



## INFLUENCIA DEL DIÁMETRO Y ÁNGULO DE GOTA DE LLUVIA SOBRE EL BER EN ENLACE FSO

(Influence of diameter and angle of raindrop on the fso link ber)

Recibido: 18/04/2013 Aprobado: 10/10/2103

**De Salvo Pineda, Renzo**

URBE - Universidad Privada Dr. Rafael Beloso Chacín, Venezuela

[ingdesalvor@gmail.com](mailto:ingdesalvor@gmail.com)

### RESUMEN

Se planteó como propósito fundamental de este trabajo de investigación la influencia del diámetro y ángulo de la gota de lluvia en un enlace óptico en el espacio libre (FSO) respecto a la tasa de error de bit (BER), para lograr obtener como resultados los índices en relación a la pérdida de datos producto de la exposición de este tipo de enlaces al fenómeno de lluvia con distintos diámetros de gota de lluvia y ángulos de precipitación. La investigación según su tipo es explicativa y su diseño experimental. La información fue recabada con la búsqueda de textos tales como Urdaneta (2005), entre otros, quienes sustentarán las teorías presentes para la influencia del diámetro y ángulo de la gota de lluvia sobre los enlaces FSO. Para esta investigación se realizó un sistema de hipótesis, donde  $H_0$  indica que los valores del BER no son afectados en el enlace FSO debido a la influencia del diámetro y ángulo de la gota de lluvia mientras que la hipótesis alternativa  $H_i$ , señala todo lo contrario. Por otra parte, se obtuvieron un total de 12 muestras para 3 diámetros de gota de lluvia con 4 distintos ángulos de precipitación, con longitud de onda, tasa de transmisión y distancia constante; se tabularon los datos bajo un modelo de cuadrado latino para posteriormente realizar un análisis estadístico que comprende el análisis de varianza. La discusión de dichos resultados concluyó que el BER en un enlace FSO disminuye a medida que el diámetro y ángulo de precipitación de la gota de lluvia se incrementan, tal como lo define la ecuación obtenida de un análisis de regresión lineal donde  $BER = 5.14 - 1.694 \times (\text{Diámetro de la gota}) - 0.199 \times (\text{Ángulo de precipitación})$ ; por lo que se rechaza la hipótesis  $H_0$  al no ajustarse a los resultados obtenidos y dando lugar a la hipótesis  $H_i$  como válida.

**Palabras clave:** Influencia, Diámetro, Ángulo, Gota, Enlaces FSO, BER.

### ABSTRACT

The fundamental purpose of this investigation is the influence of diameter and angle of raindrop on on the space free optical (FSO) link bit error ratio (BER) in order to gain as a result, rates in relation to data loss from exposure to FSO links to the phenomenon of rain with different diameters and angles raindrop. The investigation according to its type is explanatory and design experimental. The information was collected with the search for texts such as Urdaneta (2005), among others that sustained the present theories for the Influence of diameter and angle of raindrop and FSO links. For this investigation was necessary an hypothesis system, where  $H_0$  indicates that the BER values are not affected



in FSO links due to the influence of the diameter and angle of the raindrop while the alternative hypothesis  $H_1$ , indicates the opposite. On the other hand, it was obtained a total of 12 samples for 3 rain drop diameters with 4 different angles of precipitation, with a constant wavelength, transmission rate and distance, the data were tabulated under a Latin square model for subsequent statistical analysis including analysis of variance. The discussion of the results concluded that the FSO link BER decreases as the diameter and angle of raindrop increases, as defined by the equation obtained from a linear regression analysis where  $BER = 5.14 - 1694 \times (\text{drop diameter}) - 0.199 \times (\text{Angle of precipitation})$ , so that  $H_0$  is rejected by not conforming to the results and leading to the hypothesis  $H_1$  as valid.

**Keywords:** Influence, Diameter, Angle, Raindrop, FSO Links, BER.

## INTRODUCCIÓN

El hombre desde su aparici n siempre ha manifestado la necesidad de comunicarse, y a lo largo de su evolución ha estado trabajando día a día en el desarrollo de este aspecto. Para el siglo XX, las telecomunicaciones pasaban a ser un tema de enfoque globalizado, por lo que se empezaron a diseñar infinidades de canales de información para facilitar su funcionalidad a lo largo y ancho del mundo. Fue en este punto en el que el desarrollo del mismo se dividió en 2 formas fundamentales: medios guiados y no guiados.

Con relación a este aspecto se indica que el esquema presentado sobre los enlaces FSO, el cual es una transmisión inalámbrica l aser por infrarrojos punto a punto diseñada para la interconexión de dos puntos situados en línea de visión directa. Los sistemas operan tomando una señal estándar de datos o telecomunicaciones, convirtiéndola a formato digital y enviándola a través del espacio libre.

El transporte utilizado para la transmisión de esta señal es la luz infrarroja, generada por LED de alta potencia o diodo(s) l aser de baja potencia. El FSO es un medio no guiado, aplicando la influencia del diámetro y ángulo de la gota de agua de lluvia sobre los mismos respecto a la tasa de transmisión, y refleja una problemática existente en este tipo de enlaces por el llamado efecto lluvia.

Por consiguiente, un enfoque experimental permitiría evaluar los efectos de forma precisa y en tiempo real que este tipo de perturbaciones causa sobre los enlaces FSO, cuyo uso en los actuales momentos es sumamente flexible y aplicable a casi todas las implementaciones de redes en el mercado actual.

En el caso de esta investigación, se encontrará que la misma es de tipo experimental y explicativa, buscando profundizar en las consecuencias de la variación tanto del diámetro de la gota de agua de lluvia y su ángulo de precipitación sobre el BER en un enlace FSO.

A continuación se exponen aspectos ambientales que dan origen a la variable independiente de la investigación, causante de la problemática en cuestión, seguido de los aspectos tecnológicos que originan la variable dependiente de la misma:



## PRECIPITACIONES

De acuerdo con Urdaneta (2005), se llama precipitación al agua que cae sobre la tierra; en general de forma líquida, pero también puede ser sólida como la nieve o el granizo. Las precipitaciones tienen muchas formas de manifestarse, entre ellas se puede encontrar la lluvia, llovizna, nieve, lluvia helada, granizo, pedrisco, rocío, escarcha, cencellada y alguna otra de menor transcendencia.

## TAMAÑO DE LA GOTA

Toda gota de lluvia es formada desde dimensiones insignificantes, las cuales son partículas macroscópicas, hasta aquellas que cuyo tamaño impide que en su caída libre conserve su integridad, es decir, una variación entre seis y siete milímetros. El caso más común son aquellas gotas que varían entre dos y tres milímetros.

## SIMULADORES DE LLUVIA

Los simuladores de lluvia son instrumentos de investigación diseñados para aplicar agua de forma similar a los episodios tormentosos naturales. Son útiles para obtener datos de erosión, infiltración, escorrentía superficial, transporte de sedimentos entre otros.

## TECNOLOGÍA INALÁMBRICA ÓPTICA DE ESPACIO LIBRE

Según Ferrer (2004), la tecnología óptica de espacio libre se puede definir como la utilización de tecnología fotoeléctrica para transmisión de datos a través de un espacio libre, como lo es la atmósfera terrestre. Esta tecnología no es más que una tecnología de línea de vista, que utiliza rayos láser o infrarrojos para proveer conexiones de ancho de banda típicas de los enlaces ópticos.

Esta tecnología requiere solo la luz, la cual puede ser obtenida de un LED o de un LASER (Luz Amplificada por Emisión Estimulada de Radiación). El uso del láser es similar a su uso en las transmisiones usando cable de fibra óptica, la única diferencia es el medio.

La luz puede viajar a través del aire tan rápido como puede hacerlo a través del vidrio, por eso es merecida la clasificación de sistema óptico de espacio libre, como comunicación óptica a la velocidad de la luz.

## FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS ÓPTICOS DE ESPACIO LIBRE

De acuerdo con Espitia (2001; citado por Aparicio, 2005), esta tecnología es relativamente simple. Está basada en la conexión entre dos unidades ópticas, cada una de las cuales consiste en un transceptor, el cual es un transmisor y receptor láser, lo que las hará capaces de proveer bidireccionalidad de conexión, es decir, conectividad full dúplex. Cada unidad óptica usa un emisor óptico de alta potencia (un láser), además de un lente que transmite el haz de luz a través de la atmósfera hacia otro lente (unidad receptora) que recibe la información transmitida.



El lente de la unidad receptora conecta vía fibra óptica a un receptor de luz hipersensible que recibe la información, la cual es un flujo de fotones cargados con datos de cualquier tipo. Los sistemas ópticos de espacio libre pueden funcionar a través de distancias de varios kilómetros, siempre y cuando haya línea de vista entre el origen y el destino del haz de luz y potencia suficiente para transmitir la señal.

### CLASIFICACIÓN DEL LÁSER

Esta clasificación indica el nivel de seguridad del transmisor. Esta va a ser determinada principalmente por la longitud de onda y la potencia de transmisión de cada láser. Generalmente los equipos FSO cumplen en alguna de las siguientes clasificaciones:

#### a. LÁSER CLASE 1M

Transmisores láser que son completamente seguros aun cuando son vistos directamente con el ojo sin protección alguna.

#### b. LÁSER CLASE 3B

Transmisores que normalmente son peligrosos si se tiene una exposición directa con el láser.

### LONGITUD DE ONDA

**Cercano a los 800 nm:** Esta longitud de onda se encuentra dentro del espectro conocido como Región de Riesgo Retinal, debido a que esta puede llegar a dañar la retina del ojo en caso de incidencia con el rayo. En este caso la única forma de poder tener un nivel de seguridad aceptable es transmitiendo a una potencia relativamente baja.

### EI BER

Según Huidobro (2004; citado en Rubio, 2007) el BER (Bit Error Rate), tasa de error de bit, es función de la energía por bit de información y de la DEP de ruido en el total del enlace. La energía por bit de información se define como la energía acumulada en el receptor debido a la recepción de la potencia de portadora durante el intervalo de tiempo que conlleva la recepción de 1 bit de información. Por tanto se tiene la ecuación (1) a continuación:

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{CIR_b}{N_{oi}} = \frac{(CIN_o)}{R_b} \quad (1)$$

La relación de  $E_b/N_o$  con el BER depende del tipo de modulación y del esquema de corrección de errores (FEC) usado. Se ha de destacar que el FEC no elimina por completo los errores, simplemente reduce la tasa de error.



Para efectos prácticos en la investigación se hará el cálculo del BER basado en el número de tramas detectadas con error, estableciendo su relación con el número totales de tramas transmitidas para determinar con ello la probabilidad de error. Una vez definido esto se obtendrá el BER del producto con la tasa de transmisión quedando la siguiente expresión (2):

$$\text{BER} = \frac{N^{\circ} \text{ tramas con error}}{N^{\circ} \text{ trama transmitidas}} * \text{tasa de transmisión} \quad (2)$$

## MARCO METODOLÓGICO

A continuación se plantean las estrategias metodológicas establecidas para responder a las preguntas de la investigación y a los objetivos planteados en la investigación, comprende el tipo y diseño del estudio y procedimientos de la investigación así como las fuentes y técnicas de recolección de datos utilizadas. Del mismo modo, se describe la metodología aplicada y el análisis estadístico, a fin de realizar un estudio de los datos que permitan cumplir con los objetivos de la investigación.

## TIPO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación a emplear es explicativo, la cual trata de determinar la presencia de una causa y un efecto definidos. Esto implica que una vez que se usa este método, puede emitirse un juicio acerca de que si A causa que B suceda o A no causa que B suceda. Otros métodos como los modelos históricos y descriptivos no ofrecen este lujo (Salkind, 1997).

Por otro lado, como lo expresa Hernández, Fernández y Baptista (2003), en este tipo de investigaciones se va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos, ellas están dirigidas a responder las causas de los eventos, sucesos y fenómenos físicos o sociales. De los supuestos anteriores se desprende que la presente investigación explica el porqué la influencia del diámetro y ángulo de la gota de lluvia afecta al enlace FSO, respecto a los valores del BER en una transmisión de datos.

## DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo experimental debido a que la misma manipula las variables objeto de estudio, influencia del diámetro y ángulo de la gota de agua y enlace FSO.

Asimismo, según Hernández, Fernández y Baptista (2006), los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control, es decir, los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula.



La presente investigación es experimental, debido a que se manipula la variable de gota de agua por medio de un valor no constante del diámetro y ángulo de la misma, afectando a un enlace FSO, con una potencia de señal, distancia, longitud de onda y tasa de transmisión constante, a los fines de recopilar toda la información necesaria para realizar un análisis exhaustivo y establecer si la tasa de error BER en el enlace FSO debido a la gota de agua se afectan al variar el diámetro y ángulo de la misma, para de esta manera contrastarlas con las teorías anteriormente expuestas y lograr los objetivos fijados en este estudio.

De acuerdo a lo antes expuesto, la presente investigación pretende experimentar las diferentes tasas de error y consecuente pérdida de información que puede sufrir el enlace FSO con un nivel de potencia, longitud de onda y distancia constante sobre diferentes tasa de transmisión al estar bajo la influencia de la gota de agua en cuanto a su diámetro y ángulo de inclinación, situando dicha información compilada en bloques para su posterior análisis y discusión.

### **UNIDAD DE ANÁLISIS**

La unidad de análisis empleada para la presente investigación será un experimento compuesto por dos variables independientes y una dependiente.

### **TÉCNICA DE OBSERVACIÓN**

La técnica de observación empleada fue de tipo directo, a través del montaje del experimento.

### **PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

El procedimiento a seguir para el desarrollo de la presente investigación está conformado por cuatro fases, las cuales son:

a. Fase I: diseño e implementación de herramientas experimentales; en esta fase se diseñaron las herramientas necesarias para cumplir con los requerimientos de la fase experimental, divididas en cuatro sub fases:

- Diseño del micro simulador de lluvia, el cual es de tipo sin presión y consta de dos componentes fundamentales; sería en primer lugar un receptáculo cuyas medidas son: 50 cm profundidad, 50 cm de ancho y 65 cm de alto. Dentro del mismo se simularía la lluvia empleando distintas plantillas en la parte superior del receptáculo, las cuales, siendo láminas PVC de 4 mm de espesor, tendrían cada una perforaciones aleatorias a distintos diámetros, para poder contemplar los distintos tamaños de gota de lluvia.

Es importante aclarar que los 4 mm de espesor de la lámina PVC es la medida justa y necesaria para la adecuada formación de la gota de agua. Volviendo al receptáculo, el mismo está conformado por cuatro caras, de las cuales dos son de vidrio de 5 mm de espesor y dos son de acrílico de 3 mm de espesor, dispuestas de manera paralela respectivamente. El propósito de esta disposición se debe a las aberturas que habrá en



las láminas de acrílico para permitir el paso de la transmisión de datos sin que se vea afectada por algún agente perturbador como lo sería la refracción causada por el vidrio.

En las paredes de acrílico son apreciables las aberturas mencionadas anteriormente, en una cara con una medida de 10 cm de ancho y 6 cm de alto, ubicado a 12 cm de altura respecto al fondo del receptáculo, así como un desagüe de 1" de diámetro en la esquina inferior derecha.

Por otro lado, su opuesto consta de una abertura mayor de 10 cm de ancho por 41 cm de alto, ubicado de igual forma a 12 cm de altura por encima del fondo del receptáculo, y cuya altura de 41 cm finaliza 12 centímetros antes del tope de la receptáculo, dichas dimensiones permitirán la variación del ángulo de inclinación del enlace FSO para su respectivo propósito de estudio.

Es relevante destacar el hecho de que, la elección de las láminas de acrílico se debió a que su composición permite la abertura de agujeros en la misma sin la debilitación de la estructura, lo cual implica una ventaja clara sobre la idea de realizar los mismos cortes en una lámina de vidrio.

Así mismo, en el diseño del micro simulador de lluvia, encontramos la estructura encargada de soportar tanto el receptáculo como el enlace FSO. Dicha estructura fue fabricada con base en ángulos metálicos de 1" de ancho, lijados y pintados con una pintura anti-corrosión para luego ser soldados en puntos estratégicos.

Dicha estructura tendría una altura máxima de 1.50 mts, separando cada pilar por vigas de 55 cm de ancho, vigas que conforman por así decirlo un anillo, los cuales están ubicados en la parte inferior, y media de la estructura para otorgarle resistencia a la misma.

- A continuación se procedió a la fijación del enlace FSO, el cual es un dispositivo de transmisión de datos mediante luz de led, encargado de realizar la transmisión de datos de un extremo a otro del receptáculo, donde un espejo devolverá la señal enviada haciendo la función de loopback.

- El enlace FSO estará conectado a un generador de tramas Acterna ANT-5 SDH Access Tester, el cual se encargará de colocar una trama en el medio para recibirla de vuelta y ser sometida a una comparación para realizar un conteo de errores.

- Determinación de los valores del BER en un enlace FSO sometido a los distintos ángulos y diámetros de gota de lluvia.

b. Fase II: ejecución experimental; se procedió mediante el uso de las herramientas experimentales explicadas anteriormente a la manipulación de las variables objeto de estudio: influencia del diámetro y ángulo de gota de lluvia y enlace FSO.

c. Fase III: análisis de los datos; luego de la recopilación de la información resultante de la transmisión de los datos bajo la influencia de los variados diámetros de gota de lluvia y ángulos, se procedió a analizar dichos resultados, mediante la inserción de los



datos recopilados en un diseño de cuadrado latino, para una posterior discusión de los resultados.

d. Fase IV: evaluación de hipótesis; finalmente luego de la discusión de los resultados se procedió a evaluar el sistema de hipótesis planteado en la presente investigación a los fines de satisfacer los objetivos proyectados de la misma.

### ANÁLISIS DE LOS DATOS

Seguidamente se hizo uso del análisis de la varianza a través del diseño de cuadrado latino para procesar los datos recolectados del experimento, dichos datos se muestran a continuación:

**Tabla 1. Bloque con valores del BER a distintos diámetros de gota de lluvia y ángulos de inclinación**

Diámetro de gota de agua	Ángulo de inclinación	Valores del Ber
0mm	0°	0.000E+00
0mm	15°	0.000E+00
0mm	30°	0.000E+00
0mm	45°	0.000E+00
1.00mm	0°	2.788E-04
1.00mm	15°	5.129E-04
1.00mm	30°	3.817E-04
1.00mm	45°	1.620E-04
2.11mm	0°	6.035E-05
2.11mm	15°	8.047E-05
2.11mm	30°	3.725E-05
2.11mm	45°	1.327E-05
3.02mm	0°	1.306E-07
3.02mm	15°	1.531E-07
3.02mm	30°	9.743E-08
3.02mm	45°	7.269E-08

Fuente: elaboración propia.

Con el propósito de determinar los diámetros y ángulo de gota de lluvia que afectan de forma crítica al BER en enlaces FSO, se analizan los resultados obtenidos en el experimento, empleando un análisis de la varianza univariante, propio de un diseño completamente aleatorizado con un arreglo factorial de los tratamientos, el cual se representa en el siguiente modelo estadístico lineal:

$$Y_{ij} = \mu + \text{Gota}_i + \text{Ángulo}_j + (\text{Gota} \times \text{Ángulo})_{ij} + E \quad (3)$$

Donde:

$Y_{ij}$ : Es la observación del BER

$\mu$ = es el efecto de la media





$Gota_i$  = es el efecto de la Gota  $i=1...3$

$\text{Ángulo}_j$  = es el efecto del Ángulo  $j=1...4$

$(Gota \times \text{Ángulo})_{ij}$  = es la interacción de la  $i$  Gota con el  $j$  Ángulo

$E$  = es el error experimental

La Tabla 2 muestra el resultado de aplicar la técnica estadística señalada, en el cual se observa que existe diferencia estadísticamente significativa en la interacción Gota x Ángulo, dado que el valor de  $F = 2E^{-0.007}$  es significativo a un valor menor a 0.01

**Tabla 2. ANOVA univariante para el BER en función del ángulo, tamaño gota e interacción**

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: BER

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
<b>Modelo corregido</b>	66,049 <sup>a</sup>	11	6,004	7E+007	,000
<b>Intersección</b>	35,264	1	35,264	4E+008	,000
<b>Ángulos</b>	6,118	4	1,530	2E+007	,000
<b>Gotas</b>	48,410	2	24,205	3E+008	,000
<b>Ángulos * gotas</b>	7,761	5	1,552	2E+007	,000
<b>Error</b>	1,01E-006	12	8,42E-008		
<b>Total</b>	104,916	24			
<b>Total corregida</b>	66,049	23			

a. R cuadrado = 1,000 (R cuadrado corregida = 1,000)

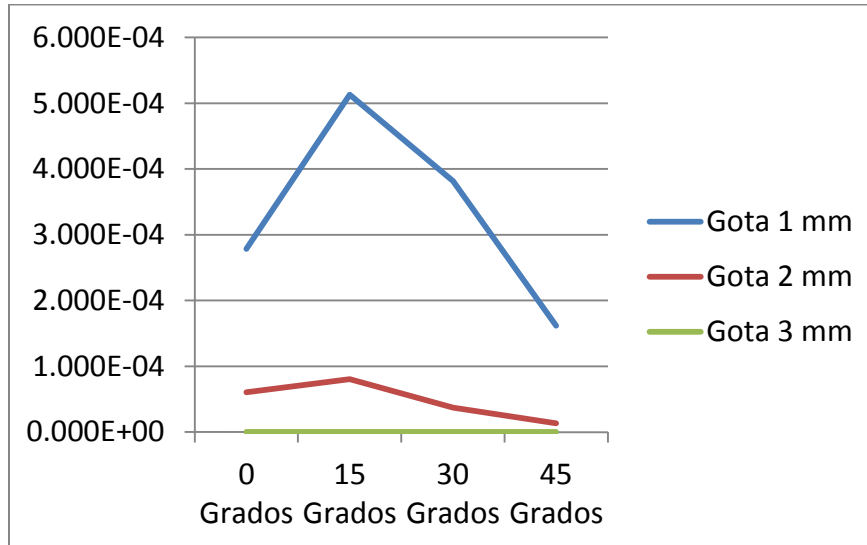
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de las interacciones de los tratamientos, cuya representación de la gota de diámetro de 3.02 mm gráficamente es poco apreciable por su cercanía al valor cero, y en donde destacan los siguientes aspectos:

1.- Se evidencia que existe la tendencia de disminución del BER independientemente del tamaño de la gota a medida que aumenta el ángulo, existiendo la manifiesta tendencia que a ángulos superiores a 45, el error sea tan bajo como si se tratara de gotas de 3mm, en otras palabras las líneas de BER tienden a encontrarse en el valor más bajo a medida en cuanto más elevado el ángulo sea.

2.- En todos los casos estudiados existe un aumento del BER en los ángulos de 0 y 15 grados superiores al evidenciado a 30 grados, para luego ubicarse a 45 grados en valores siempre inferiores a 0.

**Figura 1. Representación de la interacción (gota x ángulo)ij**



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestra la ecuación multivariante que permite predecir el BER en función de la gota y ángulo, la Tabla 3 muestra el R cuadrado igual a 0.698 el cual permite señalar que en estas condiciones experimentales el BER es explicado en un 70% por los factores estudiados.

**Tabla 3. Resumen de la bondad de ajuste del modelo**

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. De la estimación
1	,835 <sup>a</sup>	,698	,669	,97512

a. Variables predictoras: (Constante), gotas, ángulo

Fuente: elaboración propia.

La tabla 4, muestra los coeficientes de la ecuación, la cual estaría configurada de la siguiente manera:

$$\text{BER} = 5.14 - 1.694 \text{ Gota} - 0.199 \text{ Angulo}$$

Dicha ecuación es un modelado del BER en función del diámetro y ángulo de precipitación de la gota de lluvia, lo cual representaría al último objetivo específico de la investigación.



**Tabla 4. Coeficientes del modelo**

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
		B	Error típ	Beta	t	Sig
1	(Constante)	5,141	,676		7,603	,000
	Ángulo	-199	,159	-,150	-1,248	,226
	Gotas	-1,694	,245	-,834	-6,928	,000

a. Variable dependiente: Ber2

Fuente: elaboración propia.

### DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se define en base a los resultados obtenidos que la gota de lluvia a medida de que su diámetro se reduce, es mayor su incidencia en la atenuación de la transmisión de datos debido a la dispersión de la señal generada por motivos de refracción, debido a que como lo explica Aparicio (2005), este fenómeno viene dado por la colisión de los fotones con partículas atmosféricas, en este caso micro gotas de agua suspendidas en el espacio y su velocidad de precipitación es baja, a diferencia de las gotas de diámetro superior, que presentan un distanciamiento considerable entre sí, a una velocidad de precipitación mucho mayor, como se ilustra en la Tabla 1, incurriendo así en un menor tiempo de interrupción de la señal.

El ángulo de precipitación de dichas gotas también ejerce una influencia sumamente importante sobre los valores del BER, ya que cuando estos son iguales a 0 y 15 grados, presentan mayores índices de error debido a la refracción de la señal, cuyo efecto tiende a disminuir drásticamente cuando los valores de los ángulos de precipitación se ubican en 30 grados o más.

Se puede definir que los valores críticos del BER pudieron ser apreciados en cada diámetro distinto de gota de lluvia cuando estas se precipitaban en un ángulo de 15 grados, siendo el diámetro de 1 mm de gota de lluvia el más afectado por razones explicadas previamente.

Por último, el factor de absorción atmosférica donde Ferrer (2004) define que existen regiones del espectro electromagnético en las cuales la atmósfera es opaca, o sea, no permite el paso de la radiación electromagnética causando que no llegue toda la luz al receptor. Al igual que el efecto causado por la refracción, en este caso la atenuación también reduce el alcance del enlace FSO.

### EVALUACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En función de los datos obtenidos en la fase de análisis de los resultados se pudieron apreciar diferencias altamente significativas en el estudio de la varianza del enlace FSO bajo la presencia de lluvia con un determinado ángulo y diámetro de gota de agua, respecto al enlace FSO sin la presencia de dichas influencias, debido a que se encontraron desigualdades elevadas entre los distintos valores del BER en el modelo de



ANOVA, dando como resultado un valor de alta significancia inferior a 0.01 en el análisis estadístico.

Por lo tanto, la presente investigación concluye que los valores del BER que presenta el enlace FSO por la presencia de lluvia se ven afectados por el ángulo de precipitación y diámetro de la gota de lluvia, razón por lo cual se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ , dando lugar a la aceptación de la hipótesis alterna  $H_i$  planteada en la investigación.

## CONCLUSIONES

En primera instancia, la presente investigación cumplió con el objetivo de definir las características de la lluvia que puedan afectar a un enlace FSO en relación al diámetro y ángulo de precipitación de la gota de lluvia, siendo la tendencia a elevarse los valores del BER mayores a medida que el diámetro de la gota de lluvia disminuye. En cuanto a los ángulos de precipitación, se definió que la variación del mismo incide en una mayor o menor obstaculización de la línea de vista entre ambos extremos del enlace FSO.

El diseño de un escenario de prueba experimental para someter la variable dependiente BER a las variables independientes resultó en la conformación de un simulador de lluvia cuya modalidad de funcionamiento sin presión permitió llevar a cabo las pruebas necesarias facilitando la manipulación tanto de los diámetros de gota de lluvia 1 mm, 2.11 mm, e igualmente 3.02 mm, como de los ángulos de precipitación 0, 15, 30, 45 grados.

Aunado al simulador de lluvia, se dispuso de un enlace FSO cuya tasa de transmisión fue de 2.048 Kbps y mediante el empleo de un loopback físico fue posible realizar la transmisión de los datos cuyos valores del BER fueron medidos con un equipo especializado en generación de tramas.

La determinación de los diámetros y ángulos de gota de lluvia que afectan de forma crítica el BER en los enlaces FSO fueron posible gracias al análisis estadístico, el cual señaló que las gotas de 1mm fueron las causantes de los valores más altos en lo que concierne a dicha variable dependiente. Así mismo, los valores de mayor afectación de la variable dependiente respecto al ángulo de precipitación se ubicaron en 15 grados, debido a la interrupción constante de la línea de vista entre una punta del enlace y otra.

El modelado del BER en función del diámetro y ángulo de gota de lluvia fue determinado por un análisis de regresión el cual define:

$$\text{BER} = 5.14 - 1.694 (\text{diámetro de la gota}) - 0.199 (\text{ángulo de precipitación})$$

Dicha fórmula, con una estimación de R cuadrado  $R^2$  en un valor igual a 0.698, permitirá estimar los valores del BER en una iteración establecida por valores puntuales de las variables independientes, con un porcentaje de variación de rentabilidad del 70 %.

Para finalizar, la evaluación de la hipótesis demuestra que existen diferencias estadísticamente significativas en la interacción gota x ángulo, dado que el valor de  $F = 2E^{0.007}$  es altamente significativo debido a su inferioridad respecto a 0.01, lo que conlleva a la



aceptación de la hipótesis alternativa  $H_1$ , por lo cual se determina que sí existe influencia del diámetro y ángulo de gota de lluvia sobre enlaces FSO respecto al BER.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, J. (2005). Comportamiento de la tasa de transmisión del enlace Free Space Optics FSO infrarrojo ante la perturbación pluviométrica. Trabajo especial de grado para optar por el título de Magister en Telemática. Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín. Venezuela.
- Ferrer, G. (2004). Análisis de las tecnologías de acceso inalámbrico FSO y LMDS. Maestría en Telemática. Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín. Venezuela.
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, P. (2003). Metodología de la investigación. México. Editorial: McGraw-Hill Interamericana.
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, P. (2006). Metodología de la investigación. México. Editorial: McGraw-Hill Interamericana.
- Rubio, F. (2007). Comportamiento de la tasa de transmisión en un enlace FSO infrarrojo ante la perturbación de hidrógeno. Trabajo especial de grado para optar por el título de Magister en Telemática. Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín. Venezuela.
- Salkind, Neil J. (1997). Métodos de investigación. México. Prentice Hall México.
- Urdaneta, M. (2005). Efecto de la intensidad de las precipitaciones sobre la tasa de transmisión óptica inalámbrica. Trabajo especial de grado para optar por el título de Magister en Telemática. Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín. Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín. Venezuela.