



UNIVERSIDAD

Rafael Belloso Chacín.

## **INFLUENCIA PLUVIOMÉTRICA EN LOS ENLACES FSO LÁSER CON MODULACIÓN EN POTENCIA.**

Ing. Hanani Gandica C.  
Univerisidad Rafael Belloso Chacín

### **RESUMEN**

El propósito fundamental de este proyecto de investigación, es determinar la influencia pluviométrica sobre los enlaces FSO Láser con modulación en Potencia, con la finalidad de conocer cuál será la influencia pluviométrica en los enlaces FSO láser con modulación en potencia. Las bases conceptuales de esta investigación fueron tomadas en gran parte de Molero (2005) y Ferrer (2004). La investigación es de tipo explicativa con diseño experimental. El instrumento y técnica utilizado es la observación y los dispositivos que se utilizaron fueron: Computadoras, Simulador de lluvia, Módulos: emisor y receptor. La metodología planteada estuvo conformada por cuatro fases: Fase I: Diseño e Implementación de un Prototipo, Fase II: Ejecución Experimental, Fase III: Análisis de los Datos y Fase IV: Estudio de la tasa de Error. Esta investigación se basó en un sistema de Variables, la dependiente: los enlaces FSO láser y la independiente: Influencia Pluviométrica. Por otra parte, se realizaron 5 pruebas en donde se observó la influencia de la lluvia en la transmisión de la señal a diferentes tasas de transmisión y a diferentes niveles de potencia en un periodo de 10 minutos cada una de ellas. Luego se aplicó un análisis estadístico para calcular la tasa de Transmisión de bits de error (BER), el análisis de medias de Tukey y el análisis de la función de error complementaria. Se realizó la estimación de la ecuación de predicción para estimar la atenuación en función de la tasa de transmisión y la tasa de Transmisión de bits de error (BER). Partiendo del experimento realizado, se concluye que a mayor tasa de transmisión mayor es la tasa de bits de error tanto para niveles de Alta como de Baja potencia en presencia de la influencia pluviométrica. Con los resultados del análisis de la estimación de la curva se observa el comportamiento de los datos producidos en los enlaces FSO láser bajo la influencia pluviométrica, cuyo valor promedio para alta potencia está alrededor de 12.5 y para baja potencia de 21.0. Finalmente, se realizó un análisis de la función del error complementaria tanto para alta como para baja potencia donde se obtuvo el comportamiento de BER con respecto al valor de la tasa de error, donde se obtiene un valor de  $n=-3$ , el cual nos indica en esta investigación que es el ruido en presencia de lluvia, valor que sería interesante estudiar bajo otros efectos.

**Palabras claves:** enlaces FSO láser, Influencia pluviométrica, Tasa de Transmisión de bits de error.



UNIVERSIDAD

Rafael Belloso Chacín.

**PLUVIAL INFLUENCE IN THE CONNECTIONS FSO LASER WITH  
MODULATION IN POWER**

Ing. Hanani Gandica C.  
Univerisidad Rafael Belloso Chacín

**ABSTRACT**

The fundamental purpose of this investigation is to determine the pluvial influence in the connections FSO laser with modulation in power, with the purpose of knowing will be the pluvial influence in the connections FSO laser with modulation in power. The conceptual bases of this investigation were taken to a large extent of Molero (2005) and Ferrer (2004). The investigation its type is experimental and explanatory. The instrument and used technical are the observation and the devices that were used were: Computers, rain simulator, modulus: emitter and receiver. Methodologies raised was conformed by four phases: Phase I: Scheme and Implementation of a Prototype, Phase II: Experimental Execution, Phase III: Analysis of the Data y Phase IV: Study of the error rate. This investigation it's based on a system of Variables: the employee laser connections FSO and the independent: Pluvial influence. On the other hand, 5 tests were made in where it's observed the influence of rain in the transmission of signal to different rates from transmission and at different levels of power in a period of 10 minutes each one from them. Soon I am applied a statistical analysis to calculate the rate of Transmission of error bits (BER), the analysis of averages of Tukey and the analysis of the complementary function of error. It was estimated the prediction equation to estimate the attenuation in function from the transmission rate and the transmission of error bits (BER). Starting off of the made experiment, one concludes that to greater rate of greater transmission it is the rate of bits of error as much for levels of High as of Low power in the presence of the pluvial influence. With the results of the analysis of the estimation of the curve the behavior of the data produced in laser connections FSO under the pluvial influence is observed, whose value average for high power this around 12,5 and low power of 21.0. Finally, I am as much made a analysis of the function of the complementary error for high as for low power where the behavior of BER with respect to the value of the error rate was obtained, where a value of  $n=-3$  is obtained, which indicates to us in this investigation that is the noise in the presence of rain, interesting serious value that to study under other effects.

**Key words:** It connect laser FSO, It influences pluvial, Rate of Transmission of error bits.



UNIVERSIDAD  
Rafael Beloso Chacín.  
**INTRODUCCIÓN**

El concepto de las comunicaciones inalámbricas ópticas ha sido usado para diferentes procesos, uno de ellos es las banderas de semáforo. Una manera de acercarse a la dependencia de la visibilidad y la disponibilidad en exteriores auténticos es crear un mapa con curvas de nivel geográfico que indica la disponibilidad esperada que se tiene de la señal del enlace.

Es importante resaltar que para radio frecuencia y sistemas de microondas, las limitaciones del clima son un aspecto relevante, debido a que ante la presencia de lluvias, neblina, nieve, entre otros, la conexión para la transmisión de datos es casi nula.

En este sentido, el clima siempre está bajo la influencia de la compleja estructura y composición de la atmósfera. Hay diversos fenómenos atmosféricos que afectan los enlaces ópticos inalámbricos, entre ellos se encuentran: la atenuación en la señal y la fluctuación de la potencia del láser debido a las turbulencias atmosféricas.

En vista de esto, los medios por el cual se propaga la transmisión pueden ser: el aire, el agua, los cables o hilos conductores, entre otros, estos son dependientes de la transmisión que se requiera, los cuales van a depender del estado en que se encuentre el clima, ocasionando con esto que la transmisión dependa de ella.

Es por ello, que existen mapas de alcance para una disponibilidad en particular,



UNIVERSIDAD  
Rafael Belloso Chacín.

estos son bastantes sencillos pueden generar sistemas para la señal de microonda. Aunque ninguno de estos mapas son lo suficientemente exhaustivos para los sistemas de FSO.

Un primer intento fue presentado por Isaac Kim en la conferencia de gota a gota de comunicaciones inalámbrico óptico de SPIE en 2001, donde trató de resolver este problema mediante el estudio de varios modelos sin éxito alguno. Basados en lo anterior, los sistemas de comunicaciones ópticas en el espacio libre (FSO) son conexiones sin cable a través de la atmósfera. Estos sistemas tienen el mismo principio de funcionamiento de los sistemas de comunicaciones ópticas por medio de una fibra, excepto que el haz de luz es transmitido a través del espacio libre.

En este mismo orden de ideas, la comunicación óptica en el espacio libre es una tecnología madura, tanto es así que a nivel comercial ha ido creciendo. Existen sistemas que trabajan en tasas de hasta 622 Mbps las cuales son muy utilizadas y proporcionan una gran confiabilidad.

El uso de las telecomunicaciones, se ha ido expandiendo debido a la magnitud de su alcance, puesto que tiene varias aplicaciones sobre todo como herramienta para la comunicación y el tráfico de información.

Esto nos indica, que es un elemento muy útil en la escalabilidad a nivel industrial y tecnológico. A nivel empresarial ya las empresas utilizan enlaces ópticos inalámbricos de alta seguridad para interconectar edificios, oficinas



## UNIVERSIDAD

Rafael Belloso Chacín.

aisladas, entre otras, a través de un enlace de alta velocidad evitando con esto el embotellamiento en el transporte de información y de esta manera se logra tener un alto desempeño y una gran variedad de servicios.

Uno de los problemas, a parte de la influencia pluviométrica es la direccionalidad debido a que los haces láser son estrechos y no se dispersan como los demás haces de luz. Ni la luz de un potente foco logra desplazarse muy lejos y si se enfoca hacia el firmamento, su rayo parece desvanecerse de inmediato. El haz de luz comienza a esparcirse en el momento en que sale del foco, hasta alcanzar tal grado de dispersión llega a perder su utilidad.

En esta investigación se quiere estudiar el efecto pluviométrico sobre los enlaces FSO láser al variar la potencia y las tasas de transmisión, y partiendo de ello realizar los estudios necesarios para determinar la tasa de error cuando se transmiten los datos.

Finalmente se realizan las conclusiones respecto al análisis de los resultados que llegó después de haber realizado el diseño de la investigación y las recomendaciones que surgen para mejorar el estudio.

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La necesidad de comunicación ha llevado al hombre a dar pasos gigantes en la evolución de la información, cada día la cantidad de información que se encuentra en la red es mayor por lo que es necesario estar desarrollando sistemas de comunicaciones, para transferir los datos de una manera más eficaz.



## UNIVERSIDAD

Rafael Belloso Chacín.

La transmisión de información no solo está relacionada con señales que cambian en el tiempo, estos pueden cambiar de manera impredecible. Debido a esto, es que cada vez será más indispensable contar con buenas conexiones para poder disfrutar de los últimos servicios y avances tecnológicos. Esto significa que entre más evolucionado sea un equipo de comunicación, al tiempo se necesita de más y mejores medios de transmisión para los diferentes tipos de datos.

Es por ello que, Bachs y Otros (1998), señalan que los primeros amplificadores y osciladores que funcionaron trabajaban a frecuencias de microondas y se denominaron máseres (*microwave amplification by stimulated of radiation*). El empleo de señales eléctricas, ha reemplazado casi por completo a todas las demás formas de transmisión de información a largas distancias, esto se debe a que las señales eléctricas son fáciles de controlar y viajan a velocidades cercanas o iguales a la de la luz.

En este sentido, la demanda de tener un mejor sistema de comunicación ha ido aumentando, puesto que, el obtener un equipo confiable, rápido y seguro se ha vuelto una prioridad e igualmente en las compañías se ha creado la necesidad de optimizar los dispositivos al punto de innovar significativamente el tipo de modulación y la capacidad para el transporte de información a grandes velocidades.

Todos estos requerimientos, han producido la necesidad de buscar soluciones que conduzcan al desarrollo de un sistema de redes y de esta manera transmitir voz, audio, datos, videos, videoconferencias e Internet mediante un



## UNIVERSIDAD

Rafael Belloso Chacín.

modulador – demodulador (MODEM) de transmisión con equipos ópticos inalámbricos conocidos como FSO (*free space opticals*).

De lo anterior se desprende, que FSO es un sistema de tecnologías óptico sin hilos que simplemente se basa en la conectividad de las unidades de FSO, cada uno consiste en un transmisor – receptor óptico con un transmisor de láser y un receptor para proporcionar capacidad bidireccional.

Actualmente, es posible montar sistemas libres de espacio óptico (FSO) dentro de los edificios, reduciendo el espacio en diferentes lugares y simplificando el cableado. El único requisito de la transmisión es la línea de vista entre los dos puntos finales del acoplamiento. FSO utiliza una fuente óptica de alta potencia (es decir, láser), un lente que transmite luz a través de la atmósfera y otro lente que recibe la información.

Con relación a este aspecto, FSO es una tecnología que utiliza el láser para proporcionar conexiones ópticas de ancho de banda. El uso del láser es similar a los cables de fibra óptica usados en transmisiones, la única diferencia es el medio, así que FSO se clasifica como un sistema de comunicaciones óptico capaz de operar a la velocidad de la luz.

Es por ello que, en la década de los setenta, el láser fue definido como una solución en busca de problemas, con el desarrollo paralelo de la robótica, en la que los sistemas láser constituyen unas máquinas potentes e imprescindibles.

En tal sentido, la necesidad de estudiar los diferentes cambios que pueden suceder cuando en la transmisión del enlace FSO láser se ve influenciada por



## UNIVERSIDAD

Rafael Belloso Chacín.

ciertos fenómenos, en particular por la lluvia y observar como varía al ir modulando su potencia.

Es importante resaltar, que la recepción de la señal algunas veces se ve afectada por fenómenos atmosféricos como la lluvia, siendo esta reconocida como una de las principales causas que alteran la propagación de la energía electromagnética interrumpiendo la transmisión.

En el proceso de transmisión, las señales que portan la información se contaminan con ruido, este es generado por muchos hechos naturales y provoca errores en la transmisión así como pérdida en la amplitud de la señal, es por ello que se hace necesario realizar un análisis de la lluvia para predecir sus efectos en enlaces FSO láser a fin de estudiar las posibles fallas en la transmisión de la señal.

Basados en esto, es que se busca una solución a esta problemática, mediante el diseño de un modulador – demodulador (MODEM) para observar el efecto de la lluvia en la transmisión y recepción del láser, ya que en un sistema de transmisión, es imprescindible la existencia de un equipo transmisor, un canal de comunicación y un dispositivo receptor, y de esta manera poder analizar los resultados que arroje la observación.

A este respecto Meyer (1999), señala que "los investigadores deben evitar dedicarse a la construcción y mejoramiento de simuladores con tal dedicación que les quede poco tiempo para su uso. La meta de una investigación con un simulador de lluvia debe ser la recopilación de datos exactos y útiles y no la





UNIVERSIDAD

Rafael Belloso Chacín.

construcción de un simulador perfecto." (p.129)

En el caso específico de esta investigación, se pretende estudiar el efecto en tiempo real que este tipo de influencia pluviométrica causa sobre los enlaces FSO láser así como también las variaciones que ocurren cuando se cambia el nivel de la potencia. Esto, puede traer como consecuencia que en dichos enlaces se produzcan errores debido precisamente a las atenuaciones de la señal, lo que produce que no exista una comunicación o que haya pérdida de la información.

**OBJETIVO GENERAL:**

Determinar la influencia pluviométrica sobre los enlaces FSO Láser con modulación en Potencia.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. Describir los efectos pluviométricos sobre los enlaces FSO Láser con Modulación en Potencia.
2. Diseñar un Modulador – Demodulador (Modem) para observar la influencia pluviométrica en la transmisión y recepción láser con modulación en potencia.
3. Identificar los factores que inciden en los enlaces FSO Láser al variar el nivel de Potencia.



UNIVERSIDAD

Rafael Beloso Chacín.

Determinar la relación de la tasa de error y la tasa de transmisión en enlaces FSO láser con modulación en potencia.

### **ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Para la realización de esta investigación, fue necesario la revisión de diferentes trabajos de investigación sobre el tema de estudio, así como el análisis de artículos relacionados al mismo, con la finalidad de tener una base conceptual y establecer criterios de aceptación o rechazo sobre la investigación. A continuación se presentan los trabajos de investigación que fueron consultados:

Molero, L. (2005), en su trabajo especial de grado: Influencia Pluviométrica sobre enlaces ópticos no guiados respecto a la tasa de transmisión, en la Universidad Dr. Rafael Beloso Chacín (URBE), Maracaibo Estado Zulia, tuvo como propósito fundamental determinar la influencia pluviométrica sobre enlaces ópticos no guiados respecto a la tasa de transmisión. La investigación es de tipo experimental y explicativa siguiendo una metodología definida, así mismo es proyectiva ya que formula y propone alternativas de solución.

La metodología utilizada consta de cuatro fases: la primera establece el diseño e implementación de herramientas experimentales; la segunda la ejecución experimental mediante la manipulación de las variables: Influencia pluviométrica y enlaces ópticos no guiados; la tercera análisis de los datos después de haber recopilado la información de la transmisión de los datos bajo la influencia pluviométrica y la cuarta fase se procedió a evaluar el sistema de



UNIVERSIDAD  
Rafael Belloso Chacín.

hipótesis planteado en la investigación.

Por otra parte, se obtuvo un total de diez muestras para nueve tasas de transmisión aplicando lluvia a un enlace óptico no guiado de potencia, longitud de onda y distancia constante, se tabularon los datos bajo un modelo de bloque completos al azar para posteriormente realizar un análisis estadístico que comprende el análisis de variancia, medias de Tukey y medias de rangos múltiples.

Los resultados obtenidos cumplen con los objetivos propuestos previamente, permitiendo analizar la influencia pluviométrica sobre los enlaces ópticos no guiados. Se concluyó que el grado de pérdida de datos producidos por el efecto pluviométrico en dichos enlaces está en un promedio alrededor de 1.0672 con respecto a enlaces sin la influencia pluviométrica.

Por otra parte, Ferrer, G. (2004), en su investigación Análisis de las tecnologías de acceso inalámbrico FSO y LMDS, en la Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín (URBE), Maracaibo Estado Zulia, enfatiza la funcionalidad de los enlaces ópticos no guiados ante situaciones de perturbación por fenómenos naturales y el análisis de los mismos al momento de su instalación.

El estudio se identificó con el tipo de investigación de campo y descriptiva con un diseño no experimental. La población fue de 50 ingenieros en el área de telecomunicaciones y la muestra fue de 15 especialistas en telecomunicaciones en la empresa PROCEDATOS. Se utilizó como instrumento de trabajo el cuestionario con preguntas abiertas y cerradas, se utilizó la documentación



UNIVERSIDAD  
Rafael Beloso Chacín.

experimental.

Los resultados obtenidos permitieron analizar cabalmente las características de funcionamiento, capacidad y posibilidad en el mercado y luego hacer una comparación entre las tecnologías mostrando las ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías que ayudará a las empresas encargadas a elegir la mejor opción basándose en su estudio imparcial.

Según Vielma (2003), en su trabajo especial de grado: Factores Atmosféricos que afectan la Tecnología Óptica de Espacio Libre, en la Universidad Dr. Rafael Beloso Chacín (URBE), Maracaibo estado Zulia, se planteó como propósito fundamental el análisis de los factores atmosféricos que perturban la tecnología óptica de espacio libre, para lograr establecer una gama de productos adecuados dentro de un despliegue de soluciones que ofrecen diversos fabricantes de sistemas de enlaces ópticos de espacio libre.

La investigación según la estrategia aplicada es de tipo documental, y de acuerdo con su diseño no experimental. Para la recolección de datos se realizaron entrevistas no estructuradas a algunos fabricantes de productos de enlaces ópticos de espacio libre y a expertos en la materia.

Los resultados obtenidos de dicha investigación cumplen con los objetivos planteados preliminarmente permitiendo analizar cabalmente la solución que provee el fabricante frente a ciertos escenarios atmosféricos especiales. Concluye que de manera significativa existe una influencia de los elementos atmosféricos sobre dichos enlaces ópticos de espacio libre.



## UNIVERSIDAD

Rafael Belloso Chacín.

En este mismo orden de ideas, Campbell (2000), en su investigación: Avances del láser para el siglo 21 en la Universidad de Alabama, tuvo como propósito estudiar la evolución de la tecnología láser desde su comienzo a mediados del siglo pasado.

La investigación es de tipo documental y diseño no experimental. Para la recolección de datos se realizaron consultas a expertos en la materia y consultas bibliográficas sobre la teoría del láser y las aplicaciones que estos poseen en el mercado.

Este estudio permitió, obtener un análisis detallado de la tecnología láser, se concluyó que la desviación con láser de asteroides, meteoritos, y cometas es probablemente la misión espacial internacional más importante para la tierra en el siglo que comienza, ya que ha recibido varias veces impactos en el pasado y recibirá impactos semejantes en el futuro.

Los antecedentes antes descritos, se consideran pertinentes con la investigación ya que dan una visión de los trabajos realizados con anterioridad sobre los Enlaces FSO láser bajo la influencia de la lluvia; estos antecedentes sirven como un marco referencial en cuanto a las teorías desarrolladas así como la metodología utilizada, lo que permite asignar un nuevo aporte en esta área que pueda ayudar a determinar la relación del error en los enlaces y los niveles de potencia del láser.



UNIVERSIDAD  
Rafael Beloso Chacín.  
**METODOLOGÍA APLICADA**

La metodología de la presente investigación cubre todos los aspectos relacionados a los objetivos de la misma, el cual es determinar la influencia pluviométrica sobre los enlaces FSO con modulación en potencia, este diseño surge por la no existencia de uno que se ajuste a las necesidades y requerimientos del tema de estudio, quedando conformado por cuatro fases, las cuales son:

**1. Fase I:** Diseño e implementación de un Prototipo, en esta fase se diseñaron las herramientas necesarias para cumplir con los requerimientos de la fase experimental y de esta manera observar la influencia pluviométrica en la transmisión y recepción láser con modulación en Potencia. También se realizaron algunos cálculos como la Velocidad de la lluvia debido a que el

microsimulador posee a lo largo de toda su parte inferior filillas de agujeros de 0.50cm los cuales generan gotas de aproximadamente 0.47cm. a 0.51cm. La velocidad de una gota de lluvia para este microsimulador, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$V(D) = 3.86 \times D^{0.65} \quad (1)$$

Donde D es el diámetro de la gota de lluvia en milímetros, y como las gotas generadas por este simulador son de 0.047 a 0.051 mm aproximadamente, por lo tanto la velocidad de la lluvia es de: 0.53 a 0.56 mm/seg respectivamente.



UNIVERSIDAD  
Rafael Belloso Chacín.

**2. Fase II:** Ejecución experimental; mediante el uso de las herramientas experimentales. En esta fase se procedió a manipular cada una de las variables objeto de estudio de la siguiente manera: (a) Ubicación del sitio; (b) Ubicación del microsimulador; (c) Instalación de los módulos; (d) Obtención de los Bits y (e) Pruebas.

**3. Fase III:** Análisis de los datos; luego de la recopilación de la información resultante de la transmisión y recepción de la señal mediante los Enlaces FSO láser variando el nivel de potencia y bajo la influencia pluviométrica, se procedió a analizar dichos resultados. Donde se obtuvo gráficamente los siguientes datos para el análisis estadístico de las medias de BER tanto para alta potencia como para baja.

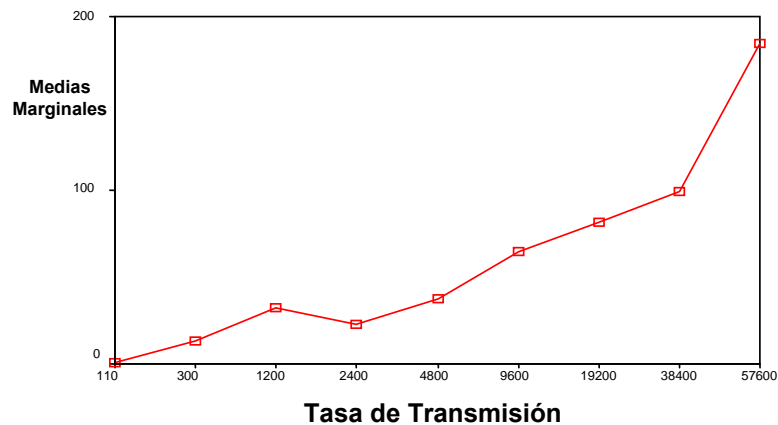


GRÁFICO 1

**COMPARACIÓN DE TUKEY A UN NIVEL DE POTENCIA ALTO**



UNIVERSIDAD  
Rafael Beloso Chacín.

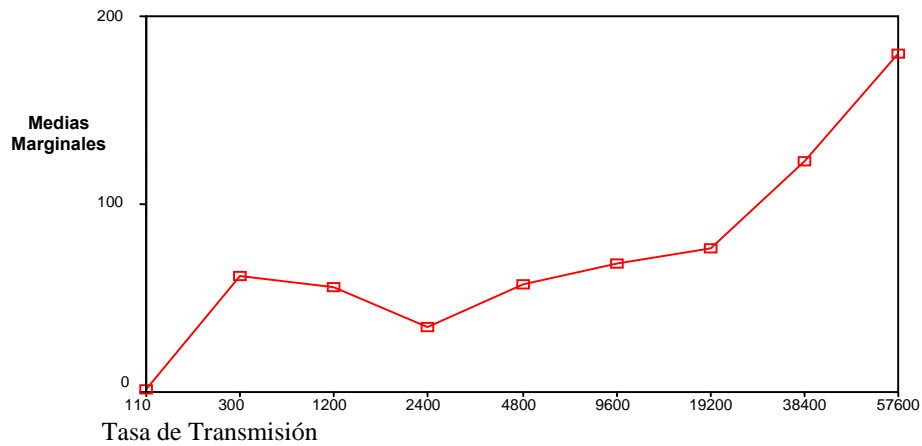
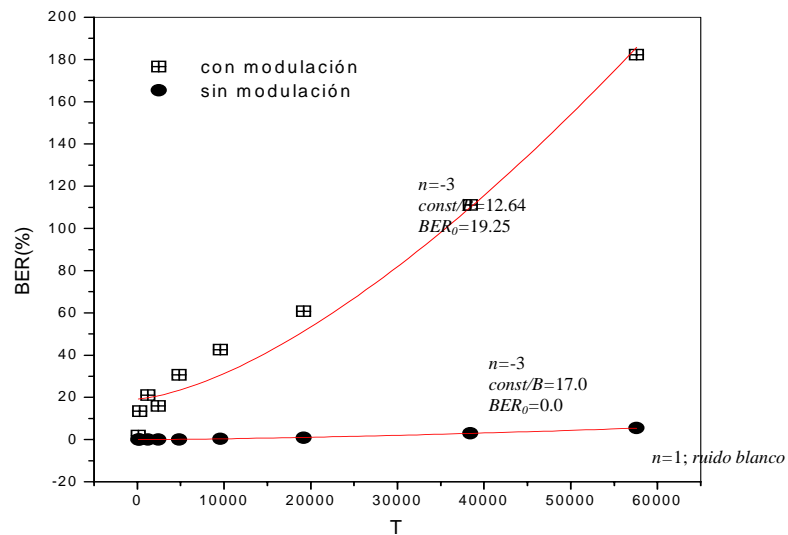


GRÁFICO 2

### COMPARACIÓN DE TUKEY A UN NIVEL DE POTENCIA BAJO

En cuanto a los análisis de la función del error complementaria se obtuvo la siguiente gráfica:







UNIVERSIDAD  
Rafael Belloso Chacín.

### GRÁFICO 3

#### **FUNCIÓN DEL ERROR COMPLEMENTARIA PARA EL PROMEDIO DE ALTA Y BAJA POTENCIA Y PARA LOS DATOS DE MOLERO (2005)**

**4. Fase IV:** Estudio de la tasa del Error; luego del análisis de los resultados se procedió a realizar los cálculos necesarios para determinar la variación en la transmisión, ganancia y atenuación de la señal con el fin de satisfacer los objetivos de la investigación.

#### **DISCUSION DE LOS RESULTADOS**

Una vez realizados los análisis estadísticos de la fase anterior, se concluye que los enlaces FSO láser a diferentes niveles de potencia en presencia de la lluvia generan un mayor número de bits de error para diferentes tasas de transmisión.

En este sentido, para poder determinar si existe o no perturbación en los enlaces FSO láser en presencia de la lluvia se procedió a realizar un estudio exhaustivo del comportamiento del láser, de sus aplicaciones, entre otros aspectos.

Existe un punto muy importante, que se refiere al estudio de los modelos matemáticos, donde Couch (1997), señala que la detección no coherente sobre señales AOK más ruido gaussiano refleja que en un ambiente libre de perturbaciones los valores correspondientes a la tasa de bit de error es igual a cero.



## UNIVERSIDAD

Rafael Belloso Chacín.

A partir de estos datos, se empezó a realizar los cálculos, uno de ellos fue el cálculo de la tasa de los bits de error (BER), sobre señales AOK más un ruido gaussiano que resultaron de gran interés en la presente investigación, puesto que se refleja que en presencia de la lluvia se generan bits de error a cualquier tasa de transmisión, pero a medida que se incrementa la tasa de transmisión mayor es el valor de BER.

Basados en lo anterior, Ferrer (2004), señala que “las gotas pequeñas de agua pueden modificar las características de la luz e incluso impedir el paso de la misma, usando una combinación de absorción, dispersión y reflexión” (p.59).

En cuanto a los enlaces FSO láser de alta potencia, el valor de BER es un poco menor pero significativo que el de los enlaces FSO láser con nivel de baja potencia y si se compara estos dos resultados tanto en alta como en baja potencia con respecto a un ambiente sin la presencia de la lluvia se observa que está última no se obtienen bits errados, es decir, que el valor de BER para los enlaces FSO láser sin la influencia pluviométrica es igual a cero.

De acuerdo con los valores obtenidos de BER, para niveles altos de potencia, en las cinco pruebas realizadas para las diferentes tasas de transmisión que van desde los 110bps hasta los 57600bps (sólo se realizó hasta aquí el experimento debido a que a más alta tasa de transmisión la emisión del láser no podía ser leída por el Modulo receptor), se concluyó que existe diferencia significativa entre los enlaces FSO láser bajo la influencia pluviométrica con respecto a los enlaces FSO láser sin la presencia de la lluvia.



## UNIVERSIDAD

Rafael Belloso Chacín.

De esta misma manera, se analizó los valores de BER para el nivel de Baja Potencia, llegando a la conclusión de que existe una diferencia significativa en los enlaces FSO láser con presencia de la lluvia con respecto a los enlaces sin la presencia de la misma.

Otro punto importante es, el análisis de varianzas para un modelo de bloques completos al azar y la prueba de medias de Tukey, ya que se observó claramente el grado de atenuación existente en cada bloque, siendo mucho mayor en los enlaces FSO láser con presencia de lluvia al de los enlaces FSO láser sin la presencia de perturbaciones pluviométricas.

Luego de realizar el análisis de varianzas, se realizó el cálculo de la estimación de la curva con el fin de evaluar los modelos que existen y determinar la ecuación de predicción y de esta manera observar la tasa de error en función de la tasa de transmisión, esto se realizó con el fin de encontrar la ecuación de linealidad más acorde para esta investigación. El valor del modelo que más se ajustó fue el de la ecuación de potencia, debido a que el criterio de selección era el  $R^2$  y el de esta ecuación es el más grande, también se observan los gráficos obtenidos de este análisis.

Finalmente, se realizó el estudio del análisis del modelo de la función de error complementaria, donde se realizó el cálculo del modelo teórico de la función error complementaria y a través de una gráfica se observó que el comportamiento de la misma era una función potencial.

La técnica de modulación de potencia incrementa la tasa de error de bit



## UNIVERSIDAD

Rafael Belloso Chacín.

(BER), con respecto a la tasa de transmisión con potencia constante. Sin embargo, se observa que no hay diferencias significativas al modular con baja potencia o alta potencia.

La modulación introduce un ruido de fondo que afecta el BER ( $BER_0$ ). A su vez, se tiene que la razón señal-ruido (S/N) es proporcional a la tasa de transmisión (T), es decir:

$$\frac{S}{N} \propto T^n \dots\dots\dots(2)$$

Donde n es un índice entero que identifica la causa del ruido. Por lo que, para ruido blanco  $n=1$ , mientras que para la lluvia  $n = -3$ . Con los valores obtenidos en la fase III para alta y baja potencia, se observa que los datos de estos niveles de potencia también se aproximan a esta curva para un valor de  $n=-3$ . Del mismo modo, se aplicó esta función de error complementaria con los datos del experimento de Molero (2005), por lo que este índice ( $n= -3$ ) es fenomenológico, y se desconoce su origen.

## CONCLUSIONES

Los sistemas de comunicaciones han ido progresando, ya que a medida que crece la industria se diseñan mejores equipos con características confiables al momento del intercambio de información, es por eso, la búsqueda de mejores y mejores métodos al momento de optimizar los dispositivos al punto de innovar



## UNIVERSIDAD

Rafael Belloso Chacín.

significativamente el tipo de modulación y la capacidad para el transporte de información a grandes velocidades.

Esta búsqueda conduce al desarrollo de un sistema de redes que permita transmitir voz, audio, datos, videos, videoconferencias e Internet mediante un modulador – demodulador (MODEM) de transmisión con equipos ópticos inalámbricos conocidos como FSO (*free space opticals*).

Es por ello, que en esta investigación se realizó un estudio de los enlaces FSO láser bajo la influencia pluviométrica, para observar la transmisión de la señal a diferentes niveles de potencia.

En este sentido, es necesario señalar que como el clima siempre está bajo la influencia de la atmósfera está desempeña un papel significativo en muchos procesos, entre ellos está la influencia que posee al momento de transmitir alguna señal que es el caso de interés para esta investigación. Existen un gran número de efectos pluviométricos, pero para este estudio se consideró solo la lluvia, con una velocidad de 0.53 a 0.56 mm/seg aproximadamente, con el fin de poder realizar las pruebas con datos precisos y constantes.

Para realizar el estudio de la lluvia en los enlaces FSO láser, se procedió a la implantación de un microsimulador, el cual genera las gotas de la lluvia de una forma constante, este dispone de una llave de paso en uno de los lados para la alimentación de agua, dicha llave permite cerrar/cancelar o abrir/graduar el flujo de agua si se requiere.

En cuanto al diseño del Modulador, este se realizó con el fin de poder



## UNIVERSIDAD

Rafael Belloso Chacín.

transmitir las señales de los enlaces FSO, y observar cuando la señal llega a su destino para ello se requiere de otro módem el cual se encarga de reconstruir la señal digital primitiva, de este proceso se encarga la computadora receptora. En esta investigación se transmitió la señal de modo Half-duplex, ya que se quería estudiar detalladamente la recepción de la transmisión al verse influenciada por la lluvia, esto se logró observar a través del HiperTerminal del Computador.

Los resultados que se obtuvieron con estas pruebas, fueron de gran ayuda al momento de realizar el cálculo de BER, ya que se comprobó que si existe un factor predominante como lo es la lluvia al momento de transmitir los datos. La forma de cómo se transmiten los datos es a través de los módulos y para observar los datos que estos transmitían fue por medio de la computadora.

Los cálculos de BER, se obtuvieron al realizar las pruebas de transmisión de la señal señaladas anteriormente a diferentes tasas de transmisión durante un periodo en cada prueba de 10 minutos tanto para un nivel de potencia bajo como alto. Llegando a la conclusión que, entre mayor es la tasa de transmisión mayor es la tasa de error en la transmisión de la señal existente.

Por otra parte, se realizaron otros cálculos como la prueba de medias de Tukey, señalando que bajo la influencia pluviométrica existe un valor significativo que está muy por encima del promedio para el mismo enlace sin la presencia de la lluvia.

Otro aspecto importante, es la aproximación del modelo a uno ya existente, para determinar la ecuación de predicción, ya que esto ayudó a la investigación a



UNIVERSIDAD  
Rafael Belloso Chacín.

hallar la estimación de la curva y de esta manera poder encontrar una ecuación de linealidad más acorde. Por medio de esta ecuación, se logró estimar una tasa de error, es decir, el grado de atenuación dependiendo de la tasa de transmisión y del nivel de potencia.

En este mismo orden de ideas, basados en los resultados de los análisis obtenidos en una de las fases del capítulo IV y con los estudios teóricos realizados al respecto en el capítulo II, es que se puede concluir que el aumento del nivel de potencia no mejora mucho a que la transmisión de la señal contengan menos bits de error.

Por otra parte, se realizó el análisis del modelo mediante la función de estimación del error, a través de la fórmula propuesta en el Capítulo IV se obtuvo un valor de  $n$  (valor entero que indica ruido en la señal) para la influencia de la lluvia en la transmisión del enlace FSO láser de  $-3$  en ambos niveles de potencia (alto y bajo). Por medio de este valor de  $n = -3$ , se observó el comportamiento del modelo el cual es aproximadamente a una señal potencial.

La técnica de modulación de potencia incrementa la tasa de error del bit (BER), con respecto a la tasa de transmisión con potencia constante. Sin embargo, se observa que no hay diferencias significativas al modular con baja potencia o alta potencia.

La modulación introduce un ruido de fondo que afecta el BER ( $BER_0$ ), y como la razón señal-ruido (S/N) es proporcional a la tasa de transmisión.

Por otra parte, se tomaron los datos obtenidos por Molero (2005), para



## UNIVERSIDAD

Rafael Belloso Chacín.

enlaces ópticos no guiados, para observar el comportamiento del modelo de estimación del error a través de la ecuación (expresada en el capítulo IV) y se obtuvo el mismo valor de  $n=-3$ , este índice es fenomenológico, y se desconoce su origen para los enlaces FSO láser y bajo la influencia pluviométrica.

### RECOMENDACIONES

Partiendo de las conclusiones y de los análisis de los resultados de esta investigación, es que se pueden plantear las siguientes recomendaciones:

A nivel tecnológico, desarrollar tecnologías que permitan el buen funcionamiento de los enlaces FSO láser bajo condiciones climáticas adversas. Así como también, diseñar dispositivos de más alcance al momento de transmitir la señal, con el fin de optimizar la calidad de la transmisión.

A los profesores, motivar al estudiantado desde el inicio de la maestría sobre este tema mediante charlas. Extender las horas de consulta, intercambiar información o inquietudes por parte del estudiante a través de debates.

A la Universidad, desarrollar líneas de investigación tanto para pregrado como para postgrado orientadas a las tecnologías de transmisión de la señal a través de diferentes medios, ya que existen pocas áreas de estudio relacionadas sobre este tema. Así como también realizar conferencias o congresos sobre este tema.





## UNIVERSIDAD

Rafael Beloso Chacín.

A los estudiantes, desarrollar estudios sobre los enlaces FSO láser bajo la influencia de efectos tales como: el gas, nieve, cambios de temperatura, entre otros, ya que sería interesante saber cuál es el comportamiento de la transmisión de la señal cuando son perturbados bajo otros efectos.



UNIVERSIDAD  
Rafael Beloso Chacín.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaya, A. (2002). **Sistema óptico inalámbrico (Optical Wireless) como enlace de última milla.** Universidad Dr. Rafael Beloso Chacín.

Atlas and Ulbrich (1977). **Path- and area integrated rainfall measurement by microwave attenuation in the 1-3 cm band.**

<http://www.geo.vu.nl/~trendy/C7.pdf>

Arias, M.A., López Ruiz y Trigo, E. (1999). **Diseños Experimentales: Planificación y análisis.** Sevilla: Editorial Kronos.

Bavaresco, Aura M. (1999). **Las técnicas de investigación.** Madrid: Editorial South-Western

Ballestrini (1998). **Técnicas de la Investigación.** Madrid: Editorial McGraw-Hill.

Briones (1990). **Métodos y técnicas de investigación para las ciencias sociales.** México: Editorial Trillas.



UNIVERSIDAD

Rafael Belloso Chacín.

Campbell, F. (2000). **Avances del láser para el siglo 21**. Universidad de Alabama.

Carlson, Robert (2001), **Environmental qualification and fiel test results for the sonabeam.**

[http://www.systemsupportolutions.com/datasheets/tech\\_qual-tet.pdf](http://www.systemsupportolutions.com/datasheets/tech_qual-tet.pdf)

Carrol, J. (1998). **Fundamentos y aplicaciones del láser**. Barcelona: Editorial Boixareu.

Chavarri, Eduardo (2004). **Curso: Hidrología Aplicada**. Universidad Nacional Agraria La Molina - Facultad de Ingeniería Agrícola.

Couch II, León W. (1998). **Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos**. México: Editorial Prentice Hall.

Espitia, Hurtado y Reyes, Pinilla (2001). **Sistemas de transmisión de datos vía láser como solución de última milla**. Universidad Pontificia Javariana de Bogotá.

Ferrer, Gustavo (2004). **Análisis de las tecnologías de acceso inalámbrico FSO y LMDS**. Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín.



UNIVERSIDAD  
Rafael Belloso Chacín.

H. WEICHEL (1998). "**Laser Beam Propagation in the atmosphere**". **SPIE Optical Engineering press**. Bellingham: Editorial: Prentice Hall.

Heatley, David (1999). **OpticalWireless: The story so far**.

[http://www. comm.toronto.edu/woc/research/industrial.html](http://www.comm.toronto.edu/woc/research/industrial.html)

Hecht, J. y Teresi, D. (1997). **El rayo láser**. Barcelona: Editorial: Argos Vergara.

Hernández, Fernández y Baptista (1997). **Metodología de la Investigación**. México: Editorial McGrawHill Interamericana

Kim, J. y Hakakha, P. (1997). **Measurement of scintillation and link margin for the Terra Linçlaser communication system**. SPIE pp. 100-118

Kim, McArthur y Korevaar (2002). **Comparasion of laser bean propagation at 785 nm and 1550 nm in fog and haze for optical wireless communications**.

<http://www.mrv.com>

Kuehl (2001). **Diseño de Experimentos: Principios Estadísticos de Diseño y Análisis de Investigación**. México: Editorial Thonsom

Mauldin, John. (1991). **Luz, láser y óptica**. Madrid: Editorial McGraw-Hill.



UNIVERSIDAD  
Rafael Beloso Chacín.

Mendez, I (1997). **Lineamientos Generales para la planeación de Experimentos.**

Monografía No. 15, Vol. 15 IIMAS.

Molero, Luís (2005). **Influencia pluviométrica sobre enlaces ópticos no guiados respecto a la tasa de transmisión.** Universidad Dr. Rafael Beloso Chacín.

Ramírez (1999). **Cómo hacer un proyecto de investigación: Guía práctica.**

Caracas: Editorial Panapo.

SABINO, Carlos A. (1999), **Cómo Hacer una Tesis, Guía para Elaborar y Redactar Trabajos Científicos.** Caracas: Editorial Panapo.

Sampieri (2003). **Metodología de la Investigación.** Madrid: Editorial McGraw-Hill.

Steel (1996). **Bioestadística: principios y procedimientos.** México: Editorial McGraw-Hill.

Thomas, E. y Duncan, M. (1993). **Transmisión atmosférica.** Bellingham: Editorial SPIE Press.



UNIVERSIDAD  
Rafael Beloso Chacín.

Tamayo y Tamayo (1995). **El proceso de la investigación científica**. México:  
Editorial Limusa

Vielma (2003). **Factores atmosféricos que afectan la tecnología óptica de espacio libre**. Universidad Dr. Rafael Beloso Chacín.

Vinacua (2002). **Análisis Estadístico con SPSS para Windows**. Interamericana:  
Editorial McGrawHill.

Zemansky, Mark W. (2001). **Calor y Termodinámica**. Madrid: Editorial Panapo.

**Derechos de Autor** © Este artículo es propiedad intelectual del **Ing. Hanani Gandica**. Se prohíbe su reproducción sin el debido crédito a su autor. Si se reproduce, debe mantenerse esta notificación de propiedad intelectual.