



TABLA DE CONTENIDO APÉNDICES

	Pág.
A.1. CLAUSULAS	78
APÉNDICE B.....	79
B.1 VERIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS.....	79
APÉNDICE C	104
C.1 ARCHIVOS DEL SIMULADOR.....	104
C.2 INTERFAZ DEL SIMULADOR.....	104
C.3. RESULTADOS	106
C.3.1 Despliegue	107
C.3.2 Perdidas de Propagación	107
C.3.3 SINR.....	108
C.3.4 CCI.....	108
C.3.6 Control Ideal de Potencia	109
C.3.7 Cambio de Frecuencia	109
C.3.8 Control Hibrido	110
C.3.9 Promedio.....	110
C.3.10 DFITTOOL	111
C.4 RECOMENDACIONES	112



INDICE DE FIGURAS APÉNDICES

	Pág.
Figura Ap.B1 Escenario con 10 femtoceldas distribuidas aleatoriamente	81
Figura Ap.B2 Distancia de cada femto usuario a la macro estación base	84
Figura Ap.B3 Perdidas de propagación del simulador	86
Figura Ap.B4 Potencia Interferente	88
Figura Ap.B5 Interferencia Co-Canal	90
Figura Ap.B6 Relación Señal a Interferencia Más Ruido	92
Figura Ap.B7 Potencia de Transmisión	93
Figura Ap.B8 SINR Ruido con Control Ideal de Potencia.....	96
Figura Ap.B9 CCI con Control Ideal de Potencia	96
Figura Ap.B10 SINR con Cambio de Frecuencia	99
Figura Ap.B11 CCI con Cambio de Frecuencia.....	99
Figura Ap.B12 SINR con Control Hibrido	102
Figura Ap.C1 Interfaz del simulador estático a nivel de sistema	105
Figura Ap.C2 Despliegue de 100 Femtoceldas	107
Figura Ap.C3 Distancia Y Pérdidas de Propagación a la Macro Estación Base....	107
Figura Ap.C4 SINR para cada FU y en la MBS.....	108
Figura Ap.C5 CCI percibida en la Macro Estación Base	108
Figura Ap.C6 CCI y SINR con Control Ideal de Potencia	109
Figura Ap.C7 CCI y SINR con Cambio de Frecuencia	109
Figura Ap.C8 CCI y SINR con Control Hibrido	110
Figura Ap.C9 Promedio de la SINR y CCI.....	110
Figura Ap.C10 Archivo ULHETNET-DFITTOOL.....	111
Figura Ap.C11 Herramienta DFITTOOL.....	111



INDICE DE TABLAS DE APÉNDICES

	Pág.
Tabla Ap.B1 Tabla de chequeo de requerimientos para el simulador	80
Tabla Ap.B2 Descripción Prueba 1	80
Tabla Ap.B3 Descripción Prueba 2	82
Tabla Ap.B4 Coordenadas de la macro estación base y femto usuarios	82
Tabla Ap.B5 Distancia de cada femto usuario a la macro estación base	83
Tabla Ap.B6 Descripción Prueba 3.	85
Tabla Ap.B7 Perdidas de propagación.....	85
Tabla Ap.B8 Descripción Prueba 4	87
Tabla Ap.B9 Potencia Interferente	88
Tabla Ap.B10 Descripción Prueba 5	89
Tabla Ap.B11 Interferencia Co-Canal.....	90
Tabla Ap.B12 Descripción Prueba 6	91
Tabla Ap.B13 Relación Señal a Interferencia más Ruido.....	91
Tabla Ap.B14 Descripción Prueba 7	92
Tabla Ap.B15 Potencia de Transmisión	93
Tabla Ap.B16 Descripción Prueba 8	95
Tabla Ap.B17 SINR con Control Ideal de Potencia	95
Tabla Ap.B18 CCI con Control Ideal de Potencia.....	96
Tabla Ap.B19 Descripción Prueba 9	97
Tabla Ap.B20 Distancia del FU a la FBS.....	98
Tabla Ap.B21 Descripción Prueba 10	98
Tabla Ap.B22 SINR con Cambio de Frecuencia	98
Tabla Ap.B23 CCI con Cambio de Frecuencia.....	99
Tabla Ap.B24 Descripción Prueba 11	100
Tabla Ap.B25 Sectorización y Cálculo de Potencia Ideal.....	100
Tabla Ap.B26 Descripción Prueba 12	101
Tabla Ap.B27 SINR con Control Híbrido	101
Tabla Ap.B28 CCI con Control Híbrido.....	102
Tabla Ap.B29 CCI con Control Híbrido.....	102
Tabla Ap.B30 Descripción Prueba 13	103
Tabla Ap.C1 Parámetros variables del simulador estático a nivel de sistema	105
Tabla Ap.C2 Resultados que despliega el simulador	106



APÉNDICE A

ACUERDO DE LICENCIA

A continuación se detallan los términos de uso para el simulador estático a nivel de sistema de redes heterogéneas desarrollado para el trabajo de grado “Análisis de Interferencia Co-Canal en Redes Heterogéneas en el Enlace de Subida” en la Facultad de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, en el Grupo de investigación de Radio e InALámbricas, GRIAL.

A.1. CLAUSULAS

- **Uso académico**

El uso del simulador estático a nivel de sistema para redes heterogéneas se limita al contexto académico en cualquier proyecto con fines científicos, sin el compromiso de reembolsos o reclamos financieros a causa de los resultados obtenidos, pero sujeto a las restricciones de las siguientes cláusulas.

- **Reconocimiento de derechos de autor**

Cualquier uso del simulador estático a nivel de sistema para redes heterogéneas debe ser referenciado.

- **Modificación al trabajo original**

El trabajo original puede ser modificado, adaptado o alterado por miembros de instituciones educativas sin fines de lucro o comercialización y cuyo objetivo sea realizar investigaciones o aportes en el área de las comunicaciones inalámbricas.

- **Publicación de resultados**

Los resultados obtenidos del simulador o de modificaciones realizadas al código podrán ser publicados.



APÉNDICE B

VERIFICACION DEL SIMULADOR

El proceso de verificación se realiza con el fin de determinar si el software desarrollado cumple con los requerimientos especificados en la fase de análisis. Para cumplir con la verificación se realiza una revisión teórica de los procesos que realiza el simulador y se compara con los resultados obtenidos a partir del mismo.

B.1 VERIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS

La tabla Ap.B1 presenta un resumen de la validación del simulador estático a nivel de sistema de redes heterogéneas, en esta se relacionan los requerimientos con las pruebas y procedimientos de verificación realizado para corroborar la validez de los resultados obtenidos.

N°	Requerimiento	Prueba de Verificación	Cumple	
			SI	NO
1	Permitir el despliegue de una red heterogénea estática.	1 - 13	✓	
2	Permitir la selección de la frecuencia de operación de los usuarios y el número de femtoceldas que se desplegaran.	1 - 13	✓	
3	permitir si se aplica o no el método Montecarlo en la simulación, determinando el número de repeticiones a utilizar	1 - 13	✓	
4	Calcular las pérdidas de propagación de cada uno de los usuarios con respecto a la macro estación base (MBS).	3	✓	
5	Calcular la Interferencia Co-Canal (CCI) que percibe la Macro Estación Base (MBS).	4, 5	✓	
6	Calcular la Relación Señal a Interferencia más Ruido (SINR) de la señal entre el Macro Usuario (MU) y la Macro Estación Base (MBS).	6	✓	
7	Ejecutar los mecanismos de coordinación de interferencia, como el Control Ideal de Potencia (IPC), modelo de cambio de frecuencia y el	7 - 12	✓	



	modelo de control híbrido.			
8	Calcular la Interferencia Co-Canal (CCI) y la Relación Señal a Interferencia más Ruido (SINR), cuando se emplean los mecanismos de coordinación de interferencia.	8, 10, 12	✓	
9	Mostrar resultados por medio de diagramas de barras.	1-13	✓	

Tabla Ap.B1 Tabla de chequeo de requerimientos para el simulador

A continuación se describen las pruebas más relevantes para verificar el funcionamiento del simulador estático a nivel de sistema para redes heterogéneas, estas detallan los procedimientos seguidos para comprobar que el software cumpla con los requerimientos planteados.

- **Prueba 1.**

Descripción de Prueba	Verificar el escenario de simulación para el despliegue aleatorio de cada femtocelda.	
Elementos requeridos	Cantidad	Elemento
	1	Computador Portátil Dell Inspiron N4110
	1	Software Matlab® versión 7.10 (R2010a)
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicar el número de femtoceldas que el usuario defina. • Desplegar la gráfica donde se muestre el escenario. 	
Resultados Obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> • Se Despliegan 10 femtoceldas en el escenario. • La figura Ap.B1 muestra el escenario con sus dimensiones y las femtoceldas ubicados aleatoriamente. 	
Observaciones	Para realizar el análisis se utilizaron 10 femtoceldas en el escenario.	

Tabla Ap.B2 Descripción Prueba 1

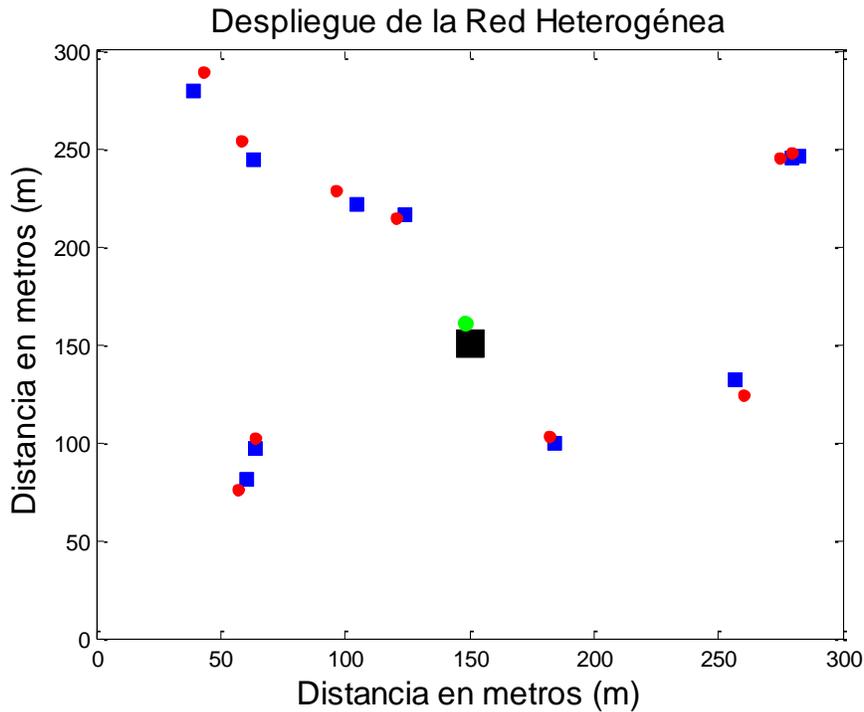


Figura Ap.B1 Escenario con 10 femtoceldas distribuidas aleatoriamente

• **Prueba 2**

Descripción de Prueba	Verificar el código del cálculo de la distancia entre cada Femto Usuarios (FU) y la Macro Estación Base (MBS). Además se despliega una gráfica de barras con esta información.	
Elementos requeridos	Cantidad	Elemento
	1	Computador Portátil Dell Inspiron N4110
	1	Software Matlab® versión 7.10 (R2010a)
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener una matriz de datos con la distancia entre los Femto Usuarios (FU) y la Macro Estación Base (MBS). • Desplegar el diagrama de barras que represente cada dato adquirido. 	
Resultados Obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtuvo una matriz de datos con la distancia entre los Femto Usuarios (FU) y la Macro Estación Base (MBS), para verificar los datos, se realizan los cálculos teóricos correspondiente que se exponen 	



	<p>en el procedimiento 1.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La figura Ap.B2 muestra la gráfica de barras de los datos que se obtuvieron.
Observaciones	Para realizar el cálculo se utilizaron 10 femtoceldas en el escenario.

Tabla Ap.B3 Descripción Prueba 2

Procedimiento 1

En el procedimiento se verifica el cálculo de la distancia entre los Femto Usuarios (FU) y la macro estación base (MBS). La tabla Ap.B4 describe la ubicación en coordenadas (x, y) de los Femto Usuarios (FU) y de la macro estación base, se toman muestras para ejemplificar la prueba realizada.

Elemento	Ubicación (x,y) en metros [m]
Macro Estación Base	150,150
Femto Usuario 1	120.44, 214.64
Femto Usuario 2	96.08, 225.46
Femto Usuario 3	58.56, 253.81
Femto Usuario 4	56.73, 75.86
Femto Usuario 5	63.83, 102.25
Femto Usuario 6	43.46, 289.14
Femto Usuario 7	182.20, 102.99
Femto Usuario 8	279.86, 247.52
Femto Usuario 9	275.07, 245.30
Femto Usuario 10	260.26, 124.09

Tabla Ap.B4 Coordenadas de la macro estación base y femto usuarios

Para encontrar la distancia entre el Femto Usuario (FU) y la Macro Estación Base (MBS) se utiliza la ecuación Ap.B1

$$d = \sqrt{(x_{FU} - x_{MBS})^2 + (y_{FU} - y_{MBS})^2} \quad (\text{Ap.B1})$$



Donde

- x_{FU} Coordenada en el eje X del Femto Usuario (en metros).
- x_{MBS} Coordenada en el eje X de la Macro Estación Base (en metros).
- y_{FU} Coordenada en el eje Y del Femto Usuario (en metros).
- y_{MBS} Coordenada en el eje Y de la Macro Estación Base (en metros).

Los valores de x_{FU} y y_{FU} son reemplazados por las coordenadas de la posición del Femto Usuario (FU) y los valores de x_{MBS} y y_{MBS} por las coordenadas de la macro estación base (MBS) de la tabla Ap.B4

Para verificar el cálculo de la distancia se realiza la comparación entre el cálculo teórico y los que ofrece el simulador. Los resultados teóricos de la distancia se muestran en la tabla Ap.B5, mientras los que entrega el simulador se aprecian en la figura Ap.B2.

Femto Usuario	Distancia entre FU – MBS (m)
Femto Usuario 1	71.08
Femto Usuario 2	95.20
Femto Usuario 3	138.33
Femto Usuario 4	119.13
Femto Usuario 5	98.51
Femto Usuario 6	175.24
Femto Usuario 7	56.98
Femto Usuario 8	162.40
Femto Usuario 9	157.24
Femto Usuario 10	113.27

Tabla Ap.B5 Distancia de cada femto usuario a la macro estación base

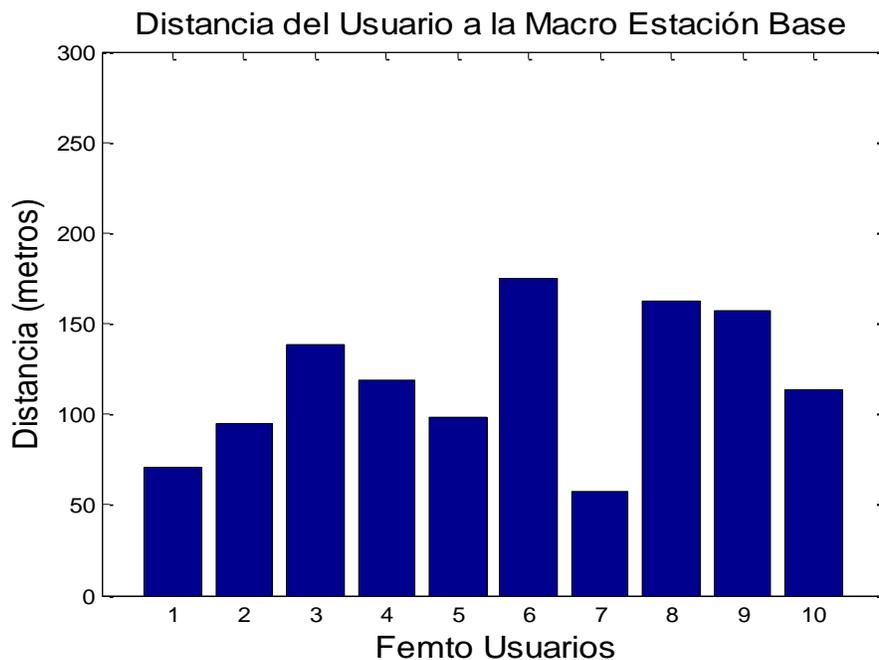


Figura Ap.B2 Distancia de cada femto usuario a la macro estación base

• **Prueba 3**

Descripción de Prueba	Verificar el código del cálculo de pérdidas por propagación de la señal de cada Femto Usuarios (FU) a la Macro Estación Base (MBS). Además se despliega una gráfica de barras con esta información.	
Elementos requeridos	Cantidad	Elemento
	1	Computador Portátil Dell Inspiron N4110
	1	Software Matlab® versión 7.10 (R2010a)
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener una matriz de datos con las pérdidas de propagación de la señal entre los Femto Usuarios (FU) y la Macro Estación Base (MBS). • Desplegar la gráfica de barras que represente cada dato adquirido. 	
Resultados Obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtuvo una matriz de datos de las pérdidas de propagación entre los Femto Usuarios (FU) y la Macro Estación Base (MBS), para verificar los datos se realizan los cálculos teóricos correspondientes, que se exponen en el procedimiento 2. • La figura Ap.B3 muestra la gráfica de barras de los 	



	datos que se obtuvieron.
Observaciones	Para realizar el cálculo se utilizaron 10 femtoceldas en el escenario.

Tabla Ap.B6 Descripción Prueba 3.

Procedimiento 2

El procedimiento para verificar los valores de las pérdidas de propagación de cada Femto Usuario (FU) a la Macro Estación Base (MBS), para encontrar estos valores se hace uso de la ecuación Ap.B2, en donde la distancia corresponde a los valores del procedimiento 1 de la tabla Ap.B4 y la frecuencia de operación es de 1700 MHz.

$$L_b[dB] = 49 + 40 \log(d[km]) + 30 \log(f[MHz]) \quad (\text{Ap.B2})$$

Donde,

d : es la distancia del femto usuario (FU) y la macro estación base (MBS) en [Km]

f : es la frecuencia de operación dada en [Mhz]

Los valores teóricos de las pérdidas de propagación se muestran en la tabla Ap.B7, mientras que los datos que arroja el simulador se presentan en la figura Ap.B3.

Pérdidas de Propagación en dB	
Femto Usuario 1	100.06
Femto Usuario 2	105.13
Femto Usuario 3	111.62
Femto Usuario 4	109.03
Femto Usuario 5	105.72
Femto Usuario 6	115.73
Femto Usuario 7	96.21
Femto Usuario 8	114.41
Femto Usuario 9	113.85
Femto Usuario 10	108.15

Tabla Ap.B7 Perdidas de propagación

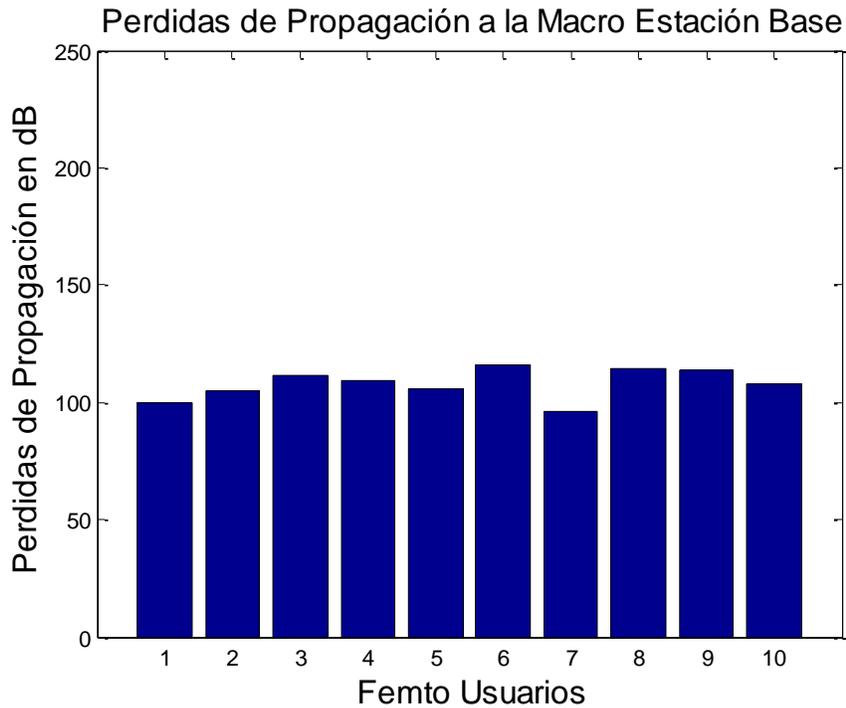


Figura Ap.B3 Perdidas de propagación del simulador

• Prueba 4

Descripción de Prueba	Verificar el código del cálculo de la potencia interferente de cada uno de los Femto Usuarios (FU) hacia la Macro Estación Base (MBS). Además se despliega una gráfica de barras con esta información.	
Elementos requeridos	Cantidad	Elemento
	1	Computador Portátil Dell Inspiron N4110
	1	Software Matlab® versión 7.10 (R2010a)
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener una matriz de datos con la potencia interferente de cada uno de los Femto Usuarios (FU). • Desplegar la gráfica de barras que represente cada dato adquirido. 	



Resultados Obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtuvo una matriz de datos de la potencia interferente para cada Femto Usuario (FU), para verificar los datos se realizan los cálculos teóricos correspondientes, que se exponen en el procedimiento 3. • La figura Ap.B4 muestra la gráfica de barras de los datos que se obtuvieron.
Observaciones	Para realizar el cálculo se utilizaron 10 femtoceldas en el escenario.

Tabla Ap.B8 Descripción Prueba 4

Procedimiento 3

El procedimiento para verificar los valores de potencia de recepción por parte de la macro estación base (MBS). Los datos de la distancia y pérdidas de propagación son tomados de las pruebas anteriores, la potencia interferente se define en la ecuación Ap.B3

$$P_{rx} = P_{tx} * \alpha \quad (\text{Ap.B3})$$

Donde,

α : ganancia del sistema que experimenta la comunicación entre el Femto Usuario (FU) y la Macro Estación Base (MBS).

P_{tx} : Potencia de transmisión de cada Femto Usuario (FU).

Las ganancias del sistema α se definen en la ecuación Ap.B4.

$$\alpha = \frac{g_{tx} * g_{rx}}{l_b * d} \quad (\text{Ap.B4})$$

En donde,

g_{tx} : ganancia de la antena de transmisión del Femto Usuario (FU).

g_{rx} : ganancia de la antena de recepción de la Macro Estación Base (MBS).



l_b : pérdidas de propagación de la señal.

d : variable aleatoria que representa el desvanecimiento en unidades lineales.

La potencia de transmisión de cada Femto Usuario (FU) es de 10 mili vatios y las ganancias del sistema se entrega en unidades lineales, para entregar el valor teórico de la potencia interferente las unidades lineales se pasan a decibeles, los cuales se pueden ver en la tabla Ap.B9 y los valores del simulador están en la figura Ap.B4.

Potencia Interferente en dBm	
Femto Usuario 1	-111.06
Femto Usuario 2	-116.13
Femto Usuario 3	-122.62
Femto Usuario 4	-120.03
Femto Usuario 5	-116.72
Femto Usuario 6	-126.73
Femto Usuario 7	-107.21
Femto Usuario 8	-125.41
Femto Usuario 9	-124.85
Femto Usuario 10	-119.15

Tabla Ap.B9 Potencia Interferente

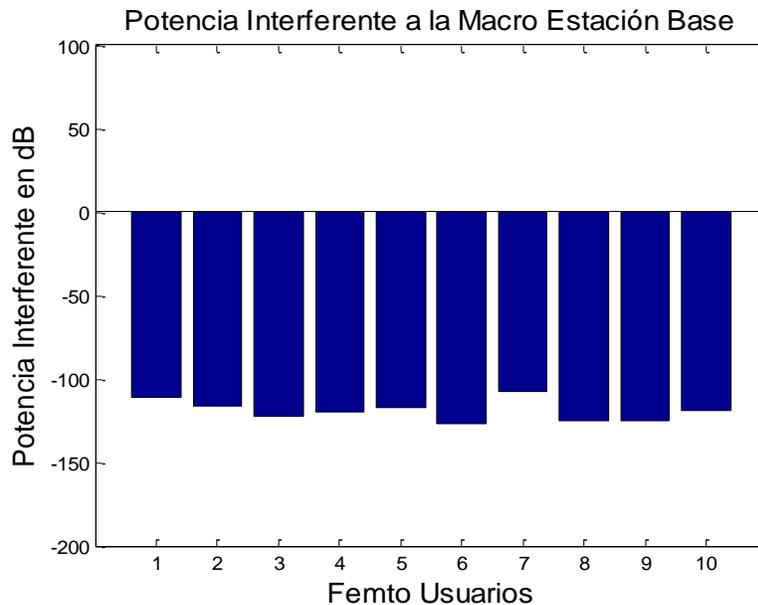


Figura Ap.B4 Potencia Interferente



• Prueba 5

Descripción de Prueba	Verificar el cálculo del valor de la Interferencia Co Canal(CCI) sobre la Macro Estación Base(MBS)	
Elementos requeridos	Cantidad	Elemento
	1	Computador Portátil Dell Inspiron N4110
	1	Software Matlab® versión 7.10 (R2010a)
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener el valor total de la Interferencia Co Canal (CCI) sobre la Macro Estación Base (MBS). • Desplegar el diagrama de barras que represente el dato adquirido. 	
Resultados Obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtuvo el valor de la Interferencia Co Canal (CCI) sobre la Macro Estación Base (MBS) generada por las Femto Estaciones Base (FBS). • La figura Ap.B5 muestra el diagrama de barras del dato obtenido. 	
Observaciones		

Tabla Ap.B10 Descripción Prueba 5

Procedimiento 4

En este procedimiento se verifica el cálculo de Interferencia Co-Canal (CCI) presente en el sistema percibida por la Macro Estación Base (MBS), generada por la suma total de todas las potencias interferentes de cada uno de los Femto Usuarios (FU).

Para hallar el valor de la CCI se hace uso de la siguiente ecuación:

$$cci = i_o = \sum_{j=1}^n pt_j * \alpha_j \quad (\text{Ap.B5})$$

Dónde:

n : número de femto usuarios (FU) desplegados en la red heterogénea.

pi : potencia interferente recibida del femto usuario en vatios.

pt : potencia de transmisión del femto usuario en vatios.

α : ganancia del sistema entre el femto usuario y la macro estación base, se define en la ecuación Ap.B4.



En la tabla Ap.B10 se tiene el valor de Interferencia Co Canal (CCI) en la Macro Estación Base (MBS) en el escenario con 10 Femto Estaciones Base (FBS).

Interferencia Co-Canal (dBm)
-104.5662

Tabla Ap.B11 Interferencia Co-Canal

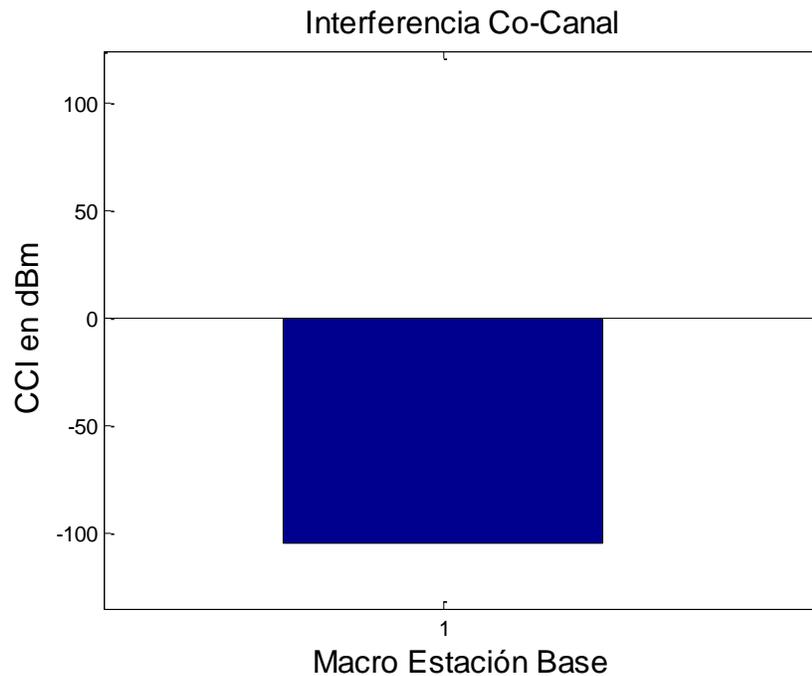


Figura Ap.B5 Interferencia Co-Canal

• **Prueba 6**

Descripción de Prueba	Verificar el cálculo de la Relación Señal a Ruido más Interferencia(SINR) en la Macro Estación Base(MBS)	
Elementos requeridos	Cantidad	Elemento
	1	Computador Portátil Dell Inspiron N4110
	1	Software Matlab® versión 7.10 (R2010a)
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener el valor de Relación Señal a Ruido más Interferencia(SINR) en la Macro Estación Base(MBS) • Mostrar la gráfica de barras que represente el dato adquirido. 	



Resultados Obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtuvo el valor de Relación Señal a Ruido más Interferencia (SINR) en la Macro Estación Base (MBS). • La figura Ap.B6 muestra el diagrama de barras del dato obtenido.
Observaciones	

Tabla Ap.B12 Descripción Prueba 6

Procedimiento 5

En este procedimiento se calcula el valor de la Relación Señal a Interferencia más Ruido (SINR) percibida por la Macro Estación Base (MBS), lo que permite evaluar el estado de degradación (SP).

La ecuación Ap.B6 permite encontrar el valor de SINR en la Macro Estación Base (MBS).

$$\text{sinr}_{\text{MBS}} = \frac{\alpha_{\text{MU-MBS}} * pt_{\text{MU}}}{\eta + \sum_{j=1}^N \alpha_j pt_j}, \quad j \in \mathbb{N} \quad (\text{Ap.B6})$$

Donde,

$\alpha_{\text{MU-MBS}}$: ganancia del sistema entre el macro usuario y la macro estación base.

pt_{MU} : potencia de transmisión del macro usuario.

η : ruido térmico que se presenta en el sistema.

N: número total de usuarios presentes en la red.

En la tabla Ap.B11 se obtiene el valor de SINR percibido en Macro Estación Base (MBS).

Relación Señal a Interferencia más Ruido (dB)
25.60

Tabla Ap.B13 Relación Señal a Interferencia más Ruido

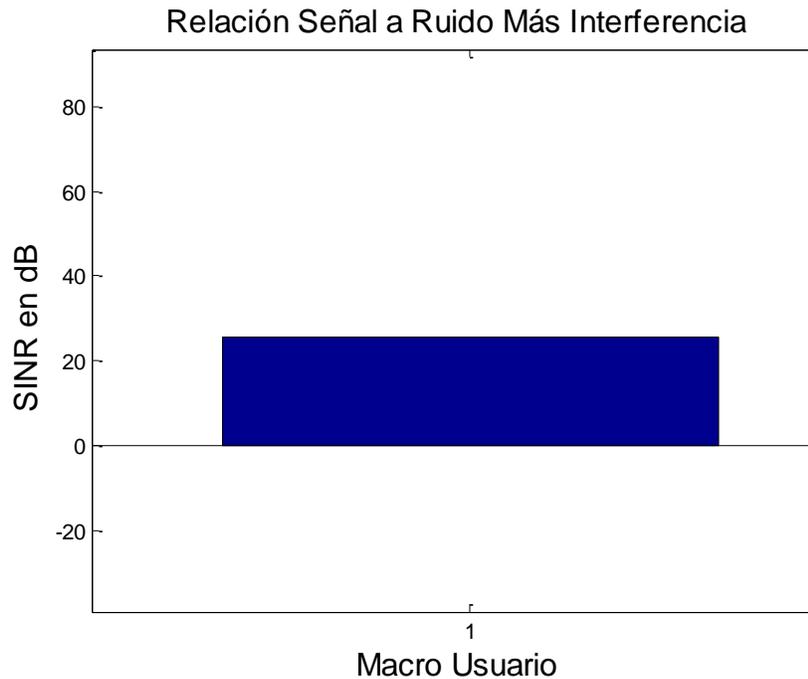


Figura Ap.B6 Relación Señal a Interferencia Más Ruido

• **Prueba 7**

Descripción de Prueba	Verificar el cálculo de la Potencia Ideal con que debe transmitir un Femto Usuario (FU).	
Elementos requeridos	Cantidad	Elemento
	1	Computador Portátil Dell Inspiron N4110
	1	Software Matlab® versión 7.10 (R2010a)
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener una matriz de datos de la potencia necesaria con la que debe transmitir un Femto Usuario (FU). • Observar el diagrama de barras que represente cada dato adquirido. 	
Resultados Obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtuvo una matriz de datos para diez Femto Usuarios (FU) con la potencia mínima necesaria con la que debe transmitir. • En la figura Ap.B7 se aprecia el diagrama de barras de los datos obtenidos. 	
Observaciones		

Tabla Ap.B14 Descripción Prueba 7



Para realizar el cálculo se utilizaron 10 Femto Usuarios (FU) en el escenario consiguiendo diferentes valores como enseña la tabla Ap.B12.

Potencia Transmisión en dBm	
Femto Usuario 1	-12.5214
Femto Usuario 2	-18.7432
Femto Usuario 3	-5.0249
Femto Usuario 4	-19.1368
Femto Usuario 5	-12.1056
Femto Usuario 6	-24.2442
Femto Usuario 7	-13.1909
Femto Usuario 8	-28.1519
Femto Usuario 9	-16.7220
Femto Usuario 10	-3.2226

Tabla Ap.B15 Potencia de Transmisión

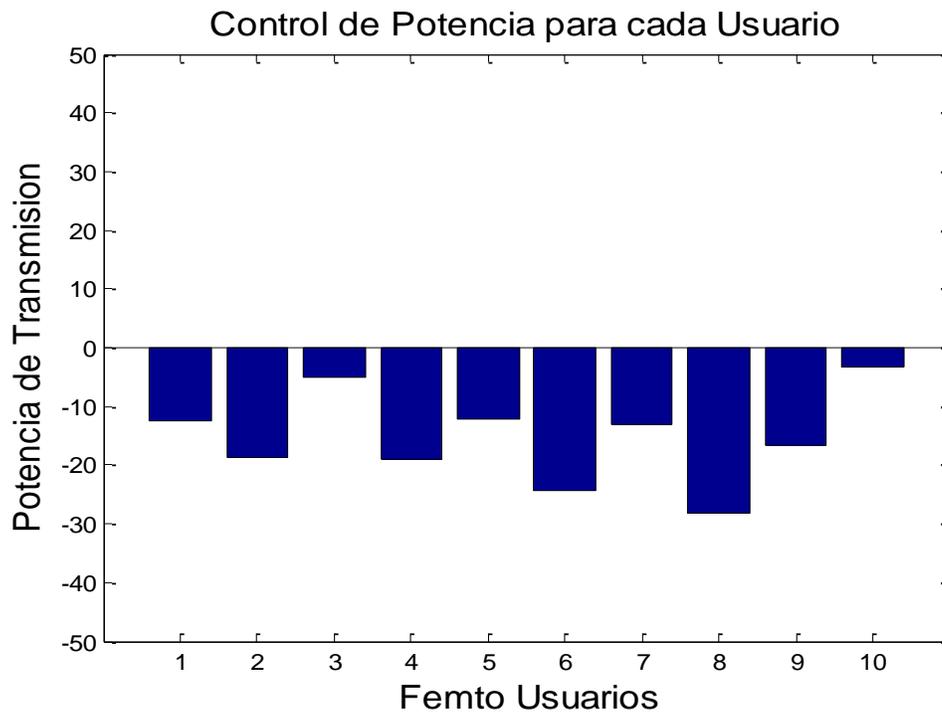


Figura Ap.B7 Potencia de Transmisión



Procedimiento 6

El objetivo del procedimiento es encontrar la potencia ideal necesaria con la que un equipo de usuario (UE) debe transmitir, para tener una buena SINR.

A partir de la ecuación Ap.B7 del capítulo 1, se utiliza un modelo de ecuaciones que permiten llegar a la ecuación

$$\text{sinr}_i = \frac{\alpha_i p t_i}{\eta + \sum_{j=1, j \neq i}^N \alpha_j p t_j}, \quad i, j \in \mathbb{N} \quad (\text{Ap.B7})$$

Donde,

α_i : es la ganancia del sistema¹ que experimenta el usuario i en su comunicación.

$p t_i$: potencia de transmisión del equipo de usuario i -ésimo.

η : ruido térmico que se presenta en el sistema.

N : número total de usuarios presentes en la red.

La anterior ecuación expresa en función de un sistema lineal de ecuaciones la potencia de transmisión de cada uno de los usuarios, de donde se despeja la potencia (p) necesaria para que un Equipo de Usuario (UE) pueda transmitir, observada en la siguiente ecuación:

$$p = H^{-1} \eta \quad (\text{Ap.B8})$$

Dónde:

H : es una matriz no singular de orden $N \times N$ que está definida en la ecuación 1.6 del capítulo 1 del trabajo de grado.

¹Ganancia del sistema: se consideran las ganancias y pérdidas que experimenta la señal en el trayecto entre el usuario y la estación base.



• Prueba 8

Descripción de Prueba	Verificar el cálculo de la Interferencia Co Canal (CCI) y la Relación Señal a Ruido más Interferencia (SINR) sobre la Macro Estación Base (MBS) utilizando el mecanismo de Control Ideal de Potencia (IPC).	
Elementos requeridos	Cantidad	Elemento
	1	Computador Portátil Dell Inspiron N4110
	1	Software Matlab® versión 7.10 (R2010a)
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener los valores de CCI y SINR al usar un mecanismo que permita realizar un control ideal de potencia. • Visualizar el diagrama de barras que represente cada dato adquirido. 	
Resultados Obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> • Se consiguieron los valores de CCI y SINR para el escenario donde se utilizó el modelo de Control Ideal de Potencia (IPC), basado en el procedimiento 6. • En la figura Ap.B8 y Ap.B9 se observa el diagrama de barras del dato obtenido para CCI y el dato para SINR. 	
Observaciones	Para realizar el cálculo se utilizaron 10 femtoceldas en el escenario.	

Tabla Ap.B16 Descripción Prueba 8

En la tabla Ap.B17 y Ap.B18 se tiene el valor de SINR y CCI respectivamente, al utilizarse Control Ideal de Potencia (IPC)

Relación Señal a Interferencia más Ruido (dB)
44.54

Tabla Ap.B17 SINR con Control Ideal de Potencia

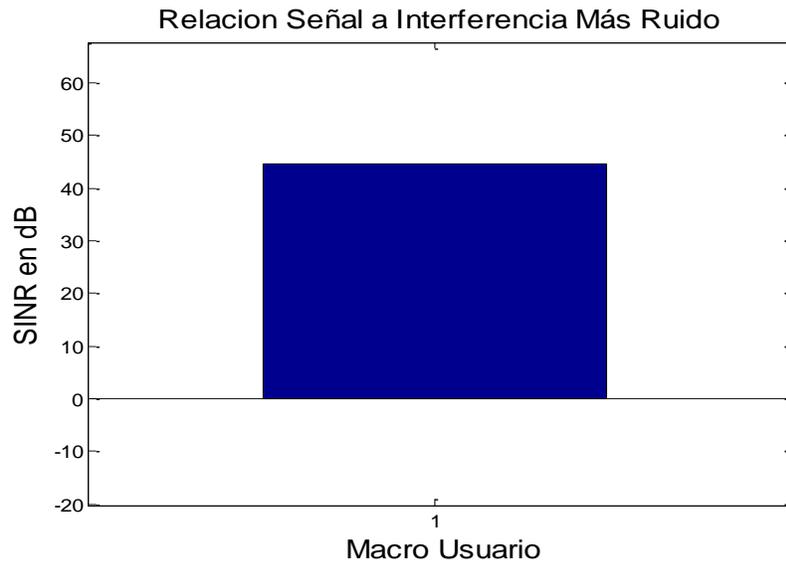


Figura Ap.B8 SINR Ruido con Control Ideal de Potencia

Interferencia Co Canal (dB)
-123.49

Tabla Ap.B18 CCI con Control Ideal de Potencia

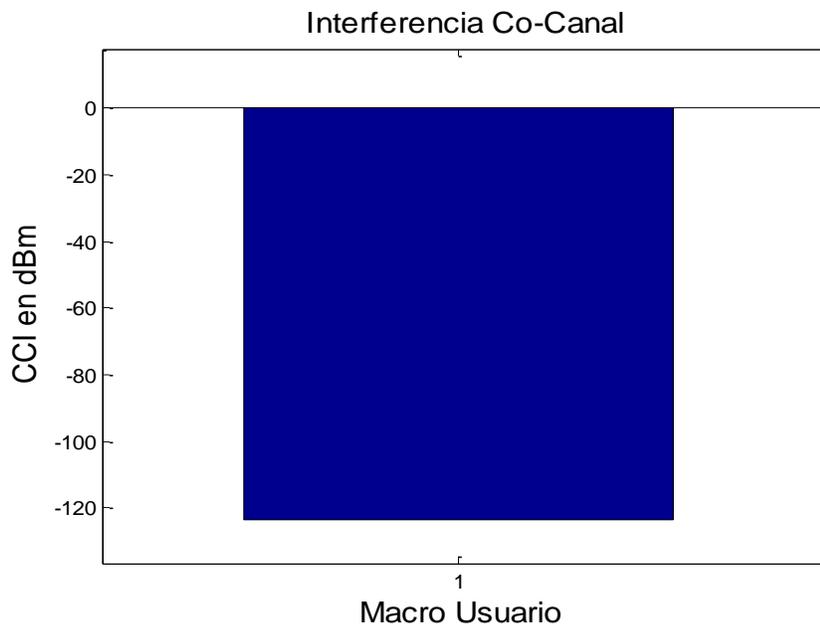


Figura Ap.B9 CCI con Control Ideal de Potencia



• Prueba 9

Descripción de Prueba	Verificar la Sectorización de la celda.	
Elementos requeridos	Cantidad	Elemento
	1	Computador Portátil Dell Inspiron N4110
	1	Software Matlab® versión 7.10 (R2010a)
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> Sectorizar las Femto Estaciones Base (FBS) para determinar si el Femto Usuario (FU) se encuentra en el borde o centro de la celda. 	
Resultados Obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> Se obtuvo una sectorización de cada una de las femtoceldas 	
Observaciones		

Tabla Ap.B19 Descripción Prueba 9

Procedimiento 7

Cuando la estación base sobrepase el nivel de referencia de la SINR, rápidamente un número de usuarios deben cambiar la frecuencia en la que se encuentran operando por una que esté disponible, para este procedimiento se tienen las siguientes condiciones:

- ✓ Si la distancia de la FBS al FU es mayor a 7.5 Km, el FU se encuentra en el borde de la celda, por tanto se realiza un cambio en la frecuencia de operación.
- ✓ Si la distancia de la FBS al FU es menor a 7.5Km se mantiene en esa frecuencia de operación, ya que el FU está en el centro de la celda.

Distancia del FU a la FBS		Sector
Femto Usuario 1	8.2 m	Borde
Femto Usuario 2	3.2 m	Centro
Femto Usuario 3	5.1 m	Centro
Femto Usuario 4	3.4 m	Centro
Femto Usuario 5	2.3 m	Centro
Femto Usuario 6	5.5 m	Centro



Femto Usuario 7	12.2 m	Borde
Femto Usuario 8	10.5 m	Borde
Femto Usuario 9	1.8 m	Centro
Femto Usuario 10	6.1 m	Centro

Tabla Ap.B20 Distancia del FU a la FBS

• **Prueba 10**

Descripción de Prueba	Verificar el cálculo de la Interferencia Co Canal (CCI) y la Relación Señal a Ruido más Interferencia (SINR) sobre la Macro Estación Base(MBS) utilizando el mecanismo Cambio de Frecuencia.	
Elementos requeridos	Cantidad	Elemento
	1	Computador Portátil Dell Inspiron N4110
	1	Software Matlab® versión 7.10 (R2010a)
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener un valor de CCI y SINR haciendo uso del mecanismo de Cambio de Frecuencia en base al procedimiento 7. • Desplegar el diagrama de barras que represente cada dato adquirido. 	
Resultados Obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtuvieron los valores de CCI y SINR cuando se aplica un cambio de frecuencia dependiendo de la distancia a la que se encuentre la FBS del FU. • La figura Ap.B10 y Ap.B11 muestra la gráfica de barras de los datos que se obtuvieron. 	
Observaciones	Para realizar el cálculo se utilizaron 10 femtoceldas en el escenario.	

Tabla Ap.B21 Descripción Prueba 10

Relación Señal a Interferencia más Ruido (dB)
26.71

Tabla Ap.B22 SINR con Cambio de Frecuencia

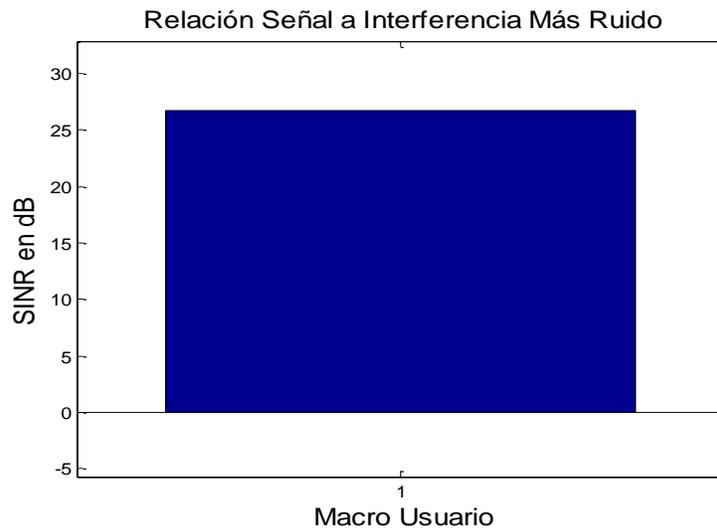


Figura Ap.B10 SINR con Cambio de Frecuencia

Interferencia Co Canal (dbm)
-105.6713

Tabla Ap.B23 CCI con Cambio de Frecuencia

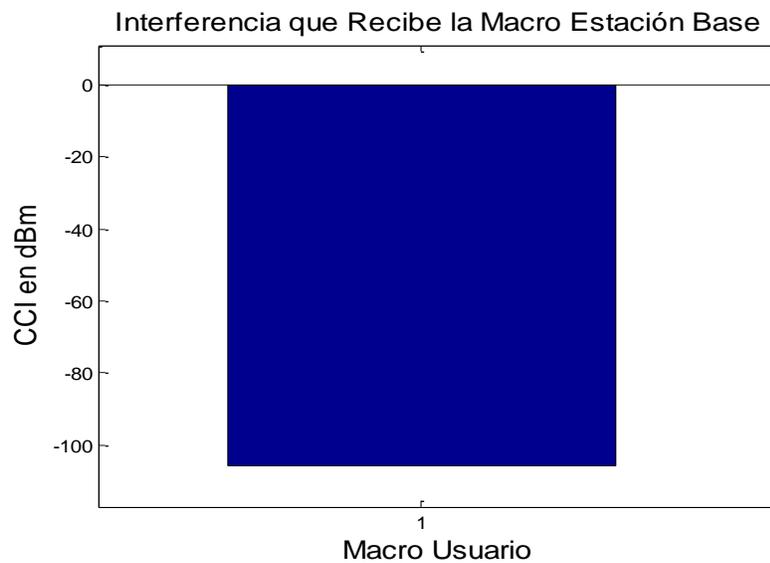


Figura Ap.B11 CCI con Cambio de Frecuencia



• Prueba 11

Descripción de Prueba	Sectorización de la celda y verificar el cálculo de la potencia ideal.	
Elementos requeridos	Cantidad	Elemento
	1	Computador Portátil Dell Inspiron N4110
	1	Software Matlab® versión 7.10 (R2010a)
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener la sectorización de las femtoceldas y una matriz de datos con la potencia necesaria con la que un Femto Usuario (FU) debe transmitir con la distancia, a partir del procedimiento 6 y 7. 	
Resultados Obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtuvo la sectorización de las femtoceldas dependiendo de la distancia, al igual que se obtuvo la matriz de datos de la potencia. • En la tabla Ap.B25 se aprecian la sectorización de la red y la potencia de transmisión para cada Femto Usuario (FU). 	
Observaciones		

Tabla Ap.B24 Descripción Prueba 11

Femto Usuario	Distancia del FU a la FBS	Sector	Potencia de Transmisión
Femto Usuario 1	8.2 m	Borde	-18.5423
Femto Usuario 2	3.2 m	Centro	-20.3621
Femto Usuario 3	5.1 m	Centro	-15.7412
Femto Usuario 4	3.4 m	Centro	-29.2357
Femto Usuario 5	2.3 m	Centro	-15.6321
Femto Usuario 6	5.5 m	Centro	-24.2012
Femto Usuario 7	12.2 m	Borde	-18.1752
Femto Usuario 8	10.5 m	Borde	-33.2234
Femto Usuario 9	1.8 m	Centro	-22.2412
Femto Usuario 10	6.1 m	Centro	-12.3254

Tabla Ap.B25 Sectorización y Cálculo de Potencia Ideal



• Prueba 12

Descripción de Prueba	Verificar el cálculo de la Interferencia Co Canal(CCI) y la Relación Señal a Ruido más Interferencia(SINR) sobre la Macro Estación Base(MBS) utilizando el modelo de Control Híbrido	
Elementos requeridos	Cantidad	Elemento
	1	Computador Portátil Dell Inspiron N4110
	1	Software Matlab® versión 7.10 (R2010a)
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener un valor de CCI y SINR partiendo del procedimiento 6 y 7 que combinados generan el modelo de Control Híbrido • Mostrar el diagrama de barras que represente cada dato adquirido para CCI y el dato de SINR. 	
Resultados Obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtuvo una matriz de datos con la distancia entre los Femto Usuarios (FU) y la Macro Estación Base (MBS), para verificar los datos se realizan los cálculos teóricos correspondientes, que se exponen en el procedimiento 1. • Las tablas Ap.26 y Ap.27 exponen el valor de SINR y CCI en un escenario con 10 Femto Usuarios (FU) y en las figuras Ap.12 y Ap.13 se presentan los diagramas de barras de los datos obtenidos. 	
Observaciones		

Tabla Ap.B26 Descripción Prueba 12

Relación Señal a Interferencia más Ruido (dB)
46.71

Tabla Ap.B27 SINR con Control Híbrido

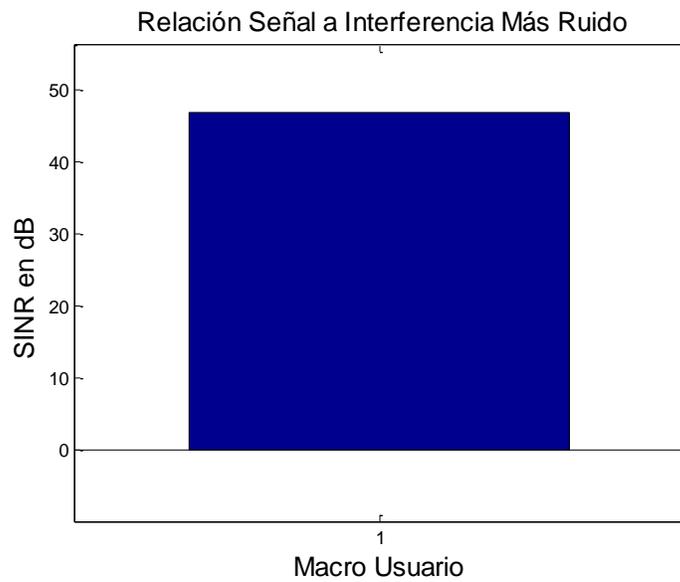


Figura Ap.B12 SINR con Control Híbrido

Interferencia Co Canal (dbm)
-125.6713

Tabla Ap.B28 CCI con Control Híbrido

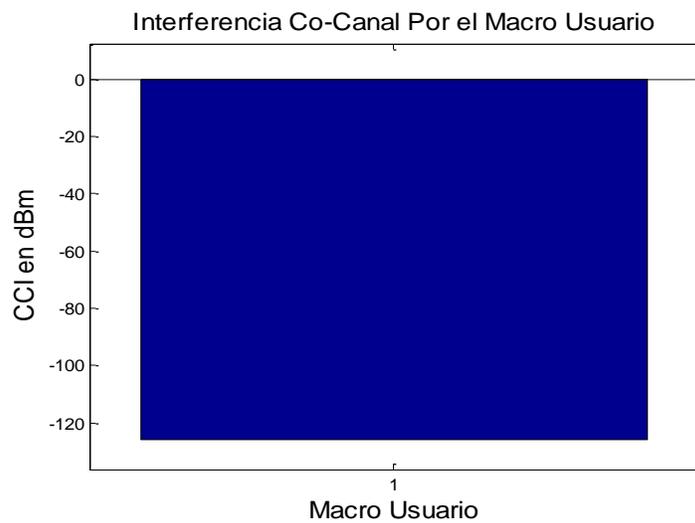


Tabla Ap.B29 CCI con Control Híbrido



• Prueba 13

Descripción de Prueba	Verificar el funcionamiento de la interfaz gráfica de usuario.	
Elementos requeridos	Cantidad	Elemento
	1	Computador Portátil Dell Inspiron N4110
	1	Software Matlab® versión 7.10 (R2010a)
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener el despliegue de una interfaz gráfica de usuario de fácil acceso y ejecución que permita realizar y observar las funciones que ofrece el simulador. 	
Resultados Obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtuvo una interfaz gráfica que permitió visualizar y ejecutar funciones como: despliegue de Femto Estaciones Base(FBS) cálculo de pérdidas de propagación ,Interferencia Co Canal, Relación Señal a Interferencia más ruido ,estado de degradación, con cada uno de los mecanismos de control de Interferencia. 	
Observaciones		

Tabla Ap.B30 Descripción Prueba 13



APÉNDICE C

MANUAL DE USUARIO

En este apéndice se presenta el manual de usuario del simulador estático a nivel de sistema para redes heterogéneas, el cual describe los archivos que lo conforman, la interfaz de usuario y algunos problemas que el usuario se puede encontrar y la forma en que los puede solucionar. El simulador es desarrollado en el software Matlab® de Mathworks y puede ejecutarse en la versión 7.14 (R2012a) y sus compatibles.

C.1 ARCHIVOS DEL SIMULADOR

El simulador se encuentra en una carpeta llamada "ULHETNET", en esta carpeta hay 3 archivos de simulación, los cuales se describen a continuación:

ULHETNET.m: archivo principal del simulador, en donde se realiza el control de la interfaz y demás archivos.

ULHETNET.fig: interfaz del simulador, la cual ofrece diferentes funcionalidades para realizar el análisis de la Interferencia Co-Canal (CCI) en Redes Heterogéneas (HetNet) en el Enlace de Subida (UL).

ULHETNET_DFITTOOL.m: archivo de simulación necesario para el correcto funcionamiento de la herramienta de matlab® "DFITTOOL", el cual facilita el estudio probabilístico de los resultados adquiridos.

C.2 INTERFAZ DEL SIMULADOR

Para abrir el simulador se necesita ingresar a la carpeta "ULHETNET" y luego ejecutar el archivo ULHETNET.m, el cual despliega la interfaz gráfica para realizar los cálculos respectivos de la Interferencia Co-Canal (CCI) o la Relación Señal Interferencia más Ruido (SINR) en una Red Heterogénea (HetNet). La figura Ap.C1 muestra la interfaz gráfica.

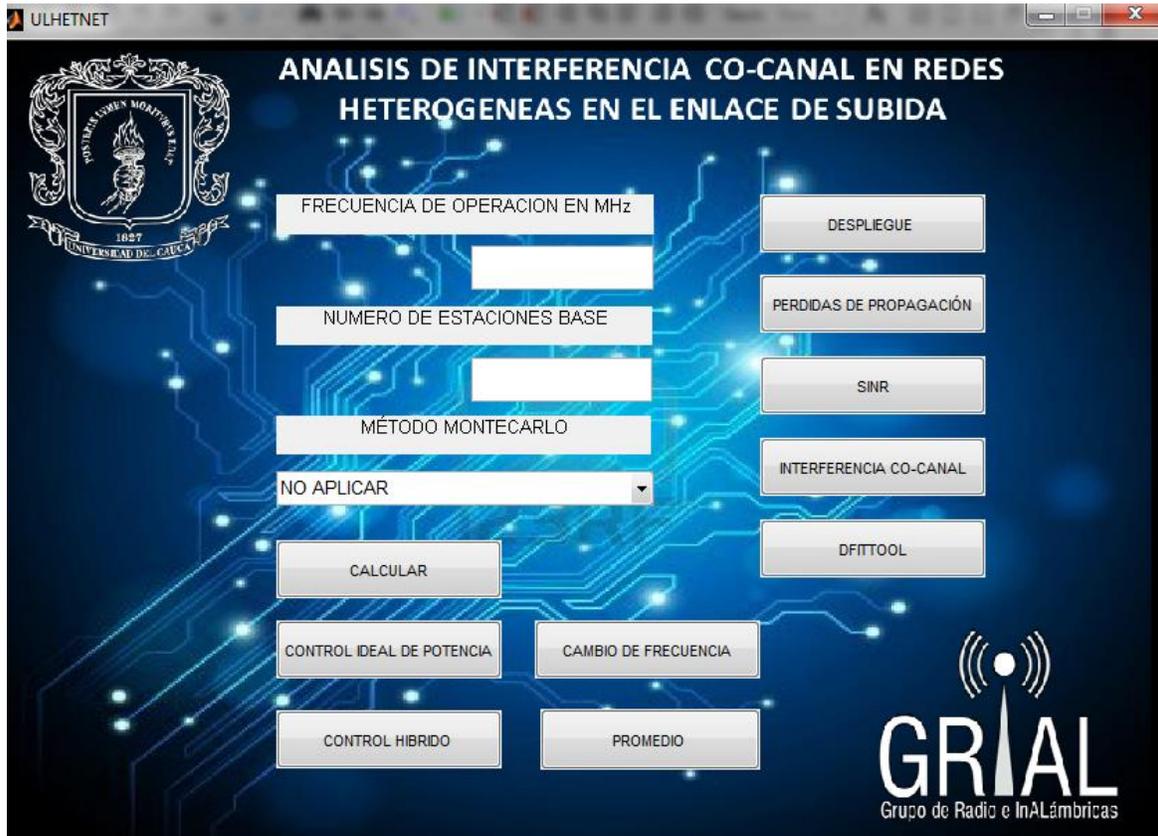


Figura Ap.C1 Interfaz del simulador estático a nivel de sistema

La interfaz del simulador permite digitar la frecuencia de operación y el número de estaciones base, además de escoger el número de repeticiones para hacer uso del método Montecarlo. En la tabla Ap.C1 se muestran los diferentes parámetros con sus respectivos valores.

Parámetros Variables	Valores
Frecuencia de Operación [MHz]	Cualquiera
Número de Estaciones Base	0 - 1000
Método Montecarlo (Número de Repeticiones)	100,1000,10000

Tabla Ap.C1 Parámetros variables del simulador estático a nivel de sistema

Una vez se hayan fijado los valores de los parámetros para el estudio de la Interferencia Co-Canal (CCI) en redes heterogéneas, se debe presionar el botón calcular, el cual realiza todo el proceso matemático y provee los resultados del estudio realizado. Una vez terminado el proceso² los demás botones despliegan las

²Proceso de simulación: el tiempo de simulación depende del número de estaciones base y las repeticiones del método Montecarlo. Este tiempo aparece en la ventana de comandos de Matlab.



figuras con los resultados correspondientes como por ejemplo el cálculo de la interferencia co-canal o la relación señal a interferencia más ruido.

Para realizar el estudio probabilístico de los resultados se presiona el botón DFITTOOL, el cual abre el archivo ULHETNET_DFITTOOL y el programa “*DistributionFittingTool*” de Matlab, para empezar el estudio primero se debe ejecutar el archivo ULHETNET_DFITTOOL a través del icono de la función *run* o presionar la tecla F5, una vez ejecutado este archivo ya se puede utilizar el programa DFITTOOL.

C.3. RESULTADOS

Para mostrar los diferentes resultados se presionan los botones del simulador, en la tabla Ap.C2 se muestra la lista de las gráficas que despliega cada botón.

Botón	Graficas que Despliega
Despliegue	Despliegue de la Red Heterogénea
Perdidas de Propagación	Distancias de los FU a la MBS – Perdidas de propagación de los FU a la MBS – Potencia interferente
SINR	SINR para cada FU – SINR en la MBS
CCI	Interferencia Co-Canal en la MBS
Control Ideal de Potencia	Control de Potencia para cada usuario – SINR en la MBS - Interferencia Co-Canal en la MBS – SINR para cada FU
Cambio de Frecuencia	SINR en cada FU – Interferencia Co-Canal en la MBS – SINR en la MBS
Control Hibrido	SINR en cada FU – Interferencia Co-Canal en la MBS – SINR en la MBS
Promedio	Promedio de los mecanismos de coordinación en CCI y SINR
DFITTOOL	Archivo ULHETNET_DFITTOOL – Herramienta DFITTOOL

Tabla Ap.C2 Resultados que despliega el simulador

A continuación se presentan las gráficas más representativas que entrega cada botón del simulador cuando se tienen 100 femtoceldas.



C.3.1 Despliegue

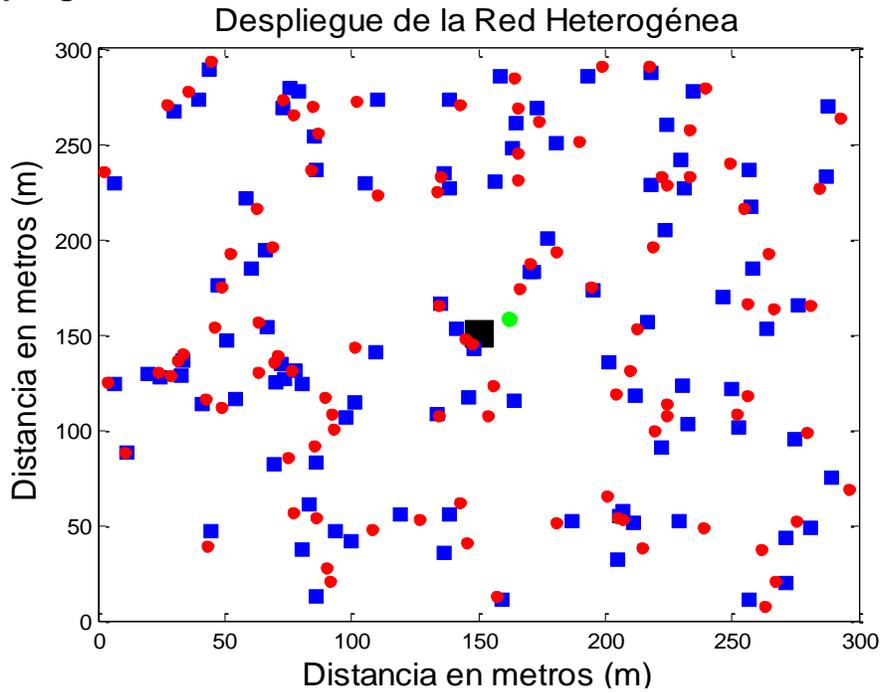


Figura Ap.C2 Despliegue de 100 Femtoceldas

C.3.2 Pérdidas de Propagación

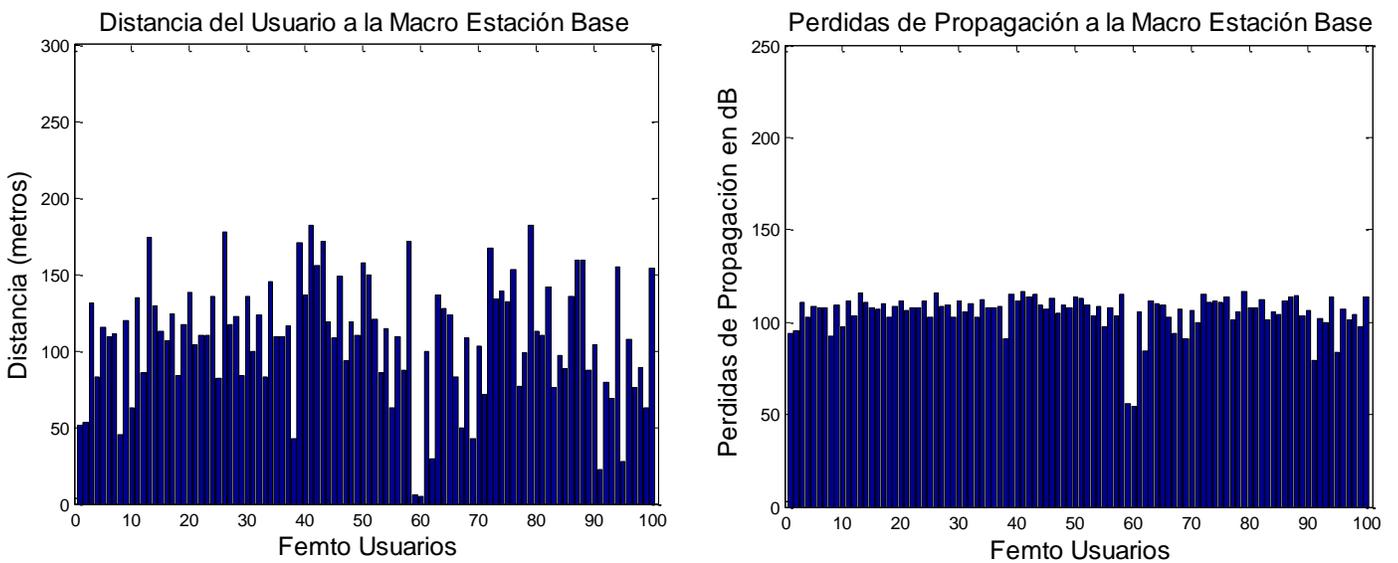


Figura Ap.C3 Distancia Y Pérdidas de Propagación a la Macro Estación Base



C.3.3 SINR

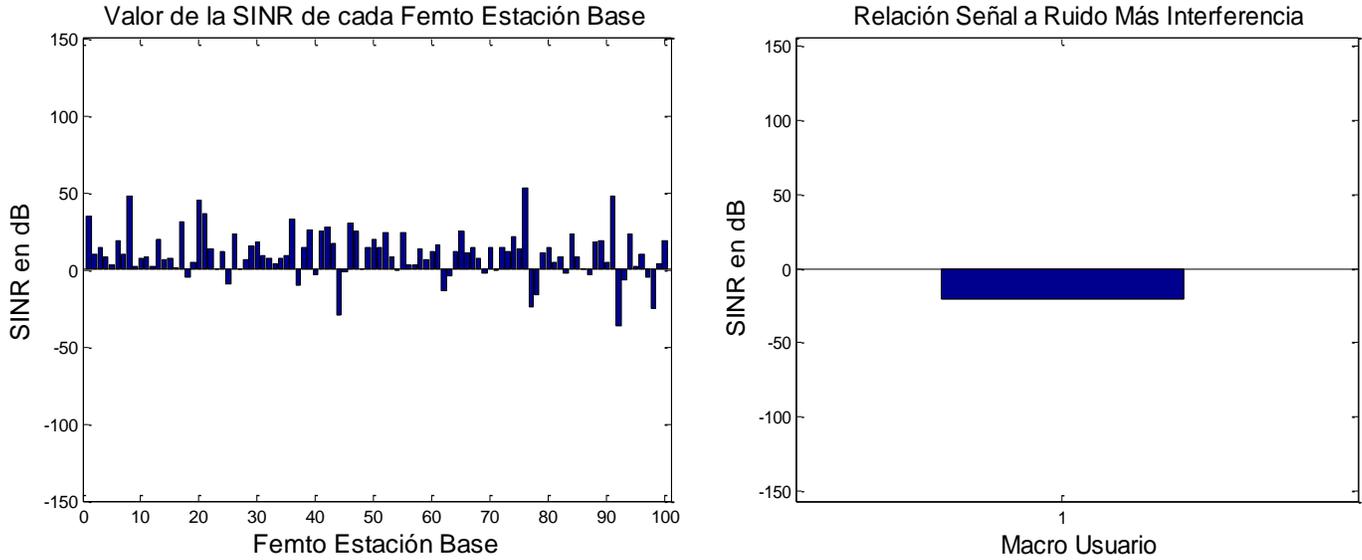


Figura Ap.C4 SINR para cada FU y en la MBS

C.3.4 CCI

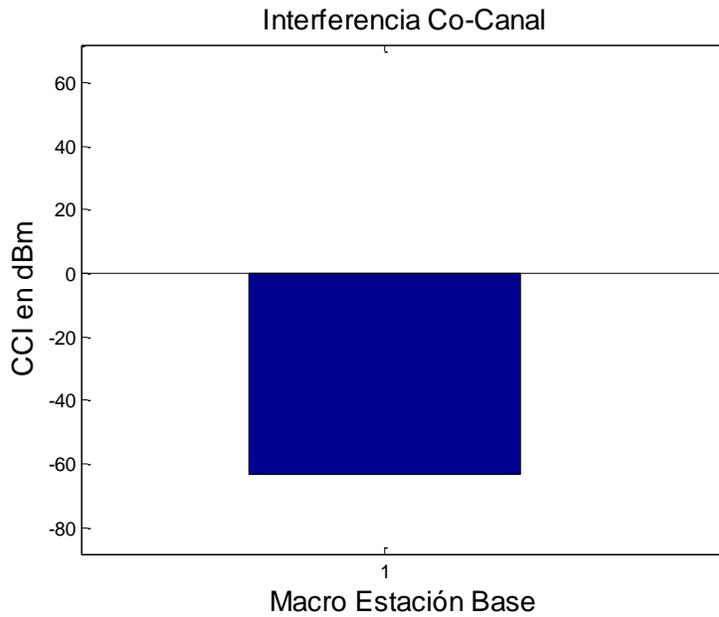


Figura Ap.C5 CCI percibida en la Macro Estación Base



C.3.6 Control Ideal de Potencia

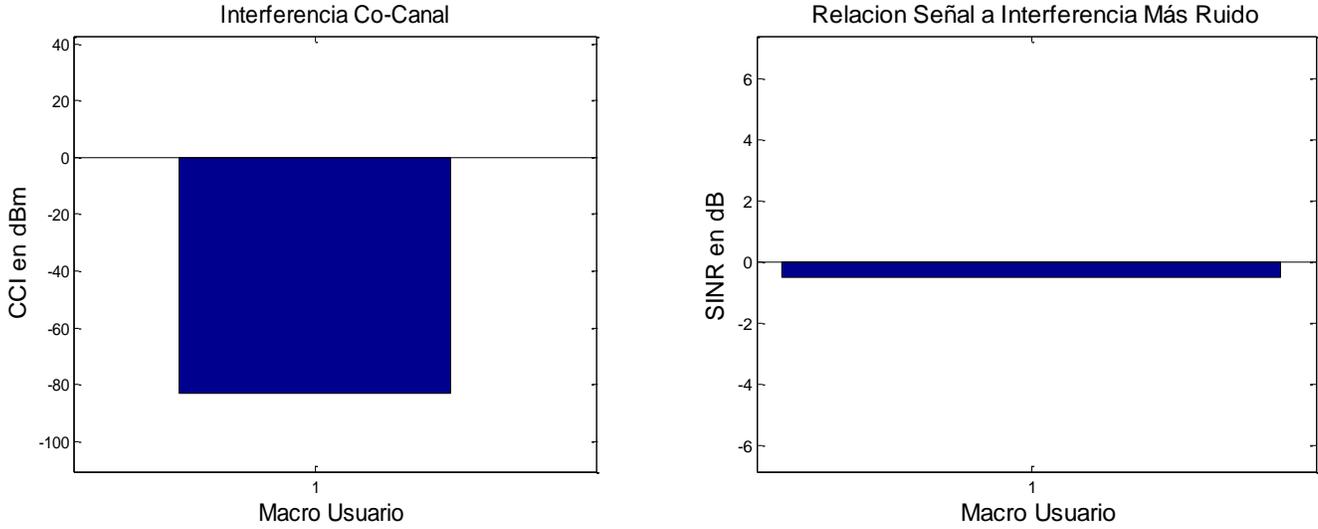


Figura Ap.C6 CCI y SINR con Control Ideal de Potencia

C.3.7 Cambio de Frecuencia

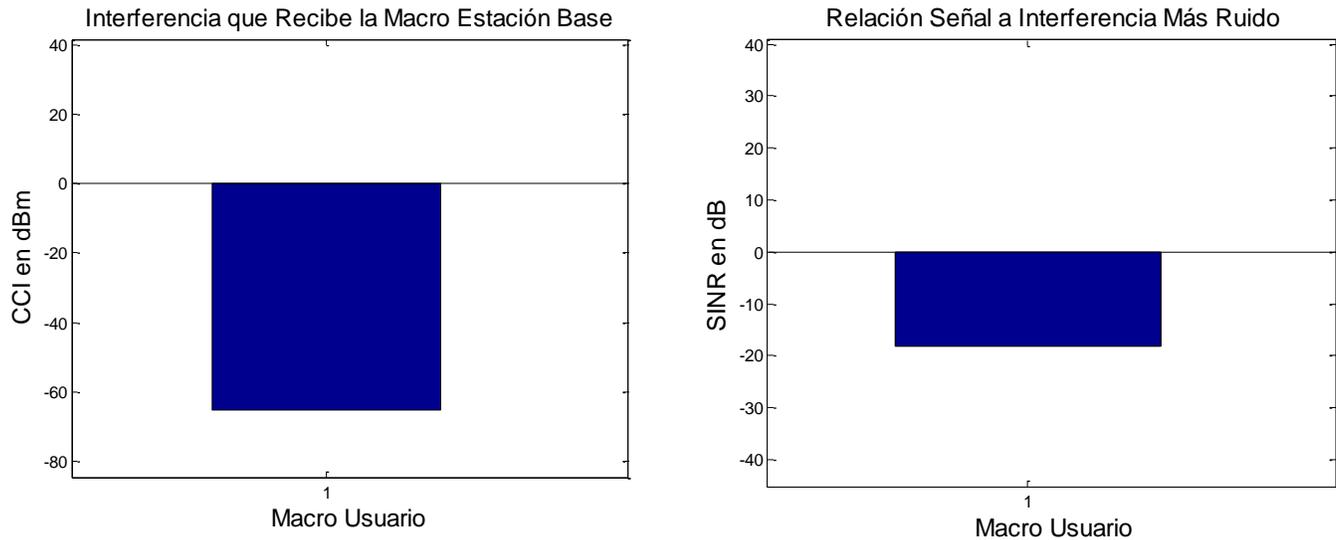


Figura Ap.C7 CCI y SINR con Cambio de Frecuencia



C.3.8 Control Híbrido

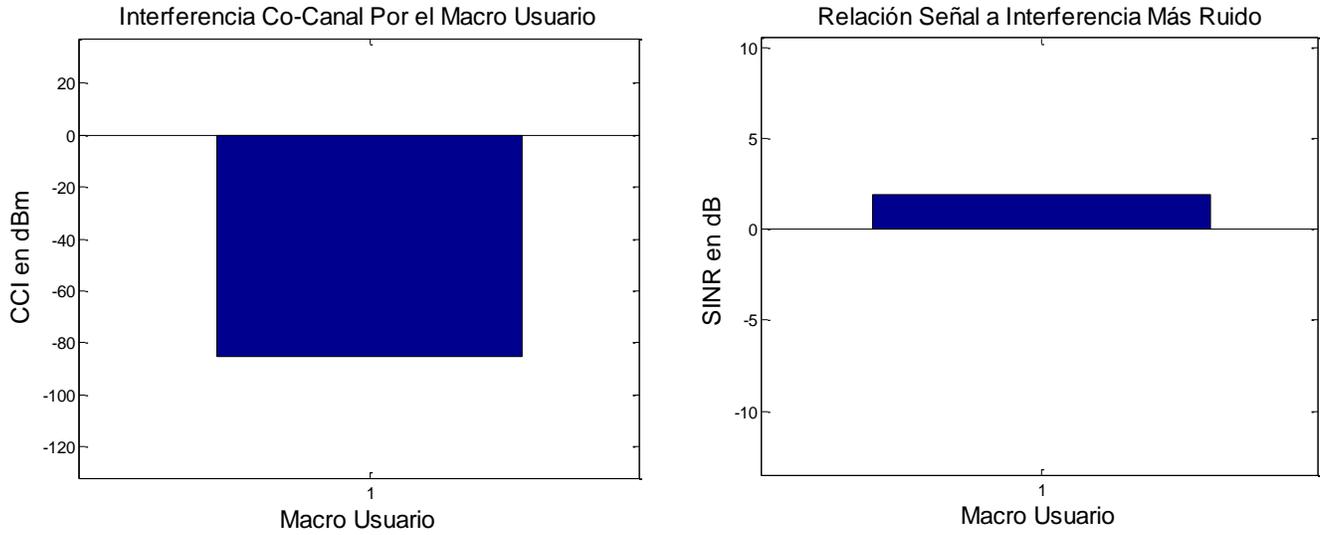


Figura Ap.C8 CCI y SINR con Control Híbrido

C.3.9 Promedio

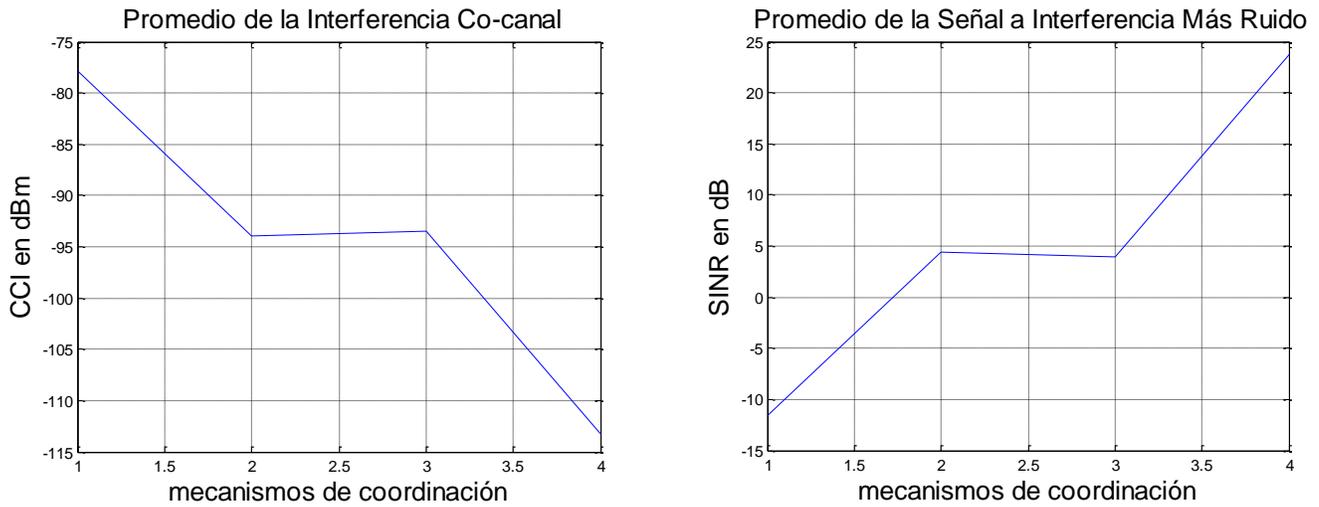


Figura Ap.C9 Promedio de la SINR y CCI



C.3.10 DFITTOOL

En el botón DFITTOOL se abre el archivo ULHETNET-DFITTOOL y la herramienta DFITTOOL.

```

Editor - H:\simulacion-hetnet\ULHETNET_DFITTOOL.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
-----
1  %-----
2  %----- VARIABLES GLOBALES -----
3  %-----
4
5  % para ejecutar
6
7
8  global CCI % interferencia co-canal.
9  global CCI_CP % interferencia co-canal control de potencia.
10 global CCI_FRE % interferencia co-canal cambio de frecuencia.
11 global CCI_HIB % interferencia co-canal control hibrido.
12 global sinr_cci % señal a interferencia más ruido.
13 global sinr_potencia % señal a interferencia más ruido control de potencia.
14 global sinr_frecuencia % señal a interferencia más ruido frecuencia.
15 global sinr_hibrido % señal a interferencia más ruido control hibrido.
16
17
18 % CCI=CI; % interferencia co-canal.
19 % CCI_CP= CI_P; % interferencia co-canal con control de potencia.
20 % CCI_FRE= CI_FRE; %interferencia co-canal con cambio de frecuencia.
21 % CCI_HIB= CI_HIB; %interferencia co-canal con control hibrido.
22 %
23 % sinr_normal=sinrMUdb; % señal a interferencia más ruido.
24 % sinr_potencia=sinr_P; % señal interferencia más ruido - control potencia.
25 % sinr_frecuencia=sinr_FRE; % señal interferencia más ruido - frecuencia.
26 % sinr_hibrido=sinr_HIB; % señal intereferencia más ruido - control hibrido.
27
28 %open correr.m
29
30
31 %-----
32 %----- TERMINA EL CODIGO -----
    
```

Figura Ap.C10 Archivo ULHETNET-DFITTOOL

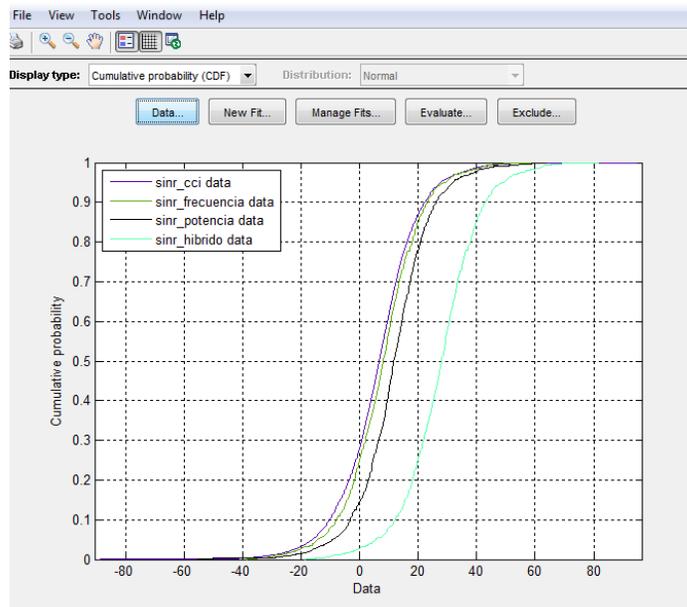


Figura Ap.C11 Herramienta DFITTOOL



C.4 RECOMENDACIONES

A menudo se pueden presentar errores del simulador, los cuales aparecen en la ventana de comandos, el más común es cuando se realiza la simulación con un número de femtoceldas y luego se efectúa otro proceso pero con un número menor al que se utilizó previamente, este error se soluciona escribiendo en la ventana el comando "clearall" y volviendo a ejecutar el simulador.

Para ejecutar el simulador con un gran número de femtoceldas y aplicando el método Montecarlo es necesario contar con un computador con buen procesador, para que el tiempo de simulación sea más corto.