

1. INTRODUCCIÓN

La comunicación óptica ha sido usada desde tiempos muy remotos. Una forma muy primitiva en espacios abiertos fue el uso de señales de fuego, una forma digital (1 bit) de comunicación temprana. En la antigua Grecia, Polybius, desarrolló este sistema de comunicación, basado en una tabla (en forma de matriz) alfabética. Teniendo la señal de las columnas y la de los renglones. Obviamente este tipo de comunicación no permitía un gran intercambio de datos, pero ya era bastante efectivo [1]. Con el paso de los siglos y etapas de la historia, la ciencia tomó un papel muy importante. En la rama de la óptica, las primeras teorías con respecto a la luz por Newton en el siglo XVII marcaron una época [1] [3]: a partir de ahí existieron decenas de científicos de gran importancia, que desde nuestra época son vistos como los padres de la teoría clásica y de los cuales se desprenden todas las futuras teorías dentro del área de las telecomunicaciones.

Las telecomunicaciones dejaron de ser empíricas en el siglo XVIII, con Samuel Morse y su telégrafo, con Marconi y su Radio, Bell y el teléfono, por mencionar ejemplos revolucionarios [11]. La primera patente de comunicación óptica guiada en un medio transparente (vidrio) la obtuvo AT&T en 1934 [1]. Pero no fue hasta los años 60 que se pudieron ensamblar en un laboratorio los sistemas propuestos. Para finales de los 60 la atenuación de la fibra óptica bajó desde 1000dB/Km. hasta menos de 20dB/Km. Con la combinación de diodos láser y fibras de vidrio de poca pérdida, los sistemas de comunicación óptica tomaron un papel serio en los años 70. En los años 80, los costos se redujeron notablemente tanto en la producción de fibras como en emisores láser. Presentando tales ventajas como inmunidad al ruido EMI (interferencia electromagnética), poca atenuación, gran ancho de banda, diámetro micrométrico, poco

peso, relación costo-beneficio, por mencionar algunas, la fibra óptica supera al convencional cable coaxial [1].

Hoy en día el rango de atenuación está alrededor de 4 dB/Km. en ondas infrarrojas cortas (800 nm.) y menos de 0.2 dB/Km. en ondas más largas (1550 nm.). Es decir estamos cerca del límite físico absoluto para el vidrio de silicio y se puede reducir aún más la atenuación usando otros materiales como vidrio de fluoruro. Tomando en cuenta que podemos tener una repetidora cada 60 Km.[11], definitivamente es un medio de comunicación sumamente competitivo, no por nada las compañías en telecomunicaciones invierten grandes cantidades en el desarrollo de nuevos productos que funcionen mediante fibra óptica, desde luego la investigación y desarrollo de las mismas fibras juega un papel importantísimo, así como también los emisores láser.

1.1 Planteamiento del problema

Dada la importancia de las telecomunicaciones (radio, teléfono, TV, Internet), el buen funcionamiento de estos medios de comunicación es vital. Ya sean las antenas o los cables con los cuales intercambiamos la información, deben de ser nuestra más potente herramienta junto con nuestros transmisores y receptores. De ellos dependen que la comunicación sea efectiva. En el caso concreto de las conexiones vía cable, cualquier falla dentro del mismo y se acabó nuestro intercambio de datos, sin importar el material del cable. En el caso del cable coaxial, la principal ventaja que presenta frente a la fibra óptica, es su manipulación de uso rudo, es decir, no habría que preocuparse tanto por una ruptura, aunque puede pasar de muchas formas. En cambio la fibra óptica dentro de todas las ventajas que presenta frente al cable coaxial, presenta una gran desventaja: su manipulación exige mucho cuidado. Al ser fibra de vidrio, sabemos que se puede

romper muy fácilmente, con un doblez forzado que se haga y podemos fracturar la fibra. Si nos ponemos a pensar la cantidad de kilómetros de fibra óptica que hay en nuestra ciudad nos asombraríamos ¿si hubiera una falla en la línea, cómo podríamos saber qué es y dónde está? Hay una solución sencilla y efectiva, empleamos un aparato llamado OTDR cuyas siglas en español quieren decir Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo. Este aparato puede hacer muchas cosas además de localizar una ruptura en la fibra óptica, pero eso se verá más adelante. Dentro de todas las utilidades del OTDR, nos falta una muy importante, que es el comportamiento de la fibra óptica en el dominio de la frecuencia. En el nombre OTDR claramente se indica que su dominio es el tiempo ¿Cómo podemos obtener entonces una representación gráfica en el dominio de la frecuencia? Aplicando la Transformada Rápida de Fourier (FFT) a nuestra señal en el dominio del tiempo, nos da como resultado su espectro en frecuencia. Suena muy sencillo, pero para realizar esto, hay que hacer manipulaciones de Procesamiento Digital de Señales en una computadora, pero antes ¿cómo pasamos la información del OTDR a la computadora? Se realiza una conexión serial entre computadora y OTDR, mediante un software se pueden interpretar los datos intercambiados y finalmente ser procesados en un programa de lenguaje de alto nivel como lo es MATLAB. De esta forma, a grandes rasgos, obtenemos la respuesta en frecuencia de la fibra que deseemos analizar mediante un OTDR.

1.2 Objetivo general

Es muy poco claro el hablar de un OTDR y su respuesta en el tiempo, luego transformar esta señal en el dominio de la frecuencia. En sí el objetivo de esta Tesis, es uno sólo: Obtener el ancho de banda de una fibra, a partir de los datos que estén al alcance del

OTDR. El OTDR es un aparato que realiza prácticamente todo tipo de caracterización de una fibra dentro del dominio del tiempo, sin embargo, habrá que explicar como funciona y qué se espera de él, más adelante.

Al hablar de la respuesta en frecuencia de las fibras ópticas, nos pueden brincar a la mente las siguiente iniciales: OFDR, cuyo significado en español es: Reflectómetro Óptico en el Dominio de la Frecuencia. Este aparato a pesar de que suena muy parecido al OTDR, no es muy convencional, ya que no es tan fácil trabajar con frecuencias [4], por lo mismo el auge del OTDR. Sin embargo, se ha visto un gran desarrollo de este tipo de aparatos, lo cual no es el enfoque de esta Tesis, pero sí es importante aclarar que no se va a realizar un OFDR mediante un OTDR, sino únicamente se obtendrán resultados del OTDR y se manipularán mediante el lenguaje de programación MATLAB. Lo que se desea obtener es una interfaz gráfica “amigable al usuario” o fácil de usar, dentro de la cual el usuario pueda ver la señal original (pulso de entrada y de salida) que el OTDR le envía, que haciendo hincapié una vez más, está dentro del dominio del tiempo, y dentro de la misma interfaz también el usuario pueda realizar la conocida FFT y obtener la representación gráfica en el dominio de la frecuencia de tal señal, para así, poder ver el ancho de banda de la fibra que se está midiendo.

1.3 Justificación del tema

Al plantear el problema, se explica por qué es un problema, es decir, todos los inconvenientes que puede traer consigo y provocar un mal funcionamiento o simplemente resultados no deseados. Si las fibras ópticas fueran irrompibles y si no tuvieran atenuación por Kilómetro, realmente serían perfectas, no habría de qué

preocuparse y esta tesis no tendría relevancia. Sin embargo, la situación es totalmente la contraria: la fibra óptica, a pesar de ser tan eficiente, tiene la gran paradoja de ser delicada a las inclemencias externas. ¿Por qué paradoja? Simplemente el hecho de que un doblez pueda fracturarla o inclusive romperla, y hablar de que hay una red alrededor del mundo debajo del mar de fibra óptica, donde no tenemos el mínimo control del subsuelo, causa hilaridad el ver un artefacto tan indefenso por todo tipo de lugar como si fuera un cable cualquiera. Viendo que esta situación es muy importante, tanto como pensar en colocar una sonda en un cinturón de meteoritos, no queda más que tomar las máximas precauciones dentro del alcance humano. Sin embargo no es nada más el medio donde se encuentra la fibra el peligro que la rodea, sino también su manipulación. Si se va botando una línea submarina de fibra óptica, es un hecho que se tomaron todas las precauciones: topografía, ubicación del terreno, ancho del cable, profundidad del surco, etc. Y se puede estar seguro de que no habrá otro factor humano de riesgo presente. En el caso de la instalación de equipos con redes externas de fibra óptica, nadie garantiza que el factor “instalador” no le haga daño a la fibra, independientemente de todos los sucesos externos que puedan acaecer en un futuro. Se trata de explicar, que no nada más depende el hecho de una buena manipulación, sino también existen factores independientes que pueden afectar una fibra. Si así fuera el caso ¿Cómo podríamos saber que pasó cuando hay un mal funcionamiento? Lo lógico sería cambiar la fibra y ya, pero creo que antes nos gustaría hacer una revisión. Es ahí donde entra el papel del OTDR, que pueden darnos muchas referencias del comportamiento de una fibra en unos segundos de medición, cuando no tenemos la mínima idea de que le pasa a nuestra conexión o red óptica. Podemos ver si hay algún empalme que afecte considerablemente el índice de atenuación, una conexión defectuosa con otro aparato óptico o simplemente una ruptura en la línea. Todas estas mediciones son exactas y

localizan la distancia donde sucedió el evento. Una utilidad así puede ahorrarnos algunas complicaciones, como cambio de líneas o inclusive de aparatos. Además de este servicio que claramente muestra su utilidad, no olvidemos que tenemos otro factor de cuidado en las fibras: la atenuación por Kilómetro, factor que el OTDR nos puede mostrar, sin embargo, no nos puede decir cuanta frecuencia (ancho de banda) soporta mi línea a 5Km o 20Km o a 40Km, ahí es donde entra la importancia de poder realizar mediciones en el dominio del tiempo (OTDR) y poderlas manipular hasta obtener una caracterización en el dominio de la frecuencia. Esta información queda de ante mano fuera del alcance de las características que se otorgan por parte del manual de la marca de la fibra con la que trabajaremos. Por eso se realizará un programa en MATLAB que complemente la utilidad del OTDR y desde luego de nuestras fibras.

1.4 Importancia del tema

La importancia recae sobre todo en la fibra óptica, como protagonista principal de esta tesis. Los medios a usar, son herramientas para analizar el comportamiento de ésta. Por decirlo así, juegan un papel secundario. Por dar un poco más de ejemplos acerca de la fibra óptica ¿Qué tan importante puede llegar a ser su monitoreo y manipulación, si tomamos en cuenta que el Internet depende prácticamente de ella, sin mencionar la red telefónica? Es increíble como ha ido tomando un rol indispensable en las telecomunicaciones, lo que alguna vez se pensó que sería un fracaso: la red mundial o Internet. Los microprocesadores duplican su velocidad cada 18 meses aproximadamente, los medios de almacenamiento de información duplican su capacidad cada 12 meses y las redes ópticas duplican su velocidad cada 9 meses [11]. Estos tres elementos, tendrán que sufrir cambios y hasta mutaciones, para poder conservar esa

aceleración de desarrollo. Sin embargo, hay que recordar que las redes ópticas, a penas comienzan, hay grandes expectativas en su papel futuro [2].

La fibra óptica es el actor principal de las redes de comunicaciones ópticas. Gracias a ella, se ha llegado a tener una transmisión casi sin pérdidas y de un gran ancho de banda (muchísima información) de una señal a lo largo de una línea de 80Km. ¿No es increíble pensar que un cabello de decenas de kilómetros pueda transportar tal cantidad de información? Reiterado queda, que en las telecomunicaciones, el mantenimiento y monitoreo de la fibra óptica nos interesa y mucho. La reflectometría, que tiene 80 años desde los primeros radares, fue una herramienta muy útil para varias empresas que se interesaron en el desarrollo de equipo óptico en la década de los 80 [13]. Hoy en día se cuenta con varias marcas que tienen su propio diseño de OTDR. Al principio no se sabía cual importante podría ser el desarrollo de tales aparatos, pero como podemos ver en nuestros días, inclusive existen equipos mini-OTDR, de extremadamente fácil manejo; la meta es: preservar y mejorar las redes de comunicación, debido a las exigencias que el desarrollo de sistemas digitales les imponen. Imaginemos que toda la información del mundo pudiera viajar a través de un cabello de fibra óptica ¿Nos interesaría más el monitoreo y mantenimiento de este indefenso cabello?

El procesamiento digital de señales ha evolucionado mucho, desde que los sistemas digitales son más veloces y cuentan con enorme capacidad de almacenamiento. El ejemplo más común es el Disco Compacto, desde los años 80 la música que escuchamos ya no es música en sí, si no una serie finita de valores binarios que mediante un procesamiento y una conversión a señales eléctricas pasando a través de un altavoz, nos generan esas ondas acústicas que llamamos música. Para generalizar, el procesamiento

digital de señales nos ha hecho dependientes de las computadoras y equipos digitales, los equipos analógicos tienen una crisis de demanda: Video-caseteras, toca-cintas, reproductores de LPs, máquinas de escribir (valga la comparación). Los sistemas digitales se producen a millares y su costo baja día con día ¿Cómo dejarlos? Pues gran parte de estos avances se deben a la implementación del procesamiento digital de señales. Más que el hecho de transmitir Internet, televisión y teléfono, a través de una fibra, nos interesa qué tan grande es nuestra capacidad de transmisión por una misma línea con relación a la distancia. Sin embargo, para poder usar esta información (millones de señales) que viaja y viaja en forma de luz, solamente podemos llevarla a nuestros sentidos y entendimiento con una computadora y procesamiento digital. Todo está ligado en sí: fibras ópticas-procesamiento digital de señales-MATLAB. Para poder concatenar la fibra óptica con el procesamiento digital de señales, necesitamos una herramienta, ésta es: un lenguaje de programación de alto nivel, que nos pueda ayudar a obtener una representación gráfica de la respuesta en frecuencia de la fibra en cuestión. Hasta el momento hemos visto qué útil puede sernos el OTDR complementado con un software como MATLAB, para poder caracterizar una fibra óptica, de esta forma su manutención y manipulación se simplifica bastante.

1.5 Organización de la Tesis

Para poder entender de manera más sencilla esta Tesis, se explicará a continuación la forma en que está estructurada. A partir de la introducción general a cerca de las fibras y el OTDR, surgen datos más técnicos necesarios para la comprensión y que complementan este proyecto. En el segundo capítulo se habla de las señales y sistemas discretos en el tiempo, la intención de esta sección es dar una imagen general de las señales en el tiempo discreto y algunos sistemas que realizan operaciones con estas

señales (las señales con las que se trabaja del OTDR son discretas en el tiempo). Seguido de este capítulo, una vez teniendo la idea de las señales discretas, se hace una explicación de lo que es la transformada discreta de Fourier (DFT) y los algoritmos para la transformada rápida de Fourier (FFT), dicha transformada se encargará más adelante de darnos la representación en frecuencia de la señal obtenida en el tiempo, mediante MATLAB. El cuarto capítulo, explica qué es el OTDR y menciona las características de la fibra óptica. En el quinto capítulo ya no se abarca el aspecto teórico, sino más bien práctico, se explica el desarrollo del experimento, desde la medición de la fibra mediante el OTDR hasta los resultados gráficos que muestra MATLAB. Finalmente se llega a las conclusiones y se habla del trabajo futuro de esta tesis.