

Introducción a la simulación electrónica mediante PSpice.

1. Introducción a la simulación electrónica.

El SPICE (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) es un programa de simulación asistido por computador que permite diseñar un circuito electrónico y simular su funcionamiento, con un alto grado de fidelidad, sin tener que construirlo físicamente. El SPICE se desarrolló en la Universidad de Berkeley durante los años 70 y se ha convertido en el estándar en programas de simulación electrónica. Con el desarrollo de los Sistemas Operativos con entorno gráfico y con el consiguiente desarrollo de IDE's (*Integrated Development Environment*) muchas empresas de software han ido desarrollando programas de simulación con editores gráficos pero con la misma máquina de simulación, el programa SPICE.

En este documento se estudian las nociones básicas sobre simulación electrónica, es decir, la edición de circuitos, los diferentes modos de simulación y, sobre todo, las herramientas de asistencia para el análisis de los resultados. Tradicionalmente, después de ejecutar la simulación se presentaban los resultados de forma tabular y se procesaban con un paquete gráfico. Gracias al desarrollo del software, estas herramientas se manejan bajo un mismo entorno de desarrollo integrado. En particular, este documento se desarrollará con ayuda del sistema CAD de OrCAD.

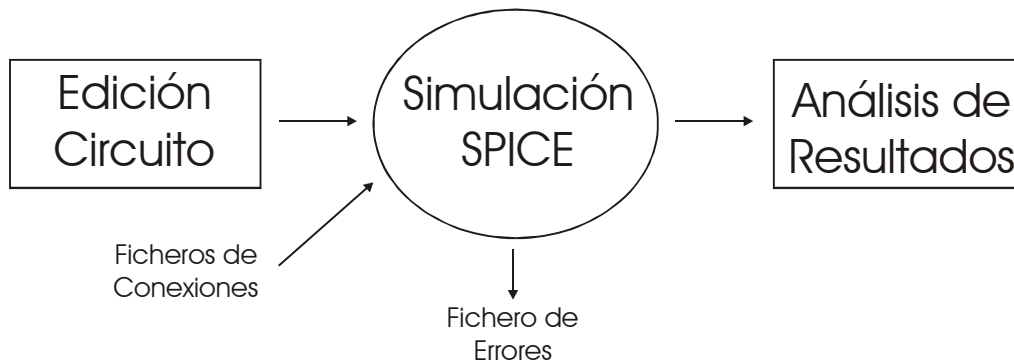


Fig. 1: Proceso de Simulación.

El proceso de análisis de circuitos consiste en dibujar el circuito y traducir este esquema en un fichero de conexiones (.CIR y .NET) que entiende la máquina de simulación SPICE. Una vez simulado el circuito, se genera un fichero de salida (.DAT) que entienden muchos paquetes gráficos. En el caso de OrCAD SPICE, todo este proceso se centraliza en el entorno *OrCAD Design Manager*.

2. OrCAD Design Manager

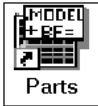
Desde este sistema CAD se puede editar y simular circuitos electrónicos, así como editar y gestionar las librerías que contienen los modelos de los dispositivos que se utilizarán en estos circuitos, es decir, centraliza todo el proceso de simulación. Este entorno contiene cuatro paquetes más un editor:



Schematics: El editor de esquemas, permite dibujar los circuitos. Desde este paquete se puede acceder a la máquina de simulación, y al paquete de representación gráfica que muestra los resultados.



SPICE A/D: máquina de simulación, este paquete se encarga de simular y de preparar los datos para representarlos gráficamente.



Model Editor: Éste es un editor de modelos que permite cambiar las características físicas de los dispositivos empleados en los circuitos electrónicos como, por ejemplo, la tensión de la unión de un diodo semiconductor, la anchura y longitud del canal de un transistor MOSFET, etc.



Stimulus Editor: Este paquete permite generar diferentes tipos de señales de entrada, dando la posibilidad de visualizarlas a la vez que se diseñan. La limitación que nos encontramos en la versión de evaluación es que sólo podemos generar señales senoidales y señales de reloj para aplicar a circuitos digitales.

Como se puede apreciar en la Fig. 1, en la parte izquierda de la ventana PSpice Design Manager aparecen los iconos de cada uno de los paquetes así como el conjunto de ficheros que se utilizan durante la simulación.

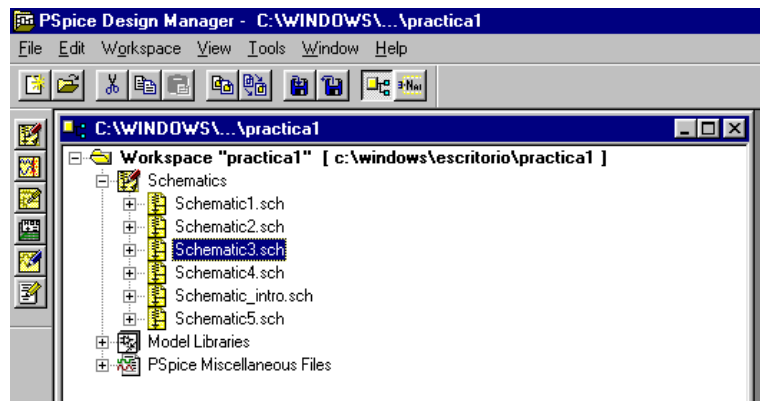


Fig 1.: Aspecto General de PSpice Design Manager

El contenido de cada uno de los ficheros es identificado por su extensión:

.SCH es la extensión del fichero creado por SCHEMATICS donde guarda el esquema del circuito. Es el primer archivo que se crea.

.IND es la abreviatura de índice y se trata de un archivo que se crea al hacer la simulación que sirve para hacer una referencia a las librerías donde se encuentran los elementos a los que se han cambiado algunos de sus parámetros.

.LIB es el archivo de la librería donde se encuentran los parámetros internos de los modelos de los elementos. Se puede ver desde cualquier editor de textos.

.SLB es el archivo de la librería donde se encuentran los datos de los símbolos de los elementos utilizados por el editor de esquemas.

.PLB es el archivo de la librería donde se encuentran los datos de los encapsulados de los elementos de la librería de símbolos.

.NET es un archivo que se crea justo antes de realizar la simulación y donde aparecen los resultados de un chequeo eléctrico. Por lo tanto el chequeo del circuito debe ser correcto para que se genere este archivo. En caso contrario, aparecerá una ventana en la que se mostrarán los errores que detecta el programa.

.ALS es un fichero que contiene el listado que identifica los nudos del circuito con los terminales de los elementos.

.CIR es un archivo que incluye los datos sobre el tipo de análisis seleccionado y sus características específicas. Además hace referencia a los archivos de extensión .NET y .ALS y al programa PROBE.

.DAT es un fichero generado durante la simulación en el que se guardan los resultados de la simulación de una forma adecuada para su interpretación gráfica a través de PROBE.

.OUT es un fichero generado durante la simulación en el que se guardan los resultados de la simulación, es decir, cómo se interpreta el fichero .CIR de entrada. Se enumeran los nombres y los valores de los parámetros de los modelos de dispositivos utilizados en el circuito, el tiempo de compilación, si ha habido errores y en qué punto y, por último, el punto de trabajo de todos los dispositivos.

3. Schematics

Schematics es el paquete que permite la creación de circuitos electrónicos y la simulación de los mismos. En este hay cinco elementos fundamentales:

Dispositivos.

Parámetros de dispositivos.

Cables para la unión de componentes.

Configuración de la simulación.

Entorno de representación gráfica o PROBE.

Dispositivos

Entre los dispositivos que se van a utilizar en las prácticas se encuentran las fuentes de tensión, resistencias, condensadores, generador de señales, diodos semiconductores, transistores bipolares y transistores MOSFET's, algunos de los cuales se muestran en la figura 2:

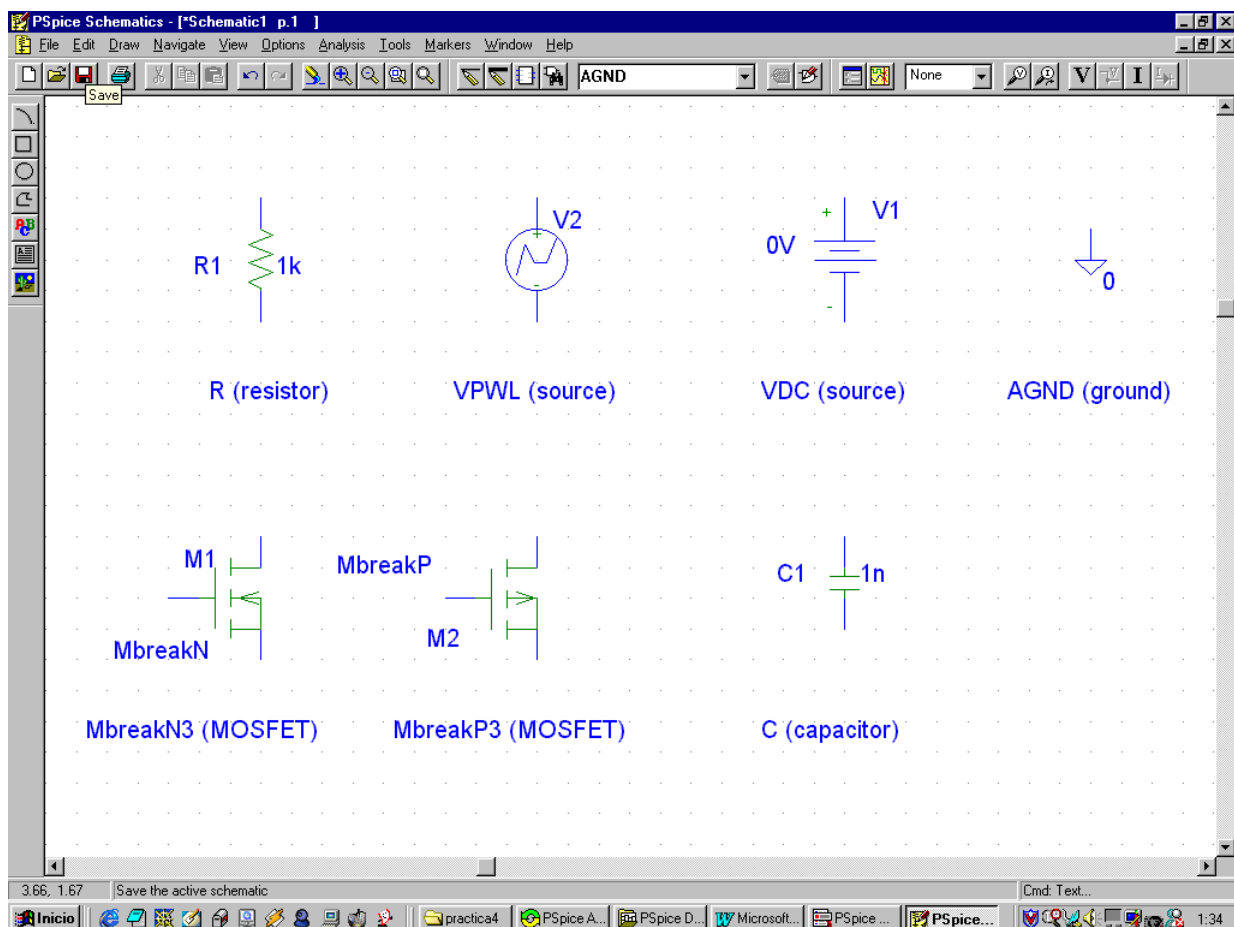


Fig. 2.: Aspecto de dispositivos SPICE.

El acceso a estos dispositivos se realiza de la siguiente forma:

En el menú **DRAW** acceder al gestor de librerías (**draw/get new part**) y buscar el dispositivo adecuado (ver figura 3A), empleando para ello una cadena de descripción que se puede apreciar entre paréntesis en la figura 2.

Una vez se ha incorporado al esquema, el dispositivo aparece en la cache (ver figura 3B), con lo que podrá importarse fácilmente sin necesidad de pasar de nuevo por el gestor de librerías.

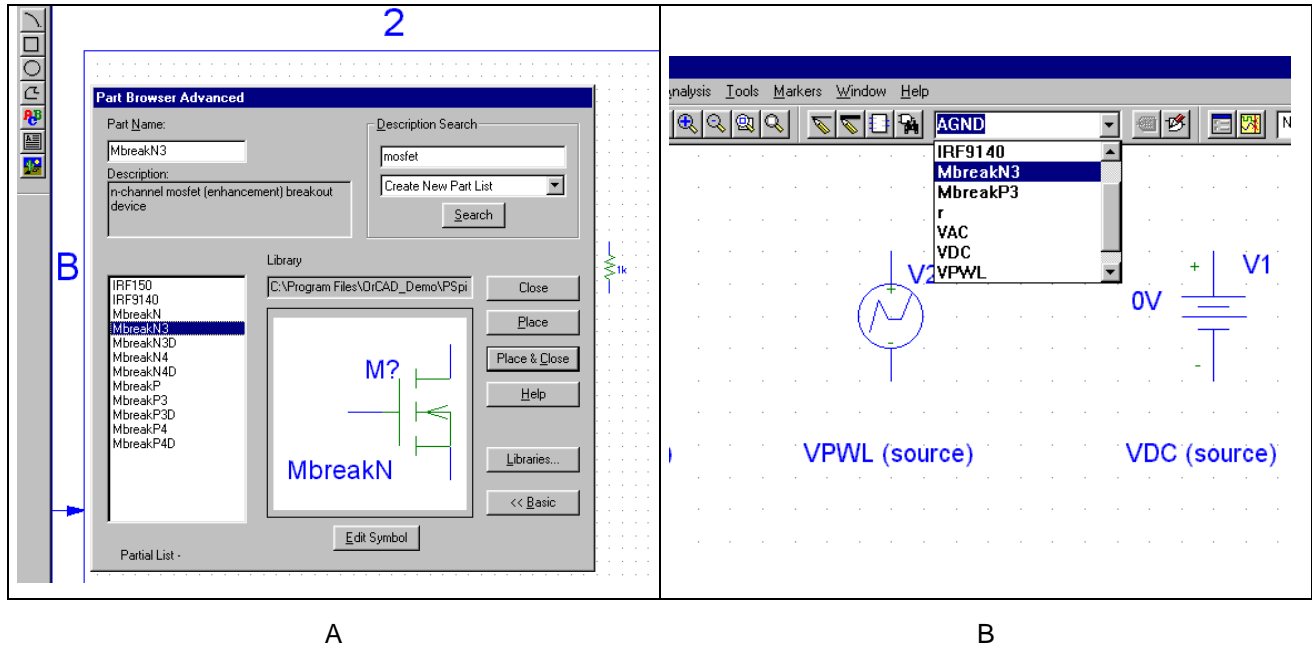
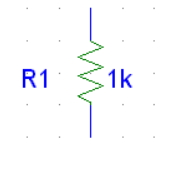


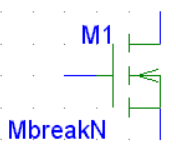
Fig.3: Mecanismos para buscar dispositivos.

Todos los dispositivos disponen de parámetros que se pueden modificar como, por ejemplo, el valor de una resistencia. Hay dos lugares para hacer esta modificación dependiendo del tipo de parámetro: realizando *double click* sobre el componente o bien, desde el menú **edit/model/edit instance** aparecen los parámetros que se pueden modificar. A continuación se muestran algunos ejemplos:

Ejemplos de parámetros de dispositivos:

	<p>Fuente de tensión, pila, generador de tensión.</p> <p>Parámetros:</p> <p>DC, especifica la tensión entre el polo positivo y negativo.</p>
	<p>Generador de señales o de funciones.</p> <p>Parámetros:</p> <p>Por parejas T1,V1, T2,V2 ...</p> <p>(Establece Vn voltios en el instante Tn segundos)</p>

	<p>Resistencia:</p> <p>Parámetros:</p> <p>VALUE, especifica el valor de la resistencia, por ejemplo, una resistencia de 1kΩ se especifica como 1000 ó 1k.</p>
---	---

	<p>Transistor MOSFET de canal N</p> <p>Parámetros(EDIT/model/edit instance model ...).</p> <p>vto=3 , l=10u, w=20u, kp=100u</p> <p>vto: tensión umbral; l, w: longitud y anchura del canal; kp: transconductancia</p> $K = \frac{1}{2} \frac{W}{L} K_p$
---	--

A los valores de cada uno de los parámetros se les puede añadir sufijos para hacer referencia a múltiplos y submúltiplos. Por ejemplo, si se quiere indicar que una resistencia tiene un valor de 10000Ω se puede especificar como 10000 ó 10k. En la tabla 1 se resumen estos múltiplos y submúltiplos:

Múltiplo	Sufijo	Valor
FEMTO	F	10E-15
PICO	P	10E-12
NANO	N	10E-9
MICRO	U	10E-6
MILI	M	10E-3
KILO	K	10E+3
MEGA	MEG	10E+6
GIGA	G	10E+9
TERA	T	10E+12

Tabla 1: Símbolos para múltiplos y submúltiplos de unidades.

Enlace mediante cables de los componentes.

Para editar los cables que unen los dispositivos se puede pulsar el botón de la barra de herramientas con el símbolo del lápiz, o bien la tecla **Control+W**.

¡Ojo con la conexión de los cables! Los cables tienen que terminar en el extremo de los terminales de cada dispositivo. Para terminar de poner cables se debe pulsar la tecla **ESC** o el botón derecho del ratón.

Configuración de la simulación.

Los circuitos electrónicos se pueden estudiar principalmente de cuatro formas diferentes: realizar dos análisis de continua, un análisis transitorio o la respuesta en frecuencia.

Punto de trabajo (OP): Mediante este análisis se puede resolver un circuito en continua, es decir, obtener la corriente en todas las ramas, y las tensiones en todos los nudos.

Análisis de continua (DC): Como el análisis anterior, pero permite simular el circuito parametrizando el valor de las fuentes de tensión, es decir, realizar el análisis OP para diferentes valores de tensión de una o dos fuentes determinadas.

Análisis transitorio (TRANS): Permite calcular la evolución de las tensiones y las corrientes en uno o más puntos del circuito en función del tiempo.

Análisis en frecuencia (AC): Calcula la respuesta del circuito frente a diferentes frecuencias. Este análisis se realiza sobre cada punto indicado.

Para configurar el tipo de simulación, ir al menú Analysis-Setup, en el programa Schematics, tal como refleja la figura 4.

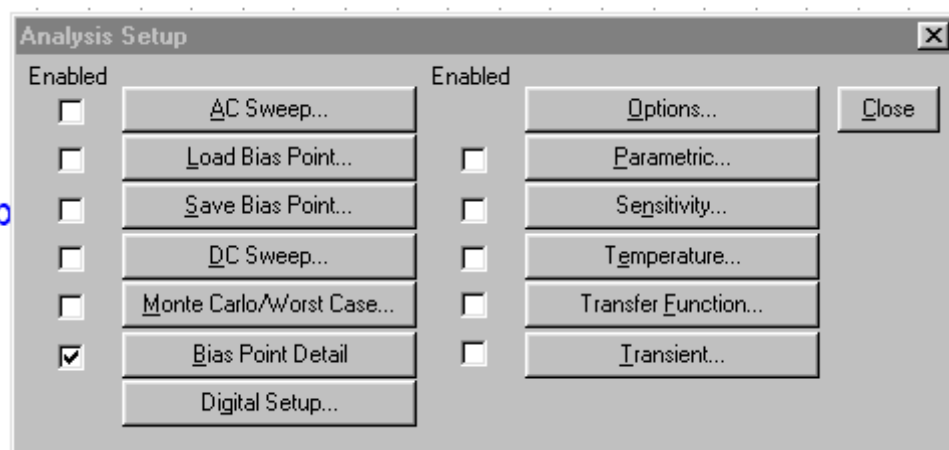


Fig.4: Configuración del tipo de simulación.

Simulación OP, pulsando la celda de activación que corresponde a **Bias Point Detail**.

Para ver los valores de tensión y corriente en el circuito, la forma más sencilla es activar en la barra de herramientas los botones V, I. Esto proporcionará la tensión y corriente en todos los elementos del circuito. Si se quiere realizar un análisis selectivo en un subconjunto de componentes concreto, se pueden usar las sondas de tensión (**voltage/level marker**) y corriente (**current marker**), situadas junto a los botones de V, I.

También se puede ir al menú (**Analysis/Display Result on Schematic/Enable Voltage Display**) para ver la tensión en todos los nodos, y (**Analysis/Display Result on Schematic/Enable Current Display**) para ver las corrientes. Otra forma alternativa para ver los resultados de este tipo de simulación es abrir desde la ventana de **Schematics** el fichero **.OUT (analysis/examine output)**.

Recordad que esto sólo configura la simulación y la forma de ver los resultados. Para ver los resultados definitivos hay que simular el circuito y para ello ir al menú (**Analysis/Simulate**).

Simulación DC, pulsando la celda de activación que corresponde a **DC Sweep** y el botón correspondiente, como se ve en la figura 5.

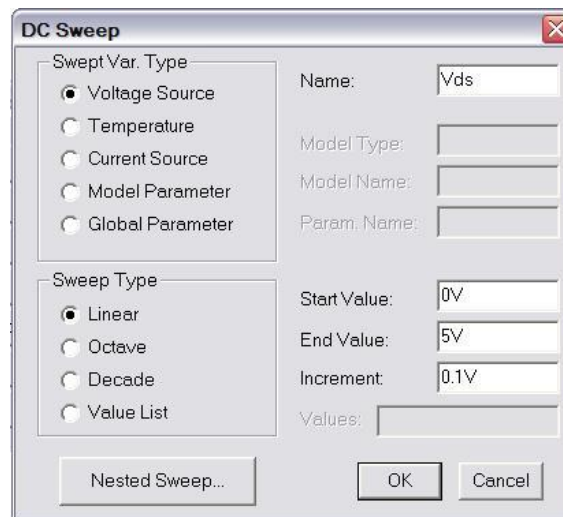


Fig.5: Análisis DC Sweep.

Sustituye el valor de tensión de la fuente especificada en la celda (Vds), y hace el análisis del punto de trabajo para el rango de tensiones especificado entre *start value* y *end value* con el incremento *increment*. Se puede realizar un análisis encadenado pulsando **Nested Sweep**. Si se hace esto, aparece una ventana similar a la anterior en la que se especifica el nombre de una segunda fuente. (**ojo! en esta segunda ventana activar la celda *enable nested sweep***).

En lugar de ver los resultados sobre el propio circuito, aparecerá la ventana de la máquina de simulación, que permite visualizar la evolución de diferentes variables, en función de los valores de las tensiones de cada una de las fuentes especificadas en el análisis **DC**. El programa **PROBE** se describirá brevemente a continuación.

Simulación TRAN, pulsando la celda de activación que corresponde a Transient y el botón correspondiente (figura 6).

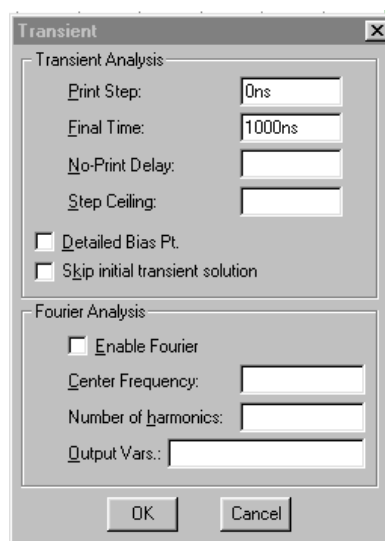


Fig.6: Análisis Transient.

Si hay fuentes de tensión que varían en función del tiempo, se debe realizar un análisis temporal, es decir, se calcula la tensión y corriente de todos los nodos/ramas en función del tiempo. El parámetro más importante es el tiempo que durará el análisis y se especifica en la celda **Final Time**. Normalmente la duración de las simulaciones en nuestras prácticas serán del orden de nanosegundos (ns) o microsegundos (us).

4. Entorno de Representación Gráfica PROBE. Ejecución de la Simulación.

Una vez configurado el tipo de simulación es necesario lanzarla. Para ello, ir al menú **Analysis/Simulate**. Después de esto, arrancará la máquina de simulación que dispone de un entorno gráfico de representación de señales de manera similar a como lo hace un osciloscopio (ver figura 7). Esta ventana está subdividida en tres bloques, el bloque donde se presentan gráficamente las señales, una ventana con mensajes del funcionamiento y resultado de la simulación, y una tercera ventana donde se muestra el estado de la simulación, es decir, el tiempo transcurrido, las tensiones de alimentación para las que se está realizando la simulación, etc.

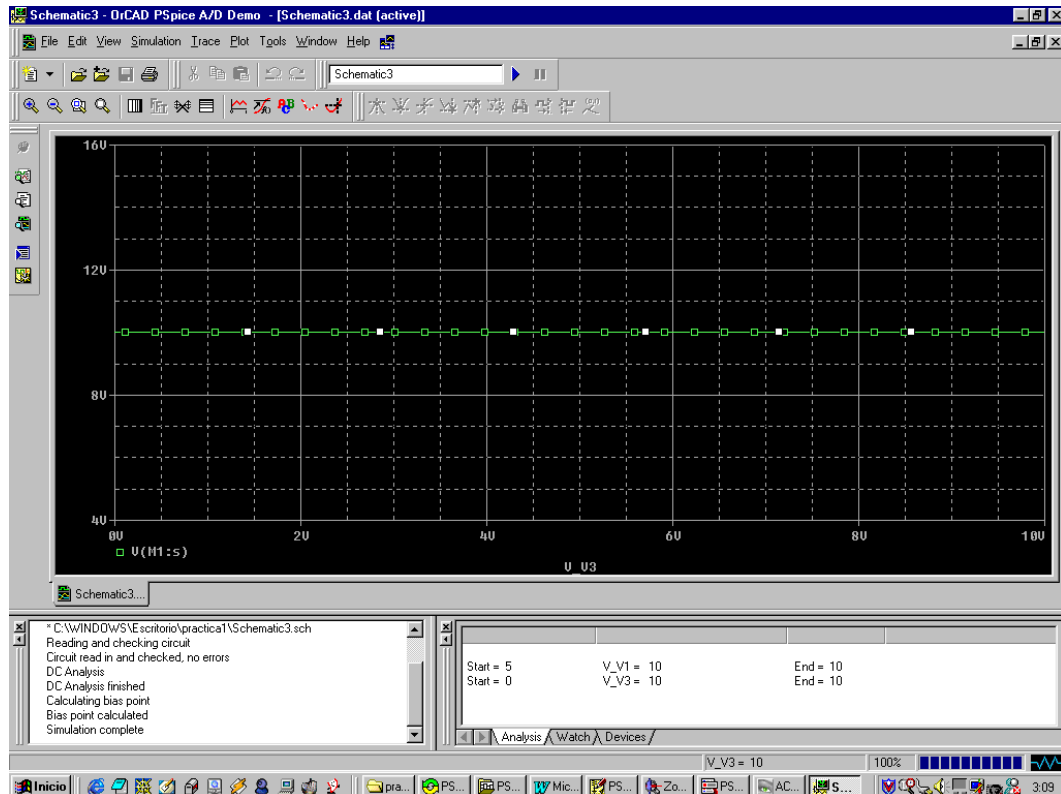


Fig.7: Entorno de Representación Gráfica PROBE.

En la ventana de simulación hay dos menús importantes:

View/Output muestra el fichero de salida (.OUT), es decir, un fichero con toda la información de simulación. Si se produce algún error de simulación es ahí donde se debe acudir.

View/Simulation Results muestra la ventana necesaria para representar las señales.

Trace/Add Trace permite elegir la función que se representará en la ventana de **Simulation Result** (ver figura 8).

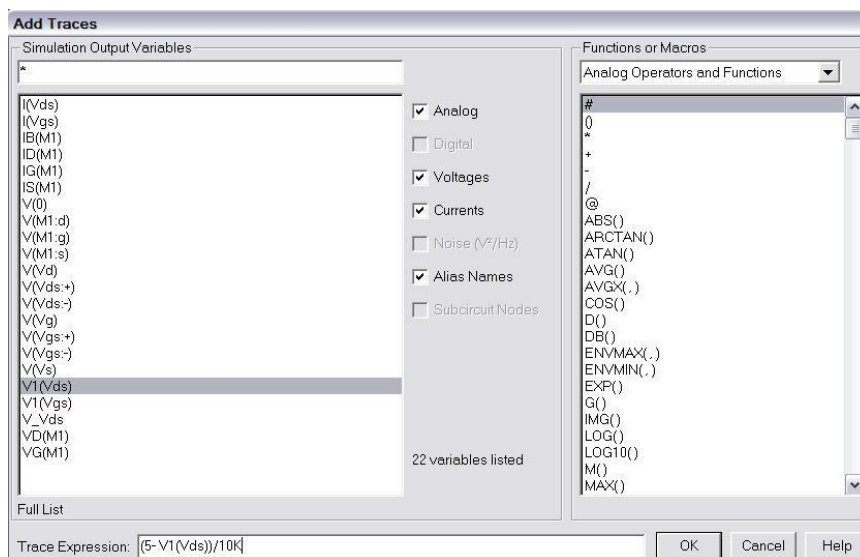


Fig.8: Elección de la magnitud a representar gráficamente, mediante Add Traces.

Permite también representar expresiones que dependen de valores de tensión/corriente obtenidos durante la simulación del circuito.

Trace/Plot/Axis settings Permite establecer la variable independiente, es decir qué variable se representa en el eje X. También puede ser una expresión compleja, como la diferencia de tensión que existe entre dos nodos. Para establecer la variable del eje X, se pulsa la opción del menú **Plot/Axis settings** y después se pulsa el botón de Axis Variable (ver figura 9).

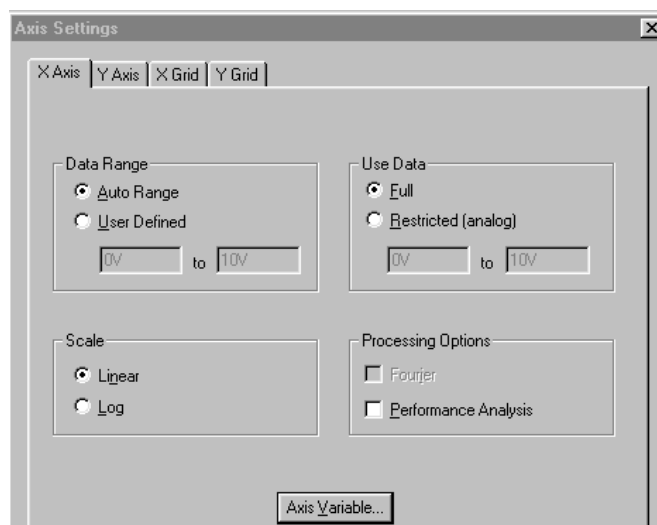


Fig.9: Especificación de la variable del eje X.

Sobre la ventana que aparece se especifica la variable o expresión del eje X, por ejemplo la diferencia de tensión entre el drenador y la fuente en un transistor MOSFET (ver figura 10).

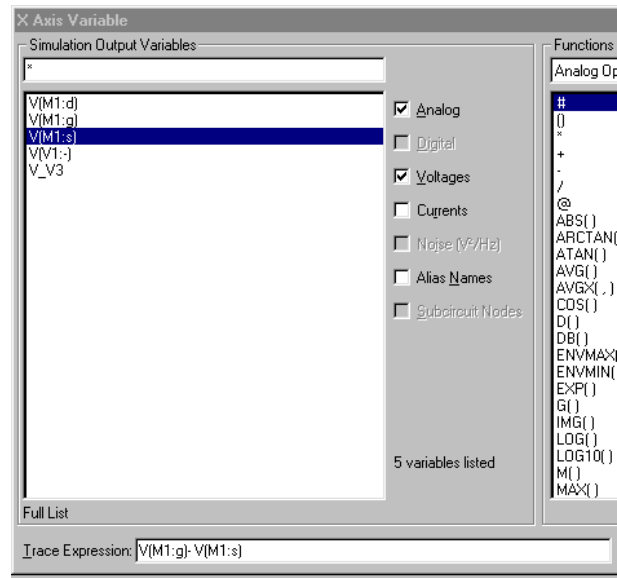


Fig.10: Ejemplo de especificación de la variable del eje X.