



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica Investigación Aplicada Investigación Pedagógica Innovación

DEPARTAMENTO(S):

1. Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información
- 2.

LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Software de Telecomunicaciones
- 2.

1 Proyecto de Investigación

Título:

Análisis de los efectos no lineales de modulación de fase en fibras monomodo de dispersión desplazada y su relación con los parámetros de transmisión de un sistema WDM

Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)

El proyecto pretende realizar un análisis minucioso, que permita determinar los efectos no lineales de modulación de fase inducida (SPM, *Self Phase Modulation*) y modulación de fase cruzada (XPM, *Cross Phase Modulation*) indeseables que se pueden presentar en fibras monomodo de dispersión desplazada nula (DSF, *Dispersion Shifted Fiber*) normalizadas en la ITU-T G653 y G654 y en fibras monomodo de dispersión desplazada no nula (NZ-DSF, *Non Zero Dispersion Shifted Fiber*), como son aquellas normalizadas por la UIT-T G655 y G656, que se utilizan en redes de mediano y largo alcance (*long haul*), a fin de poder identificar las condiciones en las que se presentan tales efectos para poder evitarlos en lo posible y determinar su comportamiento con el propósito de minimizar las degradaciones que causan en los pulsos ópticos que se transmiten y de esa forma optimizar el desempeño de un sistema de comunicaciones óptico.[1][4][14]

El análisis se realizará tanto a nivel teórico como mediante simulación, utilizando para el efecto un software que presente las mejores prestaciones con el fin de poder simular los efectos SPM y XPM. Para el caso de XPM se considerará el escenario de un sistema multiplexado WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), donde tal fenómeno toma relevancia, pues en los sistemas WDM que operan a velocidades superiores a 10 Gbps y con altas potencias de transmisión, el canal -la fibra- empieza a comportarse de modo no lineal.[9][11]

En cada caso de análisis se considerará diferentes condiciones de potencia aplicada, velocidad, longitudes de onda de operación, distancia, número de canales ópticos a ser multiplexados en WDM y separación entre ellos.

Palabras clave (4-6):

Efectos no lineales, SPM, XPM, Dispersión cromática



2 Datos personales y académicos del Director del Proyecto		
Apellidos: Jiménez Jiménez		Teléfono casa:2490621
Nombres: María Soledad		
Cédula de Identidad: 1706907902		Teléfono celular:0998592101
Cargo actual en la EPN:Profesor Principal TC		
Dirección particular: José Nogales N70-234 y Pedro de Ibarra		Teléfono oficina:2507144 Ext. EPN:2335 Correo electrónico: maria.jimenez@epn.edu.ec
Formación de pregrado y posgrado		
Títulos	Fecha	Institución / Universidad/País
M.Sc. in Electrical Engineering	1992-1994	University of Texas at Arlington/ EEUU
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones	1979-1985	Escuela Politécnica Nacional / Ecuador

5	Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación
	<p>5.1 Objetivos</p> <p>5.1.1 Objetivo General</p> <p>Analizar, a nivel teórico y comprobar mediante simulación, los efectos no lineales SPM y XPM que pueden presentarse tanto en fibras DSF como en fibras NZDSF y su relación con los parámetros de transmisión de un sistema WDM.</p> <p>5.1.2 Objetivos Específicos</p> <p>a. Estudiar y analizar los efectos no lineales SPM y XPM, su relación y condiciones en las que se presentan.</p> <p>b. Estudiar varios softwares de simulación a fin de identificar aquel que permita de mejor manera simular SPM y XPM.</p> <p>c. Hacer múltiples simulaciones sobre SPM en diferentes escenarios de velocidad, potencia de transmisión, alcances y ventana de operación, a fin de identificar la relación de los efectos no lineales con estos parámetros.</p> <p>d. Hacer múltiples simulaciones sobre XPM en diferentes escenarios de velocidad, potencia de transmisión, número de canales ópticos WDM, alcances y ventana de operación, a fin de identificar la relación de los efectos no lineales con estos parámetros.</p> <p>e. Realizar un análisis de los resultados obtenidos, a fin de determinar las condiciones en las que se presentan SPM y XPM, y su afectación al desempeño de un sistema de comunicaciones ópticas multiplexado en WDM.</p> <p>f. Identificar los mecanismos que permitan evitar la presencia de estos fenómenos y en caso de haberlos las medidas remediales para mitigarlos.</p> <p>g. Investigar sobre los tipos de fibra monomodo que usan los principales proveedores de servicios de telecomunicaciones de Quito, para determinar las afectaciones que los fenómenos no lineales en la fibra pueden ocasionar en sus infraestructuras de telecomunicaciones.</p> <p>5.2 Relevancia de esta propuesta de investigación y su relación con la(s) Línea(s) de investigación asociadas.</p> <p>En los últimos años se ha presentado un crecimiento de demanda exponencial de los servicios de telecomunicaciones, que exige canales de comunicación de mayor ancho de banda que permitan soportar tal tráfico y altas tasas de transmisión, siendo la fibra el medio de transmisión que ofrece gran ancho de banda, más aún con técnicas de multiplexación como WDM que han conseguido alcanzar capacidades del orden de decenas de Tbps. [1] [2]; toma entonces relevancia el analizar los potenciales inconvenientes</p>



que se presentarían en la fibra a altas tasas de transmisión y elevadas potencias, que podrían degradar o limitar su capacidad.

En los sistemas de comunicaciones ópticos, se presentan efectos indeseables en una fibra monomodo que degradan la calidad de una transmisión, limitando su desempeño. Estos efectos pueden ser de dos tipos: lineales y no lineales [4]. Los primeros han sido ampliamente analizados y dentro de ellos se tiene a la atenuación, el ruido, la dispersión cromática (CD) y la dispersión por modo de polarización (PMD) [5]. Dentro de los segundos se tiene aquellos debidos al comportamiento no lineal del índice de refracción de la fibra: modulación de fase inducida (SPM), modulación cruzada de fase (XPM) y mezcla de cuatro longitudes de onda (FWM) y aquellos producidos por scattering como son: scattering estimulado de Ramán (SRS) y scattering estimulado de Brillouin (SBS), estos efectos no lineales se presentan a altas tasas de transmisión y con elevadas potencias. [1][3][4]

Se hace entonces prioritario para mejorar el desempeño de un sistema de comunicaciones óptico de altas prestaciones, y en especial los que utilizan WDM, identificar cuáles son aquellos parámetros de transmisión que tienen una incidencia marcada en la generación de estos efectos no lineales, como pueden ser la velocidad de transmisión, la distancia, la potencia de transmisión, el número de canales multiplexados, la separación entre ellos e incluso los formatos de modulación utilizados.[11][14]

En este proyecto de investigación se estudiarán y analizarán dos de estos efectos, SPM y XPM, y mediante una herramienta de software de Telecomunicaciones poder corroborar los resultados teóricos con los de la simulación. Para este proyecto se utilizará entonces una herramienta de simulación, la misma que será seleccionada de entre aquellas que mejores prestaciones ofrezcan para la simulación de estos fenómenos.

Siempre será trascendental el uso de herramientas de simulación para estudiar aquellos sistemas de telecomunicaciones donde no sea posible contar con una infraestructura de laboratorio que permita su análisis, constituyéndose entonces la simulación en un mecanismo que permite realizar dicho análisis para luego contrastar los resultados con los establecidos en la teoría relacionada. Desde esta perspectiva y dado que una línea de investigación del DETRI es justamente "Software de Telecomunicaciones" se podrá investigar y contribuir con los resultados que se obtengan a fortalecer esta línea de investigación del área de Telecomunicaciones.

5.3 Productos esperados

- a. Publicaciones científicas (obligatorio);
- b. Disertación a la Comunidad Politécnica;
- c. Proyecto de Titulación;
- d. Tesis de Grado (maestría o doctorado);
- e. Aplicación tecnológica construida o implementada;
- f. Patente presentada;
- g. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.

5.4 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

- a. Se dispondrá de un conjunto de ejemplos teóricos, con sus respectivos resultados, de distintos escenarios de transmisión, en los que se evidencie la presencia de SPM y XPM en un medio no lineal como las fibras monomodo de dispersión desplazada.
- b. Se dispondrá de un conjunto de ejemplos simulados, con sus respectivos resultados, de distintos escenarios de transmisión, en los que se evidencie la presencia de SPM y XPM en un medio no lineal como las fibras monomodo de dispersión desplazada.
- c. Se realizará un análisis comparativo entre los resultados teóricos y los arrojados por la herramienta de simulación, con los respectivos informes generados de este análisis.
- d. Resultado del análisis anteriormente realizado, se propondrán una serie de medidas que eviten la generación de estos fenómenos, o que los mitiguen en caso de presentarse.
- e. Se contará con esta base de estudio para a futuro ampliarla incorporando otros efectos no lineales como el de FWM o los de scattering (SBS y SRS).
- f. Se realizará una investigación sobre las fibras que utilizan los principales *carriers* de la ciudad, a fin de



proporcionarles esta información arrojada del proyecto, que coadyuve a mejorar el desempeño de sus redes.

6 Descripción, metodología y cronograma de trabajo

6.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto (Máximo dos carillas)

SPM se presenta debido al comportamiento no lineal del índice de refracción de la fibra, como consecuencia del efecto Kerr óptico, relacionado con un alto nivel de potencia, lo cual induce un desplazamiento de fase que es proporcional a la intensidad del pulso, ocasionando que diferentes partes del pulso experimenten distintos cambios de fase produciendo la degradación del pulso óptico -chirp-. [1][2][3][4][10], lo que a su vez modifica los efectos de la dispersión cromática, que también introduce un chirp pero de signo contrario al provocado por SPM, posibilitando compensarse entre ellos [10]. Es entonces necesario estudiar este fenómeno en aquellos sistemas que utilizan elevadas potencias de transmisión, pues en ellos SPM se presenta de manera más pronunciada. [5][7][8]

XPM surge cuando dos o más señales (canales ópticos) se propagan por la fibra multiplexadas en longitud de onda (WDM), como consecuencia de que el índice de refracción para una señal no solamente depende de su intensidad, sino también de la intensidad de las otras señales que se copropaguen en dicha fibra a una longitud de onda diferente. [1][3]. XPM resulta por tanto ser un efecto muy importante en los sistemas WDM provocando que los diferentes canales, asociados a distintas lambdas empiecen a interactuar interfiriéndose, más aún si la fibra con la que se trabaja es de dispersión desplazada nula (DSF).[4][9][13][11]

Dentro del proyecto de investigación, en una primera fase se estudiará cómo las ondas de luz son afectadas cuando se propagan en un medio no lineal como la fibra, específicamente una fibra monomodo, luego se analizarán los diferentes tipos de dispersión que tiene la fibra, poniéndose énfasis en la dispersión cromática (CD), con la cual están relacionados los efectos no lineales. Posteriormente se estudiarán los distintos parámetros asociados con la fibra como son: la longitud efectiva de la fibra, el área efectiva, el parámetro no lineal, entre otros, de los cuales depende la interacción no lineal y, de manera especial aquellos relacionados con las fibras de dispersión desplazada nula (DSF) y de dispersión desplazada no nula (NZ-DSF). [12][6][14]

En una fase siguiente se analizará los dos fenómenos no lineales: SPM y XPM, para lo cual se hará uso de la bibliografía actual, que permita conocer el estado del arte respecto de esta temática, a fin de poder analizar cada uno de los parámetros de transmisión e identificar su incidencia en la producción de SPM y XPM.

Luego se hará el respectivo estudio teórico de estos efectos no lineales, en diferentes escenarios y con distintas condiciones de transmisión, tanto utilizando fibras de dispersión desplazada como fibras de dispersión no desplazada, a fin de determinar la incidencia de SPM y XPM en estos tipos de fibras. Como producto de este estudio se analizarán diferentes ejemplos y se obtendrán los resultados teóricos en cada caso.

Posteriormente, y una vez seleccionada la herramienta de simulación, aquella que permita manejar todos los parámetros de interés en escenarios variados donde se puede presentar SPM y XPM, se procederá a simular los mismos ejemplos que fueron estudiados de manera teórica, para luego contrastar los resultados de la simulación con aquellos teóricos. La herramienta de simulación será un software de uso libre o aquellos que mediante tiempos otorgados para pruebas, permita realizar la simulación, esto posibilitaría por un lado ahorrar costos y adicionalmente, de ser el caso, sugerir a posteriori la adquisición de dicho simulador para trabajos futuros dentro de las líneas de investigación del DETRI enmarcadas en esta temática.

Como fase final del proyecto se establecerán las correspondientes conclusiones, que permitan evitar la presencia de estos efectos no lineales en un sistema de comunicaciones óptico, y en caso de que inevitablemente se presenten dichos fenómenos proporcionar las correspondientes medidas para



atenuarlos o compensarlos, encontrando un equilibrio entre los parámetros de transmisión para alcanzar un enlace óptico del mejor desempeño posible.

Referencias:

1. Agrawal G., Govind P. 2010. Fiber Optic Communications Systems. 4th. Edition. Rochester. New York. USA: Wiley Interscience.
2. Agrawal G.P. 2006. Optical Communication Systems. Rochester. New York. USA.
3. Agrawal G.P. 2007. Nonlinear Fiber Optics and its Applications in Optical Signal Processing. Rochester. New York. USA.
4. Agrawal G., Govind P. 2013. Nonlinear Fiber Optics. Fifth Edition. USA: Academic Press Elsevier.
5. Crisp John. 2005. Introduction to Fiber Optics. 3rd. Edition. Great Britain: Newnes.
6. Chomycz B. 2009. Planning Fiber Optic Networks. New York. USA: McGraw-Hill.
7. Dutton, Harry. 1998. Understanding Optical Communications. 1st. Edition. IBM REDBOOKS
8. Hecht Jeff. 2005. Understanding Fiber Optics. 5th. Ed. New York. USA: Prentice Hall.
9. Keiser Gerd. 2010. Optical Fiber Communications, 4a. Ed. Mc. Graw Hill.
10. Kolimbris, Harold. 2004. Fiber Optics Communications. New Jersey. USA: Pearson – Prentice Hall.
11. Pereda Martín, José A. 2005. Sistemas y Redes Ópticas de Comunicaciones. Pearson-Prentice Hall.
12. Palais, Joseph. 2004. Fiber Optic Communications. 5th. Ed. Prentice Hall.
13. Ramaswami R., Sivarajan K., Sasaki G.. 2010. Optical Networks. A Practical Perspective. Third Ed. USA: 2nd ed.Elsevier. Morgan Kaufmann.
14. Recomendaciones UIT: G.653, G.654, G.655, G656 y G657.
15. Senior, John. 2008. Optical Fiber Communications. 3rd. Edition. Prentice Hall.



6.2 Cronograma de trabajo anual: (Descripción)

Actividad	Primer Año						TOTAL
	Porcentaje de avance por mes						
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	
Consulta bibliográfica y tratamiento de la Información sobre múltiples aspectos teóricos relacionados con la propagación de la luz en un medio no lineal, sobre fibras de dispersión desplazada, sobre CD y sobre los efectos no lineales SPM y XPM.	20%	20%	20%	20%	20%		100%
Análisis y selección del software a ser utilizado en la simulación de SPM y XPM. Pruebas del software.		50%	50%				
Análisis teórico sobre los distintos ejemplos, con diferentes escenarios y parámetros de transmisión, en los que se presenten SPM y XPM.			50%	50%			
Elaboración y presentación del informe correspondiente al primer semestre.			100%				
Análisis mediante simulación sobre los distintos ejemplos, con diferentes escenarios y parámetros de transmisión, en los que se presenten SPM y XPM.				50%	50%		
Contrastación de los resultados obtenidos mediante simulación con los teóricos.					75%	25%	
Formulación de recomendaciones y medidas remediales.						100%	
Investigación in situ sobre los tipos de fibras y parámetros de transmisión que utilizan los principales <i>carriers</i> de la ciudad. Entrega de resultados.					75%	25%	
Elaboración y presentación del informe final.						100%	
TOTAL							

Actividad	Segundo Año 2						TOTAL
	Porcentaje de avance por mes						
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	
TOTAL							




7	Fechas de inicio y fin
	Inicio: Octubre 2015 Fin: Octubre 2016

8	Tiempo de dedicación de docentes, infraestructura, equipos y fondos adicionales.
	8.1 Tiempo máximo de dedicación semestral del Director del proyecto, de los docentes participantes y otros colaboradores. <ul style="list-style-type: none">M.Sc. María Soledad Jiménez: Directora e Investigadora del proyecto, 16 HSS
	8.2 Infraestructura y equipos <i>Infraestructura y equipos <u>disponibles</u> para la ejecución del proyecto</i> <ul style="list-style-type: none">Oficina QE-707 (asignada a Ma. Soledad Jiménez, directora e investigadora del proyecto)Acceso a Internet en la oficina y domicilioComputadora desktop asignada a mi personaComputadora Laptop personalRecursos informáticos del estudiante que desarrolle su Proyecto de Titulación relacionado al proyecto interno.
	8.3 Breve justificación del equipo requerido No se requiere 8.4 Fondos Adicionales - No aplica

9	Presupuesto estimado para la ejecución del presente proyecto (anual)		
	No se requiere presupuesto para la realización del proyecto. <u>Primer Año</u>		
	Lista de ítems	Cantidad solicitada (US \$)	Porcentaje (%)
	1. Contratación Servicios Personales por Contrato <i>Ayudantes de Investigación</i>		
	Subtotal		
	2. Maquinaria y Equipos		
	Subtotal		
	3. Reactivos y materiales de laboratorio		
	Subtotal		
	4. Literatura especializada		
	Subtotal		
	5. Viajes técnicos y de muestreo		
	Subtotal		
6. Presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones			
Subtotal			
TOTAL PRESUPUESTO	00,00 + IVA	100	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

10	Lugar y Fecha / Firma del Director del Proyecto	
	Quito, 10 de julio del 2015 Nombre: María Soledad Jiménez CC:1706907902	 Firma del Director

DECLARACION DEL JEFE DE DEPARTAMENTO

Esta propuesta ha sido aprobada por el Consejo del Departamento/Instituto **al que pertenece el Director del Proyecto**, en Sesión del mediante Resolución No. y las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del aplicante de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta aplicación.

JEFE DEL DEPARTAMENTO/INSTITUTO
Nombre: M. Sc. Xavier Calderón
CC: 1709331365

Quito, 10/07/2015
Lugar y fecha