



INADE

**Instituto Nacional de Astrofísica
Óptica y Electrónica**

LABORATORIO DE MICROELECTRÓNICA

REPORTE TÉCNICO

**MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA
C-V DE ALTA Y BAJA FRECUENCIA
(SIMULTANEO)**

**Realizado por:
RUBEN RAMOS LOPEZ (AGC)
Y JOSÉ ALBERTO LUNA LÓPEZ (Estudiante Doctoral).**

Revisado por: DR. MARIANO ACEVES MIJARES.

Tonantzintla, Puebla 2003.



INDICE

I.- INTRODUCCION

II.-REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

II.1.- REQUERIMIENTOS DE HARDWARE

II.2.- REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE

III.- TARJETA GPIB IEEE-488

III.1.- LA TARJETA GPIB IEEE-488 PARA PC.

III.2.- DIRECCIONES EN EL BUS

IV.- ACOPLADOR DE ENTRADA REMOTA

IV.1.- CARACTERISTICAS

IV.2.- CONEXIONES DE ENTRADA Y SALIDA

V.- INTEGRACIÓN FÍSICA DEL SISTEMA

V.1.- PARTES DEL SISTEMA

V.2.- SISTEMA DE CONEXIONES

V.3.- PROCEDIMIENTO DE CONEXIÓN

V.4.- CONEXIONES DEL BUS IEEE-488

VI.- MONTAJE DEL ACOPLADOR REMOTO

VI.1.- ACOPLADOR REMOTO

VI.2.-SECUENCIA DE MEDICIÓN

VII.- PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

VII.1.- ACOPLADOR DE ENTRADA REMOTA

VII.2.- C-V CUASIESTATICO

VII.3.- C-V DE ALTA FRECUENCIA

VII.4.- C-V SIMULTANEOS

VIII.- SISTEMA AUTOMÁTICO DE CURVAS CV SIMULTANEAS

VIII.1.- INTERFACE DE USUARIO

IX.- PRUEBAS Y CONCLUSIONES

X.- REFERENCIAS

I.-INTRODUCCION

Este trabajo presenta el diseño de un sistema que permite la caracterización de dispositivos semiconductores (como diodos bipolares y capacitores MOS) a partir de la captura de curvas capacitancia contra voltaje (curvas CV a alta^[4] y baja^[3] frecuencia).

Para tal propósito se necesita introducir un nuevo dispositivo electrónico que permita transparencia en el funcionamiento de los dos dispositivos de medida, este nuevo dispositivo es el acoplador remoto^[7], dado que no se contaba con la documentación al respecto se procedió a conseguirla, una parte de esta la proporciono el CINVESTAV, en donde también se checo su funcionamiento, la diferencia es que ahí funciona bajo el sistema operativo MSDOS, y el sistema que se creo corre bajo otro sistema operativo que es Windows.

También se tuvo que conseguir todos los tipos de cables usados para conectar el sistema completo y los diagramas de conexión.

El programa siguió el mismo esquema que el de los dos anteriores, para CV Alta Frecuencia y CV Baja Frecuencia, solo que ahora hay que programas los dos dispositivos de medida y sincronizarlos adecuadamente para no perder los datos medidos. Se presenta un ejemplo de cómo funciona el sistema y se proporciona toda la información de conexión del equipo integrado.

II.- REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Este sistema controla la operación de los instrumentos mediante un sistema de computo, realizando mediciones simultaneas de C-V cuasiestática y alta frecuencia en semiconductores. El sistema incluye un Analizador C-V para mediciones de alta frecuencia Modelo 590, un medidor cuasiestático C-V Modelo 595, un acoplador de entrada remota Modelo 5951 y los respectivos conectores para el equipo. Todo este equipo es de la marca Keithley.

Para el sistema de computo utilizamos una computadora compatible con Windows 98 en adelante, disco duro de 10 Gb. en adelante, para la comunicación con los demás instrumentos se utiliza una interfaz GPIB-IEEE-488. La operación del sistema se realiza mediante Windows y un compilador en programación C⁺⁺, con la codificación requerida para la interfaz GPIB.

II.1.- REQUERIMIENTOS DE HARDWARE

- Computadora Pentium o posterior (II, III, IV)
- Memoria mínima RAM de 128Mb
- Disco duro mínimo de 10Gb
- Monitor VGA o SVGA
- Interfase GPIB IEEE 488.\

II.2.-REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE

-Sistema operativo Windows 95, 98, NT, 2000.

-BorlandC++ 4.5

-Drivers para la interfase IEEE-CPP.

III. Tarjeta GPIB IEEE-488

III.1 LA TARJETA GPIB IEEE-488 PARA PC.

En 1975, la norma IEEE-488 fue adoptada, a propuesta de Hewlett-Packard, como un estándar para el control de equipo de instrumentación. Esta norma define las especificaciones eléctricas, así como los cables, conectores, protocolo de control y mensajes requeridos dentro del *bus* de interfaz de propósito general (GPIB por sus siglas en inglés), para permitir la transferencia de información entre los distintos dispositivos.

Keithley ha desarrollado una variedad de tarjetas insertables en las ranuras de los buses más populares de PC's (ISA, EISA, MicroCanal, PCMCIA y PCI) con el fin de extender la normatividad del GPIB en las distintas plataformas de computadoras existentes^[2].

Juntamente con la tarjeta, el fabricante incluye una serie de librerías software para permitir al desarrollador crear programas que hagan uso del GPIB; estas librerías pueden ser ligadas en prácticamente cualquier compilador de C/C++, Pascal o BASIC para crear aplicaciones en plataformas DOS o Windows 3.x/95^[1]. El modelo de tarjeta usado en el desarrollo del sistema fue el MetraByte KPC-488.2AT para *bus* EISA.

III.2 DIRECCIONES EN EL BUS

Según la norma IEEE-488, uno de los dispositivos conectados al *bus* debe hacer las veces de un moderador para el correcto flujo de información entre el resto de los instrumentos en el GPIB. Este dispositivo moderador es llamado el sistema controlador y determina cual instrumento puede enviar datos por el *bus* ("hablar"), y cual o cuales recibirán esta información ("escuchar"). Así mismo, el sistema controlador puede "invitar" a otro dispositivo a ocupar el lugar de moderador en el *bus* (controlador activo)^[2]. Como en los casos anteriores para el sistema automático de alta y baja frecuencia se consideran los mismos comandos de programación.

IV.- ACOPLADOR DE ENTRADA REMOTA

IV.1 CARACTERISTICAS

El modelo 5951 Acoplador Remoto^[7] e la conexión simultanea entre los instrumentos de medida, los modelos 590 y 595. La unidad no solo simplifica el sistema de conexiones, sino también contiene los circuitos necesarios para asegurar la interacción mínima entre el medidor de baja frecuencia hecho por el modelo 595, y el medidor de alta frecuencia hecho por el modelo 590.

IV.2.- CONEXIONES DE ENTRADA Y SALIDA

El panel frontal y posterior del modelo 5951 se muestran en las figuras 1 y 2 respectivamente

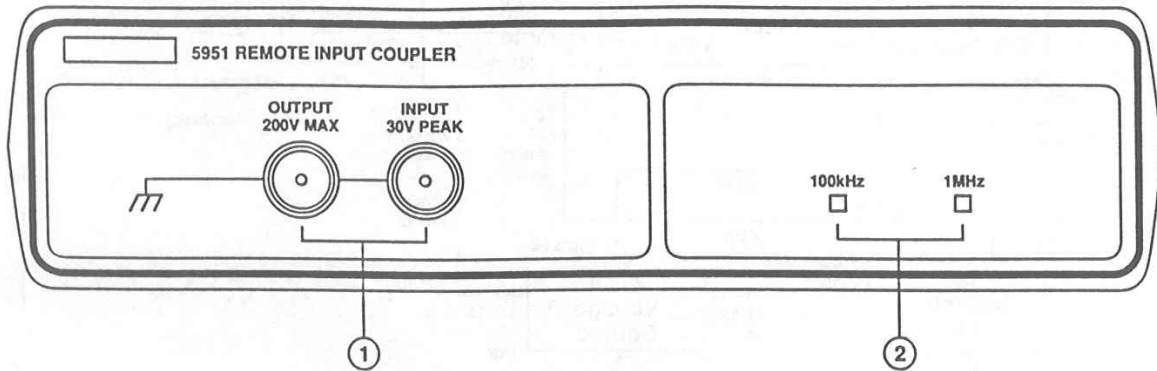


Figura 1. Panel Frontal modelo 5951

El panel frontal incluye conectores de entrada y salida para conectar al dispositivo bajo prueba, también tiene un indicador que muestra la frecuencia de prueba (100kHz o 1MHz) para medidas de alta frecuencia, como se indica a continuación:

- ① OUTPUT y INPUT ---Conectores BNC para conectar el modelo 5951 y el dispositivo bajo prueba.
- ② Indicador de frecuencia (100kHz y 1MHz) ---Muestra la frecuencia de prueba seleccionada para medidas de C-V en alta frecuencia.

ADVERTENCIA: El máximo voltaje entre el blindaje externo del BNC y la tierra física es 30V RMS. El máximo voltaje OUTPUT es de 200V; el máximo voltaje INPUT es 30V. Si se excede estos valores se puede crear un choque peligroso.

El panel posterior incluye un poste al chasis para la tierra, conectores BNC para conectar a los modelos 590 y 595, y algunos otros como se indica abajo:

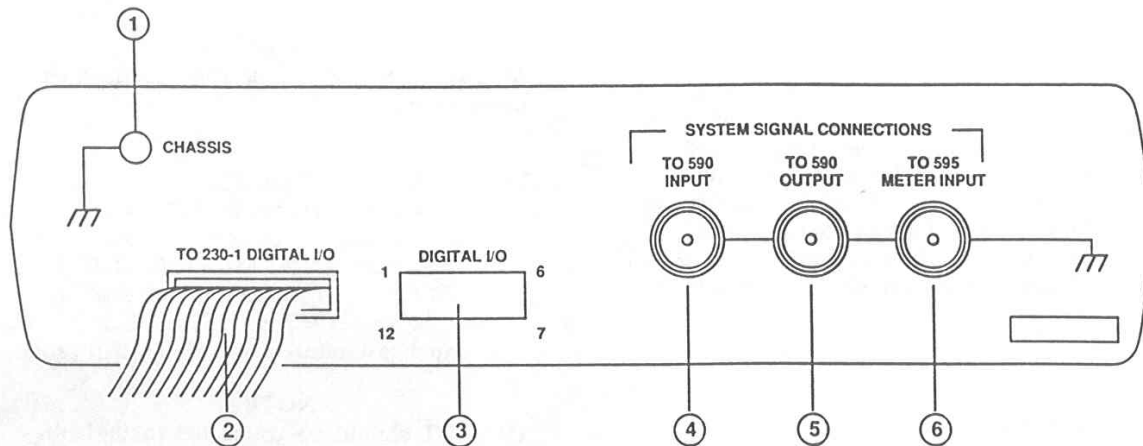


Figura 2. Panel posterior del modelo 5951

① CHASSIS poste integrado ---Provee una conexión conveniente al chasis de tierra del modelo 5951.

ADVERTENCIA: La conexión CHASIS a tierra física evita un posible choque peligroso. Usar #16 AWG o alambre mas grande.

② Cable plano ---Conecta al modelo 230-1 puerto digital I/O para swichear la frecuencia del acoplador remoto.

③ DIGITAL I/O ---Pasa a través del puerto digital I/O del modelo 230-1 para controlar y sensar de otros componentes (por ejemplo control de luz, etc.)

④ TO 590 INPUT ---Conecta al modelo 590 al conector INPUT en el panel frontal del instrumento.

⑤ TO 590 OUTPUT --- Conecta al modelo 590 al conector OUTPUT en el panel frontal del instrumento

⑥ TO 595 METER INPUT ---Conecta al modelo 595 al conector METER INPUT en la parte posterior del instrumento.

ADVERTENCIA: EL máximo voltaje en el blindaje exterior del BNC y tierra física es 30V RMS.

V.- INTEGRACIÓN FÍSICA DEL SISTEMA

V.1.- PARTES DEL SISTEMA

A continuación se muestra el diagrama a bloques del sistema figura 3. La función de cada instrumento es el siguiente:

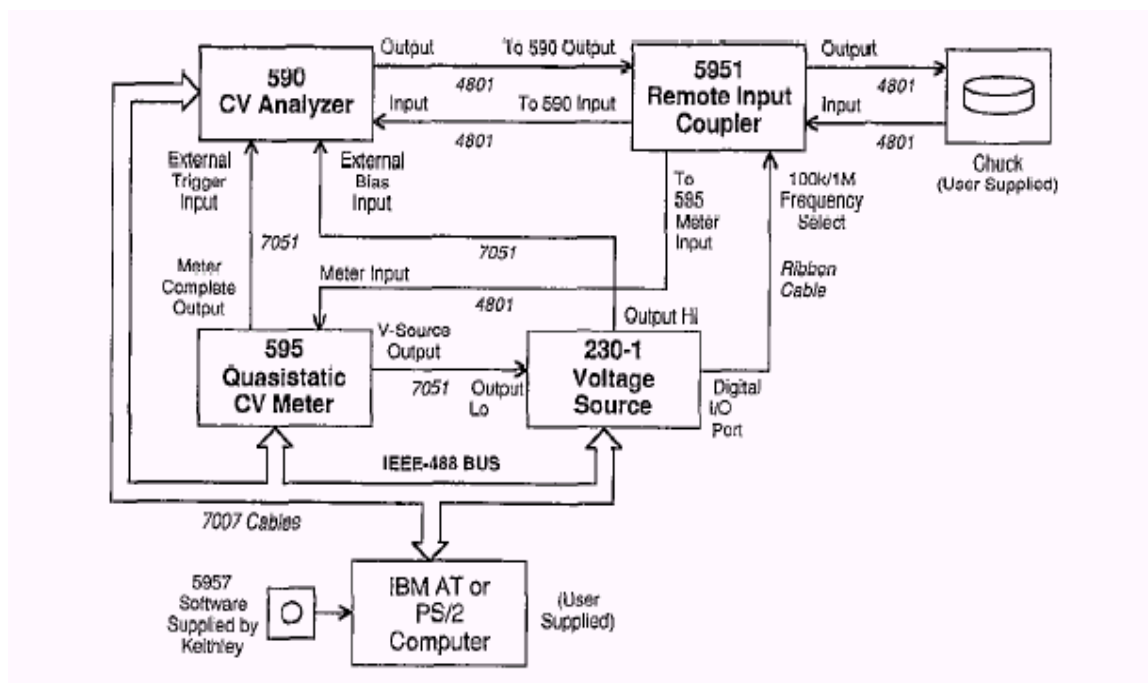


Figura 3. Diagrama de Bloques del sistema.

Modelo 230-1 Voltaje Fuente. Suministra el voltaje DC de offset entre $\pm 100V$, y también controla la frecuencia de operación del modelo 5951 Acoplador de Entrada Remota.

Modelo 590 C-V Analizador. Suministra una señal de prueba de 100kHz o 1MHz, y mide la capacitancia y conductancia con alta frecuencia mide C-V simultáneamente.

Modelo 595 C-V Medidor. Mide baja frecuencia (cuasiestática) capacitancia y Q/t, también suministra la onda de dolarización ($\pm 20V$ máximo) para medir en barrido simultáneo en alta y baja frecuencia.

Modelo 5951 Acoplador de Entrada Remota. Conecta las entradas de los modelos 590 y 595 a los dispositivos bajo prueba. El acoplador de entrada contiene circuitos sintonizados para minimizar la interacción entre los medidores de baja y alta frecuencia.

Computadora (PC). Provee la interfase de usuario al sistema para controlar todos los instrumentos sobre la IEEE-488, procesa datos, y permite graficar los resultados.

Modelo 5909 Conjunto de Calibración. Provee fuentes de capacitancia de referencia para corregir problemas de cableado en el sistema.

V.2.- SISTEMA DE CONEXIONES

En la Tabla I resumimos la cantidad de cables que se deben de utilizar para la conexiones del sistema simultaneo. Los cables de bajo ruido se conectan entre el chuck y los instrumentos de medición C-V. Hay que tener cuidado de no conectar el cable BNC Modelo 7051 en lugar de un cable de ruido bajo Modelo 4801, lo cual hará que tengamos efectos perjudiciales en nuestras mediciones.

Cantidad	Modelo	Descripción	Aplicación
5	4801	4' BNC Bajo ruido	590, 595, 5951
3	7051-2	2' BNC (RG-58)	230, 590. 595
2	7007-1	1m. shielded IEEE-488	IEEE-488 Bus instrumentos
1	7007-2	2m. shielded IEEE-488	Computadora a instrumentos
1	*	Ribbon Cable	5951 a 230

Tabla I. Tipos de Cables

V.3.- PROCEDIMIENTO DE CONEXIÓN

Usamos las figuras 4 y 5 como una guía para conectar los equipos como a continuación se muestra. Estos arreglos son los recomendados, pero se pueden utilizar otros. Cuando se realizan las conexiones todo el equipo debe estar apagado.

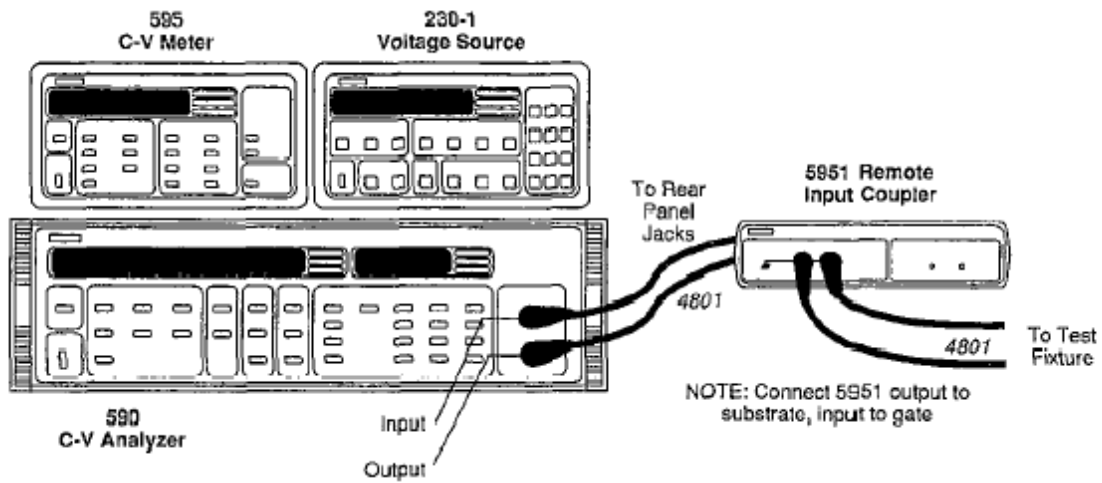


Figura 4. Sistemas de conexiones del panel frontal.

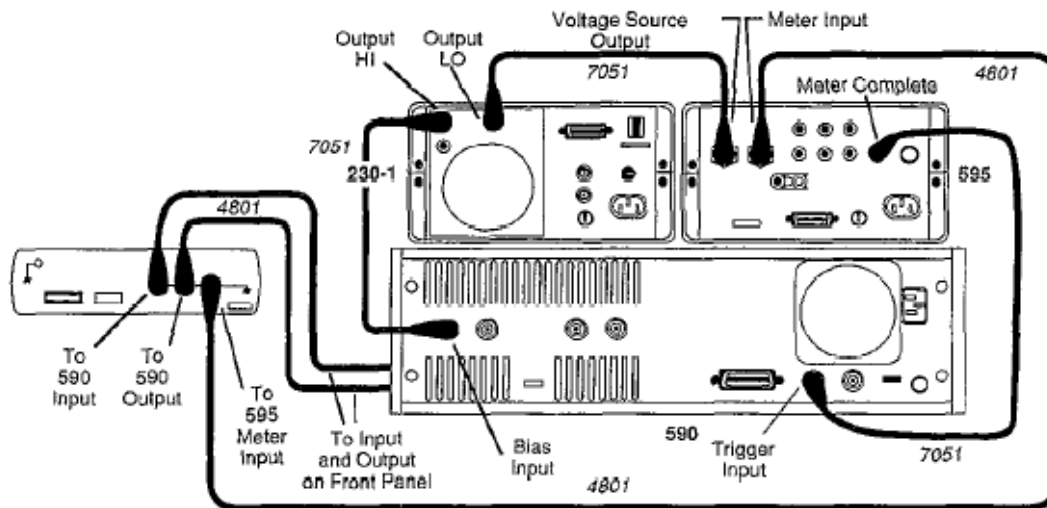


Figura 5. Sistema de conexiones del panel trasero.

1.- Conecte el cable Modelo 4801 entre la entrada (INPUT) del Modelo 590 y en la parte trasera del Acoplador de Entrada Remota Modelo 5951 (TO 590 INPUT). Conecte un

segundo cable entre el OUTPUT del Modelo 590 y en la parte trasera del Modelo 5951 a TO 590 OUT.

2.- Conecte los cables Modelo 4801 en la parte delantera del Modelo 5951 en INPUT a la compuerta y OUTPUT a el sustrato en el chuck de prueba.

3.- Conecte del Modelo 5951 TO 595 METER INPUT a el Modelo 595 METER INPUT usando el cable 4801.

4.- Conecte el cable de cinta a el Modelo 5951, y la parte final de cable conéctela a el puerto digital I/O de el Modelo 230, ambos conectores tiene una sola dirección de entrada y es cerrada.

5.- Usar el cable Modelo 7051, conectar el Modelo 595 METER COMPLETE OUTPUT a el EXTERNAL TRIGGER INPUT DE EL Modelo 590.

6.- Usar un segundo cable BNC Modelo 7051, conectar el Modelo 595 en VOLTAGE SOURCE OUTPUT a el OUTPUT LO de la fuente de voltaje Modelo 230. De manera similar usar otra cable para conectar de la fuente de voltaje OUTPUT HI a EXTERNAL BIAS INPUT del Analizador C-V Modelo 590.

7.- Conectar a tierra el poste de tierra del Modelo 5951 usando alambre grueso de cobre.

Nota: El Modelo 5951 deberá ser conectado a tierra física usando un alambre largo de calibre 16 AWG.

V.4.- CONEXIONES DEL BUS IEEE-488

Los instrumentos de medición deberán ser conectados como se muestra en la figura 6, usando los cables respectivos, estos cables típicamente son cortos, donde el cable

conector mas larga es el que va a la Computadora. La figura 4 trata un arreglo típico para las conexiones del bus IEEE-488.

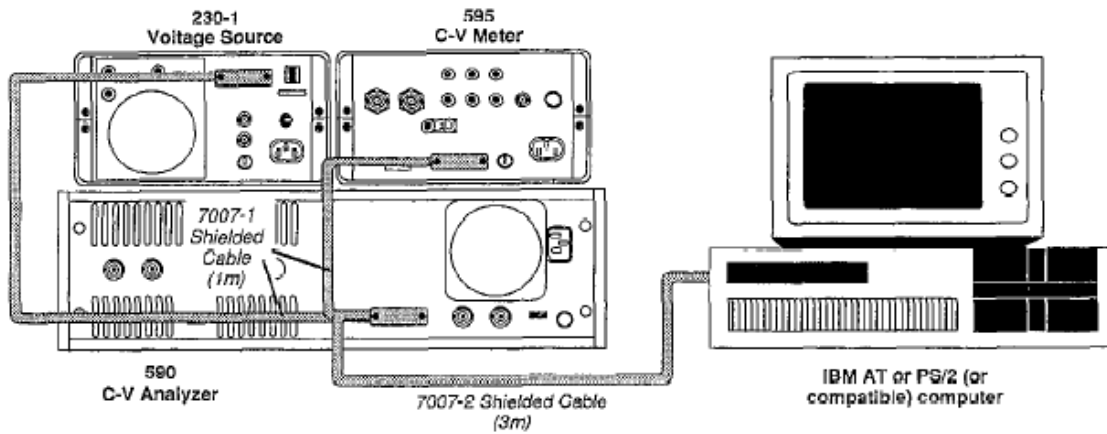


Figura 6. Sistemas de conexiones IEEE-488.

VI.- MONTAJE DEL ACOPLADOR REMOTO

VI.1.- ACOPLADOR REMOTO

En muchos casos, las obleas de prueba serán puestas dentro de una caja faraday para minimizar el ruido. En este caso, el acoplador remoto deberá ser puesto aun lado en la caja de prueba por conveniencia y para minimizar la longitud del cable a utilizar. En la figura 7 vemos un montaje típico del Acoplador y el chuck de prueba.

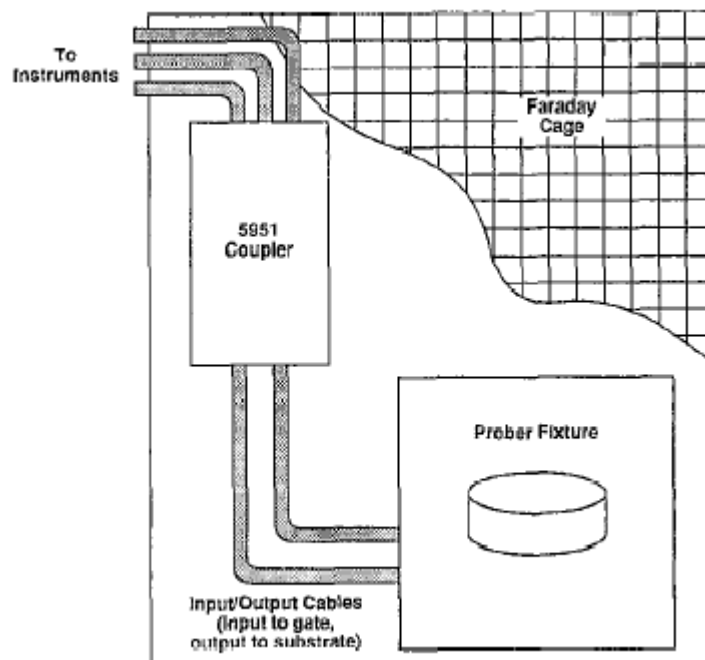


Figura 7. Montaje del Acoplador Remoto.

VI.2.-SECUENCIA DE MEDICIÓN

Las mediciones serán llevadas a cabo de acuerdo a una secuencia, que describiremos a continuación para que el sistema sea operado de una manera optima, y minimizar los términos de error.

Paso 1.- Inicialmente, probaremos el sistema para determinar si no existe cualquier problema como exceso de corriente de fuga o la existencia de capacitancia no deseadas. Se corregirán estos posibles problemas antes de continuar, el sistema deberá ser probado solo cuando se cambie algún aspecto en su configuración (tales como conexiones de cables).

Paso 2.- Efectos de cables, los efectos por las conexiones de los cables, serán revisados y corregidos para que no tengamos cambios en las mediciones de alta y baja frecuencia.

Paso 3.- Determinación de parámetros del dispositivo, cada dispositivo deberá ser probado para determinar su voltaje optimo de acumulación e inversión, y obtener el tiempo de retardo optimo para mantener el dispositivo en equilibrio.

Paso 4.- Hacer Mediciones C-V, Un barrido puede ayudarnos a determinar tales parámetros del dispositivo, y así poder seleccionar los parámetros adecuados para realizar un barrido simultaneo.

Paso 5.- Análisis del barrido simultaneo y la obtención de las curvas simultaneas.

VII.- PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

VII.1.- ACOPLADOR DE ENTRADA REMOTA

Un esquema simplificado de el Modelo 5951 se trata en la figura 8.

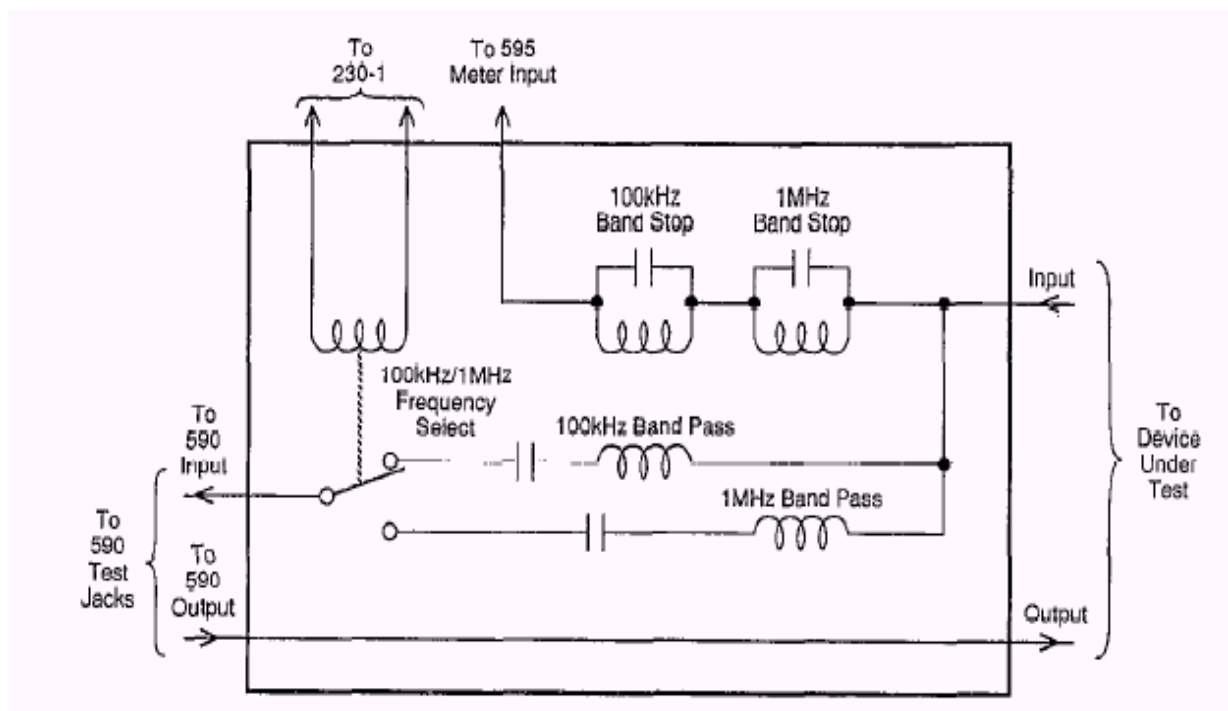


Figura 8. Esquema Simplificado del Acoplador de entrada remota.

Una señal digital, soportada por el Modelo 230, controla la operación a 100 kHz. del Modelo 5951. La señal de frecuencia seleccionada controla Q1, la cual prende un relay para seleccionar la operación de 100kHz.

VII.2.- C-V CUASIESTATICO

Un diagrama a bloques simplificado del sistema, cuando realizamos mediciones de baja frecuencia se muestra en figura 9. El voltaje de polarización del Modelo 595 se aplica a través del Modelo 590 y 5951 a el dispositivo bajo prueba. Cuando el paso de voltaje es aplicado, la unidad mide el cambio en la carga y entonces computa la capacitancia.

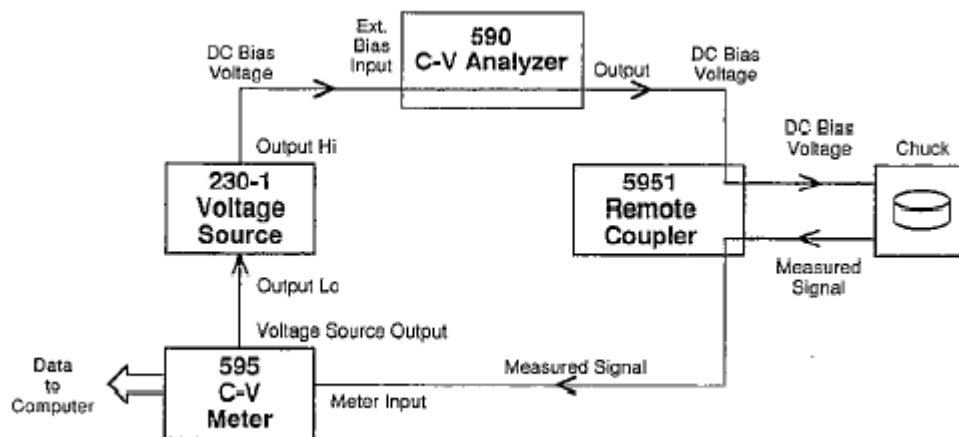


Figura 9. Configuración del sistema para una medición C-V cuasiestática.

El Modelo 595 usa el método de retroalimentación de carga para hacer las mediciones de capacitancia. Como se trata en figura 10, una terminal de la capacitancia desconocida, C_x , es conectada a la fuente de voltaje, y la otra terminal se conecta a la entrada del amplificador de regreso de alimentación de carga, A, el cual es un integrador.

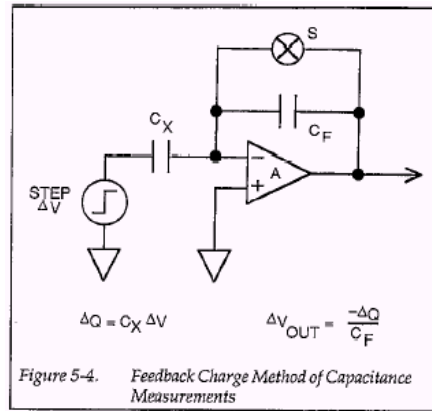


Figura 10. Mediciones de capacitancia por el método de retroalimentación

Inicialmente, el capacitor de retroalimentación, C_F , es descargado por el Switch cerrado, S, el cual esta en paralelo con C_F . Cuando las mediciones empiezan, el Switch es abierto, y las cargas transferidas del capacitor C_F a la entrada del integrador, ahora causara un cambio en las salida del integrador como sigue:

$$\Delta V_{OUT} = \frac{-Q}{C_F}$$

El voltaje de la fuente es entonces cambiada por una pequeña cantidad ΔV , la cual causa que se transfiera carga a C_X . La carga en C_X es proporcional al cambio del voltaje.

$$\Delta Q = C_X \Delta V$$

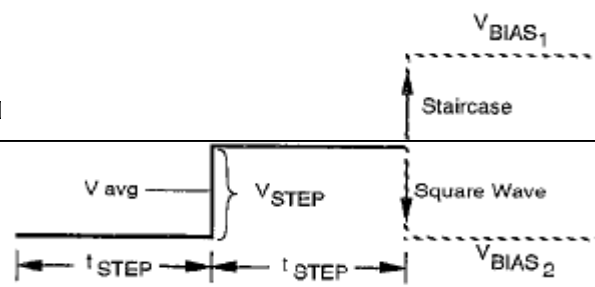
y esta carga es entonces aplicada a la entrada del integrador, resultando en una transferencia de carga en esta. La variación de la carga y el voltaje de salida están relacionados como:

$$\Delta Q = -C_F \Delta V_{OUT}$$

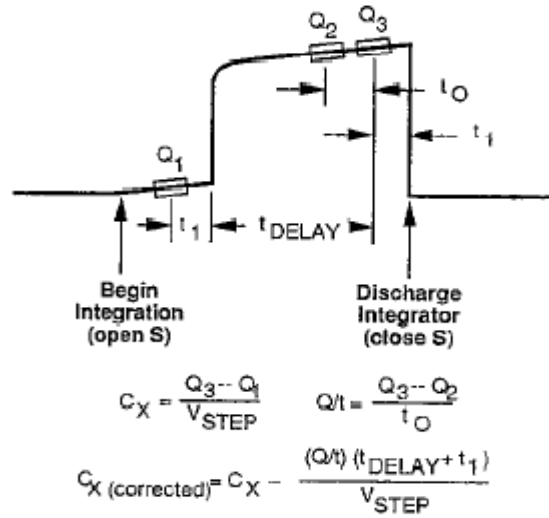
Por tanto, la capacitancia desconocida C_X , es entonces calculada como:

$$C_X = \frac{\Delta Q}{\Delta V} = \frac{C_F \Delta V_{OUT}}{\Delta V}$$

La figura 11 trata como la forma de onda de carga es medida. Q1, Q2, Q3 representan las cargas medidas a tres tiempos específicos. Q1 es la carga de línea base hecha antes de que ocurra el barrido de voltaje. Q3 es la medición después del tiempo de retardo especificado y es una indicación de la carga final transferida a través de Cx. Q2 es medida antes de Q3 y es usada para determinar la pendiente de la forma de onda de la carga. Esta pendiente representa la cantidad de corriente (Q/t) fluyendo en Cx durante la porción final del tiempo de retardo, t_0 . Q/t representa la corriente de fuga en Cx o del sistema. La capacitancia corregida (cCAP) rasgo del instrumento puede ser usada para compensar las corrientes de fuga sustanciales, cálculos de cCAP se tratan en figura 11.



A: Voltage Output Waveform



B: Measured Charge Waveform

Figura 11. Forma de onda de voltaje y carga para mediciones de capacitancia cuasiestatica.

VII.3.- C-V DE ALTA FRECUENCIA

Un diagrama a bloques de la configuración del sistema durante una medición de alta frecuencia se trata en figura 12. Esta configuración es parecida a las mediciones realizadas a baja frecuencia, sin embargo, ahora el Modelo 590 alimenta una señal de prueba de 100kHz. al dispositivo bajo prueba.

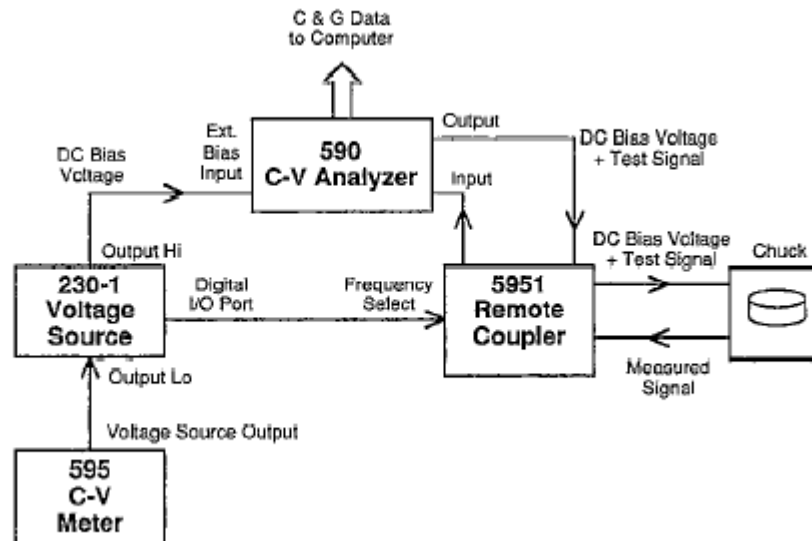


Figura 12. Configuración del sistema para una medición C-V de alta frecuencia.

El Modelo 590 tiene un fuente de voltaje interna, la cual para este sistema, esta fuente no se utiliza, el voltaje de polarización DC es alimentado por el Modelo 230 y 595, el cual pasa a través del Modelo 590, y es entonces aplicado como una señal de prueba compuesta de DC y AC al dispositivo bajo prueba. Un aspecto adicional de el sistema de alta frecuencia es el control de la frecuencia de 100kHz. por el Acoplador de entrada remota Modelo 5951. Esta función es realizada a través del modelo 230 en el puerto digital I/O port.

Un diagrama a bloques simplificado de la localización de los módulos C-V de alta frecuencia se trata en figura 13.

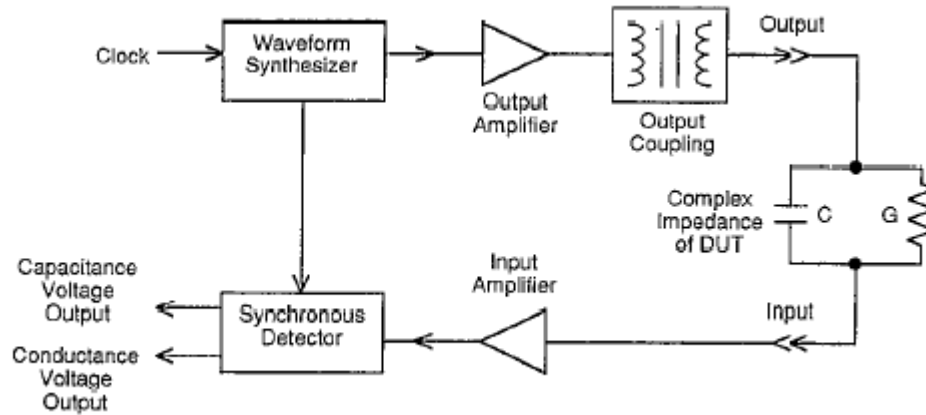


Figura 13. Medición de capacitancia de alta frecuencia.

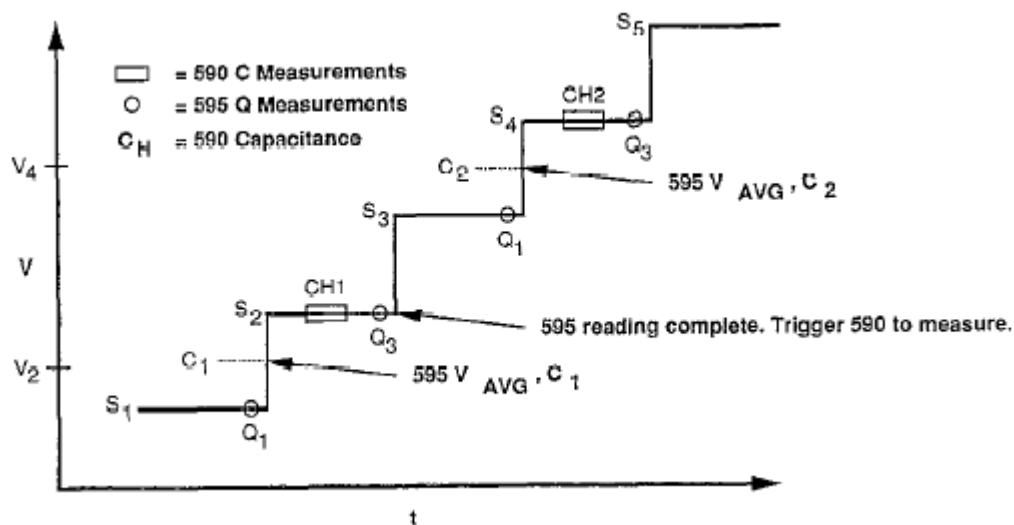
Una señal de referencia de 100 kHz. es primero generada por una forma de onda sintetizada, y entonces amplificada y formada dentro de la onda senoidal por el amplificador de salida. La sección de Acoplamiento de salida aísla la señal y la atenúa a aproximadamente 15 mV a 100kHz. El voltaje de polarización DC, el cual es soportado por el modelo 230 y 595, es también aplicado a este punto.

La señal de prueba es entonces llevada a través de conector de la salida OUTPUT a el dispositivo bajo prueba, y entonces regresa a través del conector de prueba INPUT del Modelo 590. La señal experimenta una transformación de fase y magnitud, los cuales dependen de la impedancia compleja del dispositivo bajo prueba. La señal de prueba entonces experimenta transformaciones de voltaje-corriente, es amplificada adicionalmente, y es aplicada finalmente a un detector sincrónico, el cual extrae información de fase y magnitud. El detector provee voltajes de salida análogos a la capacitancia y conductancia de el dispositivo bajo prueba.

VII.4.- C-V SIMULTANEOS

Un orden para eliminar errores de deriva debido a tensión de voltaje, el Modelo 590 y 595 miden ambos la capacitancia durante el mismo barrido de voltaje. Las lecturas para los dos instrumentos son sincronizadas usando disparo externo (triggers) y son tomadas alternativamente durante el barrido. Después del barrido, C_Q es interpolada a el voltaje el cual C_H fue medido.

La figura 14 muestra una representación simplificada de los pasos del voltaje de polarización soportado por el Modelo 595 durante un barrido de medición. Cada tamaño del voltaje vertical depende de el paso de polarización programado en el Modelo 595, donde



cada tiempo del paso horizontal es determinado por el tiempo de retardó programado.

Figura 14. Forma de onda aplicada a una medición simultanea.

Como se discute arriba, una medición cuasiestática es un proceso de dos pasos requiriendo por lo menos medir dos cargas. Inicialmente, a el final del paso S_1 , se hace la

primera medición de carga Q_1 , después de la cual el voltaje va a el próximo paso. Siguiendo el periodo de retardo programado, se realiza la medición de carga Q_3 , y entonces la capacitancia es calculada para estos valores y tamaño de paso; note que el voltaje a esta capacitancia es calculada para estos valores y tamaño de paso; note que el voltaje a esta capacitancia se asume ser la mitad entre el valor de incremento del paso, o V_{AVG} en este caso. Aquí vemos que dos pasos de voltaje son necesarios para cada medición de baja frecuencia.

El Modelo 590 es disparado a un tiempo de retardo después de completada cada lectura del Modelo 595. Como un resultado, Mediciones de alta frecuencia son hechas solo en cada otro paso (representado en figura por el rectángulo). Además, sabemos que las mediciones de alta frecuencia no se hacen exactamente a el mismo voltaje como las mediciones de baja frecuencia. En nuestro ejemplo, C_{H1} es medido a V_2 . Donde C_1 es promediado entre V_1 y V_2 , y C_2 es entre V_3 y V_4 .

Para compensar este voltaje inclinado, un ajuste en el valor de capacitancia de baja frecuencia es interpolado a un valor a V_2 , donde C_{H1} fue tomado, como sigue:

$$C'_1 \text{ at } V_2 = C_1 + \frac{C_2 - C_1}{V_4 - V_2} * \frac{V_{STEP}}{2}$$

Todas las lecturas C_Q en la serie son remplazadas por los valores C'_Q en la realización del barrido de voltaje.

VIII.- Sistema Automático de curvas CV simultaneas.

VIII.1.- INTERFACE DE USUARIO

Se hizo la interfaz de usuario^[6] en C++, usando el compilador BorlandC++, se genera el programa ejecutable CVt.exe, que al ejecutarse muestra una pantalla como la de la Figura 15.

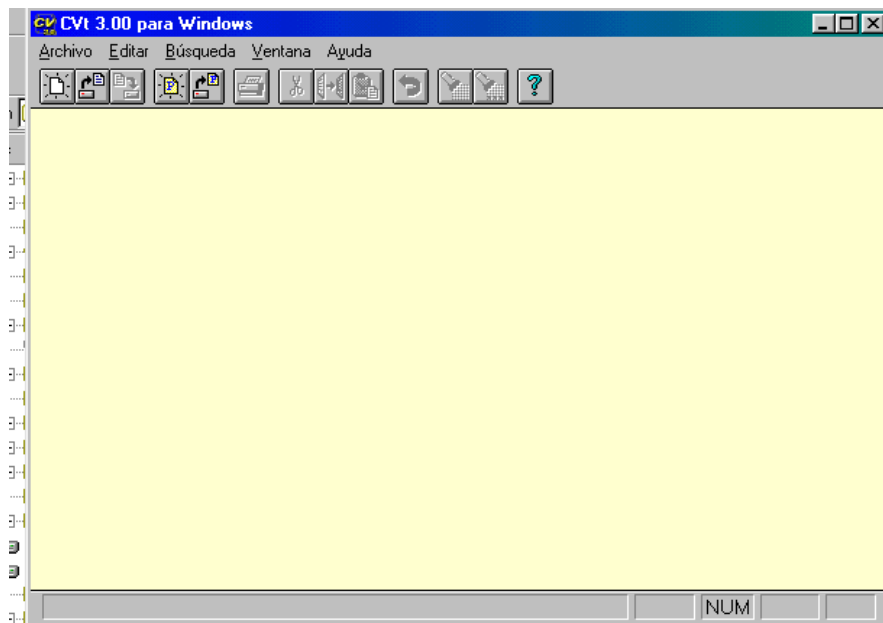


Figura 15. Inicio de la ejecución del programa en ambiente windows

Se crea el proyecto sobre el que se va a trabajar eligiendo “Abrir” en el menú “file”, como se indica en la Figura 16:

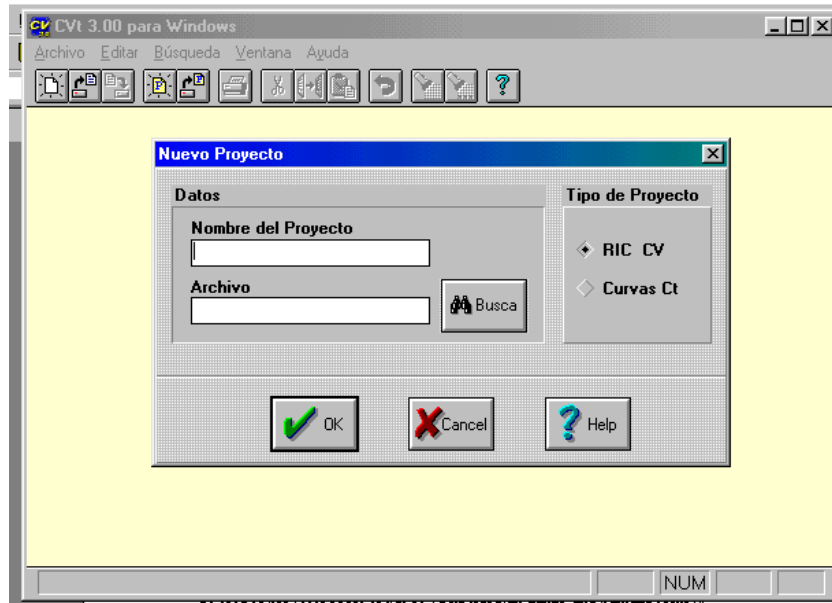


Figura 16. Inicialización del proyecto

La opción RIC (Remote Input Coupler) CV indica que se va a hacer medidas simultáneas de capacidad con el 590 y el 595, usando el acoplador como se indica que en el diagrama de bloques, para lo que se fijan los siguientes parámetros generales Figura 17.

hacer medidas simultáneas de capacidad con el 590 y el 595, usando el acoplador

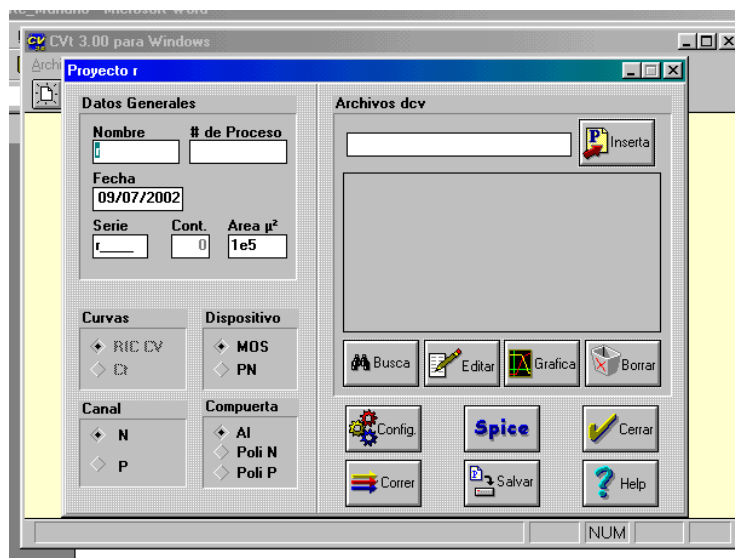


Figura 17. Condiciones iniciales del proyecto

Se fijan los parámetros de captura de datos, como son el intervalo de voltaje, el paso de incremento entre voltajes, el rango, etc., como se indica en los menús, en la siguiente Figura 18.

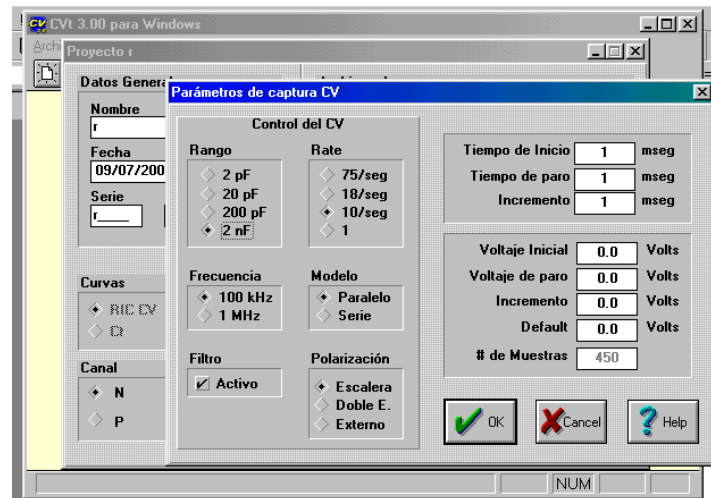


Figura 18. Parámetros de medida.

Una vez fijados todos los parámetros que se deseen, se procede a la ejecución del programa (Correr) y su control sobre los equipos, dando como resultado una pantalla como la de la siguiente Figura 19:

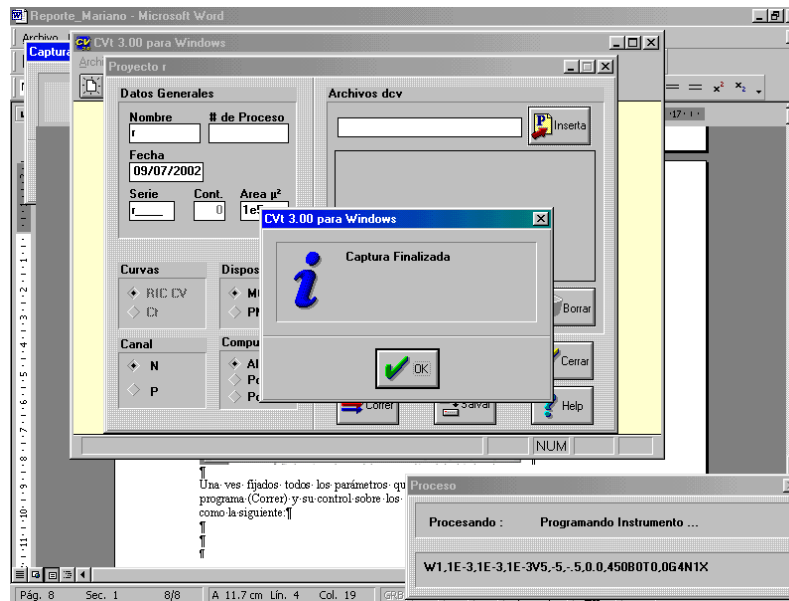


Figura 19. Ejecución del programa.

Los datos resultantes de la captura se guardan en archivos o se pueden procesar una vez que son capturados, así como también se pueden graficar inmediatamente como la gráfica siguiente, Figura 20.

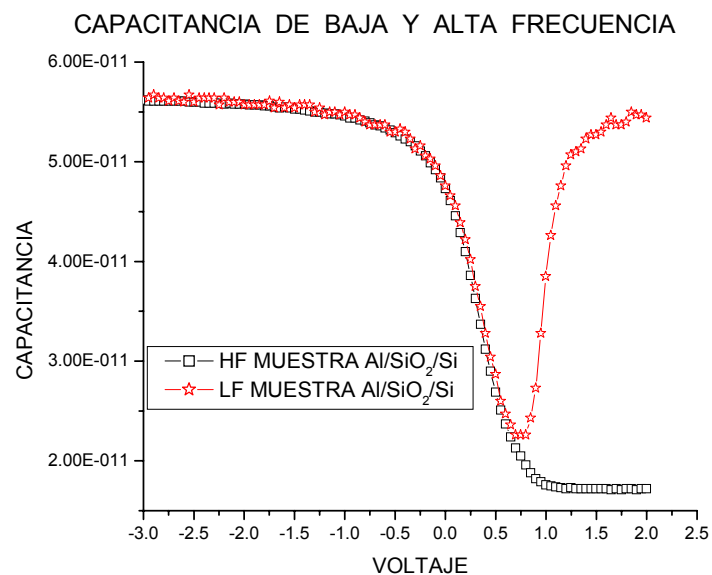
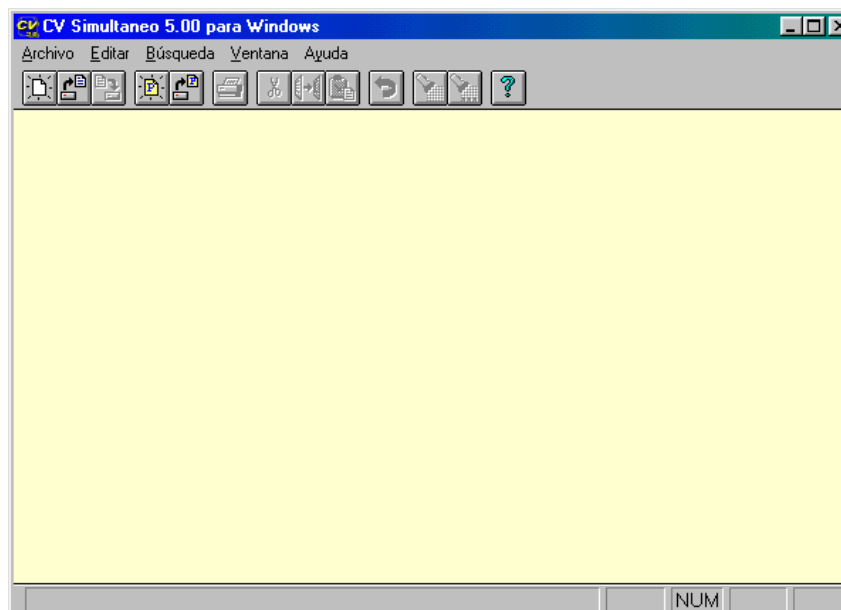


Figura 20. Medida C-V simultanea 590 y 595.

IX.-PRUEBAS Y CONCLUSIONES

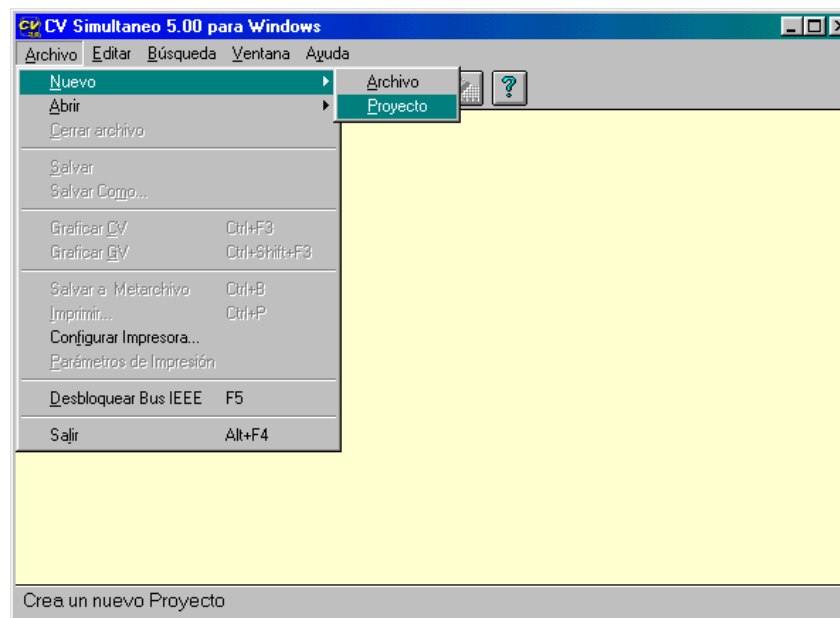
En este capítulo se muestra todo el proceso que se sigue para llevar a cabo medidas simultáneas del medidor de alta frecuencia (590) y medidor cuasiestático (595). Se muestran que ventanas^[6] aparecen en cada paso, indicando los parámetros que se deben de ir proporcionando, de acuerdo a lo que se pretende medir.

Cuando se corre el programa dentro del ambiente de Windows, la primera ventana que aparece es la siguiente:



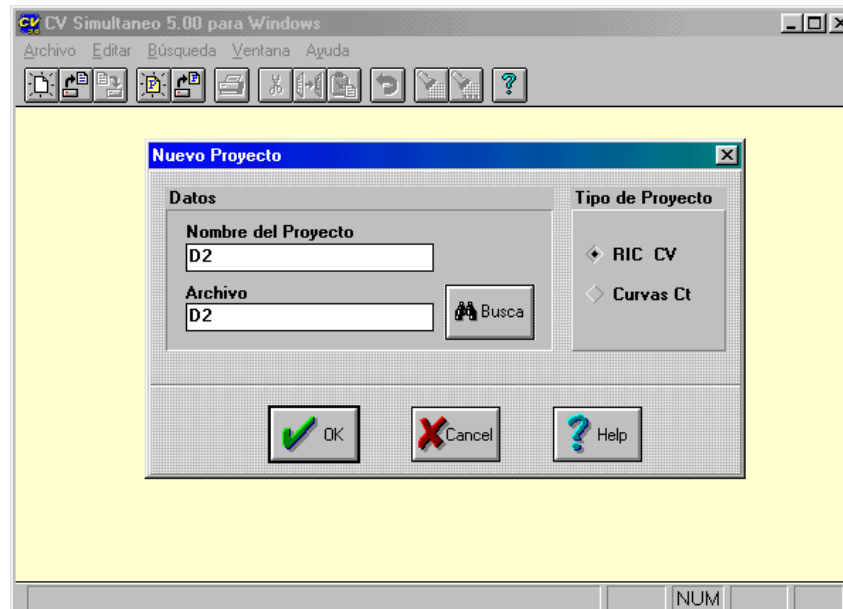
Esta ventana es del tipo MDI (Múltiple Display Interface), esto significa que dentro de esta ventana se pueden desplegar subventanas, como se podrá

apreciar mas adelante, si uno ve en la opción Archivo se puede ver las distintas opciones que hay. Se recomienda antes que nada usar la opción **Desbloquear Bus IEEE F5**, para inicializar los distintos dispositivos que se encuentren conectados al bus, y si es el caso desbloquear el bus. Para continuar el proceso se despliega la siguiente ventana;

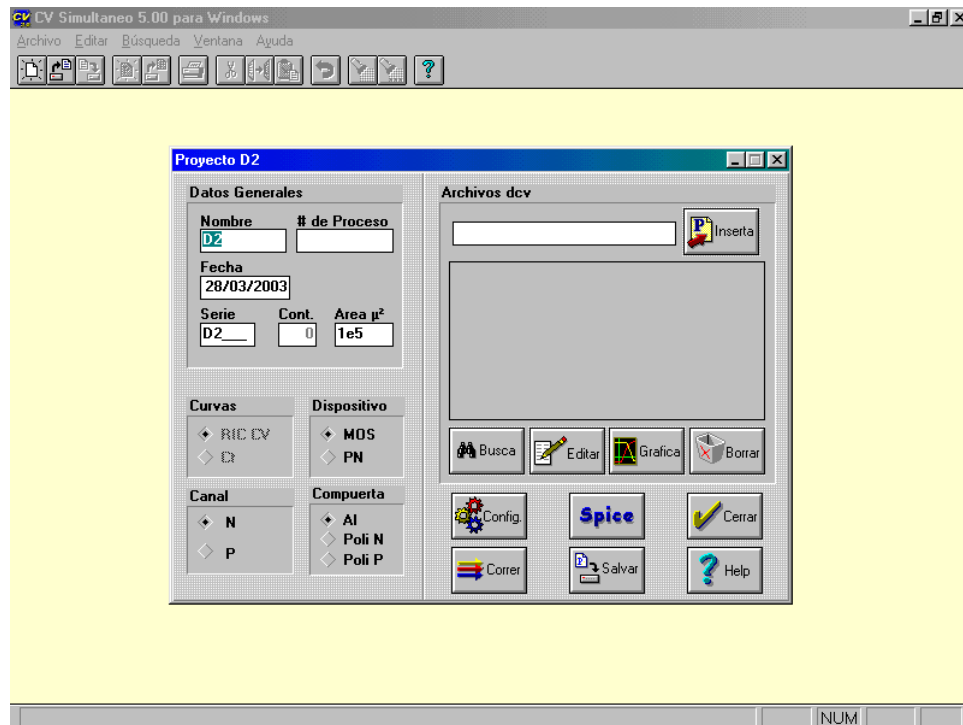


Donde se elige **Nuevo** que significa crear un nuevo **Archivo/Proyecto** de trabajo o **Abrir** que significa abrir un **Archivo/Proyecto** de datos ya existente .

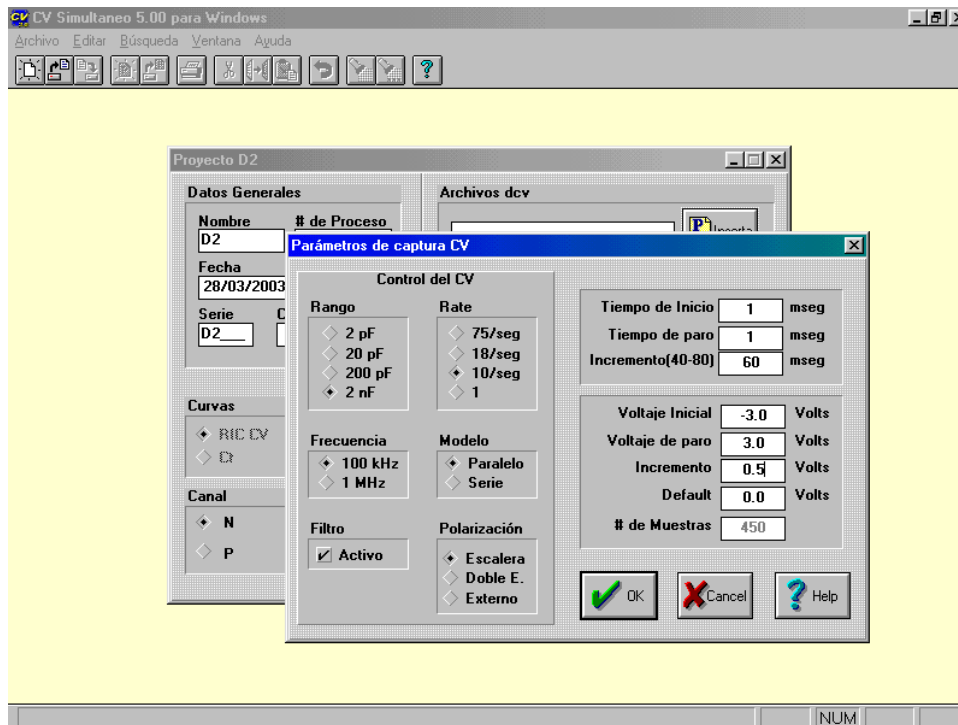
A continuación se despliega la siguiente ventana:



Aquí se especifica el **Nombre del Proyecto**, es donde se almacenan los parámetros de medida del instrumento(s), también se especifica el nombre del **Archivo** donde se almacenaran los datos capturados durante el proceso de medición, finalmente se especifica que tipo de proyecto se llevara a cabo, si es un proceso de medida simultaneo de capacidad con el 590 y el 595, usando el acoplador se marca la, opción **RIC CV**, si se desea medir capacidad-tiempos se marca la opción **Curvas Ct**, y se marca en **OK** para pasar a la siguiente ventana:



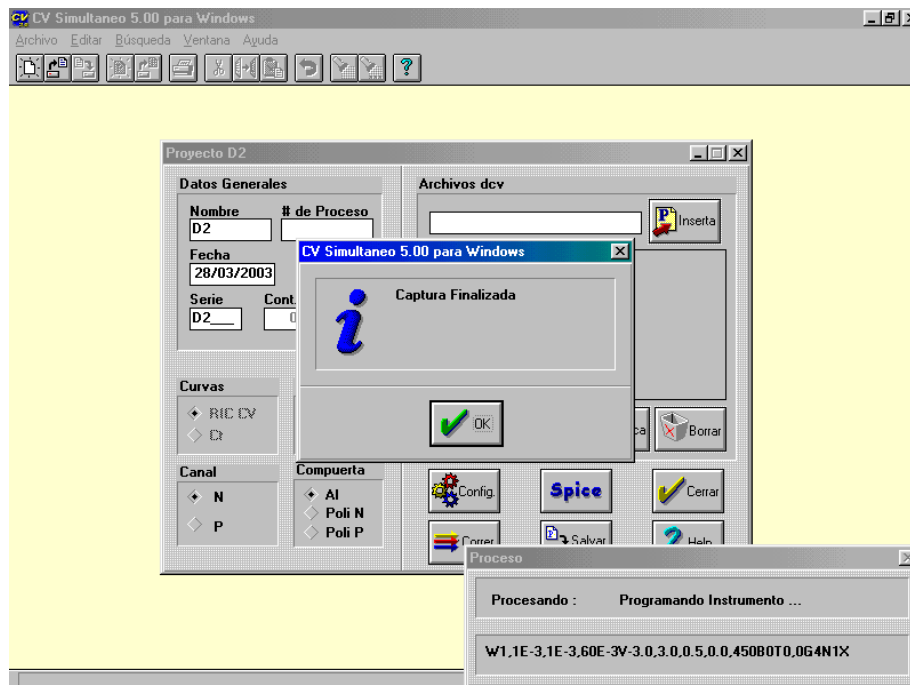
Donde se especifican los parámetros generales de medida, **Canal** (N o P), que tipo de **Dispositivo** es (MOS o PN), el tipo de **Compuerta** ha usar (AI, Poli N o Poli P), los **Datos Generales** ya han sido fijados en la ventana anterior y además se usan valores por default. Los cuatro botones superiores (**Busca**, **Edita**, **Grafica** y **Borrar**) se aplican a los archivos que han sido insertados (**Inserta**) con extensión dcv. Los otros botones **Spice** calcula parámetros de spice, el botón **Cerrar** cierra esta ventana, el botón **Salvar** almacena los archivos abiertos, el botón de ayuda (**Help**) proporciona información breve sobre las opciones que se tienen, el botón **Correr** ejecuta el proceso de barrido y adquisición de datos y finalmente el botón **Config.** Da paso a la siguiente ventana:



Aquí se especifican los parámetros específicos del proceso a efectuar para cada uno de los dispositivos de medida (modelos 590 y 595). Se fija primero los parámetros para el 590, como son el **Rango (2pF, 20pF, 200pF y 2nF)**, se fija el **Rate (75/seg, 18/seg, 10/seg, y 1)**, otros parámetros son la **Frecuencia (100kHz y 1Mhz)**, el Modelo (Serie o Paralelo), se elige si el **Filtro** es **Activo** o no, se determina si la **Polarización** es de **Escalera** o de **Doble E.**, o si va a ser **Externa**, todas estas opciones se fijan presionando sobre los botones.

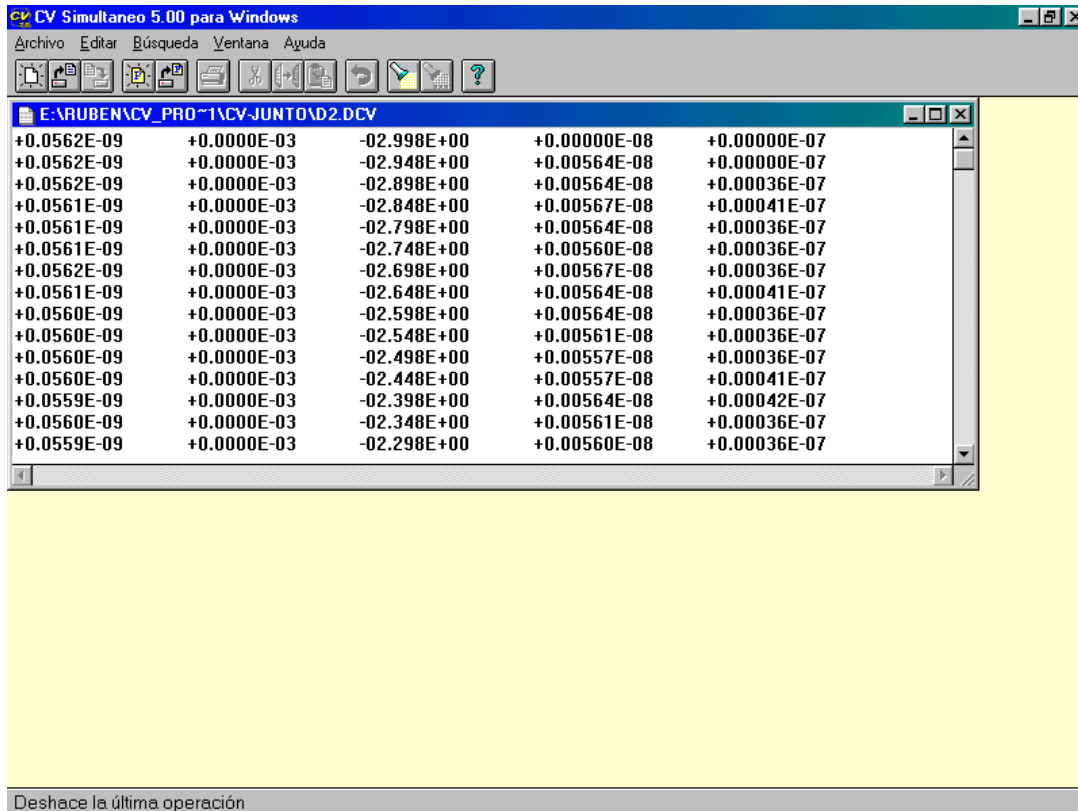
En las demás opciones hay que escribir los valores deseados como **Tiempo de Inicio** y **Tiempo de Paro** en milisegundos, así como también el **Incremento (40–80)**, estos valores entre paréntesis son los mas óptimos en funcionamiento. Los demás valores son: **Voltaje Inicial** y el **Voltaje de Paro** de la rampa a barrer, el **Incremento** entre los pasos de voltaje, se toma una valor que es **Default** y esta fijado por el programa, finalmente se especifica que el numero máximo de datos (**# de Muestras**) que se pueden graficar es de **450**, esta ventana finaliza apretando el botón de **OK** y se regresa a la ventana anterior.

En esta ventana, ya que están todos los parámetros fijados se selecciona el botón de **Correr** para dar inicio al proceso de medición y captura de datos, como se muestra en la siguiente ventana:



Como se podrá apreciar del despliegue de esta ventana es que aparecen distintas ventanitas en donde se va indicando que esta haciendo el programa, primero aparece una ventanita que dice **Proceso** como título, mas abajo dice; **Procesando: Programando Instrumento ...**, y hasta la parte mas baja aparece la larga cadena de comandos para programar los instrumentos de medición, estos comandos se forman internamente usando las ventanas de datos generales y datos específicos que anteriormente se describieron, el usuario no se tiene que preocupar de generar toda esta cadena de comandos, una vez que aparece esta ventanita se inicia ya formalmente el proceso de medición y captura de datos y que termina cuando aparece la otra ventanita que lleva como título: **CV Simultaneo 5.00 para Windows**, mas

abajo aparece otro letrero que indica que la **Captura Finalizada** y el botón de **OK** de aceptación, lo que da paso a la aparición de la siguiente ventana:

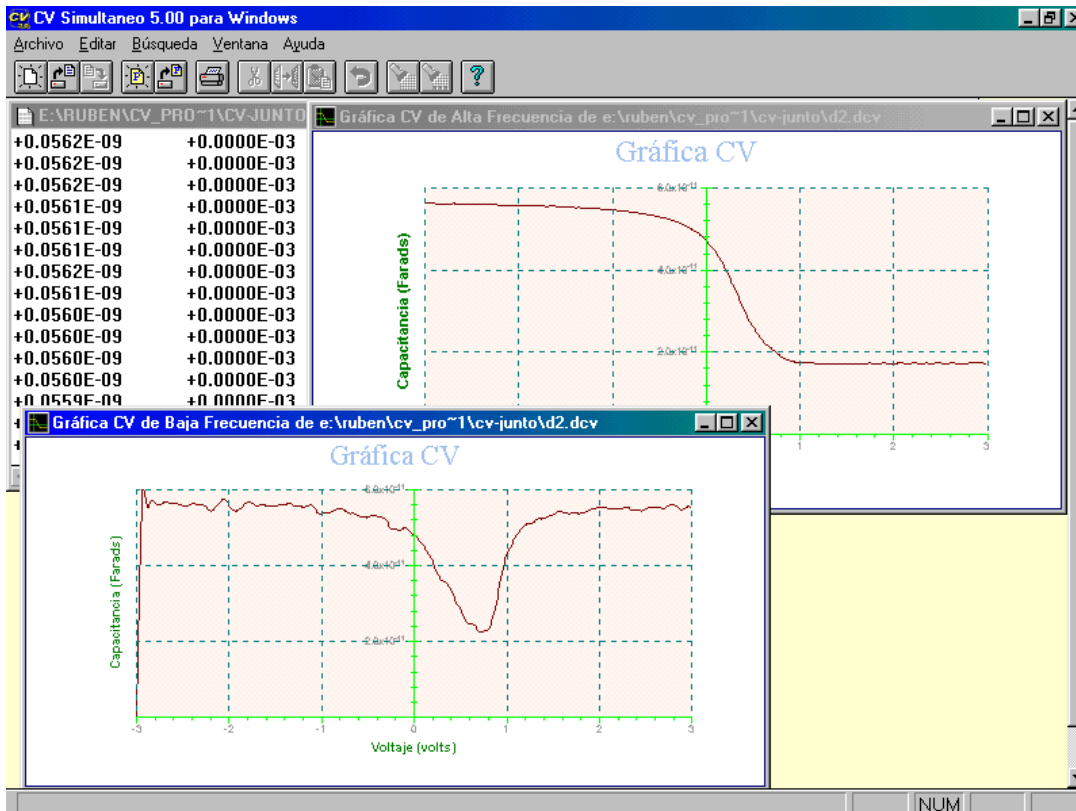


The screenshot shows a window titled "CV Simultaneo 5.00 para Windows" with a menu bar (Archivo, Editar, Búsqueda, Ventana, Ayuda) and a toolbar. The main area displays a table of data in scientific notation. The status bar at the bottom indicates "Deshace la última operación".

Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5
+0.0562E-09	+0.0000E-03	-02.998E+00	+0.00000E-08	+0.00000E-07
+0.0562E-09	+0.0000E-03	-02.948E+00	+0.00564E-08	+0.00000E-07
+0.0562E-09	+0.0000E-03	-02.898E+00	+0.00564E-08	+0.00036E-07
+0.0561E-09	+0.0000E-03	-02.848E+00	+0.00567E-08	+0.00041E-07
+0.0561E-09	+0.0000E-03	-02.798E+00	+0.00564E-08	+0.00036E-07
+0.0561E-09	+0.0000E-03	-02.748E+00	+0.00560E-08	+0.00036E-07
+0.0562E-09	+0.0000E-03	-02.698E+00	+0.00567E-08	+0.00036E-07
+0.0561E-09	+0.0000E-03	-02.648E+00	+0.00564E-08	+0.00041E-07
+0.0560E-09	+0.0000E-03	-02.598E+00	+0.00564E-08	+0.00036E-07
+0.0560E-09	+0.0000E-03	-02.548E+00	+0.00561E-08	+0.00036E-07
+0.0560E-09	+0.0000E-03	-02.498E+00	+0.00557E-08	+0.00036E-07
+0.0560E-09	+0.0000E-03	-02.448E+00	+0.00557E-08	+0.00041E-07
+0.0559E-09	+0.0000E-03	-02.398E+00	+0.00564E-08	+0.00042E-07
+0.0560E-09	+0.0000E-03	-02.348E+00	+0.00561E-08	+0.00036E-07
+0.0559E-09	+0.0000E-03	-02.298E+00	+0.00560E-08	+0.00036E-07

Ahora en esta ventana se muestran datos en formato ASCII capturados de los dos dispositivos de medida. Los datos capturados en las columnas es el siguiente: La primera columna es la capacitancia medida por el 590, la segunda columna es la conductancia medida por el 590, la tercera columna es el voltaje fuente aplicado, la cuarta columna es la capacidad medida por el 595, y la última columna es el Q/t medido por el 595, estos valores medidos se almacenan en un archivo en formato ASCII para así poder ser utilizados por

otras aplicaciones de Windows, como Origin por ejemplo. En la siguiente ventana se muestra como se grafica si se desea.



Para desplegar las graficas correspondientes de los datos capturados se va uno a la opción **A**rchivo en la venta principal y ahí aparece la opción de **G**raficar CV, se selecciona e inmediatamente se despliegan dos graficas, en cada una se indica en el titulo que tipo de aparato hizo la medida, Alta Frecuencia (Modelo 590) y Baja Frecuencia (Modelo 595), el programa se termina de las maneras habituales, apretando en **X** o en **S**alir en la opción **A**rchivo.

En este ejemplo se trato de ilustrar toda la secuencia de medida, si se sigue adecuadamente deben dar resultados satisfactorios, pero eso también dependerá de los dispositivos a medir.

Se concluye que el siguiente sistema funciona adecuadamente si se sigue la secuencia de medición apropiada, y si los rangos de voltaje así como los incrementos no generan mas de 450 datos, y también como se menciono se debe de tener un dispositivo semiconductor adecuado, aunque el programa sigue a prueba los resultados hasta ahora entregados sugieren que el programa funciona bien.

X.- REFERENCIAS

- 1).- National Instruments Corporation; NI.488.2 User Manual for Windows 1996.
- 2).- Keithley Instruments; Data Acquisition Division, Keithley MetaByte User Guide; Keithley Instruments, Inc. 1992.
- 3).- Model 595 Quasistatic CV Meter, Instruction Manual, Keithley Instruments, Inc. 1986
- 4).- Model 590 CV Analyzer Instruction Manual, Keithley Instruments, Inc. 1987
- 5).- BorlandC++ 4.5 Object-Oriented Programming Fourth Edition, Ted Faison, 1995
- 6).-Diseño y Construcción de un Sistema Automático Analizador de Curvas CV y CT, Tesis de Licenciatura en Electrónica, BUAP, Ignacio Bañuelos Moro, 1999.
- 7).- Model 5951 Remote Input Coupler, Keithley Instruments Inc.