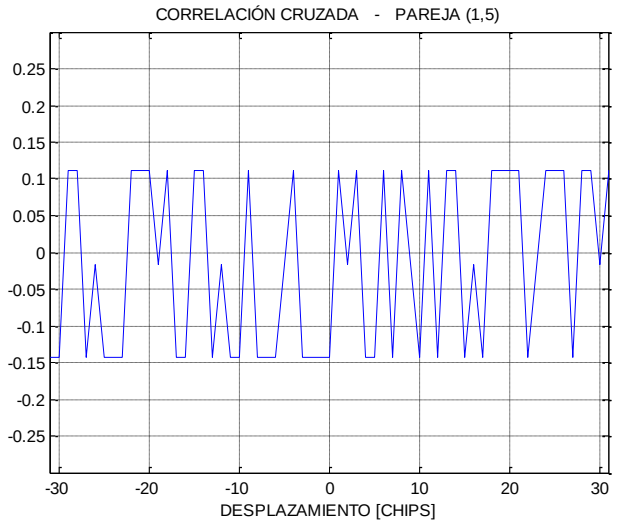
Figura 4-122. Ciclo central de la función de correlación de la pareja de secuencias de Kasami determinada por las subsecuencias *b*[*n*] primera y novena de la Tabla 4-13.

Las gráficas anteriores muestran que la función de correlación cruzada toma únicamente tres valores representativos, si bien en alguna de las gráficas sólo toma dos ellos (figura 4-117). Análisis cuantitativos adicionales, empleando distintas longitudes de periodo de la secuencia PN de longitud máxima, permitieron comprobar que dichos valores coinciden con los del rizado de la función de autocorrelación, según sugiere la comparativa, a simple vista, de las gráficas de los apartados 4.3.1 y 4.3.2. Las expresiones de los mencionados valores representativos se encuentran recogidas en el capítulo 3.

Sin necesidad de recurrir a las expresiones, puede comprobarse gráficamente que el rizado de la correlación cruzada obtenido en esta simulación resulta inferior al obtenido con las parejas preferentes de las secuencias PN de longitud máxima de 63 chips. A fin de ilustrar esta cuestión, a continuación se muestran alineadas, a modo de ejemplo, la gráfica de la figura 4.81b y la gráfica 4.119, ajustada ésta última a la misma escala de la anterior.



a) Pareja preferente.



b) Pareja de Kasami.

Figura 4-123. Comparativa de correlación cruzada de secuencias de 63 chips de periodo entre una pareja de Kasami y una pareja PN preferente.

4.4 Caracterización de secuencias Gold.

4.4.1 Caracterización de la autocorrelación.

En este apartado se pretende mostrar un ejemplo del tipo de análisis llevados a cabo para caracterizar la función de autocorrelación de las secuencias Gold, sobre la base del esquema del generador Gold genérico.

Para llevar a cabo el estudio se ha tomado de ejemplo una pareja preferente de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips. En concreto, la formada por las secuencias Nºs 2 y 6 de la tabla A1-9, determinadas por los polinomios generadores siguientes. Los dos generadores parciales han sido cargados con un mismo estado inicial, *1 0 1 0 1 0*, comenzando a producir su secuencia de salida con el siguiente impulso de reloj, tomando ésta del sexto registro de cada uno. En todas las simulaciones de este apartado se han considerado niveles de amplitud NRZ polar +/-1.

O	*N*	*K*	$g = [\, g_1 \;\; g_2 \;\; g_3 \;\; \cdots \;\; g_{N-K-1} \;\; g_{N-K} \,]$	*p(x)*	*L*
2	6	2	1 0 1 1	$x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$	63
6	6	1	1 0 0 1 1	$x^6 + x^5 + x^2 + x + 1$	63

Tabla 4-15. Extracto de la tabla A1-9 con la pareja preferente de secuencias de longitud máxima de 63 chips de interés.

En la gráfica siguiente se muestra el ciclo central de la función de autocorrelación de la secuencia Gold resultante sin aplicar ningún desplazamiento en la secuencia producida por cada uno de los generadores parciales, es decir, con el estado inicial de carga de los registros indicado.

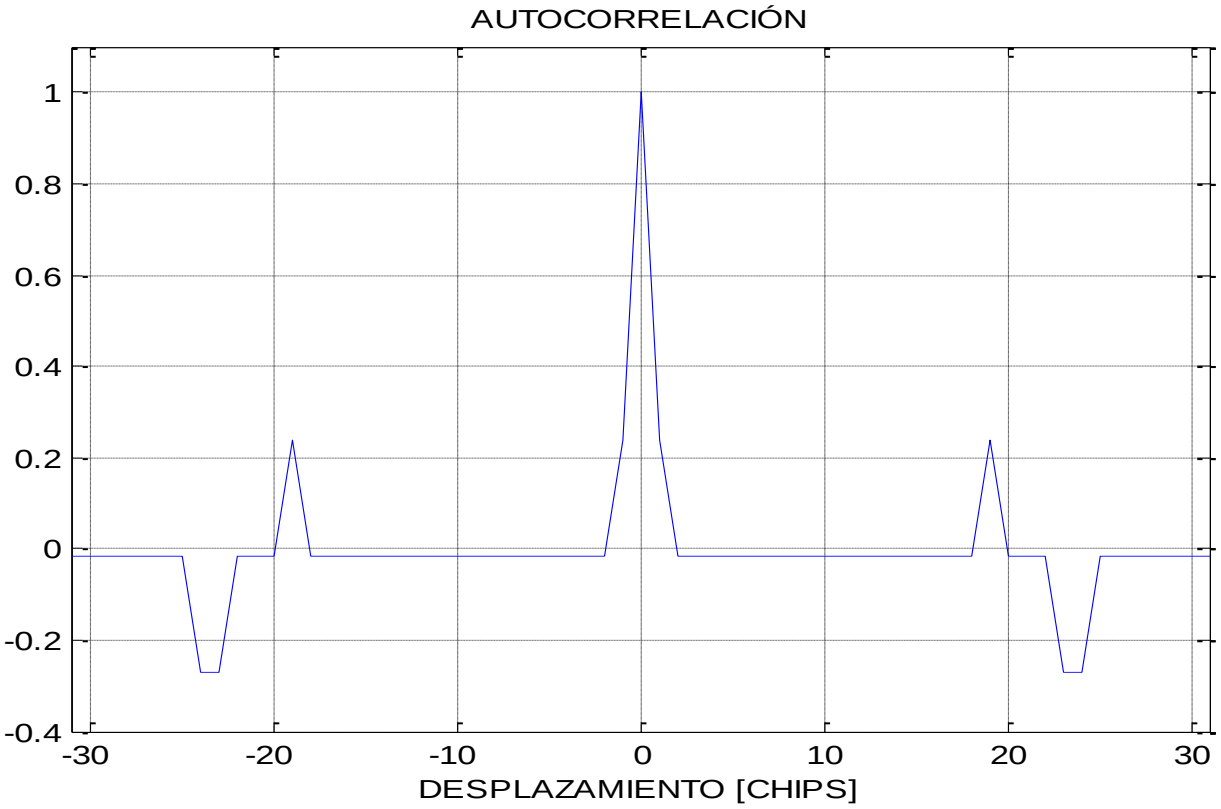
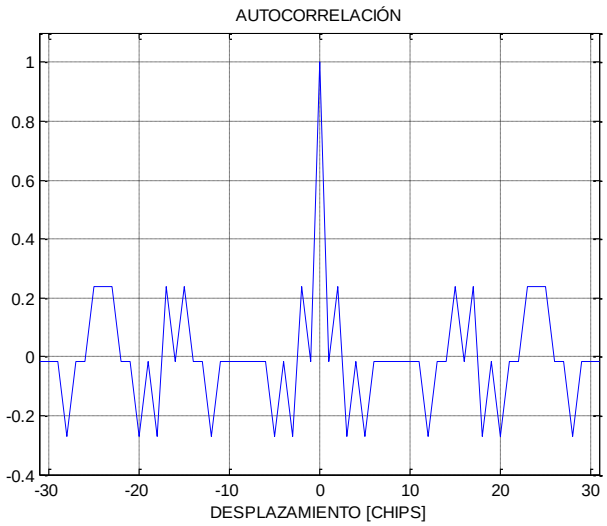


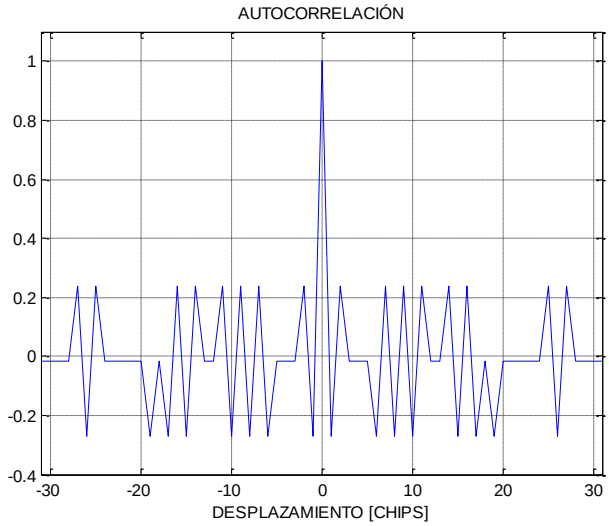
Figura 4-124. Ciclo central de la función de autocorrelación de la secuencia Gold determinada por las condiciones de trabajo de partida.

Puede observarse que la función toma únicamente tres valores representativos, encontrándose semi-balanceados respecto del valor cero, aunque perfectamente balanceados respecto del valor de mínima amplitud de la función.

En la simulación siguiente, con respecto del estado inicial de carga anterior, se ha aplicado un desplazamiento o desfase de un chip a derecha e izquierda en la secuencia producida por el segundo generador parcial, es decir, el responsable de la secuencia número 6 (tabla 4.15). En las gráficas siguientes se muestra el ciclo central de la función de autocorrelación de las dos secuencias Gold producidas en esta nueva situación.



a) Retraso de 1 chip.

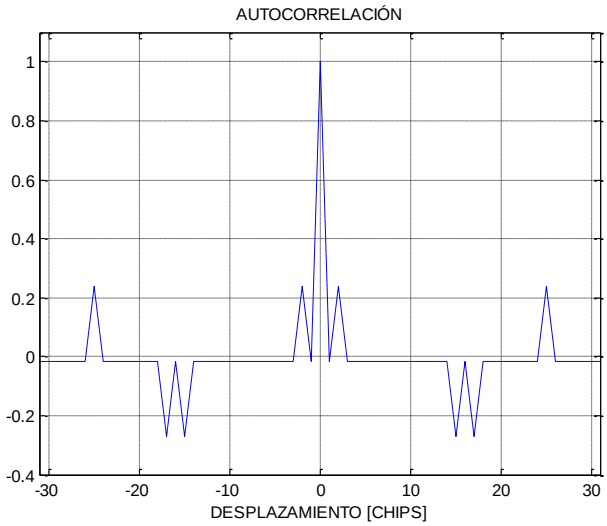


b) Adelanto de 1 chip.

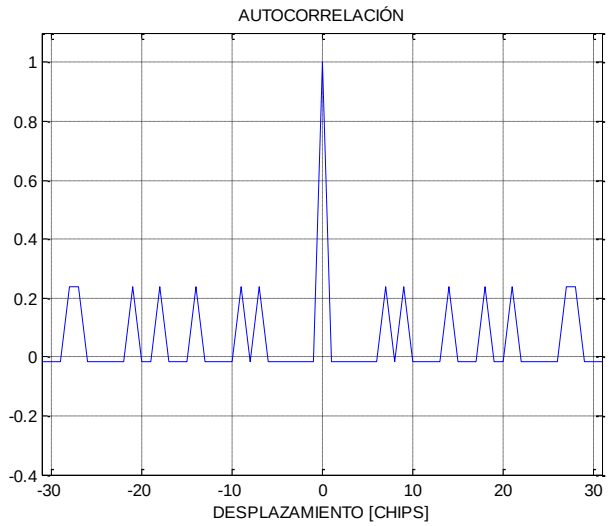
Figura 4-125. Ciclo central de la función de autocorrelación de la pareja de secuencias Gold determinada por un desplazamiento de un chip en el estado inicial del segundo generador parcial.

Dado que se obtienen distintas funciones de autocorrelación, se concluye que, en ambos casos, se trata de secuencias Gold diferentes y, a su vez, distintas de la generada en el caso anterior.

En la simulación siguiente, con respecto del estado inicial de carga de partida, se ha aplicado un desplazamiento de diez chips a derecha e izquierda en la secuencia producida por el segundo generador parcial, resultando las gráficas siguientes.



a) Retraso de 10 chips.



b) Adelanto de 10 chips.

Figura 4-126. Ciclo central de la función de autocorrelación de la pareja de secuencias Gold determinada por un desplazamiento de 10 chips en el estado inicial del segundo generador parcial.

Puede observarse, igualmente, que se han generado dos nuevas secuencias Gold distintas de las anteriores. Por otra parte, se aprecia que en una de las gráficas (figura 4-126b) sólo aparecen dos de los tres valores representativos anteriores. En cualquier caso, se comprueba que en todas las gráficas, para desplazamientos mayores de un chip (dentro de un mismo ciclo de la función), todos los valores que toma la autocorrelación se corresponden con una interpolación lineal de los tres valores representativos referidos.

Nuevas simulaciones, empleando distintas longitudes de periodo de la pareja de secuencias preferentes producidas por los generadores parciales del generador Gold genérico, permitieron determinar las conclusiones recogidas en el capítulo 3.

4.4.2 Caracterización de la correlación cruzada.

En este apartado se pretende mostrar un ejemplo de las simulaciones efectuadas para caracterizar la función de correlación de una pareja de secuencias Gold cualesquiera, obtenidas mediante el esquema del generador Gold genérico.

Al igual que en el apartado anterior, se ha tomado una pareja preferente de secuencias PN de longitud máxima de 63 chips. En esta ocasión, la formada por las secuencias Nºs 4 y 5 de la tabla A1-9 (recogidas extractadas en la tabla 4.9), considerado también niveles de amplitud NRZ polar +/-1.

Dado el elevado número de combinaciones posibles de parejas de secuencias Gold pertenecientes a la familia determinada por la citada pareja preferente, se muestran únicamente un par de ejemplos (A y B) ilustrativos del ciclo central de la función de correlación de una pareja de secuencias Gold cualquiera de la familia.

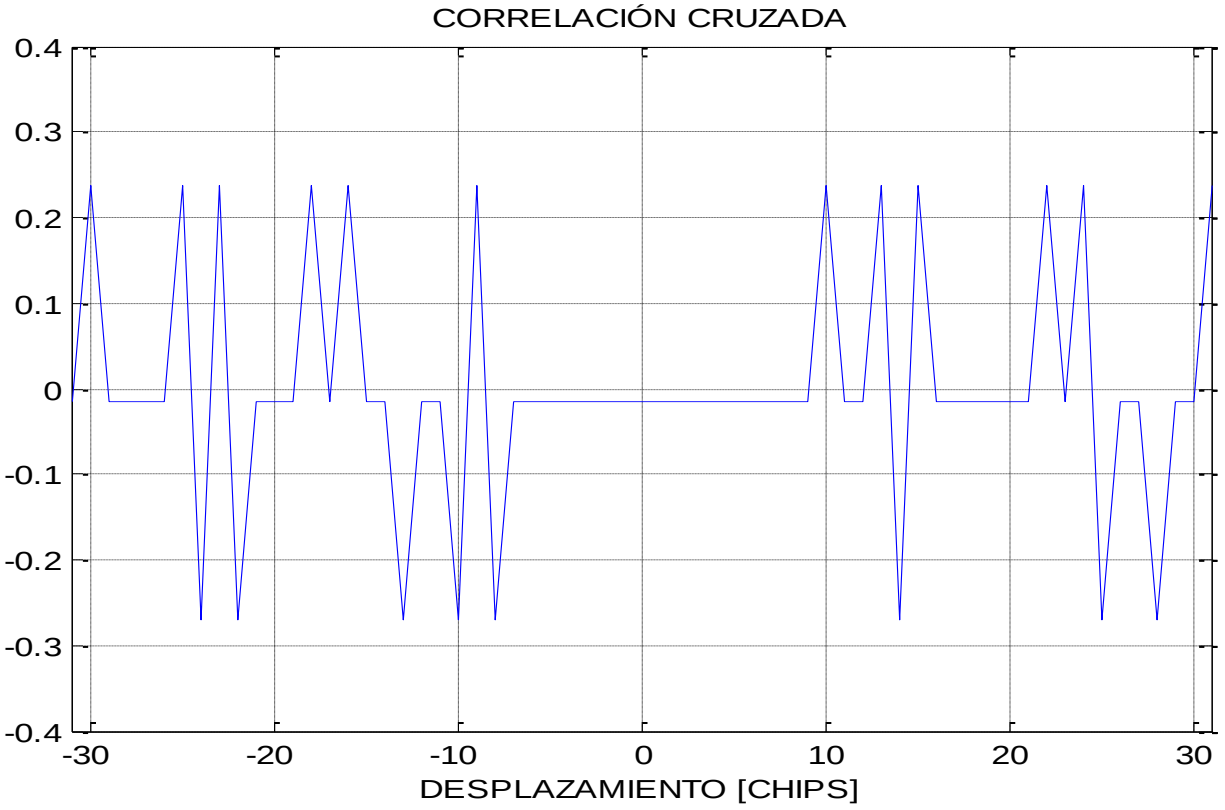


Figura 4-127. Ciclo central de la función de correlación de la pareja 'A' de secuencias Gold pertenecientes a la familia generada por la pareja de secuencias PN preferente (4,5) de la tabla A1-9.

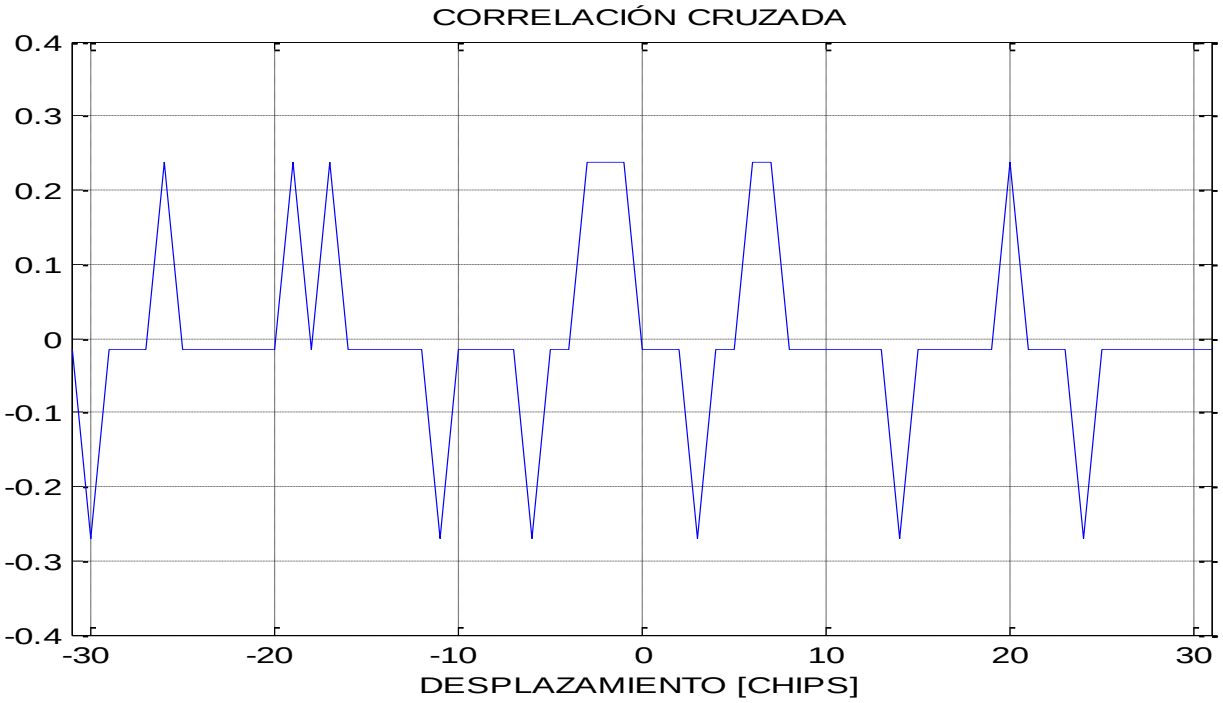
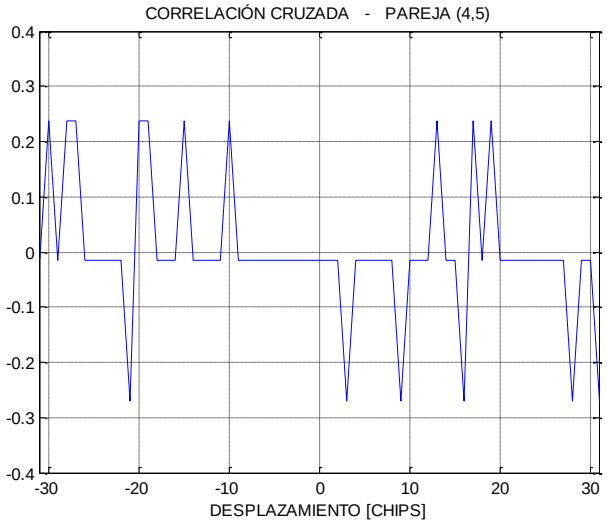


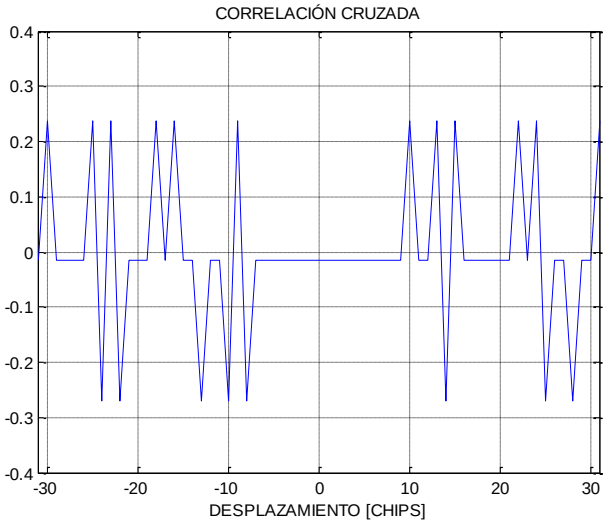
Figura 4-128. Ciclo central de la función de correlación de la pareja 'B' de secuencias Gold pertenecientes a la familia generada por la pareja de secuencias PN preferente (4,5) de la tabla A1-9.

Se observan en ambas gráficas que la función sólo toma tres valores representativos, obteniéndose el resto de valores gráficos de la interpolación lineal de los anteriores. Así mismo, puede apreciarse a simple vista que estos valores característicos coinciden con los que muestra el rizado de la función de autocorrelación, según puede apreciarse, a simple vista, de la comparativa con la figura 4-124.

A fin de proporcionar una comparativa con la correlación de la mencionada pareja preferente (4,5), a continuación se muestran alineadas las figuras 4.96a) y 4.127.



a) Pareja PN preferente (4,5).



b) Pareja de secuencias Gold.

Figura 4-129. Comparativa del ciclo central de la función de correlación de la pareja PN preferente (4,5) de la tabla A1-9 con la de una pareja de secuencias Gold cualesquiera generada a partir a la anterior.

Se comprueba que la función de correlación toma los mismos tres valores representativos en ambos casos. De hecho, es habitual que ambas secuencias de la pareja preferente empleada en la generación Gold se consideren, a su vez, parte de la familia Gold resultante.

Numerosas simulaciones adicionales permitieron concluir, fehacientemente, que los valores representativos de la correlación cruzada de secuencias Gold coinciden con los de la correlación de las parejas PN preferentes. Las expresiones de los mismos se recogen en el capítulo 3 (deducidas de análisis cuantitativos empleando distintas longitudes de periodo).

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Introducción.

El presente trabajo constituye un estudio de las propiedades de diferentes tipos de secuencias PRN, que pueden servir de base para el diseño de nuevos sistemas de telecomunicación o de índole informática.

Todos los resultados y conclusiones presentados en este estudio han sido determinados analíticamente o experimentalmente. Los experimentos se han basado, fundamentalmente, en simulaciones en Matlab, empleando las versiones 7 y 5.3.

Las simulaciones realizadas se han llevado a cabo de manera rigurosa, evaluando y, en su caso, compensando los efectos inherentes a la propia simulación, a fin de lograr una caracterización fiable de las secuencias, fundamentalmente, desde el punto de vista de señales temporales continuas.

Esa labor se ha completado con distintos tipos de secuencias PRN, para las que se han definido y comprobado (mediante simulación) los mecanismos de generación de las mismas, antes de llevar a cabo el análisis de sus propiedades, cubriéndose satisfactoriamente los objetivos establecidos al comienzo del TFM.

En el punto 5.3 se recopilan las conclusiones más importantes alcanzadas durante el desarrollo del estudio.

5.2 Líneas futuras.

Estos códigos han sido empleados tradicionalmente en sistemas de telecomunicación de espectro ensanchado de uso militar, dada su robustez frente al ruido y las interferencias. Las propiedades de baja correlación cruzada de algunos tipos de secuencias ha impulsado su extensión al ámbito civil, generalizándose su uso en sistemas de acceso múltiple al medio (además de en GPS, entre otros).

Sin embargo, la criptografía, la ciberseguridad y las tecnologías de la información, en general, constituyen hoy día ámbitos de aplicación de las mismas poco explorados, con mucho potencial, donde las capacidades de cómputo actuales y la ingeniería de servicios pueden despertar el interés por ellas en cualquier momento.

Entre las posibles líneas naturales de continuación de este TFM cabe citar:

- Estudio monográfico de las secuencias caóticas, incluyendo simulaciones en Matlab.
- Estudio monográfico de algún otro código relacionado: Hadamard, Barker, etc.

- Diseño, simulación y análisis de prestaciones de un sistema concreto de espectro ensanchado basado en algún tipo concreto de secuencia PRN.

5.3 Conclusiones.

5.3.1 Conclusiones generales de las secuencias PRN.

- En ausencia de ruido, a los efectos de obtener gráficamente la función de autocorrelación de señales digitales o la correlación cruzada de una pareja de ellas, éstas pueden ser muestreadas empleando una única muestra por chip.
- Si se desea obtener el valor de las propiedades de correlación para desplazamientos distintos de los múltiplos enteros de un periodo de chip, será necesario tomar varias muestras de la secuencia por cada chip.
- La autocorrelación de secuencias digitales es una función simétrica, es decir: $\mathcal{R}_c[\tau] = \mathcal{R}_c[-\tau]$.
- El máximo de la función autocorrelación coincide con la potencia media de la señal.
- Presentan muy baja autocorrelación para cualquier desplazamiento τ que diste más de un chip del máximo de la función (y de sus infinitas réplicas, en el caso de ser periódica).
- La función de correlación cruzada de una pareja de secuencias, tomadas en un determinado orden, muestra simetría especular respecto de la función resultante en el caso de que las secuencias se tomasen en orden inverso: $\mathcal{R}_{c_1c_2}[\tau] = \mathcal{R}_{c_2c_1}[-\tau]$.
- Las secuencias PRN logran un buen reparto en banda de la potencia de señal, propiedad necesaria en aplicaciones de espectro ensanchado.
- Tienen un espectro de tipo 'sinc cuadrado', estando concentrada la mayor parte de la potencia en el lóbulo principal, es decir, en frecuencias inferiores al régimen de chip.

5.3.2 Conclusiones específicas de las secuencias caóticas.

- Las secuencias generadas por un sistema caótico a partir de dos estados iniciales cuyo valor difiera muy poco tienden a ser incorreladas al poco tiempo.
- La función de autocorrelación de secuencias caóticas indefinidas tiende a ser plana, de valor nulo, para desplazamientos mayores de un chip.
- La función de correlación cruzada de secuencias caóticas indefinidas tiende a cero para cualquier desplazamiento τ. En todo caso, la amplitud de la correlación parcial queda acotada en un rango más pequeño a medida que aumenta la longitud de la pareja de subsecuencias correladas.
- Trabajando con secuencias de longitud finita aparecen picos secundarios en la autocorrelación parcial. Por tanto, su aplicación a sistemas de acceso múltiple al medio requerirá el empleo de códigos lo suficientemente largos.
- El promedio de un determinado número de autocorrelaciones parciales, a partir de la extracción de subsecuencias no solapadas en el tiempo, constituye una mejor aproximación a la autocorrelación de la secuencia caótica indefinida que la del promedio de una sucesión de subsecuencias desplazadas chip a chip.
- El mecanismo de promediado de subsecuencias consecutivas no solapadas constituye, en definitiva, una muy buena aproximación a la autocorrelación de la secuencia caótica indefinida, permitiendo aproximarla con un número relativamente reducido de chips.

- Los picos secundarios de la autocorrelación parcial se cancelan o compensan en la gráfica de la autocorrelación promedio. Esta afirmación lleva implícita que no se tomen subsecuencias solapadas a la hora de calcular la aproximación a la autocorrelación de la secuencia caótica indefinida.
- Por lo general, al aumentar la longitud de las subsecuencias caóticas mejoran sus propiedades de correlación cruzada. Esta consideración habrá que tenerla en cuenta a la hora de establecer el tamaño de los códigos empleados en entornos de acceso multiple al medio.

5.3.3 Conclusiones específicas de las secuencias PN de longitud máxima.

- Son secuencias periódicas, cuyo periodo tiene una longitud de $2^N - 1$ chips, donde N es el número de registros del generador linealmente realimentado.
- Cada ciclo tiene $2^N / 2$ 'unos'.
- La autocorrelación de una secuencia PN indefinida es una función periódica de periodo L chips, al igual que el de la secuencia. Por tanto, los máximos de la función se encuentran posicionados en los desplazamientos múltiplos enteros del periodo.
- La función de autocorrelación de la secuencia indefinida muestra un pedestal o suelo de autocorrelación, que tiende a cero a medida que aumenta la longitud del periodo de la secuencia.
- Para obtener, mediante simulación, una buena aproximación de las funciones de autocorrelación o de correlación cruzada de secuencias indefinidas, no resulta suficiente con considerar un único periodo de las secuencias, sino que ha de ser un número suficientemente grande de ciclos, debiéndose acotar la observación a la región central de las funciones.
- El suelo de la autocorrelación parcial se suaviza al aumentar el número de periodos de la ventana de correlación de las simulaciones.
- La correlación cruzada de secuencias PN indefinidas es una función periódica de periodo L chips.
- Por lo general, no presentan buenas propiedades de correlación cruzada, salvo determinadas parejas de secuencias, denominadas preferentes, cuya función de correlación presenta únicamente tres valores característicos.
- La separación entre componentes espectrales es R_{chip}/L, de tal modo que en cada lóbulo hay $L-1$ componentes, siendo L el periodo de la secuencia expresado en chips.
- La envolvente de potencia espectral disminuye conforme aumenta la longitud del periodo de la secuencia, al quedar repartida la misma potencia de señal entre un mayor número de componentes.

5.3.4 Conclusiones específicas de las secuencias de Kasami.

- Una familia de secuencias de Kasami proporciona un conjunto de secuencias con buenas propiedades de correlacion cruzada, mayor que los conjuntos preferentes que pueden obtenerse de secuencias PN de longitud máxima, para una misma longitud de periodo.
- El número de secuencias de Kasami que integran una familia varía dependiendo de la secuencia PN de longitud máxima que se tome de base.
- Todas las secuencias de una familia de Kasami son periódicas, de igual longitud de periodo que la secuencia PN de longitud máxima en que se basen.

- Su función de autocorrelación presenta un rizado para desplazamientos mayores de un chip respecto de los máximos absolutos de la función.
- El rizado de la autocorrelación queda determinado por tres valores característicos, tendiendo a ser simétrico a medida que aumenta la longitud de la secuencia.
- El rizado de la autocorrelación disminuye a medida que aumenta la longitud del periodo de la secuencia.
- La función de correlación cruzada de secuencias de la misma familia presenta el mismo rizado que la función de autocorrelación de las secuencias.
- Las parejas de secuencias de una misma familia presentan mejores propiedades de correlación cruzada que las parejas preferentes de secuencias PN, tendiendo a ser el rizado en el primer caso la mitad que en el segundo, a medida que aumenta la longitud del periodo.

5.3.5 . Conclusiones específicas de las secuencias Gold.

- El número de secuencias Gold que integra una familia es muy grande, siendo: $M = 2^N + 1$. Este número resulta muy superior al número de secuencias que integra una familia de Kasami.
- Todas las secuencias de una familia Gold son periódicas, de periodo de $2^N - 1$ chips, al igual que el de las secuencias preferentes en que se basan.
- No todas las secuencias Gold tienen $2^N / 2$ unos, existiendo en cada familia tres posibilidades distintas en cuanto al número de unos.
- Su función de autocorrelación presenta un rizado para desplazamientos mayores de un chip respecto de los máximos absolutos de la función.
- El rizado de la autocorrelación queda determinado por tres valores característicos, tendiendo a ser simétrico a medida que aumenta la longitud de la secuencia. No obstante, para longitudes de periodo bajas se encuentran algunas secuencias para las que desaparece el valor extremo inferior.
- El rizado de la autocorrelación disminuye a medida que aumenta la longitud del periodo de la secuencia.
- El rizado de la autocorrelación coincide con el de las parejas preferentes de secuencias PN de la misma longitud de periodo.
- La función de correlación cruzada de secuencias de la misma familia presenta el mismo rizado que la función de autocorrelación las secuencias.
- No todas las parejas de la familia muestran los tres valores característ ios de correlación, encontrándose algunas parejas en las que desaparece la cota extrema inferior, para longitudes de periodo bajas.
- Las secuencias GPS que identifican los satélites de la red tienen un periodo de 1023 chips, de los cuales 512 son unos.
- El rizado de las funciones de autocorrelación y correlación cruzada de las secuencias GPS presentan ambas cotas extremas características, positiva y negativa.

6 BIBLIOGRAFÍA

[1] Savo Glisic y Branka Vucetic, *Spread Spectrum CDMA Systems for Wireless Communications.* Artech House, 1997.

[2] José M. Hernando, *Comunicaciones Móviles.* Centro de Estudios Ramón Areces, 1997.

[3] Robert B. Ward, "*Acquisition of Pseudonoise Signals by Sequential Estimation*", IEEE Transactions on Communication Technology, vol. COM-13, pp.475-483, Diciembre 1965.

[4] Andreas Polydoros y Charles L. Weber, "*A Unified Approach to Serial Search Spread-Spectrum Code Acquisitión-Part II: A Matched-Filter Receiver*", IEEE Transactions on Communications, vol. COM-32, Nº5, pp.550-551, Mayo 1984.

[5] J.-F. Beaumont, "*RTL Design of a Generic Pseudonoise Generator*", Defence R&D 2004-176, Ottawa (Canadá), Septiembre de 2004.

[6] M. Gulotta, "*HDL Coding for Pseudo-Random Noise Generators*", Xcell Journal, Nº35, pp. 43-45, verano 2002.

[7] New Wave Instruments, "*LRS-200 Family Spread Spectrum Generators*", Septiembre de 2001. (http://www.newwaveinstruments.com/literature/documents/pdf/LRS-200_brochure.pdf).

[8] S. Azou, G. Burel y C. Pistre, "A Chaotic Direct-Sequence Spread-Spectrum System for Underwater Communication", *IEEE-Oceans'2002*, vol. 4, pp.2409-2415, Octubre 2002.

[9] G. Heidari-Bateni y C. D. McGillem, "A Chaotic Direct-Sequence Spread Spectrum Communication System", *IEEE Transactions on Communications,* vol. 42, Nº2, pp.1524-1527, 1994.

[10] https://es.wikipedia.org/wiki/GPS#Evolución_del_sistema_GPS.

[11] M. Carmen Pérez Rubio, "*Generación y Correlación Eficiente de Códigos Binarios Derivados de Conjuntos de Secuencias Complementarias para Sistemas Ultrasónicos*", Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alcalá, 2009.

APÉNDICE I: PARÁMETROS DE SÍNTESIS DE SECUENCIAS PN DE LONGITUD MÁXIMA

Este apéndice se ha obtenido como resultado de la exploración de todas las posibilidades de conexión de los registros de un generador PN linealmente realimentado genérico, con el propósito de obtener secuencias de longitud máxima de distinto tamaño y registrar sus parámetros de síntesis, o de configuración del referido generador.

El mencionado generador debe entenderse en sentido amplio, no necesariamente como una implementación hardware, sino, más bien, como una abstracción de un algoritmo matemático o informático de síntesis de las secuencias de interés.

Se proporciona una tabla de conexiones de los registros para cada una de las longitudes de secuencia exploradas, comenzando por el menor número posible de registros del generador. A continuación de cada una de estas tablas, se realiza un balance del número total de secuencias resultante de las distintas longitudes, en función del número de registros del lazo de realimentación establecido para cada una de las secuencias.

La nomenclatura empleada es la siguiente:

O: Número de lista de la secuencia.

N: Número de registros del generador pseudoaleatorio linealmente realimentado.

K: Número de registros del lazo de realimentación.

p(x): polinomio generador de la secuencia.

$g = [\, g_1 \;\; g_2 \;\; g_3 \;\; \cdots \;\; g_{N-K-1} \;\; g_{N-K} \,]$: define el estado (ON/OFF) de la conexión de cada uno de los registros del codificador cíclico (*N*,*K*) directo asociado.

Donde:

$N > K \quad / \quad N, K \in \mathbb{N}$

$g_i \in \{0, 1\} \quad / \; i \neq (N - K)$

$g_{(N-K)} = 1$

O	*N*	*K*	$g = [\, g_1 \;\; g_2 \;\; g_3 \;\; \cdots \;\; g_{N-K-1} \;\; g_{N-K} \,]$	*p(x)*	*L*
1	2	1	1	$x^2 + x + 1$	3

Tabla A1-1. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 3 bits.

	Número de registros del lazo de realimentación (*K*)						
	6	5	4	3	2	1	TOTAL
Número de secuencias de longitud máxima	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1

Tabla A1-2. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N* = 2.

O	*N*	*K*	$g = [g_1 \ g_2 \ g_3 \ \cdots \ g_{N-K-1} \ g_{N-K}]$	*p(x)*	*L*
1	3	2	1	$x^3 + x^2 + 1$	7
2	3	1	0 1	$x^3 + x + 1$	7

Tabla A1-3. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 7 bits.

	Número de registros del lazo de realimentación (*K*)						
	6	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**TOTAL**
Número de secuencias de longitud máxima	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	**2**

Tabla A1-4. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N* = 3.

O	*N*	*K*	$g = [g_1 \ g_2 \ g_3 \ \cdots \ g_{N-K-1} \ g_{N-K}]$	*p(x)*	*L*
1	4	3	1	$x^4 + x^3 + 1$	15
	4	2			
2	4	1	0 0 1	$x^4 + x + 1$	15

Tabla A1-5. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 15 bits.

	Número de registros del lazo de realimentación (*K*)						
	6	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**TOTAL**
Número de secuencias de longitud máxima	N/A	N/A	N/A	1	0	1	**2**

Tabla A1-6. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N* = 4.

O	*N*	*K*	$g = [g_1 \ g_2 \ g_3 \ \cdots \ g_{N-K-1} \ g_{N-K}]$	*p(x)*	*L*
	5	4			
1	5	3	0 1	$x^5 + x^3 + 1$	31
2	5	2	0 0 1	$x^5 + x^2 + 1$	31
3	5	2	1 1 1	$x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	31
4	5	1	0 1 1 1	$x^5 + x^4 + x^3 + x + 1$	31
5	5	1	1 0 1 1	$x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$	31
6	5	1	1 1 0 1	$x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$	31

Tabla A1-7. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 31 bits.

	Número de registros del lazo de realimentación (*K*)						
	6	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**TOTAL**
Número de secuencias de longitud máxima	N/A	N/A	0	1	2	3	**6**

Tabla A1-8. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N* = 5.

O	***N***	***K***	$g = [\, g_1 \;\; g_2 \;\; g_3 \;\; \cdots \;\; g_{N-K-1} \;\; g_{N-K} \,]$	***p(x)***	***L***
1	6	5	1	$x^6 + x^5 + 1$	63
	6	4			
	6	3			
2	6	2	1 0 1 1	$x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$	63
3	6	1	0 0 0 0 1	$x^6 + x + 1$	63
4	6	1	0 0 1 1 1	$x^6 + x^5 + x^4 + x + 1$	63
5	6	1	0 1 1 0 1	$x^6 + x^4 + x^3 + x + 1$	63
6	6	1	1 0 0 1 1	$x^6 + x^5 + x^2 + x + 1$	63

Tabla A1-9. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 63 bits.

	Número de registros del lazo de realimentación (*K*)						
	6	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**TOTAL**
Número de secuencias de longitud máxima	N/A	1	0	0	1	4	**6**

Tabla A1-10. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N* = 6.

O	***N***	***K***	$g = [\, g_1 \;\; g_2 \;\; g_3 \;\; \cdots \;\; g_{N-K-1} \;\; g_{N-K} \,]$	***p(x)***	***L***
1	7	6	1	$x^7 + x^6 + 1$	127
	7	5			
2	7	4	0 0 1	$x^7 + x^4 + 1$	127
3	7	4	1 1 1	$x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + 1$	127
4	7	3	0 0 0 1	$x^7 + x^3 + 1$	127
5	7	3	1 1 0 1	$x^7 + x^5 + x^4 + x^3 + 1$	127
6	7	2	0 0 1 1 1	$x^7 + x^6 + x^5 + x^2 + 1$	127
7	7	2	0 1 0 1 1	$x^7 + x^6 + x^4 + x^2 + 1$	127
8	7	2	1 1 0 0 1	$x^7 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	127
9	7	2	1 1 1 1 1	$x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	127
10	7	1	0 0 0 0 0 1	$x^7 + x + 1$	127
11	7	1	0 0 1 0 1 1	$x^7 + x^6 + x^4 + x + 1$	127

12	7	1	0 1 0 0 1 1	$x^7 + x^6 + x^3 + x + 1$	127
13	7	1	0 1 0 1 0 1	$x^7 + x^5 + x^3 + x + 1$	127
14	7	1	1 0 0 1 0 1	$x^7 + x^5 + x^2 + x + 1$	127
15	7	1	1 0 1 1 1 1	$x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$	127
16	7	1	1 1 0 0 0 1	$x^7 + x^3 + x^2 + x + 1$	127
17	7	1	1 1 0 1 1 1	$x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$	127
18	7	1	1 1 1 1 0 1	$x^7 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$	127

Tabla A1-11. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 127 bits.

	Número de registros del lazo de realimentación (*K*)						
	6	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**TOTAL**
Número de secuencias de longitud máxima	1	0	2	2	4	9	**18**

Tabla A1-12. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N* = 7.

O	*N*	*K*	$g = [\, g_1 \;\; g_2 \;\; g_3 \;\; \cdots \;\; g_{N-K-1} \;\; g_{N-K} \,]$	*p(x)*	*L*
	8	7			
	8	6			
	8	5			
1	8	4	1 1 0 1	$x^8 + x^6 + x^5 + x^4 + 1$	255
2	8	3	0 1 0 1 1	$x^8 + x^7 + x^5 + x^3 + 1$	255
3	8	3	0 1 1 0 1	$x^8 + x^6 + x^5 + x^3 + 1$	255
4	8	2	0 0 1 1 0 1	$x^8 + x^6 + x^5 + x^2 + 1$	255
5	8	2	0 1 1 1 1 1	$x^8 + x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^2 + 1$	255
6	8	2	1 0 0 0 1 1	$x^8 + x^7 + x^3 + x^2 + 1$	255
7	8	2	1 0 0 1 0 1	$x^8 + x^6 + x^3 + x^2 + 1$	255
8	8	2	1 0 1 0 0 1	$x^8 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$	255
9	8	2	1 1 0 0 0 1	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	255
10	8	1	0 0 0 0 1 1 1	$x^8 + x^7 + x^6 + x + 1$	255
11	8	1	0 0 0 1 1 0 1	$x^8 + x^6 + x^5 + x + 1$	255
12	8	1	0 1 0 1 0 0 1	$x^8 + x^5 + x^3 + x + 1$	255
13	8	1	1 0 0 0 0 1 1	$x^8 + x^7 + x^2 + x + 1$	255
14	8	1	1 0 0 1 1 1 1	$x^8 + x^7 + x^6 + x^5 + x^2 + x + 1$	255
15	8	1	1 1 0 0 1 1 1	$x^8 + x^7 + x^6 + x^3 + x^2 + x + 1$	255
16	8	1	1 1 1 0 1 0 1	$x^8 + x^6 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$	255

Tabla A1-13. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 255 bits.

	Número de registros del lazo de realimentación (*K*)							
	7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**TOTAL**
Número de secuencias de longitud máxima	0	0	0	1	2	6	7	**16**

Tabla A1-14. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N* = 8.

O	*N*	*K*	g_1 g_2 g_3 $\cdots$ g_{N-K-1} g_{N-K}	*p(x)*	*L*
	9	8			
	9	7			
	9	6			
1	9	5	0 0 0 1	$x^9 + x^5 + 1$	511
2	9	5	1 0 1 1	$x^9 + x^8 + x^6 + x^5 + 1$	511
3	9	4	0 0 0 0 1	$x^9 + x^4 + 1$	511
4	9	4	0 1 1 0 1	$x^9 + x^7 + x^6 + x^4 + 1$	511
5	9	4	1 0 0 1 1	$x^9 + x^8 + x^5 + x^4 + 1$	511
6	9	3	0 1 1 0 0 1	$x^9 + x^6 + x^5 + x^3 + 1$	511
7	9	3	0 1 1 1 1 1	$x^9 + x^8 + x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + 1$	511
8	9	3	1 0 1 0 0 1	$x^9 + x^6 + x^4 + x^3 + 1$	511
9	9	3	1 0 1 1 1 1	$x^9 + x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^3 + 1$	511
10	9	3	1 1 0 1 1 1	$x^9 + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^3 + 1$	511
11	9	3	1 1 1 1 0 1	$x^9 + x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + 1$	511
12	9	2	0 0 0 0 1 1 1	$x^9 + x^8 + x^7 + x^2 + 1$	511
13	9	2	0 0 1 0 1 0 1	$x^9 + x^7 + x^5 + x^2 + 1$	511
14	9	2	0 1 0 0 0 1 1	$x^9 + x^8 + x^4 + x^2 + 1$	511
15	9	2	0 1 0 0 1 0 1	$x^9 + x^7 + x^4 + x^2 + 1$	511
16	9	2	0 1 0 1 1 1 1	$x^9 + x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^2 + 1$	511
17	9	2	0 1 1 0 1 1 1	$x^9 + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + 1$	511
18	9	2	0 1 1 1 1 0 1	$x^9 + x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^2 + 1$	511
19	9	2	1 0 0 1 1 1 1	$x^9 + x^8 + x^7 + x^6 + x^3 + x^2 + 1$	511
20	9	2	1 0 1 0 0 0 1	$x^9 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$	511
21	9	2	1 0 1 1 0 1 1	$x^9 + x^8 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$	511
22	9	2	1 1 1 0 1 0 1	$x^9 + x^7 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	511
23	9	2	1 1 1 1 0 0 1	$x^9 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	511
24	9	1	0 0 0 1 0 0 1 1	$x^9 + x^8 + x^5 + x + 1$	511
25	9	1	0 0 0 1 0 1 0 1	$x^9 + x^7 + x^5 + x + 1$	511
26	9	1	0 0 0 1 1 1 1 1	$x^9 + x^8 + x^7 + x^6 + x^5 + x + 1$	511
27	9	1	0 0 1 0 0 0 1 1	$x^9 + x^8 + x^4 + x + 1$	511
28	9	1	0 0 1 1 0 0 0 1	$x^9 + x^5 + x^4 + x + 1$	511
29	9	1	0 0 1 1 1 0 1 1	$x^9 + x^8 + x^6 + x^5 + x^4 + x + 1$	511
30	9	1	0 1 0 0 1 1 1 1	$x^9 + x^8 + x^7 + x^6 + x^3 + x + 1$	511
31	9	1	0 1 0 1 1 0 1 1	$x^9 + x^8 + x^6 + x^5 + x^3 + x + 1$	511
32	9	1	0 1 1 0 0 0 0 1	$x^9 + x^4 + x^3 + x + 1$	511
33	9	1	0 1 1 0 1 0 1 1	$x^9 + x^8 + x^6 + x^4 + x^3 + x + 1$	511
34	9	1	0 1 1 0 1 1 0 1	$x^9 + x^7 + x^6 + x^4 + x^3 + x + 1$	511
35	9	1	0 1 1 1 0 0 1 1	$x^9 + x^8 + x^5 + x^4 + x^3 + x + 1$	511
36	9	1	0 1 1 1 1 1 1 1	$x^9 + x^8 + x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x + 1$	511

37	9	1	1	0	0	0	0	1	0	1	$x^9+x^7+x^2+x+1$	511
38	9	1	1	0	0	0	1	1	1	1	$x^9+x^8+x^7+x^6+x^2+x+1$	511
39	9	1	1	0	1	1	0	1	0	1	$x^9+x^7+x^5+x^4+x^2+x+1$	511
40	9	1	1	0	1	1	1	0	0	1	$x^9+x^6+x^5+x^4+x^2+x+1$	511
41	9	1	1	1	0	0	0	1	1	1	$x^9+x^8+x^7+x^3+x^2+x+1$	511
42	9	1	1	1	0	0	1	0	1	1	$x^9+x^8+x^6+x^3+x^2+x+1$	511
43	9	1	1	1	0	0	1	1	0	1	$x^9+x^7+x^6+x^3+x^2+x+1$	511
44	9	1	1	1	0	1	0	1	0	1	$x^9+x^7+x^5+x^3+x^2+x+1$	511
45	9	1	1	1	0	1	1	0	0	1	$x^9+x^6+x^5+x^3+x^2+x+1$	511
46	9	1	1	1	1	0	0	0	1	1	$x^9+x^8+x^4+x^3+x^2+x+1$	511
47	9	1	1	1	1	0	1	0	0	1	$x^9+x^6+x^4+x^3+x^2+x+1$	511
48	9	1	1	1	1	1	0	1	1	1	$x^9+x^8+x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+x+1$	511

Tabla A1-15. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 511 bits.

	Número de registros del lazo de realimentación (*K*)								
	8	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**TOTAL**
Número de secuencias de longitud máxima	0	0	0	2	3	6	12	25	**48**

Tabla A1-16. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N* = 9.

O	***N***	***K***	g_1	g_2	g_3	$\cdots$	g_{N-K-1}	g_{N-K}	***p(x)***	***L***
	10	9								
	10	8								
1	10	7						0 0 1	$x^{10}+x^7+1$	1023
2	10	6					1	0 1 1	$x^{10}+x^9+x^7+x^6+1$	1023
3	10	5				0	0	1 1 1	$x^{10}+x^9+x^8+x^5+1$	1023
4	10	5				0	1	1 0 1	$x^{10}+x^8+x^7+x^5+1$	1023
5	10	4			1	0	0	1 0 1	$x^{10}+x^8+x^5+x^4+1$	1023
6	10	4			1	0	1	1 1 1	$x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^5+x^4+1$	1023
7	10	3		0	0	0	0	0 0 1	$x^{10}+x^3+1$	1023
8	10	3		0	0	0	1	0 1 1	$x^{10}+x^9+x^7+x^3+1$	1023
9	10	3		1	0	0	0	1 0 1	$x^{10}+x^8+x^4+x^3+1$	1023
10	10	3		1	0	1	0	1 1 1	$x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^4+x^3+1$	1023
11	10	3		1	1	0	0	1 1 1	$x^{10}+x^9+x^8+x^5+x^4+x^3+1$	1023
12	10	3		1	1	1	0	0 1 1	$x^{10}+x^9+x^6+x^5+x^4+x^3+1$	1023
13	10	3		1	1	1	1	1 1 1	$x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^6+x^5+x^4+x^3+1$	1023
14	10	2	0	0	0	0	1	1 0 1	$x^{10}+x^8+x^7+x^2+1$	1023
15	10	2	0	0	0	1	1	0 0 1	$x^{10}+x^7+x^6+x^2+1$	1023
16	10	2	0	0	1	0	0	0 1 1	$x^{10}+x^9+x^5+x^2+1$	1023
17	10	2	0	0	1	1	0	0 0 1	$x^{10}+x^6+x^5+x^2+1$	1023
18	10	2	0	0	1	1	1	1 0 1	$x^{10}+x^8+x^7+x^6+x^5+x^2+1$	1023
19	10	2	0	1	0	0	0	0 1 1	$x^{10}+x^9+x^4+x^2+1$	1023
20	10	2	0	1	0	1	0	1 1 1	$x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^4+x^2+1$	1023
21	10	2	0	1	1	0	1	0 1 1	$x^{10}+x^9+x^7+x^5+x^4+x^2+1$	1023
22	10	2	1	0	0	0	0	1 0 1	$x^{10}+x^8+x^3+x^2+1$	1023

23	10	2	1	0	0	0	1	1	1	1	$x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^3+x^2+1$	1023
24	10	2	1	0	0	1	0	1	1	1	$x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^3+x^2+1$	1023
25	10	2	1	0	1	0	0	0	0	1	$x^{10}+x^5+x^3+x^2+1$	1023
26	10	2	1	1	0	0	0	1	1	1	$x^{10}+x^9+x^8+x^4+x^3+x^2+1$	1023
27	10	2	1	1	1	0	0	1	0	1	$x^{10}+x^8+x^5+x^4+x^3+x^2+1$	1023
28	10	2	1	1	1	1	0	1	1	1	$x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+1$	1023
29	10	2	1	1	1	1	1	0	1	1	$x^{10}+x^9+x^7+x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+1$	1023
30	10	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	$x^{10}+x^9+x^6+x+1$	1023
31	10	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	$x^{10}+x^8+x^6+x+1$	1023
32	10	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	$x^{10}+x^8+x^5+x+1$	1023
33	10	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	$x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^5+x+1$	1023
34	10	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	$x^{10}+x^9+x^4+x+1$	1023
35	10	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	$x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^4+x+1$	1023
36	10	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	$x^{10}+x^9+x^7+x^6+x^4+x+1$	1023
37	10	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	$x^{10}+x^7+x^6+x^5+x^4+x+1$	1023
38	10	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	$x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^6+x^5+x^4+x+1$	1023
39	10	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	$x^{10}+x^7+x^3+x+1$	1023
40	10	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	$x^{10}+x^8+x^6+x^5+x^3+x+1$	1023
41	10	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	$x^{10}+x^4+x^3+x+1$	1023
42	10	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	$x^{10}+x^9+x^6+x^4+x^3+x+1$	1023
43	10	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	$x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^6+x^4+x^3+x+1$	1023
44	10	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	$x^{10}+x^8+x^7+x^6+x^5+x^4+x^3+x+1$	1023
45	10	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	$x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^2+x+1$	1023
46	10	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	$x^{10}+x^8+x^7+x^6+x^2+x+1$	1023
47	10	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	$x^{10}+x^5+x^2+x+1$	1023
48	10	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	$x^{10}+x^7+x^6+x^5+x^2+x+1$	1023
49	10	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	$x^{10}+x^9+x^8+x^4+x^2+x+1$	1023
50	10	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	$x^{10}+x^8+x^7+x^4+x^2+x+1$	1023
51	10	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	$x^{10}+x^8+x^6+x^4+x^2+x+1$	1023
52	10	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	$x^{10}+x^7+x^6+x^4+x^2+x+1$	1023
53	10	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	$x^{10}+x^9+x^5+x^4+x^2+x+1$	1023
54	10	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	$x^{10}+x^8+x^7+x^6+x^5+x^4+x^2+x+1$	1023
55	10	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	$x^{10}+x^8+x^7+x^3+x^2+x+1$	1023
56	10	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	$x^{10}+x^9+x^6+x^3+x^2+x+1$	1023
57	10	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	$x^{10}+x^6+x^5+x^3+x^2+x+1$	1023
58	10	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	$x^{10}+x^9+x^7+x^6+x^4+x^3+x^2+x+1$	1023
59	10	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	$x^{10}+x^9+x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+x+1$	1023
60	10	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	$x^{10}+x^7+x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+x+1$	1023

Tabla A1-17. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 1023 bits.

	Número de registros del lazo de realimentación (*K*)									
	9	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**TOTAL**
Número de secuencias de longitud máxima	0	0	1	1	2	2	7	16	31	**60**

Tabla A1-18. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N* = 10.

O	N	K	$g = [\, g_1 \;\; g_2 \;\; g_3 \;\; \cdots \;\; g_{N-K-1} \;\; g_{N-K} \,]$	p(x)	L
	12	11			
	12	10			
	12	9			
	12	8			
	12	7			
1	12	6	0 1 0 0 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{8}+x^{6}+1$	4095
2	12	6	1 0 1 0 0 1	$x^{12}+x^{9}+x^{7}+x^{6}+1$	4095
3	12	6	1 1 1 0 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{6}+1$	4095
4	12	6	1 1 1 1 0 1	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{6}+1$	4095
5	12	5	0 0 1 1 0 0 1	$x^{12}+x^{9}+x^{8}+x^{5}+1$	4095
6	12	5	1 0 1 0 0 0 1	$x^{12}+x^{8}+x^{6}+x^{5}+1$	4095
7	12	5	1 1 0 1 0 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{7}+x^{6}+x^{5}+1$	4095
8	12	4	0 0 0 0 0 1 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{4}+1$	4095
9	12	4	0 0 0 1 1 1 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{4}+1$	4095
10	12	4	0 0 1 0 0 0 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{7}+x^{4}+1$	4095
11	12	4	0 0 1 1 1 0 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{4}+1$	4095
12	12	4	0 1 0 0 1 1 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{6}+x^{4}+1$	4095
13	12	4	0 1 0 1 0 1 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{8}+x^{6}+x^{4}+1$	4095
14	12	4	0 1 1 0 0 0 0 1	$x^{12}+x^{7}+x^{6}+x^{4}+1$	4095
15	12	4	0 1 1 0 1 0 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{7}+x^{6}+x^{4}+1$	4095
16	12	4	1 0 0 0 0 1 0 1	$x^{12}+x^{10}+x^{5}+x^{4}+1$	4095
17	12	4	1 0 1 1 0 0 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{8}+x^{7}+x^{5}+x^{4}+1$	4095
18	12	4	1 1 0 1 1 0 0 1	$x^{12}+x^{9}+x^{8}+x^{6}+x^{5}+x^{4}+1$	4095
19	12	4	1 1 0 1 1 1 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{6}+x^{5}+x^{4}+1$	4095
20	12	3	0 0 0 0 0 1 1 0 1	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{3}+1$	4095
21	12	3	0 0 0 1 1 0 1 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{8}+x^{7}+x^{3}+1$	4095
22	12	3	0 0 0 1 1 1 1 0 1	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{3}+1$	4095
23	12	3	0 0 1 1 0 0 1 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{7}+x^{6}+x^{3}+1$	4095
24	12	3	0 0 1 1 1 0 0 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{8}+x^{7}+x^{6}+x^{3}+1$	4095

25	12	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{6}+x^{3}+1$	4095
26	12	3	0	1	0	1	1	1	0	0	1	$x^{12}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{5}+x^{3}+1$	4095
27	12	3	0	1	1	0	0	0	0	0	1	$x^{12}+x^{6}+x^{5}+x^{3}+1$	4095
28	12	3	0	1	1	0	0	1	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{6}+x^{5}+x^{3}+1$	4095
29	12	3	1	0	0	0	0	1	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{4}+x^{3}+1$	4095
30	12	3	1	0	0	0	1	1	1	0	1	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{4}+x^{3}+1$	4095
31	12	3	1	0	0	1	0	0	0	0	1	$x^{12}+x^{7}+x^{4}+x^{3}+1$	4095
32	12	3	1	0	0	1	1	1	0	0	1	$x^{12}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{4}+x^{3}+1$	4095
33	12	3	1	0	0	1	1	1	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{4}+x^{3}+1$	4095
34	12	3	1	0	1	0	0	1	1	0	1	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{6}+x^{4}+x^{3}+1$	4095
35	12	3	1	0	1	1	1	0	0	0	1	$x^{12}+x^{8}+x^{7}+x^{6}+x^{4}+x^{3}+1$	4095
36	12	3	1	1	0	0	1	1	0	0	1	$x^{12}+x^{9}+x^{8}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+1$	4095
37	12	3	1	1	0	1	0	0	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{7}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+1$	4095
38	12	3	1	1	0	1	0	1	0	0	1	$x^{12}+x^{9}+x^{7}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+1$	4095
39	12	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{2}+1$	4095
40	12	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	$x^{12}+x^{8}+x^{7}+x^{2}+1$	4095
41	12	2	0	0	0	0	1	1	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{8}+x^{7}+x^{2}+1$	4095
41	12	2	0	0	0	1	0	0	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{6}+x^{2}+1$	4095
43	12	2	0	0	0	1	0	1	1	1	0	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{6}+x^{2}+1$	4095
44	12	2	0	0	0	1	1	0	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{7}+x^{6}+x^{2}+1$	4095
45	12	2	0	0	0	1	1	1	0	1	0	$x^{12}+x^{10}+x^{8}+x^{7}+x^{6}+x^{2}+1$	4095
46	12	2	0	0	1	0	1	0	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{7}+x^{5}+x^{2}+1$	4095
47	12	2	0	0	1	0	1	0	1	1	0	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{7}+x^{5}+x^{2}+1$	4095
48	12	2	0	0	1	1	0	1	0	0	1	$x^{12}+x^{11}+x^{8}+x^{6}+x^{5}+x^{2}+1$	4095
49	12	2	0	1	0	0	0	0	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{4}+x^{2}+1$	4095
50	12	2	0	1	0	0	0	1	1	1	0	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{4}+x^{2}+1$	4095
51	12	2	0	1	0	1	0	0	1	1	0	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{6}+x^{4}+x^{2}+1$	4095
52	12	2	0	1	1	0	0	1	0	0	1	$x^{12}+x^{11}+x^{8}+x^{5}+x^{4}+x^{2}+1$	4095
53	12	2	0	1	1	1	0	0	0	1	0	$x^{12}+x^{10}+x^{6}+x^{5}+x^{4}+x^{2}+1$	4095
54	12	2	0	1	1	1	0	1	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{8}+x^{6}+x^{5}+x^{4}+x^{2}+1$	4095
55	12	2	0	1	1	1	0	1	1	1	0	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{6}+x^{5}+x^{4}+x^{2}+1$	4095
56	12	2	0	1	1	1	1	0	1	0	1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{7}+x^{6}+x^{5}+x^{4}+x^{2}+1$	4095
57	12	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	$x^{12}+x^{9}+x^{3}+x^{2}+1$	4095

58	12	2	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{6}+x^{3}+x^{2}+1$	4095
59	12	2	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	$x^{12}+x^{10}+x^{8}+x^{6}+x^{3}+x^{2}+1$	4095
60	12	2	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	$x^{12}+x^{9}+x^{8}+x^{6}+x^{3}+x^{2}+1$	4095
61	12	2	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	$x^{12}+x^{10}+x^{7}+x^{5}+x^{3}+x^{2}+1$	4095
62	12	2	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{5}+x^{3}+x^{2}+1$	4095
63	12	2	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	$x^{12}+x^{10}+x^{8}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+1$	4095
64	12	2	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	$x^{12}+x^{9}+x^{8}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+1$	4095
65	12	2	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{6}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+1$	4095
66	12	2	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	$x^{12}+x^{10}+x^{6}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+1$	4095
67	12	2	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	$x^{12}+x^{10}+x^{8}+x^{7}+x^{6}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+1$	4095
68	12	2	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	$x^{12}+x^{9}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+1$	4095
69	12	2	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{7}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+1$	4095
70	12	2	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{8}+x^{7}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+1$	4095
71	12	2	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+1$	4095
72	12	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	$x^{12}+x^{6}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+1$	4095
73	12	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{8}+x^{6}+x+1$	4095
74	12	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{6}+x+1$	4095
75	12	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	$x^{12}+x^{8}+x^{5}+x+1$	4095
76	12	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{8}+x^{5}+x+1$	4095
77	12	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	$x^{12}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{5}+x+1$	4095
78	12	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{7}+x^{6}+x^{5}+x+1$	4095
79	12	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{8}+x^{4}+x+1$	4095
80	12	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	$x^{12}+x^{10}+x^{8}+x^{7}+x^{4}+x+1$	4095
81	12	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	$x^{12}+x^{6}+x^{4}+x+1$	4095
82	12	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	$x^{12}+x^{10}+x^{7}+x^{6}+x^{4}+x+1$	4095
83	12	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{6}+x^{4}+x+1$	4095
84	12	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{5}+x^{4}+x+1$	4095
85	12	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	$x^{12}+x^{8}+x^{7}+x^{5}+x^{4}+x+1$	4095
86	12	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{5}+x^{4}+x+1$	4095
87	12	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	$x^{12}+x^{9}+x^{6}+x^{5}+x^{4}+x+1$	4095
88	12	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{6}+x^{5}+x^{4}+x+1$	4095
89	12	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{7}+x^{6}+x^{5}+x^{4}+x+1$	4095
90	12	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{8}+x^{3}+x+1$	4095

91	12	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{7}+x^{3}+x+1$	4095
92	12	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{8}+x^{7}+x^{3}+x+1$	4095
93	12	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	$x^{12}+x^{9}+x^{7}+x^{6}+x^{3}+x+1$	4095
94	12	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{5}+x^{3}+x+1$	4095
95	12	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	$x^{12}+x^{8}+x^{6}+x^{5}+x^{3}+x+1$	4095
96	12	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	$x^{12}+x^{7}+x^{6}+x^{5}+x^{3}+x+1$	4095
97	12	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	$x^{12}+x^{10}+x^{8}+x^{7}+x^{6}+x^{5}+x^{3}+x+1$	4095
98	12	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{4}+x^{3}+x+1$	4095
99	12	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{8}+x^{4}+x^{3}+x+1$	4095
100	12	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{4}+x^{3}+x+1$	4095
101	12	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{8}+x^{6}+x^{4}+x^{3}+x+1$	4095
102	12	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	$x^{12}+x^{8}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+x+1$	4095
103	12	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{7}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+x+1$	4095
104	12	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+x+1$	4095
105	12	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	$x^{12}+x^{6}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+x+1$	4095
106	12	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{8}+x^{6}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+x+1$	4095
107	12	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	$x^{12}+x^{10}+x^{2}+x+1$	4095
108	12	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	$x^{12}+x^{8}+x^{2}+x+1$	4095
109	12	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{8}+x^{2}+x+1$	4095
110	12	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{7}+x^{2}+x+1$	4095
111	12	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{6}+x^{2}+x+1$	4095
112	12	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{5}+x^{2}+x+1$	4095
113	12	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{5}+x^{2}+x+1$	4095
114	12	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	$x^{12}+x^{10}+x^{7}+x^{5}+x^{2}+x+1$	4095
115	12	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{5}+x^{2}+x+1$	4095
116	12	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	$x^{12}+x^{10}+x^{6}+x^{5}+x^{2}+x+1$	4095
117	12	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	$x^{12}+x^{9}+x^{6}+x^{5}+x^{2}+x+1$	4095
118	12	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{6}+x^{5}+x^{2}+x+1$	4095
119	12	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{8}+x^{7}+x^{6}+x^{5}+x^{2}+x+1$	4095
120	12	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{4}+x^{2}+x+1$	4095
121	12	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{7}+x^{4}+x^{2}+x+1$	4095
122	12	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	$x^{12}+x^{11}+x^{6}+x^{4}+x^{2}+x+1$	4095
123	12	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	$x^{12}+x^{8}+x^{6}+x^{4}+x^{2}+x+1$	4095

124	12	1	1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{8}+x^{6}+x^{4}+x^{2}+x+1$	4095
125	12	1	1 0 1 0 1 1 1 0 1 0 1	$x^{12}+x^{10}+x^{8}+x^{7}+x^{6}+x^{4}+x^{2}+x+1$	4095
126	12	1	1 0 1 1 0 0 0 0 1 0 1	$x^{12}+x^{10}+x^{5}+x^{4}+x^{2}+x+1$	4095
127	12	1	1 0 1 1 0 0 0 1 0 0 1	$x^{12}+x^{9}+x^{5}+x^{4}+x^{2}+x+1$	4095
128	12	1	1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1	$x^{12}+x^{10}+x^{8}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
129	12	1	1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1	$x^{12}+x^{9}+x^{8}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
130	12	1	1 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{7}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
131	12	1	1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1	$x^{12}+x^{10}+x^{6}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
132	12	1	1 1 0 0 1 0 1 0 0 0 1	$x^{12}+x^{8}+x^{6}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
133	12	1	1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{7}+x^{6}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
134	12	1	1 1 0 0 1 1 1 0 0 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{8}+x^{7}+x^{6}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
135	12	1	1 1 0 1 0 0 0 1 1 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{9}+x^{5}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
136	12	1	1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{7}+x^{6}+x^{5}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
137	12	1	1 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1	$x^{12}+x^{8}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
138	12	1	1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{8}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
139	12	1	1 1 1 0 0 1 0 0 1 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{7}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
140	12	1	1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1	$x^{12}+x^{8}+x^{7}+x^{6}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
141	12	1	1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1	$x^{12}+x^{9}+x^{8}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
142	12	1	1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1	$x^{12}+x^{11}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
143	12	1	1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1	$x^{12}+x^{10}+x^{9}+x^{8}+x^{7}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095
144	12	1	1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1	$x^{12}+x^{9}+x^{6}+x^{5}+x^{4}+x^{3}+x^{2}+x+1$	4095

Tabla A1-19. Tabla resumen de secuencias de longitud máxima de 4095 bits.

	Número de registros del lazo de realimentación (*K*)											
	11	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**TOTAL**
Número de secuencias de longitud máxima	0	0	0	0	0	4	3	12	19	34	72	**144**

Tabla A1-20. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N* = 12.

	Número de registros del lazo de realimentación (*K*)													
	13	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**TOTAL**
Número de secuencias de longitud máxima	0	0	0	0	2	3	7	12	22	42	96	191	381	**756**

Tabla A1-21. Balance de secuencias de longitud máxima, en función de *K*, para *N* = 14.

APÉNDICE II: COTAS EXTREMAS DE CORRELACIÓN DE SECUENCIAS PN DE LONGITUD MÁXIMA

Este apéndice es el resultado de la exploración de las propiedadades de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima generadas, para las distintas longitudes de periodo de las secuencias.

La diagonal principal figura sombreada ya que, en tal caso, la intersección de filas y columnas no denota el cruce de ninguna pareja de secuencias, sino de una misma secuencia. En tal caso, la operación de correlación proporcionaría la autocorrelación, que no es objeto de este apéndice. Todas las secuencias han sido generadas empleando niveles NRZ polar +/-1.

		Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=3$ bits del Apéndice 1 (numeradas de arriba a abajo)					
		1	2	2	1		
Ídem. que en horizontal	1		0.4286	-0.7141		1	Ídem. que en horizontal
	2	0.4286			-0.7141	2	

a) Cota superior. **b) Cota inferior.**

Tabla A2-1. Cotas extremas de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 7 bits.

		Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=4$ bits del Apéndice 1 (numeradas de arriba a abajo)					
		1	2	2	1		
Ídem. que en horizontal	1		0.4667	-0.3333		1	Ídem. que en horizontal
	2	0.4667			-0.3333	2	

a) Cota superior. **b) Cota inferior.**

Tabla A2-2. Cotas extremas de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 15 bits.

		Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=5$ bits del Apéndice 1 (numeradas de arriba a abajo)					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=5$ bits del Apéndice 1	**1**		0.3546	0.2258	0.2259	0.2259	0.2259
	2	0.3546		0.2258	0.2259	0.2259	0.2258
	3	0.2258	0.2258		0.2259	0.2258	0.3547
	4	0.2259	0.2259	0.2259		0.3548	0.2259
	5	0.2259	0.2259	0.2258	0.3548		0.2259
	6	0.2259	0.2258	0.3547	0.2259	0.2259	

Tabla A2-3. Cota superior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 31 bits.

		Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=5$ bits del Apéndice 1 (numeradas de arriba a abajo)					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=5$ bits del Apéndice 1	**1**		-0.2905	-0.2903	-0.2904	-0.2904	-0.2903
	2	-0.2905		-0.2903	-0.2903	-0.2904	-0.2904
	3	-0.2903	-0.2903		-0.2904	-0.2904	-0.2904
	4	-0.2904	-0.2903	-0.2904		-0.2904	-0.2904
	5	-0.2904	-0.2904	-0.2904	-0.2904		-0.2904
	6	-0.2903	-0.2904	-0.2904	-0.2904	-0.2904	

Tabla A2-4. Cota inferior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 31 bits.

		Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=6$ bits del Apéndice 1 (numeradas de arriba a abajo)					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=6$ bits del Apéndice 1	**1**		0.2381	0.2381	0.2381	0.3651	0.3651
	2	0.2381		0.3651	0.3651	0.2381	0.2381
	3	0.2381	0.3651		0.3650	0.2381	0.2381
	4	0.2381	0.3651	0.3650		0.2381	0.2382
	5	0.3651	0.2381	0.2381	0.2381		0.3650
	6	0.3651	0.2381	0.2381	0.2382	0.3650	

Tabla A2-5. Cota superior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 63 bits.

		Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=6$ bits del Apéndice 1 (numeradas de arriba a abajo)					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=6$ bits del Apéndice 1	**1**		-0.2699	-0.2064	-0.2699	-0.1429	-0.1429
	2	-0.2699		-0.1429	-0.1430	-0.2064	-0.2698
	3	-0.2064	-0.1429		-0.1429	-0.2699	-0.2699
	4	-0.2699	-0.1430	-0.1429		-0.2699	-0.2064
	5	-0.1429	-0.2064	-0.2699	-0.2699		-0.1429
	6	-0.1429	-0.2698	-0.2699	-0.2064	-0.1429	

Tabla A2-6. Cota inferior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 63 bits.

Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=7$ bits del Apéndice 1	Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=7$ bits del Apéndice 1 (numeradas de arriba a abajo)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		0.1182	0.1182	0.1182	0.1811	0.1181	0.1182	0.1181	0.1181	0.1496	0.1811	0.1181	0.1811	0.1182	0.1811	0.1811	0.1182	0.1811
2	0.1182		0.1182	0.1497	0.1181	0.1181	0.1181	0.1811	0.1181	0.1182	0.1811	0.1182	0.1181	0.1811	0.1181	0.1811	0.1811	0.1811
3	0.1182	0.1182		0.1811	0.1181	0.1181	0.1181	0.1181	0.1182	0.1811	0.1811	0.1181	0.1182	0.1811	0.1182	0.1496	0.1811	0.1811
4	0.1182	0.1497	0.1811		0.1811	0.1811	0.1182	0.1181	0.1811	0.1181	0.1182	0.1811	0.1181	0.1181	0.1811	0.1181	0.1181	0.1182
5	0.1811	0.1181	0.1181	0.1811		0.1181	0.1811	0.1496	0.1182	0.1181	0.1181	0.1811	0.1181	0.1811	0.1181	0.1181	0.1811	0.1181
6	0.1181	0.1181	0.1181	0.1811	0.1181		0.1811	0.1811	0.1182	0.1182	0.1182	0.1182	0.1181	0.1496	0.1811	0.1811	0.1811	0.1811
7	0.1182	0.1181	0.1181	0.1182	0.1811	0.1811		0.1181	0.1182	0.1811	0.1811	0.1181	0.1496	0.1181	0.1811	0.1182	0.1182	0.1811
8	0.1181	0.1811	0.1181	0.1181	0.1496	0.1811	0.1181		0.1182	0.1811	0.1811	0.1181	0.1811	0.1181	0.1811	0.1181	0.1181	0.1182
9	0.1181	0.1181	0.1182	0.1811	0.1182	0.1182	0.1182	0.1182		0.1811	0.1811	0.1181	0.1811	0.1811	0.1182	0.1811	0.1182	0.1496
10	0.1496	0.1811	0.1811	0.1181	0.1181	0.1182	0.1811	0.1811	0.1811		0.1181	0.1811	0.1182	0.1811	0.1811	0.1182	0.1811	0.1181
11	0.1811	0.1811	0.1811	0.1182	0.1181	0.1182	0.1811	0.1811	0.1811	0.1181		0.1496	0.1181	0.1811	0.1182	0.1182	0.1182	0.1181
12	0.1181	0.1182	0.1181	0.1811	0.1811	0.1182	0.1181	0.1181	0.1181	0.1811	0.1496		0.1811	0.1181	0.1811	0.1811	0.1182	0.1811
13	0.1811	0.1181	0.1182	0.1181	0.1181	0.1181	0.1496	0.1811	0.1811	0.1182	0.1181	0.1811		0.1811	0.1182	0.1811	0.1811	0.1182
14	0.1182	0.1811	0.1811	0.1181	0.1811	0.1496	0.1181	0.1181	0.1181	0.1181	0.1181	0.1181	0.1811		0.1811	0.1181	0.1181	0.1182
15	0.1811	0.1181	0.1182	0.1811	0.1181	0.1811	0.1811	0.1182	0.1182	0.1181	0.1182	0.1811	0.1182	0.1811		0.1811	0.1496	0.1182
16	0.1811	0.1811	0.1496	0.1181	0.1181	0.1811	0.1182	0.1181	0.1811	0.1182	0.1182	0.1811	0.1811	0.1181	0.1811		0.1181	0.1182
17	0.1182	0.1811	0.1811	0.1181	0.1811	0.1811	0.1182	0.1181	0.1182	0.1811	0.1182	0.1182	0.1811	0.1181	0.1496	0.1181		0.1182
18	0.1811	0.1811	0.1811	0.1182	0.1181	0.1811	0.1811	0.1182	0.1496	0.1181	0.1181	0.1811	0.1182	0.1182	0.1182	0.1182	0.1182	

Tabla A2-7. Cota superior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 127 bits.

Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=7$ bits del Apéndice 1	Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=7$ bits del Apéndice 1 (numeradas de arriba a abajo)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3227	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1654	-0.3228	-0.1339	-0.3227	-0.1339	-0.3227	-0.3228	-0.1339	-0.3227
2	-0.1339		-0.1339	-0.1654	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.3228	-0.3228	-0.3227
3	-0.1339	-0.1339		-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.3227	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1654	-0.3228	-0.3229
4	-0.1339	-0.1654	-0.3228		-0.3228	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.3227	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.1340
5	-0.3227	-0.1339	-0.1339	-0.3228		-0.1339	-0.3227	-0.1654	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339
6	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339		-0.3227	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1654	-0.1339	-0.3227	-0.3228	-0.3227
7	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3227	-0.3227		-0.1339	-0.1339	-0.3227	-0.3228	-0.1339	-0.1654	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.3226
8	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.1654	-0.3228	-0.1339		-0.1339	-0.3226	-0.3228	-0.1339	-0.3227	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.1339
9	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3227	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339		-0.3227	-0.3228	-0.1339	-0.3226	-0.3227	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1654
10	-0.1654	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3227	-0.3226	-0.3227		-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3227	-0.1339
11	-0.3228	-0.3228	-0.3227	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.3228	-0.3228	-0.1339		-0.1654	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339
12	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1654		-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.3228
13	-0.3227	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1654	-0.1339	-0.3226	-0.1339	-0.1339	-0.3228		-0.3227	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339
14	-0.1339	-0.3228	-0.3228	-0.1339	-0.3228	-0.1654	-0.1339	-0.1339	-0.3227	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3227		-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.1339
15	-0.3227	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3228		-0.3228	-0.1654	-0.1339
16	-0.3228	-0.3228	-0.1654	-0.1339	-0.1339	-0.3227	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.3228		-0.1339	-0.1339
17	-0.1339	-0.3228	-0.3228	-0.1339	-0.3228	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.3227	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1654	-0.1339		-0.1339
18	-0.3227	-0.3227	-0.3229	-0.1340	-0.1339	-0.3227	-0.3226	-0.1339	-0.1654	-0.1339	-0.1339	-0.3228	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	-0.1339	

Tabla A2-8. Cota inferior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 127 bits.

Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=8$ bits del Apéndice 1	Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=8$ bits del Apéndice 1 (numeradas de arriba a abajo)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		0.2470	0.1216	0.2471	0.2470	0.2471	0.1843	0.2470	0.1216	0.2471	0.1843	0.1843	0.3725	0.2470	0.1843	0.1216
2	0.2470		0.1843	0.2471	0.1216	0.2470	0.3726	0.2470	0.1843	0.2471	0.1216	0.1216	0.1843	0.1843	0.2470	0.2469
3	0.1216	0.1843		0.2470	0.2470	0.2471	0.1216	0.1216	0.2470	0.2470	0.3725	0.2470	0.1843	0.1843	0.2469	0.1843
4	0.2471	0.2471	0.2470		0.2470	0.1843	0.1216	0.1216	0.1843	0.2470	0.2470	0.3725	0.1843	0.2469	0.1216	0.1843
5	0.2470	0.1216	0.2470	0.2470		0.2470	0.1843	0.1843	0.1216	0.1843	0.1843	0.2469	0.2470	0.3725	0.2470	0.1216
6	0.2471	0.2470	0.2471	0.1843	0.2470		0.2470	0.3725	0.1843	0.1216	0.1216	0.1216	0.2471	0.1843	0.2470	0.1843
7	0.1843	0.3726	0.1216	0.1216	0.1843	0.2470		0.2470	0.2471	0.1843	0.1843	0.2470	0.2470	0.1216	0.2469	0.2470
8	0.2470	0.2470	0.1216	0.1216	0.1843	0.3725	0.2470		0.1216	0.1843	0.2471	0.1843	0.2470	0.2470	0.1843	0.2470
9	0.1216	0.1843	0.2470	0.1843	0.1216	0.1843	0.2471	0.1216		0.3725	0.2471	0.2470	0.2471	0.1843	0.2471	0.2470
10	0.2471	0.2471	0.2470	0.2470	0.1843	0.1216	0.1843	0.1843	0.3725		0.2471	0.1843	0.1216	0.1216	0.2470	0.2470
11	0.1843	0.1216	0.3725	0.2470	0.1843	0.1216	0.1843	0.2471	0.2471	0.2471		0.2470	0.1216	0.2470	0.1843	0.2470
12	0.1843	0.1216	0.2470	0.3725	0.2469	0.1216	0.2470	0.1843	0.2470	0.1843	0.2470		0.2470	0.2470	0.1843	0.1216
13	0.3725	0.1843	0.1843	0.1843	0.2470	0.2471	0.2470	0.2470	0.2471	0.1216	0.1216	0.2470		0.2471	0.1216	0.1843
14	0.2470	0.1843	0.1843	0.2469	0.3725	0.1843	0.1216	0.2471	0.1843	0.1216	0.2470	0.2470	0.2471		0.1216	0.2471
15	0.1843	0.2470	0.2469	0.1216	0.2470	0.2470	0.2469	0.1843	0.2471	0.2470	0.1843	0.1843	0.1216	0.1216		0.3725
16	0.1216	0.2469	0.1843	0.1843	0.1216	0.1843	0.2470	0.2470	0.2470	0.2470	0.2470	0.1216	0.1843	0.2471	0.3725	

Tabla A2-9. Cota superior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 255 bits.

Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=8$ bits del Apéndice 1	Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=8$ bits del Apéndice 1 (numeradas de arriba a abajo)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		-0.1294	-0.0667	-0.1294	-0.1295	-0.0667	-0.0667	-0.1294	-0.1137	-0.0667	-0.2549	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.2549	-0.0667
2	-0.1294		-0.2548	-0.0667	-0.0667	-0.1294	-0.1294	-0.0667	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.1137	-0.0667	-0.2549	-0.0667	-0.1294
3	-0.0667	-0.2548		-0.1294	-0.1294	-0.0667	-0.0667	-0.1137	-0.1294	-0.0667	-0.1295	-0.0667	-0.2549	-0.0667	-0.1294	-0.0667
4	-0.1294	-0.0667	-0.1294		-0.0667	-0.2547	-0.1138	-0.0667	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.2549
5	-0.1295	-0.0667	-0.1294	-0.0667		-0.1294	-0.2549	-0.0667	-0.0667	-0.2548	-0.0667	-0.1295	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.1137
6	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.2547	-0.1294		-0.0667	-0.1294	-0.2549	-0.0667	-0.1138	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.1294	-0.0667
7	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.1138	-0.2549	-0.0667		-0.1294	-0.1294	-0.0667	-0.2548	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.1294	-0.0667
8	-0.1294	-0.0667	-0.1137	-0.0667	-0.0667	-0.1294	-0.1294		-0.0667	-0.2549	-0.0667	-0.2548	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.1294
9	-0.1137	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.0667	-0.2549	-0.1294	-0.0667		-0.1294	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.2549	-0.0667	-0.1294
10	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.1294	-0.2548	-0.0667	-0.0667	-0.2549	-0.1294		-0.1294	-0.0667	-0.1138	-0.0667	-0.1294	-0.0667
11	-0.2549	-0.0667	-0.1295	-0.0667	-0.0667	-0.1138	-0.2548	-0.0667	-0.0667	-0.1294		-0.1294	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.1295
12	-0.0667	-0.1137	-0.0667	-0.1294	-0.1295	-0.0667	-0.0667	-0.2548	-0.1294	-0.0667	-0.1294		-0.1294	-0.0667	-0.2549	-0.0667
13	-0.1294	-0.0667	-0.2549	-0.0667	-0.0667	-0.1294	-0.1294	-0.0667	-0.0667	-0.1138	-0.0667	-0.1294		-0.1294	-0.0667	-0.2548
14	-0.0667	-0.2549	-0.0667	-0.1294	-0.1294	-0.0667	-0.0667	-0.1294	-0.2549	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.1294		-0.1138	-0.0667
15	-0.2549	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.0667	-0.1294	-0.1294	-0.0667	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.2549	-0.0667	-0.1138		-0.1294
16	-0.0667	-0.1294	-0.0667	-0.2549	-0.1137	-0.0667	-0.0667	-0.1294	-0.1294	-0.0667	-0.1295	-0.0667	-0.2548	-0.0667	-0.1294	

Tabla A2-10. Cota inferior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 255 bits.

Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=9$ bits											
11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
0.0920	0.0607	0.1859	0.1076	0.0920	0.0607	0.0920	0.1233	0.0842	0.0607		1
0.1076	0.1859	0.0607	0.0607	0.1233	0.0920	0.0607	0.1233	0.1233		0.0607	2
0.1233	0.0920	0.1233	0.0607	0.1233	0.1076	0.0607	0.0920		0.1233	0.0842	3
0.0607	0.1233	0.1233	0.1546	0.0607	0.0607	0.1233		0.0920	0.1233	0.1233	4
0.2015	0.0607	0.1233	0.1233	0.0920	0.1233		0.1233	0.0607	0.0607	0.0920	5
0.1233	0.1233	0.0607	0.0842	0.1233		0.1233	0.0607	0.1076	0.0920	0.0607	6
0.0920	0.1233	0.0607	0.1859		0.1233	0.0920	0.0607	0.1233	0.1233	0.0920	7
0.0607	0.1233	0.1545		0.1859	0.0842	0.1233	0.1546	0.0607	0.0607	0.1076	8
0.0607	0.0920		0.1545	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.1233	0.0607	0.1859	9
0.1233		0.0920	0.1233	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233	0.0920	0.1859	0.0607	10
	0.1233	0.0607	0.0607	0.0920	0.1233	0.2015	0.0607	0.1233	0.1076	0.0920	11
0.0920	0.0607	0.1233	0.1859	0.2015	0.1233	0.1545	0.1233	0.0607	0.0607	0.1546	12
0.2015	0.0920	0.0920	0.1545	0.0607	0.0607	0.1859	0.1076	0.0607	0.0607	0.1546	13
0.1859	0.0607	0.1545	0.0920	0.0607	0.0607	0.1859	0.1546	0.1233	0.0920	0.1233	14
0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.0920	0.1546	0.1233	0.0607	0.1546	0.1546	0.0607	15
0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.0920	0.1233	0.0920	0.2015	0.0920	0.1233	0.0607	16
0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.1233	0.2015	0.1233	0.1233	0.0607	0.0920	0.1076	17
0.1546	0.1233	0.1859	0.0607	0.1545	0.1546	0.0920	0.0607	0.1233	0.1546	0.2015	18
0.1859	0.1076	0.0607	0.0607	0.1546	0.0920	0.2015	0.0920	0.0920	0.1545	0.0607	19
0.1546	0.1859	0.0607	0.0607	0.0920	0.1546	0.0920	0.0841	0.1233	0.1859	0.0920	20
0.1859	0.1545	0.0920	0.0920	0.1233	0.1233	0.1859	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	21
0.0607	0.1233	0.1233	0.1546	0.0607	0.0607	0.1233	0.0920	0.2016	0.0607	0.1233	22
0.0842	0.0920	0.0920	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1546	0.0920	0.0607	0.1233	23
0.0607	0.0607	0.1233	0.1077	0.0920	0.0607	0.0920	0.1546	0.2015	0.1233	0.1233	24
0.1233	0.1076	0.0607	0.0607	0.1233	0.0920	0.1233	0.0607	0.1233	0.1233	0.1233	25
0.0920	0.1546	0.0607	0.1233	0.1233	0.1859	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0920	26
0.0920	0.0920	0.2016	0.0607	0.1233	0.1076	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.2015	27
0.1233	0.1546	0.1233	0.1233	0.1233	0.1233	0.0842	0.0920	0.0920	0.1076	0.0607	28
0.0607	0.0607	0.1859	0.1233	0.0607	0.0920	0.1545	0.0920	0.1233	0.0920	0.1859	29
0.1545	0.1233	0.0607	0.0607	0.1545	0.0920	0.0607	0.1859	0.1233	0.1233	0.1233	30
0.1076	0.1233	0.1233	0.0920	0.1233	0.1233	0.0607	0.2015	0.1546	0.1233	0.0607	31
0.0607	0.1233	0.0920	0.0920	0.0607	0.0607	0.1076	0.1859	0.0607	0.0842	0.1233	32
0.0607	0.1859	0.1233	0.1233	0.1233	0.0920	0.1545	0.1233	0.0607	0.2015	0.1546	33
0.1233	0.0607	0.1233	0.1233	0.1233	0.0920	0.1233	0.1076	0.0607	0.0920	0.1233	34
0.1233	0.1233	0.1233	0.0920	0.1076	0.1233	0.0607	0.0607	0.1859	0.1233	0.1233	35
0.1233	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0920	0.1233	0.1233	0.1859	0.0607	0.1233	36
0.1233	0.0920	0.0920	0.1233	0.1233	0.1859	0.0607	0.1233	0.1546	0.1546	0.0607	37
0.1233	0.1233	0.0607	0.2015	0.1859	0.1233	0.0607	0.0920	0.1546	0.0920	0.0607	38
0.1546	0.0920	0.0920	0.2015	0.1859	0.1233	0.0607	0.0607	0.1076	0.1233	0.0607	39
0.0920	0.0842	0.1233	0.1233	0.0920	0.1233	0.1546	0.1859	0.0607	0.1233	0.0920	40
0.1233	0.0607	0.1076	0.1233	0.1233	0.2015	0.0920	0.1233	0.0607	0.0607	0.1546	41
0.0607	0.2015	0.0920	0.0920	0.0607	0.0607	0.1076	0.1233	0.1233	0.2015	0.1233	42
0.1233	0.0607	0.1233	0.0920	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.0920	43
0.0920	0.2015	0.1545	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1859	0.0920	44
0.0920	0.1233	0.0842	0.0607	0.1545	0.1545	0.1233	0.0607	0.1859	0.0920	0.1233	45
0.0607	0.0607	0.1076	0.1859	0.2015	0.1233	0.0920	0.0920	0.0920	0.1233	0.1233	46
0.0607	0.0920	0.1546	0.1233	0.0842	0.1859	0.1233	0.0920	0.0920	0.0607	0.1233	47
0.1233	0.1545	0.2015	0.0920	0.1076	0.1233	0.0607	0.1232	0.1233	0.0920	0.1859	48

Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=9$ bits del Apéndice 1 (numeradas de arriba a abajo)

25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
0.1233	0.1233	0.1233	0.1233	0.0607	0.0920	0.0607	0.2015	0.1076	0.0607	0.0607	0.1233	0.1546	0.1546
0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1859	0.1545	0.1546	0.0920	0.1233	0.1546	0.0920	0.0607	0.0607
0.1233	0.2015	0.0920	0.2016	0.1233	0.1233	0.0920	0.1233	0.0607	0.0920	0.1546	0.1233	0.0607	0.0607
0.0607	0.1546	0.1546	0.0920	0.0607	0.0841	0.0920	0.0607	0.1233	0.2015	0.0607	0.1546	0.1076	0.1233
0.1233	0.0920	0.1233	0.1233	0.1859	0.0920	0.2015	0.0920	0.1233	0.0920	0.1233	0.1859	0.1859	0.1545
0.0920	0.0607	0.0607	0.0607	0.1233	0.1546	0.0920	0.1546	0.2015	0.1233	0.1546	0.0607	0.0607	0.1233
0.1233	0.0920	0.0607	0.0607	0.1233	0.0920	0.1546	0.1545	0.1233	0.0920	0.0920	0.0607	0.0607	0.2015
0.0607	0.1077	0.1233	0.1546	0.0920	0.0607	0.0607	0.0607	0.1233	0.0607	0.0607	0.0920	0.1545	0.1859
0.0607	0.1233	0.0920	0.1233	0.0920	0.0607	0.0607	0.1859	0.1233	0.0607	0.0607	0.1545	0.0920	0.1233
0.1076	0.0607	0.0920	0.1233	0.1545	0.1859	0.1076	0.1233	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0920	0.0607
0.1233	0.0607	0.0842	0.0607	0.1859	0.1546	0.1859	0.1546	0.0607	0.1233	0.1233	0.1859	0.2015	0.0920
0.1233	0.1233	0.1233	0.1076	0.0607	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.0920	
0.1233	0.1233	0.1233	0.1233	0.2016	0.0607	0.1859	0.0607	0.1233	0.0607	0.0842	0.1859		0.0920
0.0842	0.1233	0.1233	0.0920	0.2015	0.0607	0.2015	0.0607	0.0920	0.0607	0.1233		0.1859	0.1233
0.1859	0.0920	0.2015	0.0607	0.1233	0.1076	0.1233	0.1233	0.0920	0.1546		0.1233	0.0842	0.0607
0.1076	0.0920	0.0920	0.0607	0.1076	0.1233	0.1545	0.0920	0.1233		0.1546	0.0607	0.0607	0.0607
0.0607	0.1545	0.1546	0.1076	0.0607	0.0607	0.1233	0.0607		0.1233	0.0920	0.0920	0.1233	0.1233
0.0920	0.1233	0.0607	0.0842	0.1233	0.0920	0.0920		0.0607	0.0920	0.1233	0.0607	0.0607	0.0607
0.1233	0.1233	0.1233	0.0607	0.1859	0.1233		0.0920	0.1233	0.1545	0.1233	0.2015	0.1859	0.0607
0.1546	0.0607	0.0607	0.0607	0.1076		0.1233	0.0920	0.0607	0.1233	0.1076	0.0607	0.0607	0.1233
0.1233	0.0607	0.1233	0.1233		0.1076	0.1859	0.1233	0.0607	0.1076	0.1233	0.2015	0.2016	0.0607
0.0607	0.1859	0.1546		0.1233	0.0607	0.0607	0.0842	0.1076	0.0607	0.0607	0.0920	0.1233	0.1076
0.1859	0.0920		0.1546	0.1233	0.0607	0.1233	0.0607	0.1546	0.0920	0.2015	0.1233	0.1233	0.1233
0.0607		0.0920	0.1859	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.1545	0.0920	0.0920	0.1233	0.1233	0.1233
	0.0607	0.1859	0.0607	0.1233	0.1546	0.1233	0.0920	0.0607	0.1076	0.1859	0.0842	0.1233	0.1233
0.1546	0.0607	0.0607	0.0920	0.1233	0.0920	0.1233	0.1233	0.1859	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233	0.1233
0.1233	0.0841	0.0607	0.1233	0.1546	0.1546	0.1233	0.1859	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0920	0.0920
0.1859	0.0607	0.2015	0.0920	0.1233	0.1233	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233	0.1859	0.1233	0.1233	0.0607
0.0607	0.1233	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.0920	0.2015	0.1546	0.1233	0.1233	0.0920	0.1233	0.1077
0.1546	0.0607	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.1076	0.1233	0.0607	0.1859	0.1233	0.0607	0.0920	0.0920
0.1233	0.0607	0.0607	0.0920	0.1546	0.1233	0.1233	0.1233	0.0607	0.1859	0.1076	0.0920	0.0607	0.0607
0.0920	0.1233	0.1076	0.1546	0.0920	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1859	0.0607	0.1233	0.1546	0.1546
0.0920	0.1233	0.1076	0.1233	0.0607	0.2015	0.0920	0.0920	0.1546	0.1233	0.0607	0.1233	0.1076	0.1233
0.2015	0.1546	0.1859	0.1233	0.0842	0.0607	0.1233	0.1233	0.0920	0.0607	0.2016	0.1233	0.1233	0.0920
0.0920	0.1859	0.0607	0.2015	0.0920	0.0920	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233	0.0607
0.0920	0.1859	0.1233	0.1859	0.0607	0.1232	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.0920	0.1545
0.1233	0.0920	0.0920	0.0607	0.0920	0.1233	0.1233	0.1076	0.2016	0.0920	0.0920	0.1233	0.0607	0.0842
0.1233	0.0607	0.1233	0.0920	0.1546	0.1233	0.0920	0.1233	0.1233	0.1546	0.1233	0.0920	0.0607	0.1859
0.0920	0.0607	0.0607	0.0607	0.0920	0.1233	0.1233	0.1076	0.0842	0.1233	0.1233	0.0607	0.0920	0.2016
0.0607	0.0920	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233	0.0607	0.1233	0.0920	0.2015	0.0920	0.1076	0.1233	0.0920
0.0920	0.1076	0.1233	0.1233	0.0607	0.0920	0.0607	0.0920	0.1859	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.1233
0.0607	0.0920	0.1545	0.1233	0.0920	0.1859	0.0607	0.0607	0.0920	0.1233	0.0920	0.1546	0.1233	0.1233
0.2015	0.1233	0.1859	0.0920	0.1233	0.0920	0.0842	0.0607	0.1233	0.0607	0.1859	0.1233	0.1233	0.1233
0.0607	0.1233	0.1233	0.0920	0.0607	0.2015	0.0607	0.0607	0.1233	0.0842	0.0607	0.1076	0.1546	0.0920
0.1546	0.2015	0.0607	0.1859	0.1233	0.1233	0.1233	0.1233	0.0920	0.1545	0.0920	0.0607	0.0607	0.0920
0.0607	0.1546	0.0920	0.1233	0.0607	0.0607	0.0920	0.0920	0.1233	0.0920	0.1233	0.1546	0.1233	0.1859
0.0607	0.1233	0.0920	0.1545	0.1233	0.0607	0.0607	0.0607	0.1859	0.0607	0.0607	0.1233	0.0920	0.1233
0.1233	0.1233	0.1233	0.1233	0.0920	0.1233	0.1546	0.1859	0.0920	0.1233	0.0920	0.0920	0.0607	0.0607

39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26
0.0607	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.1233	0.1546	0.1233	0.0607	0.1233	0.1859	0.0607	0.2015	0.0920
0.1233	0.0920	0.1546	0.0607	0.1233	0.0920	0.2015	0.0842	0.1233	0.1233	0.0920	0.1076	0.1233	0.1233
0.1076	0.1546	0.1546	0.1859	0.1859	0.0607	0.0607	0.0607	0.1546	0.1233	0.1233	0.0920	0.1233	0.1233
0.0607	0.0920	0.1233	0.1233	0.0607	0.1076	0.1233	0.1859	0.2015	0.1859	0.0920	0.0920	0.0607	0.0607
0.0607	0.0607	0.0607	0.1233	0.0607	0.1233	0.1545	0.1076	0.0607	0.0607	0.1545	0.0842	0.0607	0.0607
0.1233	0.1233	0.1859	0.0920	0.1233	0.0920	0.0920	0.0607	0.1233	0.0920	0.0920	0.1233	0.1076	0.1859
0.1859	0.1859	0.1233	0.0607	0.1076	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233	0.1545	0.0607	0.1233	0.1233	0.1233
0.2015	0.2015	0.1233	0.1233	0.0920	0.1233	0.1233	0.0920	0.0920	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
0.0920	0.0607	0.0920	0.1233	0.1233	0.1233	0.1233	0.0920	0.1233	0.0607	0.1859	0.1233	0.2016	0.0607
0.0920	0.1233	0.0920	0.0607	0.1233	0.0607	0.1859	0.1233	0.1233	0.1233	0.0607	0.1546	0.0920	0.1546
0.1546	0.1233	0.1233	0.1233	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1076	0.1545	0.0607	0.1233	0.0920	0.0920
0.2016	0.1859	0.0842	0.1545	0.0607	0.0920	0.1233	0.1546	0.0607	0.0920	0.1077	0.0607	0.0920	0.1233
0.0920	0.0607	0.0607	0.0920	0.1233	0.1233	0.1076	0.1546	0.0607	0.0920	0.1233	0.1233	0.0920	0.1233
0.0607	0.0920	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233	0.1233	0.1233	0.0920	0.0607	0.0920	0.1233	0.0607	0.0607
0.1233	0.1233	0.0920	0.0607	0.1233	0.2016	0.0607	0.0607	0.1076	0.1233	0.1233	0.1859	0.1233	0.1233
0.1233	0.1546	0.0920	0.0607	0.1233	0.0607	0.1233	0.1859	0.1859	0.1859	0.1233	0.1233	0.1233	0.1233
0.0842	0.1233	0.2016	0.1233	0.0607	0.0920	0.1546	0.1233	0.0607	0.0607	0.1546	0.0607	0.0607	0.1859
0.1076	0.1233	0.1076	0.1233	0.1233	0.1233	0.0920	0.0607	0.1233	0.1233	0.2015	0.1233	0.1859	0.1233
0.1233	0.0920	0.1233	0.0607	0.1233	0.1233	0.0920	0.0607	0.1233	0.1076	0.0920	0.1233	0.1233	0.1233
0.1233	0.1233	0.1233	0.1232	0.0920	0.0607	0.2015	0.1233	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233	0.1546	0.0920
0.0920	0.1546	0.0920	0.0607	0.0920	0.0842	0.0607	0.0920	0.1546	0.1233	0.0607	0.1233	0.1546	0.1233
0.0607	0.0920	0.0607	0.1859	0.2015	0.1233	0.1233	0.1546	0.0920	0.0607	0.1233	0.0920	0.1233	0.0920
0.0607	0.1233	0.0920	0.1233	0.0607	0.1859	0.1076	0.1076	0.0607	0.0607	0.1233	0.2015	0.0607	0.0607
0.0607	0.0607	0.0920	0.1859	0.1859	0.1546	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.0607	0.0841	0.0607
0.0920	0.1233	0.1233	0.0920	0.0920	0.2015	0.0920	0.0920	0.1233	0.1546	0.0607	0.1859	0.1233	0.1546
0.1233	0.1233	0.1859	0.0607	0.1546	0.0607	0.0607	0.1233	0.0920	0.1233	0.0607	0.0920	0.1546	
0.1545	0.1076	0.1233	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0920	0.1859	0.0920		0.1546
0.1233	0.0920	0.1545	0.0607	0.1545	0.1859	0.0607	0.0607	0.1546	0.1077	0.0607		0.0920	0.0920
0.0607	0.0920	0.0607	0.1233	0.0842	0.0920	0.0920	0.1233	0.0607	0.0607		0.0607	0.1859	0.0607
0.0920	0.1233	0.1233	0.0920	0.1546	0.0920	0.1233	0.2015	0.1859		0.0607	0.1077	0.0920	0.1233
0.1546	0.0920	0.1233	0.0607	0.0920	0.0607	0.0842	0.2015		0.1859	0.0607	0.1546	0.1233	0.0920
0.0920	0.0607	0.0607	0.0920	0.0920	0.1233	0.1233		0.2015	0.2015	0.1233	0.0607	0.1233	0.1233
0.0607	0.0607	0.0607	0.0920	0.0607	0.1546		0.1233	0.0842	0.1233	0.0920	0.0607	0.0607	0.0607
0.0607	0.0607	0.0607	0.0920	0.0607		0.1546	0.1233	0.0607	0.0920	0.0920	0.1859	0.0607	0.0607
0.1546	0.1233	0.1076	0.2015		0.0607	0.0607	0.0920	0.0920	0.1546	0.0842	0.1545	0.1233	0.1546
0.0920	0.0607	0.0607		0.2015	0.0920	0.0920	0.0920	0.0607	0.0920	0.1233	0.0607	0.1233	0.0607
0.1233	0.1233		0.0607	0.1076	0.0607	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1545	0.1233	0.1859
0.1859		0.1233	0.0607	0.1233	0.0607	0.0607	0.0607	0.0920	0.1233	0.0920	0.0920	0.1076	0.1233
	0.1859	0.1233	0.0920	0.1546	0.0607	0.0607	0.0920	0.1546	0.0920	0.0607	0.1233	0.1545	0.1233
0.0607	0.0607	0.0607	0.1545	0.0607	0.1545	0.1233	0.1859	0.1859	0.2015	0.1233	0.0607	0.0607	0.0607
0.1233	0.0842	0.1859	0.1545	0.0920	0.1546	0.0920	0.0920	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.2015
0.0607	0.1233	0.0920	0.1233	0.0607	0.1233	0.1859	0.1233	0.1233	0.0841	0.1546	0.0607	0.0607	0.0607
0.1233	0.0607	0.0607	0.1546	0.0920	0.1859	0.1233	0.1545	0.0920	0.0607	0.1233	0.2015	0.1233	0.0920
0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.1076	0.1859	0.1233	0.1233	0.1233	0.1233	0.0920	0.0920	0.0920
0.1233	0.1076	0.1233	0.2015	0.1859	0.0920	0.1233	0.0607	0.1233	0.0920	0.1233	0.1233	0.1233	0.1076
0.1859	0.2015	0.1233	0.1076	0.0607	0.1233	0.0920	0.1233	0.0607	0.0607	0.1546	0.0607	0.0607	0.0842
0.1233	0.1233	0.2015	0.1076	0.0607	0.1233	0.1233	0.1233	0.1233	0.0607	0.1076	0.0920	0.0920	0.2015
0.1233	0.1545	0.1546	0.0842	0.1233	0.0607	0.0607	0.0607	0.0920	0.1233	0.2015	0.1233	0.1859	0.1076

	40	41	42	43	44	45	46	47	48
48	0.0920	0.1546	0.1233	0.0920	0.0920	0.1233	0.1233	0.1233	0.1859
47	0.1233	0.0607	0.2015	0.0607	0.1859	0.0920	0.1233	0.0607	0.0920
46	0.0607	0.0607	0.1233	0.0607	0.0607	0.1859	0.0920	0.0920	0.1233
45	0.1859	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.0607	0.0920	0.0920	0.1232
44	0.1546	0.0920	0.1076	0.1233	0.1233	0.1233	0.0920	0.1233	0.0607
43	0.1233	0.2015	0.0607	0.0607	0.0607	0.1545	0.1233	0.1859	0.1233
42	0.0607	0.1233	0.0607	0.0607	0.0607	0.1545	0.1233	0.1859	0.1076
41	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0920
40	0.1233	0.0607	0.0920	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
39	0.0920	0.1233	0.0920	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
38	0.1233	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
37	0.1233	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
36	0.1076	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
35	0.0920	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
34	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
33	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
32	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
31	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
30	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
29	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
28	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
27	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
26	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
25	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
24	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
23	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
22	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
21	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
20	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
19	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
18	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
17	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
16	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
15	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
14	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
13	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
12	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
11	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
10	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
9	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
8	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
7	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
6	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
5	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
4	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
3	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
2	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233
1	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.0607	0.1233	0.1233	0.0607	0.1233

Tabla A2-11. Cota superior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 511 bits.

Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=9$ bits											
11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.1429	-0.1272	-0.0881	-0.0646		1
-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.1429	-0.0646	-0.2211	-0.0959		-0.0646	2
-0.1272	-0.1272	-0.2211	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0959		-0.0959	-0.0881	3
-0.0646	-0.2211	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1272		-0.0959	-0.2211	-0.1272	4
-0.0803	-0.0646	-0.1271	-0.1272	-0.0959	-0.2211		-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.1429	5
-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.0881	-0.1272		-0.2211	-0.0646	-0.0959	-0.1429	-0.0646	6
-0.1429	-0.1272	-0.0646	-0.0646		-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.2211	7
-0.0646	-0.2211	-0.0959		-0.0646	-0.0881	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0959	8
-0.0646	-0.0959		-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1271	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.0646	9
-0.1272		-0.0959	-0.2211	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.2211	-0.1272	-0.0646	-0.0646	10
	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.1429	-0.0959	-0.0803	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0959	11
-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.0802	-0.2211	-0.0959	-0.1271	-0.0646	-0.0646	-0.0959	12
-0.0802	-0.2211	-0.1428	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0959	13
-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.1428	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.2210	-0.2211	-0.1271	14
-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.1271	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.0646	15
-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.1429	-0.0959	-0.2210	-0.0802	-0.1428	-0.1272	-0.0646	16
-0.0646	-0.0646	-0.1271	-0.1272	-0.2210	-0.0803	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.0959	-0.0959	17
-0.0959	-0.1271	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0802	18
-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.1272	-0.0802	-0.2211	-0.1272	-0.0959	-0.0646	19
-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.2211	-0.0881	-0.1272	-0.0646	-0.0959	20
-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.1271	-0.0646	21
-0.0646	-0.2210	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1271	-0.1429	-0.0802	-0.0646	-0.1272	22
-0.0881	-0.2211	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.1272	23
-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0802	-0.2211	-0.1272	24
-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.1428	-0.2210	-0.0646	-0.1271	-0.1272	-0.2210	25
-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.2211	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.2211	26
-0.1429	-0.1429	-0.0802	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.1271	-0.0803	27
-0.1272	-0.0959	-0.2211	-0.2211	-0.1272	-0.1272	-0.0881	-0.2211	-0.1428	-0.0959	-0.0646	28
-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.2210	-0.0959	-0.1272	-0.2211	-0.0959	-0.0646	29
-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.1271	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.2211	30
-0.0959	-0.1271	-0.2210	-0.0959	-0.1271	-0.1272	-0.0646	-0.0802	-0.0959	-0.1272	-0.0646	31
-0.0646	-0.2211	-0.1272	-0.1429	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0881	-0.0959	32
-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.2211	-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.0803	-0.0959	33
-0.2211	-0.0646	-0.1271	-0.1272	-0.2210	-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.2211	-0.0959	34
-0.0959	-0.0959	-0.2210	-0.2210	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.2211	35
-0.2211	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.2211	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.1272	36
-0.1272	-0.1429	-0.2211	-0.2211	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.2211	-0.0959	-0.0959	-0.0646	37
-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0803	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.0646	38
-0.0959	-0.1272	-0.2211	-0.0803	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.1272	-0.0646	39
-0.2211	-0.0881	-0.1272	-0.1272	-0.0959	-0.2211	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.2211	-0.1272	40
-0.2211	-0.0646	-0.0959	-0.1272	-0.2211	-0.0802	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0959	41
-0.0646	-0.0802	-0.1429	-0.1271	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.1271	-0.2211	-0.0802	-0.1272	42
-0.2210	-0.0646	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.1272	43
-0.2211	-0.0803	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.1429	44
-0.1272	-0.1272	-0.0880	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.2211	45
-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0803	-0.2211	-0.1429	-0.1428	-0.2211	-0.2211	-0.1272	46
-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.0881	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.2211	-0.0646	-0.1272	47
-0.1271	-0.0959	-0.0802	-0.2211	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.2211	-0.1272	-0.1428	-0.0646	48

Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=9$ bits del Apéndice 1 (numeradas de arriba a abajo)

25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
-0.2210	-0.1272	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0802	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1271	-0.0959	-0.0959
-0.1272	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.1271	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.0646
-0.1271	-0.0802	-0.0959	-0.0802	-0.0959	-0.1272	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.1428	-0.0959	-0.2210	-0.0646	-0.0646
-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.1429	-0.0646	-0.0881	-0.2211	-0.0646	-0.0959	-0.0802	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.1271
-0.2210	-0.1272	-0.1272	-0.1271	-0.0646	-0.2211	-0.0802	-0.0959	-0.0959	-0.2210	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.0959
-0.1428	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.0803	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.2211
-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.0959	-0.0959	-0.2210	-0.1429	-0.1271	-0.0646	-0.0646	-0.0802
-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.1428	-0.0959	-0.0646
-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1271	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.1428	-0.1272
-0.0959	-0.0646	-0.2211	-0.2210	-0.0959	-0.0646	-0.0959	-0.1271	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.2211	-0.0646
-0.1272	-0.0646	-0.0881	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.0802	-0.0959
-0.2210	-0.1272	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.2210	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.1271	-0.1428	
-0.2211	-0.1271	-0.1272	-0.0959	-0.0802	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.0881	-0.0646		-0.1428
-0.0881	-0.0959	-0.1272	-0.1271	-0.0802	-0.0646	-0.0802	-0.0646	-0.1271	-0.0646	-0.2211		-0.0646	-0.1271
-0.0646	-0.0959	-0.0802	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.1271	-0.0959	-0.0959	-0.0959		-0.2211	-0.0881	-0.0646
-0.0959	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.1272	-0.2211		-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646
-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.2210	-0.0646		-0.2211	-0.0959	-0.1271	-0.1272	-0.1272
-0.1271	-0.2211	-0.0646	-0.0881	-0.1272	-0.1429	-0.1428		-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646
-0.1272	-0.2211	-0.2210	-0.0646	-0.0646	-0.1272		-0.1428	-0.2210	-0.0959	-0.1271	-0.0802	-0.0646	-0.0646
-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0959		-0.1272	-0.1429	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.2210
-0.1272	-0.0646	-0.2211	-0.2211		-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.0959	-0.1272	-0.0802	-0.0802	-0.0646
-0.0646	-0.0646	-0.0959		-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.0881	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1271	-0.0959	-0.0959
-0.0646	-0.1429		-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.2210	-0.0646	-0.0959	-0.2211	-0.0802	-0.1272	-0.1272	-0.1272
-0.0646		-0.1429	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.2211	-0.2211	-0.0959	-0.0959	-0.0959	-0.0959	-0.1271	-0.1272
	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.1272	-0.1271	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0881	-0.2211	-0.2210
-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.2211	-0.0959	-0.1428	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.1271	-0.1271	-0.0646	-0.2211	-0.2211
-0.0959	-0.0881	-0.0646	-0.2211	-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.1271	-0.0646	-0.0959	-0.2211
-0.0646	-0.0646	-0.0802	-0.0959	-0.1272	-0.1272	-0.1272	-0.1271	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.2210	-0.2211	-0.0646
-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0802	-0.0959	-0.2211	-0.2211	-0.1429	-0.1272	-0.0959
-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.1271	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.2210	-0.0959
-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.0646
-0.2211	-0.1271	-0.0959	-0.0959	-0.2211	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0959
-0.2211	-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.0802	-0.2211	-0.0959	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0959
-0.0802	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.0880	-0.0646	-0.2210	-0.2211	-0.1429	-0.0646	-0.0802	-0.1272	-0.1272	-0.1272
-0.1428	-0.0646	-0.0646	-0.0803	-0.1272	-0.1272	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.2211	-0.0646
-0.0959	-0.0646	-0.1271	-0.0646	-0.0646	-0.2211	-0.0646	-0.2210	-0.1271	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.0959
-0.1271	-0.2211	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.1271	-0.0959	-0.0959	-0.0802	-0.1272	-0.1428	-0.2210	-0.0646	-0.0880
-0.1272	-0.0646	-0.2211	-0.2211	-0.0959	-0.1272	-0.1429	-0.1272	-0.2211	-0.0959	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.0646
-0.1271	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1428	-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.0881	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.0959	-0.0802
-0.0646	-0.1429	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.2211	-0.0646	-0.2210	-0.1272	-0.0803	-0.2211	-0.0959	-0.1272	-0.1429
-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.1272
-0.0646	-0.1271	-0.0959	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1429	-0.2211	-0.2210	-0.0959	-0.1272	-0.1272
-0.0802	-0.1272	-0.0646	-0.1429	-0.2210	-0.2211	-0.0880	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.1271	-0.0959
-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.0802	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0880	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.1272
-0.0959	-0.0802	-0.0646	-0.0646	-0.1271	-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.2211	-0.0959	-0.1428	-0.0646	-0.0646	-0.2211
-0.0646	-0.0959	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.2211	-0.1272	-0.0959	-0.2211	-0.0959	-0.1271	-0.0646
-0.0646	-0.1272	-0.1428	-0.0959	-0.2210	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0958	-0.1271	-0.1272
-0.1272	-0.2211	-0.2211	-0.2210	-0.1429	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.2210	-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0646

39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26
-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.2211	-0.0959	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.0803	-0.2211
-0.1272	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.2211	-0.0803	-0.0881	-0.1272	-0.1272	-0.0959	-0.0959	-0.1271	-0.1272
-0.0959	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.1272	-0.2211	-0.1428	-0.1272	-0.1272
-0.0646	-0.0959	-0.2211	-0.1272	-0.0646	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.0802	-0.0646	-0.1272	-0.2211	-0.0646	-0.0646
-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0881	-0.0646	-0.0646
-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.2211	-0.1272	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.1271	-0.2210	-0.1272	-0.0959	-0.0646
-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.0959	-0.2210	-0.2211	-0.0646	-0.1271	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.1272
-0.0803	-0.0803	-0.2211	-0.1272	-0.2210	-0.1272	-0.1272	-0.1429	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.2211	-0.0646	-0.2211
-0.2211	-0.0646	-0.2211	-0.1272	-0.2210	-0.1271	-0.1272	-0.1272	-0.2210	-0.0646	-0.0646	-0.2211	-0.0802	-0.0646
-0.1272	-0.0959	-0.1429	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.2211	-0.1271	-0.1272	-0.0646	-0.0959	-0.1429	-0.0959
-0.0959	-0.1272	-0.1272	-0.2211	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.1429	-0.1272
-0.0802	-0.0646	-0.0880	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.2211	-0.2211
-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.2211	-0.1272	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.2210	-0.1272	-0.2211	-0.0959	-0.2211
-0.0646	-0.0959	-0.2210	-0.1272	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.1272	-0.2211	-0.0646	-0.1429	-0.2210	-0.0646	-0.0646
-0.1272	-0.0959	-0.1428	-0.0646	-0.1272	-0.0802	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.1272	-0.2211	-0.0646	-0.1271	-0.1271
-0.1272	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.2211	-0.1272	-0.1272	-0.1271
-0.0881	-0.2211	-0.0802	-0.1271	-0.0646	-0.1429	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646
-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.2210	-0.1272	-0.2211	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0802	-0.1271	-0.0646	-0.1272
-0.1272	-0.1429	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.2210	-0.2211	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.1272	-0.1272
-0.0959	-0.1272	-0.1271	-0.2211	-0.1272	-0.0646	-0.0802	-0.2211	-0.1272	-0.1271	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.1428
-0.1428	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.1272	-0.0880	-0.0646	-0.2211	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0959
-0.0646	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.0803	-0.1272	-0.1272	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.2211	-0.2211
-0.0646	-0.2211	-0.0959	-0.1271	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0802	-0.0646	-0.0646
-0.0646	-0.0646	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.1271	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.0881	-0.0646
-0.1271	-0.1272	-0.1271	-0.0959	-0.1428	-0.0802	-0.2211	-0.2211	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0959
-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.2211	-0.1271	-0.0959	-0.0646	-0.1429	-0.0959	
-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.2211	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.2211	-0.0959	-0.1271	-0.0646	-0.1272		-0.0959
-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.0646		-0.1272	-0.1429
-0.0646	-0.2211	-0.0646	-0.1272	-0.0881	-0.1272	-0.1428	-0.1272	-0.0646	-0.0646		-0.0646	-0.0646	-0.0646
-0.1429	-0.1271	-0.1272	-0.0959	-0.0959	-0.2211	-0.2210	-0.0802	-0.0646		-0.0646	-0.0959	-0.1271	-0.0959
-0.0959	-0.1428	-0.0959	-0.0646	-0.1428	-0.0646	-0.0881	-0.0803		-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.1271
-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1429	-0.0959	-0.1271	-0.1272		-0.0803	-0.0802	-0.1272	-0.0646	-0.2211	-0.2211
-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.0959		-0.1272	-0.0881	-0.2210	-0.1428	-0.0646	-0.0646	-0.0646
-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1428	-0.0646		-0.0959	-0.1271	-0.0646	-0.2211	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0646
-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.0802		-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.1428	-0.0959	-0.0881	-0.0959	-0.1272	-0.0959
-0.2211	-0.0646	-0.0646		-0.0802	-0.1428	-0.1272	-0.1429	-0.0646	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.2211	-0.0646
-0.1272	-0.1272		-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.0959	-0.1272	-0.0646
-0.0646		-0.1272	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1428	-0.1271	-0.2211	-0.1272	-0.0959	-0.1272
	-0.0646	-0.1272	-0.2211	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.1429	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.1272
-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0959	-0.1271	-0.0646	-0.0646	-0.0802	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646
-0.2211	-0.0881	-0.0646	-0.0959	-0.2211	-0.0959	-0.1428	-0.1272	-0.0646	-0.2211	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0802
-0.0646	-0.2211	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.1272	-0.2210	-0.0881	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646
-0.2210	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.1272	-0.0802	-0.2211	-0.0959
-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.2211	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.2211	-0.2211	-0.1272	-0.2211	-0.0959	-0.0959
-0.1271	-0.0959	-0.1271	-0.0803	-0.0646	-0.0959	-0.2210	-0.0646	-0.1272	-0.1428	-0.2211	-0.1271	-0.1272	-0.0959
-0.0646	-0.0803	-0.2211	-0.0959	-0.0646	-0.0959	-0.1271	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0881
-0.2210	-0.2210	-0.0803	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.1271	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.2211	-0.0803
-0.1272	-0.0959	-0.0959	-0.0881	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.0802	-0.0959	-0.0646	-0.0959

	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	-0.1272	-0.0959	-0.1272	-0.1272	-0.1429	-0.2211	-0.1272	-0.1272	-0.0646
	-0.2211	-0.0646	-0.0802	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.2211	-0.0646	-0.1428
	-0.0646	-0.0646	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.2211	-0.2211	-0.1272
	-0.0646	-0.1272	-0.1271	-0.1272	-0.1272	-0.0646	-0.1428	-0.1272	-0.2211
	-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.1272	-0.1272	-0.2211	-0.1429	-0.1272	-0.0646
	-0.2211	-0.0802	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.1272
	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0803	-0.0881	-0.0959
	-0.1272	-0.1272	-0.1271	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.2211
	-0.1272	-0.0959	-0.1429	-0.0959	-0.0959	-0.0880	-0.0959	-0.0959	-0.0802
	-0.0881	-0.0646	-0.0802	-0.0646	-0.0803	-0.1272	-0.0646	-0.0959	-0.0959
	-0.2211	-0.2211	-0.0646	-0.2210	-0.2211	-0.1272	-0.0646	-0.0646	-0.1271
	-0.1429	-0.1272	-0.1272	-0.0959	-0.1272	-0.2211	-0.0646	-0.1272	-0.0646
	-0.1272	-0.0959	-0.1272	-0.1271	-0.0959	-0.0646	-0.1271	-0.1271	-0.0646
	-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0959	-0.0958	-0.0959
	-0.2211	-0.0646	-0.2210	-0.0646	-0.0646	-0.1428	-0.2211	-0.0646	-0.1272
	-0.0803	-0.0646	-0.2211	-0.0646	-0.0880	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.0959
	-0.1272	-0.0646	-0.1429	-0.1272	-0.1272	-0.2211	-0.1272	-0.0646	-0.2210
	-0.2210	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.2211	-0.0646	-0.0646
	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0880	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.0646	-0.0959
	-0.2211	-0.0959	-0.0646	-0.2211	-0.0802	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1272
	-0.0646	-0.0646	-0.2211	-0.2210	-0.0646	-0.1271	-0.0646	-0.2210	-0.1429
	-0.1272	-0.1272	-0.0959	-0.1429	-0.1272	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.2210
	-0.1272	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.1272	-0.1428	-0.2211
	-0.1429	-0.0959	-0.1271	-0.1272	-0.1272	-0.0802	-0.0959	-0.1272	-0.2211
	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0802	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1272
	-0.0646	-0.0802	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.0959	-0.0881	-0.0803	-0.0959
	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.2211	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.2211	-0.0646
	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0802	-0.2211	-0.1271	-0.0646	-0.0959	-0.0959
	-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.1272	-0.1272	-0.2211	-0.0959	-0.0959	-0.0802
	-0.0802	-0.2211	-0.0881	-0.0646	-0.2211	-0.1428	-0.0646	-0.0646	-0.1272
	-0.0646	-0.0646	-0.2210	-0.2211	-0.2211	-0.1272	-0.0646	-0.2211	-0.1272
	-0.0646	-0.1272	-0.1272	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0646
	-0.1271	-0.1428	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.2210	-0.1271	-0.1271	-0.0646
	-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.0646
	-0.0646	-0.2211	-0.0646	-0.0959	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.1272
	-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.0959	-0.0803	-0.0959	-0.0959	-0.0881
	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1271	-0.2211	-0.0803	-0.0959
	-0.0646	-0.0881	-0.2211	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0803	-0.2210	-0.0959
	-0.0646	-0.2211	-0.0646	-0.2210	-0.2211	-0.1271	-0.0646	-0.2210	-0.1272
		-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.0959	-0.1272	-0.0646
	-0.0959		-0.1271	-0.1429	-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.0646
	-0.1272	-0.1271		-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.0959
	-0.0959	-0.1429	-0.0959		-0.0959	-0.0646	-0.1272	-0.0959	-0.0646
	-0.1272	-0.0959	-0.0646	-0.0959		-0.0646	-0.1271	-0.1429	-0.0646
	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.0646	-0.0646		-0.0646	-0.0646	-0.1272
	-0.0959	-0.1272	-0.0959	-0.1272	-0.1271	-0.0646		-0.1272	-0.0646
	-0.1272	-0.0646	-0.0959	-0.0959	-0.1429	-0.0646	-0.1272		-0.0646
	-0.0646	-0.0646	-0.0959	-0.0646	-0.0646	-0.1272	-0.0646	-0.0646	

Tabla A2-12. Cota inferior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 511 bits.

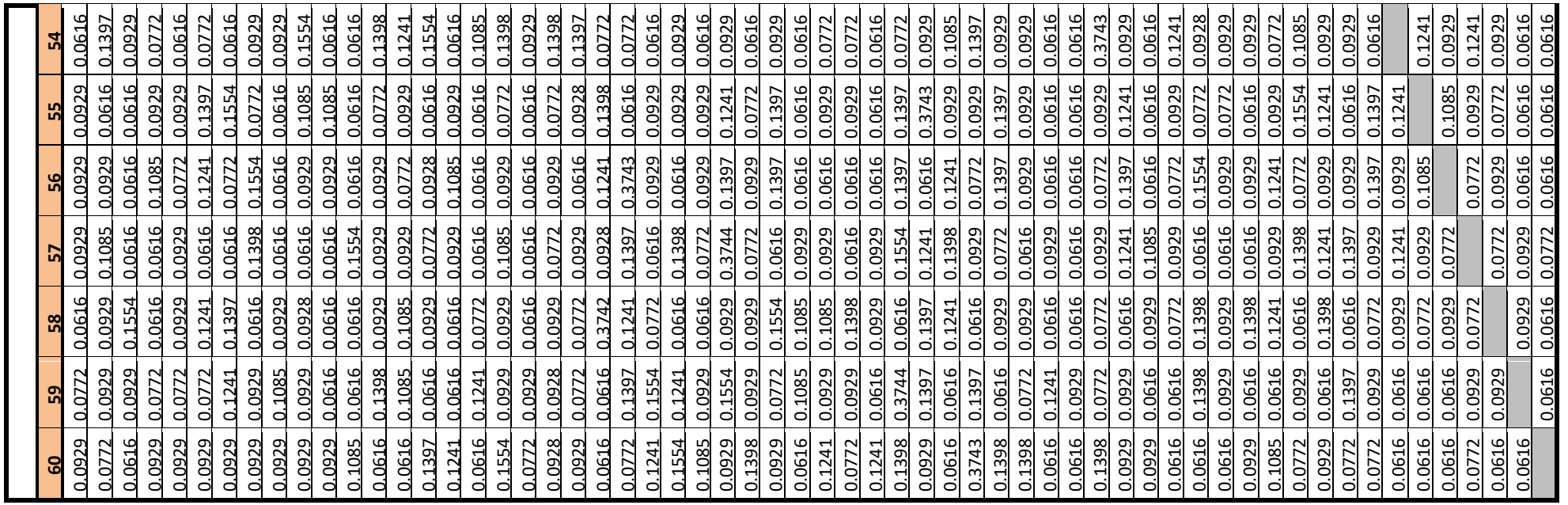
Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=10$ bits											
11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
0.0616	0.0772	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.1241	0.0772		1
0.1397	0.0929	0.0929	0.0616	0.1241	0.0616	0.0772	0.0772	0.1397		0.0772	2
0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0772	0.0616	0.3743	0.1241		0.1397	0.1241	3
0.0929	0.1085	0.0616	0.0929	0.0929	0.1398	0.0929		0.1241	0.0772	0.0929	4
0.1554	0.0772	0.0929	0.0929	0.1397	0.0616		0.0929	0.3743	0.0772	0.0929	5
0.0616	0.1397	0.0772	0.0616	0.0929		0.0616	0.1398	0.0616	0.0616	0.0616	6
0.0929	0.1241	0.0616	0.1398		0.0929	0.1397	0.0929	0.0772	0.1241	0.0616	7
0.0929	0.0772	0.0929		0.1398	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	8
0.1398	0.0616		0.0929	0.0616	0.0772	0.0929	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	9
0.0616		0.0616	0.0772	0.1241	0.1397	0.0772	0.1085	0.0929	0.0929	0.0772	10
	0.0616	0.1398	0.0929	0.0929	0.0616	0.1554	0.0929	0.0929	0.1397	0.0616	11
0.1241	0.0929	0.0772	0.0772	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929	0.1085	12
0.0929	0.0772	0.1397	0.1398	0.0929	0.0772	0.0616	0.1554	0.0616	0.0616	0.0929	13
0.0616	0.0616	0.0616	0.0616	0.1398	0.0928	0.0929	0.0929	0.0772	0.0772	0.0616	14
0.0929	0.1398	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.1398	0.0772	0.0772	0.0616	15
0.1085	0.0929	0.1241	0.1241	0.0772	0.0616	0.0772	0.0616	0.0929	0.1398	0.0616	16
0.0929	0.1241	0.0616	0.0929	0.0929	0.0929	0.0616	0.0928	0.1085	0.1241	0.1397	17
0.0928	0.0616	0.0616	0.1398	0.0616	0.3744	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.0772	18
0.1241	0.0616	0.1085	0.0772	0.0616	0.0929	0.0772	0.0616	0.0616	0.0929	0.0616	19
0.0929	0.0929	0.1397	0.0616	0.0616	0.1241	0.0616	0.0772	0.1398	0.0929	0.1085	20
0.1397	0.0772	0.0929	0.0929	0.0928	0.0929	0.0929	0.0929	0.1241	0.1085	0.0929	21
0.1398	0.0616	0.1085	0.0772	0.0616	0.0929	0.1554	0.0616	0.0929	0.0616	0.1398	22
0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.0929	0.0616	0.0929	0.0772	0.0616	0.1554	23
0.0772	0.0616	0.1241	0.3744	0.0616	0.1398	0.0616	0.0616	0.0929	0.0616	0.1397	24
0.0929	0.3742	0.1398	0.0616	0.0929	0.0616	0.0928	0.0616	0.0772	0.1241	0.0929	25
0.0616	0.0929	0.0616	0.0616	0.3743	0.0616	0.0772	0.0772	0.1398	0.0929	0.1085	26
0.0616	0.1397	0.0929	0.0616	0.0772	0.1085	0.0616	0.1398	0.0929	0.0929	0.0616	27
0.0929	0.0929	0.1554	0.0929	0.0616	0.1241	0.1085	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	28
0.1397	0.0616	0.0929	0.0929	0.1554	0.1085	0.0616	0.0929	0.1398	0.1085	0.0929	29
0.0616	0.0772	0.0929	0.0929	0.1397	0.1554	0.0929	0.0929	0.1241	0.0772	0.0929	30
0.0772	0.1397	0.3743	0.1241	0.0616	0.0616	0.0616	0.1397	0.0929	0.1554	0.0616	31
0.3742	0.0929	0.0772	0.0772	0.0616	0.0929	0.0929	0.1085	0.1554	0.0616	0.0772	32
0.0772	0.0616	0.1241	0.1241	0.0929	0.0929	0.1398	0.0616	0.0616	0.0929	0.0772	33
0.0929	0.1241	0.0929	0.1554	0.0929	0.0929	0.0929	0.1398	0.0772	0.1242	0.1397	34
0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0772	0.0616	0.0616	0.0929	0.0616	0.0772	35
0.0616	0.0772	0.0929	0.1085	0.0929	0.0929	0.0929	0.1554	0.1085	0.1397	0.0616	36
0.0772	0.1554	0.1241	0.1241	0.1085	0.1554	0.0616	0.0772	0.0929	0.0616	0.0616	37
0.0616	0.1397	0.0616	0.0772	0.0772	0.0929	0.1241	0.1241	0.0929	0.0929	0.1241	38
0.0929	0.0616	0.0929	0.0616	0.0616	0.1398	0.0929	0.0616	0.1085	0.0616	0.1398	39
0.0616	0.1241	0.1554	0.0616	0.0929	0.0929	0.1398	0.1397	0.0772	0.3744	0.0928	40
0.0616	0.1398	0.0772	0.0616	0.0772	0.1085	0.1241	0.1241	0.0929	0.0616	0.1241	41
0.0772	0.0929	0.0772	0.0616	0.0616	0.1398	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0929	42
0.1398	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0772	0.0772	0.0616	0.0929	0.0616	0.1397	43
0.0929	0.0616	0.0929	0.1398	0.0929	0.0616	0.1398	0.0616	0.0616	0.0616	0.1554	44
0.0929	0.0772	0.1398	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0929	0.1397	0.0929	0.0929	45
0.0772	0.0929	0.0616	0.1398	0.1085	0.0772	0.1241	0.1241	0.0929	0.0929	0.3743	46
0.0772	0.0929	0.0772	0.1085	0.1241	0.0616	0.1085	0.0772	0.0616	0.0929	0.0772	47
0.0616	0.1085	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.0772	0.0616	0.0929	48
0.0772	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.1398	0.0616	0.0616	0.0772	0.0929	49
0.1241	0.0929	0.0772	0.1085	0.1397	0.0616	0.1085	0.0772	0.0929	0.0929	0.0616	50
0.1554	0.0616	0.0616	0.0929	0.1085	0.0772	0.1397	0.0616	0.0616	0.1554	0.0616	51
0.1085	0.0616	0.1398	0.0616	0.0772	0.0616	0.1241	0.3742	0.0929	0.1398	0.1241	52
0.1241	0.0929	0.0772	0.0772	0.0772	0.0929	0.0616	0.0616	0.1398	0.0929	0.0929	53
0.0616	0.1554	0.0929	0.0929	0.0616	0.0772	0.0616	0.0772	0.0929	0.1397	0.0616	54
0.1085	0.1085	0.0616	0.0772	0.1554	0.1397	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0929	55
0.0929	0.0929	0.0616	0.1554	0.0772	0.1241	0.0772	0.1085	0.0616	0.0929	0.0929	56
0.0616	0.0616	0.0616	0.1398	0.0616	0.0616	0.0929	0.0616	0.0616	0.1085	0.0929	57
0.0616	0.0928	0.0929	0.0616	0.1397	0.1241	0.0929	0.0616	0.1554	0.0929	0.0616	58
0.0616	0.0929	0.1085	0.0929	0.1241	0.0772	0.0772	0.0772	0.0929	0.0929	0.0772	59
0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0616	0.0772	0.0929	60

Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N=10$ bits del Apéndice 1 (numeradas de arriba a abajo)

25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
0.0929	0.1397	0.1554	0.1398	0.0929	0.1085	0.0616	0.0772	0.1397	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.1085
0.1241	0.0616	0.0616	0.0616	0.1085	0.0929	0.0929	0.0929	0.1241	0.1398	0.0772	0.0772	0.0616	0.0929
0.0772	0.0929	0.0772	0.0929	0.1241	0.1398	0.0616	0.0616	0.1085	0.0929	0.0772	0.0772	0.0616	0.0616
0.0616	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929	0.0772	0.0616	0.0616	0.0928	0.0616	0.1398	0.0929	0.1554	0.0929
0.0928	0.0616	0.0616	0.1554	0.0929	0.0616	0.0772	0.0616	0.0616	0.0772	0.0616	0.0929	0.0616	0.0616
0.0616	0.1398	0.0929	0.0929	0.0929	0.1241	0.0929	0.3744	0.0929	0.0616	0.0616	0.0928	0.0772	0.0929
0.0929	0.0616	0.0929	0.0616	0.0928	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929	0.1398	0.0929	0.0616
0.0616	0.3744	0.0929	0.0772	0.0929	0.0616	0.0772	0.1398	0.0929	0.1241	0.0929	0.0616	0.1398	0.0772
0.1398	0.1241	0.0616	0.1085	0.0929	0.1397	0.1085	0.0616	0.0616	0.1241	0.0616	0.0616	0.1397	0.0772
0.3742	0.0616	0.0616	0.0616	0.0772	0.0929	0.0616	0.0616	0.1241	0.0929	0.1398	0.0616	0.0772	0.0929
0.0929	0.0772	0.0616	0.1398	0.1397	0.0929	0.1241	0.0928	0.0929	0.1085	0.0929	0.0616	0.0929	0.1241
0.0772	0.1397	0.0929	0.0929	0.0772	0.0616	0.0929	0.0772	0.0616	0.0929	0.1241	0.0616	0.3743	
0.0929	0.0772	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.1241	0.0929	0.0929	0.0772	0.0929	0.0616		0.3743
0.0616	0.0929	0.1398	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929	0.0772	0.1554	0.0616	0.1085		0.0616	0.0616
0.0616	0.0772	0.0616	0.0616	0.1554	0.0616	0.3743	0.0929	0.0929	0.0772		0.1085	0.0929	0.1241
0.1085	0.0929	0.0929	0.1398	0.1397	0.0929	0.1398	0.0616	0.0929		0.0772	0.0616	0.0772	0.0929
0.0929	0.1085	0.0929	0.0929	0.1398	0.1397	0.0616	0.0616		0.0929	0.0929	0.1554	0.0929	0.0616
0.1398	0.0616	0.1241	0.1241	0.1085	0.0929	0.0616		0.0616	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929	0.0772
0.1397	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.1398		0.0616	0.0616	0.1398	0.3743	0.0929	0.1241	0.0929
0.0616	0.0616	0.1241	0.1241	0.0929		0.1398	0.0929	0.1397	0.0929	0.0616	0.0772	0.0929	0.0616
0.1397	0.0616	0.0616	0.0616		0.0929	0.0929	0.1085	0.1398	0.1397	0.1554	0.0929	0.0616	0.0772
0.0929	0.0616	0.0929		0.0616	0.1241	0.0929	0.1241	0.0929	0.1398	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929
0.0929	0.1554		0.0929	0.0616	0.1241	0.0929	0.1241	0.0929	0.0929	0.0616	0.1398	0.0616	0.0929
0.0772		0.1554	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.0616	0.1085	0.0929	0.0772	0.0929	0.0772	0.1397
	0.0772	0.0929	0.0929	0.1397	0.0616	0.1397	0.1398	0.0929	0.1085	0.0616	0.0616	0.0929	0.0772
0.1241	0.1398	0.0772	0.1397	0.0772	0.0929	0.0929	0.0929	0.1241	0.0616	0.0616	0.0616	0.0616	0.0928
0.0616	0.1398	0.0772	0.0772	0.0616	0.0929	0.0772	0.0616	0.0616	0.0616	0.0616	0.1241	0.1554	0.0929
0.0772	0.1085	0.1241	0.1241	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929	0.0616	0.0772	0.0929	0.0772	0.0616	0.1397
0.0616	0.1241	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0772	0.0929	0.1398	0.1241	0.0929	0.0772	0.0929	0.0772
0.1398	0.0772	0.1397	0.0929	0.0929	0.0616	0.1085	0.0929	0.0929	0.0616	0.0929	0.0929	0.1398	0.0616
0.0616	0.0929	0.0616	0.0929	0.0772	0.0616	0.0616	0.0772	0.0772	0.0929	0.1085	0.0929	0.0772	0.1397
0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0772	0.0929	0.0616	0.0772	0.0616	0.1241	0.1398	0.1241	0.0929
0.0616	0.0929	0.1397	0.1554	0.0616	0.0772	0.0929	0.1085	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929	0.0772	0.0929
0.0929	0.0929	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0772	0.0929	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.1397
0.1085	0.0772	0.1085	0.0772	0.0616	0.0929	0.0616	0.1397	0.0772	0.0616	0.0616	0.1241	0.0616	0.0772
0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.1397	0.1241	0.0929	0.1241	0.0929	0.0616	0.0772	0.0929	0.1398	0.0616
0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.1085	0.1397	0.0929	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929	0.1085	0.0616
0.0772	0.0929	0.0616	0.1085	0.1241	0.0616	0.0929	0.1554	0.0772	0.0929	0.1085	0.0616	0.0616	0.1397
0.0929	0.1085	0.0772	0.0616	0.0616	0.0929	0.1241	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929	0.0772	0.0929	0.1241
0.0929	0.0616	0.0928	0.0929	0.0616	0.0772	0.0772	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929	0.0616
0.0772	0.0929	0.0616	0.0772	0.3744	0.1554	0.1554	0.0929	0.0772	0.0616	0.0929	0.0616	0.0772	0.0616
0.1554	0.0929	0.0929	0.0929	0.0616	0.0772	0.1554	0.0772	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0616	0.1397
0.0616	0.0616	0.0772	0.1085	0.0616	0.1398	0.1085	0.0929	0.0929	0.1398	0.0929	0.3742	0.0616	0.0616
0.0929	0.0772	0.1397	0.0772	0.0929	0.0929	0.1241	0.0929	0.0616	0.0772	0.0929	0.0929	0.0929	0.1241
0.0616	0.0929	0.0929	0.1397	0.0929	0.1085	0.1397	0.0772	0.1398	0.0929	0.0616	0.0929	0.1085	0.0928
0.0772	0.0616	0.0929	0.0616	0.1241	0.0929	0.0616	0.0616	0.0772	0.0929	0.0616	0.1397	0.1085	0.0929
0.1241	0.0929	0.0616	0.0772	0.0772	0.0616	0.0929	0.0929	0.3743	0.1554	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929
0.0929	0.1241	0.1085	0.0616	0.0616	0.1554	0.0772	0.0616	0.1554	0.3742	0.1398	0.1398	0.0929	0.0772
0.0929	0.0616	0.0929	0.0929	0.1554	0.3743	0.0616	0.1241	0.0616	0.1554	0.1398	0.1397	0.0616	0.0929
0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0929	0.1398	0.0616	0.0929	0.1241	0.0616	0.1241	0.0929
0.0772	0.0616	0.0772	0.0772	0.0772	0.0616	0.0616	0.0929	0.0616	0.0772	0.1397	0.1241	0.0928	0.1085
0.1085	0.0929	0.1085	0.0616	0.1241	0.0616	0.1397	0.1397	0.0772	0.0929	0.0616	0.0616	0.0929	0.1554
0.0616	0.1398	0.0616	0.0929	0.1085	0.0616	0.0929	0.0616	0.1398	0.1398	0.1241	0.1554	0.1241	0.0929
0.0929	0.0616	0.0772	0.0772	0.1397	0.1398	0.0929	0.1398	0.1085	0.0616	0.1554	0.1241	0.1398	0.0616
0.0929	0.0929	0.0616	0.1398	0.0928	0.0772	0.0616	0.0772	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929	0.0772	0.0616
0.0616	0.0929	0.3743	0.1241	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929	0.0616	0.1085	0.0928	0.0772	0.0929	0.0616
0.1398	0.0616	0.1397	0.0928	0.0929	0.0772	0.0616	0.1085	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929	0.0929	0.1554
0.0616	0.0772	0.1241	0.3742	0.0772	0.0929	0.0616	0.0929	0.0772	0.0616	0.0929	0.1085	0.0929	0.0616
0.1241	0.1554	0.1397	0.0616	0.0772	0.0928	0.0929	0.0929	0.1241	0.0616	0.0616	0.1085	0.1398	0.0616
0.1554	0.1241	0.0772	0.0616	0.0929	0.0928	0.0772	0.1554	0.0616	0.1241	0.1397	0.0616	0.0616	0.1085

39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26
0.1398	0.1241	0.0616	0.0616	0.0772	0.1397	0.0772	0.0772	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.1085
0.0616	0.0929	0.0616	0.1397	0.0616	0.1242	0.0929	0.0616	0.1554	0.0772	0.1085	0.0616	0.0929	0.0929
0.1085	0.0929	0.0929	0.1085	0.0929	0.0772	0.0616	0.1554	0.0929	0.1241	0.1398	0.0929	0.0929	0.1398
0.0616	0.1241	0.0772	0.1554	0.0616	0.1398	0.0616	0.1085	0.1397	0.0929	0.0929	0.0929	0.1398	0.0772
0.0929	0.1241	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929	0.1398	0.0929	0.0616	0.0929	0.0616	0.1085	0.0616	0.0772
0.1398	0.0929	0.1554	0.0929	0.0772	0.0929	0.0929	0.0929	0.0616	0.1554	0.1085	0.1241	0.1085	0.0616
0.0616	0.0772	0.1085	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.1397	0.1554	0.0616	0.0772	0.3743
0.0616	0.0772	0.1241	0.1085	0.0929	0.1554	0.1241	0.0772	0.1241	0.0929	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616
0.0929	0.0616	0.1241	0.0929	0.0929	0.0929	0.1241	0.0772	0.3743	0.0929	0.0929	0.1554	0.0929	0.0616
0.0616	0.1397	0.1554	0.0772	0.0929	0.1241	0.0616	0.0929	0.1397	0.0772	0.0616	0.0929	0.1397	0.0929
0.0929	0.0616	0.0772	0.0616	0.0929	0.0929	0.0772	0.3742	0.0772	0.0616	0.1397	0.0929	0.0616	0.0616
0.1241	0.1397	0.0616	0.0616	0.0772	0.1397	0.0929	0.0929	0.1397	0.0616	0.0772	0.1397	0.0929	0.0928
0.0929	0.0616	0.1085	0.1398	0.0616	0.0616	0.0772	0.1241	0.0772	0.1398	0.0929	0.0616	0.1554	0.0616
0.0772	0.0616	0.0929	0.0929	0.1241	0.0929	0.0929	0.1398	0.0929	0.0929	0.0772	0.0772	0.1241	0.0616
0.0929	0.1085	0.0772	0.0772	0.0616	0.0929	0.0772	0.1241	0.1085	0.0929	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616
0.0772	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929	0.0616	0.1241	0.0772	0.0616	0.0616
0.0929	0.0772	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929	0.0616	0.0772	0.0772	0.0929	0.1398	0.0616	0.0616	0.1241
0.0616	0.1554	0.0929	0.1241	0.1397	0.0772	0.1085	0.0616	0.0772	0.0929	0.0929	0.0929	0.0616	0.0929
0.1241	0.0929	0.1397	0.0929	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.1085	0.0772	0.0772	0.0772	0.0929
0.0929	0.0616	0.1085	0.1241	0.0929	0.0616	0.0772	0.0772	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.0929
0.0616	0.1241	0.0616	0.1397	0.0616	0.0929	0.0616	0.0616	0.0772	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0772
0.0616	0.1085	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929	0.1554	0.0616	0.0929	0.0929	0.0929	0.1241	0.0772	0.1397
0.0772	0.0616	0.0616	0.0929	0.1085	0.0616	0.1397	0.0929	0.0616	0.1397	0.0616	0.1241	0.0772	0.0772
0.1085	0.0929	0.0929	0.0929	0.0772	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0772	0.1241	0.1085	0.1398	0.1398
0.0929	0.0772	0.0929	0.0929	0.1085	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.1398	0.0616	0.0772	0.0616	0.1241
0.1397	0.1398	0.0929	0.0616	0.1554	0.1241	0.1554	0.0929	0.0616	0.0772	0.0928	0.0928	0.0616	
0.1398	0.0929	0.0772	0.0772	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.0772	0.0929	0.1398		0.0616
0.0928	0.0616	0.0616	0.3743	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.0772	0.0616		0.1398	0.0928
0.1397	0.0616	0.1241	0.0616	0.0616	0.0616	0.3743	0.0772	0.1241	0.0929		0.0616	0.0929	0.0928
0.1554	0.3744	0.1397	0.0616	0.1397	0.0616	0.0616	0.0616	0.0616		0.0929	0.0772	0.0772	0.0772
0.0772	0.0929	0.0929	0.1554	0.0616	0.1085	0.0929	0.1398		0.0616	0.1241	0.0929	0.0616	0.0616
0.1241	0.0616	0.0929	0.0929	0.1085	0.0616	0.1398		0.1398	0.0616	0.0772	0.0616	0.0616	0.0929
0.0772	0.0929	0.0929	0.0616	0.1397	0.0773		0.1398	0.0929	0.0616	0.3743	0.0616	0.0616	0.1554
0.0929	0.1085	0.0616	0.0929	0.0616		0.0773	0.0616	0.1085	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.1241
0.1554	0.0616	0.0616	0.0772		0.0616	0.1397	0.1085	0.0616	0.1397	0.0616	0.0929	0.0929	0.1554
0.0616	0.0772	0.1397		0.0772	0.0929	0.0616	0.0929	0.1554	0.0616	0.0616	0.3743	0.0772	0.0616
0.0772	0.0616		0.1397	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.0929	0.1397	0.1241	0.0616	0.0772	0.0929
0.0929		0.0616	0.0772	0.0616	0.1085	0.0929	0.0616	0.0929	0.3744	0.0616	0.0616	0.0929	0.1398
	0.0929	0.0772	0.0616	0.1554	0.0929	0.0772	0.1241	0.0772	0.1554	0.1397	0.0928	0.1398	0.1397
0.0929	0.0772	0.0772	0.0616	0.0616	0.0929	0.1085	0.1398	0.0929	0.0929	0.0929	0.1397	0.1085	0.1241
0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929	0.1398	0.0929	0.1242	0.0616	0.1397	0.0929	0.0929
0.1085	0.0616	0.0616	0.0616	0.1241	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.1085	0.1241	0.0616
0.0616	0.0929	0.0616	0.0772	0.0929	0.1085	0.0772	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.0929	0.1398
0.0929	0.0772	0.0772	0.0616	0.1397	0.0929	0.1085	0.1241	0.0772	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.0772
0.0616	0.0616	0.0929	0.1397	0.1241	0.0616	0.0929	0.1554	0.0616	0.0929	0.0616	0.0772	0.1241	0.1085
0.0616	0.0929	0.0928	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929	0.0616	0.0929	0.1241	0.0772	0.0616	0.0929	0.0616
0.0616	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.1241	0.1398	0.0929	0.0616	0.0772	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929
0.0929	0.0616	0.1241	0.0772	0.0929	0.0616	0.1241	0.1085	0.1241	0.0929	0.0929	0.0616	0.0928	0.0772
0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.0772	0.0929	0.0616	0.0929	0.1397	0.0616	0.0772	0.1241	0.0772	0.0616
0.3744	0.1554	0.1397	0.0929	0.0929	0.0772	0.1398	0.0929	0.0929	0.0929	0.0772	0.0616	0.0616	0.0616
0.0616	0.0928	0.0616	0.0772	0.0929	0.0616	0.0616	0.0929	0.1398	0.0616	0.0929	0.1398	0.0929	0.0929
0.0772	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0772	0.0929	0.0929	0.0616	0.1241	0.0616	0.1554	0.0616	0.0929
0.1241	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.0773	0.1085	0.0616	0.1085	0.0929
0.0929	0.0929	0.1397	0.1085	0.0929	0.0772	0.0616	0.0772	0.0772	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929	0.0616
0.0929	0.1397	0.0929	0.0929	0.3743	0.1397	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.1397	0.0772	0.1241	0.0929
0.0929	0.1397	0.0772	0.1241	0.0616	0.1397	0.0616	0.0616	0.0616	0.0616	0.1397	0.0929	0.1397	0.0929
0.0616	0.0772	0.0929	0.1398	0.1241	0.1554	0.0929	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0772	0.3744	0.0772
0.0929	0.0929	0.0616	0.1241	0.1397	0.0616	0.0929	0.1398	0.1085	0.1085	0.1554	0.0929	0.0929	0.0616
0.0772	0.0616	0.1397	0.0616	0.1397	0.3744	0.0616	0.0929	0.0929	0.1085	0.0772	0.0929	0.1554	0.0929
0.1398	0.1398	0.3743	0.0616	0.0929	0.1398	0.1241	0.0772	0.1241	0.0616	0.0929	0.1398	0.0929	0.1085

53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40
0.0929	0.1241	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.0772	0.3743	0.0929	0.1554	0.1397	0.0929	0.1241	0.0928
0.0929	0.1398	0.1554	0.0929	0.0772	0.0616	0.0929	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.0616	0.3744
0.1398	0.0929	0.0616	0.0929	0.0616	0.0772	0.0616	0.0929	0.1397	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929	0.0772
0.0616	0.3742	0.0616	0.0772	0.0616	0.0929	0.0772	0.1241	0.0929	0.0616	0.0616	0.0929	0.1241	0.1397
0.0616	0.1241	0.1397	0.1085	0.1398	0.0929	0.1085	0.1241	0.0616	0.1398	0.0772	0.0929	0.1241	0.1398
0.0929	0.0616	0.0772	0.0616	0.0929	0.0616	0.0616	0.0772	0.0929	0.0616	0.0772	0.1398	0.1085	0.0929
0.0772	0.0772	0.1085	0.1397	0.0929	0.0616	0.1241	0.1085	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0772	0.0929
0.0772	0.0616	0.0929	0.1085	0.0616	0.0929	0.1085	0.1398	0.0616	0.1398	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616
0.0772	0.1398	0.0616	0.0772	0.0616	0.0929	0.0772	0.0616	0.1398	0.0929	0.0929	0.0772	0.0772	0.1554
0.0929	0.0616	0.0616	0.0929	0.0616	0.1085	0.0929	0.0929	0.0772	0.0616	0.0616	0.0929	0.1398	0.1241
0.1241	0.1085	0.1554	0.1241	0.0772	0.0616	0.0772	0.0772	0.0929	0.0929	0.1398	0.0772	0.0616	0.0616
0.0929	0.1554	0.1085	0.0929	0.0929	0.0772	0.0929	0.0929	0.0928	0.1241	0.0616	0.1397	0.0616	0.0616
0.1241	0.0929	0.0928	0.1241	0.0616	0.0929	0.0616	0.1085	0.1085	0.0929	0.0616	0.0616	0.0772	0.0929
0.1554	0.0616	0.1241	0.0616	0.1397	0.1398	0.0929	0.1397	0.0929	0.0929	0.3742	0.0929	0.0616	0.0616
0.1241	0.0616	0.1397	0.1241	0.1398	0.1398	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929
0.1398	0.0929	0.0772	0.0929	0.1554	0.3742	0.1554	0.0929	0.0929	0.0772	0.1398	0.0929	0.0616	0.0616
0.1398	0.0772	0.0616	0.0616	0.0616	0.1554	0.3743	0.0772	0.1398	0.0616	0.0929	0.0929	0.0772	0.0929
0.0616	0.1397	0.0929	0.1398	0.1241	0.0616	0.0929	0.0616	0.0772	0.0929	0.0929	0.0772	0.0929	0.0616
0.0929	0.1397	0.0616	0.0929	0.0616	0.0772	0.0929	0.0616	0.1397	0.1241	0.1085	0.1554	0.1554	0.0772
0.0616	0.0616	0.0616	0.0616	0.3743	0.1554	0.0616	0.0929	0.1085	0.0929	0.1398	0.0772	0.1554	0.0772
0.1085	0.1241	0.0772	0.0616	0.1554	0.0616	0.0772	0.1241	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.3744	0.0616
0.0929	0.0616	0.0772	0.0929	0.0929	0.0616	0.0772	0.0616	0.1397	0.0772	0.1085	0.0929	0.0772	0.0929
0.0616	0.1085	0.0772	0.0929	0.0929	0.1085	0.0616	0.0929	0.0929	0.1397	0.0772	0.0929	0.0616	0.0928
0.1398	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.1241	0.0929	0.0616	0.0929	0.0772	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616
0.0616	0.1085	0.0772	0.0616	0.0929	0.0929	0.1241	0.0772	0.0616	0.0929	0.0616	0.1554	0.0772	0.0929
0.0929	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0772	0.0929	0.0616	0.1085	0.0772	0.1398	0.0616	0.0929	0.1241
0.1085	0.0616	0.0929	0.0616	0.0772	0.0928	0.0616	0.0929	0.1241	0.0929	0.0929	0.1241	0.0929	0.1085
0.0616	0.1554	0.1398	0.0616	0.1241	0.0616	0.0929	0.0616	0.0772	0.0929	0.0929	0.1085	0.1397	0.1397
0.1085	0.0616	0.0929	0.0772	0.0772	0.0929	0.0616	0.0772	0.0616	0.0616	0.0929	0.0616	0.0616	0.0929
0.0773	0.1241	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929	0.0772	0.1241	0.0929	0.0616	0.0616	0.0929	0.1242	0.0929
0.0929	0.0616	0.1398	0.0929	0.1397	0.1241	0.0616	0.0929	0.0616	0.0772	0.0616	0.0929	0.0929	0.0929
0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.1085	0.0929	0.0616	0.1554	0.1241	0.0616	0.0616	0.1398	0.1398
0.0616	0.0929	0.0616	0.1398	0.0616	0.1241	0.1398	0.0929	0.0929	0.1085	0.0772	0.0929	0.0929	0.1085
0.0616	0.0772	0.0616	0.0772	0.0929	0.0616	0.1241	0.0772	0.0616	0.0929	0.1085	0.0616	0.0772	0.0929
0.0616	0.0929	0.0929	0.0929	0.0772	0.0929	0.0616	0.0929	0.1241	0.1397	0.0929	0.1241	0.0929	0.0616
0.0929	0.0929	0.0772	0.0929	0.0929	0.0772	0.0616	0.0616	0.1397	0.0616	0.0772	0.0616	0.0616	0.0616
0.0929	0.0929	0.0616	0.1397	0.0929	0.1241	0.0616	0.0928	0.0929	0.0772	0.0616	0.0616	0.0929	0.0772
0.0616	0.0929	0.0928	0.1554	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0772	0.0929	0.0616	0.0929	0.0772
0.1241	0.0772	0.0616	0.3744	0.0616	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.0616	0.1085	0.0616	0.0929
0.0616	0.0772	0.0929	0.0616	0.0929	0.1397	0.1241	0.0772	0.1554	0.0929	0.0772	0.1397	0.1085	
0.0929	0.0929	0.0929	0.0616	0.0929	0.1397	0.1397	0.0929	0.0772	0.1085	0.0929	0.1397		0.1085
0.0616	0.0773	0.1241	0.0929	0.1397	0.0616	0.1085	0.0616	0.0929	0.0616	0.1241		0.1397	0.1397
0.0929	0.0929	0.0929	0.0772	0.0772	0.0616	0.1554	0.0616	0.1241	0.1554		0.1241	0.0929	0.0772
0.3743	0.0616	0.0616	0.1241	0.0616	0.1397	0.1398	0.0929	0.0772		0.1554	0.0616	0.1085	0.0929
0.0616	0.0616	0.3743	0.0616	0.0616	0.0772	0.0616	0.0616		0.0772	0.1241	0.0929	0.0772	0.1554
0.1554	0.0929	0.0929	0.1398	0.1085	0.0616	0.1398		0.0616	0.0929	0.0616	0.0616	0.0929	0.0772
0.0616	0.0929	0.1398	0.0929	0.1398	0.0929		0.1398	0.0616	0.1398	0.1554	0.1085	0.1397	0.1241
0.0772	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929		0.0929	0.0616	0.0772	0.1397	0.0616	0.0616	0.1397	0.1397
0.0929	0.0772	0.1085	0.0929		0.0929	0.1398	0.1085	0.0616	0.0616	0.0772	0.1397	0.0929	0.0929
0.0929	0.0616	0.0616		0.0929	0.0772	0.0929	0.1398	0.0616	0.1241	0.0772	0.0929	0.0616	0.0616
0.0772	0.0929		0.0616	0.1085	0.0929	0.1398	0.0929	0.3743	0.0616	0.0929	0.1241	0.0929	0.0929
0.0616		0.0929	0.0616	0.0772	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0929	0.0773	0.0929	0.0772
	0.0616	0.0772	0.0929	0.0929	0.0772	0.0616	0.1554	0.0616	0.3743	0.0929	0.0616	0.0929	0.0616
0.0616	0.0929	0.0929	0.1085	0.0772	0.0929	0.0929	0.0928	0.1241	0.0616	0.0929	0.3743	0.0616	0.0616
0.1397	0.0616	0.1241	0.1554	0.0929	0.0616	0.0772	0.0772	0.0929	0.0616	0.1241	0.0929	0.0616	0.0616
0.1397	0.0929	0.0929	0.0772	0.1241	0.0929	0.0929	0.1554	0.0772	0.0616	0.1397	0.0772	0.0616	0.0616
0.0929	0.1397	0.1241	0.1398	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.1085	0.1241	0.0929	0.0616	0.0929
0.0772	0.0616	0.1398	0.0616	0.1241	0.1398	0.0929	0.1398	0.0772	0.0929	0.0616	0.0772	0.0616	0.0616
0.0929	0.1397	0.0616	0.0929	0.0616	0.0616	0.0929	0.1398	0.0616	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929	0.1241
0.0772	0.0772	0.0929	0.0772	0.1085	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929	0.1398	0.0616	0.0616



	60	59	58	57	56	55	54
	0.0929	0.0772	0.0616	0.0929	0.0929	0.0929	0.0616
	0.0772	0.0929	0.0929	0.1085	0.0929	0.0616	0.1397
	0.0616	0.0929	0.1554	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929
	0.0929	0.0772	0.0616	0.0616	0.1085	0.0929	0.0772
	0.0929	0.0772	0.0929	0.0929	0.0772	0.0929	0.0616
	0.0929	0.0772	0.1241	0.0616	0.1241	0.1397	0.0772
	0.0929	0.1241	0.1397	0.0616	0.0772	0.1554	0.0616
	0.0929	0.0929	0.0616	0.1398	0.1554	0.0772	0.0929
	0.0929	0.1085	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929
	0.0929	0.0929	0.0928	0.0616	0.0929	0.1085	0.1554
	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.1085	0.0616
	0.1085	0.0616	0.0616	0.1554	0.0616	0.0616	0.0616
	0.0616	0.1398	0.0929	0.0929	0.0929	0.0772	0.1398
	0.0616	0.1085	0.1085	0.0929	0.0772	0.0929	0.1241
	0.1397	0.0616	0.0929	0.0772	0.0928	0.0616	0.1554
	0.1241	0.0616	0.0616	0.0929	0.1085	0.0929	0.0616
	0.0616	0.1241	0.0772	0.0616	0.0929	0.0772	0.1085
	0.1554	0.0929	0.0929	0.1085	0.0929	0.0772	0.1398
	0.0772	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.0929	0.0929
	0.0928	0.0928	0.0929	0.0772	0.0929	0.0772	0.1398
	0.0929	0.0772	0.0772	0.0929	0.0616	0.0928	0.1397
	0.0616	0.0616	0.3742	0.0928	0.1241	0.1398	0.0772
	0.0772	0.1397	0.1241	0.1397	0.3743	0.0616	0.0772
	0.1241	0.1554	0.0772	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616
	0.1554	0.1241	0.0616	0.1398	0.0616	0.0929	0.0929
	0.1085	0.0929	0.0616	0.0772	0.0929	0.0929	0.0616
	0.0929	0.1554	0.0929	0.3744	0.1397	0.1397	0.0929
	0.1398	0.0929	0.0929	0.0772	0.0929	0.0772	0.1085
	0.0929	0.0772	0.1554	0.0616	0.1241	0.1398	0.1397
	0.0616	0.1085	0.1085	0.0929	0.1241	0.0929	0.0929
	0.1241	0.0929	0.1085	0.0929	0.0616	0.0929	0.0772
	0.0772	0.0929	0.1398	0.0616	0.0929	0.0929	0.0929
	0.1241	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616
	0.1398	0.3744	0.0616	0.1554	0.1397	0.1397	0.0772
	0.0929	0.1397	0.1397	0.1241	0.0616	0.3743	0.0929
	0.0616	0.0616	0.1241	0.1398	0.1241	0.0929	0.1085
	0.3743	0.1397	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929	0.1397
	0.1398	0.0616	0.0929	0.0772	0.1397	0.1397	0.0929
	0.1398	0.0772	0.0929	0.0616	0.0929	0.0929	0.0929
	0.0616	0.1241	0.0616	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616
	0.0616	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616	0.0616	0.0616
	0.1398	0.0772	0.0772	0.0929	0.0772	0.0929	0.3743
	0.0929	0.0929	0.0616	0.1241	0.1397	0.1241	0.0929
	0.0929	0.0616	0.0929	0.1085	0.0616	0.0616	0.0616
	0.0616	0.0616	0.0772	0.0929	0.0772	0.0929	0.1241
	0.0616	0.1398	0.1398	0.0616	0.1554	0.0772	0.0928
	0.0616	0.0929	0.0929	0.0616	0.0929	0.0772	0.0929
	0.0929	0.0616	0.1398	0.0616	0.0929	0.0616	0.0929
	0.1085	0.0616	0.1241	0.0929	0.1241	0.0929	0.0772
	0.0772	0.0929	0.0616	0.1398	0.0772	0.1554	0.1085
	0.0929	0.0616	0.1398	0.1241	0.0929	0.1241	0.0929
	0.0772	0.1397	0.0616	0.1397	0.0929	0.0616	0.0929
	0.0772	0.0929	0.0772	0.0929	0.1397	0.1397	0.0616
	0.0616	0.0616	0.0929	0.1241	0.0929	0.1241	
	0.0616	0.0616	0.0772	0.0929	0.1085		0.1241
	0.0616	0.0616	0.0929	0.0772		0.1085	0.0929
	0.0772	0.0929	0.0772		0.0772	0.0929	0.1241
	0.0616	0.0929		0.0772	0.0929	0.0772	0.0929
	0.0616		0.0929	0.0929	0.0616	0.0616	0.0616
		0.0616	0.0616	0.0772	0.0616	0.0616	0.0616

Tabla A2-13. Cota superior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 1023 bits.

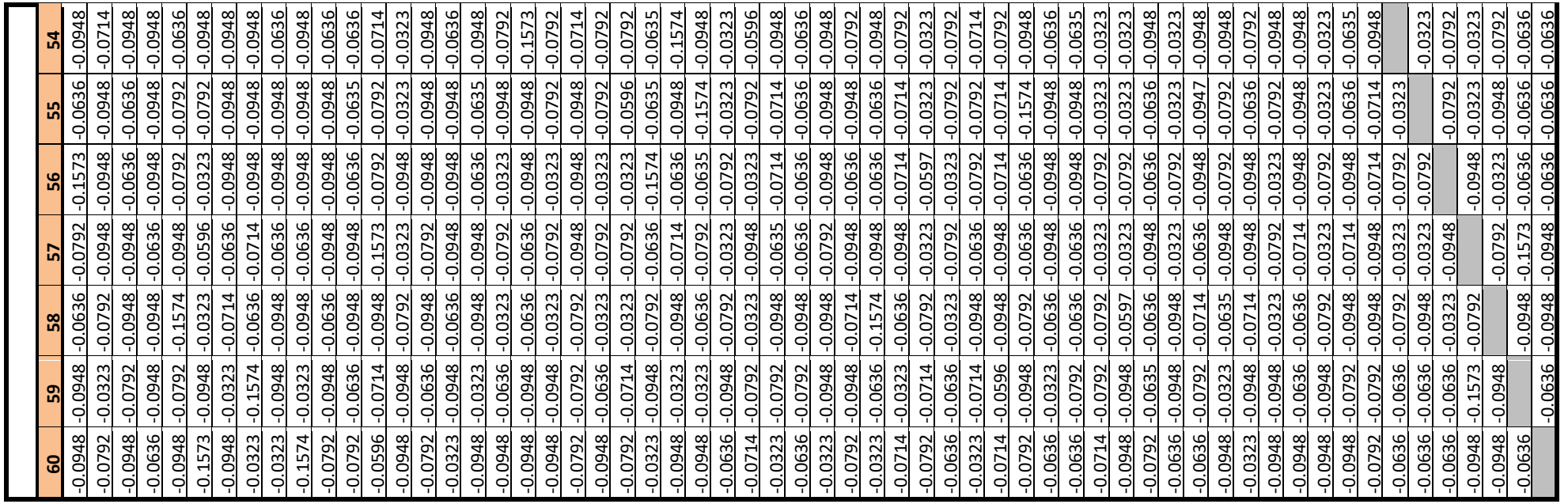
Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N = 10$ bits											
11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0597	-0.0636	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0792		1
-0.0714	-0.0323	-0.1574	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0792		-0.0792	2
-0.1574	-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0323		-0.0792	-0.0323	3
-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0792	-0.0714	-0.0323		-0.0323	-0.0948	-0.0323	4
-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0948		-0.0323	-0.0323	-0.0948	-0.0323	5
-0.0948	-0.0714	-0.0792	-0.0636	-0.0792		-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0636	-0.0636	6
-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0714		-0.0792	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0597	7
-0.0792	-0.0792	-0.0323		-0.0714	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0636	8
-0.0792	-0.0636		-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.1574	-0.0948	9
-0.0636		-0.0636	-0.0792	-0.0323	-0.0714	-0.0792	-0.0792	-0.0792	-0.0323	-0.0792	10
	-0.0636	-0.0792	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.1574	-0.0714	-0.0636	11
-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.1574	-0.0948	-0.0792	-0.0948	12
-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0948	13
-0.0635	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0714	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0636	14
-0.0323	-0.0714	-0.0596	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0714	-0.0792	-0.0948	-0.0948	15
-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0635	-0.0635	-0.0714	-0.0636	16
-0.0636	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0596	-0.0792	-0.0792	-0.0323	-0.0792	17
-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0714	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0792	18
-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.0636	-0.0948	19
-0.0636	-0.0792	-0.0714	-0.0948	-0.0635	-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0714	-0.0636	-0.0948	20
-0.0714	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0792	-0.0323	21
-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.1574	-0.0636	-0.0714	22
-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.1574	-0.0636	-0.0323	-0.0635	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	23
-0.0792	-0.0636	-0.0323	-0.0323	-0.0636	-0.0714	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0713	24
-0.0948	-0.0323	-0.0714	-0.0636	-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0597	-0.0792	-0.0323	-0.0792	25
-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0323	-0.0792	26
-0.0948	-0.0714	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0636	27
-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.1574	-0.0948	-0.0635	-0.0948	28
-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0636	29
-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0792	-0.0323	30
-0.0948	-0.0714	-0.0323	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0714	-0.0792	-0.0948	-0.0948	31
-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.1574	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0792	32
-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0323	-0.1574	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	33
-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0792	-0.0792	-0.0323	-0.0792	34
-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.1573	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0948	35
-0.0636	-0.0948	-0.1574	-0.0948	-0.0947	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0714	-0.0948	36
-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0636	37
-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.1573	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0792	-0.0323	38
-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0597	-0.0636	-0.0714	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0714	39
-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0792	40
-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0596	-0.0323	41
-0.0792	-0.1574	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0635	-0.0636	-0.0636	-0.0947	42
-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0635	-0.0636	-0.0714	43
-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.0714	-0.0948	-0.0636	-0.0635	-0.0948	44
-0.1574	-0.0792	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0714	-0.1573	-0.0948	45
-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0792	-0.0792	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0792	-0.0323	46
-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0596	-0.0323	-0.0948	47
-0.0596	-0.0948	-0.0323	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0792	48
-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0714	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0948	49
-0.0323	-0.0792	-0.0792	-0.0792	-0.0714	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0636	50
-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0714	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0635	51
-0.0948	-0.0596	-0.0714	-0.0636	-0.0792	-0.0636	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0792	-0.0323	52
-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.1574	53
-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0714	-0.0948	54
-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0636	55
-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.1573	56
-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0714	-0.0636	-0.0596	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0792	57
-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0714	-0.0323	-0.1574	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0636	58
-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.1574	-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0948	59
-0.0792	-0.1574	-0.0323	-0.0323	-0.0948	-0.1573	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0948	60

Orden de la secuencia PN de longitud máxima en la tabla resumen de $N = 10$ bits del Apéndice 1 (numeradas de arriba a abajo)

25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
-0.0792	-0.0713	-0.0948	-0.0714	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948
-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0714	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0792
-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.1574	-0.0323	-0.0714	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0635	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948
-0.0597	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.0792	-0.0635	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.1574
-0.0792	-0.0636	-0.0635	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0596	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0948
-0.0636	-0.0714	-0.0323	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0636
-0.0323	-0.0636	-0.0636	-0.0636	-0.0792	-0.0635	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0636
-0.0636	-0.0323	-0.1574	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0714	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0948
-0.0714	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0714	-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.0323	-0.0596	-0.0636	-0.0792	-0.0948
-0.0323	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0636
-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0714	-0.0714	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0323	-0.0635	-0.0323	-0.0323
-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0323	
-0.0635	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0948		-0.0323
-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0596	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0948		-0.0948	-0.0948
-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0792	-0.0792	-0.0948		-0.0948	-0.0323	-0.0323
-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0714	-0.0714	-0.1574	-0.0792	-0.0948	-0.1574		-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0792
-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0635	-0.0792	-0.0714	-0.0636	-0.0948		-0.1574	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948
-0.0714	-0.0636	-0.0323	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0636		-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0636	-0.0948
-0.0714	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.1574	-0.0714		-0.0636	-0.0636	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0323
-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0323	-0.1573		-0.0714	-0.0323	-0.0714	-0.1574	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0636
-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0636		-0.1573	-0.1574	-0.0948	-0.0792	-0.0714	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0792
-0.0948	-0.0636	-0.0323		-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0635	-0.0714	-0.0636	-0.0596	-0.0948	-0.0948
-0.0948	-0.0948		-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0792
-0.0792		-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0792
	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0714	-0.0714	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0635	-0.0948
-0.0323	-0.0714	-0.0947	-0.0714	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0948
-0.0636	-0.0714	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0792	-0.0596	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.1574
-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0323	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0635	-0.0792	-0.0636	-0.0714
-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.1574	-0.0948	-0.0635	-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0792
-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.1573	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0714	-0.0636
-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0596	-0.0792	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0792
-0.0635	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0596	-0.0323	-0.0714	-0.0323	-0.0323
-0.0948	-0.0323	-0.0714	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0792
-0.0323	-0.1573	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0714
-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0792
-0.0635	-0.0948	-0.0323	-0.0323	-0.0714	-0.0323	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0635	-0.0948	-0.0792	-0.0714	-0.0635
-0.1574	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.1574	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0596
-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0714
-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0635	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0323
-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0596	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0636	-0.0636	-0.0636	-0.0792	-0.0636
-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.1574	-0.0636	-0.0792	-0.0636
-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.1574	-0.0323	-0.0636	-0.0714
-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.1574	-0.0714	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948
-0.0948	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.1574	-0.0323	-0.0323
-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0714	-0.0792	-0.0714	-0.0636	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0948
-0.0792	-0.0635	-0.1574	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0948
-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.1574	-0.0948	-0.0948
-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0714	-0.0792	-0.0792
-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0714	-0.0792	-0.0636	-0.0948
-0.0636	-0.0596	-0.0635	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0714	-0.0636	-0.0792	-0.0323	-0.0636	-0.0323	-0.0323
-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0597	-0.0636	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0714	-0.0323	-0.0948	-0.0948
-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0714	-0.0714	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.1574	-0.0948
-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0635	-0.0714	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0323
-0.1574	-0.0635	-0.0792	-0.0792	-0.0714	-0.0792	-0.1573	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0714	-0.0636
-0.0948	-0.0635	-0.0596	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0635	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0635
-0.0636	-0.1574	-0.0323	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0636
-0.0714	-0.0636	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.1573	-0.0948
-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948
-0.0323	-0.0948	-0.0714	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0714	-0.0636
-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0596	-0.0792

39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26
-0.0714	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0792
-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0714	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0635	-0.0948	-0.0323
-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0792
-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0714	-0.0323	-0.0948	-0.1574	-0.0714	-0.0792
-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0714	-0.1574	-0.0636	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948
-0.0714	-0.1573	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0636
-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0947	-0.1573	-0.0323	-0.1574	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323
-0.0597	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0636
-0.0792	-0.0636	-0.0323	-0.1574	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0948
-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0714	-0.0323
-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0636
-0.0323	-0.0714	-0.0596	-0.0635	-0.0792	-0.0714	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0714	-0.1574	-0.0948
-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0714	-0.0636	-0.0636	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0714	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0636
-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0636
-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0635	-0.0636	-0.0948
-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0635	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0596	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0636
-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0714	-0.0636	-0.0948	-0.0323
-0.0636	-0.0948	-0.1574	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.1573	-0.0948	-0.0323	-0.0596	-0.0792
-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0323	-0.0596	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0948
-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0635	-0.0323	-0.0792	-0.0948
-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0714	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0792
-0.0635	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.1574	-0.0323	-0.0792	-0.0714
-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0323	-0.0792	-0.0636	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0714	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0947
-0.0792	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.1573	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0714	-0.0714
-0.0792	-0.0948	-0.1574	-0.0635	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0635	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0323
-0.0714	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.1573	-0.0948	-0.0636	
-0.0714	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.1573	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0792		-0.0636
-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0323	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.1573	-0.0792	-0.0948		-0.0792	-0.0948
-0.0792	-0.0635	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0792		-0.0948	-0.0948	-0.1573
-0.0948	-0.0323	-0.0714	-0.0636	-0.0714	-0.0596	-0.0636	-0.0948	-0.0636		-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0948
-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792		-0.0636	-0.0323	-0.1573	-0.0636	-0.0948
-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0792		-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0792
-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0714	-0.0792		-0.0792	-0.0323	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0948
-0.0636	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0636		-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0596	-0.0636	-0.0636	-0.1573	-0.0323
-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0792		-0.0636	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0714	-0.0636	-0.0792	-0.0323	-0.0948
-0.0636	-0.0792	-0.0714		-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948
-0.0948	-0.0636		-0.0714	-0.0636	-0.0636	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0714	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0948
-0.1573		-0.0636	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0635	-0.0636	-0.0636	-0.0792
	-0.1573	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0714
-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0714	-0.1574	-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0323
-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0636	-0.0323	-0.0636	-0.0714	-0.0948	-0.0792
-0.0948	-0.0636	-0.0635	-0.0596	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0635	-0.0635	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0948
-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0636	-0.0636	-0.0792	-0.0323	-0.0714
-0.0323	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0792	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0635	-0.0596	-0.0948	-0.0948	-0.0948
-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0948
-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0596
-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0323	-0.0714	-0.0635	-0.0636	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0323
-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0792
-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0635	-0.0714	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0636
-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.1574	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.1573	-0.0948	-0.0635	-0.0636	-0.0636
-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.1573	-0.0714	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0323	-0.0948
-0.0792	-0.0323	-0.0636	-0.1574	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0635	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0792
-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0597	-0.0323	-0.0792	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0636
-0.0948	-0.0792	-0.0714	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0596	-0.0323	-0.0948
-0.1574	-0.0714	-0.0792	-0.0792	-0.0323	-0.0714	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0714	-0.0792	-0.0323	-0.1574
-0.0636	-0.0714	-0.0792	-0.0323	-0.0597	-0.0714	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0714	-0.0323	-0.0792	-0.0635
-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0635	-0.0948	-0.0323	-0.0792
-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0636	-0.1574	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0636
-0.0948	-0.0596	-0.0714	-0.0636	-0.0714	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0323
-0.0792	-0.0714	-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0714	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0636	-0.0323	-0.0714	-0.0636	-0.0948

53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40
-0.1574	-0.0323	-0.0635	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0714	-0.0947	-0.0323	-0.0792
-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0792	-0.1573	-0.0635	-0.0636	-0.0636	-0.0596	-0.0323
-0.0714	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0596	-0.0323	-0.0714	-0.0636	-0.0635	-0.0636	-0.0323	-0.0948
-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0635	-0.0323	-0.0792
-0.0636	-0.0323	-0.0714	-0.0948	-0.0714	-0.0636	-0.0792	-0.0323	-0.0636	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792
-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0948
-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0323
-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0948
-0.0792	-0.0714	-0.0636	-0.0792	-0.0636	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948
-0.0948	-0.0596	-0.0636	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.1574	-0.0792	-0.0323
-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0596	-0.0948	-0.0792	-0.1574	-0.0323	-0.0714	-0.0792	-0.0636	-0.0636
-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0714	-0.0636	-0.0636
-0.0323	-0.1574	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0792
-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0714	-0.1574	-0.0714	-0.0323	-0.1574	-0.0323	-0.0323	-0.0636	-0.0636
-0.0323	-0.0636	-0.0714	-0.0323	-0.0714	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.1574	-0.1574	-0.0636
-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0714	-0.0792	-0.0636	-0.0636
-0.0714	-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0714	-0.0636	-0.1574	-0.0948	-0.0948	-0.0323
-0.0635	-0.0714	-0.0792	-0.0714	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0636
-0.0323	-0.0714	-0.0636	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948
-0.0636	-0.0636	-0.0597	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948
-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0323	-0.0596
-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0792	-0.0792
-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0635	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.1574	-0.0792	-0.0714	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948
-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0596	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0635	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948
-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0323
-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0792	-0.0323	-0.0596	-0.0948	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0792	-0.0323
-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0323	-0.0948	-0.0948
-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0635	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0714	-0.0714
-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0596	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0948
-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.1573	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0635	-0.0636	-0.0792	-0.0323	-0.0792
-0.0792	-0.0635	-0.0714	-0.0792	-0.0714	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0636	-0.0635	-0.0636	-0.1574
-0.0323	-0.0948	-0.1573	-0.0323	-0.0635	-0.0792	-0.0635	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0635	-0.0714	-0.0714
-0.0597	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0636	-0.0323	-0.0714	-0.0636	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948
-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.0323
-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.1574	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0323	-0.0714	-0.0323	-0.0323	-0.0948	-0.0948
-0.0948	-0.1574	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0596	-0.0636	-0.0636
-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0635	-0.0792	-0.0792
-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0792
-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948
-0.0636	-0.0948	-0.1573	-0.0948	-0.0636	-0.0714	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0714	-0.0792	
-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.1573	-0.0714	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0714		-0.0792
-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0323		-0.0714	-0.0714
-0.1573	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0948		-0.0323	-0.0792	-0.0792
-0.0323	-0.0948	-0.0635	-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0714	-0.1573	-0.0792		-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948
-0.0636	-0.0635	-0.0323	-0.0948	-0.0596	-0.0948	-0.0636	-0.0636		-0.0792	-0.0323	-0.0323	-0.0948	-0.0948
-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0636	-0.0792		-0.0636	-0.1573	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0792
-0.0636	-0.0792	-0.0714	-0.0948	-0.0714	-0.1574		-0.0792	-0.0636	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323
-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0792	-0.1574		-0.1574	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.0714	-0.0714
-0.0792	-0.0792	-0.0792	-0.0948		-0.1574	-0.0714	-0.0948	-0.0596	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.1573	-0.0636
-0.0323	-0.0636	-0.0948		-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948
-0.0792	-0.0792		-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0714	-0.0948	-0.0323	-0.0635	-0.0323	-0.0323	-0.0636	-0.1573
-0.0948		-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0323	-0.0635	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948
	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.1573	-0.0948	-0.0948	-0.0636
-0.0948	-0.0635	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0323	-0.0635	-0.0636
-0.0714	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0947	-0.0323	-0.0636	-0.0323	-0.0323	-0.0948	-0.0948
-0.0714	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0948
-0.0948	-0.0714	-0.0323	-0.0714	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0323	-0.0636	-0.0948
-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0323	-0.0714	-0.0635	-0.0714	-0.0948	-0.0636	-0.0597	-0.0792	-0.0636	-0.0636
-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0635	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0323
-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0636	-0.0636



	60	59	58	57	56	55	54
	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0792	-0.1573	-0.0636	-0.0948
	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0714
	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0948
	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948
	-0.0948	-0.0792	-0.1574	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0636
	-0.1573	-0.0948	-0.0323	-0.0596	-0.0323	-0.0792	-0.0948
	-0.0948	-0.0323	-0.0714	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948
	-0.0323	-0.1574	-0.0636	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0948
	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0636
	-0.1574	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948
	-0.0792	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0636
	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0635	-0.0636
	-0.0596	-0.0714	-0.0948	-0.1573	-0.0792	-0.0792	-0.0714
	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0323
	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948
	-0.0323	-0.0948	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0636
	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0635	-0.0948
	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0792
	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.1573
	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0792
	-0.0792	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0714
	-0.0948	-0.0636	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0792
	-0.0792	-0.0714	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0596	-0.0792
	-0.0323	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.1574	-0.0635	-0.0635
	-0.0948	-0.0323	-0.0948	-0.0714	-0.0636	-0.0948	-0.1574
	-0.0948	-0.0323	-0.0636	-0.0792	-0.0635	-0.1574	-0.0948
	-0.0636	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0792	-0.0323
	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0596
	-0.0714	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0596
	-0.0323	-0.0792	-0.0948	-0.0635	-0.0714	-0.0714	-0.0948
	-0.0636	-0.0792	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0636
	-0.0636	-0.0792	-0.1574	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0948
	-0.0323	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0792
	-0.0714	-0.0596	-0.0948	-0.0948	-0.0714	-0.0714	-0.0792
	-0.0792	-0.0948	-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.1574	-0.0948
	-0.0636	-0.0323	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0948	-0.0636
	-0.0636	-0.0792	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0635
	-0.0714	-0.0792	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0323
	-0.0948	-0.0948	-0.0597	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0323
	-0.0792	-0.0635	-0.0636	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0948
	-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0323
	-0.0636	-0.0792	-0.0714	-0.0636	-0.0948	-0.0947	-0.0948
	-0.0948	-0.0323	-0.0635	-0.0948	-0.0792	-0.0792	-0.0948
	-0.0323	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0792
	-0.0948	-0.0948	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0948
	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0714	-0.0948	-0.0948	-0.0948
	-0.0948	-0.0948	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0323	-0.0323
	-0.0948	-0.0792	-0.0948	-0.0714	-0.0948	-0.0636	-0.0635
	-0.0792	-0.0792	-0.0948	-0.0948	-0.0714	-0.0714	-0.0948
	-0.0636	-0.0636	-0.0792	-0.0323	-0.0792	-0.0323	
	-0.0636	-0.0636	-0.0948	-0.0323	-0.0792		-0.0323
	-0.0636	-0.0636	-0.0323	-0.0948		-0.0792	-0.0792
	-0.0948	-0.1573	-0.0792		-0.0948	-0.0323	-0.0323
	-0.0948	-0.0948		-0.0792	-0.0323	-0.0948	-0.0792
	-0.0636		-0.0948	-0.1573	-0.0636	-0.0636	-0.0636
		-0.0636	-0.0948	-0.0948	-0.0636	-0.0636	-0.0636

Tabla A2-14. Cota inferior de correlación cruzada de las secuencias PN de longitud máxima de 1023 bits.

APÉNDICE III: TAMAÑO DE LAS FAMILIAS DE KASAMI.

En este apéndice se analiza el tamaño de las distintas familias de secuencias de Kasami, sobre la base del formato del Apéndice I.

Cada fila de las tablas se corresponde con una familia de Kasami. Concretamente, con la familia de secuencias asociada a la secuencia de longitud máxima *L* producida por el generador pseudoaleatorio de *N* registros de desplazamiento binarios linealmente realimentados que implementa el polinomio generador *p(x)*.

Ademas de los parámetros señalados en el párrafo anterior

O: Número de lista de la secuencia PN de longitud máxima que origina la familia.

Q: Tamaño del bloque de submuestreo o número de muestras del periodo de muestreo del proceso de diezmado.

$T_{máx}$: Tamaño de familia máximo que se puede lograr para el generador empleado.

$T_{mín}$: Tamaño de familia mínimo que se puede lograr para el generador empleado.

Δ: Diferencia entre el máximo y el mínimo número de secuencias de la familia obtenidas en función del estado inicial de carga del generador linealmente realimentado de longitud máxima asociado.

O	N	Q	$T_{máx}$	$T_{mín}$	Δ	p(x)	L
1	6	9	7	5	2	x^6+x^5+1	63
2	6	9	7	6	1	$x^6+x^5+x^3+x^2+1$	63
3	6	9	7	5	2	x^6+x+1	63
4	6	9	6	5	1	$x^6+x^5+x^4+x+1$	63
5	6	9	7	6	1	$x^6+x^4+x^3+x+1$	63
6	6	9	6	5	1	$x^6+x^5+x^2+x+1$	63

Tabla A3-1. Análisis del tamaño de las familias de secuencias de Kasami de 63 bits de periodo.

O	N	Q	$T_{máx}$	$T_{mín}$	Δ	p(x)	L
1	10	33	24	20	4	$x^{10}+x^7+1$	1023
2	10	33	22	19	3	$x^{10}+x^9+x^7+x^6+1$	1023
3	10	33	22	18	4	$x^{10}+x^9+x^8+x^5+1$	1023
4	10	33	24	20	4	$x^{10}+x^8+x^7+x^5+1$	1023
5	10	33	23	20	3	$x^{10}+x^8+x^5+x^4+1$	1023
6	10	33	24	19	5	$x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^5+x^4+1$	1023
7	10	33	24	20	4	$x^{10}+x^3+1$	1023
8	10	33	22	20	2	$x^{10}+x^9+x^7+x^3+1$	1023
9	10	33	22	18	4	$x^{10}+x^8+x^4+x^3+1$	1023
10	10	33	24	20	4	$x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^4+x^3+1$	1023
11	10	33	23	20	3	$x^{10}+x^9+x^8+x^5+x^4+x^3+1$	1023
12	10	33	23	21	2	$x^{10}+x^9+x^6+x^5+x^4+x^3+1$	1023

13	10	33	23	18	5	$x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^6+x^5+x^4+x^3+1$	1023
14	10	33	23	19	4	$x^{10}+x^8+x^7+x^2+1$	1023
15	10	33	22	18	4	$x^{10}+x^7+x^6+x^2+1$	1023
16	10	33	23	19	4	$x^{10}+x^9+x^5+x^2+1$	1023
17	10	33	23	20	3	$x^{10}+x^6+x^5+x^2+1$	1023
18	10	33	22	20	2	$x^{10}+x^8+x^7+x^6+x^5+x^2+1$	1023
19	10	33	24	18	6	$x^{10}+x^9+x^4+x^2+1$	1023
20	10	33	24	20	4	$x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^4+x^2+1$	1023
21	10	33	22	19	3	$x^{10}+x^9+x^7+x^5+x^4+x^2+1$	1023
22	10	33	23	19	4	$x^{10}+x^8+x^3+x^2+1$	1023
23	10	33	22	20	2	$x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^3+x^2+1$	1023
24	10	33	23	20	3	$x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^3+x^2+1$	1023
25	10	33	24	20	4	$x^{10}+x^5+x^3+x^2+1$	1023
26	10	33	25	21	4	$x^{10}+x^9+x^8+x^4+x^3+x^2+1$	1023
27	10	33	22	20	2	$x^{10}+x^8+x^5+x^4+x^3+x^2+1$	1023
28	10	33	23	18	5	$x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+1$	1023
29	10	33	24	21	3	$x^{10}+x^9+x^7+x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+1$	1023
30	10	33	22	20	2	$x^{10}+x^9+x^6+x+1$	1023
31	10	33	24	18	6	$x^{10}+x^8+x^6+x+1$	1023
32	10	33	23	19	4	$x^{10}+x^8+x^5+x+1$	1023
33	10	33	24	21	3	$x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^5+x+1$	1023
34	10	33	22	20	2	$x^{10}+x^9+x^4+x+1$	1023
35	10	33	22	20	2	$x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^4+x+1$	1023
36	10	33	22	18	4	$x^{10}+x^9+x^7+x^6+x^4+x+1$	1023
37	10	33	23	21	2	$x^{10}+x^7+x^6+x^5+x^4+x+1$	1023
38	10	33	24	19	5	$x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^6+x^5+x^4+x+1$	1023
39	10	33	22	20	2	$x^{10}+x^7+x^3+x+1$	1023
40	10	33	22	19	3	$x^{10}+x^8+x^6+x^5+x^3+x+1$	1023
41	10	33	22	19	3	$x^{10}+x^4+x^3+x+1$	1023
42	10	33	22	18	4	$x^{10}+x^9+x^6+x^4+x^3+x+1$	1023
43	10	33	23	19	4	$x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^6+x^4+x^3+x+1$	1023
44	10	33	24	21	3	$x^{10}+x^8+x^7+x^6+x^5+x^4+x^3+x+1$	1023
45	10	33	24	18	6	$x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^2+x+1$	1023
46	10	33	25	21	4	$x^{10}+x^8+x^7+x^6+x^2+x+1$	1023
47	10	33	22	18	4	$x^{10}+x^5+x^2+x+1$	1023
48	10	33	23	20	3	$x^{10}+x^7+x^6+x^5+x^2+x+1$	1023
49	10	33	24	18	6	$x^{10}+x^9+x^8+x^4+x^2+x+1$	1023
50	10	33	23	20	3	$x^{10}+x^8+x^7+x^4+x^2+x+1$	1023
51	10	33	24	20	4	$x^{10}+x^8+x^6+x^4+x^2+x+1$	1023
52	10	33	24	20	4	$x^{10}+x^7+x^6+x^4+x^2+x+1$	1023
53	10	33	24	21	3	$x^{10}+x^9+x^5+x^4+x^2+x+1$	1023
54	10	33	23	18	5	$x^{10}+x^8+x^7+x^6+x^5+x^4+x^2+x+1$	1023
55	10	33	22	20	2	$x^{10}+x^8+x^7+x^3+x^2+x+1$	1023
56	10	33	22	20	2	$x^{10}+x^9+x^6+x^3+x^2+x+1$	1023
57	10	33	24	19	5	$x^{10}+x^6+x^5+x^3+x^2+x+1$	1023
58	10	33	23	19	4	$x^{10}+x^9+x^7+x^6+x^4+x^3+x^2+x+1$	1023
59	10	33	24	19	5	$x^{10}+x^9+x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+x+1$	1023
60	10	33	23	18	5	$x^{10}+x^7+x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+x+1$	1023

Tabla A3-2. Análisis del tamaño de las familias de secuencias de Kasami de 1023 bits de periodo.