

## LABORATORIO DE SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

### **EXPERIENCIA:**

### MEDICIÓN DE CANAL INALÁMBRICO EN BANDA ANCHA

#### **1. OBJETIVO**

En esta experiencia se medirá la respuesta en frecuencia y perfil de retardo de potencia (PDP) del canal inalámbrico en la banda de aplicación de redes WiFi IEEE802.11b, en torno a 2.44GHz, en escenarios indoor. El objetivo es aplicar un procedimiento experimental de medición para obtener características estadísticas del medio de propagación multirrayecto, como son el ancho de banda de coherencia y la dispersión temporal.

#### **2. INTRODUCCIÓN**

La creciente aplicación de las redes inalámbricas de área local (WLAN) requiere el constante desarrollo de técnicas de transmisión, protocolos y tecnología que permitan cada vez mayor capacidad de servicios de comunicación en un medio de transmisión hostil y de espectro limitado, como es el canal inalámbrico con propagación multirrayecto. El conocimiento de las características del canal de propagación es clave para el diseño y desarrollo de los sistemas de transmisión que usan este medio, por lo que las mediciones del canal y su caracterización es fundamental para desarrollar modelos que describan adecuadamente los distintos escenarios de aplicación y permitan por ejemplo evaluar desarrollos por simulación.

Dada la naturaleza cambiante del canal inalámbrico multirrayecto, es necesario evaluar parámetros en forma estadística, como ser el tiempo de coherencia y el ancho de banda de coherencia, características que cuantifican fenómenos que son independientes ya que por una parte el tiempo de coherencia da una medida de cuán rápido cambia el canal, y por otra parte el ancho de banda de coherencia indica una medida de cuán dispersa temporalmente es la propagación en el medio. En términos simples, se puede resumir que la variación temporal se debe a la movilidad de los dispersores que provocan los multirrayectos, y la dispersión temporal se debe a las distancias relativas a que se encuentran los dispersores, un determinado conjunto de dispersores puede tener alta o baja movilidad y alta o baja dispersión espacial (que se traduce en dispersión temporal por la propagación de las ondas electromagnéticas).

En general el canal inalámbrico multirrayecto siempre es variante y dispersivo, pero su efecto tiene mayor o menor impacto en la transmisión según la relación del tiempo de coherencia (relacionado con el corrimiento doppler) y ancho de banda de coherencia

(dispersión temporal) con la tasa de cambio de la señal transmitida, es decir con el ancho de banda de transmisión. Si el tiempo de coherencia del canal es menor/mayor que el período de señalización se dice en general que el canal es rápido/lento, y si el ancho de banda de coherencia del canal es menor/mayor que el ancho de banda de la señal se dice en general que el canal es selectivo/no-selectivo en frecuencia (no-plano/plano en frecuencia).

En caso de ser el canal rápido y/o selectivo, la señal transmitida sufre una distorsión que puede deteriorar drásticamente la calidad de la información recibida, si el canal no introduce distorsión severa su característica variante puede producir desvanecimientos profundos que en promedio degradan la calidad de servicio.

Para mitigar la distorsión y de gradación de la señal recibida se utilizan diversas técnicas que atacan primero la distorsión y luego el desvanecimiento, lo primero se puede combatir por ejemplo con ecualización, espectro ensanchado, OFDM, transmisión de señal piloto, modulaciones robustas, codificación y entrelazado, etc., y lo segundo por ejemplo con codificación de canal, diversidad (espacial, frecuencia, temporal, polarización, etc), codificación de canal, etc. Información detallada sobre la caracterización del canal y las técnicas de mitigación pueden encontrarse en [Fading Channels I Characterization.pdf](#) y [Fading Channels II Mitigation.pdf](#).

### **3. RESPUESTA EN FRECUENCIA Y TEMPORAL DEL CANAL**

La respuesta en frecuencia típica medida de un canal inalámbrico multitrayecto se muestra en la figura 1 (sólo en amplitud). A partir de la respuesta compleja en frecuencia se puede obtener, y en general para un sistema lineal variante en el tiempo, la característica temporal o respuesta a impulso del canal mediante la Transformada Inversa de Fourier. Sin embargo, debido a un ancho de banda finito de medición, lo que se obtiene es una estimación de la respuesta a impulso del canal,  $h(\tau, t)$ .

$$h(\tau, t) = \int_{f_c - \Delta f/2}^{f_c + \Delta f/2} H(f, t) e^{j2\pi f \tau} df$$

donde, siguiendo la notación de Bello,  $t$  corresponde al instante de tiempo en que se realizó la medición, y  $\tau$  es la variable de tiempo de la duración de la respuesta.

El perfil de retardo instantáneo  $P_h(\tau, t)$ , que representa la distribución de potencia de los distintos multitrayectos respecto al retardo de éstos, se obtiene según:

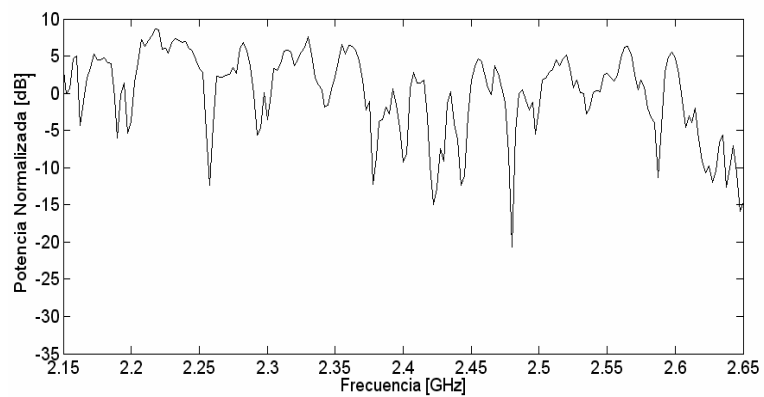
$$P_h(\tau, t) = |h(\tau, t)|^2$$

La figura 2 muestra ejemplos de perfil de retardo instantáneo medidos.

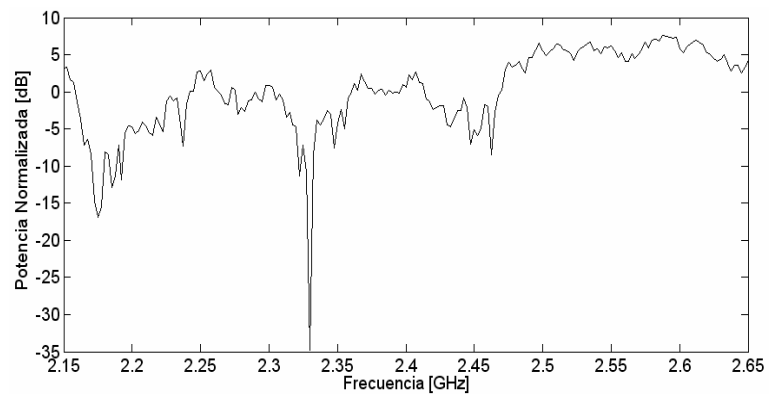
El perfil de retardo promedio  $P_h(\tau)$  es igual valor instantáneo si el canal es estático.

$$P_h(\tau) = E_t \left[ |h(\tau, t)|^2 \right]$$

Igualmente puede obtenerse para una representación promedio de un determinado entorno, una estimación del perfil de retardo promedio realizando un número representativo de mediciones estáticas en la vecindad de un punto asociado a un determinado entorno a evaluar, la figura 3 muestra ejemplos de medición de perfil de retardo promedio.



(a)



(b)

Figura 1: Respuesta en Frecuencia típica para escenarios medidos en condición NLOS (a) y LOS (b).

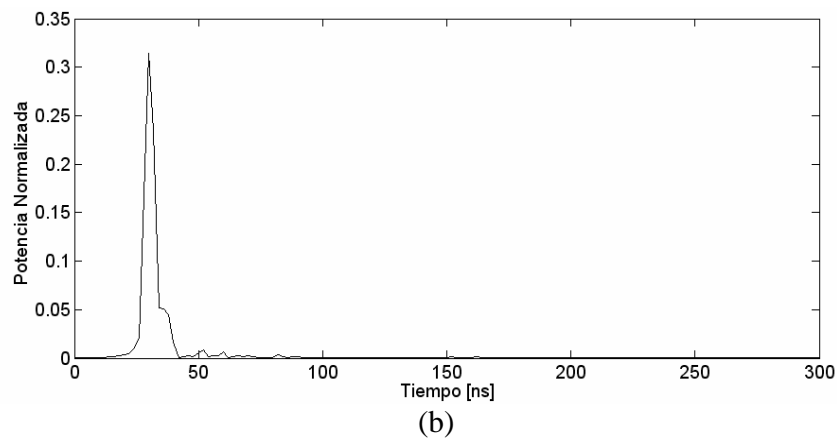
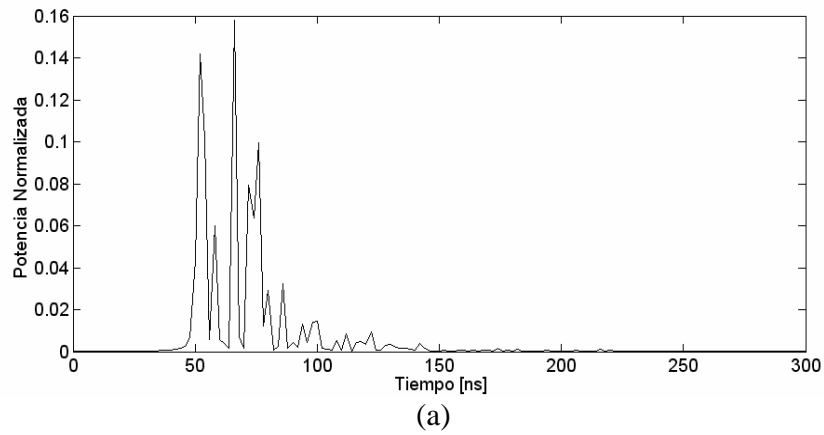


Figura 2: Perfil de retardo instantáneo obtenido mediante las Respuestas en Frecuencia anteriores. Caso (a) NLOS y (b) LOS.

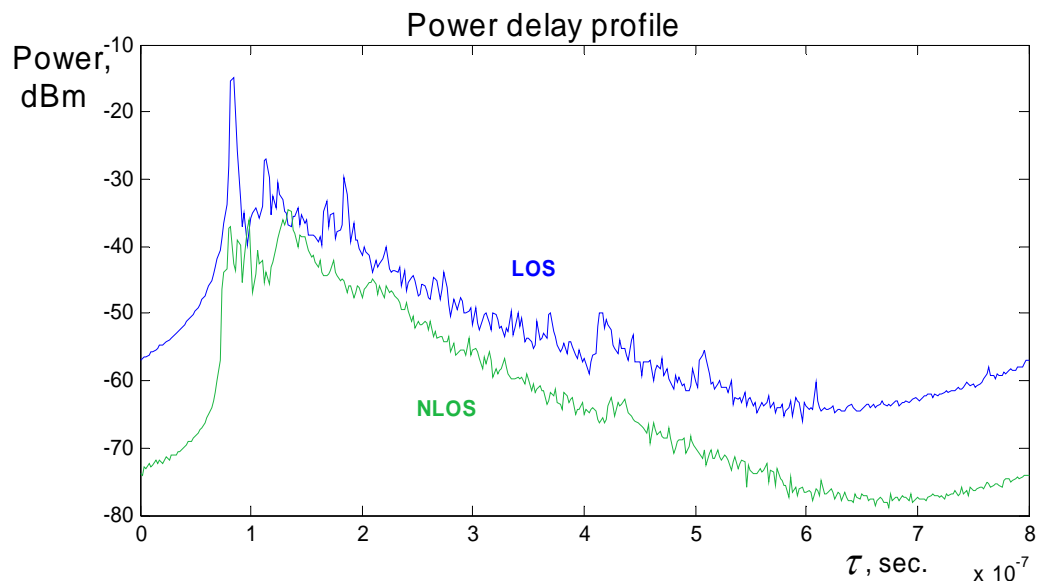


Figura 3: Perfil de retardo promedio obtenido mediante las Respuestas en Frecuencia anteriores. Caso (a) NLOS y (b) LOS.

A partir del Perfil de retardo promedio se obtiene el Retardo promedio ( $\tau_{mean}$ ) y *rms* ( $\tau_{rms}$ ), que son parámetros importantes que describen la dispersión temporal del canal, y que influye directamente en la interferencia intersimbólica (ISI), limitando la máxima tasa de transmisión de un sistema sin necesidad de ecualización u otra técnica de compensación de la dispersión temporal.

$$\tau_{mean} = \frac{\int_0^{\tau_{max}} \tau |P_h(t, \tau)|^2 d\tau}{\int_0^{\tau_{max}} |P_h(t, \tau)|^2 d\tau}$$

$$\tau_{rms}^2 = \frac{\int_0^{\tau_{max}} (\tau - \tau_{mean})^2 |P_h(t, \tau)|^2 d\tau}{\int_0^{\tau_{max}} |P_h(t, \tau)|^2 d\tau}$$

El Ancho de Banda de Coherencia ( $B_c$ ) se define como la separación en frecuencia a la cual el valor absoluto de la función de autocorrelación compleja (normalizada),  $R(\Delta f)$ , decae por primera vez bajo un cierto nivel. Se ha comprobado empíricamente y a través de modelos de simulación que  $B_c$  es inversamente proporcional a  $\tau_{rms}$ . Ejemplos de autocorrelación calculadas a partir de mediciones se muestran en la figura 4.

$$R(\Delta f) = E[H(f)^* H(f + \Delta f)]$$

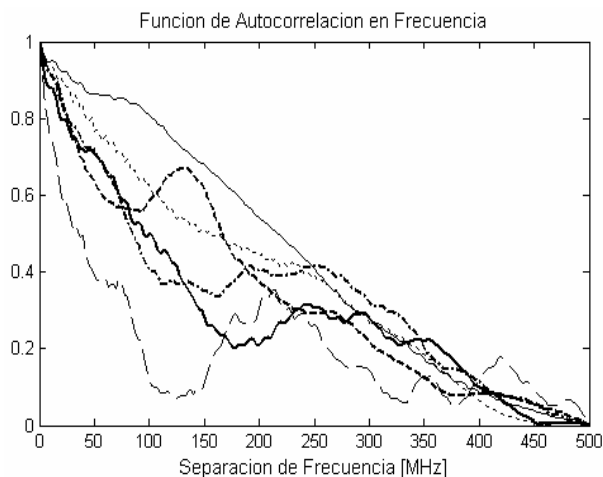


Figura 4: ejemplos de autocorrelación en Frecuencia para varias ubicaciones en condición LOS

#### **4. EQUIPO Y PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN**

El sistema de medición a utilizar en esta experiencia se muestra en la figura 5, el que básicamente consiste en un enlace Transmisor-Receptor dispuesto en el escenario a medir.

El analizador de redes vectorial (VNA, Rohde&Schwarz mod. ZVRE) es el instrumento central del sistema, el cual es controlado por un laptop mediante el estándar de manejo de instrumentos con computador, GPIB, o IEEE-488. Este instrumento realiza barridos en frecuencia dentro de un rango preestablecido, y transfiere los datos de respuesta compleja en frecuencia medidos al laptop por la interfaz GPIB.

Desde el punto de vista del sistema de transmisión, en la práctica las antenas forman parte del canal de comunicación ya que los equipos transmisor y receptor se conectan en los terminales de las antenas Tanto por sus propias respuestas en frecuencia, como por sus diagramas de radiación, los que ponderan de una determinada forma los rayos multitrayecto incidentes, las antenas a utilizar inciden en forma no despreciable en la respuesta medida del canal, para entender esto basta suponer un caso extremo de antena altamente directivas, en cuyo caso se recibirá señal predominante sólo desde la dirección de los rayos multitrayecto a que estén orientadas las antenas. Por lo anterior, lo más recomendable para hacer mediciones de canal sería utilizar antenas isotrópicas, pero por motivos prácticos es suficiente y representativo utilizar dipolos, es decir antenas omnidireccionales.

El uso de amplificadores es necesario puesto que el instrumento VNA tiene un rango dinámico de medición que no cubre señales débiles para distancias mayores, lo que significa que el uso del VNA por si solo no permitiría mediciones con relación señal a ruido aceptable.

Un aspecto muy importante en el procedimiento de medición con el VNA, es la calibración previa a la medición, la cual debe realizarse con los cables, e idealmente con los amplificadores conectados, de manera que los datos entregados por el instrumento estén compensados internamente con las respuestas de los elementos adicionales.

Originalmente el sistema de la figura cuenta con un brazo giratorio que automatiza las mediciones, cosa que es importante cuando se debe tomar una gran cantidad de datos. En el caso de esta experiencia, por limitaciones de tiempo las mediciones no serán muy extensas, siendo suficiente reubicar de la antena transmisora (o receptora) en forma manual, como también la adquisición de cada medición.

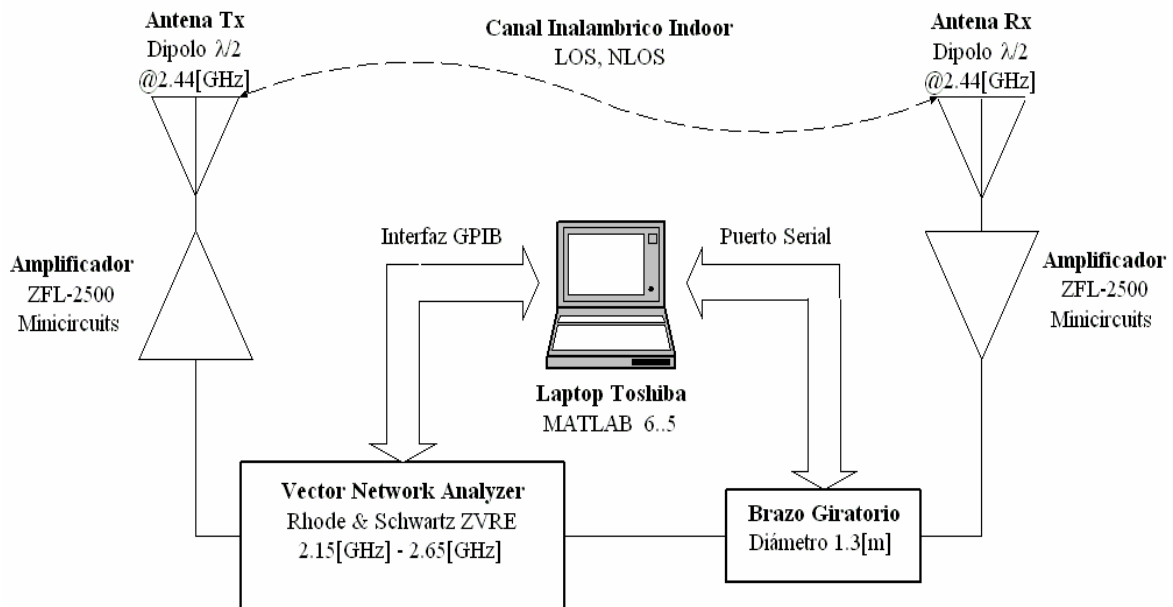


Figura 5: Sistema de medición de canal inalámbrico.

El procedimiento para realizar las mediciones, una vez definido el escenario (indoor), asegurarse de disponer de condiciones estáticas para que durante cada barrido en frecuencia el canal no cambie, calibrar el VNA, y coordinar las mediciones con el desplazamiento espacial de una de las dos antenas. El corrimiento espacial necesario en cada punto es de media longitud de onda, distancia suficiente para provocar medidas independientes. En todo caso la zona cubierta por la antena a desplazar no debe ser superior a algunas decenas de longitudes de onda, ya que de lo contrario las características del escenario pueden cambiar significativamente.

Los programas de manejo del VNA vía GPIB se ejecutan en Matlab (v. 6.5 o superior), ver anexos.

## 5. TRABAJO PREVIO (PRE-INFORME)

- 1.- Investigue y resuma la caracterización del canal inalámbrico multitrayecto y las técnicas de mitigación, con énfasis en distorsión por canal selectivo en frecuencia.
- 2.- Investigue y resuma las características del estándar GPIB, o IEEE-488, para el manejo de instrumentos controlados por computador.
- 3.- Describa el procedimiento de calibración que considere adecuado para realizar correctamente las mediciones.
- 4.- Estudie y resuma las características de los componentes adicionales al VNA del sistema de medición (dipolos amplificadores).

5.- Desarrolle los programas (en Matlab) necesarios para evaluar las características del canal a medir, y pruébelos e incluya ejemplos con el programa de simulación de canal incluido en el anexo. En el trabajo de laboratorio será necesario probar sus programas para verificar que el procedimiento de medición se esté realizando de acuerdo a lo esperado.

## **6. EXPERIENCIA DE LABORATORIO**

Defina los escenarios a medir, asegurando condición estática. Mida en escenario indoor con y sin línea de vista.

Realice el procedimiento de calibración del sistema de medición, realice algunas pruebas y pruebe los programas de calculo (BW de coherencia, dispersión temporal rms, etc)

Realice las mediciones de los escenarios elegidos, incluyendo no menos de 30 puntos en cada escenario. Incluya no menos de 2 escenarios.

## **7. INFORME DE LABORATORIO (INFORME FINAL)**

Presente detalladamente los procedimientos, mediciones y procesamiento de datos que caractericen los escenarios evaluados.

Haga contrastaciones entre lo indicado en la teoría y lo observado en la práctica, entro de lo posible.

Incluya comentarios, conclusiones y sugerencias para mejorar la experiencia.

## **REFERENCIAS**

Todas las referencias necesarias están incluidas en la siguiente referencia principal:

**Bettancourt, R.; Carrasco H.; Feick R.**

"Medición de Ancho de Banda de Coherencia y Dispersión Temporal en la Banda de 2.4 GHz en Ambientes Interiores",

*XI Congreso Internacional de Telecomunicaciones y Muestra de Tecnologías UACH, Valdivia, Chile, 24 al 27 de Noviembre 2004.*

Sobre equipos y componentes, se encuentran en Internet, ejemplo <http://www.rohdeschwarz.com/>, <http://www.minicircuits.com/>, <http://www.transera.com/htbasic/tutgpib.html> (GPIB), etc.



## ANEXOS

### **A1.- Programa de simulación de canal para generar respuesta en frecuencia**

```
function [f,H]=SimBWcohe(dec)
% dec: decaimiento del perfilde retardo exponencial
% H: respuesta compleja del canal
Nd=30;% N° de dispersores
N=401;FrqIni=2e9;FrqFin=3e9;% barrido en frec
df=(FrqFin-FrqIni)/(N-1);% delta frec
f=FrqIni:df:FrqFin;% rango de frecuencia de portadora
t=(1:N)/df/(N-1);
rmin=30;rmax=75;% rango de distancias de recorrido de los multitrayectos
xn=sort(rand(Nd,1));
x=-(rmax-rmin)*xn;% Nd distancias
mag=exp(j*2*pi*rand(Nd,1));
cm=exp(j*2*pi*x*f/3e8).*(mag.*exp(dec*x)*ones(1,length(f)));% matriz de fasores vs.
frecuencia
H=sum(cm);H=H/sqrt(mean(abs(H.^2)));% suma multitrayectos y rayo directo,
normalizado a potencia media=1
HdB=20*log10(abs(H));
subplot(2,1,1),plot(f,HdB,'b-');axis([min(f) max(f) -40 30]),
h=ifft(H);hdB=20*log10(abs(h));
subplot(2,1,2),plot(t,hdB,'r-');axis([0 2e-7 -60 0]),
% ejemplo de uso
% clear,for i=1:100 [f,H]=SimBWcohe(.1); HH(i,:)=H;pause,end
%for i=1:100 hh(i,:)=ifft(HH(i,:));end
%plot(20*log10(mean(abs(hh))))
```

### **A2.- Programa de inicialización para las mediciones con GBIB**

```
% Esto solo una vez y antes de todo,
% es para inicializar la puerta GPIB y la
% puerta paralela (%) para controlar el motor paso a paso.
```

```

g=gplib('ni',0,20);
fopen(g);
%dio=digitalio('parallel',1);
%addline(dio,0:3,'out');
%ules=1;

```

### **A3.- Programa de seteo de parámetro de medición con GBIB**

```

% Esto se ejecuta cada vez que se definan los parametros del barrido.
FrqIni= 2E9; % freq. de inicio barrido. Calibrar VNA de acuerdo al barrido
FrqFin= 3E9; % freq. de fin de barrido
N=1601; % N° de muestras en el barrido
frecini=['SENS:FREQ:STAR ' num2str(FrqIni)];
fprintf(g,frecini);
frecfin=['SENS:FREQ:STOP ' num2str(FrqFin)];
fprintf(g,frecfin);
ene=['SWE:POIN ' num2str(N)];
fprintf(g,ene);
bloques=ceil(2*18*N/512),% datos: 2*18*N/512
warning off instrument:fscanf:unsuccessfulRead
df=(FrqFin-FrqIni)/(N-1);
f=FrqIni+(0:N-1)*df;
t=(1:N)/df/(N-1);

```

### **A3.- Programa para transferencia de datos del VNA al laptop con GBIB**

```

fprintf(g,'TRAC:RESP? CH1DATA');
x=fscanf(g);
for i=2:bloques x=[x fscanf(g)];end,
y=str2num(x);
d=length(y);
S12=y(1:2:d-1)+j*y(2:2:d);

```

### **A3.- Programa principal de medición con GBIB**

```
% Para transferir los datos medidos desde el VNA
mediciones=100;
clear S,clear S12,clear x,clear y,
for k=1:mediciones
    pause(.1); % cambiar a pause para ingresar mediciones en for manual
    vna,
    S(k,:)=S12;
    subplot(2,1,1),plot(f,20*log10(abs(S12)), 'b.-'),axis([FrqIni FrqFin -80 -30]),
    subplot(2,1,2),plot(t,20*log10(abs(iff(S12))), 'r.-');axis([0 1e-7 -100 -30]),
end,
% Para guardar medicion
% Medxxx=S;save Medxxx
```