ANÁLISIS DE LA PROPAGACIÓN DE UNA SEÑAL MMWAVE EN ENTORNOS INDOOR

Maria Camila Madroñero Ocaña
Sandra Milena Meneses Dorado

Director: Mag. Harold Armando Romo Romero

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
GNTT-Grupo de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones
Popayán, 2016.

ANÁLISIS DE LA PROPAGACIÓN DE UNA SEÑAL MMWAVE EN ENTORNOS INDOOR

ANEXOS

Maria Camila Madroñero Ocaña
Sandra Milena Meneses Dorado

Director: Mag. Harold Armando Romo Romero

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
GNTT-Grupo de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones
Popayán, 2016.

TABLA DE CONTENIDO

A CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO, POTENCIA EN RECEPCIÓN Y PÉRDIDAS DE TRAYECTO EN WIRELES INSITE 1

A.1 CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO 1

A.2 CÁLCULO DE POTENCIA EN RECEPCIÓN Y PÉRDIDAS DE TRAYECTO..... 3

B MODELADO DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN EN WIRELESS INSITE 7

B.1 CREACIÓN DEL ENTORNO *INDOOR* 7

B.2 CREACIÓN DE LA FORMA DE ONDA 13

B.3 CREACIÓN DE LA ANTENA 14

B.4 CREACIÓN DEL TRANSMISOR 16

B.5 CREACIÓN DEL RECEPTOR 17

B.6 CREACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 19

LISTA DE FIGURAS

Figura A.1 Obtención de pérdidas de trayecto en Wireless InSite 5

Figura B.1 Propiedades del material ladrillo 8
Figura B. 2 Edición del Floor plan 9
Figura B.3 Construcción de muros 10
Figura B.4 Ancho de ventana 10
Figura B.5 Ubicación de una ventana 11
Figura B.6 Alturas y materiales de las secciones del muro 11
Figura B.7 Floor plan en 2D 12
Figura B.8 Floor plan en 3D 13
Figura B.9 Creación de una nueva forma de onda 13
Figura B.10 Propiedades de la forma de onda 14
Figura B.11 Propiedades de la antena 16
Figura B.12 Propiedades del transmisor 17
Figura B.13 Propiedades del receptor 18
Figura B.14 Propiedades del área de estudio 20

LISTA DE ACRÓNIMOS

2D	Dos Dimensiones
3D	Tres Dimensiones
VSWR	Relación Onda Estacionaria Voltaje *(Voltage Standing Wave Relation*).

ANEXO A

CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO, POTENCIA EN RECEPCIÓN Y PÉRDIDAS DE TRAYECTO EN WIRELES INSITE

A.1 CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO

En este anexo, se presenta el proceso que realiza Wireless InSite para la evaluación del campo eléctrico en un punto de recepción. El campo se evalúa a partir de las trayectorias geométricas específicas del trazado de rayos. Wireless InSite encuentra únicamente el campo eléctrico en la zona lejana de la antena transmisora, para lo cual se considera que en el espacio libre el campo eléctrico en la dirección (θ, ϕ) en el campo lejano a una distancia r se puede escribir como se define en la siguiente expresión

$$E(r,\theta,\emptyset) = (A_\theta(\theta,\phi)\hat{e}_\theta + A_\phi(\theta,\phi)\hat{e}_\phi)\frac{e^{-j\beta r}}{r}, \tag{A.1}$$

con:

$$A_\theta(\theta,\phi) = \sqrt{\frac{P_T\,\eta_0}{2\pi}}\; g_\theta\;(\theta,\phi)\;, \tag{A.2}$$

$$A_\emptyset(\theta,\phi) = \sqrt{\frac{P_T\,\eta_0}{2\pi}}\; g_\phi\;(\theta,\phi)\;, \tag{A.3}$$

$$g_\theta\;(\theta,\phi) = |G_\theta\,(\theta,\emptyset)|^{\frac{1}{2}}\;\; e^{j\psi_\theta}\;\;, \tag{A.4}$$

donde:

$G_\theta(\theta,\emptyset)$: componente θ de la ganancia de la antena transmisora.
ψ_θ, $g_\emptyset$: fases relativas de las componentes θ y ϕ del campo eléctrico de zona lejana.
$\beta = \omega / c$: número de onda angular.
P_T : potencia promedio en el tiempo radiada por el transmisor.
r : distancia desde el transmisor al punto de campo.

Debido a que la polarización del campo eléctrico incidente en cada reflexión no es totalmente paralelo ni perpendicular al plano de incidencia, pero es una combinación de los dos, se debe descomponer mediante el uso de un sistema de coordenadas fijo en cada reflexión, los componentes del campo eléctrico reflejado paralelo y perpendicular al plano de reflexión

están dados por la expresión (A.5) en relación a las intensidades de campo incidente E^i, al vector unitario perpendicular al plano de incidencia $\hat{e}_\perp$, al vector unitario paralelo al plano de incidencia $\hat{e}_{||}$ y al vector unitario paralelo al plano de incidencia $\hat{e}'_{||}$

$$\begin{pmatrix} E^r_{||} \\ E^r_\perp \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{||} & 0 \\ 0 & R_\perp \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E^i_{||} \\ E^i_\perp \end{pmatrix}, \tag{A.5}$$

donde:

$$E^i_\perp = \hat{e}_\perp \cdot E^i,$$

$$E^i_{||} = \hat{e}_{||} \cdot E^i,$$

$$\hat{e}_\perp = k \times \hat{n} / |k \times \hat{n}| \,,$$

$$\hat{e}_{||} = k \times \hat{e}_\perp / |k \times \hat{e}_\perp|,$$

$$\hat{e}'_{||} = k' \times \hat{e}_\perp / |k' \times \hat{e}_\perp|.$$

El campo reflejado E^r está dado por la siguiente ecuación

$$E^r = \hat{e}'_{||} \cdot E^r_{||} + \hat{e}_\perp \cdot E^r_\perp \,. \tag{A.6}$$

Los campos incidente y difractado se expresan en términos de un sistema de coordenadas fijo, el vector unitario $\hat{l}$ es paralelo al borde de difracción, k es el vector de propagación para el campo difractado, y k'es el vector de propagación para el campo incidente, de lo cual se tienen los vectores unitarios de las expresiones siguientes

$$\hat{\phi}' = \frac{\hat{l} \times \hat{k}'}{|\hat{l} \times \hat{k}'|} \tag{A.7}$$

$$\hat{\beta}' = \hat{\phi}' \times \hat{k}' \tag{A.8}$$

Por tanto, los componentes del campo incidente quedan determinados por las siguientes expresiones

$$E^i_{\phi'} = E^i \cdot \hat{\phi}' \tag{A.9}$$

$$E^{i}_{\beta'} = E^{i} \cdot \hat{\beta}\,' \tag{A.10}$$

Y los componentes del campo difractado en el receptor en este sistema de coordenadas fijo están dadas por la ecuación siguiente

$$\begin{pmatrix} E^{d}_{\beta} \\ E^{d}_{\phi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{ss} & D_{sh} \\ D_{hs} & D_{hh} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E^{d}_{\beta'} \\ E^{d}_{\phi'} \end{pmatrix} \sqrt{\frac{r_{TD} \cdot r_{DR}}{r_{TD} + r_{DR}}} \frac{e^{-j\beta r_{DR}}}{r_{DR}} \,. \tag{A.11}$$

De lo anterior se tiene que el campo difractado en el receptor está dado por

$$E^{d} = E^{d}_{\beta}\hat{\beta} + E^{d}_{\phi}\hat{\phi} \,. \tag{A.12}$$

Final se determinan los componentes esféricos del campo eléctrico en el receptor usando la expresión

$$\begin{pmatrix} E_r \\ E_\theta \\ E_ø \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \operatorname{sen}(\theta_A)\cos(ø_A) & \operatorname{sen}(\theta_A)\cos(ø_A) & \cos(\theta_A) \\ \cos(\theta_A)\cos(ø_A) & \cos(\theta_A)\operatorname{sen}(ø_A) & -\operatorname{sen}(\theta_A) \\ \operatorname{sen}(ø_A) & \cos(ø_A) & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix}, \tag{A.13}$$

donde $(\theta_A\,, \phi_A)$ es la dirección desde la cual el rayo llega al receptor. Para los campos polarizados con modo TEM la componente radial E_r es calculada a partir de la ecuación (A.*13*) [1].

A.2 CÁLCULO DE POTENCIA EN RECEPCIÓN Y PÉRDIDAS DE TRAYECTO

Para la futura obtención de resultados, Wireless InSite inicialmente realiza un trazado de rayos, para encontrar y definir los posibles caminos entre el transmisor y receptor de un sistema, en base a éstos trayectos, se permite la obtención de distintos tipos de salida, entre los cuales están potencia en recepción, pérdida de trayecto, trayectos de propagación y tiempo de llegada. Como el presente trabajo de grado se centra en la pérdida de trayecto, a continuación, se detalla el modelado que hace el software de simulación a dicho parámetro:

Inicialmente, se define la potencia en recepción con el aporte de cada rayo, en la que las potencias de cada rayo se suman sin tener en cuenta la fase, dicha potencia está dada por (A.14)

$$P_R = \sum_{i=1}^{N_p} P_i, \tag{A.14}$$

donde:

N_p: número de trayectos
P_i: potencia promedio en el tiempo del trayecto i-ésimo, el cual está dado por (A.15)

$$P_i = \frac{\lambda^2 \beta}{8 \pi \eta_0} |E_{\Theta,i} g_\Theta(\Theta_i, \phi_i) + E_{\phi,i} g_\phi(\Theta_i, \phi_i)|^2, \tag{A.15}$$

donde:

η_0: impedancia en el espacio libre, 377Ω.
$E_{\Theta,i}$: componente en dirección Θ del campo eléctrico del trayecto i-ésimo.
$E_{\phi,i}$: componente en dirección ϕ del campo eléctrico del trayecto i-ésimo.
Θ_i : dirección de llegada en la coordenada Θ.
ϕ_i: dirección de llegada en la coordenada ϕ.
β: medida de la cantidad por la cual la densidad espectral de frecuencia de la forma de onda transmitida $S_T(f)$ sobrepasa la densidad espectral de frecuencia del receptor $S_R(f)$, y se muestra en (A.16)

$$\beta = \frac{\int_{f_{MIN}}^{f_{MAX}} S_T(f) S_R(f) df}{\int_{f_{MIN}}^{f_{MAX}} S_T(f) df}, \tag{A.16}$$

donde:

f_{MIN}: mínima frecuencia del rango sobre el cual $S_T(f) > 0$.
f_{MAX}: máxima frecuencia del rango sobre el cual $S_T(f) > 0$.

La densidad espectral de frecuencia del receptor $S_R(f)$ siempre está normalizada para que su máximo valor sea 1.

La ganancia en las direcciones Θ y ϕ está dada por (A.17)

$$g_\Theta(\Theta_i, \phi_i) = |G_\Theta(\Theta, \phi)|^{1/2} e^{i\Psi_\Theta}, \tag{A.17}$$

donde :

G_Θ: componente en dirección Θ de la ganancia de antena del receptor.
Ψ_Θ: fase relativa del segundo componente del campo eléctrico de la zona lejana en Θ.
g_ϕ: fase relativa del segundo componente del campo eléctrico de la zona lejana en ϕ.

Cuando todos los campos se suman teniendo en cuenta la fase, la potencia total recibida es la que se muestra en (A.18)

$$P_R = \frac{\lambda^2 \beta}{8 \pi \eta_0} | \sum_{i=1}^{N_p} [E_{\Theta,i} g_\Theta(\Theta_i, \Phi_i) + E_{\Phi,i} g_\Phi(\Theta_i, \Phi_i)] |^2. \quad (A.18)$$

Ahora, la potencia en dBm se determina como en (A.19)

$$P_R(dBm) = 10 \ \log_{10}[P_R(W)] + 30dB, \quad (A.19)$$

Finalmente, se pueden calcular las pérdidas de trayecto como en (A.20)

$$L_{Path}(dB) = P_T(dBm) - P_R(dBm) + G_{T,Max}(dBi) + G_{R,Max}(dBi) - L_S(dB), \quad (A.20)$$

donde:

L_S: suma de todas las pérdidas adicionales del sistema.
$G_{T,Max}(dBi)$, $G_{R,Max}(dBi)$: ganancias máximas de la antena transmisora y receptora.

En la Figura A.1 se representa el proceso de obtención de las pérdidas de trayecto en Wireless InSite.

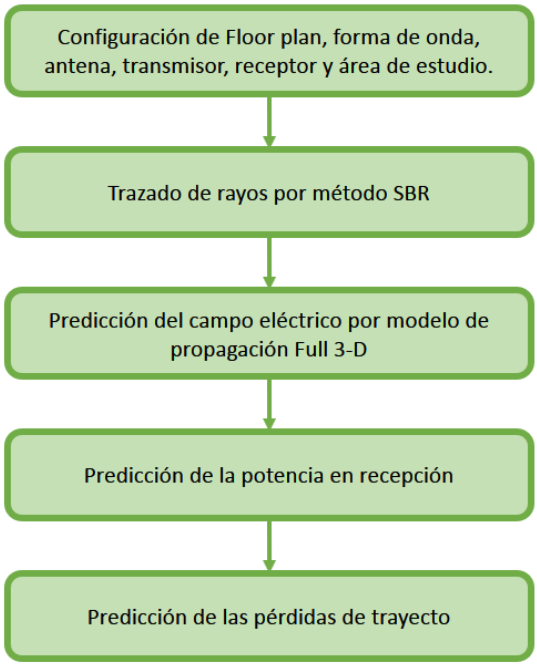

Figura A.1 Obtención de pérdidas de trayecto en Wireless InSite

ANEXO B

MODELADO DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN EN WIRELESS INSITE

En este anexo, se muestran los pasos para la generación de un sistema de simulación en el software Wireless InSite. En cada sección se abarcan pasos para la realización de cada elemento del sistema como lo es el entorno *indoor*, forma de onda, antena, transmisor, receptor y área de estudio.

B.1 CREACIÓN DEL ENTORNO *INDOOR*

Wireless InSite permite crear entornos *indoor*, especificando las características de los materiales, las dimensiones y la ubicación de los parámetros. Para crear el plano del entorno *indoor oficina básica*, se siguen los siguientes pasos:

1) Hacer clic en la opción *Project > New > Feature > Floor plan*.

Aparece automáticamente la ventana *Floor plan height*, en la que se deben especificar las alturas de elevación del plano y del techo en metros.

2) Se define 0 metros para la altura del piso y 2,5 metros para la altura del techo. Se hace clic en *OK*.

Se muestra la ventana *Edit floor plan*, la cual consta principalmente de una grilla, algunas opciones de configuración para la edición del plano y la selección de materiales para el piso, techo, paredes, puertas y ventanas.

3) Con la rueda del ratón, se selecciona el acercamiento o alejamiento de la grilla deseado.

La opción *Snap-to*, permite seleccionar hacia qué se va a aferrar el cursor cuando esté sobre la grilla.

4) Se selecciona la opción *Grid lines*.

Se define el espaciamiento de grilla, con el que se facilita la identificación de las dimensiones de la estructura:

5) Se selecciona la casilla de *Grid spacing (m)* y se define un espaciamiento de grilla de 1.

Se seleccionan los materiales de los componentes de la estructura:

6) Para seleccionar el material de las paredes, se hace clic en *Wall material* > *Replace*.

Se muestra la ventana *Choose material* y en la parte inferior de ésta se muestra una tabla de los materiales existentes en la base de datos del software, en este caso se va a seleccionar ladrillo como material:

7) Se selecciona el material que indica *Brick* en la columna *Description*. Se hace clic en *OK*.

8) Hacer clic en *Wall material* > *Properties* para verificar el grosor del ladrillo en la columna *Thickness*, ésta indica, por defecto, que el grosor del concreto es de 0,3 metros, pero se puede modificar según se desee, en este caso se fija en 15 cm. La ventana de propiedades del ladrillo se muestra en la Figura B.1.

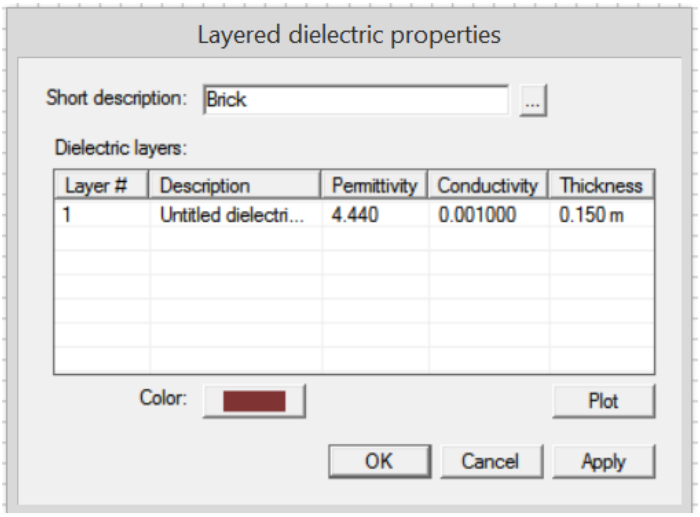

Figura B.1 Propiedades del material ladrillo

9) Se repiten los pasos 6, 7 y 8 para el piso y techo en *Floor material* y *Ceiling material.*

Las configuraciones de aferramiento de cursor, espaciamiento de grilla y de concreto como material están definidas por defecto en el software. La Figura B. 2 muestra la ventana *Edit floor plan* con la anterior configuración.

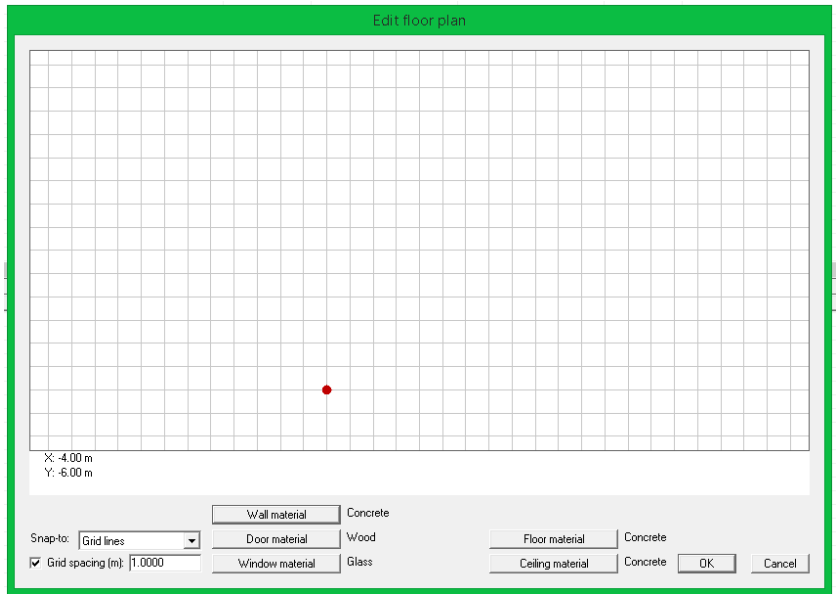

Figura B. 2 Edición del Floor plan

Con las configuraciones de construcción listas, se inicia la construcción del entorno *indoor*.

10) Se ubica el cursor sobre la grilla, se hace clic derecho y se selecciona *New > Wall (s).*

Se muestra un mensaje de instrucciones para crear una nueva pared, el cual indica que indica que para definir cada pared se debe hacer clic en el punto final de cada una y para concluir la construcción de paredes se debe hacer clic derecho.

11) Se hace clic en *OK*.

12) Se hace clic en sobre cualquier lugar de la grilla, con esto se crea el punto inicial de un muro y al alejar el cursor de dicho punto, se va creando la pared. Se aleja las casillas de la grilla, que determinan los metros de largo de pared que se requieran y se hace clic, para continuar con la construcción de las paredes, según se requiera.

La vista final de la ventana de *Edit floor plan*, después de la construcción de las paredes, es la mostrada en la Figura B.3.

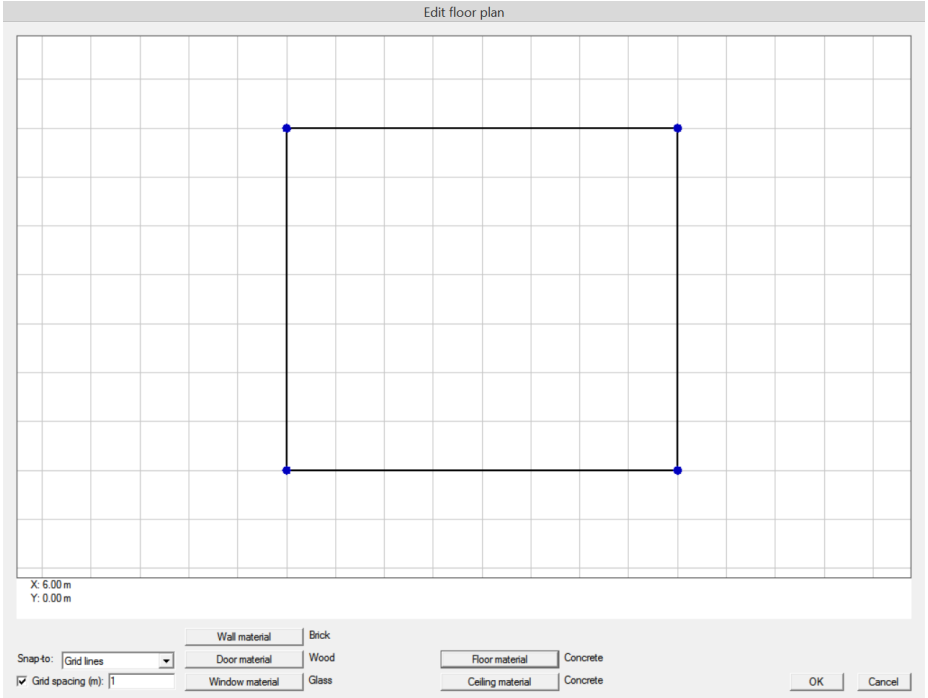

Figura B.3 Construcción de muros

Después de definir *Glass* como material, para la construcción de las ventanas se inicia por fijar las propiedades de la opción *Window material* como sigue:

13) Clic en *Properties*, doble clic en *Thinkness* y se fija en el cuadro *Thickness (m)* el valor de 0,006 para establecer el grosor de las ventanas como 6 mm.

Con el material y grosor definidos, se procede a ubicar las ventanas en los muros previamente creados, de la siguiente manera:

14) Clic derecho > *New* > *Window*. El software desplegará la ventana *Window width*, Figura B.4, en la que se fija el ancho de la ventana, el cual en este caso es de 2 m.

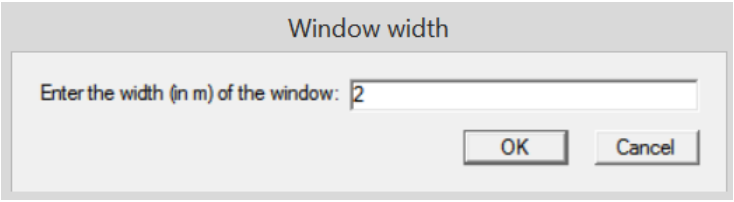

Figura B.4 Ancho de ventana

15) Después de hacer clic en *OK*, el cursor estará ligado a los muros creados y moverá dos puntos indicando los bordes laterales de la ventana a crear, como se muestra en la Figura B.5.

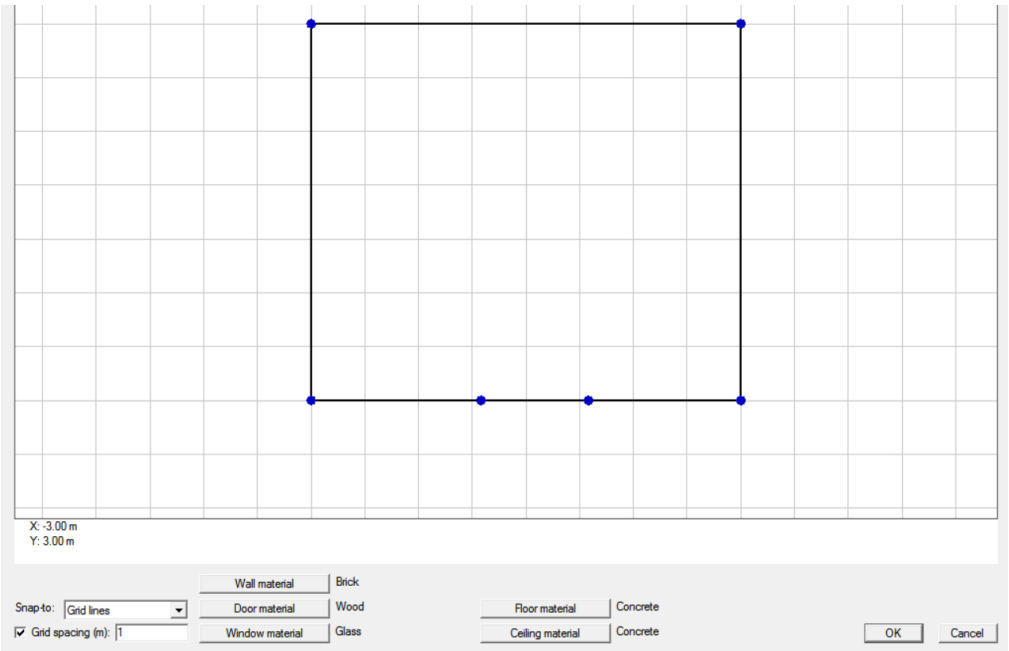

Figura B.5 Ubicación de una ventana

16) Una vez seleccionada la ubicación de la ventana, se hace clic para establecerla en el muro. Automáticamente se despliega la ventana *Edit Wall profile* en la cual, además de posibilitar la definición del material, permite establecer las alturas inferior y superior de las secciones del muro, definidas con la inserción de la ventana recién creada. Dado que la altura de las ventanas de escenario *indoor oficina básica* es de 1,2 m, las secciones del muro tienen las alturas indicadas en la Figura B.6.

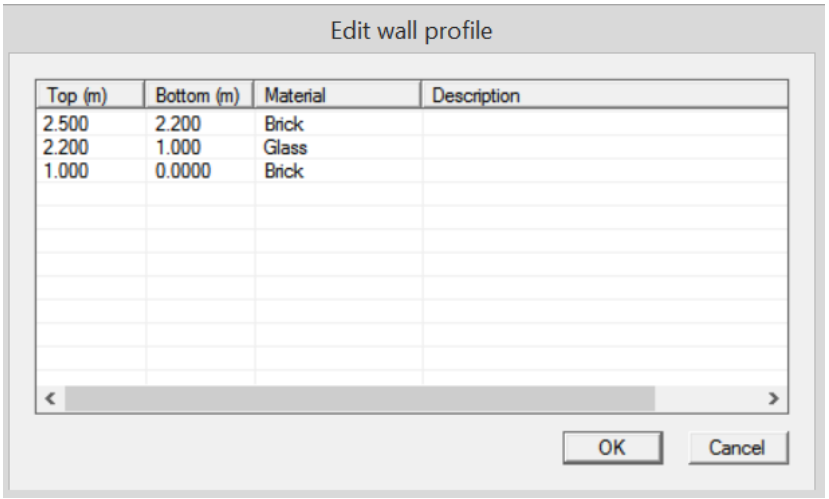

Figura B.6 Alturas y materiales de las secciones del muro

17) Con los pasos 13 a 16 se crean tanto las ventanas faltantes, como la puerta de madera, definiendo para esta última, el material madera de grosor 5 cm, de 90 cm de ancho y 2 m de alto.

Ahora, para la creación de divisiones de panel yeso se procede de la siguiente manera:

18) Clic en *Wall material* > *Replace* > *Layered drywall*, después se define un grosor de 7 mm como se indica en el paso 13, seguidamente se crean las divisiones siguiendo el paso 10.

19) Se hace clic en el botón *OK* de la ventana *Edit floor plan*.

La ventana *Project view* de Wireless InSite muestra la construcción creada, dicha construcción de muestra a continuación en la Figura B.7:

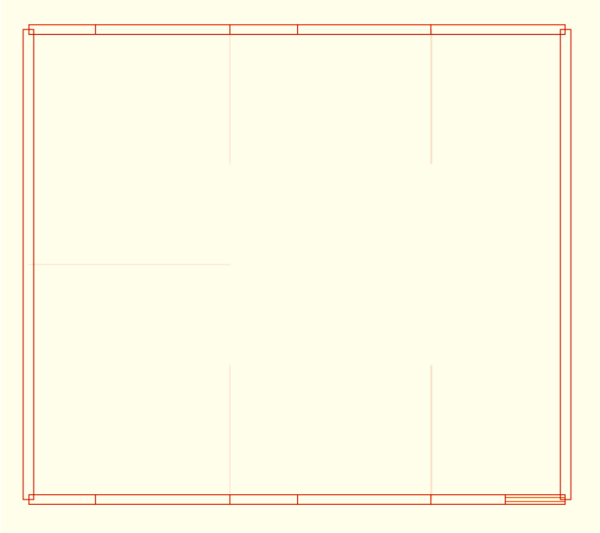

Figura B.7 Floor plan en 2D

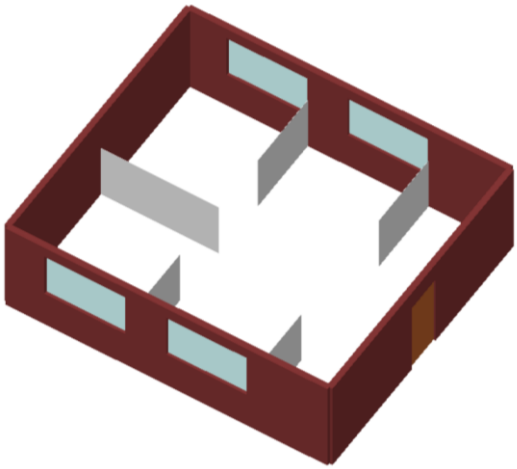

Figura B.8 Floor plan en 3D

La vista de la estructura en se obtiene seleccionando las opciones *Switch to 2D* y *Switch to solid rendering* para su vista en 2 Dimensiones (2D). La vista de Figura B.8 de la estructura se obtiene seleccionando las opciones *Switch to 3D* y *Switch to solid rendering* para su vista en 3 Dimensiones (3D), además de ajustar el ángulo de visión con clic sostenido.

B.2 CREACIÓN DE LA FORMA DE ONDA

Los siguientes son los pasos que se deben seguir para crear una nueva forma de onda, que cumpla las especificaciones del presente trabajo de grado, en Wireless InSite:

1) Hacer clic en *Project* > *New* > *Waveform*.

Aparecerá la ventana *Create new waveform* donde se inicia la creación de una nueva forma de onda, mostrada en la Figura B.9, donde se deberá elegir el tipo de la forma de onda.

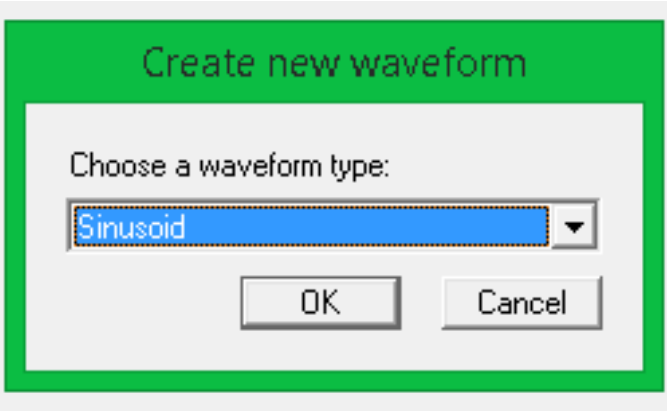

Figura B.9 Creación de una nueva forma de onda

2) Seleccionar *Sinusoid*, para crear una onda sinusoidal y hacer clic en *OK*.

Aparecerá la ventana *Sinusoid properties* donde se especifican las propiedades de la forma de onda.

3) Definir una corta descripción o nombre en el campo *Short description*. En este caso, se define el nombre de Onda del Sistema.

4) Definir la frecuencia de portadora del sistema en MHz, en el campo *Carrier frequency (MHz*). En este caso, se define la frecuencia de portadora de 38248 MHz.

5) Definir el ancho de banda del sistema en el campo *Effective bandwidth (MHz)*. En este caso, el ancho de banda es de 50 MHz.

6) Definir la fase de la forma de onda en el campo *Phase (°)*. En este caso, el valor de la fase es de 0. Hacer clic en *OK*.

Las propiedades de la forma de onda configuradas se muestran en la Figura B.10.

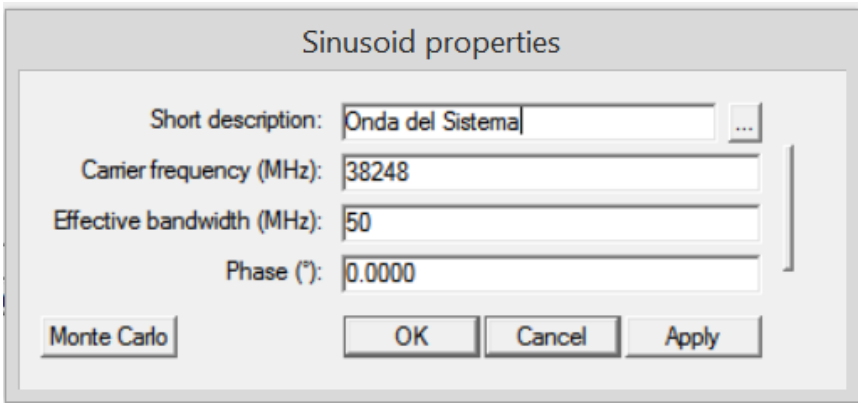

Figura B.10 Propiedades de la forma de onda

Finalmente se concluye la creación de una nueva forma de onda con las características determinadas para este trabajo de grado: Tipo de forma de onda sinusoidal, frecuencia de portadora de 38248 MHz, ancho de banda de 50 MHz y fase de 0°.

B.3 CREACIÓN DE LA ANTENA

El proceso de creación de una nueva antena con características definidas para el presente trabajo de grado, se muestra a continuación:

1) Hacer clic en *Project* > *New* > *Antenna*.

Aparecerá la ventana *Create new atenna*, en la cual se debe seleccionar el tipo de antena.

2) Seleccionar *Omnidirectional*, para crear una antena de tipo omnidireccional. Hacer clic en *OK*.

Se mostrará la ventana *Omnidirectional atenna properties*, en la cual se deberán especificar las características de la nueva antena.

3) En el campo *Short description* se indica una descripción breve de la antena, en este caso es Antena del Sistema.

4) En el campo *Waveform* se debe seleccionar la Onda del Sistema, de esta manera la Antena del Sistema funcionará con dicha forma de onda.

5) En el campo *Maximum gain (dBi)*, se debe desmarcar el cuadro que configura una ganancia automática y se prosigue a indicar la ganancia máxima en dBi de la nueva antena, en este caso es de 0.

6) El campo *Polarization* indica el tipo de polarización de la nueva antena, se selecciona según se desee, para configurar una polarización vertical.

7) Los campos *E-plane half-power beamwidth (°), E-plane first null beamwidth (°),* y *H-plane half-power beamwidth (°), H-plane first null beamwidth (°),* indican el ancho de haz de potencia mitad del plano del campo eléctrico y el primer nulo del ancho de haz del plano del campo eléctrico y magnético, respectivamente, ambos en grados. En este caso se fijan con los valores por defecto.

8) *Receiver Threshold (dBm)* es el campo que indica el valor umbral de potencia que el receptor del sistema será capaz de captar en unidades dBm, en este caso se define como -63,5 dBm.

9) El campo *Transmission line loss (dB)* define la pérdida de línea de transmisión en dB, también se pueden definir todas las demás pérdidas del sistema, para el presente trabajo de grado se determina el valor de 0.

10) El campo de Relación Onda Estacionaria Voltaje (VSWR, *Voltage Standing Wave Relation*) indica la relación de onda estacionaria de voltaje[1] de la antena, en este caso se define como 1.

[1] La relación de onda estacionaria de voltaje indica la potencia reflejada desde la antena, es la relación entre el valor máximo de voltaje de una onda estacionaria y el valor mínimo de dicha onda, medidos en una línea de transmisión conectada a una antena.

11) Se indica un valor de 293 en el campo *Temperature (K)*, para definir una temperatura de antena de 293°K. Hacer clic en *OK*.

Una captura de la Antena del Sistema ya configurada, se muestra en la Figura B.11.

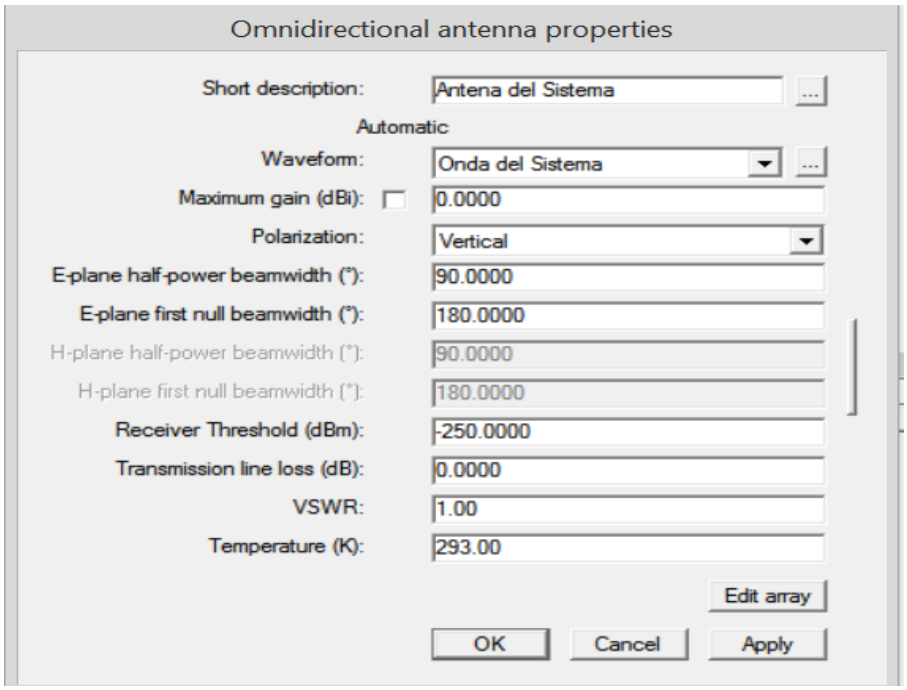

Figura B.11 Propiedades de la antena

B.4 CREACIÓN DEL TRANSMISOR

Los siguientes pasos, son los seguidos para crear un nuevo transmisor en Wireless InSite:

1) Hacer clic en *Project* > *New* > *Transmitter Set* > *Points* para crear un punto transmisor, o cualquiera de las otras opciones si se desea un conjunto de transmisores.

Aparecerá el mensaje *Message* que indica que para la creación de un transmisor se debe hacer clic en el punto deseado del plano y que para finalizar la creación de transmisores se haga clic derecho.

2) Hacer clic en *OK*.

3) Se hace clic en cualquier punto dentro del plano y se hace clic derecho.

Aparecerá la ventana *Transmitter properties*, Figura B.12, en la que se pueden especificar las propiedades del nuevo transmisor.

4) Se indica una corta descripción en el campo *Short description*, para este caso TX.

5) El campo *Coordinate system* permite seleccionar el sistema de coordenadas con las que se ubicará el transmisor, se selecciona *Cartesian* para trabajar con coordenadas cartesianas.
6) Los campos *Origin longitude* y *Origin latitude* indican la ubicación del transmisor en coordenadas cartesianas, se dejan por defecto los valores

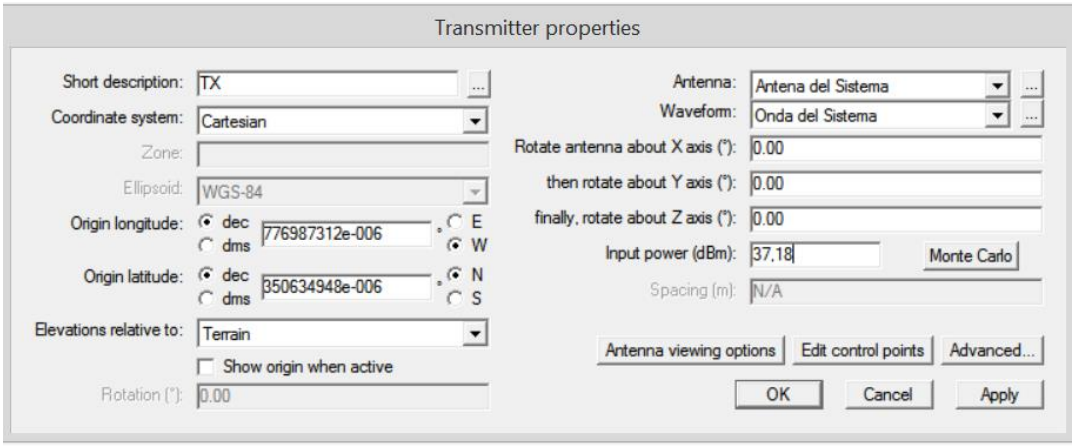

Figura B.12 Propiedades del transmisor

7) Los campos *Antenna* y *Waveform* permiten seleccionar el tipo de antena y forma de onda respectivamente, creadas con anterioridad.

8) Los campos *Rotate antena about X axis*, *Y axis* y *Z axis* permiten rotar la antena alrededor de cualquiera de estos ejes.

9) Mediante las opciones avanzadas *Antenna viewing options*, *Edit control points* y *Advanced*, se accede a la configuración de otros parámetros como la visualización de la antena o de su patrón de radiación.

B.5 CREACIÓN DEL RECEPTOR

Los siguientes pasos, son los seguidos para crear un nuevo receptor en Wireless InSite:

1) Hacer clic en *Project* > *New* > *Receiver Set* > *Points* para crear un transmisor o cualquier de las otras opciones para conjunto de receptores.

Aparecerá el mensaje *Message* que indica que para la creación de un receptor se debe hacer clic en el punto deseado del plano y para finalizar la creación de receptores se haga clic derecho.

2) Hacer clic en *OK*.

3) Se hace clic en cualquier punto dentro del plano donde se desee ubicar el receptor y se hace clic derecho.

Aparecerá la ventana *Receiver properties*, Figura B.13, en la que se pueden especificar las propiedades del nuevo transmisor.

4) Se indica una corta descripción en el campo *Short description*, en este caso se define como RX.

5) El campo *Coordinate system* permite seleccionar el sistema de coordenadas con las que se ubicará el receptor, se selecciona *Cartesian* para trabajar con coordenadas cartesianas.

6) Los campos *Origin longitude* y *Origin latitude* indican la ubicación del receptor en coordenadas cartesianas, se dejan por defecto los valores si así se desea.

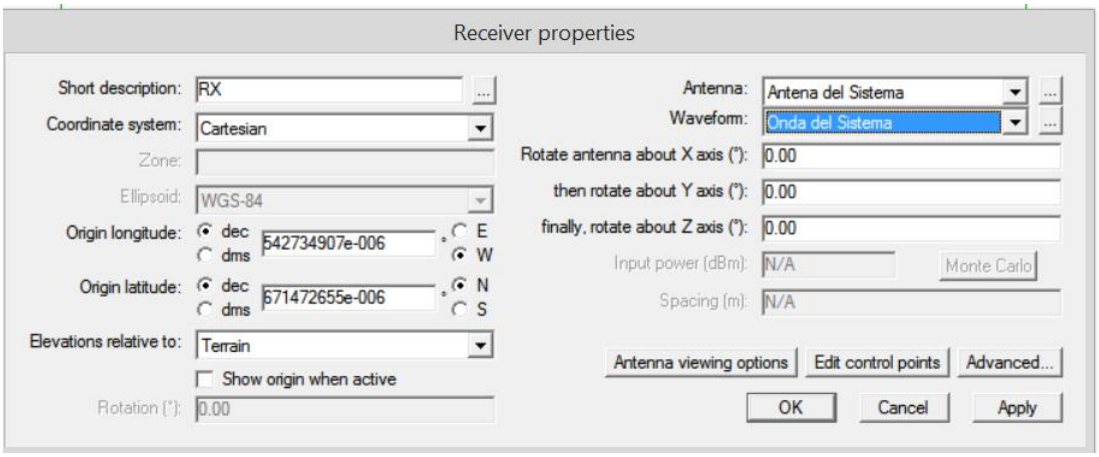

Figura B.13 Propiedades del receptor

7) Los campos *Antenna* y *Waveform* permiten seleccionar el tipo de antena y forma de onda respectivamente, creadas con anterioridad.

8) Los campos *Rotate antenna about X axis*, *Y axis* y *Z axis* permiten rotar la antena alrededor de cualquiera de estos ejes.

9) Mediante las opciones avanzadas *Antenna viewing options*, *Edit control points* y *Advanced*, se accede a ventanas para la configuración de otros parámetros.

B.6 CREACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los siguientes pasos, son los seguidos para crear una nueva área de estudio en Wireless InSite:

1) Hacer clic en *Project* > *New* > *Study area* para crear un área de estudio.

Aparecerá la ventana *Study area creation* que permite especificar ubicación y medidas, se debe hacer clic en la opción deseada y para finalizar la creación haga clic en *Begin*. Seguidamente se despliega la ventana *Study area properties* en la que se pueden especificar las propiedades de la nueva área de estudio, como se muestra en la Figura B.14.

2) Se indica una corta descripción en el campo *Short description*, en este caso se define como Área de estudio.

3) El campo *Propagation model* permite seleccionar modelo de propagación para este caso se selecciona Full 3-D.

4) El campo *Ray spacing* indica el valor en grados de la separación de los rayos, se dejan por defecto los valores si así se desea.

5) Los campos *Number of reflections*, *transmissions* y *diffractions* permiten seleccionar las interacciones máximas permitidas del rayo con el entorno, para este caso se configuran en 1, 0 y 0 respectivamente.

6) El campo *Raytracing method* permite seleccionar el tipo de método de trazado de rayos entre SBR y Eigenray. Para este estudio se opta por SBR.

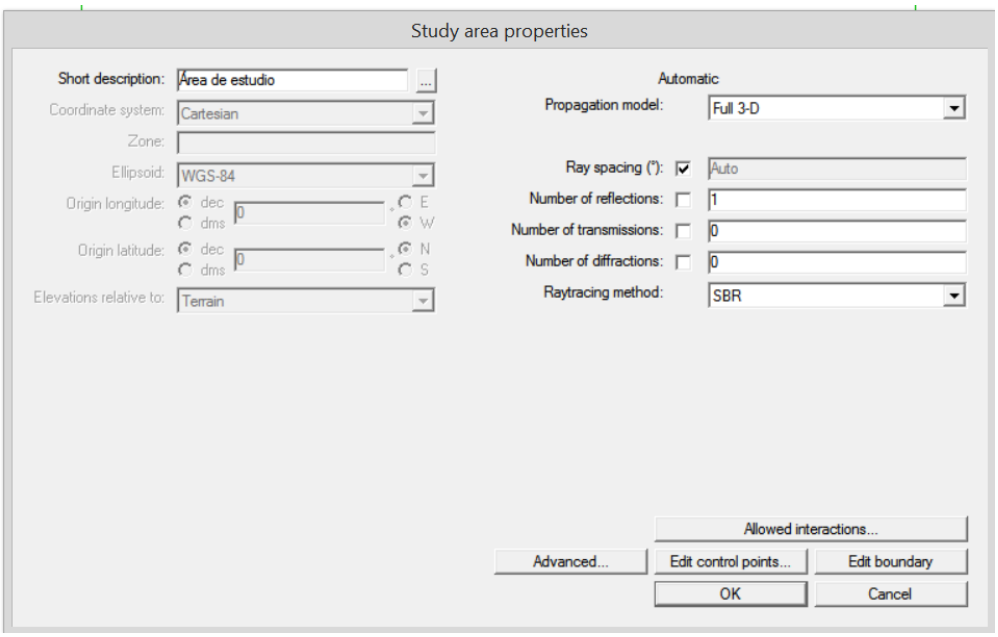

Figura B.14 Propiedades del área de estudio

Mediante las opciones avanzadas *Allowed interactions*, *Advanced*, *Edit control points* y *Edit boundary* se accede a nuevas ventanas para la configuración especifica de otros parámetros, tales como el número de interacciones antes y después de una difracción o los límites del área de estudio.