

Procesamiento ultrarrápido de información en el Instituto de Ingeniería

Ramón Gutiérrez-Castrejón

La distancia a la que los sistemas guiados de telecomunicaciones pueden transmitir información (datos, voz, imágenes) está limitada por los mecanismos físicos que reducen la energía de una señal conforme se propaga. Los sistemas de telecomunicaciones basados en el uso de fibras ópticas no son la excepción. Aun cuando las pérdidas que presentan, de alrededor de un cuarto de decibel por kilómetro, son bajas en comparación con otros medios guiados hechos de metal, la transmisión de información a lo largo de grandes distancias requiere el uso de amplificadores ópticos. En general, los amplificadores se colocan equidistantemente, de modo que compensen las pérdidas de una manera uniforme a lo largo de un enlace.

Los amplificadores ópticos más utilizados hoy en día son los EDFA (*Er-doped fibre amplifiers*), pero otras tecnologías como los amplificadores Raman o los hechos de material semiconductor, como el InGaAsP, también están siendo evaluados.

El comportamiento deseable de un amplificador es que independientemente de la potencia con que en él ingrese una señal, ésta se amplifique por el mismo factor. Es decir, que si al amplificador le inyectamos una señal de 0.1 o 1 mW, a la salida se obtenga una señal cuya potencia sea de 20 y 200 mW, respectivamente. En este caso el factor de amplificación es de doscientos. Bajo estas condiciones se dice que el amplificador se comporta de manera lineal, tal y como se muestra en la fig 1, donde la pendiente de la línea recta corresponde precisamente al valor de amplificación, que en este caso es 2. La ecuación de la recta es, por tanto, $P_{out} = A \times P_{in}$, donde A es el factor de amplificación. La importancia del comportamiento lineal del amplificador radica en que, como se podrá observar en la fig 1, del ingreso de una señal modulada, como una senoide, resulta precisamente otra senoide de mayor amplitud. En ecuaciones: $P_{out}(t) = A \times \sin(\omega t) = A \times (\sin(\omega t)) = A \times P_{in}(t)$. Como en la figura el factor de amplificación es 2 (pendiente $A = 2$), la señal de salida tiene una amplitud del doble que la señal de entrada.

Hace poco más de una década, cuando los EDFA aparecieron en el mercado, también se evaluó la posibilidad de utilizar a los amplificadores ópticos hechos de material semiconductor, comúnmente conocidos como SOA (*semiconductor optical amplifier*), para efectuar la labor de amplificación óptica que se requiere en las redes de telecomunicación. El interés en aquél entonces radicaba en la gran amplificación que se logra con estos diminutos dispositivos (cuya longitud es de alrededor de uno o dos milímetros). La desventaja que presentan estos amplificadores, sin embargo, es que se comportan de manera lineal en un intervalo de potencias demasiado pequeño para que sean útiles. Por esta razón, tales dispositivos dejaron de tener interés para comerciantes e investigadores que buscaban la aplicación inmediata de los productos desarrollados. Afortunadamente, otros investigadores con visión a más largo plazo y convencidos de que las investigaciones más sólidas requieren de tiempo, convirtieron, como generalmente lo hacen las mentes brillantes, lo que aparentemente era un problema en una virtud. Efectivamente, la sólida formación de estos investigadores seguramente les permitió estar informados de que, a pesar de presentar una mayor complejidad, cuando un sistema opera en el régimen no lineal (en contraste con el régimen lineal, que en general no es más que una buena aproximación) se presentan fenómenos de mayor riqueza e interés, tanto por su propia naturaleza como

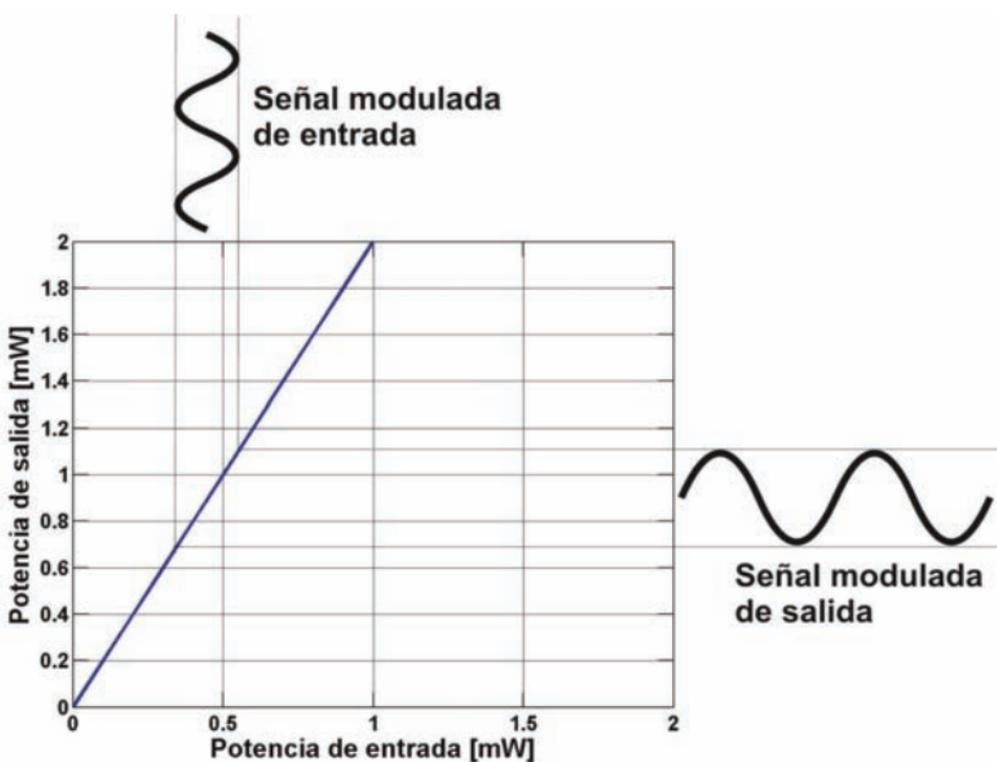


Fig 1 Gráfica del comportamiento de un amplificador lineal cuya amplificación es 2. La amplitud de la señal de salida es el doble que la señal de entrada

por las posibles aplicaciones que de ellos se pueden desprender. Así fue como a partir de la década de los noventa se exploró la posibilidad de utilizar las no linealidades físicas de los SOA para realizar tareas de procesamiento de información de señales ópticas por medios exclusivamente ópticos, es decir, sin tener que recurrir directamente a la electrónica. Dado que las interacciones radiación-materia son, en general, más rápidas que las interacciones puramente electrónicas, los SOA pueden realizar sus tareas de procesamiento a mayor velocidad que los circuitos convencionales. De hecho, dispositivos completamente ópticos que operan a tasas de 100 Gb/s, e incluso superiores, ya se han demostrado experimentalmente. La velocidad de procesamiento de los dispositivos electrónicos, en cambio, escasamente alcanza los 10 Gb/s. Entre las operaciones de procesamiento de información susceptibles de ser realizadas con SOA destacan la conmutación (*switching*) de bits o paquetes de bits y la conversión de longitud de onda por modulación cruzada de la ganancia, modulación cruzada de la fase y mezclado de cuatro ondas no degenerado, con aplicaciones inmediatas a sistemas ópticos de telecomunicaciones.

En el II UNAM, convencidos del impacto tecnológico que los SOA tendrán en los sistemas de telecomunicaciones y procesamiento de información de la próxima década, realizamos investigación de frontera acerca de estos complejos dispositivos fotónicos activos. Alenta-

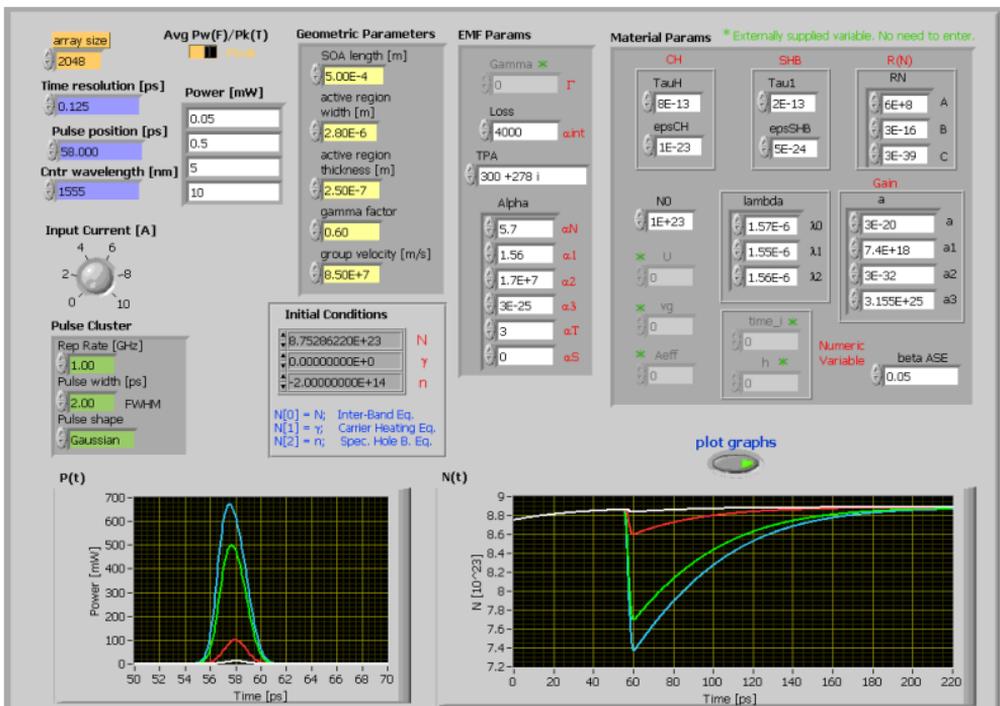


Fig 2 Panel frontal del simulador desarrollado

dos por el conocido dicho soviético de que "no hay nada más práctico que una buena teoría" ¹, en el Instituto de Ingeniería hemos desarrollado un sofisticado modelo dinámico de SOA. Dicho modelo consiste en un sistema de ecuaciones diferenciales parciales acopladas no lineales que, en principio, no pueden resolverse analíticamente, y que, por ende, han dado pie al desarrollo de un avanzado simulador que permite su resolución empleando métodos numéricos. Una imagen del panel frontal del simulador se observa en la fig 2. El conjunto de subrutinas que lo componen, escritas en un conocido lenguaje de programación gráfico que, curiosamente, rara vez se utiliza para desarrollar simuladores, ha demostrado ser muy eficiente en términos de memoria y tiempo de ejecución. Este simulador es el resultado de un proyecto conjunto realizado en colaboración con investigadores de los laboratorios Bell de la compañía de telecomunicaciones Lucent Technologies, de Estados Unidos. La buena relación que tenemos con dichos laboratorios, bien conocidos por descubrimientos como la radiación de fondo producida por la gran explosión que originó nuestro universo, o invenciones como el transistor, nos permitirá, esperamos, ampliar nuestra colaboración para evaluar el simulador desarrollado como parte de un proyecto más ambicioso. En tal proyecto se pretende diseñar un producto de alta tecnología consistente en un circuito microscópico en el que se integrarán, mediante técnicas fotolitográficas muy avanzadas, decenas de componentes, entre los que se encuentran algunos SOA. La formación de recursos humanos de alto nivel es una de las prioridades de esta colaboración, por lo que invitamos a estudiantes de ingeniería, física y matemáticas interesados a participar con nosotros.

¹No hay que olvidar que, a pesar de lo poco pragmática o contradictoria que, en principio, esta afirmación podría parecer, los científicos e ingenieros de la URSS pusieron por primera vez en órbita un satélite y contruyeron los submarinos más avanzados de su tiempo