

# CAPÍTULO 7

## PRUEBAS Y RESULTADOS

Este software de simulación toma como base las ecuaciones características de los cuatro modelos de propagación antes mencionados, por lo que el sistema lo que hace básicamente es ejecutar las formulas del modelo a partir de los datos ingresados, los resultados fueron siendo revisados a mano, es decir, con la resolución analítica con calculadora, en el momento de la programación de cada uno de los modelos, con la finalidad de verificar que la fórmula estuviera correctamente ingresada en el código y las variables perfectamente bien declaradas.

El software no pudo ser validado o comparado con algún parámetro existente y confiable, ya que en primer lugar, no se cuenta instrumentos de medición adecuados en el laboratorio, para poder verificar las pérdidas de manera práctica, en segundo lugar, no existe software didáctico sobre el cálculo de pérdidas por trayectoria, los únicos que se conocen son excesivamente caros, por

lo que no están al alcance del público en general, son usados por las grandes compañías telefónicas y de planeación.

Se realizaron pruebas al software de simulación con varios valores característicos con el fin de verificar su funcionamiento y comportamiento con valores diferentes.

Para el modelo de Friis se probó cada una de las opciones del menú cambiando los valores a fin de poder ver el cambio en el comportamiento del sistema, los resultados de las pruebas se muestran a continuación:

### Cálculo de la potencia recibida:

The screenshot shows a software window titled "Potencia Recibida" with a blue header and a close button. The window contains two sections. The first section, "1. Completar los siguientes datos", has five input fields: "a) Potencia de Transmisión" (100 Watts), "b) Ganancia de la Antena Transmisora" (2), "c) Ganancia de la Antena Receptora" (2), "d) Frecuencia de Transmisión" (150000000 Hz), and "e) Distancia entre Tx y Rx" (10 metros). The second section, "3. Cálculo de Potencia Recibida", features a "Calcular" button, a "Borrar Datos" button, and a text box displaying the result "0,101321183642338 Watts".

Figura 7.1 Cálculo de la potencia recibida con el Modelo de Friis para  $F=150$  MHz,  $d=10$ m.

**Potencia Recibida**

1. Completar los siguientes datos:

a) Potencia de Transmisión: 100 Watts

b) Ganancia de la Antena Trasmisora: 2

c) Ganancia de la Antena Receptora: 2

d) Frecuencia de Transmisión: 150000000 Hz

e) Distancia entre Tx y Rx: 20 metros

3. Cálculo de Potencia Recibida:

Calcular    Borrar Datos    ,53302959105844E-02 Watts

Figura 7.2 Cálculo de la potencia recibida con el Modelo de Friis para  $F=150$  MHz,  $d=20$  m.

**Potencia Recibida**

1. Completar los siguientes datos:

a) Potencia de Transmisión: 100 Watts

b) Ganancia de la Antena Trasmisora: 2

c) Ganancia de la Antena Receptora: 2

d) Frecuencia de Transmisión: 200000000 Hz

e) Distancia entre Tx y Rx: 20 metros

3. Cálculo de Potencia Recibida:

Calcular    Borrar Datos    ,42482914497037E-02 Watts

Figura 7.3 Cálculo de la potencia recibida con el Modelo de Friis para  $F=200$  MHz,  $d=20$  m.

The screenshot shows a software window titled "Potencia Recibida" with a blue header and a close button. The window is divided into two main sections. The first section, titled "1. Completar los siguientes datos", contains five input fields: "a) Potencia de Transmisión" with the value "100" and unit "Watts"; "b) Ganancia de la Antena Transmisora" with the value "2"; "c) Ganancia de la Antena Receptora" with the value "2"; "d) Frecuencia de Transmisión" with the value "200000000" and unit "Hz"; and "e) Distancia entre Tx y Rx" with the value "10" and unit "metros". The second section, titled "3. Cálculo de Potencia Recibida", contains a "Calcular" button, a "Borrar Datos" button, and a text box displaying the calculated value "0,056993165798815" with the unit "Watts".

Figura 7.4 Cálculo de la potencia recibida con el Modelo de Friis para  $F=200$  MHz,  $d=10$  m.

De las pruebas realizadas se puede ver que se cambio para cada caso el valor de la frecuencia de operación y el de la distancia entre transmisor y receptor, para la figura 7.1 se uso una frecuencia de 150 MHz y una distancia de separación entre Tx y Rx de 10 metros, para la figura 7.2 se aumento la distancia a 20 metros pudiéndose observar que la potencia recibida es menor por lo que las pérdidas aumentaron con la distancia, ahora bien para el caso de la figura 7.3 se aumentó la frecuencia de operación a 200 MHz y se mantuvo la distancia de 20 metros comparándose con la figura 7.2 cuya distancia de separación es la misma podemos ver que al aumentar la frecuencia la potencia recibida es menor y por lo tanto las perdidas son mayores, para el caso de la figura 7.4 se realizó el cálculo con una distancia de 10 metros y se compara con la figura 7.1 donde se observó el mismo comportamiento que el de la comparación anterior.

## Cálculo de las pérdidas por trayectoria:

The screenshot shows a software window titled "Pérdida por Trayectoria". It is divided into two main sections:

- 1. Completar los siguientes datos:** This section contains five input fields:
  - a) Frecuencia de Operación: 15000000 Hz
  - b) Ganancia de la Antena Transmisora: 2
  - c) Ganancia de la Antena Receptora: 2
  - d) Distancia entre Tx y Rx: 10 metros
  - e) Potencia de Transmisión: 100 Watts
- 2. Cálculo de Pérdida por Trayectoria:** This section contains two output fields and two buttons:
  - Buttons: "Calcular" and "Borrar Datos"
  - Lp: 9,95122526783398 dB
  - PRx: 10,048774732166 dB

Figura 7.5 Cálculo de las pérdidas por trayectoria con el Modelo de Friis para  $F=150$  MHz,  $d=10$  m.

The screenshot shows the same software window "Pérdida por Trayectoria" but with different input parameters:

- 1. Completar los siguientes datos:**
  - a) Frecuencia de Operación: 15000000 Hz
  - b) Ganancia de la Antena Transmisora: 2
  - c) Ganancia de la Antena Receptora: 2
  - d) Distancia entre Tx y Rx: 20 metros
  - e) Potencia de Transmisión: 100 Watts
- 2. Cálculo de Pérdida por Trayectoria:**
  - Buttons: "Calcular" and "Borrar Datos"
  - Lp: 15,9718251811136 dB
  - PRx: 4,0281748188864 dB

Figura 7.6 Cálculo de las pérdidas por trayectoria con el Modelo de Friis para  $F=150$  MHz,  $d=20$  m.

**Pérdida por Trayectoria**

1. Completar los siguientes datos

a) Frecuencia de Operación: 200000000 Hz

b) Ganancia de la Antena Transmisora: 2

c) Ganancia de la Antena Receptora: 2

d) Distancia entre Tx y Rx: 20 metros

e) Potencia de Transmisión: 100 Watts

2. Cálculo de Pérdida por Trayectoria

Calcular | Borrar Datos

Lp: 38,4705999132796 dB

PRx: -18,4705999132796 dB

Figura 7.7 Cálculo de las pérdidas por trayectoria con el Modelo de Friis para  $F=200$  MHz,  $d=20$  m.

**Pérdida por Trayectoria**

1. Completar los siguientes datos

a) Frecuencia de Operación: 200000000 Hz

b) Ganancia de la Antena Transmisora: 2

c) Ganancia de la Antena Receptora: 2

d) Distancia entre Tx y Rx: 10 metros

e) Potencia de Transmisión: 100 Watts

2. Cálculo de Pérdida por Trayectoria

Calcular | Borrar Datos

Lp: 32,45 dB

PRx: -12,45 dB

Figura 7.8 Cálculo de las pérdidas por trayectoria con el Modelo de Friis para  $F=200$  MHz,  $d=10$  m.

Para los cálculos realizados en este segundo submenús se pueden observar las mismas tendencias que en los resultados anteriormente presentados ya que aquí sólo se muestran las pérdidas en decibeles y la potencia recibida también en dichas unidades.

### **Cálculo de la distancia de Fraunhofer:**

Calculo de la Distancia de Fraunhofer

1. Completar los siguientes datos

a) Dimensión Física Mayor de la Antena  metros

b) Frecuencia de Operación  Hz

2. Calcular la distancia de Fraunhofer

Distancia  metros

Figura 7.9 Cálculo de la distancia de Fraunhofer con el Modelo de Friis para  $F = 150$  MHz, Dimensión = 2 m.

Calculo de la Distancia de Fraunhofer

1. Completar los siguientes datos

a) Dimensión Física Mayor de la Antena  metros

b) Frecuencia de Operación  Hz

2. Calcular la distancia de Fraunhofer

Distancia  metros

Figura 7.10 Cálculo de la distancia de Fraunhofer con el Modelo de Friis para  $F = 200$  MHz, Dimensión = 2 m.

Calculo de la Distancia de Fraunhofer

1. Completar los siguientes datos

a) Dimensión Física Mayor de la Antena  metros

b) Frecuencia de Operación  Hz

2. Calcular la distancia de Fraunhofer

Distancia  metros

Figura 7.11 Cálculo de la distancia de Fraunhofer con el Modelo de Friis para  $F = 10 \text{ MHz}$ , Dimensión = 2 m.

Calculo de la Distancia de Fraunhofer

1. Completar los siguientes datos

a) Dimensión Física Mayor de la Antena  metros

b) Frecuencia de Operación  Hz

2. Calcular la distancia de Fraunhofer

Está fuera de la región Far-field

Distancia  metros

Figura 7.12 Cálculo de la distancia de Fraunhofer con el Modelo de Friis para  $F = 20 \text{ MHz}$ , Dimensión = 2 m.

De las pruebas realizadas a este submenú que calcula la distancia de Fraunhofer y nos indica si la antena esta o no dentro de la región de far-fiel, de los resultados podemos ver con claridad que la antena estará fuera de la región de far-fiel cuando se tengan frecuencias de operación menores de 40 MHz y para las frecuencias superiores a este valor la antena estar dentro de la región y por lo tanto será adecuada la frecuencia para la utilización del modelo de Friis.

### Cálculo de la Ganancia de la Antena:

Calculo de la Ganancia de la Antena

1. Completar los siguientes datos

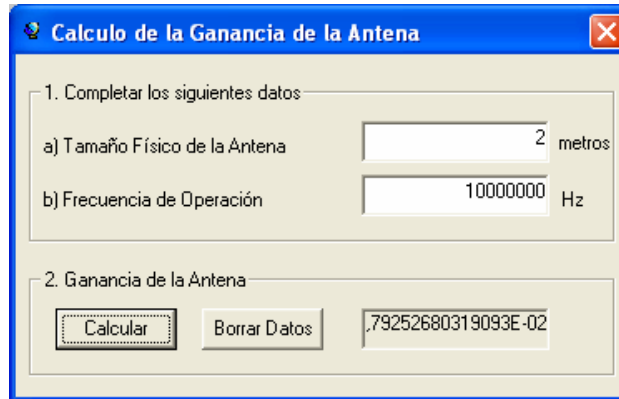
a) Tamaño Físico de la Antena  metros

b) Frecuencia de Operación  Hz

2. Ganancia de la Antena



Figura 7.13 Cálculo de la Ganancia de la Antena con el Modelo de Friis para  $F = 150$  MHz, Tamaño = 2 m.



Calculo de la Ganancia de la Antena

1. Completar los siguientes datos

a) Tamaño Físico de la Antena  metros

b) Frecuencia de Operación  Hz

2. Ganancia de la Antena

Figura 7.14 Cálculo de la Ganancia de la Antena con el Modelo de Friis para  $F = 100$  MHz, Tamaño = 2 m.

Para este submenú se realiza el cálculo de la ganancia de la antena en función de su tamaño físico y de la frecuencia de operación, en la figura 7.13 y 7.14 se muestran los resultados de dos pruebas realizadas.

Para el modelo de 2-Rayos se realizaron las siguientes pruebas.

**Cálculo de las pérdidas por trayectoria para el modelo de 2-Rayos:**

2 - Rayos

1. Completar los siguientes datos

a) Distancia entre Tx y Rx: 20 metros

b) Ganancia de la Antena Transmisora: 2

c) Ganancia de la Antena Receptora: 2

d) Altura de la Antena Transmisora: 50 metros

e) Altura de la Antena Receptora: 2 metros

f) Potencia de Transmisión: 100 Watts

2. Cálculo de Pérdida por Trayectoria

Calcular Pérdida: 6,02059991327962 dB

Borrar Datos Potencia Recibida: 13,9794000867204 dB

Figura 7.15 Cálculo de las pérdidas por trayectoria con el Modelo de 2-Rayos para Distancia = 20 m, Altura antena Tx = 50m.

2 - Rayos

1. Completar los siguientes datos

a) Distancia entre Tx y Rx: 50 metros

b) Ganancia de la Antena Transmisora: 2

c) Ganancia de la Antena Receptora: 2

d) Altura de la Antena Transmisora: 50 metros

e) Altura de la Antena Receptora: 2 metros

f) Potencia de Transmisión: 100 Watts

2. Cálculo de Pérdida por Trayectoria

Calcular Pérdida: 21,9382002601611 dB

Borrar Datos Potencia Recibida: -1,93820026016112 dB

Figura 7.16 Cálculo de las pérdidas por trayectoria con el Modelo de 2-Rayos para Distancia = 50 m, Altura antena Tx = 50m.

The screenshot shows the '2 - Rayos' software window. It is divided into two main sections:

- 1. Completar los siguientes datos:** This section contains six input fields:
  - a) Distancia entre Tx y Rx: 50 metros
  - b) Ganancia de la Antena Transmisora: 2
  - c) Ganancia de la Antena Receptora: 2
  - d) Altura de la Antena Transmisora: 20 metros
  - e) Altura de la Antena Receptora: 2 metros
  - f) Potencia de Transmisión: 100 Watts
- 2. Cálculo de Pérdida por Trayectoria:** This section contains two buttons and two output fields:
  - Calcular:** A button with a dotted border.
  - Pérdida:** 29,8970004336019 dB
  - Borrar Datos:** A button with a dotted border.
  - Potencia Recibida:** -9,89700043360188 dB

Figura 7.17 Distancia = 50 m Cálculo de las pérdidas por trayectoria con el Modelo de 2-Rayos para Distancia = 20 m, Altura antena Tx = 20 m.

The screenshot shows the '2 - Rayos' software window with the same layout as Figure 7.17, but with different input values:

- 1. Completar los siguientes datos:**
  - a) Distancia entre Tx y Rx: 20 metros
  - b) Ganancia de la Antena Transmisora: 2
  - c) Ganancia de la Antena Receptora: 2
  - d) Altura de la Antena Transmisora: 20 metros
  - e) Altura de la Antena Receptora: 2 metros
  - f) Potencia de Transmisión: 100 Watts
- 2. Cálculo de Pérdida por Trayectoria:**
  - Calcular:** A button with a dotted border.
  - Pérdida:** 13,9794000867204 dB
  - Borrar Datos:** A button with a dotted border.
  - Potencia Recibida:** 6,02059991327963 dB

Figura 7.18 Cálculo de las pérdidas por trayectoria con el Modelo de 2-Rayos para Distancia = 20 m, Altura antena Tx = 20 m.

Los resultados de las pruebas nos indican que, en primer lugar, las pérdidas por trayectoria aumentan a medida que aumenta la distancia de

separación entre Rx y Tx, por otro lado también se incrementan las pérdidas en relación directa con la altura de la antena transmisora, ya que a mayor altura menos pérdidas tendrá el sistema.

Para el modelo de Okumura-Hata se realizaron pruebas para cada uno de los cuatro ambientes de propagación simulados que son Urbano, urbano-denso, suburbano y rural. Para cada uno de los casos se cambiaron los valores a fin de probar el software.

### Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente urbano:

The screenshot shows a software window titled "Urbano" with a blue border. It contains three main sections:

- 1. Seleccione Frecuencia de Operación:** Two radio buttons are present. The first, "150 MHz <= F < 1500 MHz", is selected. The second is "1500 MHz <= F <= 2000 MHz".
- 2. Completar los siguientes datos:** Four input fields with labels and units:
  - a) Altura de la Antena del móvil (1 <= H <= 10 m.): 10 metros
  - b) Altura efectiva de la Antena de la Base: 5 metros
  - c) Distancia entre la Base y el Móvil (1 <= H <= 20 Km.): 1 Km
  - d) Frecuencia de Operación: 150 MHz
- 3. Calculo de Pérdidas por Trayectoria:** A "Calcular" button is highlighted. To its right is a "Borrar Datos" button. Below these is a label "Lp" followed by a text box containing the value "102.474480391487" and the unit "dB".

Figura 7.19 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente urbano con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 150 MHz, Distancia = 1 Km.

Urbano

1. Seleccione Frecuencia de Operación

150 MHz <= F < 1500 MHz       1500 MHz <= F <= 2000 MHz

2. Completar los siguientes datos:

a) Altura de la Antena del móvil (1 <= H <= 10 m.)  metros

b) Altura efectiva de la Antena de la Base  metros

c) Distancia entre la Base y el Móvil (1 <= H <= 20 Km.)  Km

d) Frecuencia de Operación  MHz

3. Calculo de Pérdidas por Trayectoria

Lp  dB

Figura 7.20 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente urbano con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 150 MHz, Distancia = 20 Km.

Urbano

1. Seleccione Frecuencia de Operación

150 MHz <= F < 1500 MHz       1500 MHz <= F <= 2000 MHz

2. Completar los siguientes datos:

a) Altura de la Antena del móvil (1 <= H <= 10 m.)  metros

b) Altura efectiva de la Antena de la Base  metros

c) Distancia entre la Base y el Móvil (1 <= H <= 20 Km.)  Km

d) Frecuencia de Operación  MHz

3. Calculo de Pérdidas por Trayectoria

Lp  dB

Figura 7.21 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente urbano con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 1500 MHz, Distancia = 1 Km.

**Urbano**

1. Seleccione Frecuencia de Operación

150 MHz <= F < 1500 MHz       1500 MHz <= F <= 2000 MHz

2. Completar los siguientes datos

a) Altura de la Antena del móvil (1 <= H <= 10 m.)  metros

b) Altura efectiva de la Antena de la Base  metros

c) Distancia entre la Base y el Móvil (1 <= H <= 20 Km.)  Km

d) Frecuencia de Operación  MHz

3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria

       Lp  dB

Figura 7.22 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente urbano con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 1500 MHz, Distancia = 20 Km.

De las pruebas se puede observar que al igual que en el caso del modelo de 2-Rayos, al aumentar la frecuencia aumentan las pérdidas, cuando se aumenta la distancia de separación entre el transmisor y el receptor también aumentan las pérdidas, ahora bien, si se aumenta la altura de la antena ya sea del móvil o de la base las pérdidas disminuirán conforme aumente la altura.

### **Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente urbano denso:**

**Urbano Denso**

1. Seleccione Frecuencia de Operación

150 MHz <= F < 1500 MHz       1500 MHz <= F <= 2000 MHz

2. Completar los siguientes datos

a) Altura de la Antena del móvil (1 <= H <= 10 m.)  metros

b) Altura efectiva de la Antena de la Base  metros

c) Distancia entre la Base del móvil (1 <= H <= 20 Km.)  Km

d) Frecuencia de Operación  MHz

3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria

       Lp  dB

Figura 7.23 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente urbano denso con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 150 MHz, Distancia = 20 Km.

The screenshot shows a software window titled "Urbano Denso" with the following configuration:

- 1. Seleccione Frecuencia de Operación:**
  - 150 MHz  $\leq F < 1500$  MHz
  - 1500 MHz  $\leq F \leq 2000$  MHz
- 2. Completar los siguientes datos:**
  - a) Altura de la Antena del móvil (1  $\leq H \leq 10$  m.):  metros
  - b) Altura efectiva de la Antena de la Base:  metros
  - c) Distancia entre la Base del móvil (1  $\leq H \leq 20$  Km.):  Km
  - d) Frecuencia de Operación:  MHz
- 3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria:**
  - Buttons:
  - Result: Lp  dB

Figura 7.24 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente urbano denso con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 150 MHz, Distancia = 1 Km.

The screenshot shows a software window titled "Urbano Denso" with the following configuration:

- 1. Seleccione Frecuencia de Operación:**
  - 150 MHz  $\leq F < 1500$  MHz
  - 1500 MHz  $\leq F \leq 2000$  MHz
- 2. Completar los siguientes datos:**
  - a) Altura de la Antena del móvil (1  $\leq H \leq 10$  m.):  metros
  - b) Altura efectiva de la Antena de la Base:  metros
  - c) Distancia entre la Base del móvil (1  $\leq H \leq 20$  Km.):  Km
  - d) Frecuencia de Operación:  MHz
- 3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria:**
  - Buttons:
  - Result: Lp  dB

Figura 7.25 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente urbano denso con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 1500 MHz, Distancia = 1 Km.

The screenshot shows a software window titled "Urbano Denso" with the following sections:

- 1. Seleccione Frecuencia de Operación:** Two radio buttons are present. The first is "150 MHz <= F < 1500 MHz" and the second is "1500 MHz <= F <= 2000 MHz". The second option is selected.
- 2. Completar los siguientes datos:** Four input fields:
  - a) Altura de la Antena del móvil (1 <= H <= 10 m.): 10 metros
  - b) Altura efectiva de la Antena de la Base: 5 metros
  - c) Distancia entre la Base del móvil (1 <= H <= 20 Km.): 20 Km
  - d) Frecuencia de Operación: 1500 MHz
- 3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria:** Contains a "Calcular" button, a "Borrar Datos" button, and a text box for the result: Lp -161.62440165266 dB.

Figura 7.26 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente urbano denso con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 1500 MHz, Distancia = 20 Km.

El resultado de las pruebas realizadas arroja resultados con la misma tendencia que para el ambiente urbano, es decir, que al aumentar la frecuencia aumentan las pérdidas, cuando se aumenta la distancia de separación entre el transmisor y el receptor también aumentan las pérdidas, pero si se aumenta la altura de la antena ya sea del móvil o de la base las pérdidas disminuirán conforme aumente la altura. Cabe mencionar que para el caso de ambiente urbano denso como es de esperarse las pérdidas son mayores que para el caso del urbano, ya que considera un mayor número de factores de pérdidas basados en el tipo de ambiente.



## Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente sub-urbano:

The screenshot shows a software window titled "Sub - Urbano" with the following fields and values:

- 1. Seleccione Frecuencia de Operación:
  - 150 MHz  $\leq$  F < 1500 MHz
  - 1500 MHz  $\leq$  F  $\leq$  2000 MHz
- 2. Completar los siguientes datos:
  - a) Altura de la Antena del móvil (1  $\leq$  H  $\leq$  10 m.): 10 metros
  - b) Altura efectiva de la Antena de la Base: 5 metros
  - c) Distancia entre la Base del móvil (1  $\leq$  H  $\leq$  20 Km.): 1 Km
  - d) Frecuencia de Operación: 150 MHz
- 3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria:
  - Buttons: Calcular, Borrar Datos
  - Result: Lp = 96,0117930905577 dB

Figura 7.27 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente sub-urbano con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 150 MHz, Distancia = 1 Km.

The screenshot shows a software window titled "Sub - Urbano" with the following fields and values:

- 1. Seleccione Frecuencia de Operación:
  - 150 MHz  $\leq$  F < 1500 MHz
  - 1500 MHz  $\leq$  F  $\leq$  2000 MHz
- 2. Completar los siguientes datos:
  - a) Altura de la Antena del móvil (1  $\leq$  H  $\leq$  10 m.): 10 metros
  - b) Altura efectiva de la Antena de la Base: 5 metros
  - c) Distancia entre la Base del móvil (1  $\leq$  H  $\leq$  20 Km.): 20 Km
  - d) Frecuencia de Operación: 150 MHz
- 3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria:
  - Buttons: Calcular, Borrar Datos
  - Result: Lp = 148,471594727666 dB

Figura 7.28 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente sub-urbano con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 150 MHz, Distancia = 20 Km.

Sub - Urbano

1. Seleccione Frecuencia de Operación

150 MHz <= F < 1500 MHz       1500 MHz <= F <= 2000 MHz

2. Completar los siguientes datos

a) Altura de la Antena del móvil (1 <= H <= 10 m.)  metros

b) Altura efectiva de la Antena de la Base  metros

c) Distancia entre la Base del móvil (1 <= H <= 20 Km.)  Km

d) Frecuencia de Operación  MHz

3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria

       Lp  dB

Figura 7.29 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente sub-urbano con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 1500 MHz, Distancia = 1 Km.

Sub - Urbano

1. Seleccione Frecuencia de Operación

150 MHz <= F < 1500 MHz       1500 MHz <= F <= 2000 MHz

2. Completar los siguientes datos

a) Altura de la Antena del móvil (1 <= H <= 10 m.)  metros

b) Altura efectiva de la Antena de la Base  metros

c) Distancia entre la Base del móvil (1 <= H <= 20 Km.)  Km

d) Frecuencia de Operación  MHz

3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria

       Lp  dB

Figura 7.30 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente sub-urbano con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 1500 MHz, Distancia = 20 Km.

El sistema responde de igual manera que en los dos ambientes anteriores por la naturaleza del modelo y por las implicaciones de propagación que se han explicado a lo largo de los capítulos anteriores, una vez más cabe

hacer la mención de que para este ambiente sub-urbano se presentan menores pérdidas que para los dos anteriores siguiendo así la tendencia esperada por la teoría.

### Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente rural:

The screenshot shows a software window titled "Rural" with a blue title bar and a close button. It contains three main sections:

- 1. Seleccione Frecuencia de Operación:** Two radio buttons are present. The first, labeled "150 MHz <= F < 1500 MHz", is selected. The second is labeled "1500 MHz <= F <= 2000 MHz".
- 2. Completar los siguientes datos:** Four input fields with labels and units:
  - a) Altura de la Antena del móvil (1 <= H <= 10 m.): 10 metros
  - b) Altura efectiva de la Antena de la Base: 5 metros
  - c) Distancia entre la Base del móvil (1 <= H <= 20 Km.): 1 Km
  - d) Frecuencia de Operación: 150 MHz
- 3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria:** Two buttons, "Calcular" and "Borrar Datos", are on the left. On the right, the result is displayed as "Lp 78,7871494281876 dB".

Figura 7.31 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente rural con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 150 MHz, Distancia = 1 Km.

The screenshot shows the same "Rural" software window as Figure 7.31, but with a different distance value:

- 1. Seleccione Frecuencia de Operación:** The same radio buttons as in Figure 7.31, with "150 MHz <= F < 1500 MHz" selected.
- 2. Completar los siguientes datos:** Four input fields with labels and units:
  - a) Altura de la Antena del móvil (1 <= H <= 10 m.): 10 metros
  - b) Altura efectiva de la Antena de la Base: 5 metros
  - c) Distancia entre la Base del móvil (1 <= H <= 20 Km.): 20 Km
  - d) Frecuencia de Operación: 150 MHz
- 3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria:** The "Calcular" and "Borrar Datos" buttons are on the left. The result is displayed as "Lp 131,246951065296 dB".

Figura 7.32 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente rural con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 150 MHz, Distancia = 20 Km.

**Rural**

1. Seleccione Frecuencia de Operación

150 MHz <= F < 1500 MHz       1500 MHz <= F <= 2000 MHz

2. Completar los siguientes datos

a) Altura de la Antena del móvil (1 <= H <= 10 m.)  metros

b) Altura efectiva de la Antena de la Base  metros

c) Distancia entre la Base del móvil (1 <= H <= 20 Km.)  Km

d) Frecuencia de Operación  MHz

3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria

Lp  dB

Figura 7.33 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente rural con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 1500 MHz, Distancia = 1 Km.

**Rural**

1. Seleccione Frecuencia de Operación

150 MHz <= F < 1500 MHz       1500 MHz <= F <= 2000 MHz

2. Completar los siguientes datos

a) Altura de la Antena del móvil (1 <= H <= 10 m.)  metros

b) Altura efectiva de la Antena de la Base  metros

c) Distancia entre la Base del móvil (1 <= H <= 20 Km.)  Km

d) Frecuencia de Operación  MHz

3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria

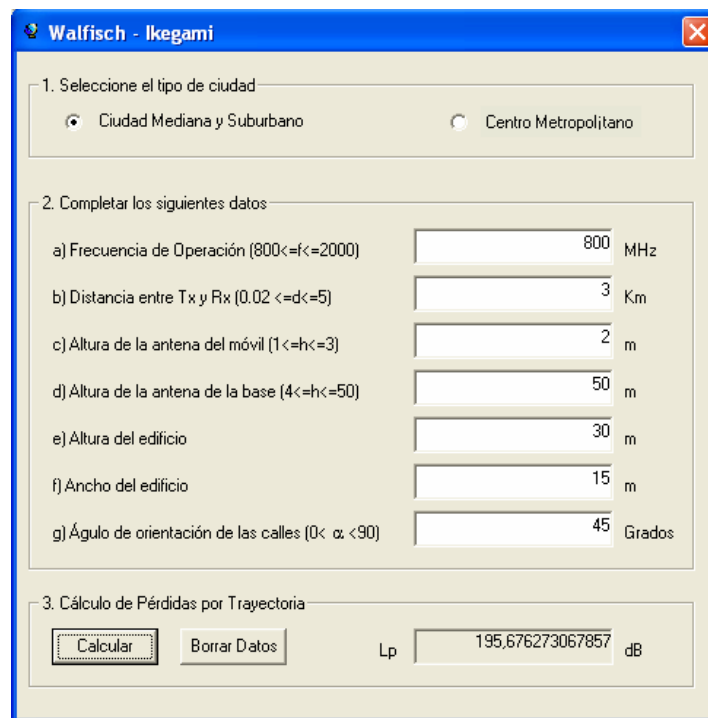
Lp  dB

Figura 7.34 Cálculo de las pérdidas por trayectoria para ambiente rural con el Modelo Okumura-Hata para Frecuencia = 1500 MHz, Distancia = 20 Km.

Los resultados para la simulación del ambiente rural fueron iguales en cuanto al comportamiento del sistema ante los cambios de los valores, pero con

la peculiaridad de presentar un menor número de pérdidas en comparación que con los otros tres tipos de ambientes de este modelo de propagación.

### Cálculo de las pérdidas por trayectoria para el modelo Walfisch-Ikegami:



The screenshot shows a software window titled "Walfisch - Ikegami". It contains three main sections:

- 1. Seleccione el tipo de ciudad:** Two radio buttons are present: "Ciudad Mediana y Suburbano" (selected) and "Centro Metropolitano".
- 2. Completar los siguientes datos:** A list of seven input fields with their respective units:
  - a) Frecuencia de Operación (800<math>\leq f \leq 2000</math>): 800 MHz
  - b) Distancia entre Tx y Rx (0.02 <math>\leq d \leq 5</math>): 3 Km
  - c) Altura de la antena del móvil (1 <math>\leq h \leq 3</math>): 2 m
  - d) Altura de la antena de la base (4 <math>\leq h \leq 50</math>): 50 m
  - e) Altura del edificio: 30 m
  - f) Ancho del edificio: 15 m
  - g) Ángulo de orientación de las calles (0 <math>\leq \alpha < 90</math>): 45 Grados
- 3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria:** A "Calcular" button is highlighted. To its right is a "Borrar Datos" button. Further right, the label "Lp" is followed by a text box containing the value "195,676273067857" and the unit "dB".

Figura 7.35 Cálculo de las pérdidas por trayectoria con el Modelo Walfisch-Ikegami para Frecuencia = 800 MHz,  $\alpha = 45^\circ$ .

**Walfisch - Ikegami**

1. Seleccione el tipo de ciudad

Ciudad Mediana y Suburbano       Centro Metropolitano

2. Completar los siguientes datos

a) Frecuencia de Operación ( $800 < f < 2000$ )      800 MHz

b) Distancia entre Tx y Rx ( $0.02 < d < 5$ )      5 Km

c) Altura de la antena del móvil ( $1 < h < 3$ )      2 m

d) Altura de la antena de la base ( $4 < h < 50$ )      50 m

e) Altura del edificio      30 m

f) Ancho del edificio      15 m

g) Ángulo de orientación de las calles ( $0 < \alpha < 90$ )      90 Grados

3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria

       Lp    249.106525553278 dB

Figura 7.36 Cálculo de las pérdidas por trayectoria con el Modelo Walfisch-Ikegami para Frecuencia = 800 MHz,  $\alpha = 90^\circ$ .

**Walfisch - Ikegami**

1. Seleccione el tipo de ciudad

Ciudad Mediana y Suburbano       Centro Metropolitano

2. Completar los siguientes datos

a) Frecuencia de Operación ( $800 < f < 2000$ )      1000 MHz

b) Distancia entre Tx y Rx ( $0.02 < d < 5$ )      5 Km

c) Altura de la antena del móvil ( $1 < h < 3$ )      2 m

d) Altura de la antena de la base ( $4 < h < 50$ )      50 m

e) Altura del edificio      50 m

f) Ancho del edificio      20 m

g) Ángulo de orientación de las calles ( $0 < \alpha < 90$ )      90 Grados

3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria

       Lp    265.665225143527 dB

Figura 7.37 Cálculo de las pérdidas por trayectoria con el Modelo Walfisch-Ikegami para Frecuencia = 1000 MHz,  $\alpha = 90^\circ$ .

Walfisch - Ikegami

1. Seleccione el tipo de ciudad

Ciudad Mediana y Suburbano  Centro Metropolitano

2. Completar los siguientes datos:

a) Frecuencia de Operación ( $800 < f <= 2000$ )  MHz

b) Distancia entre Tx y Rx ( $0.02 <= d <= 5$ )  Km

c) Altura de la antena del móvil ( $1 <= h <= 3$ )  m

d) Altura de la antena de la base ( $4 <= h <= 50$ )  m

e) Altura del edificio  m

f) Ancho del edificio  m

g) Ángulo de orientación de las calles ( $0 < \alpha < 90$ )  Grados

3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria

Lp  dB

Figura 7.38 Cálculo de las pérdidas por trayectoria con el Modelo Walfisch-Ikegami para Frecuencia = 800 MHz,  $\alpha = 45^\circ$ .

Walfisch - Ikegami

1. Seleccione el tipo de ciudad

Ciudad Mediana y Suburbano  Centro Metropolitano

2. Completar los siguientes datos:

a) Frecuencia de Operación ( $800 < f <= 2000$ )  MHz

b) Distancia entre Tx y Rx ( $0.02 <= d <= 5$ )  Km

c) Altura de la antena del móvil ( $1 <= h <= 3$ )  m

d) Altura de la antena de la base ( $4 <= h <= 50$ )  m

e) Altura del edificio  m

f) Ancho del edificio  m

g) Ángulo de orientación de las calles ( $0 < \alpha < 90$ )  Grados

3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria

Lp  dB

Figura 7.39 Cálculo de las pérdidas por trayectoria con el Modelo Walfisch-Ikegami para Frecuencia = 800 MHz,  $\alpha = 90^\circ$ .

The screenshot shows a software window titled "Walfisch - Ikegami". It is divided into three sections:

- 1. Seleccione el tipo de ciudad:** Two radio buttons are present: "Ciudad Mediana y Suburbano" (unselected) and "Centro Metropolitano" (selected).
- 2. Completar los siguientes datos:** A list of seven input fields with their respective units:
  - a) Frecuencia de Operación (800<=f<=2000): 1000 MHz
  - b) Distancia entre Tx y Rx (0.02 <=d<=5): 5 Km
  - c) Altura de la antena del móvil (1<=h<=3): 2 m
  - d) Altura de la antena de la base (4<=h<=50): 50 m
  - e) Altura del edificio: 50 m
  - f) Ancho del edificio: 20 m
  - g) Ángulo de orientación de las calles (0< α <90): 90 Grados
- 3. Cálculo de Pérdidas por Trayectoria:** Contains two buttons, "Calcular" and "Borrar Datos", and a result field labeled "Lp" with the value "243.064959904673 dB".

Figura 7.40 Cálculo de las pérdidas por trayectoria con el Modelo Walfisch-Ikegami para Frecuencia = 1000 MHz,  $\alpha = 90^\circ$ .

Después de realizar las pruebas al modelo de Walfisch-Ikegami se puede observar fácilmente que al ir cambiando ciertos valores de la simulación los resultados cambian, las pérdidas aumentan cuando se aumentan la frecuencia, la distancia entre Tx y Rx, las dimensiones del edificio y el ángulo de orientación de las calles, por otro lado las pérdidas disminuirán en la medida en que aumente la altura de las antenas, disminuya el ángulo de las calles y la frecuencia. También se presenta el caso de un ambiente de una ciudad urbana y de un centro metropolitano o urbano denso para los mismos valores pudiendo observar un ligero cambio en los resultados, presentando menores pérdidas en los centros metropolitanos en virtud de que la teoría que sustenta este modelo es apta para ambientes urbanos o ciudades medianas por lo que las caracteriza de una mejor manera.