



Convertidor de asincronías y sincronías en estados binarios: Aplicaciones a señales cuadradas y analógicas no lineales

Asynchronous and synchronous converter in binary states: applications to square and nonlinear analog signals

Núñez-Pérez Ricardo Francisco

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C.

División de Física Aplicada

Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones

Correo: rnunez@cicese.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0211-9307>

Peña-Ramírez Jonatan

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C.

División de Física Aplicada

Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones

Correo: jpena@cicese.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0211-9307>

Resumen

Con la finalidad de identificar la pérdida de sincronía en sistemas dinámicos se propone construir una señal de alerta binaria que, con sus estados lógicos, ayude a tomar medidas precisas de tolerancia o de abatimiento de esta deficiencia. En particular, en este trabajo se presenta un estudio experimental que consiste en detectar y evaluar, en tiempo real, las diferencias entre las señales producidas por sistemas dinámicos interconectados de manera unidireccional, para lo cual se considera la fase y los perfiles de amplitud de dichas señales, utilizando un análisis de envolvente particular y los programas DADiSP® y LabVIEW®. Las señales (sincronizadas) que se utilizan en este trabajo, se miden de maquetas de enseñanza que emulan el comportamiento de sistemas biológicos y caóticos. Específicamente, en este estudio se consideran un par de “luciérnagas electrónicas”, construidas con multivibradores estables opto-sincronizados, los cuales producen formas de onda cuadradas y también, “dos circuitos encriptadores caóticos de Lorenz”, cuyas señales son analógicas. Las condiciones de sincronía y asincronía se identifican por medio de una señal binaria con los estados lógicos 0 y 1, respectivamente. Para construir dicha señal, se necesita conocer: a) Los instantes en que se inician las diferencias o las asincronías, así como su duración, y b) Dónde se encuentran los puntos máximos de la señal de error y sus magnitudes. Por consiguiente, se utiliza una función envolvente particular producida por un filtro FIR promediador que, con un factor de suavizado positivo, exhibe gráficamente las magnitudes máximas de las asincronías y sus posiciones y con la ayuda de un comparador de umbral, se detectan los instantes de aparición y su duración. La señal resultante forma un ciclo de trabajo que se modula por la asincronía e indica el porcentaje de esta. El procedimiento propuesto se puede utilizar para validar las semejanzas o ataques en las tendencias de factores de cresta que son importantes para el cuidado de maquinaria industrial.

Descriptores: Asincronía, señal binaria, FIR-envolvente, luciérnagas electrónicas, circuito de Lorenz.

Abstract

This work proposes the design of an alert binary signal, which can be used in order to identify the loss of synchronization in dynamical systems. In particular, this paper presents an experimental study related to the detection and evaluation, in real time, of the differences between the signals produced by unidirectionally coupled systems by considering their phase and amplitude profiles, which are obtained using a particular envelope analysis and the DADiSP® and LabVIEW® software. The synchronized signals are obtained from educational experimental platforms, which emulate the dynamic behavior of biological and chaotic systems. Specifically, a pair of “electronic fireflies”, constructed with opto-synchronized astable multivibrators producing square signals are used, and also, a “pair of analog chaotic Lorenz encryptors” are considered. The synchronous and asynchronous conditions are identified by means of a binary signal with logic states 0 and 1, respectively. In order to construct this signal, it is necessary to know: a) the instants at which the differences and asynchronies take place and its duration, and b) the location of the maxima of the error signal and its magnitudes. Therefore, an averaging FIR filter with an appropriate smoothing factor is used for graphically computing the envelope and the maxima of the asynchronies and, by using a threshold comparator, the corresponding instants and durations are obtained. The resulting signal contains a duty cycle, which is modulated by the asynchrony and gives an indication about its asynchrony percentage. The proposed procedure can be used to validate similarities or attacks on the peak factor trends, which are important for the care and monitoring of industrial machinery.

Keywords: Asynchrony, binary signal, FIR-envelope, electronic fireflies, Lorenz circuit.

INTRODUCCIÓN

El resultado de la sincronización ha sido estudiado en sistemas de diferente naturaleza como los electrónicos, químicos, biológicos y hasta ecológicos, por citar algunos (Pikovsky *et al.*, 2002). Esta se entiende como un ajuste entre los propios ritmos de los osciladores que lleva a la producción de uno uniforme, pese a que existan diferencias intrínsecas en los ritmos individuales y que algunas veces sus acoplamientos sean débiles. Cuando están sincronizados, existe una igualación entre fases, frecuencias y amplitudes, la cual se desea mantener para garantizar un desempeño adecuado en un arreglo de sistemas. Por ejemplo, en el caso de relojería basada en péndulos sincronizados (Peña & Nijmeijer, 2020), si pierden el ritmo, podría traer graves consecuencias o en el caso del envío de información encriptada por señales caóticas (Carroll & Pecora, 1991; Cuomo *et al.*, 1993; Núñez, 2006a; 2006b; 2012) si se presentan asincronías, no se recuperaría fielmente el mensaje original, por mencionar algunas experiencias vividas. De ahí la importancia de tener un mejor conocimiento de lo que sucede, cuando dos señales que están sincronizadas empiezan a salirse de sincronía por alguna causa externa o interna, como en el caso de sufrir un ataque por un intruso o si se trata de una deficiencia funcional, respectivamente.

En esta investigación se propone construir una señal binaria que, con sus estados lógicos, ayude a identificar la condición que sobre la sincronización guardan las señales; en particular, interesa conocer lo relacionado a la pérdida de la sincronía y todo lo que esto implica. Dicho lo anterior, se presenta un estudio experimental para detectar y evaluar continuamente las diferencias o errores en la sincronización, utilizando un análisis de envolvente particular y los programas DADiSP® y LabVIEW®.

Las señales empleadas en el estudio provienen de “maquetas académicas experimentales”, y corresponden a formas de onda cuadradas y analógicas no lineales que se miden de:

- a) Luciérnagas electrónicas: Construidas con multivibradores estables transistorizados (i.e., Mat's y para el caso son llamados: Matc-amo y Matpc-esclavo) opto-sincronizados, como lo muestran las Figuras 1 y 2 (Ramírez *et al.*, 2003; Núñez, 2021).
- b) Circuitos analógicos de un sistema encriptador de Lorentz: Como lo señalan igualmente las Figuras 3 y 4 (Núñez, 2006a; Núñez, 2012).

Las condiciones de sincronía y asincronía deben identificarse por medio de los estados lógicos 0 y 1 de la señal

binaria buscada, respectivamente. Para generar dicha señal, se necesita conocer:

- a) Los instantes en que se inician las diferencias o asincronías.
- b) Las duraciones de estas.
- c) La posición y magnitud de las mayores diferencias.

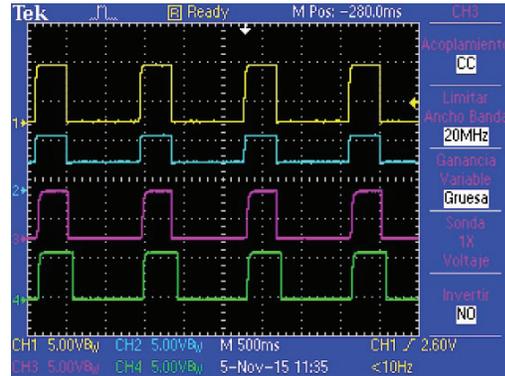


Figura 1. Señales mostrando la sincronización de la red de “luciérnagas electrónicas” constituida por el Matc-amo (Vc1A/Vcft (amarilla-1), sup.) y los Matpc-esclavos (Vc2EA (morada-3)-A y Vc2EB (verde-4)-B) (Núñez, 2021) (abscisas= t, ms., ordenada= A, Voltios)

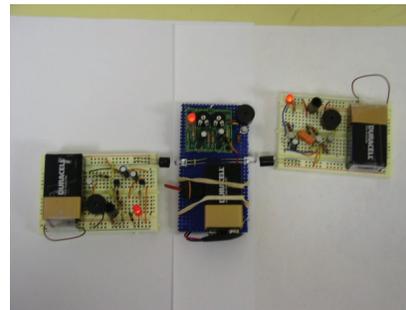


Figura 2. Maqueta de la red de “luciérnagas electrónicas”, integrada por el Matc-amo (centro) y dos Matpc-esclavos, en operación sincronizada e indicada por los testigos lumínico/sonoros (Núñez, 2021)

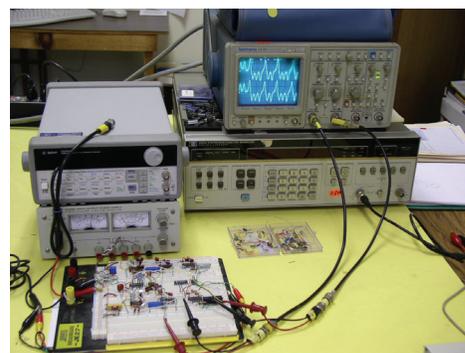


Figura 3. “Circuitos caóticos de Lorentz” en funcionamiento sincronizado y en un esquema amo-esclavo para realizar la comunicación encriptada (Núñez, 2006a)



Figura 4. Maqueta de comunicación encriptada en operación que utiliza “dos circuitos de Lorentz” como osciladores caóticos (Núñez, 2006a)

Lo medular de este trabajo consiste en obtener una función envolvente particular utilizando un filtro de Respuesta Finita al Impulso “Finite Impulse Response” (FIR) (Dataq Instruments Inc, 1991; Lyons, 2004; Núñez, 2006b; Núñez, 2015; Núñez, 2017) tal que exhiba gráficamente y en tiempo real, los eventos de sincronía y asincronía. El procedimiento es sencillo y se basa en las operaciones de resta, de obtención del valor absoluto, de filtrado y de conversión a estado binario. Básicamente, el filtro FIR mencionado genera una envolvente particular conteniendo la magnitud de las asincronías y de sus posiciones y, con la ayuda de un comparador de umbral, se detectan los instantes de aparición y las duraciones de estas para poder generar la señal binaria correspondiente. Cabe mencionar que no se encontraron trabajos semejantes al aquí propuesto, aunque existen algunos parecidos como los de Brown (1986); Jones (1996) y Núñez (2017); en el primero, se emplea demodulación y filtraje selectivo para analizar por separado grupos de armónicas y detectar averías nacientes en cojinetes de maquinaria rotatoria, y en el último, se utilizan técnicas de promediación en movimiento basadas en filtros FIR para recuperar estados binarios.

El resto de este manuscrito está organizado como sigue. En las secciones 2 y 3, se describen las obtenciones y aplicaciones del análisis de envolvente a señales cuadradas y a señales analógicas no lineales, respectivamente. Después, en la sección 4, se presenta la evaluación de los resultados experimentales y algunas recomendaciones. Finalmente, se presentan las conclusiones, donde se discute que el análisis de envolvente propuesto es una buena herramienta de Análisis Digital de Señales para vigilar la desigualdad entre señales que aparentemente deben mantenerse sincronizadas. Por ejemplo, puede indicar la intensidad de los ataques al “factor de cresta” (Núñez, 2014), entre otros. Conviene mencionar que este factor es muy utilizado en la industria para el cuidado de maquinaria.

ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE ENVOLVENTES A SEÑALES CUADRADAS SINCRONIZADAS

Para obtener y analizar envolventes que exhiban la asincronía y que faciliten su conversión a una señal binaria cuando se tienen señales cuadradas sincronizadas, las cuales provienen de circuitos multivibradores astables transistorizados como los que se muestran en las Figuras 1 y 2, se requiere calcular la señal de diferencia o de error de sincronización y su valor absoluto; además de filtrarla apropiadamente para, finalmente, convertirla en una señal binaria (Dataq Instruments Inc, 1991; Lyons, 2004; Núñez, 2006b; Núñez, 2015; Núñez, 2017). Este procedimiento de conversión se describe de forma sencilla por el diagrama funcional de la Figura 5, también este ayuda en la presentación de las operaciones realizadas en la hoja de trabajo del programa de análisis de datos DADiSP® de la siguiente sección.

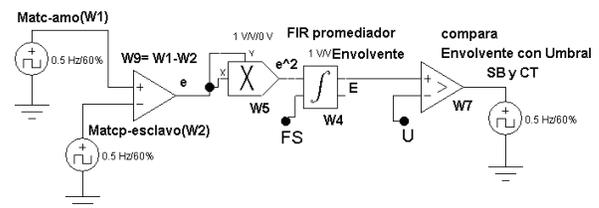


Figura 5. Diagrama funcional del procedimiento de conversión de asincronías a señales binarias

Se consideran dos casos, a saber:

1. La envolvente unipolar, en la que se utiliza el valor absoluto del error de sincronía
2. La envolvente bipolar, en la que se analiza directamente la misma señal de error en sus valores positivo y negativo.

LA ENVOLVENTE UNIPOLAR DE SEÑALES CUADRADAS Y SU REPRESENTACIÓN BINARIA

En las ventanas W1 y W2 de la Figura 6 se presentan dos señales cuadradas, las cuales corresponden a señales medidas de “dos luciérnagas electrónicas” construidas con multivibradores astables transistorizados (v.g., las llamadas: Matc (amo) y Matpc (esclavo-A)) opto-sincronizadas vía amo-esclavo, cuyo diagrama eléctrico se presenta en la Figura 7 (c.f., con las Figuras 1 y 2) (Núñez, 2021). Dichas señales evolucionan en sincronía, pero en ciertos momentos y atendiendo a causas ajenas (v.g., que su acoplamiento óptico sea interferido o desalineado físicamente), alguna de ellas, o ambas, se salen de sincronía. Esta acción produce una señal de error SE o de asincronía, equivalente a W1-W2 que se muestra en la ventana W9.

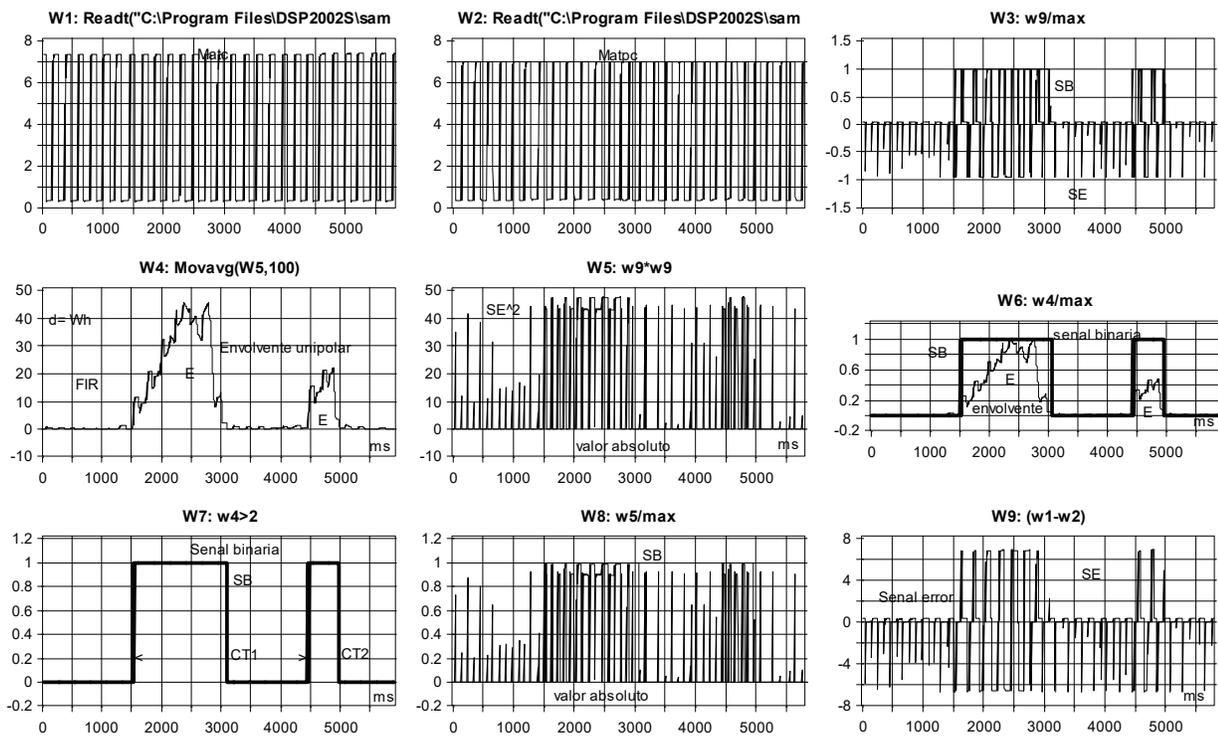


Figura 6. Se muestran señales de los colectores del Matc (amo) (W1) y del Matpc (esclavo-A) (W2) opto-sincronizados. Durante la trama se presentan dos asincronías en diferentes momentos (W9). En la ventana W6 se presentan traslapadas, la E con sus máximas asincronías e instantes de aparición y la SB con su ciclo de trabajo. DADiSP® (dimensiones, y: V, V², Wh, x: ms).

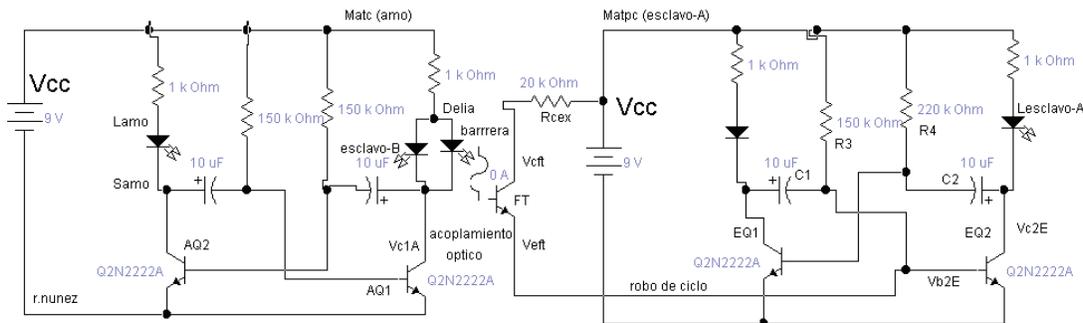


Figura 7. Maqueta de “luciérnagas electrónicas” construida con multivibradores estables (v.g., Matc y Matpc), acoplamiento óptico y sincronización vía amo-esclavo

Si se desea conocer, con más detalle, cómo se realiza la sincronización de las señales mencionadas, qué estabilidad y tiempos presentan se recomienda consultar (Núñez, 2021).

Para conocer los instantes en que aparecen las diferencias en fase o asincronías, y cuánto duran, así como también en qué momento surgen las máximas y sus magnitudes, se necesita aumentar el volumen de la SE, i.e., se calcula su valor absoluto, como se muestra en la ventana W5, para después obtener la función envolvente E [Wh], tratando de que sea lo más completa posible por medio de un filtraje paso bajas tipo FIR promedia-

dor como se indica en (1) y en la ventana W4 (v.g., por medio de la función movavg (W5, FS)), y el cual debe utilizar un factor de suavizado FS elegido del intervalo de operación $2 \leq FS < F_m / F_s$ para estos filtros promediadores; donde la frecuencia de muestreo (F_m) y la de corte de la señal (F_s) corresponden a 500 Hz y a 0.5 Hz, respectivamente. Para el caso, se selecciona un FS positivo de 100, el cual equivale a un filtraje pasa bajas de orden mediano. Con la idea de comparar sus volúmenes o densidades en forma normalizada, se presenta la señal de error o de asincronía y su señal de valor absoluto en las ventanas W3 y W8, respectivamente.

La función envolvente E contiene los valores máximos de las diferencias en fase (i.e., $D1_{\text{máx}}$, $D2_{\text{máx}}$, ..., $Dn_{\text{máx}}$) y las posiciones de estas en el tiempo (i.e., $t1$, $t2$, ..., tn), como se indica en (2). Para el ejemplo en consideración, se observa en la venta W4 de la Figura 6, que esta función envolvente E, contiene dos eventos de asincronía con diferencias máximas ($D_{\text{máx}}$'s) e instantes de aparición (t 's), según (2) en: $D1_{\text{máx}} = 45$ [Wh] en $t1 = 2.36$ [s] y $D2_{\text{máx}} = 45$ [Wh] en $t2 = 2.76$ [s], para el mayor, y en: $D3_{\text{máx}} = 21$ [Wh] en $t3 = 4.74$ [s] y $D4_{\text{máx}} = 22$ [Wh] en $t4 = 4.87$ [s], para el menor.

Una vez obtenida la señal envolvente E apropiada, se compara su perfil con un umbral U, que es un porcentaje del valor máximo de la escala completa de dicha E de la ventana W4 para conocer el instante (i.e., el tiempo en t_i , $i = 1, 2, \dots, n$) en que se rebasa este; indicando con esto que se tiene una asincronía válida, como se señala en (3), y debe generarse una señal binaria SB con un estado lógico 1; si el umbral U no se rebasa, SB debe mantener su estado en 0, tal y como se indica en la ventana W7. Ahora bien, si la SB conmuta su estado, se crea un ciclo de trabajo CT (i.e., se tiene la relación $CT = T_a / (T_a + T_s)$ [%]) definido por los tiempos de asincronía (i.e., el T_a) y de sincronía (i.e., el T_s), que están asociados a los estados lógicos de 1 y 0, respectivamente.

Puesto que la asincronía está representada por el pulso positivo del ciclo de la señal binaria, es claro apreciar que es la que modula el CT.

En el ejemplo aquí considerado de las "luciérnagas electrónicas", el umbral U se escoge de 2 [Wh] y corresponde a 4 % del valor de la escala completa de la envolvente E ($w4_{\text{máx}} = 50$ [Wh] de la ventana W4. Es conveniente mencionar que el umbral U, con el valor seleccionado, ayuda a probar y exhibir, de una manera sencilla al procedimiento convertidor; aunque es posible utilizar la tasa de señal a ruido, el nivel de ruido de fondo y otros criterios para mejorar este procedimiento.

Los ciclos de trabajo, cuyo tiempo de asincronía normalizada es de 1.50 [s] a 3.08 [s], para el mayor, y de 4.45 [s] a 4.96 [s], para el menor, se presentan en la ventana W7 de la Figura 6. Finalmente, la ventana W6 muestra, tanto el ciclo de trabajo de la SB como la función envolvente E, en forma trasladada.

En resumen, para la realización del procedimiento propuesto, se utilizan las expresiones (1), (2) y (3) implementadas en las ventanas de la hoja de trabajo del programa DADiSP® de la Figura 6.

$$E(W4) = \text{movavg}(SE^2(W5), FS), \text{ [Wh]} \quad (1)$$

$$E(W4)_{\text{máx}} \text{ instantáneos: } (D1_{\text{máx}} t1), (D2_{\text{máx}} t2), \dots, (Dn_{\text{máx}} tn) \quad (2)$$

$$SB(W7): E(W4) < U, SB(W7) = 0, \text{ o si } E(W4) \geq U, SB(W7) = 1 \quad (3)$$

Donde: $E_n = (1 / FS) * \sum e_n^2$ (Dataq Instruments Inc, 1991), es la representación analítica de la (1).

LA ENVOLVENTE BIPOLAR DE SEÑALES CUADRADAS SINCRONIZADAS Y SU REPRESENTACIÓN BINARIA

A continuación, se presenta un procedimiento de detección de asincronías similar al discutido en la sección de la envolvente unipolar de señales cuadradas y su representación binaria, pero con la diferencia de que ahora se considera a la señal envolvente E en forma bipolar. El procedimiento se aplica una vez más a las señales sincronizadas obtenidas de las "luciérnagas electrónicas" conectadas en configuración amo-esclavo de la Figura 7 (c.f., con las Figuras 1 y 2) (Núñez, 2021).

Primero, se obtienen las señales de la luciérnaga amo y esclavo, las cuales se muestran en las ventanas W1 y W2 de la Figura 8, respectivamente, y se calcula la señal de error $SE = W1 - W2$ que se muestra en la ventana W9. Después, se construye una señal envolvente particular llamada bipolar, la cual se produce al separar la SE en una parte positiva y otra negativa, para ello se utilizan los umbrales de 0.42 y de -6.30 de las ventanas de W3 y W6, respectivamente; esto se realiza para averiguar quién se está saliendo de sincronía. Ambas señales se filtran paso bajas con los FIR's promediadores de las ventanas para obtener las funciones envolventes: positiva E_p [Wh] y negativa E_n [Wh], correspondientes a $E_p(W5) = \text{movavg}(W3, FS)$ y a $E_n(W8) = \text{movavg}(W6, FS)$, respectivamente (v.g., respecto al FS, se escoge de la misma manera que en la sección mencionada). Ahora bien, el análisis que se presenta en la Figura 8 indica que no se utiliza el valor absoluto y por lo tanto se requiere de un filtraje pasa bajas más angosto, el cual se obtiene con un FS de 200 que equivale a un filtraje pasa bajas de orden mayor.

Cada función E presenta sus propios valores máximos de diferencias de fase (i.e., $D1_{\text{máx}}$, $D2_{\text{máx}}$, ..., $Dn_{\text{máx}}$) y sus posiciones relativas en el tiempo (i.e., $t1$, $t2$, ..., tn). En particular, para la envolvente positiva E_p que se muestra en la ventana W5, se tienen dos eventos de asincronía, a los que se les obtiene por medio de (2), las diferencias máximas ($D_{\text{máx}}$'s) y sus instantes de aparición (t 's); para el primero, se tienen: $D1_{\text{máx}} = 49$ [Wh] en $t1 = 2.42$ [s] y $D2_{\text{máx}} = 49$ [Wh] en $t2 = 2.83$ [s] y, para el segundo, se tiene: $D3_{\text{máx}} = 28$ [Wh] en $t3 = 4.92$ [s]. Por otro lado, para la envolvente negativa E_n , que se muestra en la ventana W8, se tienen dos eventos de asincronía, a los que se les obtiene, por medio de (2), las diferencias máximas ($D_{\text{máx}}$'s) y sus instantes de aparición (t 's); para el primero, se tienen: $D1_{\text{máx}} = -50$ [Wh] en $t1 = 2.29$ [s] y $D2_{\text{máx}} = -56$ [Wh] en $t2 = 2.50$ [s] y,

para el segundo, se tienen: $D3_{m\acute{a}x} = -18$ [Wh] en $t3 = 4.56$ [s] y $D4_{m\acute{a}x} = -25$ [Wh] en $t4 = 4.78$ [s].

Como siguiente paso, se presenta la envolvente E_p , en la ventana W5, y su perfil se compara con el umbral positivo U_p propuesto, como se indica en (3); se sigue el mismo procedimiento de la Sección de la envolvente unipolar de señales cuadradas y su representación binaria para escoger al $U_p = 2$ [Wh]. Con base en este resultado, se genera la señal binaria SB, que se presenta en la ventana W4, y cuyo CT contiene los tiempos de asincronía y sincronía, asociados a los estados binarios de 1 y 0, respectivamente. Específicamente, en la ventana W4, se puede apreciar que la señal binaria SB contiene un par de ciclos de trabajo, cuyo tiempo de asincronía normalizada por evento es: asincronía 1 = 1, de 1.63 [s] a 3.28 [s] y asincronía 2 = 1, de 4.56 [s] a 5.18 [s]. Algo similar sucede con la envolvente E_n , la cual se muestra en la ventana W8 y se observa la comparación con el umbral negativo U_n propuesto (i.e., el de $U_n = -2$ [Wh]), como se señala igualmente en (3) y en procedimiento de la sección señalada. En este caso, la SB negativa obtenida contiene un par de ciclos de trabajo, cuyo tiempo de asincronía normalizada por evento es: asincronía 1 = 1, de 1.52 [s] a 3.18 [s] y asin-

cronía 2 = 1, de 4.45 [s] a 5.07 [s], tal y como se le puede observar en la ventana W4 de forma invertida y trasladada con la SB positiva.

Finalmente, para conocer quién inició la asincronía se comparan los perfiles de la E_p y de la E_n -invertida y los CT's (v.g., obtenidos según la misma) de las SB's correspondientes a las ventanas W7 y W4, respectivamente. Como resultado de dicha comparación, se puede comentar que el esclavo, es el que rompe la sincronía un par de veces durante la trama medida, ya que adelanta al amo por aproximadamente 0.11 [s], v.g., en la ventana W9 ($W1 - W2 < 0$) y en las ventanas W4 y W8, se observan los dos tiempos de ruptura de la sincronía en 1.5 [s] y 4.5 [s].

ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE ENVOLENTES A SEÑALES ANALÓGICAS SINCRONIZADAS

En esta sección el procedimiento de detección de asincronías basado en el análisis de envolventes, se aplica a un par de señales provenientes de circuitos analógicos del "sistema de Lorenz" que operan sincronizadamente para realizar comunicación encriptada (Carroll & Pecora, 1991; Cuomo *et al.*, 1993; Núñez, 2006a; 2006b Núñez,

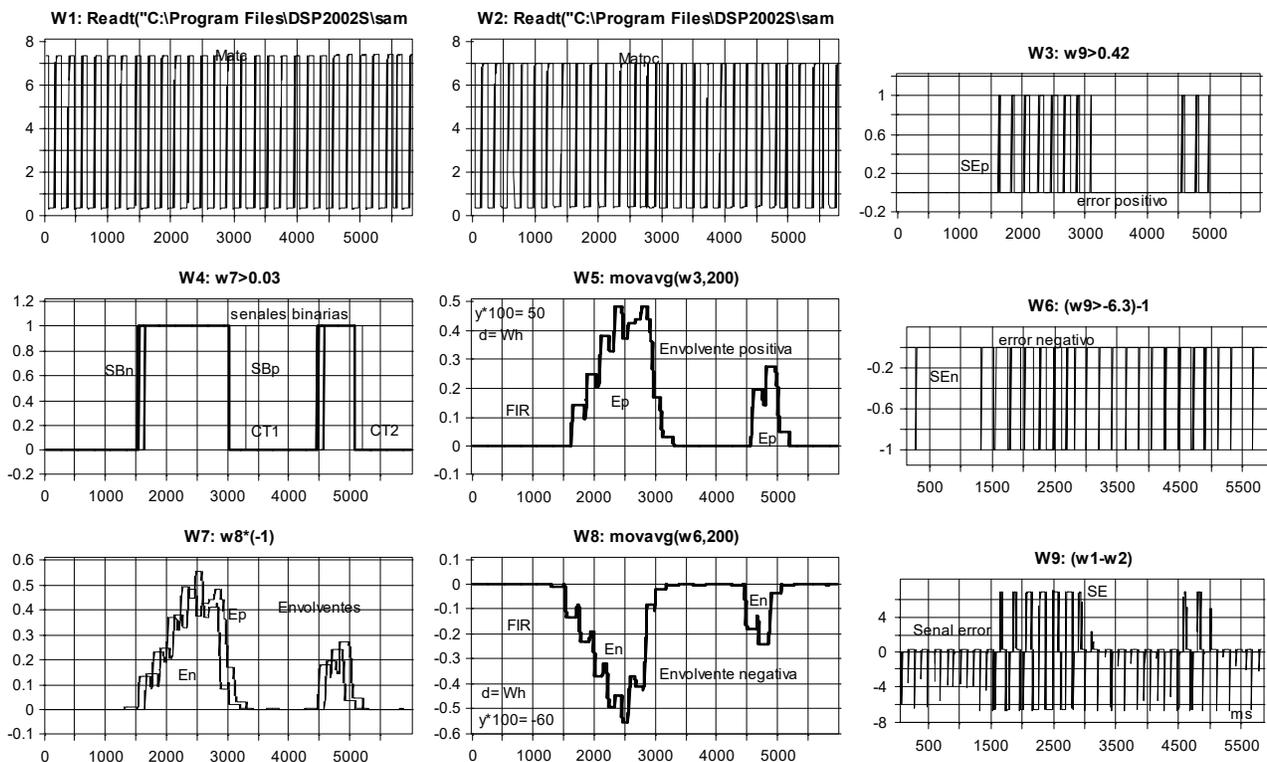


Figura 8. Se muestran las señales del Matc (W1) y del Matpc (W2) opto-sincronizados. Durante la trama se presentan dos asincronías en diferentes momentos (W9) y se separan en positivas y negativas. En la W4, aparecen traslapadas las señales binarias SB y se detecta al esclavo como iniciador de la asincronía. DADiSP® (dimensiones, y: V, V², Wh, x: ms)

2012); (c.f., con las Figuras 3 y 4). En este caso, solo se consideran envolventes unipolares.

LA ENVOLVENTE UNIPOLAR DE SEÑALES ANALÓGICAS NO LINEALES SINCRONIZADAS Y SU REPRESENTACIÓN BINARIA

En principio, el procedimiento es análogo al mostrado en la sección de la envolvente unipolar de señales cuadradas y su representación binaria para envolventes unipolares. Primero, se obtienen las señales de los “circuitos de Lorenz” amo y esclavo, las cuales se muestran en las ventanas W1 y W2 de la Figura 9. Después, se calcula la señal de error $SE = W1 - W2$ en la ventana W4, su valor absoluto en la ventana W3 y, finalmente, se utiliza un filtro FIR promediador con un factor de suavizado FS de 20 para filtrar el valor absoluto de la señal SE, lo cual produce la señal envolvente analógica EA de la ventana W6 (Núñez, 2006a; 2006b y 2012). Como ya se comentó al inicio, el FS se escoge de la misma manera que en la sección mencionada para la E unipolar, respectivamente. Se observa que EA presenta una diferencia máxima de $DA_{\max} = 0.0022$ [Wh] y está situada en $ta_1 = 600$ [ms]. En el ejemplo aquí considerado para los “circuitos sincronizados de Lorenz” el umbral U se selecciona siguiendo los criterios de la misma sección y corresponde a $U = 0.002$ [Wh]. Dicha cantidad,

equivale a 80 % del valor de la escala completa de la envolvente $E(w6)_{\max} = 0.0025$ [Wh] de la ventana W6.

Si se desea conocer con más detalle cómo se realiza la sincronización de las señales mencionadas, qué estabilidad y tiempos presentan, se recomienda consultar el documento de Núñez (2006a).

De igual manera, el perfil de la envolvente analógica obtenida EA se compara con el umbral mencionado para conocer el instante en que se produce la señal binaria SB, de la ventana W9, y la cual resulta con un ciclo de trabajo CT de $8 / 225$ [%] producto de los tiempos de asincronía (i.e., el $Ta = 8$ ms.) y sincronía (i.e., el $Ts = 217$ ms.) dados por los estados binarios de 1 y 0, respectivamente.

Por otra parte, la ventana W5 de la Figura 9 muestra el plano de fase entre las señales amo W1 y esclavo W2; se observa que no aparece ninguna asincronía, sin embargo, con el procedimiento propuesto sí se alcanza a detectar al menos una en $ta_1 = 600$ [ms] (c.f., con las ventanas W7 y W9) (Brown, 1986; Núñez, 2012). La ventana W8, solo contiene información original redundante de la ventana W1.

Finalmente, en la Figura 10 se muestra una aplicación del método propuesto, realizada en tiempo real con el programa LabVIEW®. Se observa que los resultados son muy semejantes a los obtenidos con el pro-

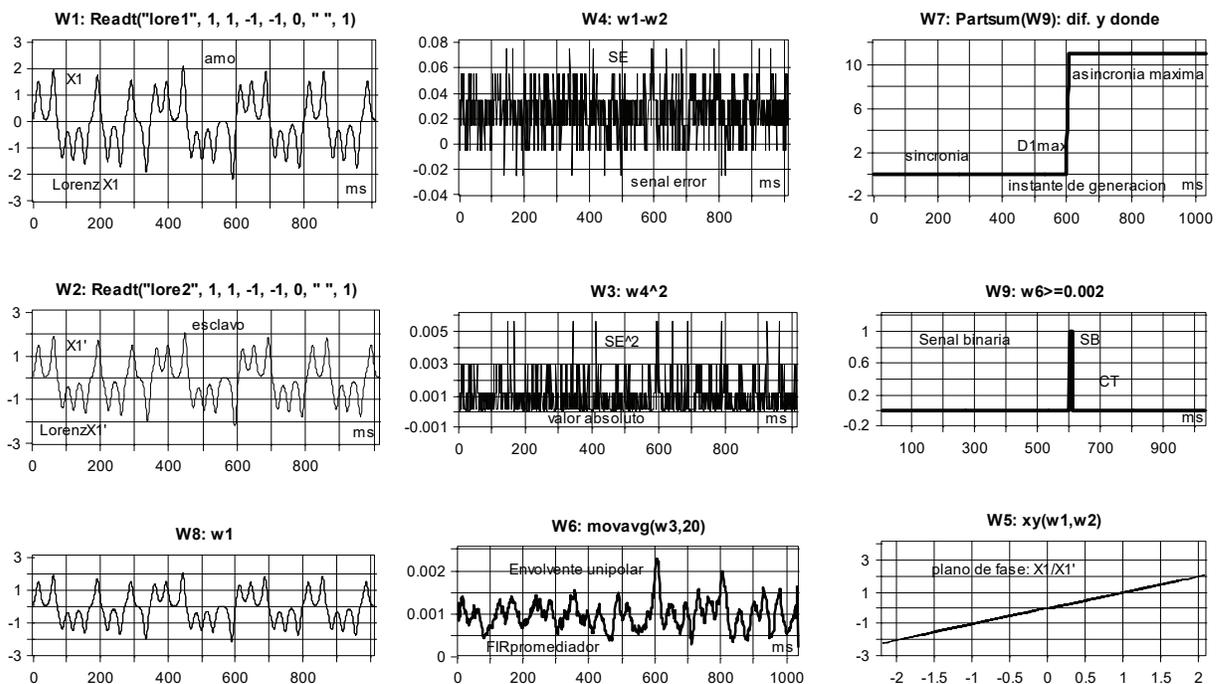


Figura 9. Se presentan las señales sincronizadas de dos “circuitos idénticos de Lorenz” (W1: amo y W2: esclavo) durante casi toda la trama, excepto en $t_1 = 600$ [ms]. Esta asincronía, se observa en forma de señal binaria SB en la W9. DADiSP® (dimensiones, y: V, V², Wh, x: ms)

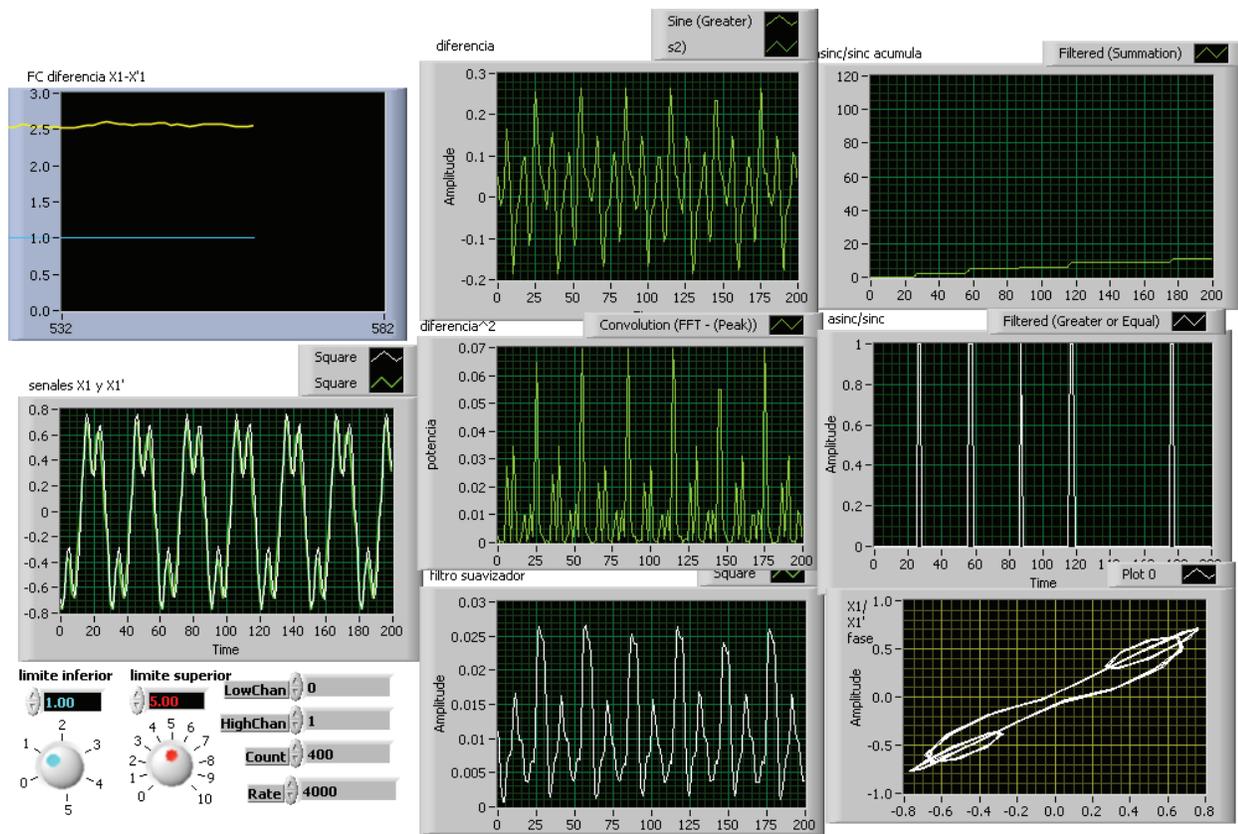


Figura 10. Obtención de la EA (ventana: Filtro suavizador) en tiempo real y representación SB (ventana: asinc/sinc) de dos señales de Lorenz (ventana: señales X1 y X1') con 6 asincronías en forma binaria (ventana: asinc/sinc). LabVIEW® (dimensiones, y: V, V², Wh, x: ms)

grama DADiSP® e indicados en la Figura 9. En particular, en esta misma Figura se observa la obtención de la envolvente analógica EA, en la ventana Filtro suavizador, y la representación de la SB, en la ventana asinc/sinc, de “dos señales de Lorenz”, que para el caso, presenta 6 asincronías. En la ventana de asinc/sinc acumulada y en la de X1/X1', se presenta la magnitud relativa de las asincronías con sus tendencias de aparición y el plano de fase entre las señales mostrando las variaciones correspondientes, respectivamente.

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES Y RECOMENDACIONES

A continuación se describen los resultados de las aplicaciones de las envolventes unipolar y bipolar a las “señales cuadradas sincronizadas” obtenidas de los Mat's (v.g., el Matc (amo) y el Matpc (esclavo)) y la aplicación unipolar a señales analógicas no lineales medidas de los “circuitos sincronizados de Lorenz”.

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA ENVOLVENTE UNIPOLAR A SEÑALES CUADRADAS SINCRONIZADAS

Considerando la envolvente unipolar de la Figura 6, donde se presentan 2 eventos de asincronía con diferentes magnitudes y en diferentes momentos de aparición. El primero presenta: D1máx = 45 [Wh] en t1 = 2.36 [s] y D2máx = 45 [Wh] en t2 = 2.76 [s], con una duración de 1.51 [s] y un CT de 1.51/2.94 [%] y, el segundo, presenta: D3máx = 21 [Wh] en t3 = 4.74 [s] y D4máx = 22 [Wh] en t4 = 4.87 [s], con una duración de 0.45 [s] y un CT de 0.45/1.54 [%]. Ambos constituyen señales binarias con CT's diferentes. La ventana W6 despliega, claramente y en forma traslapada, el resultado normalizado de la envolvente E y su representación binaria.

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA ENVOLVENTE BIPOLAR A SEÑALES CUADRADAS SINCRONIZADAS

De nuevo, se considera la aplicación de la envolvente bipolar de la Figura 8 de la sección de la envolvente unipolar de señales cuadradas y su representación bi-

naria, donde se presentan los mismos eventos que en la unipolar; asincronía con diferentes magnitudes y diferentes momentos de aparición y donde se separan los errores en: positivo ($W3$) y negativo ($W6$). Para el positivo, el primer evento presenta: $D1_{\text{máx}} = 49$ [Wh] en $t1 = 2.42$ [s] y $D2_{\text{máx}} = 49$ [Wh] en $t2 = 2.83$ [s], con una duración de 1.65 [s] y un CT de 1.65/2.93 [%], y para el segundo presenta: $D3_{\text{máx}} = 28$ [Wh] en $t3 = 4.92$ [s], con una duración de 0.62 [s] y un CT de 0.62 / 1.44. Para el error negativo, se presentan 2 eventos de asincronía con diferentes magnitudes y diferentes momentos de aparición. El primer evento presenta: $D2_{\text{máx}} = -56$ [Wh] en $t2 = 2.50$ [s], con una duración de 1.48 [s] y un CT de 1.48 / 2.93 [%] y, el segundo, presenta: $D4_{\text{máx}} = -25$ [Wh] en $t4 = 4.78$ [s], con una duración de 0.62 [s] y un CT de 0.62 / 1.44 [%]. En la ventana $W7$, se presentan en forma traslapada las envolventes E_p y E_n y, de ellas, se observa cómo el esclavo se sale de sincronía en $t = 1.50$ [s]. Finalmente, en la ventana $W4$, se muestran, también en forma traslapada, las SB 's de estas E 's y sus ciclos de trabajo. De ellas igualmente, se observa como el esclavo adelanta al amo por aproximadamente 0.11 [s].

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA ENVOLVENTE ANALÓGICA A LAS SEÑALES SINCRONIZADAS DE DOS CIRCUITOS DE LORENZ

Considerando la Sección de la envolvente unipolar de señales analógicas no lineales sincronizadas y su representación binaria, la de la aplicación de la envolvente analógica EA de la Figura 9, donde el instante de su generación y su magnitud se pueden observar en las ventanas $W6$ y $W7$, respectivamente. Como resultado relevante, en la ventana $W6$, se indica que existe un solo evento de asincronía, casi instantáneo, con magnitud $DA1_{\text{máx}} = 0.0022$ [Wh] y aparición en $ta1 = 0.60$ [s]. Dicho evento, ya en forma binaria presenta una duración de 8 [ms] y un CT de 8/225 [%], como lo muestra la SB de la ventana $W9$. Sin embargo, en la ventana $W5$ de la figura se presenta un plano de fase entre las señales del amo ($W1$) y del esclavo ($W2$) (i.e., el cociente $W1 / W2$) y no se alcanza a observar dicho evento, lo que abona a la utilidad del procedimiento propuesto.

RECOMENDACIONES

Los aspectos que se recomiendan cuidar de la función envolvente E (Wh) y de la señal binaria SB son: el D_{max} y el t (i.e., el evento), para la primera, y la duración de la asincronía por estado lógico y el ciclo de trabajo CT, para la segunda.

Para obtener una E y una SB confiables hay que afinar experimentalmente los parámetros críticos: el FS del FIR promediador y el nivel del umbral U del com-

parador, el primero prepara la envolvente para que contenga la mayor cantidad de asincronías instantáneas posibles y que su perfil sea suave y, el segundo, para que produzca la función envolvente E con la mayor duración posible.

Algo interesante se concluye con la señal binaria SB , puesto que representa un estado lógico que actúa sobre el CT; esta acción es semejante a una de modulación por ancho de pulso y puede manifestar el porcentaje de asincronía o de diferencia (v.g., o la intensidad de un ataque o interferencia) entre las señales sincronizadas y con base en este porcentaje se pueden tomar medidas de abatimiento, tolerancia o alarma.

El procedimiento propuesto, se puede utilizar para validar semejanzas o ataques en las tendencias de los factores de cresta para el cuidado de maquinaria y de otras aplicaciones (Núñez, 2014).

CONCLUSIONES

La obtención de una señal binaria SB , basada en el análisis de envolvente propuesto, representa los estados asíncrono y síncrono de señales, por los lógicos de 1 y 0, respectivamente, es contundente. Considerando ambos estados se construye un ciclo de trabajo que modula la asincronía y puede interpretarse como el grado de asincronía o de diferencia (v.g., o de interferencia) entre las señales en estudio y, con base en este, pueden tomarse medidas de abatimiento, tolerancia o alarma en términos binarios.

Efectivamente, la función de envolvente particular resulta de utilidad práctica para conocer cómo varía en forma binaria el parecido o la semejanza entre las señales sincronizadas en fase.

Finalmente, se puede mencionar que el factor de suavizado FS del filtro FIR promediador, perfila la envolvente para que contenga la mayor cantidad de asincronías e identifique la posición de las máximas y, por otro lado, el umbral de comparación U , al presentarlo con el perfil de la envolvente, que detecte precisamente los instantes de aparición y las duraciones de estas asincronías.

El procedimiento propuesto puede utilizarse para validar semejanzas o ataques en las tendencias de los factores de cresta; factores muy importantes para el cuidado de la maquinaria industrial y de otras aplicaciones.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al CONACYT por apoyar económicamente el presente a través de los proyectos: 631298, dirigido por el Dr. J. Álvarez G. y por A1S26163 de ciencia básica, dirigido por el Dr. J. Peña R.

REFERENCIAS

- Brown, S. (1986). *Mechanical signature analysis: theory and applications*. London: Academic Press.
- Carroll, T. L., & Pecora, L. M. (1991). Synchronizing chaotic circuits. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 38(4), 453-456. <https://doi.org/10.1109/31.75404>
- Corporation, D. D. (2002). *DADiSP worksheet user manual*. Cambridge.
- Cuomo, K. M., Oppenheim, A. V., & Strogatz, S. H. (1993). Synchronization of Lorenz-based chaotic circuits with applications to communications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, 40(10), 626-633. <https://doi.org/10.1109/82.246163>
- Dataq Instruments Inc. (1991). A closer look at advanced CODAS software. Retrieved from <https://www.dataq.com/data-acquisition/analysis-software/closer-look-advanced-codas-software.html>
- Jones, R. M. (1996). Enveloping for bearing analysis. *Sound and Vibration*, 30, 10-15.
- Lyons, R. (2004). *Understanding digital signal processing*. NJ, Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Núñez, R. F. (2006a). Comunicador experimental privado basado en encriptamiento caótico. *Revista Mexicana de Física*, 52(3), 285-294.
- Núñez, R. F. (2006b). Caracterización de un mensajero caótico binario con ruido en el canal: simulación y experimentación. *Revista Mexicana de Física*, 52(5), 464-473.
- Núñez, R. F. (2012). Sincronización atípica de múltiples circuitos caóticos desacoplados y su aplicación en encriptamiento. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 13(4), 489-502. <http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e2012.13n4.048>
- Núñez, R. F. (2014). La tendencia del factor de cresta ayuda a detectar eventos nacientes; circuito electrónico, programas y aplicaciones a señales de diversos campo. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(1), 63-81. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(15\)30007-X](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(15)30007-X)
- Núñez Pérez, R. F. (2015). Aplicaciones en instrumentación del análisis digital de señales. Curso de posgrado: DET-CICESE.
- Núñez, R. F. (2017). Aplicaciones sencillas de las funciones y técnicas básicas de análisis y síntesis digital de señales que pueden facilitar su enseñanza. *Revista Internacional de Investigación e Innovación*, 4(24), 1-17.
- Núñez, R. F. (2021). Circuito igualador de fases que sincroniza multivibradores estables transistorizados: experimentos para autoenseñanza. *Revista Internacional de Investigación e Innovación*, 9(53), 33-48.
- Pena, J., & Nijmeijer, H. (2020). The secret of the synchronized pendulums. *Physics World*, 33(1), 36-40.
- Pikovsky, A., Rosenblum, M., & Kurths, J. (2002). *Synchronization: a universal concept in nonlinear sciences*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1063/1.1554136>
- Ramírez, G., Guisset, J., & Deneubourg, J. (2003). Synchronization in light-controlled oscillators. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 182(3-4), 254-273. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-2789\(03\)00135-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-2789(03)00135-0)

Cómo citar:

Núñez-Pérez, R. F., & Peña-Ramírez, J. P. (2022). Convertidor de asincronías y sincronías en estados binarios: Aplicaciones a señales cuadradas y analógicas no lineales. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 23 (04), 1-10. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2022.23.4.027>