

## Evaluación del nivel de emisión de radiación de un sistema Wi-Fi aplicando la norma UIT-T K.62

### On Wi-Fi system radiated emission level according to UIT-T K.62 recommendation

ROJAS-SANDOVAL, Daniel, VELASCO-CASTILLO, Miguel Ángel, LÓPEZ-DÍAZ, Roberto Enrique y HERNÁNDEZ-BÁEZ, Irma Yazmín

*Universidad Politécnica del Estado de Morelos. Dirección Académica de la Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones e Ingeniería en informática*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Daniel, Rojas-Sandoval* / CVU CONACYT ID: 43849

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Miguel Ángel, Velasco-Castillo* / CVU CONACYT ID: 582790

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Roberto Enrique, López-Díaz* / CVU CONACYT ID: 212691

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Irma Yazmín, Hernández-Báez* / CVU CONACYT ID: 212658

Recibido: Junio 30, 2018; Aceptado: Agosto 29, 2018.

#### Resumen

En el presente trabajo se desarrolla un modelo matemático simplificado, de acuerdo con la norma UIT-T K.62, para evaluar el nivel de emisión de radiación de un sistema dentro de un edificio. El modelo para el nivel de emisión es un proceso estocástico estacionario y se construye un algoritmo que genera su función de densidad de probabilidad para calcular la probabilidad de conformidad del sistema. El uso de dispositivos de comunicación inalámbrica ha ido en aumento de forma exponencial. Por los avances de la tecnología, ahora cada usuario puede utilizar diversos dispositivos conectados a WiFi para realizar sus diversas actividades. De acuerdo a la norma de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT, norma UIT-T K.62, cada dispositivo de comunicación inalámbrica cumple con los requisitos de compatibilidad electromagnética tal como el nivel de emisión radiado. Sin embargo, por la gran cantidad de dispositivos recibiendo y transmitiendo en una frecuencia común, la superposición de las emisiones que se generan, podría llegar a superar el nivel de emisión máximo de radiación permitido. Actualmente ha sido poco el estudio sobre las emisiones radiadas utilizando modelos matemáticos y de los efectos que puede ocasionar la exposición por múltiples dispositivos en un determinado lugar.

**Probabilidad de conformidad, Nivel de emisión de radiación, UIT-T K.62**

#### Abstract

This paper presents a simplified mathematical model to evaluate a WiFi system radiated emission level in according to UIT-T K.62 recommendation. This model is, in fact, a stationary stochastic process and we generate its probability density function through an algorithm that makes it possible to obtain the compliance probability of the system. The use of wireless communication devices has been increasing exponentially. Due to advances in technology, now each user can use different WiFi-connected devices to perform their various activities. According to the standard of the International Telecommunication Union, ITU, ITU-T K.62, each wireless communication device complies with the electromagnetic compatibility requirements such as the radiated emission level. However, due to the large number of devices receiving and transmitting on a common frequency, the superposition of the emissions that are generated could exceed the maximum emission level allowed. Currently there has been little study on radiated emissions using mathematical models and the effects that exposure by multiple devices in a given place.

**Compliance probability, Radiated emission level, UIT-T K.62**

**Citación:** ROJAS-SANDOVAL, Daniel, VELASCO-CASTILLO, Miguel Ángel, LÓPEZ-DÍAZ, Roberto Enrique y HERNÁNDEZ-BÁEZ, Irma Yazmín. Evaluación del nivel de emisión de radiación de un sistema Wi-Fi aplicando la norma UIT-T K.62. Revista de Tecnologías Computacionales. 2018, 2-7: 29-31.

\* Correspondencia del Autor (Correo Electrónico: drojas@upemor.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El uso de dispositivos de comunicación inalámbrica ha ido en aumento de forma exponencial. Por los avances de la tecnología, ahora cada usuario puede utilizar diversos dispositivos conectados a WiFi para realizar diversas actividades (Nilsson, 2008).

De acuerdo a la norma de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT, norma UIT-T K.62 (UIT, 2004), cada dispositivo de comunicación inalámbrica cumple con los requisitos de compatibilidad electromagnética tal como el nivel de emisión radiado.

Sin embargo, por la gran cantidad de dispositivos recibiendo y transmitiendo en una frecuencia común, la superposición de las emisiones que se generan, podría llegar a superar el límite del nivel de emisión de radiación permitido  $E_L$  que en nuestro caso, regulado por el Instituto Federal de Telecomunicaciones IFT, debe ser de 100 mW para sistemas WiFi (IFT, 2015). Si bien no se tiene evidencia de que la exposición a niveles de emisiones que superen el límite de la recomendación ocasione daños a la salud de los usuarios, si ha sido un tópico bastante observado, principalmente por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 20017) que a través de su proyecto CEM (sobre Campos Electromagnéticos) vigila sobre posibles consecuencias producidas por la exposición del usuario a la radiación no ionizante.

Actualmente ha sido poco el estudio sobre las emisiones radiadas utilizando modelos matemáticos y de los efectos que puede ocasionar la exposición por múltiples dispositivos en un determinado lugar a una frecuencia común, por lo que es pertinente realizar el estudio para un sistema de comunicación inalámbrica WiFi.

## Descripción del método

En un sistema WiFi, un dispositivo (identificado con el subíndice  $j$ ) transmite con un nivel de emisión  $E_j(t)$  que matemáticamente se puede modelar con la función sinusoidal

$$E_j(t) = E_{0j} \cos(\alpha_j \pm \omega t), \quad (1)$$

Donde  $E_{0j}$  es la amplitud de la emisión radiada en un punto de medición,  $\alpha_j$  es la diferencia de fase entre la emisión radiada y alguna referencia establecida para el punto de medición y,  $\omega = 2\pi f$  es la frecuencia (en rad/s).

En general, es posible conocer la amplitud de la emisión radiada  $E_{0j}$ , ya sea por los datos técnicos de cada dispositivo o por mediciones realizadas, pero el valor de la fase en el punto de medición no se puede determinar a priori. Como se establece en la recomendación UIT-T K.62, puede suponerse que la fase  $\alpha_j \in [0, 2\pi]$  es una variable aleatoria con distribución uniforme (UIT, 2014). Por tanto, se puede notar por la ecuación (1) que, el nivel de emisión de cada dispositivo, para cada tiempo  $t$ , es una variable aleatoria con distribución sinusoidal (Couch, 2008), que es por definición; un proceso estocástico estacionario.

Si se considera un sistema WiFi con  $N$  dispositivos, utilizando el principio de superposición de ondas electromagnéticas, se obtiene que el nivel de emisión de radiación de sistema en un punto determinado está dado por:

$$E(t) = E_0 \cos(\alpha \pm \omega t), \quad (2)$$

Donde  $E_0$  y  $\alpha$  son la amplitud y la fase combinadas dadas por las ecuaciones (3) y (4) respectivamente.

$$E_0^2 = \sum_{j=1}^N E_{0j}^2 + 2 \sum_{j>i}^N \sum_{i=1}^N E_{0i} E_{0j} \cos(\alpha_i - \alpha_j), \quad (3)$$

$$\tan(\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^N \sin(\alpha_i)}{\sum_{i=1}^N \cos(\alpha_i)}. \quad (4)$$

Es importante mencionar que la amplitud combinada queda en función de una variable aleatoria, lo que impide calcularla con métodos matemáticos convencionales.

Puede observarse también de la ecuación (3) que si todas las emisiones están en fase, cuando  $\alpha_i = \alpha_j \quad \forall i, j$ , se obtiene el nivel de radiación máximo que podría radiar el sistema en un punto determinado. A este nivel de radiación se le conoce como nivel límite superior  $E_{MAX}$  de emisiones del sistema y queda dado por la expresión

$$E_{MAX} = \sum_{i=1}^N E_{0i}. \quad (5)$$

Se espera que los sistemas generen un nivel de emisión de radiación  $E(t)$  que no sobrepase el límite máximo  $E_L$ , es decir; que se cumpla que

$$E_{\min} \leq E(t) \leq E_L, \quad (6)$$

Para algún valor de emisión límite inferior  $E_{\min}$ . Para esto, se propone calcular la probabilidad de que el nivel de emisión de radiación del sistema cumpla con la desigualdad en la ecuación (6). A esta probabilidad se le llama probabilidad de conformidad  $P_C$  y queda expresada por

$$P_C = \int_{E_{\min}}^{E_L} f_E dE, \quad (7)$$

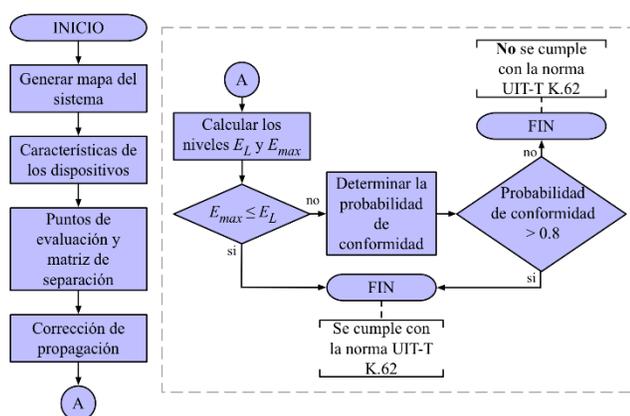
Donde  $f_E$  es la función de densidad de probabilidad del nivel de emisión (Catar, 2006).

Cabe mencionar que las amplitudes en el punto de evaluación deben expresarse en unidades lineales [ $\mu V/m$ ] para realizar los cálculos numéricos en la ecuación (7).

La norma establece que, un sistema es conforme si y sólo si la probabilidad de conformidad es de al menos un 80%, misma que se calcula solo en el caso  $E_{MAX} \geq E_L$  (Figura 1).

### Análisis de sistema WiFi

El sistema que se analiza está conformado por seis puntos de acceso que se encuentran ubicados dentro de un edificio de dos plantas. De acuerdo a la metodología propuesta por la recomendación UIT-T K.62 se utiliza el siguiente diagrama de guía en la construcción del modelo matemático simplificado.



**Figura 1** Metodología para verificar cumplimiento de norma UIT-T K.62

Fuente: Elaboración propia

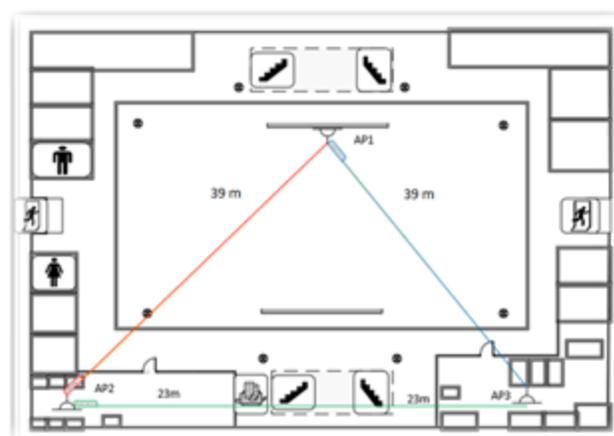
ISSN: 2523-6814

ECORFAN@ Todos los derechos reservados

En este trabajo solo se considera la frecuencia común  $2.4\text{ GHz}$  y tres puntos de evaluación. Es importante mencionar que se consideran sólo trayectorias directas desde los dispositivos a los puntos de evaluación.

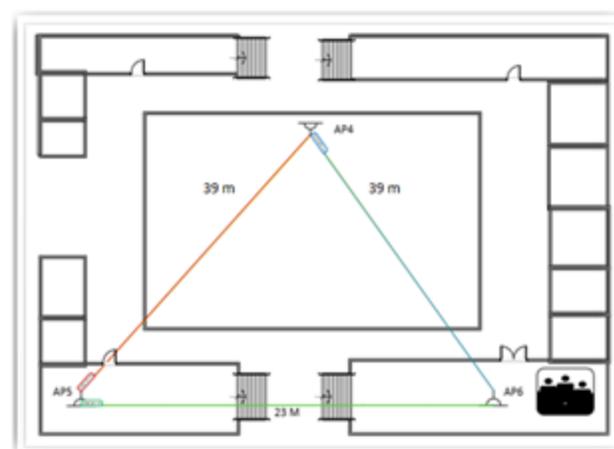
### 1 Mapa del sistema

El sistema está conformado por seis puntos de acceso (Access Points) en el edificio (Correa, 2013), que se representan en el siguiente mapa del sistema.



**Figura 2** Access Points en planta baja

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3** Access Points en planta alta

Fuente: Elaboración propia

Como parte del modelo, se debe delimitar el sistema definiendo la frontera del sistema, en este caso serán todas las paredes exteriores del edificio.

### 2 Características de los dispositivos

Las características de los dispositivos que conforman el sistema se muestran en la siguiente tabla.

ROJAS-SANDOVAL, Daniel, VELASCO-CASTILLO, Miguel Ángel, LÓPEZ-DÍAZ, Roberto Enrique, HERNÁNDEZ-BÁEZ, Irma Yazmín. Evaluación del nivel de emisión de radiación de un sistema Wi-Fi aplicando la norma UIT-T K.62. Revista de Tecnologías Computacionales. 2018

Marca del dispositivo	CISCO
Serie	Air-lap1142N-N-K9.
Modelo	Aironet 802.11n dual band
Puertos	Detección automática 10/100/1000BASE-T (RJ-45) Gestión de la consola (RJ45)
Memoria del sistema	128 MB DRAM de 32 MB de flash
Requisitos de alimentación de entrada	API140: 44-57 VDC
Fuentes de alimentación y energía del inyector	100 a 240 VAC; 50 a 60 Hz
Dimensiones del dispositivo	(22.1 x 22.1 x 4.7 cm)
Peso del dispositivo	1.04 Kg
Frecuencia	2.4 GHz
Polaridad (Horizontal o vertical)	Horizontal y vertical
Nivel máximo de potencia	20 dB+4 dBi

**Tabla 1** Características de Access Point  
Fuente: Elaboración propia

Como se recomienda en la norma, se supondrá que cada equipo radia de manera completamente isotrópica.

Además, se supondrá que las emisiones de cada equipo están en el nivel del límite de emisiones para el cual se diseñó (Sucre, 2003).

### 3 Puntos de evaluación y matriz de separación

Examinando el mapa del sistema, su composición y las emisiones de los equipos, se seleccionan algunos puntos para realizar la evaluación del nivel de emisión del sistema.

En la Tabla 2, se muestra una matriz con las distancias de cada punto de evaluación a los seis puntos de acceso (IEEE, 2004).

	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5	AP6
P1	9.00	30.00	40.02	40.14	9.48	40.13
P2	20.22	43.93	58.37	20.00	29.83	19.00
P3	19.50	43.60	43.60	43.60	19.50	30.15

**Tabla 2** Matriz de separación (en metros)  
Fuente: Elaboración propia

### 4 Corrección de propagación

Con las características de emisión de cada dispositivo y las distancias al punto de evaluación, se puede calcular el nivel de emisión radiada considerando las correcciones de propagación.

Para este caso, se consideran sólo las trayectorias directas por lo que se utiliza la recomendación UIT-T P.525-2 para el cálculo de la atenuación en el espacio libre.

Como se describe en (Tomassi, 2007) la ecuación que define las pérdidas en trayectoria directa en el espacio libre,  $L_p$ , está dada por

$$L_p = \left(\frac{4\pi D 10^3}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi D f 10^3}{c}\right)^2, \quad (8)$$

Donde  $D$  es la distancia (en Km),  $f$  es la frecuencia (en Hz),  $c = 3 \times 10^8$  m/s es la velocidad de la luz en el espacio libre y  $\lambda = c/f$  es la longitud de onda.

Al considerar los datos del problema y la ecuación anterior en decibeles, se obtiene

$$L_{P(dB)} = 20 \log\left(\frac{40\pi}{3}\right) + 20 \log f_{(GHz)} + 20 \log D_{(m)}. \quad (9)$$

### 5 Emisiones límite superior y máximo

De acuerdo a las secciones anteriores, se deben calcular los niveles de emisión  $E_L$  y  $E_{MAX}$  en unidades lineales [ $\mu V/m$ ] para obtener si es el caso, la probabilidad de conformidad.

De acuerdo a la norma del Instituto Federal de Telecomunicaciones NOM-088/1-SCT1-2002 el nivel límite superior  $E_L = 100$  mW = 127 dB $\mu V/m$  que es la cantidad de emisión radiada por un dispositivo a la distancia de un metro, mientras que para el nivel máximo  $E_{MAX}$  se tienen que calcular las emisiones individuales al punto de evaluación y sumarlas como se expresa en la ecuación (5).

### 6 Implementación

Se realiza el cálculo de cada emisión para cada punto de evaluación como se establecen en la matriz de separación (Tabla 2) y se muestran los resultados en las siguientes tablas.

Dispositivo	$D_{(m)}$	$E_{oi}(dB\mu V/m)$
AP1	9	103.7795
AP2	30	93.3220
AP3	40.02	90.8232
AP4	40.14	90.8232
AP5	9.48	103.3099
AP6	40.13	90.8232
$E_{MAX} = 113.0942$		

**Tabla 3** Nivel máximo para el primer punto de evaluación

Fuente: Elaboración propia

Dispositivo	$D_{(m)}$	$E_{oi}(dB\mu V/m)$
AP1	20.22	96.8438
AP2	43.93	89.9953
AP3	58.37	87.5958
AP4	20	96.8438
AP5	29.83	93.3220
AP6	19	97.2893
$E_{MAX} = 109.944$		

**Tabla 4** Nivel máximo para el segundo punto de evaluación

Fuente: Elaboración propia

Dispositivo	$D_{(m)}$	$E_{oi}(dB\mu V/m)$
AP1	19.5	97.0637
AP2	43.60	90.0946
AP3	43.60	90.0946
AP4	43.60	90.0946
AP5	19.5	97.0637
AP6	30.15	93.3220
$E_{MAX} = 109.0937$		

**Tabla 5** Nivel máximo para el tercer punto de evaluación

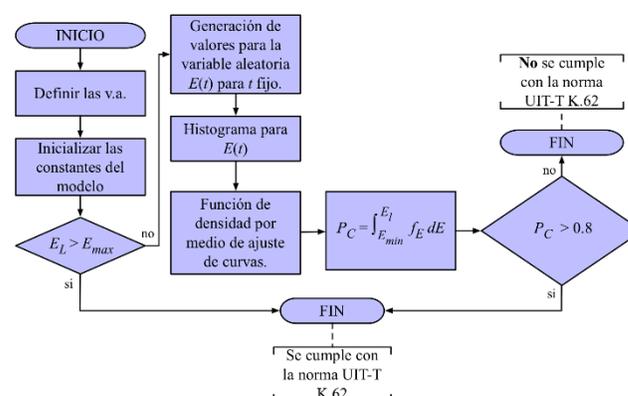
Fuente: Elaboración propia

En comparación con el valor de emisión límite superior del sistema  $E_L = 127 dB\mu V/m$  se observa que en los tres puntos de evaluación se obtiene  $E_{MAX} < E_L$ , lo cual implica que tiene una probabilidad de conformidad del 100 % (Valle, 2015) por lo que el sistema analizado es conforme.

En el supuesto caso de obtener lo contrario, que el nivel máximo  $E_{MAX}$  sobrepase el límite establecido  $E_L$ , se debe calcular la probabilidad de conformidad  $P_C$  del sistema de acuerdo a la ecuación (7).

En la mayoría de los casos reales, por las características del modelo, no es posible calcular analíticamente la función de densidad, por tanto; es importante preparar una metodología numérica para calcularla.

La función de densidad del proceso  $E(t)$  que se define en las ecuaciones (2)-(4), se puede obtener utilizando un algoritmo que se basa en el método de histogramas (Walpole, 2007) como se muestra en el siguiente diagrama.



**Figura 4** Diagrama de flujo para cálculo de función de densidad de probabilidad

Fuente: Elaboración propia

Para esto, se definen las diferentes fases  $\alpha_j$  como variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas con densidad de probabilidad uniforme en el intervalo  $[0, 2\pi]$ . Se genera una muestra suficientemente grande de valores de la emisión del sistema  $E(t)$  que se presenta en la ecuación (2) con la que se puede generar un histograma y por consecuencia, una gráfica (discreta) de su función de densidad  $f_E$  por medio de la cual se puede calcular la probabilidad de conformidad numéricamente. En la siguiente sección se analiza un caso teórico de un sistema que excede, en principio, con el límite máximo de emisión  $E_L$ .

Cabe destacar que la implementación del algoritmo se puede realizar en cada punto para un valor del tiempo  $t$  fijo, debido a que el proceso estocástico es estacionario.

### Resultados de caso teórico

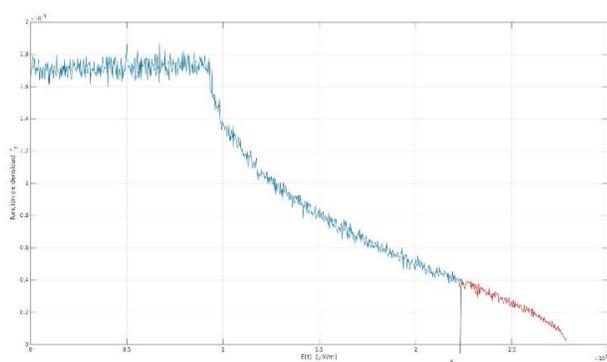
Se considera el caso de tener tres Access Point a una distancia de 1.5 m del punto de evaluación y en trayecto directo. Realizando el cálculo del nivel de emisión máxima se obtiene la siguiente tabla.

Dispositivo	$D_{(m)}$	$E_{oi} (dB\mu V/m)$
AP1	1.5	119.34
AP2	1.5	119.34
AP3	1.5	119.34
		$E_{MAX} = 128.88$

**Tabla 6** Nivel máximo para caso teórico

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el nivel máximo supera al nivel límite superior y se calcula su probabilidad de conformidad de acuerdo a la metodología que se propone en el diagrama de la figura 3, obteniendo la gráfica de la función de densidad en Matlab



**Figura 5** Función de densidad de probabilidad para caso teórico

Fuente: Elaboración propia

Al realizar el cálculo de la probabilidad de conformidad se halla que

$$P_C = \int_{E_{min}}^{E_L} f_E dE = 0.9530, \quad (10)$$

Lo cual significa que aunque se excede el límite superior máximo  $E_L$ , se cumple con la norma UIT-T K.62.

## Conclusiones

Los niveles de emisión de radiación a nivel sistema que se han calculado están por debajo del nivel límite superior que se permite de acuerdo a la recomendación. Sin embargo, deben considerarse más fuentes de emisión como computadoras de escritorio, laptops, tabletas, teléfonos celulares con acceso a WiFi, además de considerar otro tipo de trayectorias que pueden incrementar del valor de la emisión en el punto de evaluación, emisión que se puede validar a través de mediciones con un analizador de espectros y realizando la comparativa.

Cabe mencionar que la introducción a la era del internet de las cosas (IoT), tendrá como consecuencia más interacciones del ser humano con los dispositivos de comunicación inalámbrica.

Es importante observar que la norma se enfoca en realizar el cálculo del nivel de emisión en un punto determinado, sin embargo, es de especial interés conocer el nivel de potencia que se recibe en una región determinada. Esto es, contar con un estudio más detallado sobre los niveles de potencia que se radian sobre un cuerpo como el del ser humano.

## Referencias

Catar, E. A. (2006). *Mediciones de radiaciones electromagnéticas*. Obtenido de PDF. Universidad Nacional de Ingeniería.

Correa, E. E. (2013). *Access point (Punto de acceso)*. Recuperado el 10 de octubre de 2014, de <http://todo-redes.com/access-point-punto-de-acceso.html>

IEEE. (09 de Septiembre de 2004). <http://www.ieee802.org/15/pub/TG1.html>. Recuperado el 04 de Marzo de 2014, de <http://www.ieee802.org/15/pub/TG1.html>

Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2015). *dt-ift-008\_2015\_1.pdf* Instituto Federal de Telecomunicaciones. Recuperado de [http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/4645/documentos/dt-ift-008\\_2015\\_1.pdf](http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/4645/documentos/dt-ift-008_2015_1.pdf)

Mosca, T. (Noviembre de 2012). *Principio de superposición de ondas*. Obtenido de PDF. <http://iesdmjac.educa.aragon.es>

Valle, E. E. (13 de marzo de 2015). *Medición de radiaciones no ionizantes en puntos de acceso Wi-Fi en la frecuencia de 2.4GHz*. Obtenido de PDF. Universidad Tecnológica Nacional.

W. Tomassi, (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, Cuarta Ed. México: Prentice Hall.

Walpole, R. (2007). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Pearson.