

DINAMICA NO LINEAL EN SISTEMAS OPTICOS REALIMENTADOS: ESTUDIO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA HIBRIDO ELECTROOPTICO

E. Izaguirre*, C. Ferro Fontan

Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria, Pabellón 1, 1428 Buenos Aires

H. Mancini

Centro de Investigación Laser y Aplicaciones, CITEFA-CONICET y Universidad de San Luis, Zufriátegui y Varela, 1603 Villa Martelli, Buenos Aires y Facultad de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Universidad de San Luis, Ejército de los Andes 850, 5700 San Luis

Se analiza e implementa un sistema híbrido electroóptico realimentado en el cual la señal es discretizada. De esta manera su dinámica queda descrita en forma exacta por una ecuación de recurrencias armónica, con los parámetros de control dentro del argumento, (amplificación del lazo de realimentación y rotación de fase).

INTRODUCCION

Los sistemas híbridos electroópticos realimentados han sido usados como elementos para agregar un grado de libertad adicional a los láseres de tipo B¹, para obtener así un sistema autónomo que transicione al caos de manera controlada. El estudio de las características de las inestabilidades que aparecen en estos sistemas ha sido realizado por Gibbs y colaboradores utilizando un dispositivo continuo donde el elemento utilizado para reinyectar la señal es un modulador electroóptico por efecto Pockels, y también por Chrotowski² en moduladores acustoópticos. En ambos sistemas, la dinámica está descrita por una ecuación donde el parámetro que define la amplificación del lazo se encuentra multiplicando la función no lineal.

En nuestro dispositivo experimental (figura 1), se discretiza la señal que transita por el sistema y se la vuelve a reinyectar por medio de un modulador electroóptico, pero con un retardo tal que module al pulso siguiente.

Esta forma de operar da como resultado un sistema que es descrito en forma exacta por la siguiente ecuación de recurrencias:

$$X_{n+1} = \left\{ \frac{1}{2} [1 - \sin 2\alpha \sin 2\beta + \cos 2\alpha \cos 2\beta \cos [2\pi(RX_n + B)]] \right\}$$

donde las variables adimensionales X_n , B, R están definidas por

$$X_n = \frac{V_n}{V_o} \quad R = \frac{r}{R_o} \quad B = \frac{b}{4V_{\pi/2}} \quad V_n = K G I_n$$

siendo V_n la tensión proporcional a la intensidad de cada pulso luminoso I_n , dada por la relación $V_n = k G I_n$; R la ganancia del lazo de realimentación, b la tensión continua de polarización del segundo modulador electroóptico, encargado de realizar un cambio constante en la polarización de entrada de los pulsos, K la eficiencia del fotodiodo, $V_{\pi/2}$ la tensión de cuarto de onda de los moduladores, V_o la tensión a lazo abierto y R_o la ganancia definida por la relación:

$$R_o = \frac{4V_{\sigma 2}}{V_o}$$

De esta ecuación de recurrencias se observa que los parámetros de control del sistema se encuentran dentro del argumento de la función. Con esta implementación se verifica los diferentes comportamientos de la dinámica del sistema al variar los parámetros

VARIACION DEL PARAMETRO MULTIPLICATIVO R

Este parámetro es la amplificación que se le debe dar al tren de pulsos, de manera que convierta los valores de tensión obtenidos en el detector al rango de los kilovolts necesarios para modular el pulso siguiente cuando este pasa por la cavidad.

*Becario UBA.

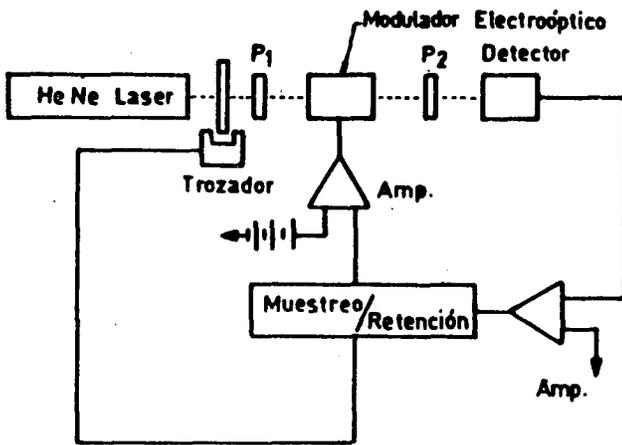


Figura 1: Esquema del dispositivo experimental utilizado.

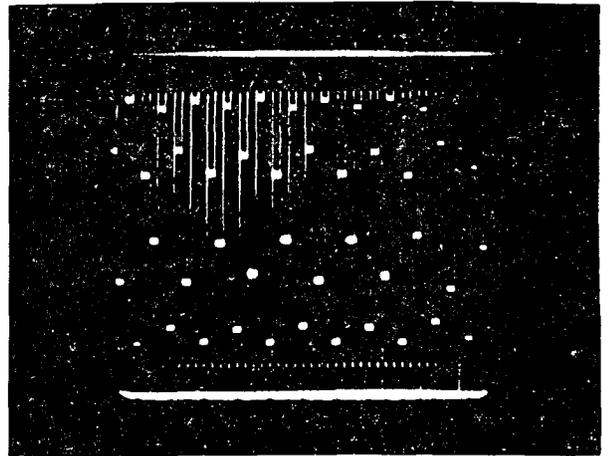


Figura 4: Oscilograma correspondiente a ocho estados estables ($f/8$). Vert. 0.2 V/div, Horiz. 10 ms/div.

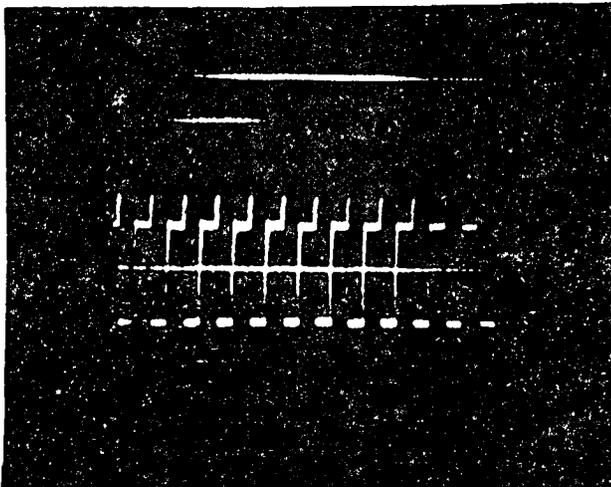


Figura 2: Oscilograma correspondiente a dos estados estables. Esc. vert. 0.5 V/div, Esc. Horiz. 5 ms/div. ($f/2$)

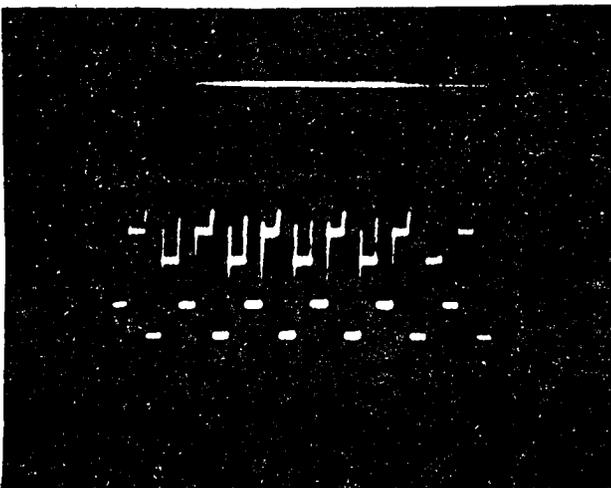


Figura 3: Oscilograma correspondiente a multiestabilidad con cuatro estados estables. Esc. vert. 0.5 V/div. Esc. horiz. 5 ms/div. ($f/4$).

A baja amplitud el sistema es monoestable, pero al aumentar el valor de R se produce una secuencia de bifurcaciones típica de un sistema que transiciona al caos por medio de una secuencia de doblamiento de períodos del tipo Feigenbaum. La secuencia temporal de los pulsos para valores de amplificación en los cuales el sistema es biestable, multiestable ($f/4$ y $f/8$), y caótico se puede ver en las fotografías 2, 3 y 4. Sus valores están graficados con la respectiva simulación numérica obtenida en la Ref. 4, figura 5.

También se han obtenido directamente los gráficos asintóticos del sistema efectuándose un barrido de la ganancia del lazo por medio de un amplificador de ganancia variable controlada por una señal diente de sierra sincronizada con el osciloscopio. La visualización de la misma se encuentra en las figuras 6 y 7, en las cuales la segunda se ha obtenido a señal reducida con respecto a la anterior, por lo cual se observa el efecto del aumento del umbral de la zona caótica debido al incremento de ruido en el sistema.

VARIACION DEL PARAMETRO ADITIVO B

Por medio del primer modulador electroóptico se puede modificar la polarización de entrada al segundo modulador (modulador para reinyectar la señal), obteniéndose de esta manera un control del número de multiestabilidades en el sistema o del régimen caótico para un valor de ganancia fija. Los resultados obtenidos según esta técnica se encuentran en la figura B.

OBSERVACION DE LA INTERMITENCIA TIPO I

Al efectuarse la transición entre una zona caóti-

ca y una ventana de estabilidad en un sistema descrito por medio de una ecuación de diferencias finitas, el sistema pasa por un régimen de intermitencia temporal del tipo I, al formarse canales de tangencia entre la función y la bisectriz de su mapa de iteraciones(3).

La observación de este tipo de fenómeno se realizó de manera directa por medio de un osciloscopio (figura 9), correspondiendo al caso en el cual el sistema es intermitente entre un comportamiento caótico y triestabilidad. La figura 10 representa la señal cuando se ha superado el valor crítico de transición y el sistema es triestable, y la figura 11 cuando se ha efectuado una bifurcación al incrementar nuevamente R.

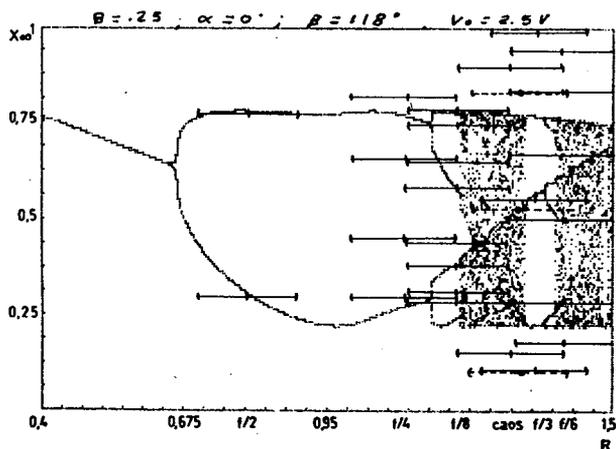


Figura 5: Superposición de los resultados obtenidos a la solución numérica del trabajo teórico (4).

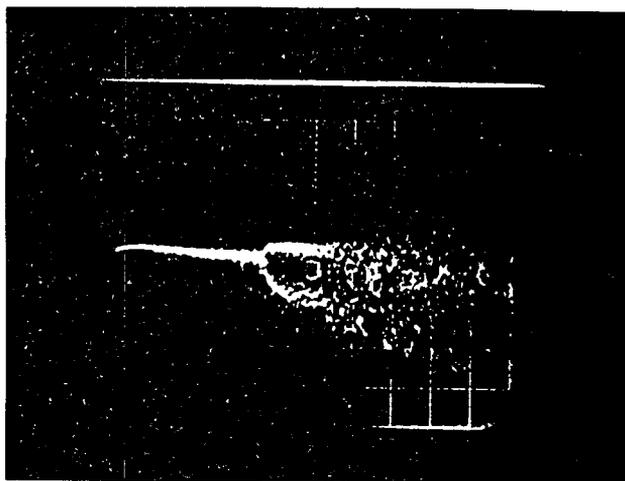


Figura 7: Diagrama de bifurcaciones experimentales con ruido aditivo Esc. vert. 50 mV/div, Esc. horiz. 0.2 seg/div.

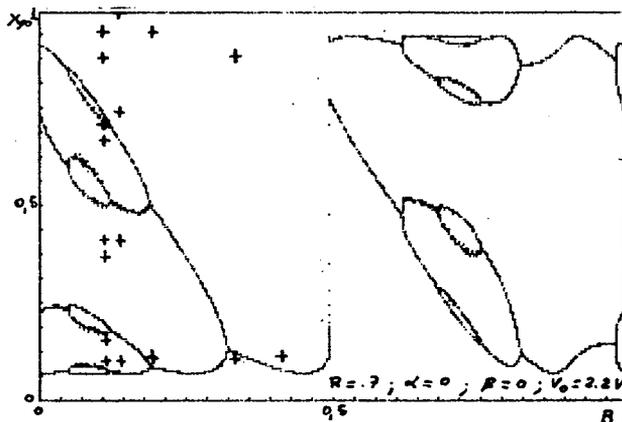


Figura 8: Soluciones obtenidas a la solución numérica para el parámetro B.

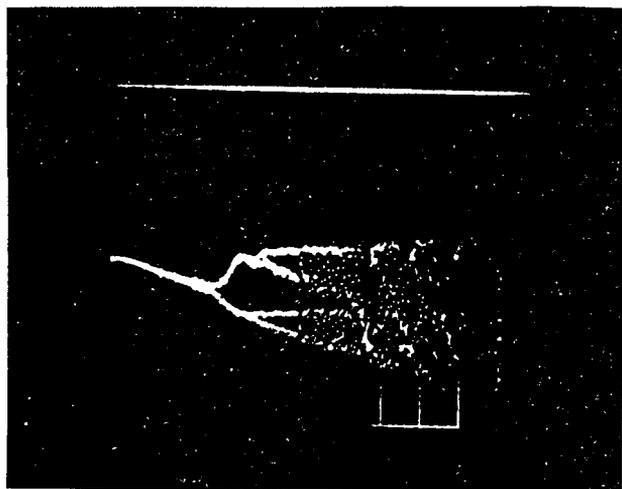


Figura 6: Diagrama de bifurcaciones obtenido experimentalmente Esc. vert. 1V/div, Horiz. 0.2 seg/div. Corresponde a $B = 0.136$.

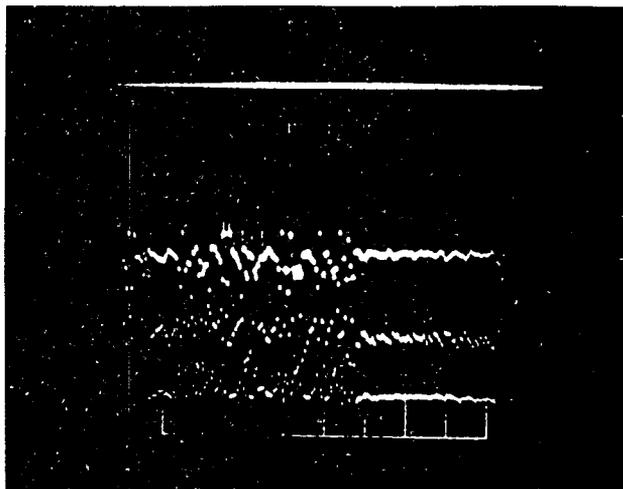


Figura 9: Oscilograma correspondiente a la intermitencia. Pasaje de una región caótica a tres estados estables. Esc. vert. 0.5 V/div. Horiz. 0.1 seg/div. Corresponde a $B = 0.25$ $R = 1.325$.

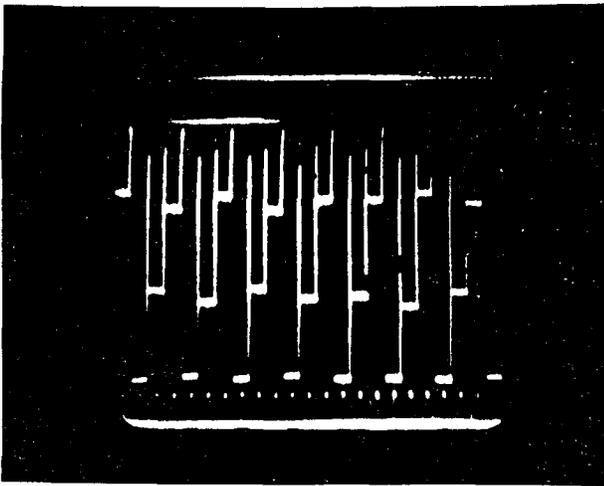


Figura 10: Expansión de escala horizontal mostrando los tres estados estables de la región laminar. Esc. vert. 0.5 V/div, Esc. Horiz. 0.5 ms/div. $R = 1.35$.

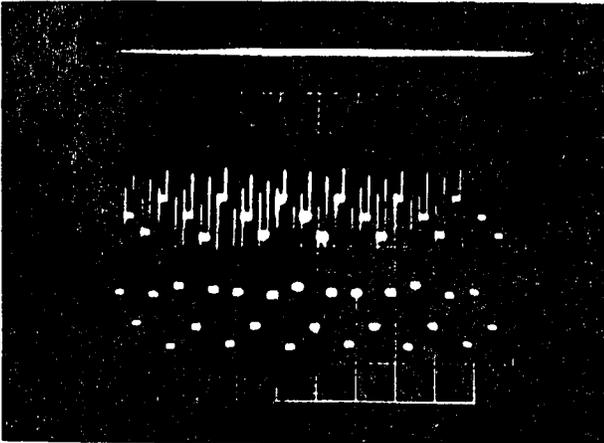


Figura 11: Sucesivas bifurcaciones correspondientes a un aumento de R ($R = 1.40$) con respecto al oscilograma anterior. Esc. vert 0.5 V/div, horiz. 10 ms/div.

CONCLUSIONES

Hemos desarrollado un sistema realimentado completamente analógico en amplitudes, que permite la observación directa de una transición controlada de orden al caos por medio de una ruta de Feigenbaum.

El sistema opera con una resolución tal que se pueden observar hasta $f/8$ ventanas de estabilidad e intermitencias. Es necesario notar que por ser discreto y no haberse realizado la aproximación a baja señal que realizan otros autores, la correspondencia con la teoría es directa.

Se ha visto que la introducción de un modulador adicional sirve para controlar el número de inestabilidades para una ganancia fija del lazo de realimentación.

BIBLIOGRAFIA

- 1 F. Arecchi, W. Gadomsky, A. Lapucci, H. Mancini, R. Meucci and Roversi J. Opt. Soc. Am. B, 5, 1153, (1988).
- 2 Gibbs, Hopf, Kaplan and Shoemaker. Phys Review Lett. 46 (7) (1982). Chrotowsky J. Phys Review A 26 (5) (1982).
- 3 Hirsch, Huberman, Scalapino. Phys. Rev. A, 25 (1) (1982).
- 4 E. Izaguirre, C. Ferro Fontan, H. Mancini. Parte teórica en esta misma publicación.