

Universidad Autónoma de Baja California

U.A.B.C



Facultad de Ingeniería



“Desarrollo de un programa computacional para la medición automatizada de transistores de microondas”

TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

PRESENTA:

LUIS ALFONSO PEREZ PEREZ

Ensenada, B. Cfa.

Agosto del 2002

DESARROLLO DE UN PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA LA MEDICIÓN AUTOMATIZADA DE TRANSISTORES DE MICROONDAS

ÍNDICE

PÁGINA

I INTRODUCCIÓN	7
I.1 Antecedentes	8
I.2 Objetivo	11
I.3 Organización del trabajo	11
II MÉTODOS Y EQUIPOS PARA LA MEDICION DE TRANSISTORES	13
II.1 Introducción	13
II.2 Fundamentos de transistores de microondas	13
II.3 Caracterización estática	15
II.3.1 Curvas I-V	15
II.3.2 Parámetros estáticos (I_{dss} , g_m , V_t , G_{ds})	17
II.4 Caracterización dinámica	22
II.4.1 Parámetros "S"	22
II.4.2 Medición de parámetros "S"	27
II.4.3 Analizador de redes	28
II.4.4 Calibración del analizador de redes	29
II.5 Medición de factor de ruido	30
II.5.1 Parámetros de ruido	30
II.5.2 Principio de medición	31
II.5.3 Parámetros a Caracterizar	33
II.5.4 Calibración del medidor de ruido	34
II.5.5 Configuración y descripción del banco de pruebas	35
III DISEÑO DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL	41
III.1 Introducción	41
III.2 Control de los equipos y adquisición de datos	42
III.2.1 Ducto HP-IB (GPIB)	42
III.2.2 El ducto y su conector	45
III.2.3 Dispositivos GPIB	45
III.2.4 Datos GPIB	46
III.2.5 Líneas GPIB	47
III.2.6 Líneas de datos	48
III.2.7 Líneas para manejo de interfase	48
III.2.8 Fuentes de voltaje	49
III.2.9 Voltímetros y amperímetros	51
III.2.10 Analizador de redes	51
III.2.11 Medidor de ruido	53
III.3 Diseño del Programa	54
III.3.1 Introducción	54
III.3.2 Como trabaja un lenguaje Interfase GP-IB	55

III.3.3 Lenguaje utilizado para el Desarrollo del software	56
III.3.4 Componentes del Toolbox	58
III.3.5 Funciones . M	60
III.3.6 Adaptador de manejador de interfase	61
III.3.7 Creación de un Objeto Instrumento	62
III .4 Descripción del Programa	65
III.4.1 Introducción	65
III.4.2 Programa Principal	67
III.4.3 Programa para medición de figura de ruido	69
III.4.4 Programa para la medición de parámetros estáticos	70
III.4.5 Programa para la medición de parámetros dinámicos	72
IV RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL PROGRAMA	76
IV.1 Introducción	76
IV.2 Medición de un amplificador	76
IV.3 Medición de un transistor	79
V CONCLUSIONES	87
REFERENCIAS	88
APENDICE 1	90
Resumen de comandos utilizados en el programa	
APENDICE 2	94
Equipos y metodos	

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Estructura del transistor GaAs MESFET	14
2 Esquema de polarización del transistor	15
3 Puntos óptimos de polarización para diferentes aplicaciones.	16
4 Ganancia de potencia disponible Vs corriente de salida normalizada Figura.	17
5 Corriente de compuerta de polarización directa Vs voltaje de compuerta	18
6 Corriente de drenaje Vs voltaje de compuerta con corriente de compuerta constante	19
7 Características de transferencia a diferentes voltajes fijos constantes de V_{GS}	21
8 Corriente de drenaje Vs voltaje de compuerta con corriente de compuerta constante en polarización directa	22
9 Representación de ondas incidentes y reflejadas	24
10 Impedancia a la entrada del dispositivo	31
11 Ruido agregado	32
12 Esquema de Medición de Factor de Ruido de Dispositivos	34
13 Esquema para calibración y medición de RF.	35
14 Diagrama a bloques del Banco de Mediciones Automatizado	36
15 Banco de medición de figura de ruido	37
16 Banco de medición de parámetros estáticos	38
17 Banco de medición de parámetros dinámicos	39
18 Máquina de puntas	40
19 Tarjeta GP-IB PCI y su cable conector.	42
20 Esquema de terminales para conector GPIB.	47

21	Descripción de como funciona el tool box	59
22	Diagrama a bloques del control manual de un instrumento	66
23	Pantalla del programa Principal	68
24	Menú para selección de programa de Medición de Ruido	68
25	Programa de medición de Figura de Ruido	70
26	Menú para selección de programa de Medición de Parámetros Estáticos.	70
27	Programa de Medición de Parámetros Estáticos.	72
28	Menú para la selección de Medición de Parámetros Dinámicos.	72
29	Programa de Medición de Parámetros Dinámicos.	73
30	Menú para la lectura de datos.	74
31	Ventana para selección de Archivo para leer.	74
32	Menú para graficar.	75
33	Ventana Para Guardar Archivos.	75
34	Gráfica de Ganancia y Figura de Ruido.	77
35	Transistor colocado en la maquina de puntas(vista de microscopio)	80
36	Gráfica de Ids vs Vds.	81
37	Gráfica de Magnitud de los cuatro Parámetros [S].	82
38	Gráfica de la fase de los Parámetros [S].	83
39	Parámetros S11 y S22 en Carta de Smith	84
40	Gráfica Polar de S12 y S21 .	85

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1 Asignación de terminales y señales del conector GPIB.	48
2 Descripción de las líneas de manejo del ducto GPIB	49
3 Comandos utilizados de la fuente PS 5004	49
4 Comandos utilizados de la fuente PS 5010	50
5 Comandos utilizados para el multímetro DM 5120	51
6 Comandos utilizados para el Analizador de Redes HP 8510C	52
7 Comandos utilizados para el Medidor de Ruido HP8970A	54
8 Lenguajes de interfase .	55
9 Adaptadores del tool box.	61
10 Datos Medidos Con el Programa de Figura de Ruido.	79
11 Datos leídos en formato S2P.	86

I. INTRODUCCION

Los sistemas receptores y transmisores empleados en los sistemas de comunicaciones están formados por diversos tipos de componentes: amplificadores, mezcladores, osciladores y filtros entre otros. Los amplificadores y osciladores utilizan como dispositivos activos transistores con una movilidad electrónica elevada y pueden ser de los tipos: GaAsMESFET, HEMT's y P-HEMT's. Para el diseño de componentes amplificadores y osciladores se necesita caracterizar los transistores con el propósito de obtener los diversos tipos de parámetros que describen al dispositivo.

Para la caracterización de dispositivos que operan a frecuencias de microondas y ondas milimétricas se requiere implementar bancos de medición especializados, los cuales mediante un método apropiado permiten medir transistores de alta frecuencia colocados sobre bases de prueba. Para determinar el comportamiento de los dispositivos de microondas se requiere efectuar varios tipos de mediciones. Para aplicaciones de señal pequeña solo se requieren tres tipos de parámetros: estáticos (DC), dinámicos o de radiofrecuencia (parámetros "S") y los parámetros de ruido.

Los parámetros estáticos o de DC se pueden medir configurando un banco de medición formado por 2 fuentes de voltaje, dos voltímetros y dos amperímetros, que permiten obtener las características voltaje - corriente del dispositivo, la corriente de saturación I_{dss} , su transconductancia g_m , la conductancia de salida G_s , etc.

Los parámetros dinámicos o de radiofrecuencia (RF) se obtienen generalmente empleando un analizador de redes vectorial. Con este tipo de equipo se mide una matriz de parámetros "S" para cada frecuencia, para cada condición de alimentación y para cada temperatura. En este tipo de medición se requiere calibrar previamente el analizador de

redes utilizando una técnica conocida (LRM), colocar el dispositivo a medir en una base de pruebas, aplicar los voltajes y corrientes de alimentación, efectuar la corrección de errores y capturar los datos medidos.

Obtener los parámetros de ruido de transistores de alta frecuencia no es trivial. Para ello se requiere configurar un banco de medición constituido por un generador de ruido, un medidor de ruido, un receptor y un sintonizador de microondas principalmente. Existen diferentes métodos para extraer los parámetros de ruido disponibles en la literatura. En el proceso de extracción de los parámetros de ruido de un transistor se requiere medir su comportamiento de ruido correspondiente a un conjunto de impedancias presentadas a su entrada. Estas impedancias se miden empleando un analizador de redes y efectuando una corrección para el plano de referencia. Por lo tanto, en este trabajo se presenta un ejemplo de medición del factor de ruido y ganancia de un amplificador, el cual se puede determinar de diferentes maneras las cuales se explican a detalle.

En este trabajo se contempla configurar un banco de medición y desarrollar el software que permita obtener los diferentes tipos de parámetros de manera automatizada. El software deberá controlar los diferentes equipos, capturar datos de la medición, efectuar las correcciones y graficar los resultados.

1.1 ANTECEDENTES

Investigaciones tendientes a resolver problemas y mejorar los métodos de caracterización de dispositivos a frecuencias de microondas y ondas milimétricas, se han llevado a cabo en diversas instituciones tanto públicas como privadas.

Debido a que los parámetros estáticos o de DC se pueden medir configurando un banco de medición formado por 2 fuentes de voltaje, dos voltímetros y dos amperímetros, se requiere que estos equipos sean capaces de ser controlados ya sea empleando una interface RS-232 o una IEEE-488 (HP-IB). Con estos equipos es posible obtener de manera automatizada las características voltaje - corriente (Curvas I-V) del dispositivo, la corriente de saturación I_{dss} , su transconductancia g_m , la conductancia de salida G_s , etc.

En las mediciones de RF se obtienen los parámetros de dispersión "S", para lo cual se requiere calibrar el analizador de redes utilizando una técnica conocida: SOLT[1], TRL[2] o LRM[3]. Se necesita controlar el sintetizador de frecuencia para establecer los estímulos (f_{min} , f_{max} , número de puntos, potencias, atenuaciones, etc.) y el equipo de prueba (TEST SET) para adquirir los datos resultantes de las mediciones. En el CICESE se tiene disponible un equipo analizador de redes HP8510C que opera hasta 50 GHz y que cuenta con interface del tipo HP-IB para su control.

Existen diferentes métodos para extraer los parámetros de ruido disponibles en la literatura [4], [5], [6]. En el proceso de extracción de los parámetros de ruido de un transistor se requiere de un arreglo experimental adecuado que permita medir indirectamente la figura de ruido del dispositivo en función de un conjunto de impedancias presentadas a la entrada del dispositivo llamada constelación [7].

La confiabilidad de los parámetros de ruido extraídos de esta manera depende varios factores, tales como:

1. Emplear un criterio adecuado para seleccionar los coeficientes de reflexión presentados en el plano de entrada del dispositivo.

2. Utilizar un método adecuado de medición del coeficiente de reflexión de fuente.
3. Considerar los desacoplamientos entre los diversos dispositivos [8].
4. Extraer adecuadamente la figura de ruido del Dispositivo Bajo Prueba (DBP), de las mediciones obtenidas con el medidor de figura de ruido.

Para establecer la constelación de impedancias que se presentarán a los transistores se tienen varios criterios entre los que se pueden mencionar: Un primer criterio es cuidar la estabilidad de entrada del transistor para evitar alguna oscilación del dispositivo que traería en consecuencia un nivel de potencia que podría dañar a algún elemento del receptor. El segundo criterio está relacionado con los métodos de extracción de los parámetros de ruido (Lane), que debido a su formulación presentan singularidades para algunos grupos de impedancias de entrada. Un tercer criterio es la distribución de impedancias sobre la carta de Smith colocando varias cercanas a la región de ruido mínimo y otras cercanas a la impedancia de 50 ohmios, pero no muy lejanas de la región del ruido mínimo.

Para la medición de ruido de los transistores, comúnmente se emplea la técnica de medición del Factor "Y" en la cual se realiza la medición a dos temperaturas (frío/caliente), conmutando la fuente de ruido en dos estados: Encendido (T_h) y apagado (T_c).

El medidor de ruido HP8970A funciona bajo esta técnica y cuenta también con una interfaz HP-IB. Para controlar los diferentes equipos del banco de medición y llevar a cabo la adquisición de datos, se dispone de una tarjeta (National Instruments) instalada en

una computadora personal, que junto con un programa adecuado (el cual se desarrolla en este trabajo de tesis) deberá ser capaz de automatizar el proceso de medición de dispositivos de microondas.

I.2 OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es el de configurar un banco para la medición automatizada de transistores y componentes de microondas y desarrollar el software que permita obtener los diferentes tipos de parámetros (DC, “S” y de ruido). El software deberá ser capaz de controlar los diferentes equipos que constituyen el banco de medición, capturar datos, efectuar las correcciones y cálculos y graficar los resultados.

I.3 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

En el capítulo II se presentan los fundamentos y la teoría necesaria para entender la manera en que puede efectuarse la caracterización de transistores y amplificadores que operan a frecuencias de microondas. Se describe un transistor de microondas y cuáles son los parámetros que se miden para determinar el punto de operación óptimo, ya sea para operar como amplificador u oscilador, también se presenta la configuración y descripción del banco de pruebas. En el capítulo III se da una introducción al control de equipos de medición y adquisición de datos. Se presentan las características del ducto HP-IB (GPIB), y del equipo empleado en la configuración del banco de mediciones. También se describe el diseño del programa y la forma de programar los equipos de medición utilizando el lenguaje MATLAB. En el capítulo IV se presentan los resultados de la aplicación del

programa realizado, medición de un transistor y medición de un amplificador. En el capítulo V se presentan las conclusiones, aportaciones y recomendaciones.

II MÉTODOS Y EQUIPOS PARA LA MEDICION DE TRANSISTORES.

II.1 Introducción

Para el diseño de un amplificador u oscilador es necesario conocer el comportamiento del dispositivo que se va a emplear, en este caso un transistor, para dicho elemento se realizan una serie de mediciones las cuales nos dan información del punto optimo de operación, ya sea en la región lineal para operar como amplificador, o en la región no lineal para operar como oscilador. Los métodos utilizados para obtener dichas mediciones se conocen como: caracterización estática, caracterización dinámica y medición del factor de ruido. Los datos obtenidos se utilizan en primer lugar para determinar el punto de operación más adecuado de acuerdo a la aplicación (bajo ruido, máxima ganancia o potencia lineal), y para conocer la linealidad y potencialidad de amplificación o de oscilación del transistor.

II.2 Fundamentos de transistores de microondas.

Transistor MESFET

Transistor de efecto de campo metal-semiconductor.

Este dispositivo esta constituido por 2 contactos ohmicos (fuente y drenador) y uno rectificante(barrera shottcky compuerta) realizados sobre una capa activa de un semiconductor, la región activa esta hecha de un canal tipo n de GaAs, Figura (1).

Estructura del GaAs MESFET

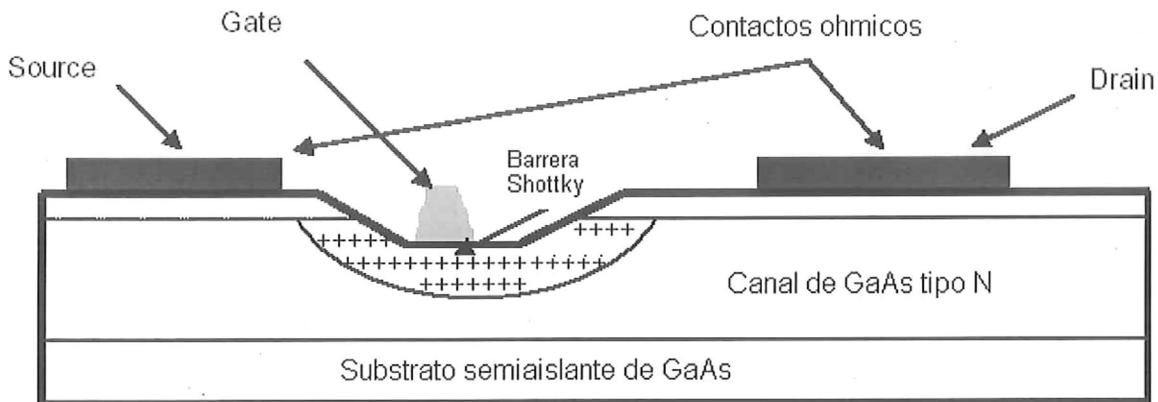


Figura 1. Estructura del transistor GaAs MESFET

El mesfet se basa en el control de la resistencia que presenta un material semiconductor al paso de la corriente por medio de un campo eléctrico perpendicular a la dirección de la corriente (la corriente pasa de fuente a drenador).

Polarizamos al transistor colocándole un voltaje positivo al drenador con respecto a la fuente, y polarizamos la compuerta con un voltaje más negativo con respecto a la fuente, el campo eléctrico se expande por lo que impide el paso de la corriente, conforme la compuerta se va polarizando con voltajes más positivos el campo se hace más pequeño permitiendo así el paso de la corriente entre más positivo sea el voltaje de la compuerta con respecto a la fuente circulara mas corriente en el mesfet entre mas grande sea el voltaje de drenador mas rápido se llega a la saturación, Figura (2).

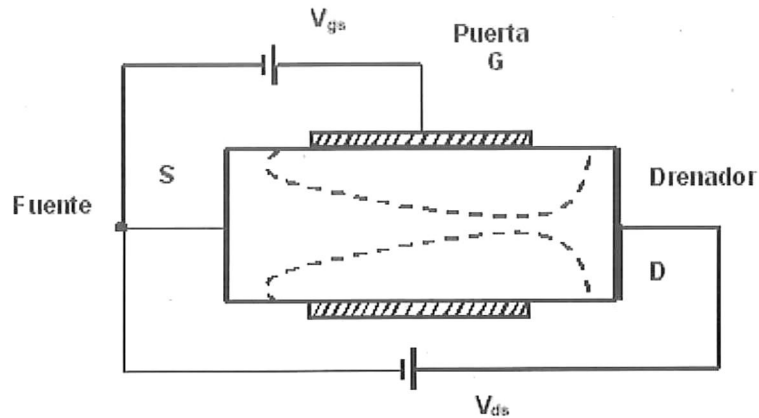


Figura 2. Esquema de polarización del transistor

II.3 Caracterización Estática

II.3.1 Curvas I-V

Para la obtención de las curvas I-V se utiliza un banco de mediciones formado por tres fuentes de voltaje para la polarización, un voltímetro y un amperímetro para la medición de voltaje y corriente respectivamente.

Como este dispositivo invariablemente es usado en configuración de fuente común para aplicaciones de amplificadores (para alta ganancia y mejor estabilidad de amplificación). Los puntos de polarización de corriente y voltaje seleccionados para diferentes aplicaciones se muestran en la figura 3.

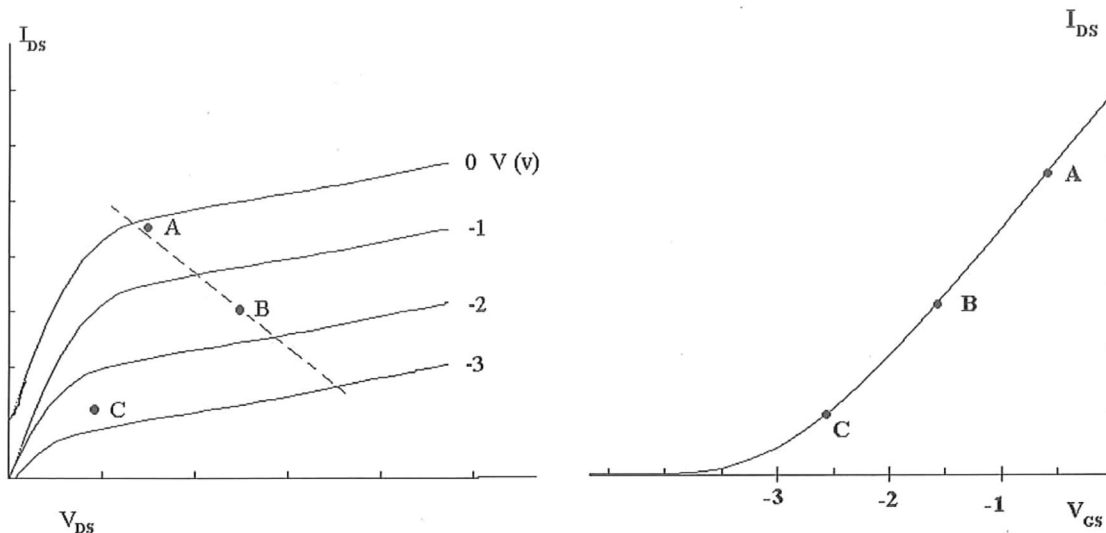


Figura 3. Puntos óptimos de polarización para diferentes aplicaciones.

Esencialmente, la máxima ganancia en condiciones de pequeña señal se obtiene en el punto A en donde la corriente de drenador, I_{ds} , es grande (figura 4) y V_{ds} es mantenida entre 3 y 4 volts para evitar problemas térmicos. La negociación entre la mínima figura de ruido y una ganancia aceptable se obtiene en el punto C para un valor aproximado de $I_{dss}/8$. Finalmente, la mejor linealidad con alta potencia de operación se obtiene en el punto B por la polarización del dispositivo a $I_{dss}/2$ y $V_{dsmax}/2$ es la máxima excursión a lo largo del eje drenador-fuente compatible con una segura operación lineal.

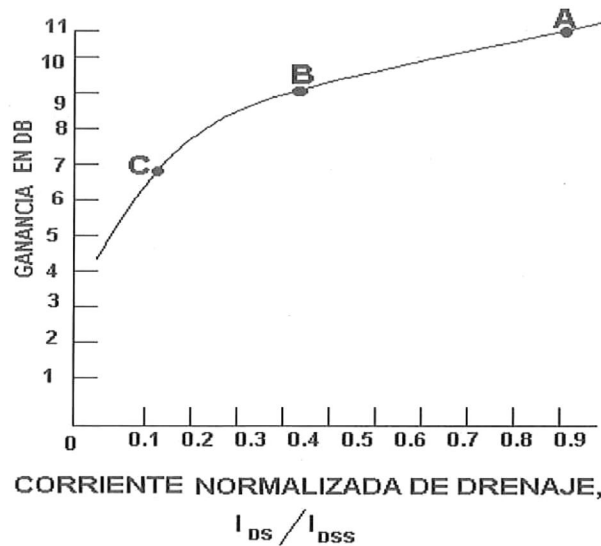


Figura 4. Ganancia de potencia disponible Vs corriente de salida normalizada.

II.3.2 Parámetros estáticos (I_{DSS} , G_m , V_t , G_{ds})

I_{DSS} - Es la corriente de saturación para V_{gs} igual a cero.

G_m -Es la derivada de I_{ds} con respecto a V_{gs} y representa la transconductancia del canal.

G_{ds} -Es la derivada de I_{ds} con respecto a V_{ds} y representa la conductancia del canal.

V_t -Es el voltaje de umbral del transistor.

El conocimiento de estos parámetros es de mucha importancia por que pueden proporcionarnos el voltaje de baja frecuencia o la ganancia de corriente. Haciendo la consideración de que la frecuencia de operación es lo suficientemente baja para que cualquier efecto reactivo sea despreciable. Como consecuencia, no hay corriente ac fluyendo a lo largo de la región de transición de la compuerta y, por tanto, la condición

continuidad de corriente ac a través del canal se detiene. De aquí en adelante la transconductancia esta dada por:

$$g_{m0} = \left(\frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} \right) \quad (1)$$

La mayoría de las características estáticas pueden ser obtenidas con el trazo de curvas estándar. Como ejemplo de la característica I_{DS}/V_{DS} , se aproximan valores para g_m ($g_m \sim g_{m0}/(1+g_{m0} R_S)$) [1] y g_d ($g_d \sim g_{d0}/(1+g_{d0} R_S)$) de donde podemos deducir [13]

$$\begin{aligned} g_m &= \Delta I_{DS} / \Delta V_{VGS} \text{ _dado_ un_ } V_{DS} \\ g_d &= \Delta I_{DS} / \Delta V_{DS} \text{ _dado_ un_ } V_{GS} \end{aligned} \quad (2)$$

La técnica de caracterización estática nos da valores estáticos para g_m y $r_d = 1/g_d$ los cuales son mucho mayor que los valores de RF [13].

La información de las resistencias en serie en el drenador, compuerta y fuente [13] se puede obtener como se muestra en la figura 5 Y figura 6 de I_G/V_{GS} (drenador abierto), I_G/V_{GD} (fuente abierta), y I_{DS}/V_{GS} (I_G constante) para una I_G (10mA).

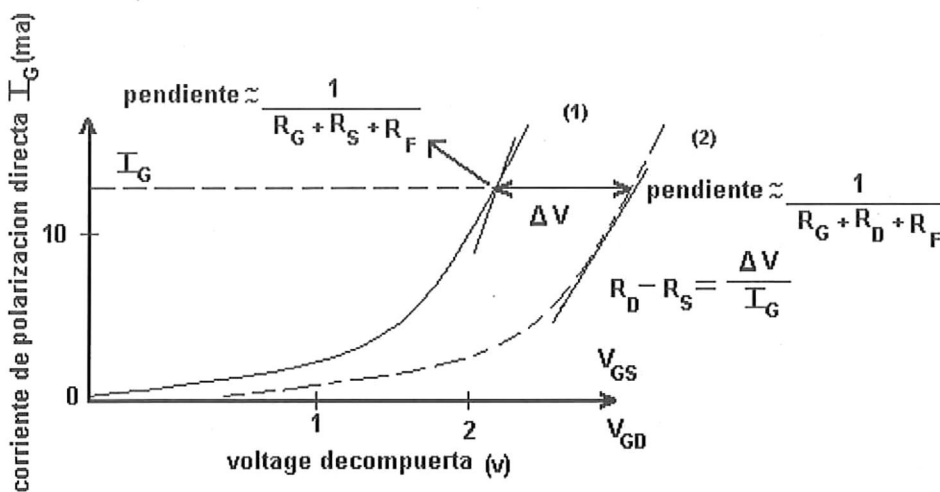


Figura 5. Corriente de compuerta de polarización directa Vs voltaje de compuerta

- (1) drenador en circuito abierto, fuente a tierra
- (2) fuente en circuito abierto, drenador a tierra

R_f es una aproximación de la resistencia del canal distribuida bajo polarización directa de compuerta

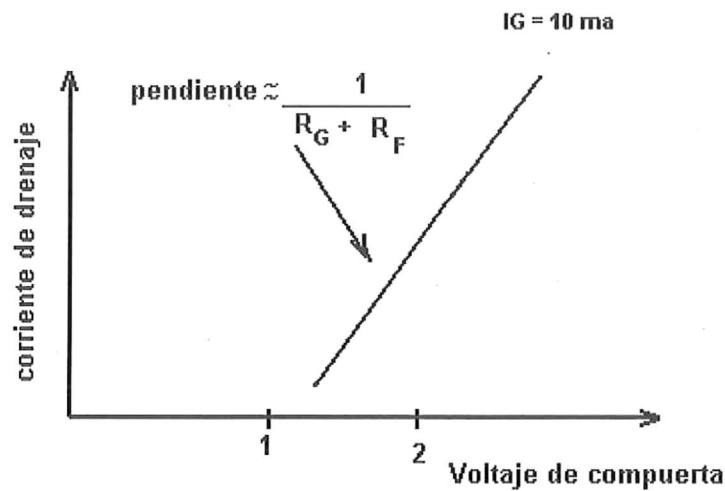


Figura 6. Corriente de drenaje Vs voltaje de compuerta con corriente de compuerta constante

Otra caracterización requiere de una medición punto-a-punto de dc de la corriente de drenador I_{DS} contra V_{GS} para un V_{DS} bajo. Por tanto, si $V_{DS} < V_{bi}$ de la expresión (23.0)[13] con $L_1 = L$ de primer orden obtenemos:

$$I_{DS} = G_o \left\{ V_{DS} - (R_S + R_D) I_{DS} \right\} \left\{ 1 - \left[\frac{V_{bi} - V_{GS}}{V_p} \right]^{1/2} \right\} \quad (3)$$

en donde

$$G_o = q N_D Z_a \mu_o / L \quad (4)$$

Representa la conductancia de bajo campo de canal abierto.

Ahora después de alguno arreglos:

$$V_{DS}/I_{DS} = \{1/G_o\} \left\{ \left[\frac{(V_{bi} - V_{GS})}{V_p} \right] \right\}^{1/2} + R_S + R_D \quad (5)$$

Si V_{GS} esta cerca del umbral ($V_{GS} \sim V_T$), entonces un extenso desarrollo de las cantidades bajo la raíz cuadrada nos da:

$$I_{DS} = (V_{DS} G_o / 2) \left[(V_{GS} - V_T) / V_p \right] \quad (6)$$

Por lo tanto la gráfica de I_{DS} versus V_{GS} (baja polarización de drenaje) cerca del pinch-off es una línea recta acorde con la ecuación(2-71)[13]: el punto de intersección con el eje x provee el voltaje de umbral V_T , figura 7.

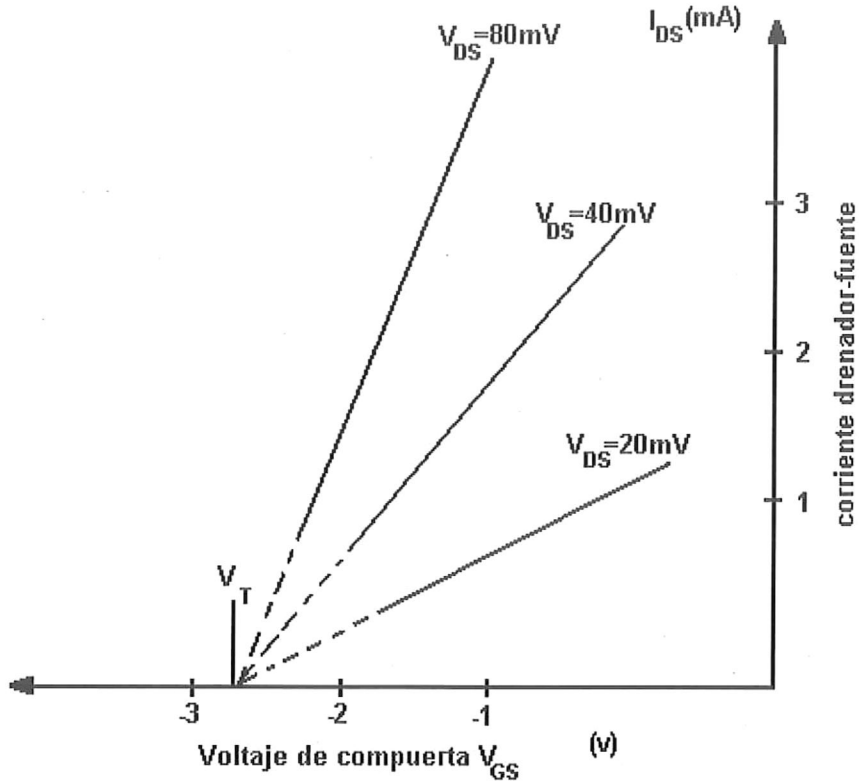


Figura 7. Características de transferencia a diferentes voltajes fijos constantes de V_{GS}

Mas aun, la gráfica de V_{DS}/I_{DS} contra $1/[1 - ((V_{bi} - V_{GS})/V_p)^{1/2}]$ es una línea recta figura 8. La pendiente nos proporciona $1/G_0$ y el punto de intersección con el eje x nos da $R_S + R_D$. Combinando esto con los resultados de la figura 7, R_S y R_D son totalmente determinadas.

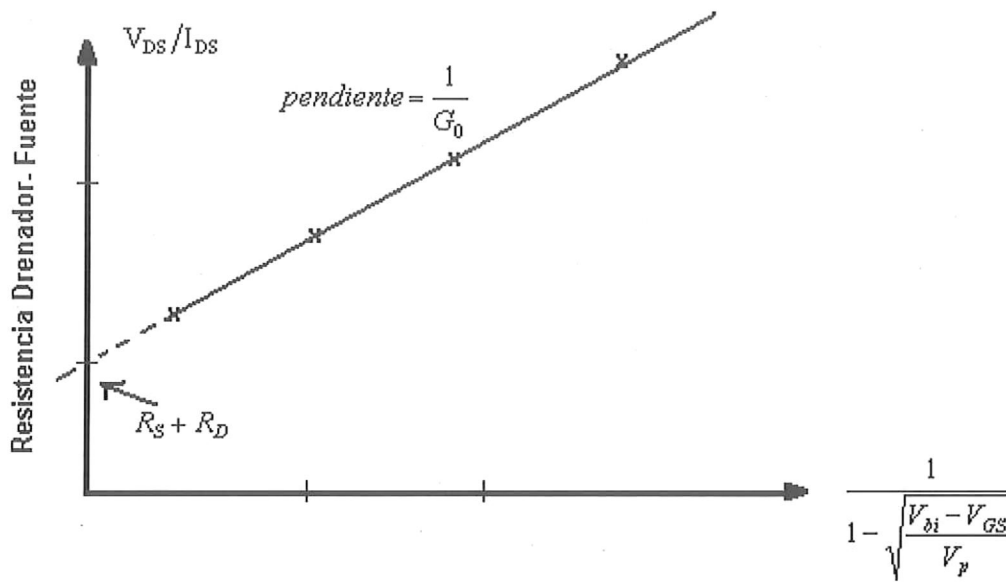


Figura 8. Corriente de drenaje Vs voltaje de compuerta con corriente de compuerta constante en polarización directa

II.4 Caracterización dinámica

II.4.1 Parámetros “S”

Para la caracterización dinámica se miden los parámetros del transistor en función de la frecuencia. Los parámetros de pequeña señal en régimen lineal son [S], Ruido. Los parámetros de gran señal en régimen no lineal son de potencia y [S].

Los parámetros “S” describen a los puertos de entrada y salida de una caja negra, de manera similar a los grupos de parámetros [Z], [Y], [ABCD] etc. . Sin embargo, la diferencia mayor se debe a que los parámetros [S] se expresan desde el punto de vista de ondas incidentes y reflejadas en vez de voltajes y corrientes. Estos parámetros se miden bajo cargas resistivas conectadas en sus puertos, en vez de condiciones de cortocircuito y

circuito abierto. Para los parámetros $[Z]$, $[Y]$, $[ABCD]$, $[H]$, nos valemos de: Voltajes y corrientes, Condiciones de corto y abierto, Baja frecuencia. Para la obtención de los parámetros S de: ondas incidentes y reflejadas, Cargas resistivas y de Altas frecuencias.

No es posible medir los parámetros $[Z]$, $[Y]$, $[ABCD]$ y $[H]$ a frecuencias de microondas debido a: Que no existe equipo capaz de medir los voltajes y corrientes totales a frecuencias de microondas y ondas milimétricas. La dificultad de realización de estándares de cortocircuito y circuito abierto en anchos de banda grandes. Al medir transistores bajo condiciones de cortocircuito o circuito abierto se vuelven inestables, llegando a oscilar. Esto se debe a que con esas condiciones, la magnitud del coeficiente de reflexión es la unidad. Para evitar las inestabilidades, se miden con los puertos cargados con impedancia igual a la impedancia característica Z_0 . Los parámetros $[ABCD]$ están limitados al análisis de redes de dos puertos.

Las ondas viajeras (Traveling waves)[5], se pueden definir desde el punto de vista de voltajes y corrientes incidentes y reflejados en los puertos de la red y se denominan como a para las incidentes y b para las reflejadas. Estas ondas se pueden expresar como sigue:

$$a = \frac{V_i}{\sqrt{Z_0}} = \sqrt{Z_0} I_i \quad 7)$$

y

$$b = \frac{V_r}{\sqrt{Z_0}} = \sqrt{Z_0} I_r \quad 8)$$

Donde el subíndice i representa a V e I incidentes y r a los reflejados.

Considerando la figura 9

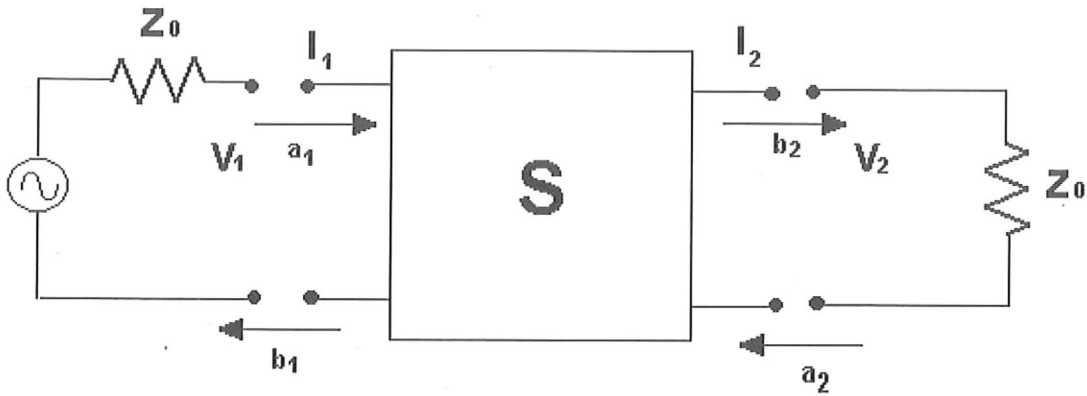


Figura 9. Representación de ondas incidentes y reflejadas

Donde a_1 y a_2 representan a las ondas incidentes y b_1 y b_2 a las ondas reflejadas.

Los voltajes y corrientes totales en los puertos de la red estarán en función de los voltajes y corrientes incidentes y reflejados.

$$V_1 = V_{i1} + V_{r1} \quad 9)$$

$$I_1 = I_{i1} - I_{r1} = \frac{V_{i1}}{Z_0} - \frac{V_{r1}}{Z_0} = \frac{1}{Z_0}(V_{i1} - V_{r1}) \quad 10)$$

$$V_2 = V_{i2} + V_{r2} \quad 11)$$

$$I_2 = I_{i2} - I_{r2} = \frac{V_{i2}}{Z_0} - \frac{V_{r2}}{Z_0} = \frac{1}{Z_0}(V_{i2} - V_{r2}) \quad 12)$$

Las ondas incidentes y reflejadas se pueden expresar en función de los voltajes y corrientes en los puertos de la red V_1 , I_1 , V_2 e I_2 como:

$$a_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0} I_1 \right) \quad (13)$$

$$b_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0} I_1 \right) \quad (14)$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0} I_2 \right) \quad (15)$$

$$b_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0} I_2 \right) \quad (16)$$

De manera similar a los otros conjuntos de parámetros ([Z], [Y], [ABCD] y [H]), se seleccionan las variables dependientes a las ondas reflejadas (b) e independientes a las ondas incidentes (a).

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (17)$$

cuyas ecuaciones generales son:

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (18)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \quad (19)$$

Donde la matriz de dispersión (Scattering) o de parámetros "S", se determina haciendo $a_1 = 0$ y $a_2 = 0$, lo cual se logra cargando los puertos con impedancias iguales a

la impedancia característica Z_0 , de tal manera que la onda incidente en la carga sea retenida por la misma y la onda reflejada sea cero.

Haciendo $a_2 = 0$ (mediante una carga de valor Z_0) en las ecuaciones 19) y 18) se obtienen:

$$\text{Coeficiente de reflexión de entrada} \quad S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad 20)$$

$$\text{Coeficiente de transmisión directo} \quad S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad 21)$$

Llamado también como Ganancia de un dispositivo activo o Atenuación de una red pasiva.

Por otro lado; haciendo $a_1 = 0$ en el puerto de entrada con una impedancia de fuente de valor Z_0 e introduciendo el generador por el puerto de salida, se determinan:

$$\text{Coeficiente de transmisión inverso} \quad S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad 22)$$

$$\text{coeficiente de reflexión de salida} \quad S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad 23)$$

De este grupo de parámetros, se puede observar que todos presentan una relación de ondas reflejadas a incidentes, razón por la cual se les conoce como coeficientes de reflexión y transmisión. Es decir, son de la forma:

$$\Gamma = \frac{V_{ref}}{V_{inc}} = \frac{b_i}{a_i} \quad 24)$$

II.4.2 Medición de parámetros “S”

Los parámetros “S” dependen del tipo de red o dispositivo y de sus condiciones de operación, temperatura, frecuencia de la señal y voltajes y corrientes de alimentación (en el caso de dispositivos activos).

Los parámetros “S” son cantidades vectoriales (complejas) que proporcionan información tanto en amplitud como en fase.

Dado que los parámetros “S” se miden utilizando ondas viajeras[5], es importante especificar el plano de referencia de cada medición con respecto al dispositivo.

Los parámetros “S” de los transistores de microondas se miden bajo ciertas condiciones de operación (voltajes y corrientes de alimentación, frecuencia y temperatura)

Los parámetros “S” se obtienen mediante un analizador de redes, montando el transistor bajo prueba (TBP) o circuito en una base de prueba caracterizada previamente.

Los parámetros S_{11} y S_{22} son de reflexión, y los parámetros S_{12} y S_{21} son de transmisión.

Para medición de parámetros S en dispositivos activos se toma en cuenta la frecuencia, voltaje y corriente de alimentación, y temperatura.

Planos de referencia.- Es de suma importancia especificar los planos de referencia del dispositivo o circuito para obtener sus parámetros S en el plano deseado.

A continuación se describe el proceso de medición:

- Establecer intervalo de frecuencias de medición, número de puntos, potencia, atenuación.
- Calibrar el sistema para obtener parámetros de error.
- Medición de amplitud y fase del dispositivo se convierte (A/D).
- Transferir datos medidos a la computadora.
- Corrección de errores del sistema.
- Parámetros S resultantes.

II.4.3 Analizador de redes

El HP 8510 es un analizador de redes vectorial compuesto por los siguientes instrumentos:

Fuente – Un sintetizador de barrido de la serie HP 8365A de 10 a 50 GHz.

Test set – Un test set de la serie 851x.

Analizador de redes – Un HP 8510 consistente en dos instrumentos, el HP 85101 que es pantalla y procesador y el 85102 que es un detector de IF(receptor).

El 8510 cuenta con una dirección de ducto de fabrica que el 16 como sistema y 17 como analizador de redes.

- La fuente provee la señal de RF.
- El test set separa la señal producida por la fuente en una señal incidente que manda al dispositivo bajo prueba (DBT) y una señal de referencia la cual es transmitida y reflejada para después ser comparada. Esto es, enruta la señal transmitida y reflejada por el DBP al receptor (IF/Detector).

El receptor junto con la pantalla y procesador, procesan la señal y usan el microprocesador integral para ejecutar un cálculo preciso, desplegando los resultados en una variedad de formatos.

II.4.4 Calibración del analizador de redes

El proceso de calibración se puede dividir en dos partes: Calibración en reflexión y Calibración en transmisión.

Proceso de calibración en reflexión

- Se conecta un corto circuito en el puerto en el cual se medirá.
- Ajustar la longitud de la línea de referencia hasta obtener un punto en el ancho de banda deseado.
- Ajustar la ganancia del canal hasta obtener una magnitud unitaria.
- Ajustar la fase en 180° para obtener $\Gamma = 1 \angle 180^\circ$ en el indicador polar y 0 dB, 180° en el de ganancia-fase.
- Conectar la fuente de polarización si el DBP es activo.
- Montar el dispositivo a medir.
- Efectuar mediciones.
- Corregir errores.

Proceso de calibración en transmisión

- Conectar el lazo del puerto 1 al puerto 2.
- Ajustar la longitud de la línea de referencia para obtener un punto.
- Ajustar la ganancia del canal de prueba.

- Ajustar la fase a 0° ($\Gamma = 1 \angle 0^\circ$) polar (0dB, 0°) ganancia/ fase.
- Conectar fuente de alimentación si el DBP es activo.
- Montar el dispositivo a medir.
- Efectuar mediciones.
- Corregir errores.

II.5 Medición de factor de ruido

II.5.1 Parámetros de ruido

El factor de ruido de los dispositivos activos depende de:

- Estructura
- Dimensiones
- Material semiconductor
- Condiciones de polarización
- Temperatura

En el $G_A A_s$ FET, el factor de ruido disminuye si su longitud de compuerta y la distancia

compuerta-fuente disminuyen:

- Longitud de compuerta menor
- Distancia compuerta-fuente pequeña
- Corriente $I_{DSS} \approx 15\% I_{DSS}$
- Temperatura disminuye

Además, el factor de ruido depende de la impedancia presentada en la entrada del Dispositivo. Ver figura 10.

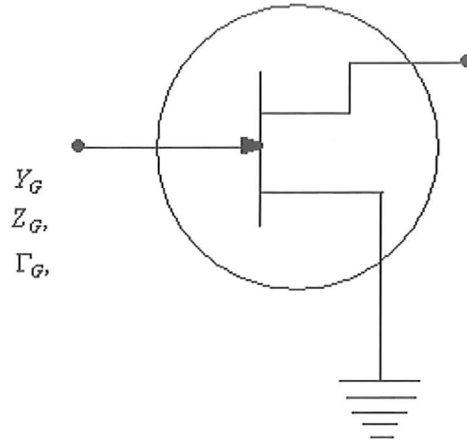


Figura 10. Impedancia a la entrada del dispositivo

II.5.2 Principio de medición

Figura de ruido: Es una figura de mérito que indica la degradación que ocurre en la relación señal-ruido debido al ruido agregado [5].

El factor de ruido se define como:

$$FR = \frac{(S/N)_e}{(S/N)_s}$$



Figura 11. Ruido agregado

Dos tipos de ruido que degradan la señal:

Ruido Térmico: Debido al movimiento aleatorio de los electrones causado por agitación térmica. (Existe en conductores con temperatura superior al cero absoluto)

Ruido Aleatorio: Debido al flujo aleatorio de portadores (electrones o huecos) a través del dispositivo (flujo de corriente) generando un ruido de disparo [5].

La corriente que fluye a través de una resistencia de carga provoca variaciones de potencia (Ruido de Disparo).

Los diodos de avalancha se utilizan como fuentes de ruido cuya potencia de ruido es inversamente proporcional a la corriente y dependiente de la frecuencia (banda ancha) [5].

Hay tres maneras para medir el ruido en un dispositivo, medición directa (10-1600MHz), mezclador externo y oscilador local de frecuencia fija (1.6-18GHz), mezclador externo y oscilador local de frecuencia variable (1.6-18GHz). La medición

directa es la más sencilla[5] ya que no se requiere de componentes externos. La medición con mezclador externo y oscilador local de frecuencia fija permite medir dispositivos que operan a frecuencias mayores a 1.6 GHz, la frecuencia máxima la determinan: El generador de ruido, el oscilador local(OL) y el mezclador. La medición de mezclador externo y frecuencia variable requiere de un generador de RF (sintetizador) con interfase GPIB.

II.5.3. Parámetros a Caracterizar

- F_{\min} (Figura de ruido mínima)
- Γ_o (Coeficiente de reflexión optimo)
- r_n (Resistencia equivalente de ruido que indica la variación de F_R en función de Γ_G)

Estos parámetros dependen de:

- Frecuencia (2-18GHz)
- V_{DS} e I_{DS} (3v, 10mA)
- Temperatura (290°K)

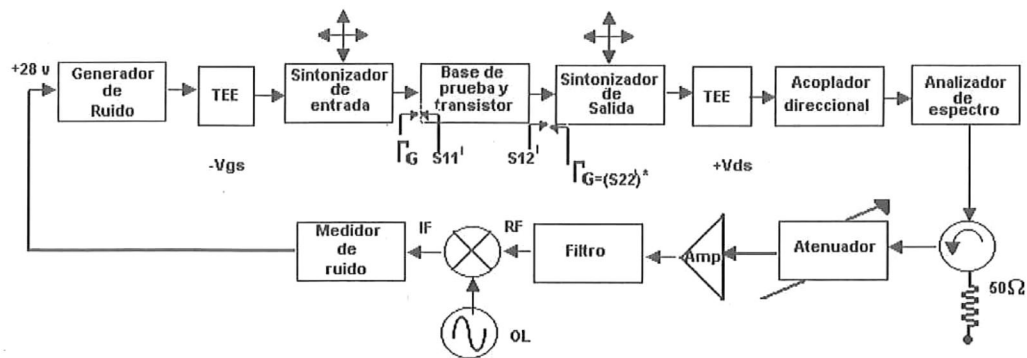


Figura 12. Esquema de Medición de Factor de Ruido de Dispositivos

II.5.4 Calibración del medidor de ruido

La calibración del medidor de figura de ruido es necesaria para corregir las contribuciones de ruido que este da al sistema (el 8970A). Esta calibración automáticamente mide la figura de ruido del sistema, sin DBP conectado, en los tres rangos de atenuación de entrada del 8970A. Los tres rangos de atenuación son usados porque el 8970A no conoce la ganancia del DBP por lo tanto es mejor estar preparado para un rango de valores de ganancia. Primero se conecta la salida del 346B directamente a la entrada del 8970A (línea de calibración en la figura 13). Para mejor precisión durante la

medición, la frecuencia inicial, frecuencia final, y el incremento de frecuencia, deben ser seleccionados antes de iniciar la calibración.

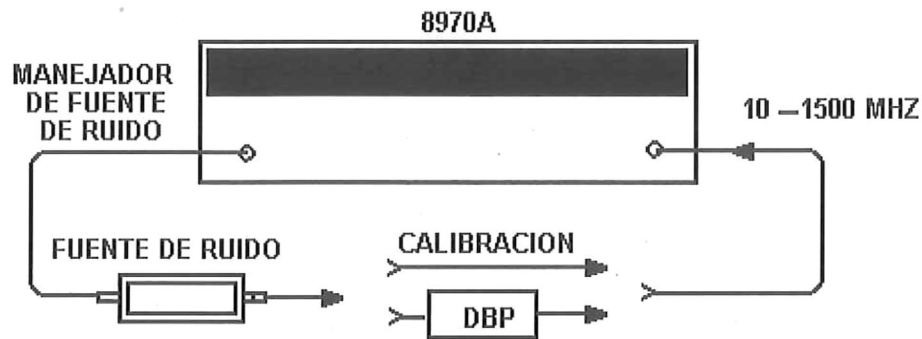


Figura 13. Esquema para calibración y medición de RF.

II.5.5. Configuración y descripción del banco de pruebas

El banco automatizado de mediciones se compone de: dos fuentes programables una para V_{gs} y otra para V_{ds} , dos voltímetros también programables para medir V_{gs} y V_{ds} respectivamente, un amperímetro para medir I_{ds} , dos Tee_s de polarización, dos interruptores de dos posiciones, un sintonizador con su controlador, un medidor de ruido y un generador de ruido, dos amplificadores, un filtro pasa bajas, un sintetizador un analizador de redes vectorial una Pc dotada con una tarjeta GP-IB para controlar todo el equipo, y por ultimo las puntas coplanares situadas ya sea en la maquina de puntas o bien en la cámara criogenica. En la figura 14 se muestra el diagrama a bloques del banco de mediciones automatizado.

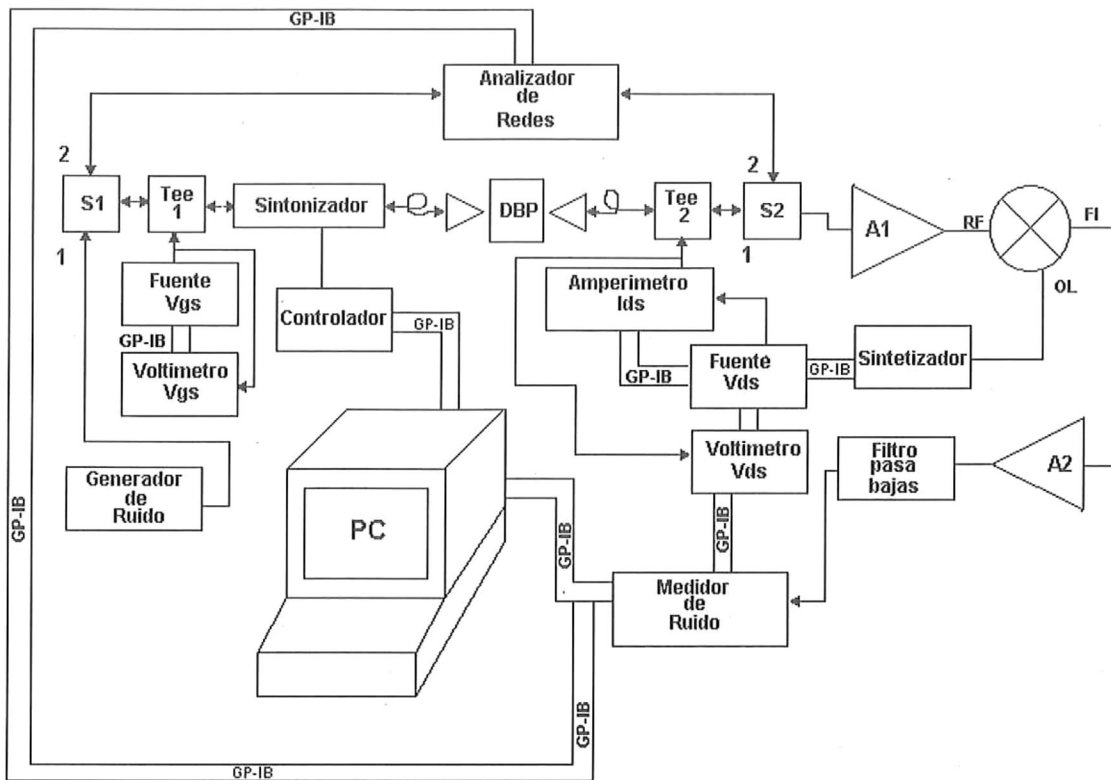


Figura 14. Diagrama a bloques del Banco de Mediciones Automatizado.

Banco de Medición de Figura de Ruido: Este banco se compone de un medidor de figura de ruido HP8970A, una fuente de ruido HP346B, una fuente de voltaje dc regulada B+K PRECISION modelo 1601, un osciloscopio HP1220A, una base de aluminio para colocar los dispositivos bajo prueba. Ver figura 15.

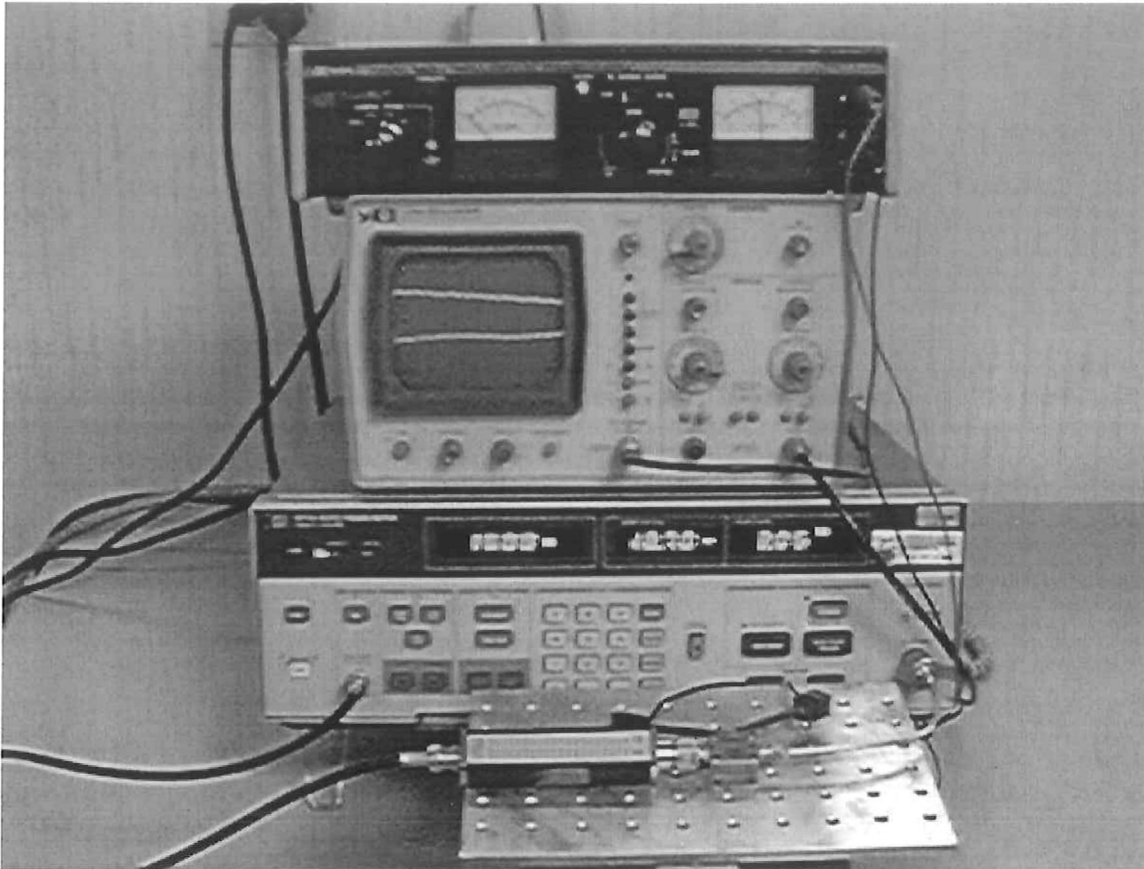


Figura 15 . Banco de medición de figura de ruido

Banco de Medición de Parámetros Estáticos: Este banco se compone por dos fuentes de voltaje, un voltímetro, un amperímetro, una caja de interruptores utilizada para cambiar la polarización de los dispositivos bajo prueba, las fuentes son utilizadas para aplicar la polarización al DBP, el voltímetro es utilizado para medir los voltajes aplicados al DBP, el amperímetro se utiliza para medir la corriente en el DBP, este equipo en conjunto es interconectado mediante cables GPIB a la computadora que los manejará. En la figura 16 se muestra dicha configuración.



Figura 16. Banco de medición de parámetros estáticos

Banco de Medición de Parámetros Dinámicos: Este banco se compone de la máquina de puntas microstrip SUMMIT 9000 de cascade microtech, un analizador de redes vectorial HP8510C, en este banco se utiliza la máquina de puntas para aplicar la polarización y los estímulos a los DBP colocados en ella y el analizador de redes realiza la medición de los parámetros dinámicos. Ver figuras 17 y 18.



Figura 17. Banco de medición de parámetros dinámicos

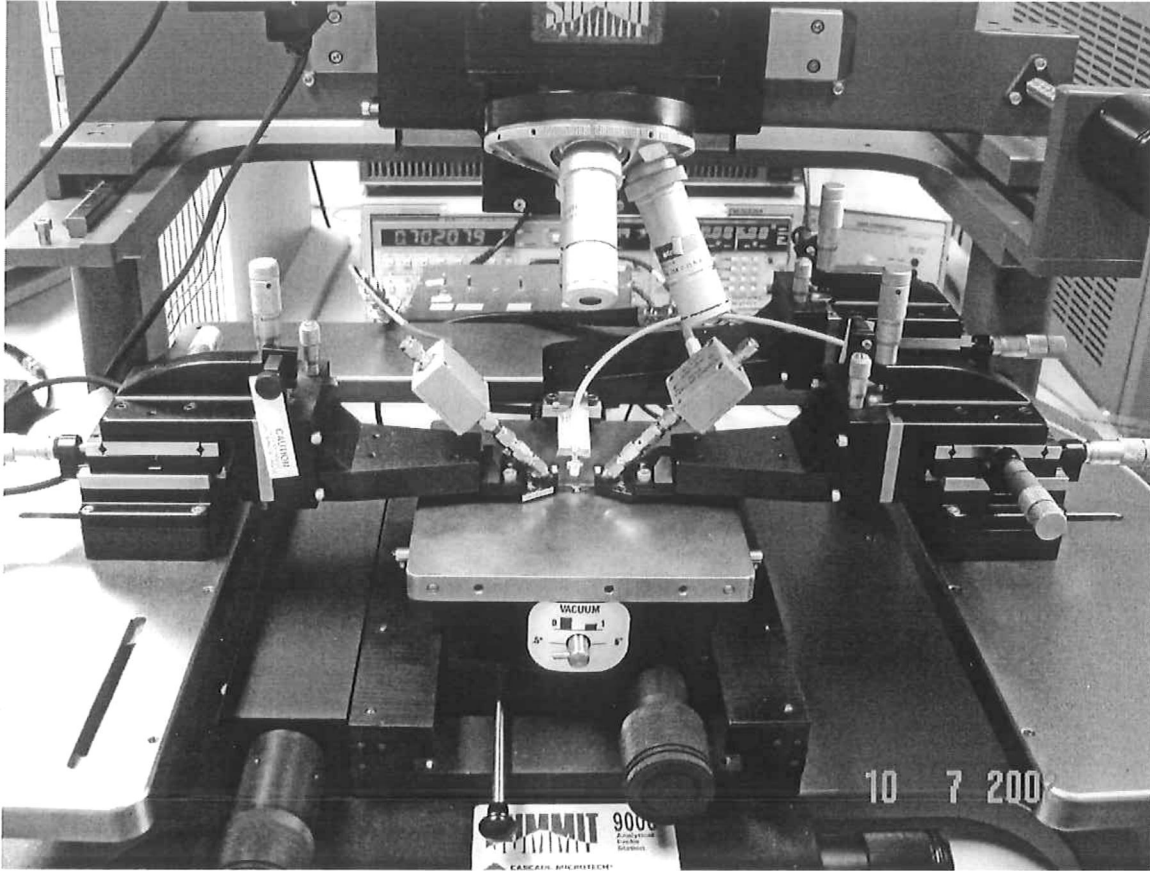


Figura 18. Máquina de puntas

III DISEÑO DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL

III.1 Introducción

En este capítulo se describe lo que es el lenguaje de interfase, las características del ducto GP-IB, parte del protocolo GP-IB, las diferentes plataformas disponibles para programar, la técnica utilizada para el diseño del programa, el lenguaje utilizado, la forma de programar, como controlar los equipos y como adquirir datos. También se describe el equipo utilizado así como los comandos de cada equipo usados en el programa, y finalmente se describe el programa y se da una introducción a la programación en Matlab.

Para poder controlar un equipo primeramente debe contar este con la opción GPIB. Se debe hacer referencia al manual suministrado en la sección de programación en donde se encontrará una lista de mnemónicos de control. Todos los equipos responden al subconjunto de comandos generales, además de los comandos específicos del fabricante, aunque dos o más equipos sean similares y del mismo fabricante, no siempre los comandos son iguales, pueden cambiar la sintaxis y el argumento. Por eso se recomienda que cuando se tengan intenciones de realizar un programa se estudie primero el código estándar para instrumentos programables (SCPI) incluido en el manual.

La adquisición de datos, y muchas otras funciones dependen de que el equipo cuente con estas opciones.

Tarjeta GP-IB

En el presente trabajo de tesis se utilizó una tarjeta GP-IB de la compañía National Instruments del tipo PCI, totalmente compatible con el estándar IEEE

488.2, cuenta con un buffer del tipo FIFO (primero en entrar primero en salir) para desacoplar transferencias GP-IB de las transferencias PCI, una velocidad de transferencia hasta de 1.5 Mbps, esta tarjeta cuenta con un índice de tarjeta 0 que viene programado de fabrica. En la figura 19 se muestra la tarjeta y su cable conector.

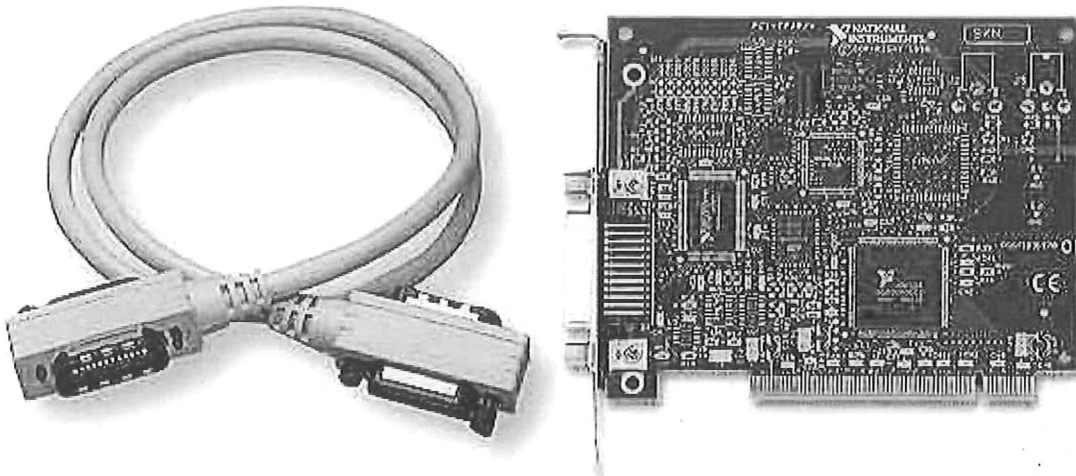


Figura 19 .Tarjeta GP-IB PCI y su cable conector.

III.2 Control de los equipos y adquisición de datos

III.2.1 Ducto GP-IB(HP-IB)

El ducto (bus) GPIB fue inventado por Hewlett-Packard Corporation en el año 1974 [15] para simplificar la interconexión de instrumentos de prueba con computadoras. En ese tiempo las computadoras eran dispositivos voluminosos y no contaban con puertos con interfaces estándar. Con suerte algunos instrumentos tenían un conector con líneas BCD de salida paralela que deberían ser conectadas a impresoras de 10 a 20 columnas. El control remoto de un instrumento estaba limitado a un número de líneas de entrada en un conector del panel trasero que seleccionaba algunas funciones o rangos de conversión.

Una computadora especial tenía que ser diseñada y construida para utilizarse como interfase para cada instrumento que el ingeniero quisiera adicionar a su sistema de prueba. Incluso en los sistemas de prueba más simples tomaban muchos meses para ser implementados.

Como fue concebido por HP, el nuevo ducto para instrumentos Hewlett-Packard (HP-IB) habría de utilizar un cable estándar para interconectar múltiples instrumentos a la computadora. Cada instrumento debería de tener su propia interfase electrónica y su conjunto estándar de respuestas para los comandos. El sistema debería de ser fácilmente expansible para que los sistemas de prueba de múltiples instrumentos pudieran ser conectados juntos por un cable del tipo “piggy backing” [15] de un instrumento a otro. En donde se tenían las restricciones de un número máximo de 15 instrumentos que se podían manejar y con una longitud máxima del cable de 20 metros.

Hewlett-Packard propuso el concepto a Estados Unidos y a los cuerpos Internacionales de estándares en 1974[15]. Esto fue adoptado por la IEC en Europa en 1975. En Estados Unidos otras compañías de instrumentación protestaron por el nombre de HP-IB y propusieron un nuevo nombre, el de Bus Interfase de Propósito General (GPIB). El ducto GPIB fue formalmente adoptado como el estándar IEEE-488 en el año 1978.

GPIB es una interface estandarizada que permite conectar y controlar múltiples dispositivos de varios fabricantes. El GPIB se refiere a su nombre original HP-IB, o por

IEEE su designación IEEE-488. El GPIB funcional ha evolucionado con el tiempo, y se describe en varias especificaciones:

La especificación IEEE 488.1-1975 define características eléctricas y mecánicas de la interface y sus características funcionales básicas.

La especificación IEEE-488.2-1987 se construye de la especificación de IEEE 488.1 para definir una configuración de mínimos aceptables y un conjunto básico de órdenes de mando y formatos de datos comunes.

Los comandos estándar para la instrumentación programable (SCPI) [15] se determinaron basándose en los comandos del IEEE 488.2 para definir un instrumento estándar determinado que puede ser utilizado por GPIB u otras interfaces.

Algunas funciones del GPIB se requieren por todos los aparatos que cuentan con GPIB, mientras que en otros la funcionalidad del GPIB es opcional. Adicionalmente, muchos dispositivos soportan solo un subconjunto de comandos del conjunto de comandos SCPI, o emplean comandos de diferentes especificaciones dadas por el fabricante. Por lo tanto se debe consultar la documentación del instrumento para obtener una lista completa de las opciones GPIB y su conjunto de instrucciones SCPI.

III. 2.2 El Ducto y su Conector

El Ducto GPIB es un cable con dos conectores de 24 terminales cada uno, a través del cual se puede conectar múltiples dispositivos de uno a otro. El ducto y su conector tienen las siguientes características y limitaciones:

Se pueden conectar hasta 15 dispositivos al ducto.

Se pueden conectar los dispositivos en configuración estrella, lineal, o una combinación de ambas.

Para obtener un máximo rendimiento en la tasa de transmisión de datos, la longitud total del ducto no debe exceder 20 metros y un promedio de 2 metros por dispositivo. Esta limitación se puede evitar utilizando un expansor del ducto.

III.2.3. Dispositivos GPIB

Cada dispositivo GPIB debe tener una combinación de funciones 'transmisor', 'receptor', o 'controlador'. Un controlador es típicamente una tarjeta instalada en una computadora. Los 'transmisores' y 'receptores' son típicamente instrumentos como por ejemplo osciloscopios, generadores de funciones, multímetros, y muchos más. La mayoría de los instrumentos modernos que cuentan con esta opción tienen ambas funciones 'transmisor' y 'receptor'.

Transmisores- Un transmisor transmite los datos sobre la interface cuando es direccionado para hablar por el controlador. Esto es, solo un transmisor a la vez.

Receptores – Un receptor recibe los datos que son enviados sobre la interfase cuando es direccionado para escuchar por el controlador. Esto es, puede haber 14 receptores a la vez. Típicamente, el controlador es el transmisor mientras uno o más instrumentos en el ducto GPIB son receptores.

Controladores- El controlador especifica cual dispositivo es el transmisor o el receptor. En un sistema GPIB puede haber múltiples controladores- uno de los cuales es designado como controlador del sistema. Por lo tanto, solo un controlador puede estar activo a la vez. El controlador activo se conoce como controlador a cargo (CAC). El CAC puede pasar el control a un controlador inactivo, pero solo el controlador del sistema puede hacerse a sí mismo CAC.

Cada controlador es identificado por un único número de índice de tarjeta. Cada transmisor- receptor es identificado por una dirección primaria única que va de la 0 a la 30, y cuenta con una dirección secundaria opcional, la cual puede ser cero o puede tener el rango del 96 a la 126.

III.2.4.Datos GPIB

Son dos tipos de datos los que pueden ser transferidos por GPIB: Datos de instrumento y mensajes de interfase.

Datos de instrumento- Los datos de instrumento consisten en comandos específicos del fabricante que configuran el instrumento, regresando resultados medidos. Para obtener una lista completa de comandos soportados por el instrumento hay que referirse a su documentación.

Mensajes de interfase- Los mensajes de interfase son definidos por el estándar GPIB y consisten en comandos que limpian el ducto GPIB, direccionan dispositivos, regresan resultados de autopruebas, etc.

La transferencia de datos consiste en un byte (8 bites) enviado en paralelo. La velocidad de transferencia de datos a través de la interfase esta limitada a un megabyte

por segundo. Esta velocidad usualmente no se pone en practica, y es limitada por el dispositivo mas lento en el ducto.

III.2.5.LINEAS GPIB

El ducto GPIB consta de 24 líneas, las cuales son compartidas por todos los instrumentos conectados a este. 16 son usadas para señales, mientras 8 son para tierra. Las líneas de señal son divididas en los siguientes grupos :

Ocho líneas de datos

Cinco líneas para manejo de interface

Tres líneas 'saludo'

Las líneas de señal usan una convención de lógica bajo- verdadero (negativa) con niveles TTL.

Esto significa que una línea es baja (verdadera) cuando esta tiene un nivel TTL bajo, y una línea es alta (falso) cuando esta tiene un nivel TTL alto. La asignación de terminales para el conector de GPIB se muestra en la siguiente figura.

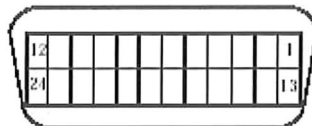


Figura 20. Esquema de terminales para conector GPIB.

Los terminales y las señales asociadas al conector GPIB se describen enseguida.

terminal	Etiqueta	Nombre de la señal	terminal	Etiqueta	Nombre de la señal
1	DIO1	Data transfer	13	DIO5	Data transfer
2	DIO2	Data transfer	14	DIO6	Data transfer
3	DIO3	Data transfer	15	DIO7	Data transfer
4	DIO4	Data transfer	16	DIO8	Data transfer
5	EOI	End Or Identify	17	REN	Remote Enable
6	DAV	Data Valid	18	GND	DAV ground
7	NRFD	Not Ready For Data	19	GND	NRFD ground
8	NDAC	Not Data Accepted	20	GND	NDCA ground
9	IFC	Interfase Clear	21	GND	IFC ground
10	SRQ	Service Request	22	GND	SRQ ground
11	ATN	Attention	23	GND	ATN ground
12	Shield	Chassis ground	24	GND	Signal ground

Tabla 1 . Asignación de terminales y señales del conector GPIB.

III.2.6.LINEAS DE DATOS

Las ocho líneas de datos, DIO1 a DIO8 son usadas para transferir datos de un byte a la vez. DIO1 es el bit menos significativo, mientras que DIO8 es el bit más significativo. Un dato transferido puede ser un comando de instrumento o un comando de interfase GPIB.

Los formatos de dato son especificados por el fabricante y pueden ser basados en texto (ASCII) o binario.

Los comandos de interfase GPIB son definidos por el estándar IEEE488.

III.2.7.LINEAS PARA MANEJO DE INTERFASE

Las líneas para manejo de interfase controlan el flujo de datos a través del ducto GPIB, y son descritas en la siguiente tabla.

Línea	Descripción
ATN	Usada por el controlador para informar a todos los dispositivos en el ducto que hay bytes para

ser enviados. Si la línea ATN esta en alto, los bytes serán interpretados como un comando del instrumento. Si la línea ATN esta en bajo, los bytes serán interpretados como un mensaje de la interfase.

- IFC Usada por el controlador para inicializar el ducto. Si la línea IFC esta en bajo, el transmisor y el receptor serán desdireccionados, y el controlador del sistema se convertirá en el controlador a cargo.
- REN Usada por el controlador para poner los instrumentos en modo remoto o local. Si REN esta en bajo, todos los receptores se pondrán en modo remoto, y no se podrá realizar ninguna operación desde el panel frontal. Si REN esta en alto, todos los receptores se pondrán en modo local.
- SRQ Usada por el transmisor para asincronamente requerir servicio del controlador. Si SRQ esta en bajo, cuando uno o más transmisores requieran servicio (por ejemplo, un error como comando invalido, fue recibido). Se usa un serial poll para determinar cual transmisor requirió el servicio. El poll automáticamente pone a SRQ en alto.
- EOI Si la línea ATN esta en alto, la línea EOI es usada por los transmisores para identificar el fin de una cadena de bytes así como el comando de un instrumento. Si la línea ATN esta en bajo, la línea EOI es usada por el controlador para ejecutar un parallel poll.

Tabla 2. Descripción de las líneas de manejo del ducto GPIB

III.2.8 Fuentes de voltaje

TEKTRONIX PS 5004

La PS 5004 es una fuente de alimentación de precisión utilizada en él modulo de poder de la serie TM 5000. El instrumento es compatible con GPIB. La unidad suministra voltajes de 0V a +20V sobre un rango de corriente de 0 a 300mA. Tiene un modo de operación de corriente constante o voltaje constante.

Esta fuente cuenta con una dirección de ducto programado de fabrica que es la 21, y utiliza solamente para la terminación del mensaje una EOI (fin de instrucción).

Comando	Descripción
ID?	Regresa la identificación del instrumento y la versión del firmware
Init	Inicializa el instrumento (encendido)
OUTput ON	Enciende la salida de la fuente
OUTput Off	Apaga la salida de la fuente
Voltage	Ajusta el voltaje de salida de la fuente

Tabla 3. Comandos utilizados de la fuente PS 5004

TEKTRONICS PS 5010

La PS 5010 es una fuente de poder dual programable. Esta fuente entrega alimentación doble flotante y alimentación lógica referenciada a tierra cada fuente tiene modos de operación independientes de voltaje constante o corriente constante.

La fuente flotante entrega de 0 a +32Vdc y de 0 a -32Vdc, ambas con el panel frontal común. Las fuentes flotantes se pueden programar de 0 a 10V en incrementos de 10mV y de 10.1V a 32V con incrementos de 100mV. La corriente se puede programar de 50mA a 1.6A en incrementos de 50mA. Esta fuente también va instalada en el módulo de potencia de la serie TM 5000.

Esta fuente cuenta con una dirección de ducto programado de fábrica que es la 22 y utiliza solamente para la terminación del mensaje una EOI (fin de instrucción).

Comando	Descripción
ID?	Regresa la identificación del instrumento y la versión del firmware
INIT	Inicializa el instrumento (encendido)
OUT ON	Este comando conecta la fuente a su respectivo terminal de salida
OUT Off	Este comando desconecta la fuente de su respectivo terminal de salida
VNEG	Este comando ajusta el voltaje negativo de la fuente flotante
VPOS	Este comando ajusta el voltaje positivo de la fuente flotante

Tabla 4. Comandos utilizados de la fuente PS 5010

III.2.9 Voltímetros y amperímetros

TEKTRONIX DM 5120/5520

El TEKTRONIX DM 5120/5520 es un multímetro digital autorango programable con 5 funciones. El DM 5120 está diseñado para operar en tres compartimentos del módulo de poder de la serie TM 5000. Este cuenta con una dirección de fábrica de ducto que es la 16 solamente una EOI como terminador de mensaje.

Comando	Descripción
ID?	Regresa la identificación del instrumento y la versión del firmware
INIT	Inicializa el instrumento (encendido)
DCA	Pone al DM 5120 en función de corriente directa
SEND	Manda leer al instrumento el voltaje o corriente que hay en los terminales

Tabla 5. Comandos utilizados para el multímetro DM 5120

III.2.10. Analizador de redes

El HP 8510 es un analizador de redes vectorial compuesto por los siguientes instrumentos:

Fuente – Un sintetizador de barrido de la serie HP 8365A de 10 a 50 GHz.

Test set – Un test set de la serie 851x.

Analizador de redes – Un HP 8510 consistente en dos instrumentos, el HP 85101 que es pantalla y procesador y el 85102 que es un detector de IF(receptor).

El 8510 cuenta con una dirección de ducto de fabrica que el 16 como sistema y 17 como analizador de redes.

- La fuente provee la señal de RF.
- El test set separa la señal producida por la fuente en una señal incidente que manda al dispositivo bajo prueba (DBT) y una señal de referencia la cual es transmitida y reflejada para después ser comparada. Esto es, enruta la señal transmitida y reflejada por el DBP al receptor (IF/Detector).
- El receptor junto con la pantalla y procesador, procesan la señal y usan el microprocesador integral para ejecutar un cálculo preciso, desplegando los resultados en una variedad de formatos.

Comando	Descripción
OUTPIDEN	Manda la identificación del analizador en formato ASCII
OUTPDATA	Manda datos corregidos del canal seleccionado en pares real/imaginario
FORM4	Presenta los datos en ASCII (cadenas separada por coma)
S11	Selecciona el parámetro S11 en el canal activo
S12	Selecciona el parámetro S12 en el canal activo
S21	Selecciona el parámetro S21 en el canal activo
S22	Selecciona el parámetro S22 en el canal activo

Tabla 6. Comandos utilizados para el Analizador de Redes HP 8510C

III.2.11. Medidor de ruido

HP 8970A Medidor de figura de ruido.

El medidor de figura de ruido, junto con una apropiada fuente de ruido, automáticamente puede medir la figura de ruido y la ganancia del dispositivo que esta conectado a el. El medidor de figura de ruido puede ser sintonizado entre 10 y 1500MHz. Este puede realizar barridos en cualquier parte de este rango. Para medición de figura de ruido de dispositivos con una salida mayor a 1500MHz, un mezclador externo y un oscilador local pueden ser usados para convertir la frecuencia a rango de 10 a 1500MHz. El ruido medido puede ser desplegado como figura de ruido, temperatura de ruido de entrada equivalente o factor Y. La ganancia es desplegada en dB. El 8970A cuenta con una dirección de ducto de fabrica que es el 8.

Código GPIB	Código Numérico	Descripción
	4.0	Modo normal transmisor y receptor
	4.2	Modo de transmisión solamente
N5	9.1	Fuente apagada sin calibrar
N6	9.2	Fuente prendida sin calibrar
N7	9.3	Fuente apagada calibrada
N8	9.4	Fuente prendida calibrada
MC	14.1	Medición fría fuente apagada
MH	14.2	Medición caliente fuente prendida
CC	14.3	Calibración fría fuente apagada
CH	14.4	Calibración caliente fuente prendida
IC	33.0	Calibración atenuadores y eje
CA		Calibración
FA		Frecuencia inicial
FB		Frecuencia final
FN		Incremento de frecuencia
FR		Frecuencia fija
SS		Tamaño del paso
W1		Barrido automático
W2		Barrido sencillo
TC		Temperatura frío
TH		Temperatura caliente
SP		Función especial
DE		Decrementar alisamiento
IN		Incrementar alisamiento
DN		Paso abajo

UP	Paso arriba
M1	Figura de ruido sin corregir
M2	Figura de ruido corregida y ganancia
EN	Enter

Tabla 7. Comandos utilizados para el Medidor de Ruido HP8970A

III.3 Diseño del Programa

III.3.1 Introducción

Un lenguaje de interfase es el medio que se utiliza para comunicarse con el software manejador que controla el hardware. Un lenguaje de interfase típico GPIB consiste en un encabezado y una librería de código, el cual se necesita para incluirse en una aplicación GPIB. El encabezado contiene declaraciones para las funciones GPIB soportadas por el software manejador. La librería de código contiene las definiciones para esas funciones. No es posible comunicarse con la tarjeta GPIB sin un lenguaje de interfase.

A continuación se muestra una tabla donde se enlista los lenguajes de interfase que hay disponibles para varios sistemas operativos referenciados por el lenguaje de programación

Lenguaje de interfase	Tipo:	Plataforma	Disponible:	
		Windows 2000, NT, 98, 95	Windows 3.x	DOS
BASIC	Win32	Si	N/S	N/A
	Win16	Si	Si	N/A
	DOS	SI	N/A	Si
C/C++	Win32	Si	Nota 1	N/A
	Win16	Si	Si	N/A
	DOS	Si	N/A	Si
FORTRAN	Win32	Nota 2	N/S	N/A
	Win16	N/S	N/A	N/A

	DOS	Si	N/A	Si
LabVIEW	Win32	Si	N/A	N/S
	Win16	N/A	N/A	N/S
	DOS	N/S	N/S	N/S
LabWindows/CVI	Win32	Si	N/A	N/A
	Win16	N/A	N/A	N/A
	DOS	N/A	N/A	N/A
Pascal (Delphi)	Win32	Si	N/S	N/A
	Win16	Si	Si	N/A
	DOS	Si	N/A	Si

Tabla 8. Lenguajes de interfase .

N/A = No Aplicable, N/S = No Soportada

Nota 1: Para compiladores en Windows 3.x que sean capaces de crear entradas directas a llamadas para DLL, por favor consultar la nota de aplicación de cómo crear una aplicación GPIB en Win32s usando entradas directas [15]

Nota 2: Para compiladores en Win32s que sean capaces de crear entradas directas a llamadas para DLL, por favor consultar la nota de aplicación de cómo crear una aplicación GPIB en Win32s usando entradas directas [15]

III.3.2 Como trabaja un lenguaje Interfase GP-IB

Un lenguaje usualmente consiste en dos partes principales: El archivo de declaración y la librería de lenguaje GPIB. Esto es, un lenguaje de interfase diferente por cada lenguaje de programación, y algunas veces para diferentes versiones del mismo lenguaje de programación. Así es como, el lenguaje de interfase GPIB trabaja:

Archivo de Declaración- Contiene funciones prototipo y varias constantes predefinidas asociadas con el lenguaje de interfase. Se debe de incluir en el archivo de declaración el código de el programa GPIB, en orden para crear la aplicación GPIB.

Lenguaje de Interfase – Es un conjunto de funciones que llaman al manejador GPIB con la operación requerida. Por ejemplo, si se escribe un mensaje en un

instrumento GPIB, se debe utilizar la función `ibwrt`. Esta función es declarada en el archivo de declaración y definida en el lenguaje de interfase.

Manejador GPIB – Es el software que controla el hardware GPIB. Esto es, el bajo nivel hace que la tarjeta trabaje, se puede usar el lenguaje de interfase para controlar la tarjeta. (por otro lado, se tendría que aprender a programar a nivel de registro solo para hablar con el instrumento)

Interfase GPIB – Es el hardware GPIB, instalado en la computadora o como controlador externo.

Nota: La palabra interfase es usada algunas veces sin GPIB. Un lenguaje de interfase es la interfase entre el lenguaje de programación y el manejador GPIB. El manejador GPIB es la interfase entre el programa GPIB y el hardware GPIB. El hardware GPIB es la interfase entre la computadora y el instrumento.

III.3.3.Lenguaje utilizado para el Desarrollo del software

Después de estudiar varias opciones se eligió el programa MATLABTM, Matlab es el nombre abreviado de “MATrix LABoratory “ Es un programa para realizar cálculos numéricos con vectores y matrices. Como caso particular puede trabajar también con números escalares, tanto reales como complejos. Una de las capacidades mas atractivas es la de realizar una amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones. MATLABTM tiene también un lenguaje de programación propio.

MATLAB es un gran programa para calculo técnico y científico. Para ciertas operaciones es muy rápido, cuando puede ejecutar sus funciones en el código nativo con los tamaños mas apropiados para aprovechar sus capacidades de vectorización. En otras

aplicaciones resulta mucho mas lento que el código equivalente desarrollado en C/C++ o Fortran. Sin embargo, siempre es una magnífica herramienta de alto nivel para desarrollar aplicaciones técnicas, fácil de utilizar y que aumenta la productividad de los programadores respecto a otros entornos de desarrollo.

MATLAB dispone de un código básico y de varias librerías especializadas (toolboxes) en este trabajo se hará referencia exclusiva al toolbox de control de instrumento (Instrument Control Toolbox) y al código nativo.

El toolbox de control de instrumentos es una colección de funciones .M realizadas en el ambiente técnico computacional MATLAB™. El toolbox cuenta con las siguientes características:

- Un marco de trabajo para comunicarse con instrumentos que soporten la interfase GPIB(IEEE-488,HPIB), el estándar VISA, y la interfase del puerto serie(RS-232, RS-422, RS-485)

- Funciones para transferencia de datos entre MATLAB y el instrumento
 - Los datos pueden ser binarios(numéricos) o texto

➤ Los datos en texto pueden ser cualquier comando usado por el instrumento como los dados por el lenguaje Estándar de Comandos para instrumentos programables(SCPI)

- Comunicación basada en eventos funciones para grabar información de datos y eventos en archivo de texto
- Herramientas para facilitar el control de instrumentos en un ambiente gráfico fácil de usar

III.3.4.Componentes del Toolbox

El toolbox de control de instrumentos consta de dos partes: De funciones .M y de adaptadores de manejo de interfase. Estos componentes permiten el paso de información entre MATLAB y el instrumento. Por ejemplo, en la figura 21 se muestra como la información pasa de MATLAB al instrumento vía manejador GPIB y controlador GPIB

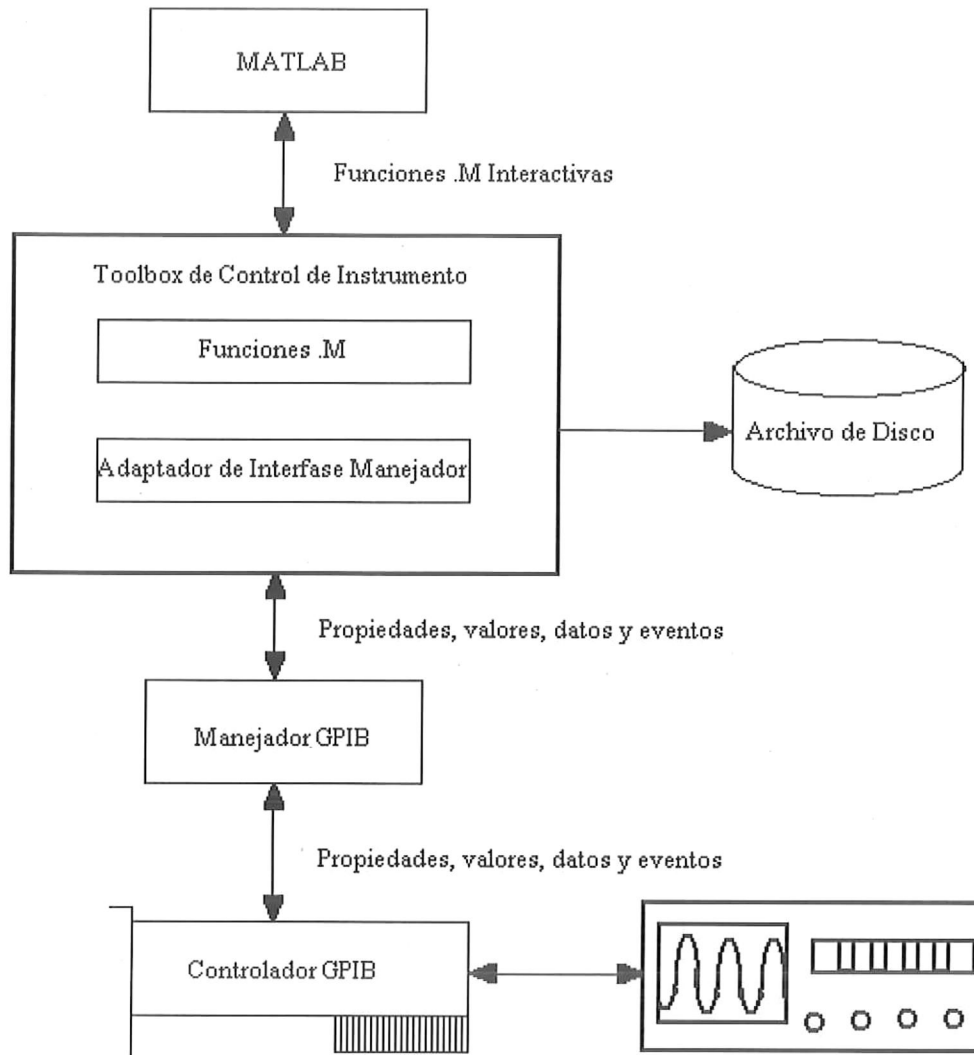


Figura 21. Descripción de como funciona el tool box

El diagrama anterior ilustra como la información fluye de componente a componente. La información consiste:

- **Propiedades**

Se define el comportamiento de la aplicación para control de instrumento configurando las propiedades. En general, se puede pensar en las propiedades

como características del toolbox o del instrumento esto para satisfacer las necesidades de la aplicación.

- **Datos**

Se pueden escribir datos en el instrumento y también leerlos. Los datos pueden ser binarios (numéricos) o en formato texto. Por ejemplo, al escribir texto algunas veces para cambiar parámetros del hardware, o para preparar el instrumento para que regrese datos o información, mientras que el escribir datos binarios implica valores numéricos como puede ser una calibración o datos de una forma de onda.

- **Eventos**

Un evento ocurre después de que una condición es conocida y da como resultado uno o mas callbacks. Los eventos son generados solamente después de que se han configurado las propiedades asociadas. Por ejemplo, se pueden usar los eventos para analizar datos después de cierto numero de bytes que son leídos del instrumento, o desplegar un mensaje en la línea de comandos de MATLAB después de que ocurre un error.

III.3.5 Funciones . M

Para ejecutar cualquier tarea con una aplicación de control de instrumento, se debe llamar a una función .M del ambiente MATLAB. Entre otras cosas, estas funciones permiten:

- Crear objetos de instrumento, lo que provee una entrada para las funciones del instrumento y entre otras cosas controlar el comportamiento de la aplicación.
- Conectar el objeto al instrumento.
- Configurar las propiedades.
- Escribir datos en el instrumento, y leer datos del instrumento.
- Evaluar el estado de la aplicación y examinar los recursos del hardware.

III.3.6 Adaptador de manejador de interfase

El adaptador de manejador de interfase (o simplemente adaptador) es el enlace entre el toolbox y el manejador de interfase. El propósito principal del adaptador es pasar información entre MATLAB y el manejador de interfase. El manejador de interfase es provisto por el distribuidor del instrumento. Por ejemplo, si se quiere entablar comunicación con un instrumento usando un controlador GPIB National Instruments, un manejador de interfase como el NI-488.2 debe ser instalado en la plataforma. Nota: Los manejadores de interfase no forman parte del toolbox de control de instrumento.

A continuación se muestra una tabla de adaptadores que soporta el toolbox.

Interfase	Nombre del Adaptador
GPIB	Agilent, cbi, cec, iotech, keithley, ni
VISA estándar	Agilent, ni, tek
Puerto Serie	No aplica

Tabla 9. Adaptadores del tool box.

III.3.7 Creación de un Objeto Instrumento

El objeto instrumento es un componente del toolbox que se usa para acceder al instrumento. Este provee un camino a la funcionalidad del instrumento, y permite controlar el comportamiento del instrumento mediante su aplicación. Cada objeto instrumento esta asociado con una interfase estándar específica, con un instrumento. Para crear un objeto de instrumento se hace uso de la función `gpib` llamada función de creación de objeto.

A continuación se muestra la sintaxis del comando `gpib` para la creación de un objeto de instrumento:

Objeto = `gpib`('fabricante', índice de tarjeta, dirección primaria, 'nombre de la propiedad', valor de la propiedad,.....)

Aquí se crea un objeto GPIB con propiedades específicas, si alguna propiedad es inválida se regresa un mensaje de error y el objeto no es creado.

Ahora vamos a mostrar la creación de un objeto GPIB para un instrumento con índice de tarjeta 0 y dirección primaria 1, con una tarjeta GPIB National Instruments.

```
g1 = gpib ('ni', 0, 1,)
```

Aquí el nombre del objeto es g1, nombre del fabricante es National Instruments, el índice de tarjeta es 0, la dirección primaria es 1, todas las demás propiedades fueron configuradas por default.

Antes de comunicarse con el instrumento, es necesario conectar el objeto con la función `fopen`. Un instrumento conectado tiene en la propiedad de estado un valor de abierto. Se genera un error si se intenta realizar una lectura o escritura a un instrumento si no está conectado al objeto.

No se puede conectar múltiples objetos GPIB al mismo instrumento. Un instrumento GPIB es identificado únicamente por su índice de tarjeta, dirección primaria, dirección secundaria.

Ejemplo:

En este ejemplo vamos a crear un objeto g1 asociado a una tarjeta National Instruments con índice de tarjeta 0, dirección primaria 1, y conectaremos g1 al instrumento.

```
g1 = gpib ('ni', 0, 1);
```

```
fopen(g1);
```

El tipo, nombre, índice de tarjeta y dirección primaria son propiedades automáticamente configuradas.

Para especificar la dirección secundaria de un objeto durante su creación se hace lo siguiente:

```
g2 = gpib ('ni', 0,1,'SecondaryAddress', 96);
```

Ejemplo completo:

```
g=gpib('ni',0,1) ;
```

```
fopen(g) ;
```

```
fprintf(g, '*IDN?') ;
```

```
identificación = fscanf(g) ;
```

```
display(identificación) ;
```

```
fclose(g) ;
```

```
delete(g) ;
```

```
clear g ;
```

En la primer línea se crea el objeto `g` con índice de tarjeta 0 y dirección primaria 1 de fabricante National Instruments, en la segunda se conecta el objeto al instrumento, en la tercera se escribe el comando `*IDN?` en el instrumento para requerirle la

identificación , versión y fabricante, en la cuarta línea se lee la identificación del instrumento y se le asigna a la variable 'identificación' , en las tres últimas líneas se desconecta el objeto g del instrumento , se borra de memoria y se limpia del espacio de trabajo de MATLAB.

III.4 Descripción del Programa

III.4.1 Introducción

En este capítulo se describen los programas implementados en Matlab: Medidor de Figura de Ruido, Parámetros Estáticos Parámetros S. Además de los programas para la medición automática también se diseñaron las interfaces gráficas del usuario(GUIs) esto es para que resulte más fácil de usar, se cuidaron las características de simplicidad , consistencia y familiaridad , para que el usuario con conocimientos en el área, lo pueda utilizar sin necesidad de manuales , los parámetros a introducir se solicitan de manera clara, se organizó de tal forma que cada medición a realizar cuenta con su propia ventana , en donde se solicitan los parámetros para realizar la medición de manera clara, las funciones de los botones también son claras en su definición. Opciones de guardar, leer datos, graficar, son muy sencillos de aplicar.

Para la creación del software se implementó lo que en adelante llamaremos "Técnica de Control Manual". Esta técnica consiste en realizar el algoritmo de programación utilizando la lógica de control manual. Esto es, que se programan las funciones de botones y perillas situadas en el panel frontal del instrumento, y funciones programadas dentro del mismo equipo. Esto es, los equipos controlables vía GPIB

responden igual a un comando que a una tecla, a continuación describiremos un breve ejemplo de un algoritmo, utilizando la técnica de control manual.

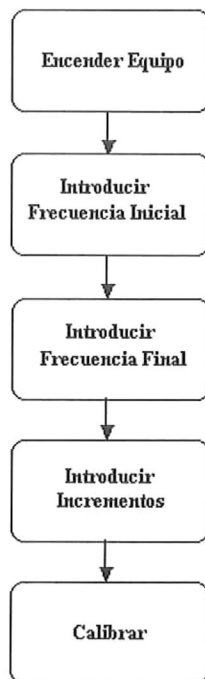


Figura 22. Diagrama a bloques del control manual de un instrumento

En la figura 22 se muestra la secuencia a seguir para realizar una calibración en el medidor de figura de ruido HP8970A aquí se muestra el orden a seguir para presionar las teclas e introducir los parámetros de calibración, lo primero que se hace es presionar la tecla de 'frecuencia inicial' se teclea al frecuencia inicial, se presiona la tecla 'Enter', seguido de la tecla de 'frecuencia final' se teclea la frecuencia final, se presiona la tecla 'Enter' después la tecla de ' incrementos' se introduce el incremento ,se presiona la tecla 'Enter' después se presiona la tecla 'calibrar'. De esta manera hemos seguido los pasos

de una calibración realizada manualmente desde el panel frontal. A continuación presentaremos los mnemónicos que se programarían para realizar lo mismo.

FA10MHZEN

FB1600MHZEN

SS50MHZEN

CA

Este sería el código a escribir en el HP8970A para realizar una calibración en un rango de 10MHz a 1600MHz con incrementos de 50MHz. Estas líneas de código se pueden programar en los lenguajes mostrados en la tabla X.

III.4.2 Programa principal

El programa Principal muestra en la parte superior Una barra de menú en donde se selecciona el tipo de medición que se quiere realizar en primer lugar esta el menú de ruido, seguido de el menú de parámetros estáticos, después el de parámetros dinámicos, el menú de leer datos, graficar datos, guardar datos, y por ultimo el menú de limpiar. En la parte central de la pantalla del programa principal se muestra el logo el cual representa una gráfica de curvas I-V en 3-D y una gráfica de carta de smith, (figura 23).

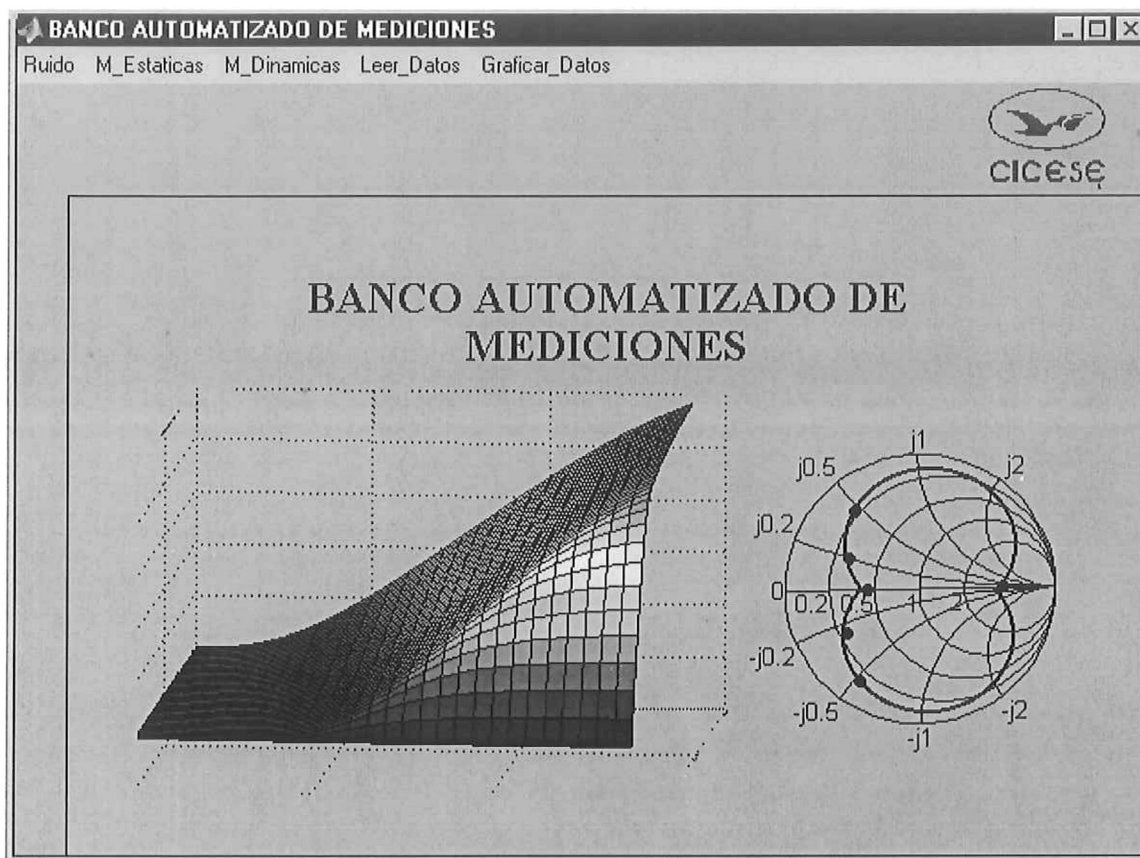


Figura 23. Pantalla del programa Principal

En esta parte de menú se selecciona el programa para la medición de figura de ruido, basta con situarse sobre el y hacer click para ir a la pantalla del programa de figura de ruido, (figura 24) .



Figura 24. Menú para selección de programa de Medición de Ruido

III.4.3 Programa para Medición de Figura de Ruido

En la figura 25 se muestra la pantalla del programa de medidor de figura de ruido, en este programa se controla el medidor de figura de ruido HP 8970A para la medición de figura de ruido en las casillas etiquetadas con los nombres de 'frecuencia inicial' 'frecuencia final' 'incrementos' se introducen los valores para estos parámetros requeridos para realizar la calibración , pudiéndose utilizar estos mismos para realizar mediciones. El botón de 'calibrar' pone en marcha la calibración del equipo , el de 'iniciar barrido' realiza un barrido dentro del rango de calibración , el botón de 'calibrar atenuadores' realiza la función de ordenar al equipo que calibre los atenuadores, el botón de 'graficar' gráfica los datos de figura de ruido y ganancia contra frecuencia, el botón de 'guardar' guarda los datos obtenidos por el medidor de figura de ruido, y finalmente la casilla etiquetada como 'Estatus del programa ' indica que acción realiza el programa.

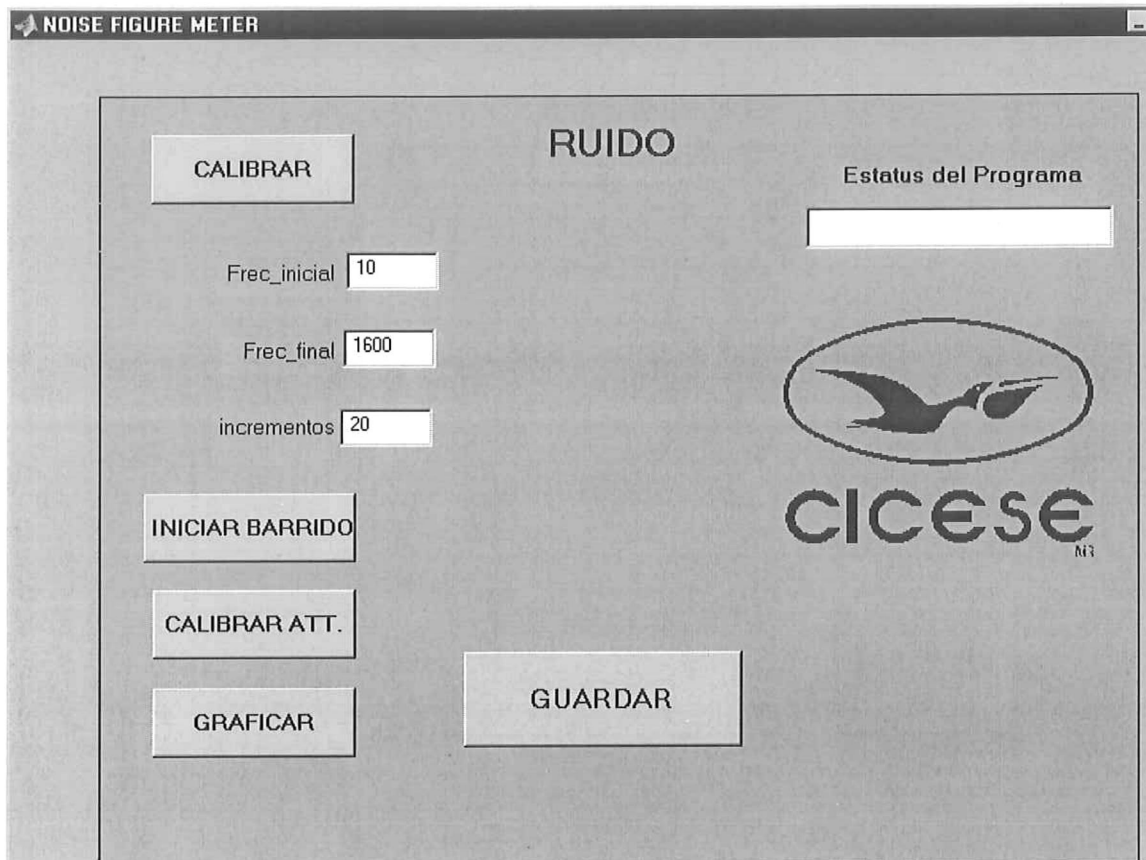


Figura 25. Programa de medición de Figura de Ruido.

III.4.4 Programa para la Medición de Parámetros Estáticos.

En esta parte del menú se muestra la opción para seleccionar el programa de parámetros estáticos, (figura 26) .

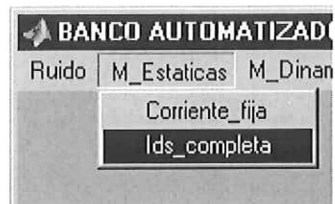


Figura 26. Menú para selección de programa de Medición de Parámetros Estáticos.

En la figura 27 se muestra la pantalla del programa de medición de parámetros estáticos, en este programa se solicita al usuario que introduzca en las casillas etiquetadas con los nombres de 'Vgs_inicial' 'Vgs_final' 'Vgs_Incrementos' los valores para la medición de los parámetros estáticos, de igual forma para las casillas con etiquetas de 'Vds_inicial' 'Vds_final' 'Vds_incrementos', el botón 'Mide_Ids' inicia con el control del equipo que forma el banco de parámetros estáticos, el botón 'Guardar' guarda los datos obtenidos por el equipo, esta opción abre una ventana en la cual se selecciona el directorio o folder para guardarlos datos y también para poner nombre al archivo, el botón 'Graficar' gráfica los datos de Ids vs Vds, cuenta también con una casilla que acompañada de un aviso sonoro da instrucciones para realizar la medición, la casilla con etiqueta 'contador de curvas I-V' indica en que curva se encuentra el programa midiendo, la casilla de nombre 'Estatus del Programa' indica el estado del programa.

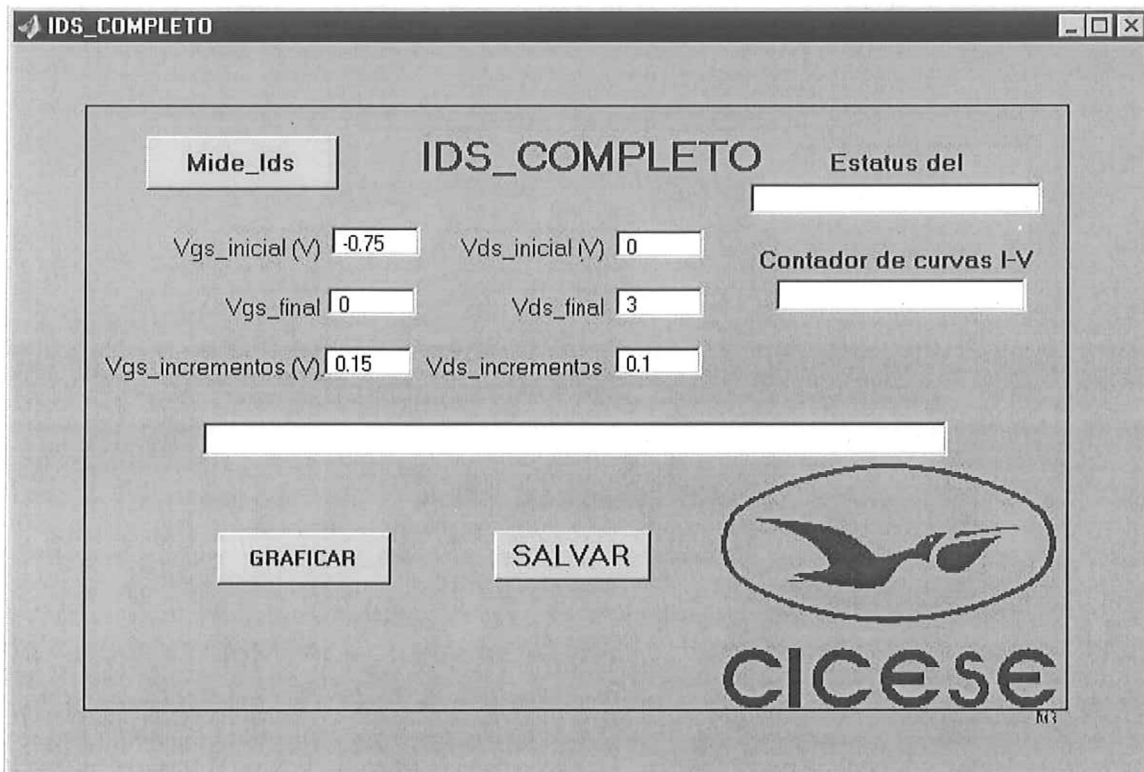


Figura 27. Programa de Medición de Parámetros Estáticos.

III.4.5 Programa para la Medición de Parámetros Dinámicos

En esta parte del menú se muestra la selección del programa para la medición de parámetros dinámicos, basta con situarse sobre la opción y hacer click, para trabajar con el programa de parámetros dinámicos seleccionado (figura 28) .



Figura 28. Menú para la selección de Medición de Parámetros Dinámicos.

En la figura 29 se muestra el programa para la medición de parámetros dinámicos, en este programa se realiza la lectura de parámetros [S] realizada por el analizador de

redes, en la casilla con el nombre de 'Dispositivo' se introduce el nombre del dispositivo que se va a medir, en la casilla con nombre 'Institución' se introduce el nombre de la institución , en la de nombre 'Usuario' el nombre del usuario , en la de 'Fecha' se introduce la fecha de la medición , en las de 'F_inicial' 'F_final' '# de puntos' se introducen los parámetros para realizar la medición con el analizador de redes, estos datos son para identificar la medición cuando esta es guardada, la casilla de 'Estatus de programa' muestra el estado actual del programa, es decir, si esta midiendo, en reposo o si ya termino.

MANUAL

Captura Parametros 'S'

Estatus del Programa

Dispositivo Fet

Institucion Cicese

Usuario Usuario

Fecha 02/07/02

F_inicial (Ghz) .045

F_final (Ghz) 50

de Puntos 401

CICESE

Figura 29 . Programa de Medición de Parámetros Dinámicos.

En esta parte del menú se seleccionan los parámetros para leerlos y procesarlos según sea el caso, al seleccionar cualquiera de los parámetros, aparece una ventana para escoger el archivo previamente guardado para su lectura, figura 30 y 31.

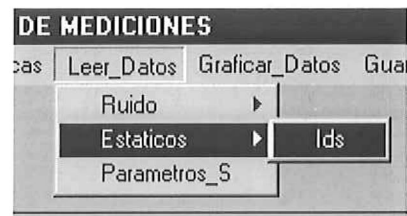


Figura 30. Menú para la lectura de datos.

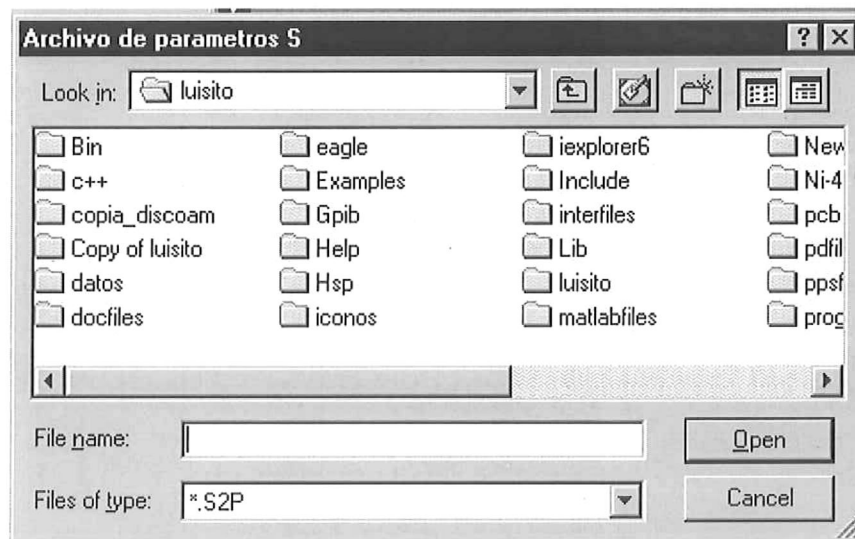


Figura 31. Ventana para selección de Archivo para leer.

En esta parte del menú se selecciona los parámetros que se desean graficar, y el tipo de gráfica deseada, por ejemplo parámetros [S] y se selecciona el tipo de gráfica en este caso es smith, figura 32 .

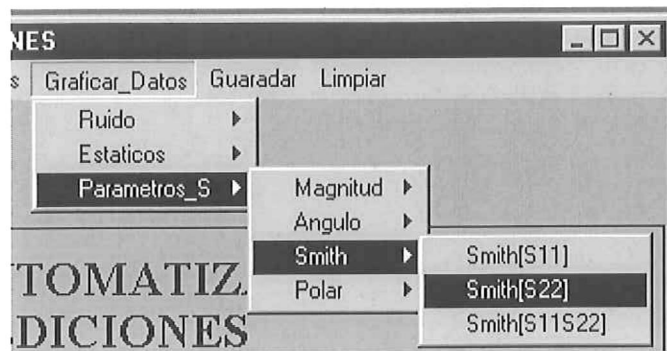


Figura 32. Menú para graficar.

Al seleccionar cualquiera de las opciones aparecerá una ventana en la cual se selecciona la trayectoria y el nombre que se desea dar al archivo, figura 33 .

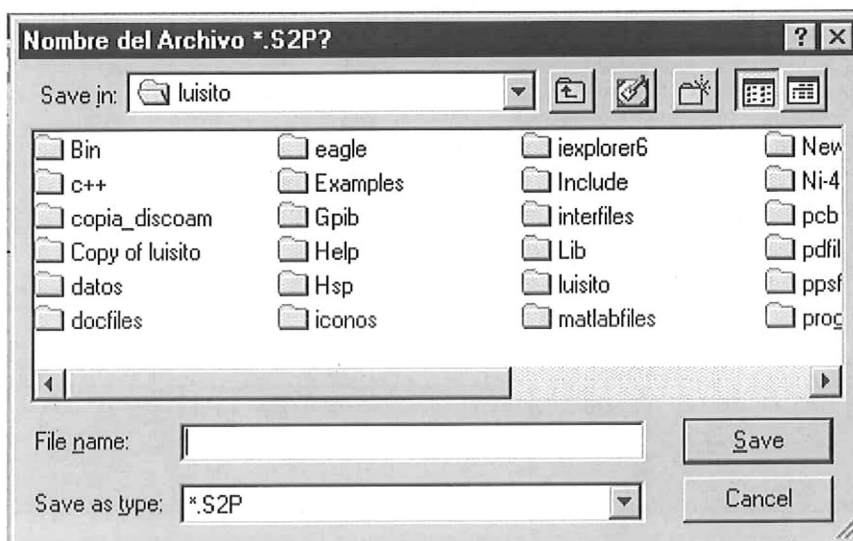


Figura 33. Ventana Para Guardar Archivos.

IV RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL PROGRAMA

IV.1 Introducción

En este capítulo se presentan los resultados de la aplicación del software desarrollado en primer lugar se muestra las gráficas para la medición de figura de ruido de un amplificador ZJL-3G de MINI-CIRCUITS, después se obtienen los parámetros estáticos y dinámicos de diferentes transistores utilizando la maquina de puntas coplanares SUMMIT 9000, el analizador de redes vectorial HP8510C y el banco de parámetros estáticos(CD) , todas las mediciones se realizaron en el laboratorio de microondas del departamento de electrónica y telecomunicaciones de la división de física aplicada en el CICESE, de las mediciones realizadas se obtuvieron gráficas, y archivos de datos que se mostraran a continuación

IV.2.Medición de un amplificador

En esta prueba se utilizo un amplificador ZJL-3G de MINI-CIRCUITS ,a este amplificador se le realiza un barrido de 10MHz a 1600MHz con incrementos de frecuencia de 20MHz,se obtiene un archivo de datos medidos como son la frecuencia, ganancia y figura de ruido, obteniéndose una gráfica y una tabla para los datos de cada punto del barrido(figura 34, tabla 10).

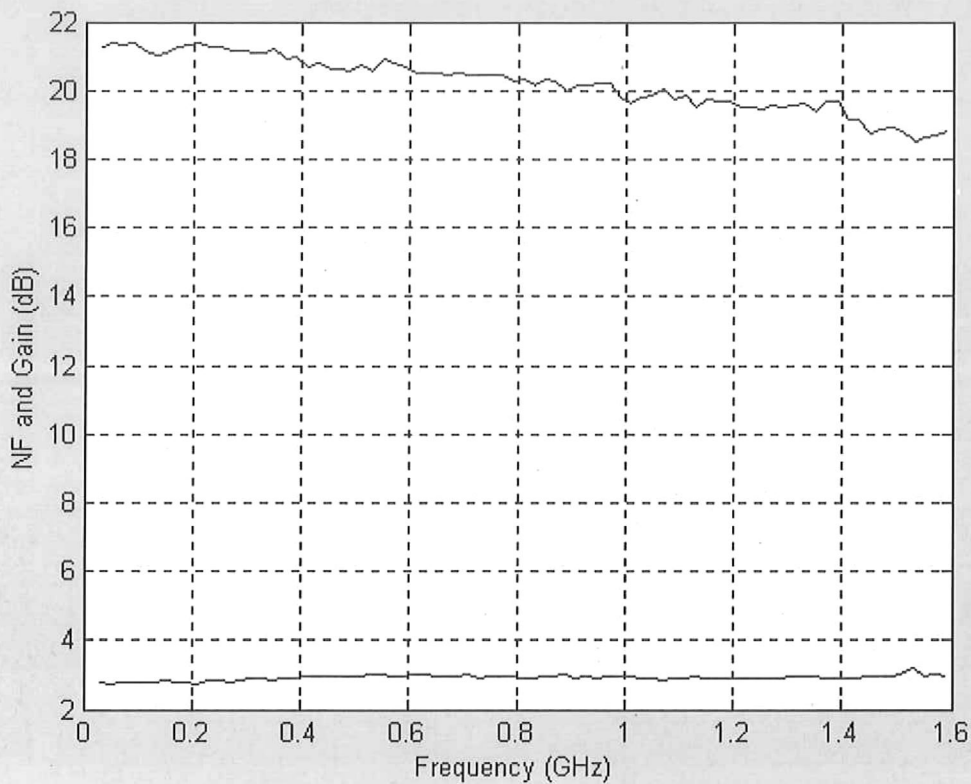


Figura 34 .Gráfica de Ganancia y Figura de Ruido.

3.000000e+007	2.1286000e+001	2.7960000e+000
5.000000e+007	2.1367000e+001	2.7300000e+000
7.000000e+007	2.1344000e+001	2.7690000e+000
9.000000e+007	2.1412000e+001	2.7710000e+000
1.100000e+008	2.1177000e+001	2.7720000e+000
1.300000e+008	2.1057000e+001	2.7740000e+000
1.500000e+008	2.1107000e+001	2.8210000e+000
1.700000e+008	2.1261000e+001	2.7920000e+000
1.900000e+008	2.1339000e+001	2.7820000e+000
2.100000e+008	2.1415000e+001	2.7520000e+000
2.300000e+008	2.1244000e+001	2.8280000e+000
2.500000e+008	2.1260000e+001	2.8560000e+000
2.700000e+008	2.1174000e+001	2.8040000e+000
2.900000e+008	2.1173000e+001	2.8470000e+000
3.100000e+008	2.1086000e+001	2.8850000e+000
3.300000e+008	2.1088000e+001	2.9270000e+000

3.5000000e+008	2.1194000e+001	2.8650000e+000
3.7000000e+008	2.0905000e+001	2.8940000e+000
3.9000000e+008	2.0977000e+001	2.9180000e+000
4.1000000e+008	2.0655000e+001	2.9430000e+000
4.3000000e+008	2.0793000e+001	2.9380000e+000
4.5000000e+008	2.0627000e+001	2.9400000e+000
4.7000000e+008	2.0630000e+001	2.9880000e+000
4.9000000e+008	2.0578000e+001	2.9840000e+000
5.1000000e+008	2.0748000e+001	2.9730000e+000
5.3000000e+008	2.0553000e+001	3.0360000e+000
5.5000000e+008	2.0892000e+001	3.0440000e+000
5.7000000e+008	2.0819000e+001	2.9850000e+000
5.9000000e+008	2.0674000e+001	2.9500000e+000
6.1000000e+008	2.0518000e+001	3.0200000e+000
6.3000000e+008	2.0503000e+001	3.0060000e+000
6.5000000e+008	2.0515000e+001	2.9900000e+000
6.7000000e+008	2.0425000e+001	2.9910000e+000
6.9000000e+008	2.0483000e+001	2.9860000e+000
7.1000000e+008	2.0461000e+001	2.9990000e+000
7.3000000e+008	2.0474000e+001	2.9310000e+000
7.5000000e+008	2.0447000e+001	2.9810000e+000
7.7000000e+008	2.0465000e+001	2.9730000e+000
7.9000000e+008	2.0300000e+001	2.9640000e+000
8.1000000e+008	2.0334000e+001	2.9300000e+000
8.3000000e+008	2.0175000e+001	2.9300000e+000
8.5000000e+008	2.0359000e+001	2.9640000e+000
8.7000000e+008	2.0291000e+001	2.9370000e+000
8.9000000e+008	1.9996000e+001	2.9970000e+000
9.1000000e+008	2.0129000e+001	2.9260000e+000
9.3000000e+008	2.0152000e+001	2.9470000e+000
9.5000000e+008	2.0231000e+001	2.8790000e+000
9.7000000e+008	2.0209000e+001	2.9390000e+000
9.9000000e+008	1.9820000e+001	2.9770000e+000
1.0100000e+009	1.9639000e+001	2.9540000e+000
1.0300000e+009	1.9811000e+001	2.9280000e+000
1.0500000e+009	1.9843000e+001	2.8850000e+000
1.0700000e+009	2.0035000e+001	2.8320000e+000
1.0900000e+009	1.9754000e+001	2.9010000e+000
1.1100000e+009	1.9872000e+001	2.8790000e+000

1.1300000e+009	1.9488000e+001	2.9360000e+000
1.1500000e+009	1.9731000e+001	2.9030000e+000
1.1700000e+009	1.9687000e+001	2.9320000e+000
1.1900000e+009	1.9718000e+001	2.8890000e+000
1.2100000e+009	1.9497000e+001	2.8830000e+000
1.2300000e+009	1.9503000e+001	2.8950000e+000
1.2500000e+009	1.9453000e+001	2.9240000e+000
1.2700000e+009	1.9576000e+001	2.8960000e+000
1.2900000e+009	1.9532000e+001	2.9140000e+000
1.3100000e+009	1.9551000e+001	2.9410000e+000
1.3300000e+009	1.9606000e+001	2.9690000e+000
1.3500000e+009	1.9370000e+001	2.9820000e+000
1.3700000e+009	1.9666000e+001	2.9130000e+000
1.3900000e+009	1.9666000e+001	2.8880000e+000
1.4100000e+009	1.9160000e+001	2.9130000e+000
1.4300000e+009	1.9183000e+001	2.8890000e+000
1.4500000e+009	1.8746000e+001	2.9730000e+000
1.4700000e+009	1.8882000e+001	2.9910000e+000
1.4900000e+009	1.8953000e+001	2.9710000e+000
1.5100000e+009	1.8798000e+001	3.0250000e+000
1.5300000e+009	1.8539000e+001	3.1860000e+000
1.5500000e+009	1.8629000e+001	2.9900000e+000
1.5700000e+009	1.8719000e+001	3.0080000e+000
1.5900000e+009	1.8811000e+001	2.9830000e+000

Tabla 10. Datos Medidos Con el Programa de Figura de Ruido.

IV.3 Medición de un transistor

En esta prueba se utilizo un transistor de la marca Fujitsu el FT20X como el mostrado en la figura 35 , El cual fue colocado en la maquina de puntas coplanares SUMMIT 9000 y utilizando el banco de parámetros estáticos y el analizador de redes vectorial HP 8510C se obtuvieron los siguientes resultados:

En la figura 36 se muestra la gráfica de curvas I-V obtenidas con el banco de parámetros estáticos y la computadora por medio de la tarjeta GP-IB .

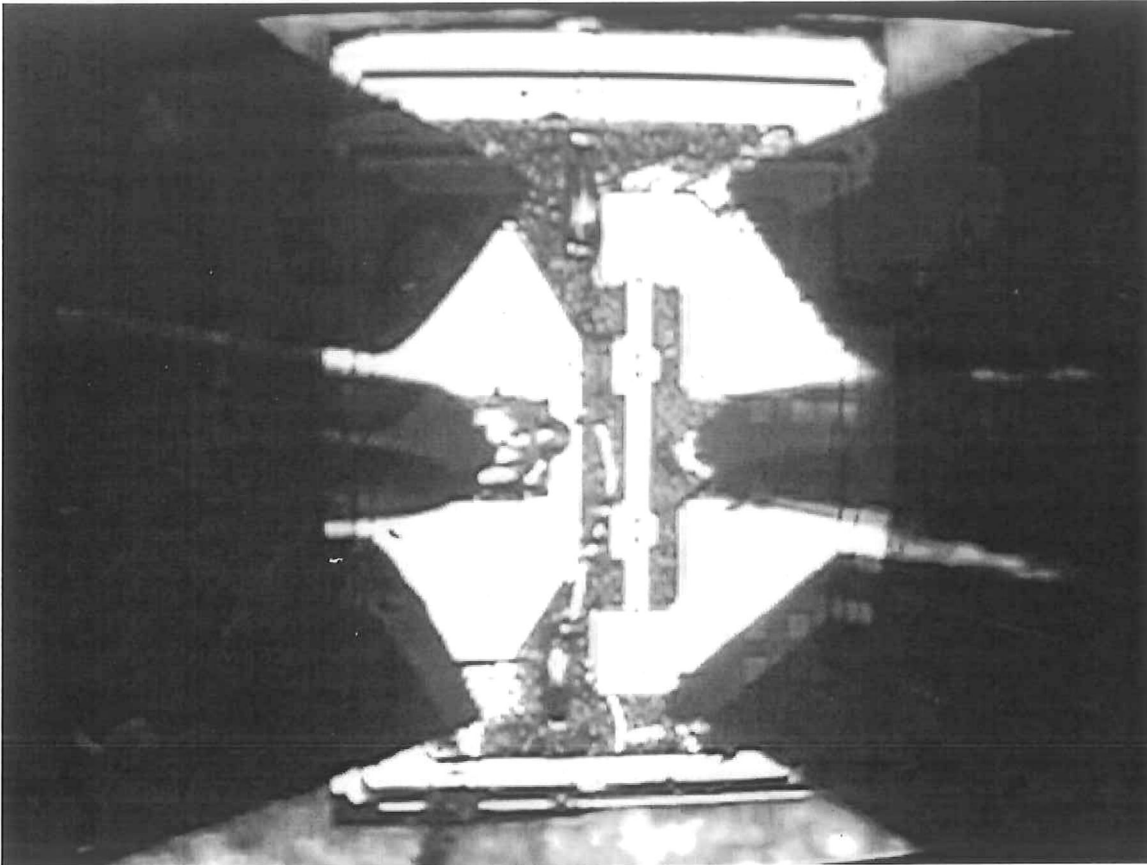


Figura 35. Transistor colocado en la maquina de puntas(vista de microscopio)

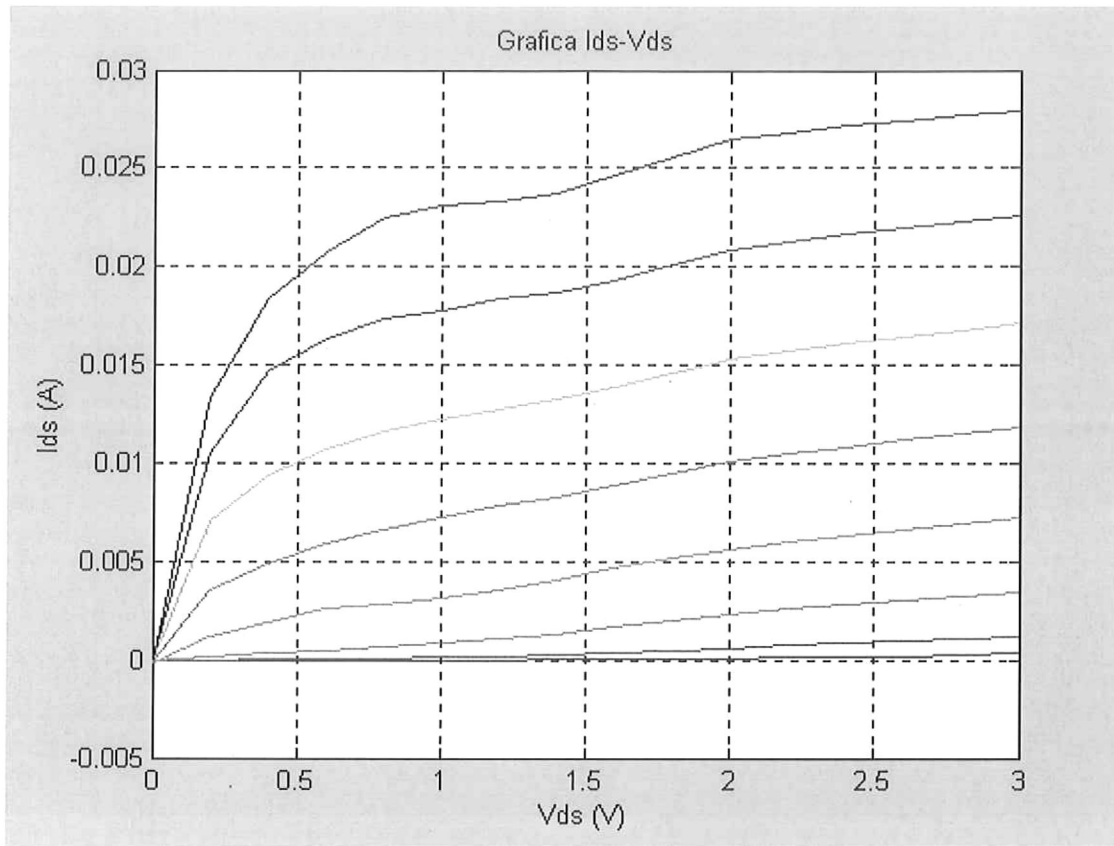


Figura 36. Gráfica de I_{ds} vs V_{ds} .

En la figura 37 se muestra la magnitud de los parámetros [S] estas gráficas se obtienen mediante el programa realizado y el analizador de redes , aquí se pueden ver los cuatro parámetros en una sola figura.

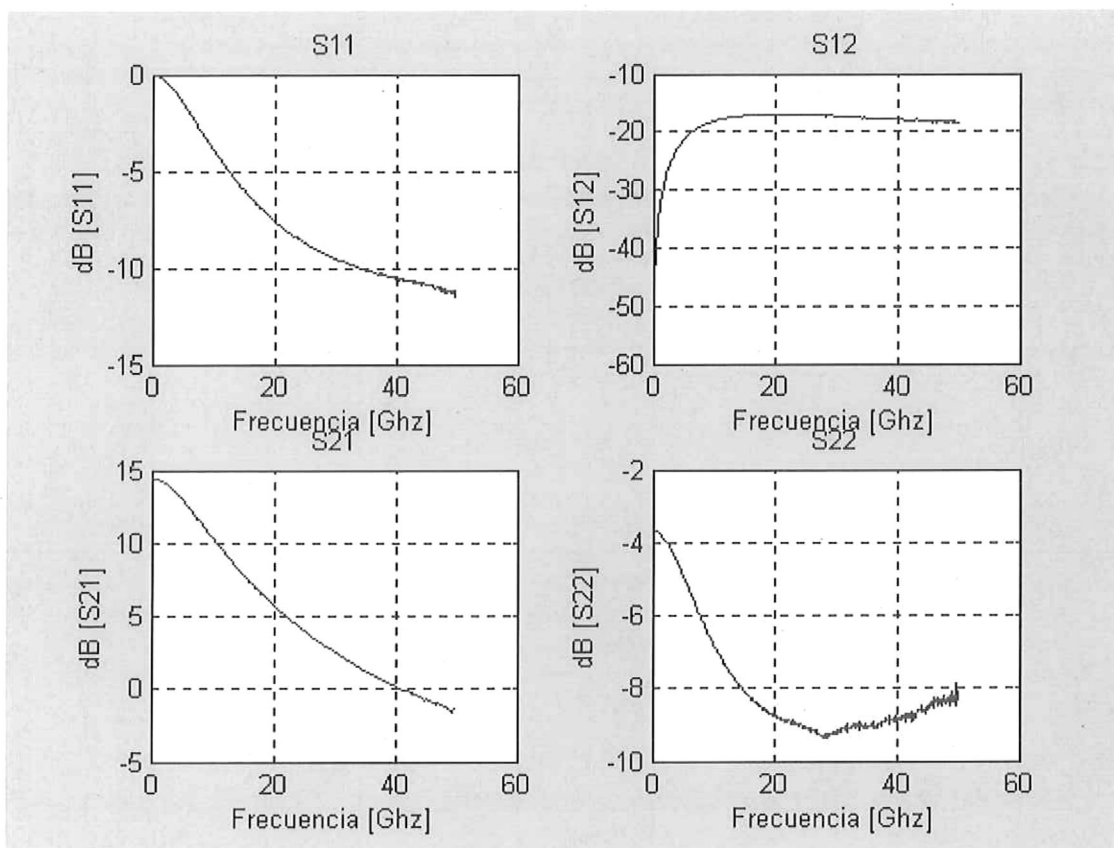


Figura 37 . Gráfica de Magnitud de los cuatro Parámetros [S].

La figura 38 muestra la fase de los cuatro parámetros [S].

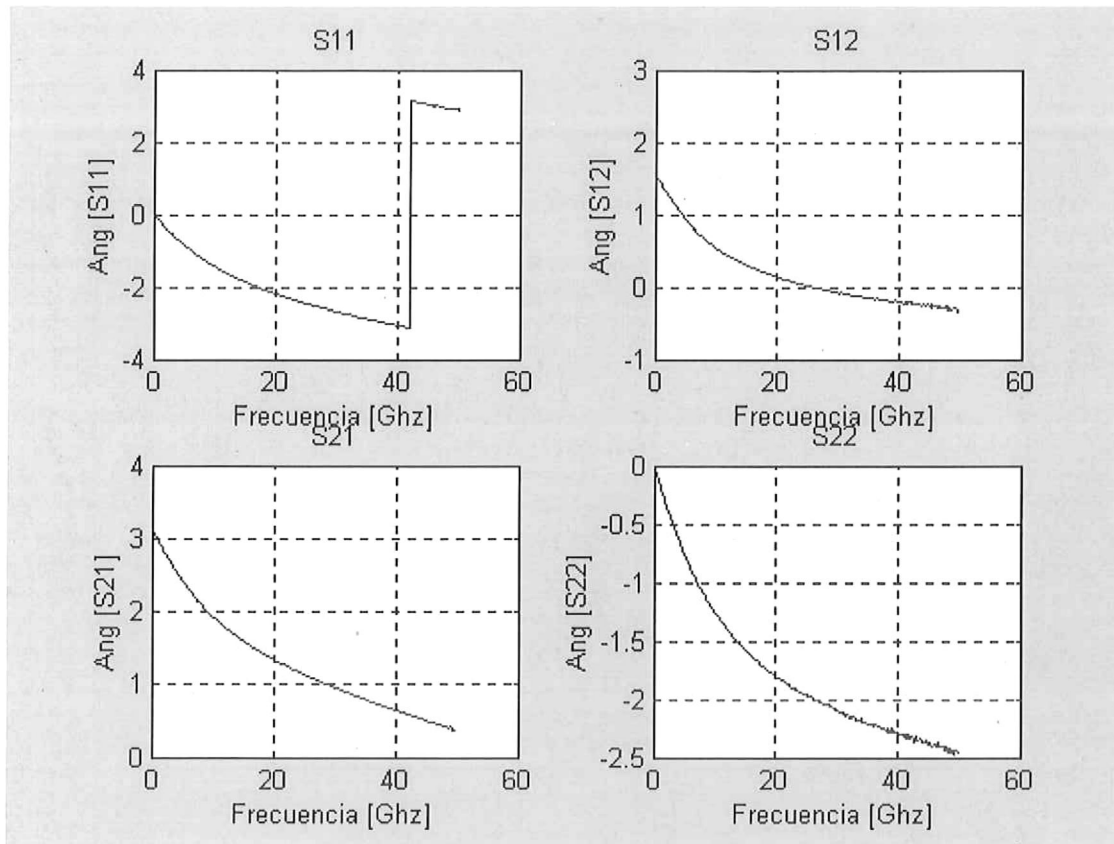


Figura 38 .Gráfica de la fase de los Parámetros [S].

En la figura 39 se muestra en carta de Smith a S_{11} y S_{22} , que también fueron obtenidos mediante el programa, la computadora y la tarjeta GP-IB.

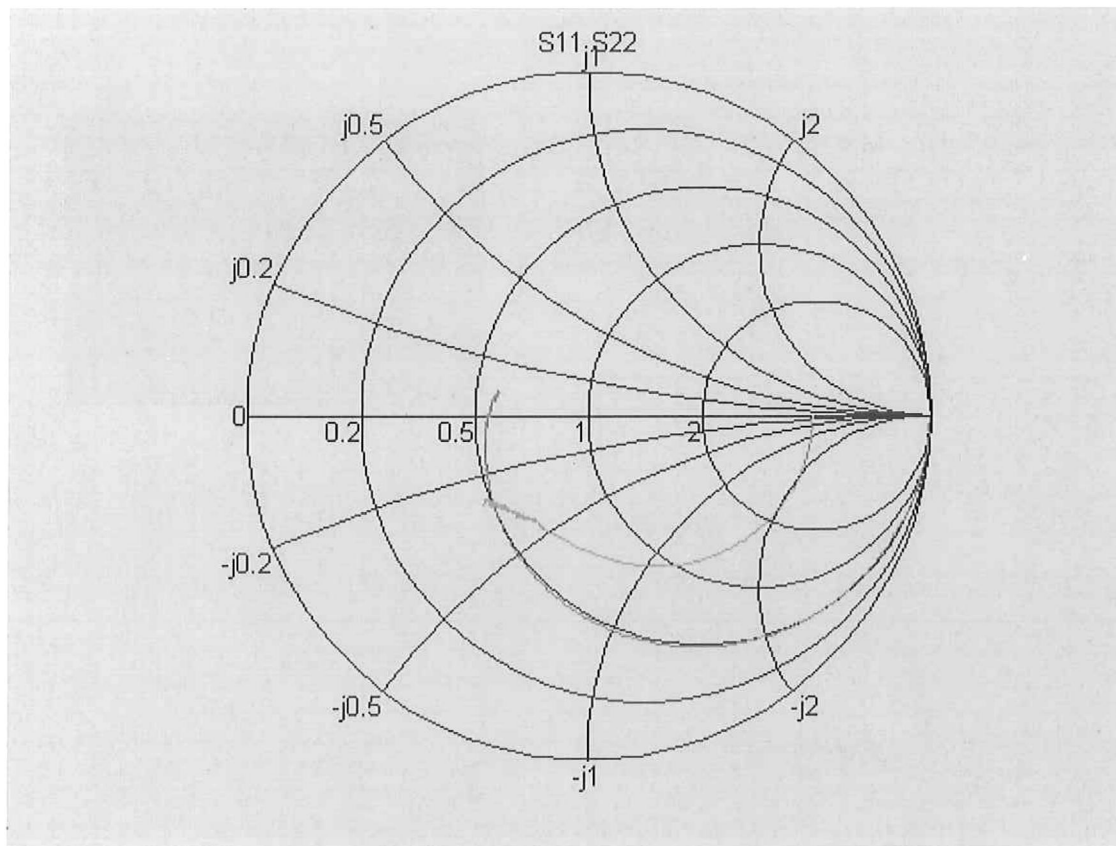


Figura 39 . Parámetros S_{11} y S_{22} en Carta de Smith

La figura 40 muestra en gráfica polar a S12 y S21.

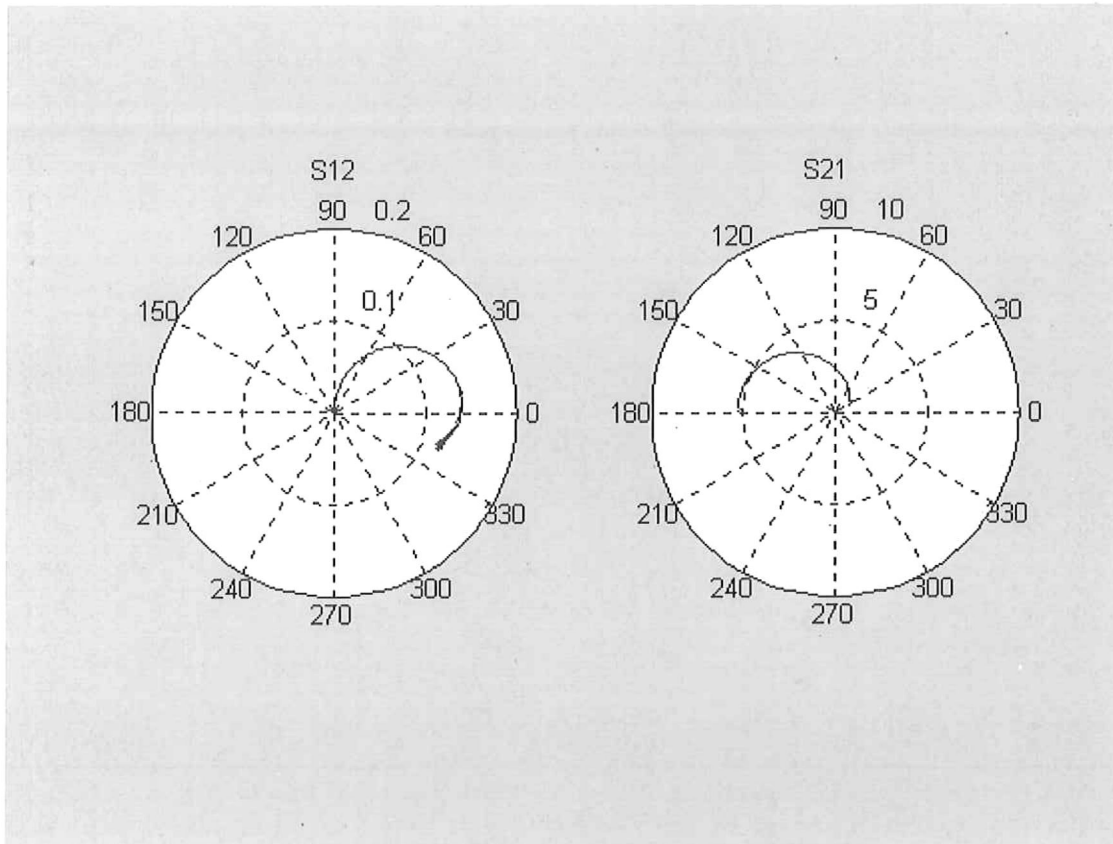


Figura 40. Gráfica Polar de S12 y S21 .

A continuación en la tabla 11 se presentan los primeros 10 datos de una medición de 401 puntos, solo para mostrar el formato con el que se guardan los datos leídos con el analizador de redes.

! DEVICE	K1032
! INSTITUTION	Cicese
! USER	Luis

! DATE	02/07/02
! Vds[V]=	
! Vgs[V]=	
! Ids[V]=	
! Freq ReS11 ImS11 ReS21 ImS21 ReS12 ImS12 ReS22 ImS22	
# GHZ S RI R 50	
0.0450	0.9995 -0.0064 -5.2417 0.0305 -0.0008 0.0011 0.6579 -0.0055
0.1699	0.9918 -0.0371 -5.1846 0.1440 0.0002 0.0035 0.6530 -0.0223
0.2948	0.9954 -0.0538 -5.2959 0.2593 0.0002 0.0060 0.6559 -0.0307
0.4197	0.9920 -0.0760 -5.2507 0.3611 0.0007 0.0085 0.6531 -0.0445
0.5445	0.9895 -0.0992 -5.1975 0.4639 0.0010 0.0111 0.6517 -0.0585
0.6694	0.9850 -0.1212 -5.2346 0.5764 0.0015 0.0135 0.6495 -0.0712
0.7943	0.9807 -0.1432 -5.2236 0.6729 0.0019 0.0160 0.6471 -0.0850
0.9192	0.9751 -0.1633 -5.1426 0.7617 0.0027 0.0184 0.6451 -0.0971
1.0441	0.9692 -0.1857 -5.1482 0.8630 0.0032 0.0207 0.6419 -0.1100
1.1690	0.9628 -0.2075 -5.1501 0.9707 0.0040 0.0231 0.6382 -0.1227
1.2939	0.9562 -0.2276 -5.1021 1.0649 0.0049 0.0253 0.6342 -0.1349

Tabla 11. Datos leídos en formato S2P.

V CONCLUSIONES

En el presente trabajo de tesis se investigo y documento las diferentes formas de controlar equipo mediante el ducto GP-IB, se realizaron pruebas con diferentes lenguajes de programación, se eligió el lenguaje Matlab por su facilidad de programar y la opción de generar interfaces gráficas para un mejor manejo de programas, aunado a esto Matlab cuenta con un compilador que es capaz de convertir el código escrito en Matlab a código C , también tiene la prestación de convertir funciones escritas en Matlab en programas ejecutables, en este trabajo se desarrollo un programa para el control de los diferentes equipos con que cuenta el laboratorio de microondas para la caracterización de dispositivos de microondas, haciendo esta labor mas fácil y rápida ya que el programa cuenta con la opción de capturar datos y procesarlos en el mismo ambiente Matlab, que gran parte del procesamiento que se le da a los datos obtenidos es en Matlab. La clave para el desarrollo del programa fue el nuevo tool box de control de instrumentos con el que cuenta Matlab en su versión 6.1R12. En este trabajo se comprobó que Automatizando se reducen tiempos de medición se mejoran los resultados obtenidos en las mediciones, en conclusión se simplifica el proceso de medición.

REFERENCIAS

1. Anón, "Network Analyzer HP8510", Hewlett Packard Network Analyzer System Manual (1991), p.p. 1-1 a 10-5.
2. G.F. Engen and C.A. Hoer, "Thru-Reflect-Line: an improved technique for calibration the dual six-port Automatic Network Analyzer", IEEE MTT **27**, (12), 987-993, (1979).
3. D. Rytting, "An analysis of vector measurement accuracy enhancement techniques", HP RF & Microwave Symp. 21pp, 1982.
4. "Fundamentals of RF and Microwave Noise Figure Measurements," Hewlett-Packard Application Note 57-1, Palo Alto, CA, July, 1983.
5. Medina M. J. L., "Caracterización de dispositivos y Componentes de microondas", Notas de curso CICESE, ene-abr. 2001.
6. Pradell, L. "Determination of transistor noise parameters from noise figure and s-parameter Measurements," Microwave Engineering Europe, January/February, 1991, pp. 37 - 43.
7. Chong, "Understand noise-figure measurements," Microwave & RF, February, 1994, pp. 91 - 96.
8. Kuhn, J. Nicholas. "Curing a subtle but significant cause of Noise Figure error," Microwave Journal, June 1984, pp. 85-98.
9. Adamian, Vahe'. "Verification of the noise parameter instrumentation," 49th ARFTG Conference Digest, Spring 1997, pp. 181 - 190.
10. Anón, "Noise Measurements using the computer controlled microwave tuner (CCMT) System." Focus Microwave Inc. Application Note 1-90. Quebec, Canada.
11. Anón, "Specifications of the HP8510C Network Analyzer from 45 to 110 MHz", Hewlett Packard 5091-8484E, 28pp, 1999.
12. Anón, "Summit 9000 Analytical Probe Station", Cascade Microtech Instruction Manual (1992), p.p. 4-1 a 4-33.
13. Robert Soares, Jaques Graffeuil, Juan Obregón, "Applications off G_aA_s MESFETs", Artech House Inc. (1983), p.p. 554
14. "Applications and operation of the 8970A Noise Figure Meter" Hewlett Packard p.p 47

15. The MathWorks, Inc. "Instrument Control Toolbox For Use with MATLAB"
First printing November 2000 Second printing June 2001 p.p 400

16. Inzunza Gozález E. 2001 'desarrollo de un software educativo para calibrar analizador de redes, utilizando técnicas de calibración LRL(m) multilineas y LRM modificado'. CICESE ,Div. De Fisica Aplicada,DET, Tesis de Maestría.

APENDICE 1

RESUMEN DE COMANDOS DE MATLAB UTILIZADOS EN EL PROGRAMA

fopen conecta un objeto instrumento a un instrumento

Sintaxis

fopen(objeto)

Argumento

objeto es un objeto instrumento o una matriz de objetos instrumentos

Descripción

fopen (objeto) conecta el objeto al instrumento

fclose desconecta el objeto instrumento del instrumento

Sintaxis

fclose (objeto)

Argumento

objeto es un objeto instrumento o una matriz de objetos instrumentos

Descripción

fclose (objeto) desconecta el objeto del instrumento

fscanf lee datos del instrumento, con formato texto

Sintaxis

A = fscanf(objeto)

A = fscanf(objeto, 'formato')

A = fscanf(objeto, 'formato', tamaño)

[A, count] = fscanf(...)

[A, count, msg] = fscanf(...)

Argumento

objeto es un objeto instrumento

'formato' conversion a lenguaje C especificado

tamaño el numero de valores a leer

A son los datos leidos del instrumento en formato texto

count el numero de valores leidos

msg un mensaje indicando si la operación de lectura no ha

terminado

Descripción

A = fscanf(objeto) lee los datos del instrumento conectado al objeto y se los asigna a A. Los datos son convertidos a texto usando el formato %c.

fprintf escribe texto en el instrumento

Sintaxis

fprintf (objeto, 'comando')

fprintf (objeto, 'formato', 'comando')

fprintf (objeto, 'comando', 'modo')

fprintf (objeto, 'formato', 'comando', 'modo')

Argumento

objeto es un objeto instrumento

comando es la cadena escrita al instrumento

formato es la conversión especificada en lenguaje C

modo especifica como son escritos los datos, de modo

sincrono o asincrono

Descripción

fprintf(objeto, 'comando') escribe la cadena del comando al instrumento conectado al objeto. El formato por default es %s/n. La operación de escritura es sincrónica y se bloquea el comando de línea hasta que la ejecución es completada.

clear remueve los objetos de instrumento del espacio de trabajo de MATLAB

Sintaxis

clear(objeto)

Argumento

es un objeto instrumento o una matriz de objetos instrumentos

Descripción

clear(objeto) remueve el objeto del espacio de trabajo de MATLAB

delete remueve el instrumento objeto de la memoria

Sintaxis

delete(objeto)

Argumento

es un objeto instrumento o una matriz de objetos instrumentos

Descripción

delete(objeto) remueve el objeto de la memoria

APENDICE 2

EQUIPO Y METODOS

- Analizador de Redes HP8510C (45MHz -50 GHz).
- Medidor de Ruido HP8970A.
- Generadores de ruido HP342B (.01-18GHz), y HP346C optK01 (.01-50GHz).
- Sintetizador de RF HP83620A (10MHz-20 GHz).
- Estación de prueba analítica para obleas Cascade microtech SUMMIT 9000.
- Cámara criogénica de 10 a 300 grados kelvin y de DC a 40 GHz.
- Puntas coplanares Picoprobe 50A-GSG-50P, 50A-GSG-100P y 50A-GSG-150P para 50GHz.
- Kit's de calibración coaxial (SOLT, TRL and LRM): 3.5mm HP85052C (45MHz-26.5GHz), 2.4mm HP85056D (45MHz-50GHz).
- Kit de calibración coplanar LRM ISS(G-S-G) PN101190
- Controlador de sintonizador Maury microwave Mod MT986A
- Sintonizador y controlador Automático Maury MT983A (4-26.5GHz) y Mod MT986A.
- Tees de polarización, atenuadores, filtros, aisladores, transiciones, conectores y cables de varias marcas (SMA, 3.5mm, 2.4mm).
- Fuentes de alimentación BK m1601, HP6255A.0-50v, 2A
- Fuentes de alimentación dual HP6205C (0-40v/.3A y 0-20V/.6A) y HP6255A (0-40V/ 1.5A).
- Multímetros digitales Fluke 8840, Fluke 8010A.y Tektronix DM5120
- Generador de Funciones Programable Tektronix AFG5101

- Fuentes de alimentación de precisión Tektronix PS5004 y PS5010.
- Microcomputadora PENTIUM.
- Tarjeta

GPIB National Instruments