

Universidad Técnica Federico Santa María

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA



ELO241 - Laboratorio de Comunicaciones

Experiencia 6

Primer Semestre 2021

Estudiante

Michel Azúa
Mauricio Caceres
Daniela Garrido

ROL

201621075-K
201666015-1
201721037-0

Paralelo: 1
Grupo: 2

Profesor

Sr. Patrick Guicharrousse

Ayudante

Paulo Rivera

Fecha : 08/07/2021

Índice

1. Introducción	2
2. Pregunta 1	3
2.1. Ecuación de Friss	3
2.2. Modelo de 2 Rayos	5
2.3. Modelo de 10 Rayos	9
3. Pregunta 2	11
4. Pregunta 3	13
4.1. Difracción	13
4.2. Reflexión	13
4.3. Refracción	13
5. Pregunta 4	15
6. Pregunta 5	16
7. Pregunta 6	19
8. Pregunta 7	20
9. Conclusión	22

Índice de figuras

1. Antena isotrópica.	3
2. Campo cercano y campo lejano.	4
3. Geometría para modelo de dos rayos	5
4. Descomposición del campo eléctrico para la antena receptora	6
5. Geometría del problema	7
6. Suma de fasores en el receptor	8
7. Modelo de 10 rayos	9
8. Difracción	11
9. Zonas de Fresnel	12
10. Principio de Huygens en la propagación de una onda plana y una onda esférica	13
11. Reflexión	13
12. Refracción	14
13. Antena transmisora con línea de vista a 2.5[m] desde el muro inferior.	20
14. Antena transmisora con línea de vista a 3[m] desde el muro inferior.	20
15. Antena transmisora con línea de vista a 5[m] desde el muro inferior.	21

1. Introducción

En esta experiencia se realizará un análisis de propagación de señales electromagnéticas en ambientes interiores. A partir de una antena transmisora, se analizará la potencia de dicha señal recibida en un conjunto de puntos cercanos entre sí. El conjunto de potencias medidas en diferentes posiciones permitirá a cada grupo de trabajo caracterizar de manera estadística la ganancia o pérdida de un enlace de RF en ambientes interiores. Como se verá, en dichos escenarios, la ganancia está sujeta a los llamados desvanecimientos de pequeña escala, que provocan grandes fluctuaciones de la potencia recibida al mover la antena receptora tan solo unos centímetros. Los objetivos de esta experiencia son:

- Familiarizarse con los conceptos que subyacen a los modelos estocásticos de propagación de señales de RF en ambientes interiores.
- Verificar cómo dichos modelos se ajustan a las mediciones obtenidas en un entorno físico cerrado.
- Aplicar conceptos básicos de procesamiento estadístico de datos.

2. Pregunta 1

2.1. Ecuación de Friis

Para poder entender mejor este modelo, se detallaran algunos conceptos claves:

Una antena es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas electromagnéticas no guiadas que se pueden transmitir por el espacio libre, estas pueden ser isotrópicas, omnidireccionales o directivas.

Las isotrópicas radian la potencia del transmisor en todas las direcciones por igual, tal como muestra la imagen:



Figura 1: Antena isotrópica.

Donde la intensidad en cualquier punto del espacio es:

$$I(r) = \frac{P_o}{4\pi r^2} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (1)$$

donde:

- P_o : es la potencia con la que la fuente irradia.
- r : es la distancia de este punto a la fuente.

Se puede observar que en esta ecuación se está dividiendo por la distancia al cuadrado, por lo tanto, entre más lejos se está de la fuente, la corriente estará distribuida en un área mucho mayor, es por esta razón que en la ecuación de Friis se utilizan coordenadas esféricas.

Otro aspecto importante al trabajar con antenas es que el campo de radiación que se encuentra cerca de la antena no es igual a el campo que se encuentra lejos, por ello se diferencia cuando se está trabajando cerca de la antena, "campo cercano", y cuando se trabaja lejos de esta, "campo lejano",

Como en "campo lejano" la potencia del campo se sigue irradiando y nunca regresa, a la antena también puede llamarse campo de inducción pues es un simil

a la función de un inductor y se cumple la condición de campos: $r \geq \frac{2D^2}{\lambda}$

En la siguiente imagen podemos notar de mejor forma sus diferencias:

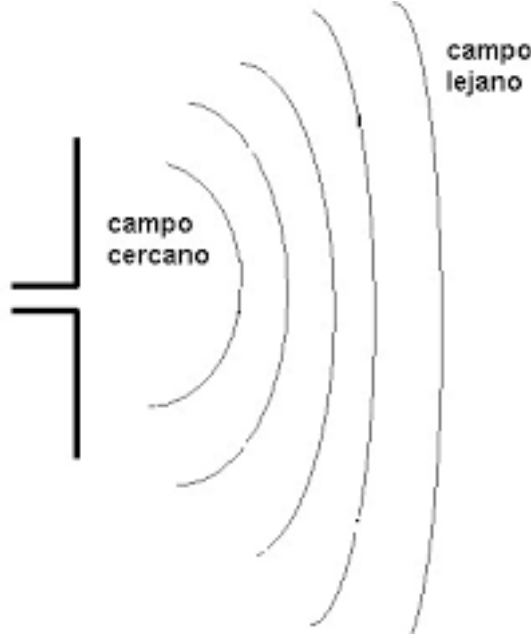


Figura 2: Campo cercano y campo lejano.

Con estos conceptos podemos describir el modelo de espacio libre o ecuación de Friis como un modelo de propagación que predice el nivel de la señal en promedio el cual no experimenta señales significativas en el extremo receptor producto de rebotes de la señal transmitida, pues se asume que estas ondas de propagación en un espacio libre, es decir ideal.

Este modelo también asume que se trabaja con antenas isotrópicas para campo lejano y predice que la potencia recibida disminuye según el cuadrado de la separación "d" [m] entre la antena transmisora TX y la receptora RX.

Por tanto, la ecuación de Friis corresponde a:

$$P_L^*(d) = P_{in} G_T(\theta_T, \phi_T) G_R(\theta_R, \phi_R) \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (2)$$

donde:

- $P_L^*(d)$: es la máxima potencia extraíble de la antena receptora.
- P_{in} : es la potencia eléctrica inyectada a la antena transmisora.
- $G_T(\theta_T, \phi_T)$: es la ganancia de potencia de la antena transmisora hacia los ángulos θ_T, ϕ_T .
- $G_R(\theta_R, \phi_R)$: es la ganancia de potencia de la antena receptora hacia los ángulos θ_R, ϕ_R .
- Por último λ :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3)$$

donde:

- λ : es la longitud de onda de la señal electromagnética.
- c es la velocidad de la luz, que corresponde a $c = 3 \times 10^8 [m/s]$.
- f es la frecuencia de operación en [Hz]

Esta ecuación se extrae de la siguiente idea:

La ganancia de potencia que sirve para saber cuánta potencia le estamos entregando a la antena receptora y cuánto estamos recibiendo en la receptora, se define como $G = \epsilon D$, donde ϵ es la eficiencia. También la ganancia se puede expresar como $G = \frac{A_e}{A_{iso}}$, donde A_e es el área efectiva y A_{iso} es el área de una antena isotrópica y se define como $A_{iso} = \frac{\lambda^2}{4\pi}$.

2.2. Modelo de 2 Rayos

El modelo de 2 rayos también conocido como modelo de reflexión en el suelo, es un modelo de propagación de ondas electromagnéticas. En ese modelo contempla la transmisión desde una antena transmisora a otra receptora considerando que entre ellas hay una altura distinta desde un suelo en común y además, la vía directa de propagación existe un multitrayecto que se refleja en el suelo.

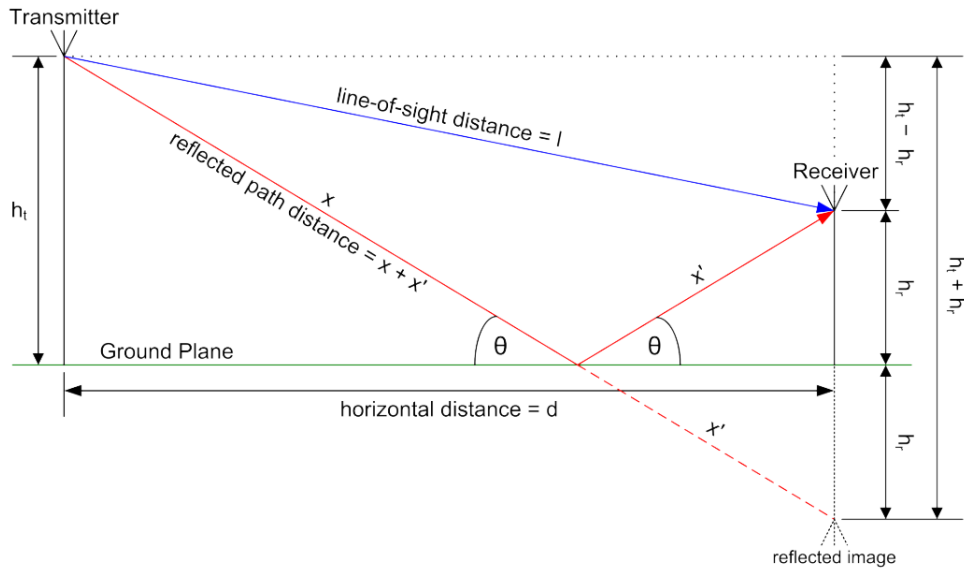


Figura 3: Geometría para modelo de dos rayos

De este modelo de 2 rayos, el campo eléctrico que llega a la antena receptora se puede descomponer en dos partes:

- E_{LOS} : Corresponde a el campo eléctrico de linea de visión o LOS (Line Of Sight), esta se propagan por la trayectoria azul de la anterior figura
- E_g : Corresponde a el campo eléctrico reflejado desde el suelo, este se propaga por la trayectoria roja de la anterior figura

De este análisis se obtienen que el campo eléctrico total en el receptor corresponde a :

$$E_{TOT} = E_{LOS} + E_g$$

Esta descomposición de campo eléctrico se puede apreciar en la siguiente figura:

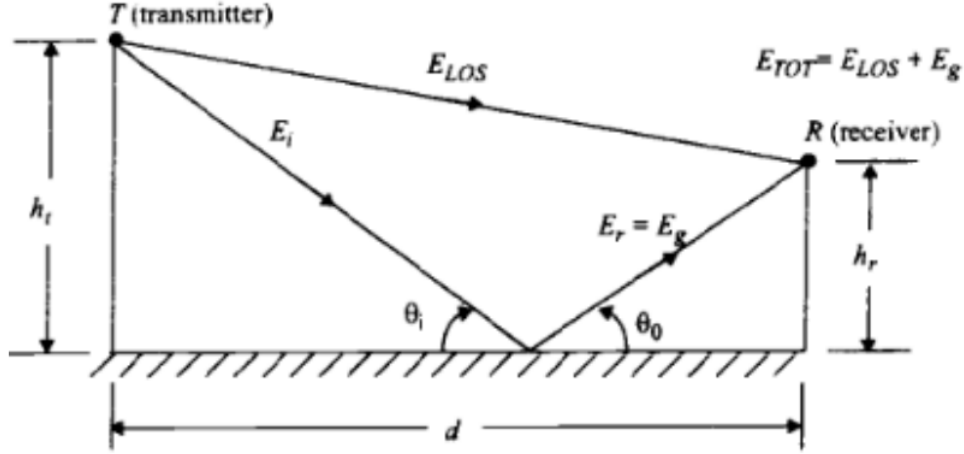


Figura 4: Descomposición del campo eléctrico para la antena receptora

Definiendo E_o como el campo eléctrico de espacio libre en [V/m] a una distancia de referencia d_o del transmisor, entonces cuando se cumple que $d > d_o$ el campo eléctrico propagado por el espacio libre cumple que:

$$E(d, t) = \frac{E_o \cdot d}{d_o} \cos \left(w_c \left(t - \frac{d}{c} \right) \right)$$

Además, se tiene que $|E(d, t)| = (E_o d_o)/d$ corresponde a la envolvente E a una distancia d del transmisor, cabe destacar que no es literalmente el valor absoluto de E(d,t), sino que corresponde a la amplitud A de una senoide general del tipo $A \sin(w_c t + \phi(t))$

Para el análisis geométrico se utilizará de referencia la siguiente imagen

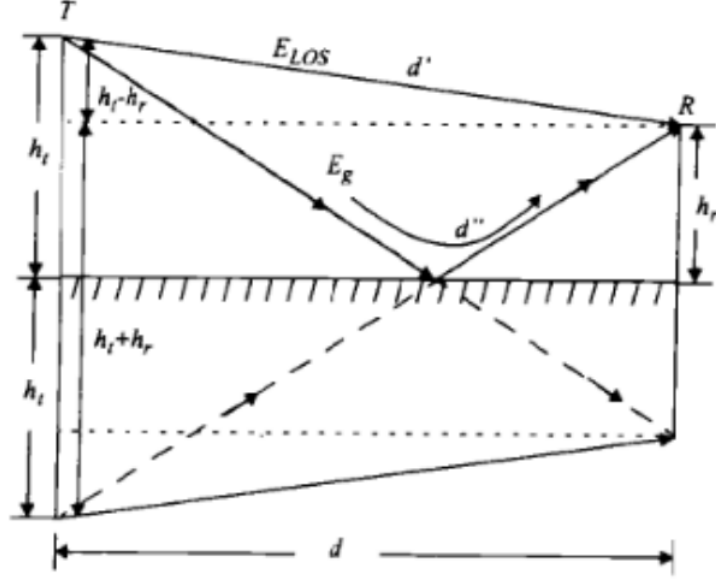


Figura 5: Geometría del problema

Se tiene que las dos componentes que llegan al receptor viajan distancia d' y d'' para E_{LOS} y E_g respectivamente. Entonces se cumple que:

$$E(d', t) = \frac{E_o \cdot d_o}{d'} \cos \left(w_c \left(t - \frac{d'}{c} \right) \right)$$

$$E(d'', t) = \Gamma \cdot \frac{E_o \cdot d_o}{d''} \cos \left(w_c \left(t - \frac{d''}{c} \right) \right)$$

Para el suelo se asume que se comporta como un dieléctrico perfecto, así que el coeficiente de reflexión $\Gamma = -1$ y el ángulo de incidencia y reflexión son iguales.

La envolvente del campo eléctrico total en el receptor entonces queda expresada como:

$$|E_{TOT}| = |E_{LOS} + E_g|$$

y el campo eléctrico total en el receptor es:

$$E_{TOT} = \frac{E_o \cdot d_o}{d'} \cos \left(w_c \left(t - \frac{d'}{c} \right) \right) - \frac{E_o \cdot d_o}{d''} \cos \left(w_c \left(t - \frac{d''}{c} \right) \right)$$

La diferencia entre los caminos se puede expresar a partir de la geometría del problema usando Pitagóricas y una reflexión conveniente respecto al suelo:

$$\Delta = d'' - d' = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + d^2} - \sqrt{(h_t - h_r)^2 + d^2}$$

Cuando la distancia entre las antenas d es comparativamente mayor a $h_t + h_r$ se simplifica la diferencia de recorrido a una aproximada con una serie de Taylor truncada:

$$\Delta = d'' - d' \approx \frac{2h_t h_r}{d}$$

Teniendo definido la diferencia de recorrido, es posible encontrar la diferencia de fase (θ_Δ) entre las componentes del campo eléctrico y el retardo (τ_Δ) entre la llegada de cada componente:

$$\theta_\Delta = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{w_c\Delta}{c}$$

$$\tau_{\Delta} = \frac{\Delta}{c} = \frac{\theta_{\Delta}}{2\pi f_c}$$

A medida que las antenas se encuentran a distancias d mayores, la diferencia de recorrido se hace cada vez menor, por lo que las dos componentes tienden a llegar al mismo tiempo, con la misma magnitud y difieren sólo en la fase.

$$\left| \frac{E_o d_o}{d} \right| \approx \left| \frac{E_o d_o}{d'} \right| \approx \left| \frac{E_o d_o}{d''} \right|$$

Con esta aproximación, se evalúa el campo en un receptor a una distancia d el instante en que llega la onda reflejada:

$$\begin{aligned} E_{TOT}(d, t = d''/c) &= \frac{E_o \cdot d_o}{d'} \cos \left(w_c \left(t - \frac{d'' - d'}{c} \right) \right) - \frac{E_o \cdot d_o}{d''} \cos(0) \\ \Rightarrow E_{TOT}(d, t = d''/c) &= \frac{E_o d_o}{d'} \cos(\theta_{\Delta}) - \frac{E_o d_o}{d''} \\ &\approx \frac{E_o d_o}{d} [\cos(\theta_{\Delta}) - 1] \end{aligned}$$

Utilizando esta aproximación junto con el siguiente diagrama fasorial se encuentra la magnitud del fasor E_{TOT} es decir su envolvente:

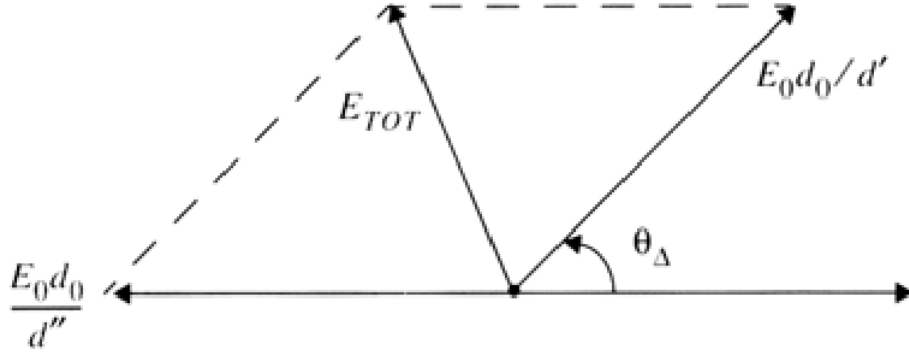


Figura 6: Suma de fasores en el receptor

$$|E_{TOT}(d)| \approx \sqrt{\left(\frac{E_o d_o}{d} \right)^2 (\cos \theta_{\Delta} - 1)^2 + \left(\frac{E_o d_o}{d} \right)^2 \sin^2(\theta_{\Delta})} = \frac{E_o d_o}{d} \sqrt{2 - 2\cos(\theta_{\Delta})}$$

$$|E_{TOT}(d)| \approx \frac{2E_o d_o}{d} \sin \left(\frac{\theta_{\Delta}}{2} \right)$$

Esta ecuación se puede simplificar mas utilizando $\sin(\theta_{\Delta}/2) \approx \theta_{\Delta}/2$, para esto se usará como criterio que la aproximación es valida para ángulos menor igual a $0.3[\text{rad}]$. Para este ángulo el error introducido es sólo del 1.52 % aproximadamente.

$$\frac{\theta_{\Delta}}{2} \approx \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} < 0,3$$

Esto se cumple sólo si

$$d > \frac{20\pi h_t h_r}{3\lambda} \approx \frac{20h_t h_r}{\lambda}$$

Con lo que se aproxima la amplitud del campo eléctrico en el receptor a

$$E_{TOT}(d) = \frac{2E_o d_o}{d} \frac{2\pi h_t h_r}{d}$$

Por otro lado, la densidad de flujo de potencia en el espacio esta dada por:

$$P_d = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} = \frac{E^2}{\eta} = \frac{E^2}{120\pi} [W/m^2]$$

Con esta ultima ecuación podemos reemplazar el campo eléctrico y obtener la potencia recibida aproximada en la antena receptora para el modelo de dos rayos:

$$P_r = P_t G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4}$$

2.3. Modelo de 10 Rayos

El modelo de diez rayos se basa en los principios del modelo anterior pero tomando en cuenta un mayor número de reflexiones en 2 muros.

Este modelo es uno aplicado a transmisiones en al área urbana, el cual es capaz de representar la propagación de señal en una situación en que los rayos que viajan de un punto a otro rebotan muchas veces.

Se tiene que tener en cuenta que los rayos son reflejados múltiples veces (en edificios por ejemplo) y que mientras hace esto se va disipando la señal. Es por esto que cuando una señal cuenta con más de 3 reflexiones esta tiende a ser ignorada, mismo caso que el de los reflejos "hacia atrás".

Entonces para generar este modelo se integran 10 trayectorias, que pueden tener de 0 hasta 3 reflexiones:

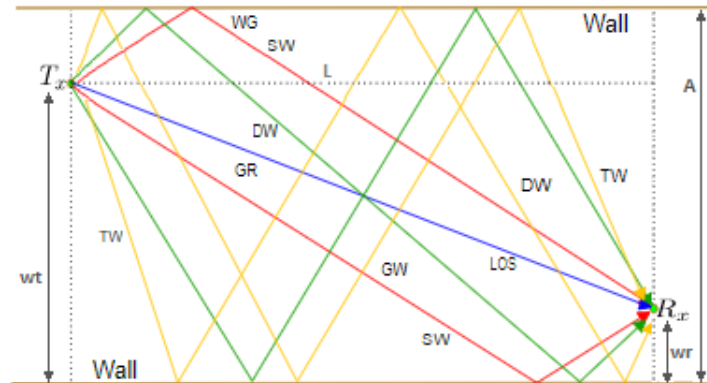


Figura 7: Modelo de 10 rayos

Siendo:

- LOS: línea de visión
- GR: reflexión solo del suelo
- SW: reflexión simple en una pared
- DW: dos reflexiones en las paredes
- TW: tres reflexiones en las paredes
- WG: reflexión del muro al suelo
- GW: reflexión del suelo al muro

Cabe destacar que si se observa el modelo de diez rayos desde una perspectiva lateral solo se observarán los rayos LOS y GR.

Entonces para obtener la potencia de la antena receptora se debe sumar la potencia recibida por cada rayo, dependiendo esta de la ganancia de la antena transmisora, la ganancia de la antena receptora, el ángulo y el camino recorrido.

En síntesis, tenemos que los modelos vistos se caracterizan por:

Modelo de Friis: Es el primer modelo publicado, por lo cual es la "base" de los modelos siguientes pero también es aquel con menos exactitud, ya que considera un escenario relativamente ideal ignorando por ejemplo interferencias o reflexiones .

Modelo de 2 rayos: Este modelo considera que la altura entre 2 antenas es distinta y que además durante el trayecto de propagación existe un multitrayecto que se refleja en el suelo

Modelo de 10 rayos: Se utiliza en el área urbana considerando múltiples reflexiones que provocan disipación en la señal antes de que esta llegue a la antena receptora.

3. Pregunta 2

Al realizar una comunicación inalámbrica se deben considerar varios factores de diseño, entre ellos los obstáculos que existen entre el emisor y receptor, y es aquí donde entra el cálculo de la zona de Fresnel, el cual se encarga de definir un valor apto para una correcta comunicación inalámbrica.

Básicamente las zonas de Fresnel desarrollan el papel de una "tubería virtual" por donde viaja la mayor parte de la energía con el objetivo de evitar pérdidas.

Antes de entrar en lo que son las zonas de Fresnel primero un breve repaso a la difracción.

La difracción es ocasionada cuando una onda "rodea" un obstáculo alejándose de su trayectoria lineal, a medida que esta abandona su fuente, esta se expande en línea recta como si fuera cubriendo la superficie de una esfera en continua expansión. Adicionalmente la propagación de esta onda depende del movimiento de su frente de onda, y a medida que este avanza el movimiento se propaga alcanzando nuevos puntos.

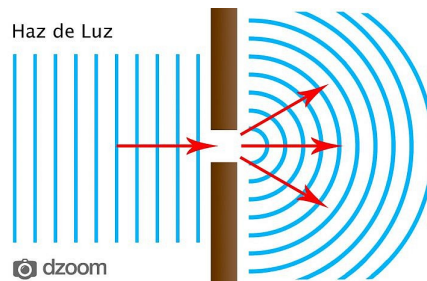


Figura 8: Difracción

Entonces, ¿Que es una zona de Fresnel? Es una zona compuesta por una serie de regiones elipsoidales, de diámetro polar, concéntricas y que se ubican en el espacio entre y alrededor de una antena transmisora y una antena receptora. Y es este concepto el que nos ayuda para entender y calcular la intensidad de propagación de ondas.

Aunque existe un número infinito de zonas solo se consideran las 3 primeras, debido a que el efecto de las zonas posteriores es considerado despreciable. Tenemos la primera zona, la cual corresponde al espacio por el cual pasa la señal de vista directa (LOS), es en esta en la que se concentra el 50 % de la potencia de la señal y, por lo cual, se debe procurar que se encuentre lo más "intacta" (al menos un 60 %) posible. En la segunda región la onda es capturada por el receptor con un desfase de 90° a 270° . Y en la tercera región las ondas capturadas poseen un desfase mayor a 270° y menor a 450° consiguiendo un efecto similar a la primera región.

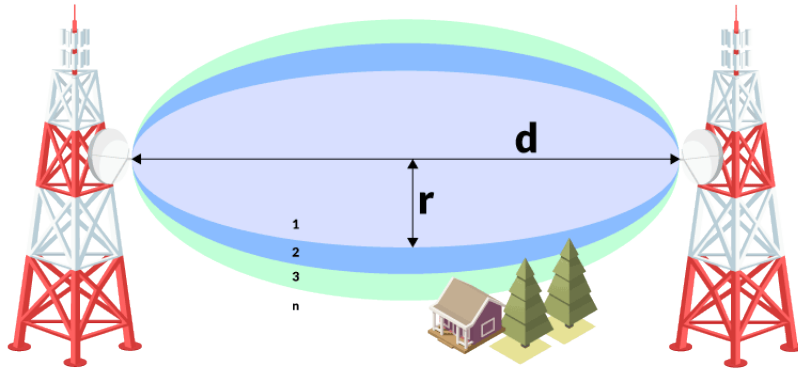


Figura 9: Zonas de Fresnel

Finalmente el radio de las zonas de Fresnel se calculan según la siguiente ecuación:

$$F_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (4)$$

Siendo d_1 : distancia desde el punto de referencia a la antena 1; d_2 distancia desde el punto de referencia a la antena 2; n : n° de zona.

4. Pregunta 3

4.1. Difracción

Difracción es un fenómeno característico de las ondas que ocurre cuando una onda se encuentra con un obstáculo o una rendija cuyo tamaño es del orden de la longitud de onda.

Según el Principio de Fresnel - Huygens, el objeto difractante o rendija se convierte en una fuente secundaria de la onda de propagación.

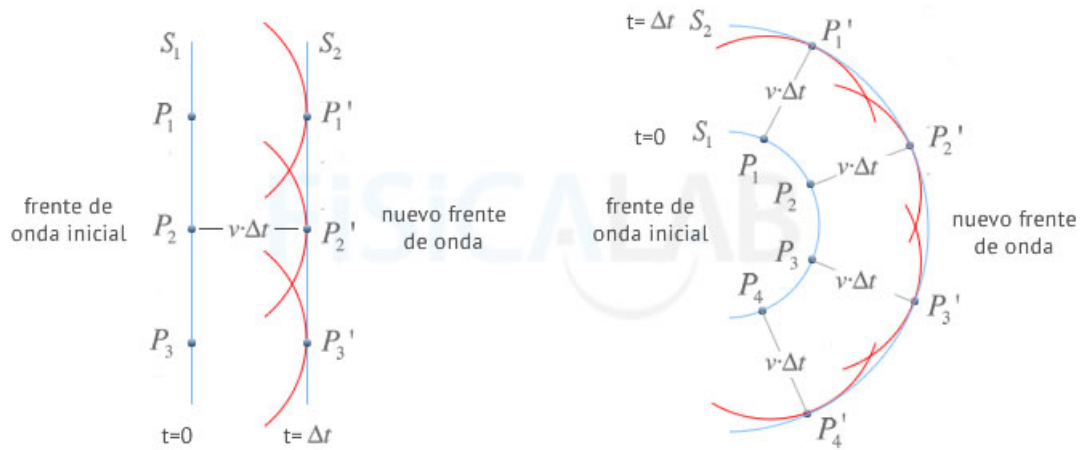


Figura 10: Principio de Huygens en la propagación de una onda plana y una onda esférica

4.2. Reflexión

La reflexión es el cambio de dirección del movimiento ondulatorio que ocurre en el mismo medio en que se propagaba, después de incidir sobre alguna superficie.

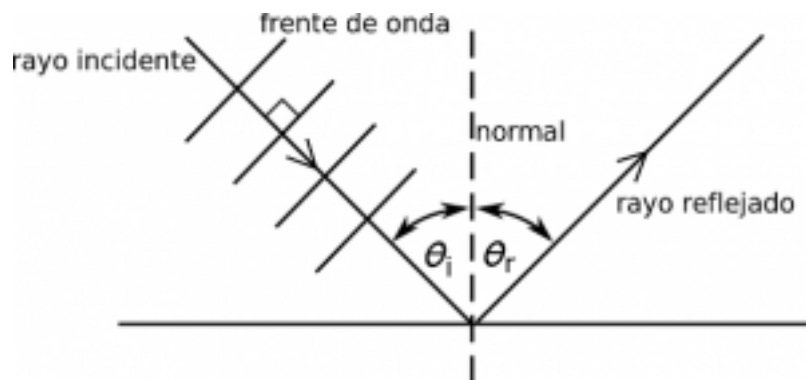


Figura 11: Reflexión

4.3. Refracción

La refracción ocurre cuando una onda cambia su dirección al pasar desde un medio a otro.

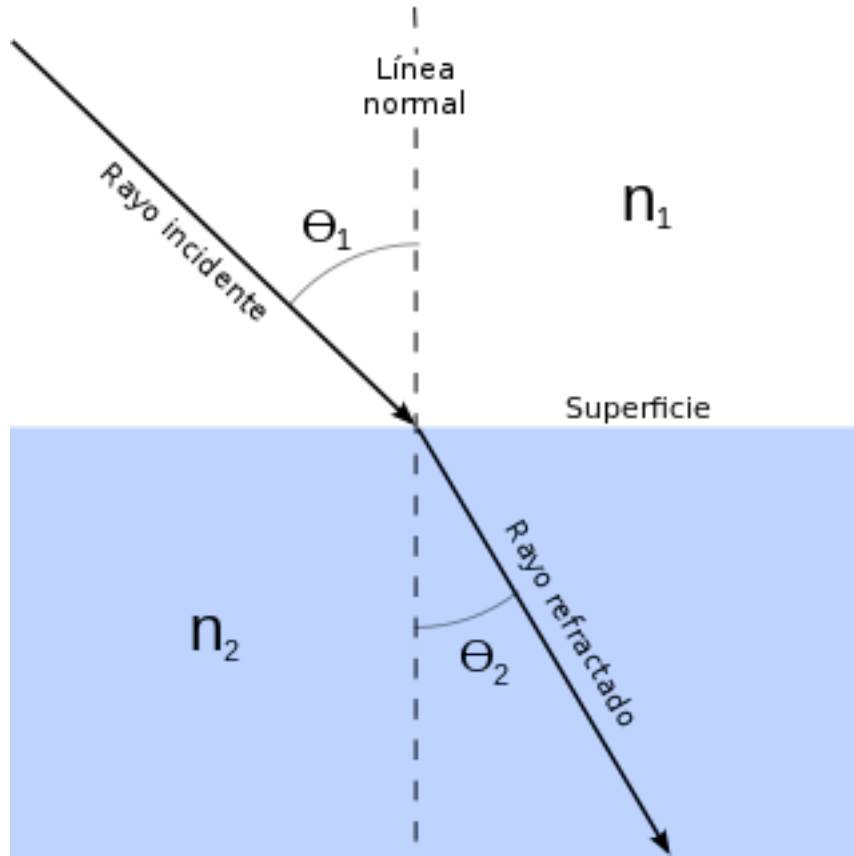


Figura 12: Refracción

Tanto la reflexión como la refracción son fenómenos que ocurren cuando se tienen 2 medios y la onda i , donde una parte de la onda se refleja y la otra se refracta hacia el otro medio. Si consideramos que la onda que incide es un campo eléctrico E_i que tiene una parte E_r que se refleja y otra parte E_t que se transmite al otro medio, podemos definir los coeficientes de reflexión Γ_{\parallel} que está en el plano de incidencia y otro perpendicular que no está en el plano de incidencia Γ_{\perp} :

$$\begin{aligned}\Gamma_{\parallel} &= \frac{E_r}{E_i} = \frac{\eta_2 \sin \theta_t - \eta_1 \sin \theta_i}{\eta_2 \sin \theta_t + \eta_1 \sin \theta_i} \\ \Gamma_{\perp} &= \frac{E_r}{E_i} = \frac{\eta_2 \sin \theta_i - \eta_1 \sin \theta_t}{\eta_2 \sin \theta_i + \eta_1 \sin \theta_t}\end{aligned}\tag{5}$$

Donde $\eta_{1,2} = \sqrt{\mu_{1,2}/\epsilon_{1,2}}$ es la impedancia intrínseca del medio y se relaciona con la velocidad de la luz c y la velocidad de propagación del medio v en la ecuación $\eta = \frac{c}{v}$, por último el índice de refracción se puede obtener con la Ley de Snell, la cual indica que $\eta_1 \sin \theta_1 = \eta_2 \sin \theta_2$

A partir de las condiciones de frontera de Maxwell, podemos encontrar la relación entre:

$$(6)$$

5. Pregunta 4

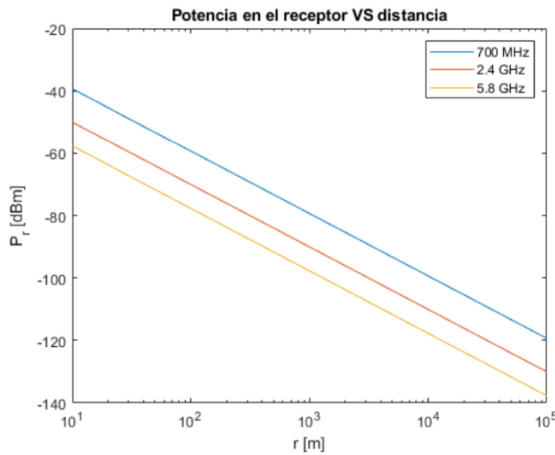
Para el análisis en esta pregunta se expresará la ecuación de Friis en términos logarítmicos:

$$P_r[dBW] = P_t[dBW] + G_t[dB] + G_r[dB] - 10 \log \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2$$

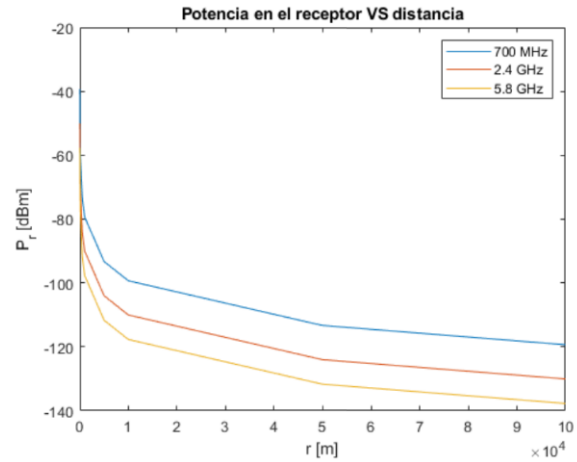
De esta expresión notamos que se puede descomponer aún más y se puede agrupar la potencia en un termino constante y un termino dependiente de r, que nos indique que se debe observar una atenuación de 20dB por cada década a medida que nos alejamos de la antenna transmisora. También es conveniente notar que la potencia en dBW y dBm sólo se diferencian por una constante:

$$P_r[dBm] = P_r[dBW] + 30$$

Teniendo definido una manera cómoda de obtener $P_r[dBm]$, con ayuda del simulador se obtendrá las siguientes curvas midiendo la potencia a distancias de 10[m], 50[m], 100[m], 500[m], 1[km], 5[km], 10[km], 50[km], 100[km]. A continuación se presentarán gráficos, uno que posee una escala lineal y otra una escala logarítmica para el r[m]. La traza azul corresponde a potencias con frecuencia 700[MHz], la traza rojo corresponde a potencias con frecuencia 2,4[GHz] y la traza amarilla corresponde a potencias con frecuencia 5,8[GHz].



(a) Gráfico con escala lineal de P_r v/s r



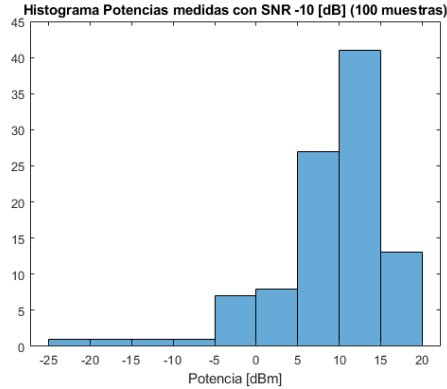
(b) Gráfico con escala logarítmica de P_r v/s r

Se confirma que la potencia recibida disminuye 20[dB] cada vez que la distancia pasa una década de distancia, es decir, se multiplica por un factor de 10. También se observó al realizar pruebas, al aumentar la impedancias de las antenas la potencia recibida es menor.

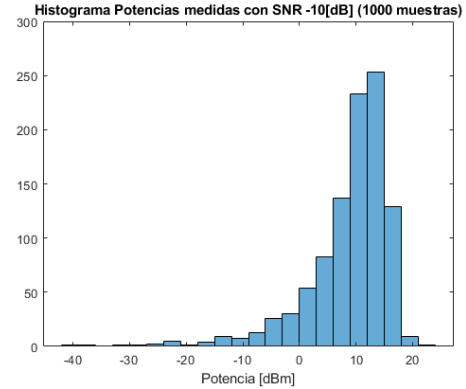
6. Pregunta 5

Arbitrariamente se define la potencia transmitida y la distancia entre antenas con valores de 30 [dBm] y 30 [m] respectivamente, lo que ocasiona que la potencia esperada sea de 10,9516 [dBm]. Lo que provoca que el valor de la desviación estándar del ruido para obtener SNR de -10, 0 y 10 [dB] deba ser seteada en 0,2797, 0,0881 y 0,0278 [V] respectivamente. Con lo cual se obtienen los siguientes histogramas de potencia.

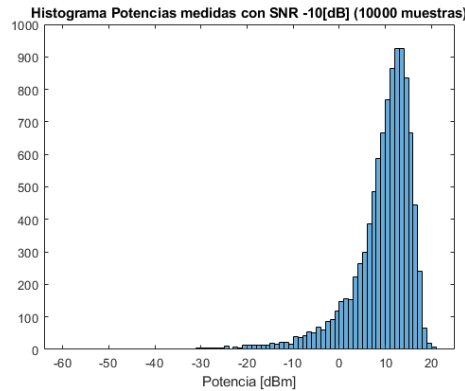
■ SNR -10 [dB]



(c) 100 muestras

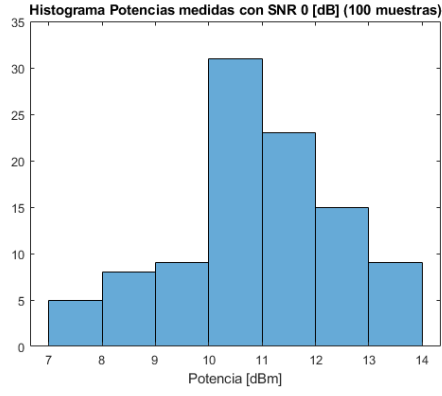


(d) 1000 muestras

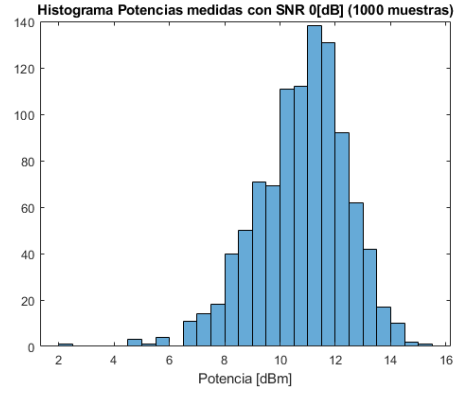


(e) 10000 muestras

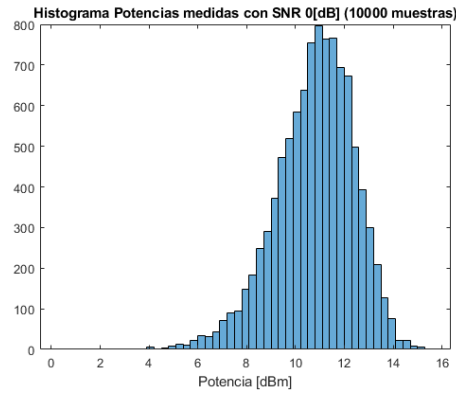
■ SNR 0 [dB]



(f) 100 muestras

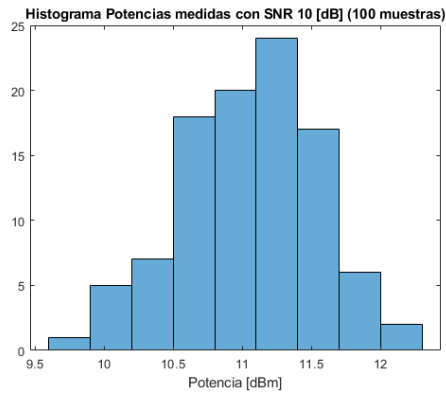


(g) 1000 muestras

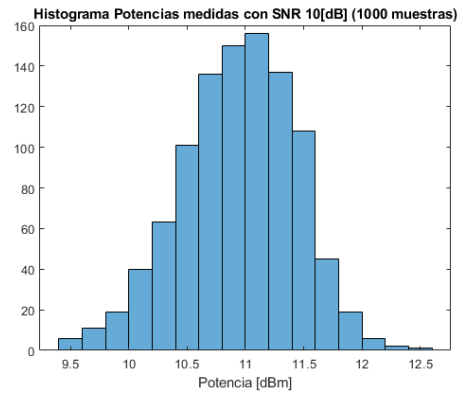


(h) 10000 muestras

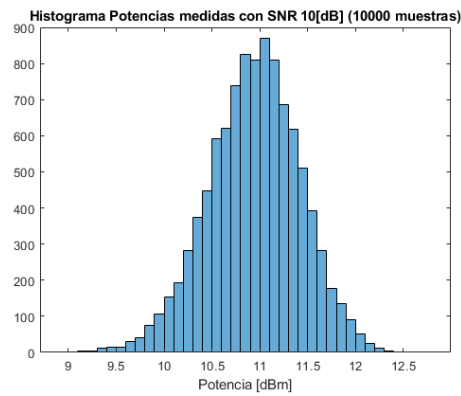
■ SNR 10 [dB]



(i) 100 muestras



(j) 1000 muestras



(k) 10000 muestras

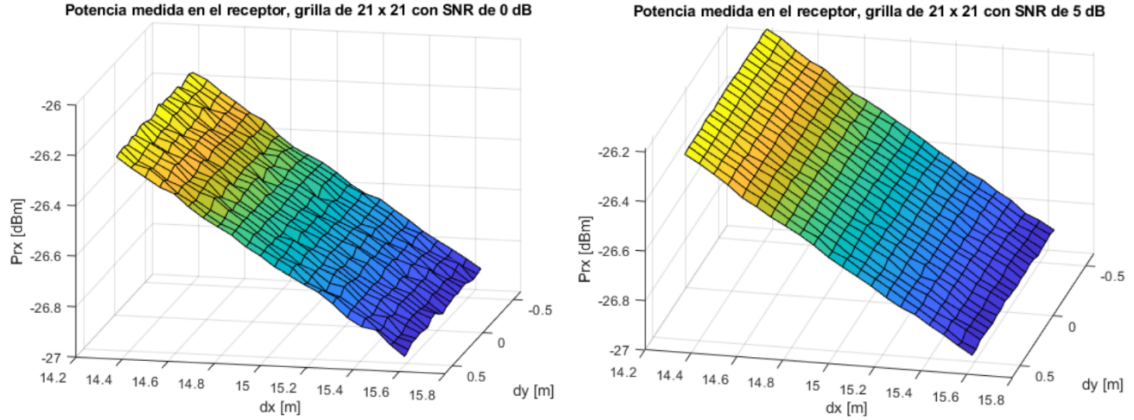
Entonces de las mediciones obtenidas se obtiene:

SNR [dB]	Media [dBm]			Varianza		
	n = 100	n= 1000	n = 10000	n = 100	n= 1000	n = 10000
-10	8,71	8,83	9,28	45,75	55,14	48,16
0	10,91	10,78	10,79	2,21	2,70	2,58
10	11,05	10,94	10,94	0,25	0,24	0,23

Se observa que a medida que el ruido disminuye (SNR más alto) los datos obtenidos se "concentran" más cerca del valor medio (menor varianza) y además el valor promedio se acerca más al valor esperado de 10,9516 [dBm]. Por otra parte el número de muestras ayuda a "obtener un valor más exacto" similar al caso estadístico, en el cual mientras mas se reitere un experimento aleatorio los resultados experimentales más se acercarán a los resultados esperados teóricamente.

7. Pregunta 6

Se escogió utilizar $dx=15[m]$ y $dy=0[m]$ para que se cumpla que el SNR nominal en el punto central de la grilla. Con los datos recopilados se graficaron 2 mantos de 21×21 para el caso con SNR de 0dB y otro con SNR con 5dB.



(l) Manto de potencia para SNR de 0dB

(m) Manto de potencia para SNR de 5dB

De los mantos obtenidos se puede apreciar que son bastante planos, esto ocurre debido a que los SNR utilizados son respectivamente altos, en especial el manto de 5dB que es mucho más plano que el manto de 0dB debido a que posee menos ruido. También se observa una tendencia de la una disminución de la potencia recibida a medida que uno la antena de aleja de la antena transmisora en el eje x debido a la dinámica que posee la distancia en la ecuación de Friis, por otro lado, al desplazarse por el eje y parece mantenerse constante. esto ocurre debido a que el rango utilizado en dy y la grilla es demasiado pequeño, por lo que se podría aproximar de tal manera que ambas antenas reciben la misma potencia. Se concluye que tener un SNR mayor mejora la calidad de la señal de potencia recibida, aunque esto implica necesitar una antena transmisora con una potencia mayor.

8. Pregunta 7

Simular usando la pestaña del modelo para 10 rayos permite analizar los rebotes con las paredes y los suelos.

Para realizar los gráficos se considera que la antena transmisora tiene una altura de 10 [m] y la receptora de 2[m].

La señal tiene una frecuencia de 2,4GHz donde las antenas tienen ganancias de 2 [dBi], potencia en la transmisión de 33.01 [dBm].

Se considera que las distancias entre el transmisor y la pared inferior en las simulaciones serán de: $d1 = 2,5[m]$, $d2 = 3[m]$ y $d3 = 5[m]$ y se utiliza una grilla de 21x21.

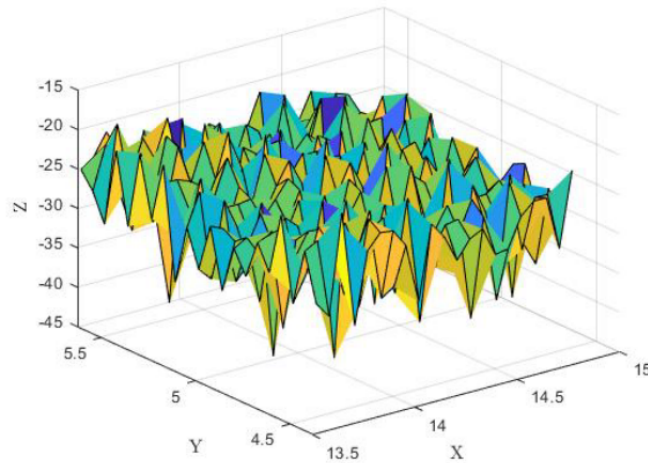


Figura 13: Antena transmisora con línea de vista a 2.5[m] desde el muro inferior.

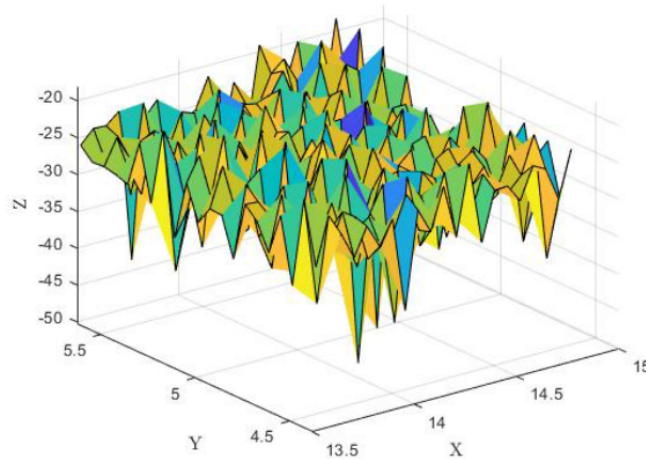


Figura 14: Antena transmisora con línea de vista a 3[m] desde el muro inferior.

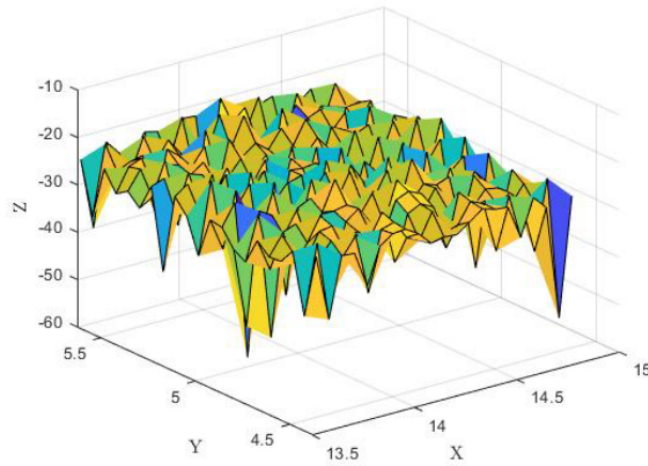


Figura 15: Antena transmisora con línea de vista a 5[m] desde el muro inferior.

De estas imágenes se puede concluir lo siguiente:

- En relación a la potencia, cuando la distancia es menor, es decir en 2,5 [m] se ve que la figura es más plana, por lo tanto hay menos variaciones de potencia, e cambio cuando se ubica en la mitad, es decir en los 5[m] se observa que la potencia varía mucho más.
- En el caso de la pared que se encuentra justo en el centro en $d_3 = 5$ [m] los rebotes pueden ser simétricos por lo que se produce interferencia entre ellos, inclusive en algunos puntos se puede notar la perdida de potencia debido a ellas.

9. Conclusión

De acuerdo con las actividades realizadas en la experiencia, fue posible entender y comprender el fenómeno de propagación electromagnética en distintos entornos. Empezando por los modelos de propagación de Friis, dos rayos y diez rayos, con sus respectivas ventajas siendo el modelo de Friis el más inexacto, pero también el pionero en la transmisión de potencia en ondas electromagnéticas, y el modelo de dos y diez rayos pensados para un escenario más complejo y siendo una evolución ahora considerando diversas reflexiones dependiendo del caso.

Posteriormente se estudiaron las zonas de Fresnel clasificando y caracterizando las 3 zonas de interés donde la primera, de vista directa, corresponde a la que tiene la mayor concentración de potencia, y por ende, aquella que debe tener un funcionamiento más apropiado por lo cual debe ser la que tenga el trayecto menos obstaculizado (mínimo 60 % sin obstáculos).

De igual manera se estudiaron los fenómenos de difracción, reflexión y refracción ocurriendo el primero cuando una onda rodea un obstáculo provocando que a medida que esta se aleja de su fuente se expande como una esfera en continuo crecimiento, por otra parte la reflexión corresponde al cambio de dirección que ocurre en el mismo medio después de incidir sobre una superficie provocando que parte de la energía de la onda se "disperse", y finalmente la refracción correspondiendo al fenómeno cuando una onda cambia su dirección (ángulo) al pasar de un medio a otro.

Luego se trabajó con el simulador, empezando por el modo "Friis 1T 1R" obteniendo que la potencia recibida disminuye a medida que la distancia aumenta (20 [dB] por década de distancia). De manera similar se observó el comportamiento de la potencia a distintos SNR, concluyendo que a menor ruido más exactos al valor esperado son los datos además de que estos más se agrupan en torno al valor medio, adicionalmente se notó que a un mayor número de datos más cercano al valor teórico es el resultado obtenido.

Después se observó la potencia recibida en una grilla 21x21 confirmando que la potencia recibida además de depender del momento también depende del lugar y observando como a mayor SNR mejor es la calidad de la señal recibida.

Finalmente se realizó la simulación con el modelo de 10 rayos, representando la potencia recibida en una grilla 21x21 nuevamente se nota que la potencia recibida varía en función de la posición pero en este caso el efecto se acentúa, notando mayores variaciones dependiendo del lugar de la medición, lo cual podría explicarse ya que hay múltiples reflexiones viajando en el espacio que producen distintos peaks y mínimos dependiendo del caso.