

Universidad Acción Pro Educación y Cultura

Introducción:

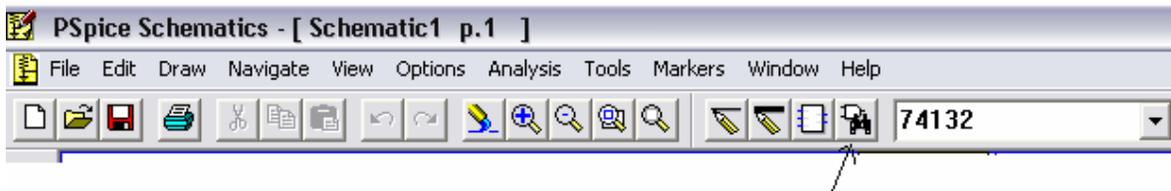
Este manual se ha elaborado con el propósito de proveer al estudiante las destrezas y conocimientos necesarios para el diseño y análisis de circuitos integrados digitales, mediante el uso de técnicas analíticas de diseño y herramientas de diseño electrónico asistido por computadoras. Tiene como punto de partida el análisis de los circuitos inversores lógicos BJT y MOSFET, cubriendo los tópicos básicos en el diseño de la estructura interna de circuitos digitales de tecnología Bipolar, CMOS, BiCMOS y sus aplicaciones en el diseño de sistemas integrados.

Como premisa es necesario recordar algunos puntos básicos de Pspice

Los siguientes procesos se llevaran a cabo en el módulo Schematics de OrCAD Pspice.

1. Buscar componentes.

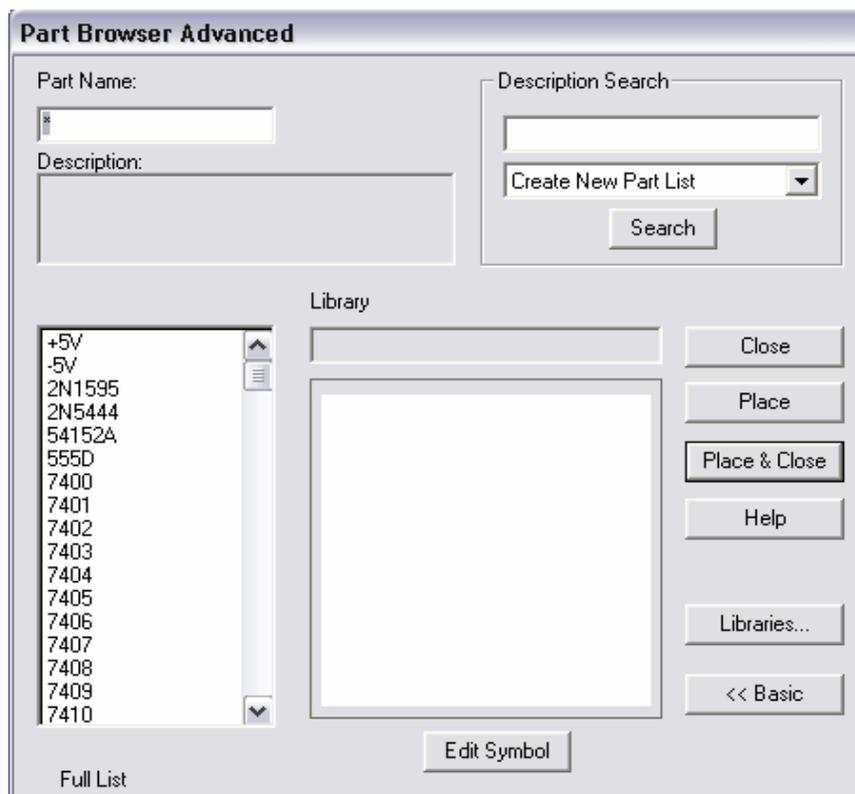
El acceso rápido a la lista de componentes y librerías es el icono con una compuerta y binoculares.



Esto accesa a la ventana **Part Browser** que puede ser **Advanced** o **Basic**.

Basic: nos da la oportunidad de escribir el nombre del dispositivo y leer su descripción.

Advanced (recomendado): incluye las opciones de **Basic**, y permite la búsqueda por descripción, crear una lista de piezas nueva, administrar librerías y nos muestra el símbolo del componente.



Después de seleccionar un componente, se tienen dos opciones, **Place** – que te permite colocar el componente y seleccionar otro, y **Place & Close** – que es para colocar el componente y cerrar la ventana.

2. Simulación

A la hora de simular un circuito se debe tener en cuenta qué es lo que se busca en la simulación. Al simular un circuito se pueden hacer varios análisis: barrido de voltaje, variación de parámetros, transitorio, peor caso, Monte Carlo, etc.

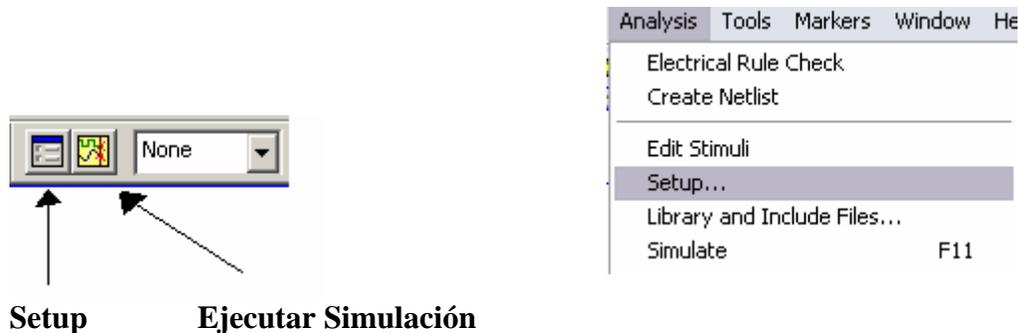
Las más relevantes son:

Bias Point Detail – Calcula los valores de corriente y voltaje DC en el circuito.

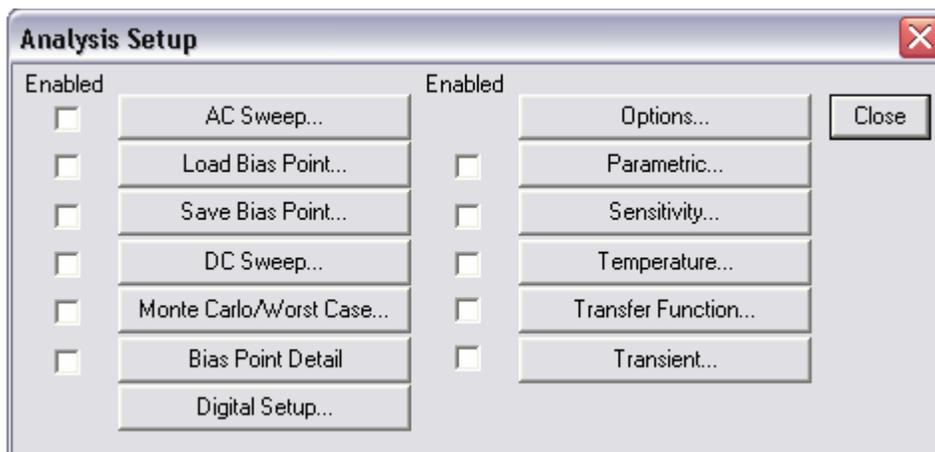
DC Swep – Hace un barrido de una o varias fuentes DC para analizar la respuesta del circuito.

Transient – Analiza la respuesta del circuito en una ventana de tiempo.

Para configurar estos análisis se debe acceder a la ventana **Analysis Setup**. Esto se puede hacer a través del menú como se muestra en la figura, o a través del botón de acceso directo.



Esto desplegará la ventana **Analysis Setup**, que nos permite seleccionar y configurar el tipo de análisis que vamos a usar. Los valores e indicaciones sobre la configuración serán dados en cada práctica.

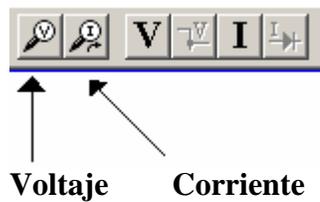


3. Resultados gráficos

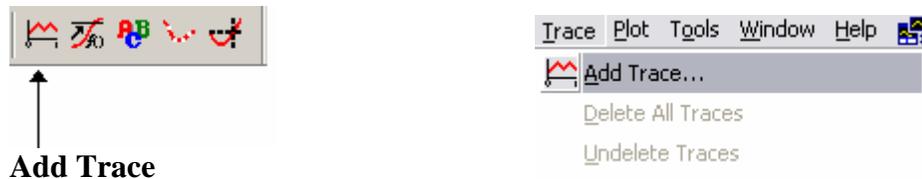
Una vez ejecutada la simulación se abrirá la ventana de despliegue gráfico llamada **OrCAD Pspice A/D**.

Esta ventana solo mostrará las curvas de salida de los puntos del circuito marcados por el usuario, o las curvas seleccionadas posteriormente.

Para marcar un punto a graficar antes de iniciar la simulación basta con colocar un marcador de corriente o voltaje en dicho punto.

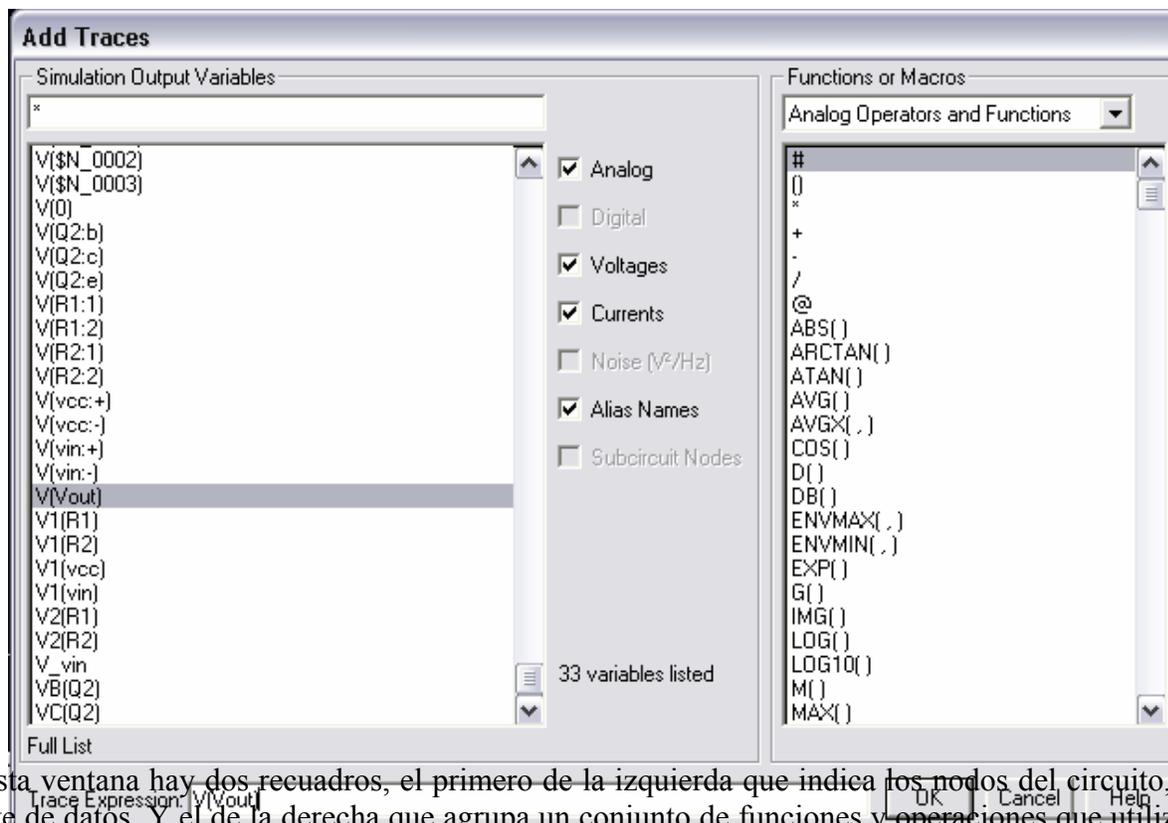


Para desplegar una grafica después del análisis solo necesita agregar el nodo. Para esto necesita abrir el menú de **Add Trace**, mediante el icono o el menú.



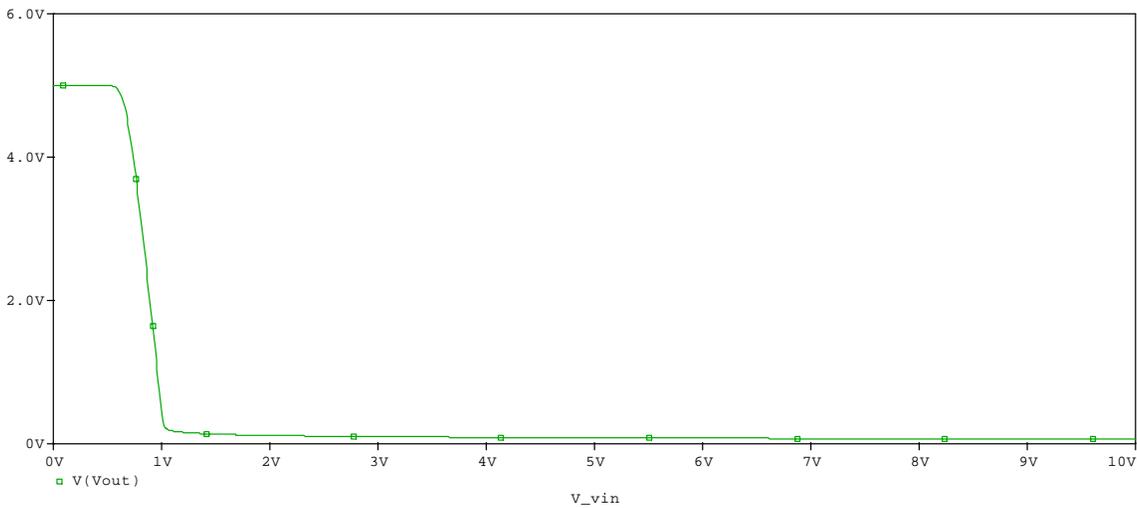
Sugerencia:

Es preferible marcar todos los puntos de interés con nombres fácilmente reconocibles, como "Vout" o "Vin" ya que la ventana **Add Trace** toma como referencia los nodos del circuito.



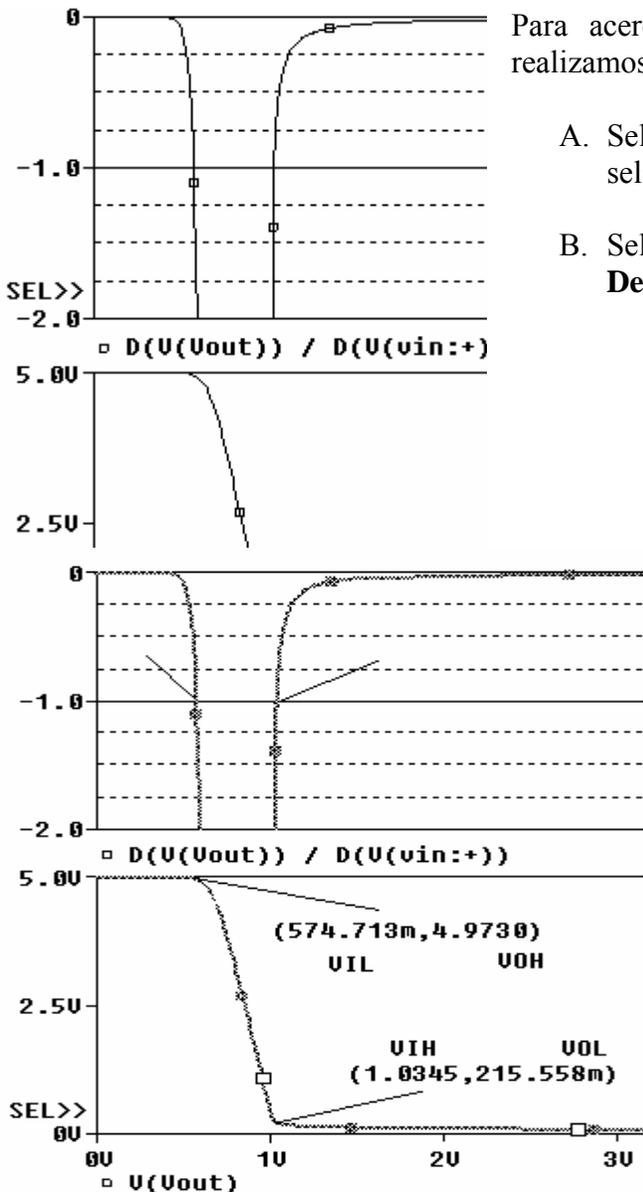
En esta ventana hay dos recuadros, el primero de la izquierda que indica los nodos del circuito, estos son la fuente de datos. Y el de la derecha que agrupa un conjunto de funciones y operaciones que utilizaremos para conseguir datos indirectos.

Las gráficas para los circuitos lógicos nos ayudan a encontrar los niveles de operación, que son de suma importancia para la comparación de familias lógicas.



Estos valores son los valores críticos identificados porque la pendiente de la curva en ese punto es -1 ; para obtener estos valores debemos calcular la pendiente:

Primero necesitamos agregar otro espacio para graficar, esto se logra con la opción **Add Plot to Window** en el menú **Plot**. Después abrimos el menú **Add Trace** para seleccionar la ecuación de la pendiente. Con esto obtendremos la curva de la pendiente, la cual en la curva de arriba es:



Para acercar la grafica hasta el valor que nos interesa (-1), realizamos un acercamiento de eje:

- Seleccionamos la opción del menú **Plot** y dentro de esta seleccionamos **Axis Settings**.
- Seleccionamos **Y Axis** y dentro de esta activamos **User Defined** y colocamos un rango de -2 a 0.

4. Niveles de operación (VOL, VIL, VIH y VOH)

Para encontrar los valores de los niveles de operación debemos ubicar el cursor  en dos puntos de la curva de salida que coincidan con el paso por -1 de la pendiente. Seleccionamos el primer punto en la curva de salida, hacemos click en el botón **Mark Label**. Seleccionamos el segundo punto y hacemos click en **Mark Label** .

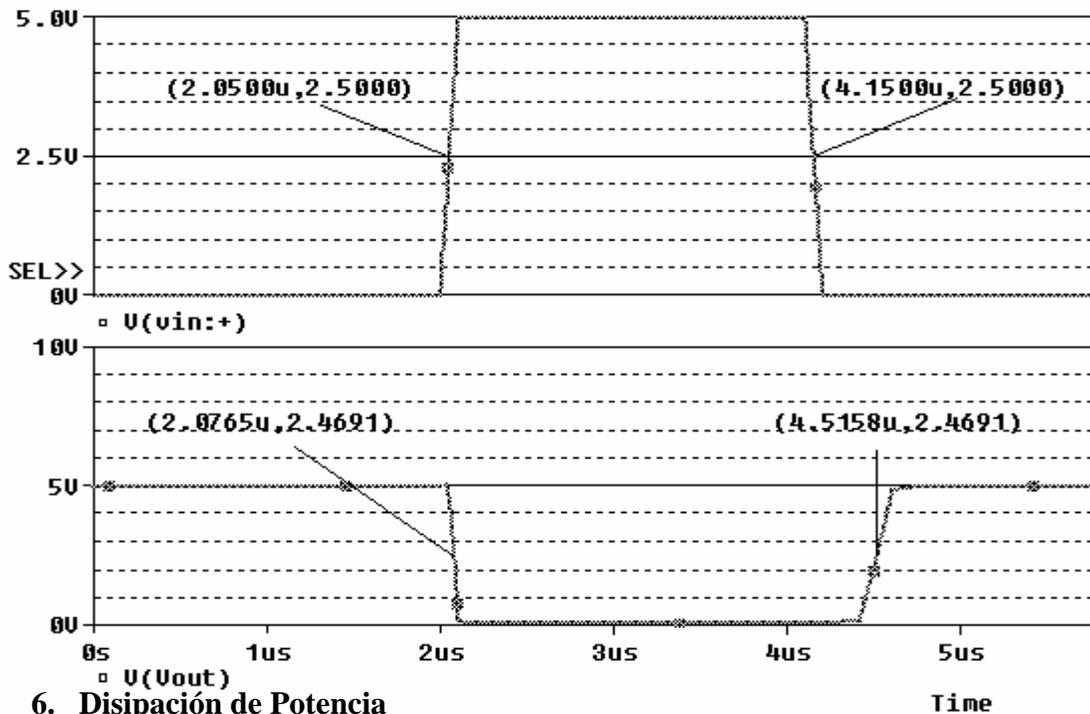
5. Retardos de Propagación

Para obtener los retardos de propagación de una compuerta, necesitamos graficar su curva de entrada y su curva de salida. El retardo se define como el tiempo que tarda la salida para cambiar de nivel, cuando ocurre un cambio en la entrada, como referencia se utiliza el punto medio de los voltajes máximo y mínimo de la entrada y la salida. Para este análisis se necesita una fuente de pulsos (**VPULSE**) que será introducida mas adelante.

Para este ejemplo lo resolvemos de la siguiente manera:

$$\text{TPHL} = 2.0765\mu\text{s} - 2.0500\mu\text{s}$$

$$\text{TPLH} = 4.5158\mu\text{s} - 4.1500\mu\text{s}$$



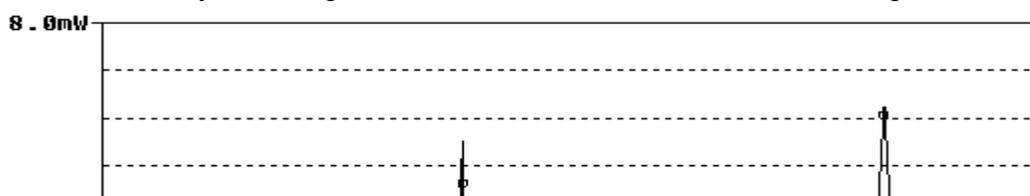
6. Disipación de Potencia

Para una compuerta se especifican dos potencias:

Potencia estática: es la potencia que disipa la compuerta en estados fijos.

Potencia dinámica: es la potencia que disipa la compuerta en los cambios de estado.

Para encontrar estos valores, se necesita una gráfica de disipación de potencia, que se obtiene graficando la función “voltaje de alimentación * corriente de alimentación”. En esta función, el valor máximo de los picos es la potencia dinámica, y el valor promedio de los dos valores estables será la potencia estática.



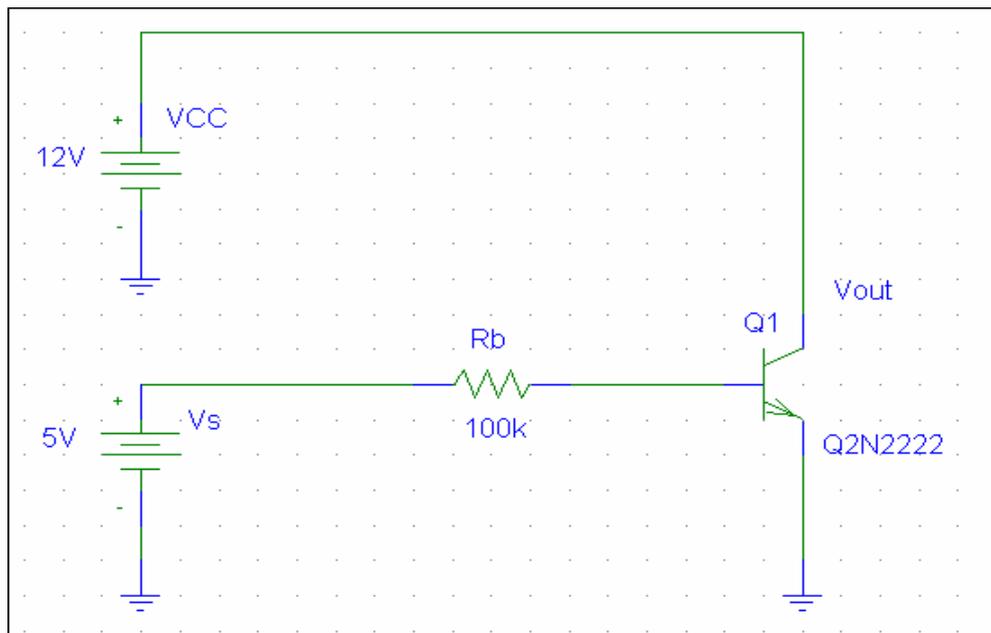
Laboratorio de Electrónica Digital
Práctica 1
Familia de Curvas del BJT

OBJETIVOS:

- Mostrar la familia de curvas de un transistor bipolar (NPN y PNP).
- Determinar la corriente de base de los transistores en cada curva.
- Calcular la impedancia de salida.
- Mostrar el efecto de la temperatura sobre la ganancia β .

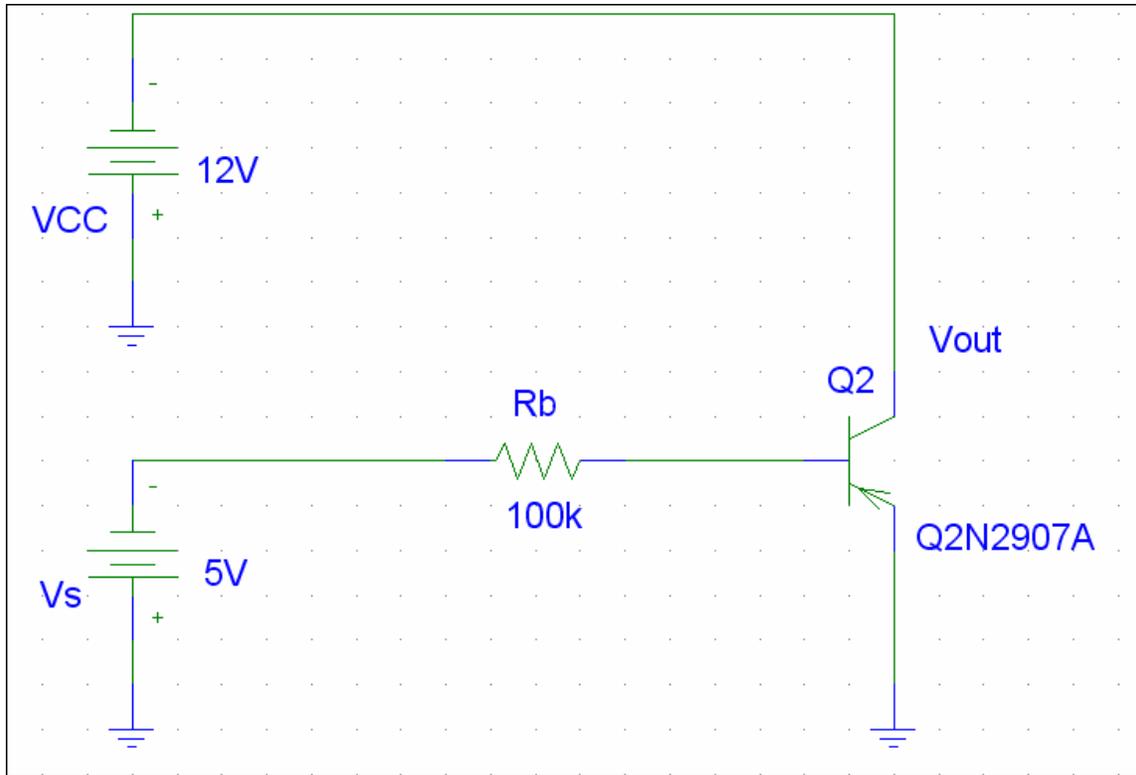
PROCEDIMIENTO:

1. Monte el circuito con el transistor NPN de la siguiente figura en **Schematics**.



2. En **Schematics**, vaya a **Analysis**, luego seleccione **Setup**. Elija **DC Sweep** y presione el botón. En el menú, en **Voltage Source** introduzca el nombre de la fuente de voltaje en el colector (VCC) con un valor de 0V en **Start Value** y 10 para **End Value**, con incrementos de 0.01V en **Increment**. Asegúrese de que el **Sweep Type** quede marcado en **Linear**.
3. Elija **Nested Sweep** para configurar a Vs. Seleccione **Voltage Source** y ponga Vs en el **Name**. valor inicial de 0V, valor final de 10V, en incrementos de 2V. Marque el cuadro que dice **Enable Nested Sweep**. Asegúrese de que el **Sweep Type** quede marcado en **Linear**.
4. Vaya a **Analysis** y elija **Simulate**.
5. Se abrirá la ventana de **Pspice A/D** donde se ven los resultados de las simulaciones gráficamente. Vaya a **Trace** y elija **Add Trace**. Seleccione la corriente Ic para ver la gráfica.
6. Calcule la impedancia de salida, $Z_{SAL} = \Delta V_c / \Delta I_c$. En **Pspice A/D**, oprima el botón **Toggle Cursor**. Con el mouse, dé con el botón izquierdo en un punto de una de las curvas. Con el derecho, en otra porción más baja de la misma curva. Observe la ventana **Probe Cursor**. Los valores **dif** son los valores delta de voltaje (en x), y los de corriente (en y).

7. ¿Cómo afecta la temperatura a β ? En **DC Sweep**, elija **Temperature**. Que comience con valores de -50° hasta 50° en incrementos de 1° . Deshabilite **Nested Sweep** eligiendo dicho botón y quitándole la marca que tiene en **Enable Nested Sweep**. En *Pspice A/D*, vaya a **Add Trace**, introduzca la ecuación $IC(Q1)/IB(Q1)$ en **Trace Expression**.
8. Repita los pasos 2 hasta el 7 para el PNP de la siguiente figura:



Laboratorio de Electrónica Digital

Práctica 2

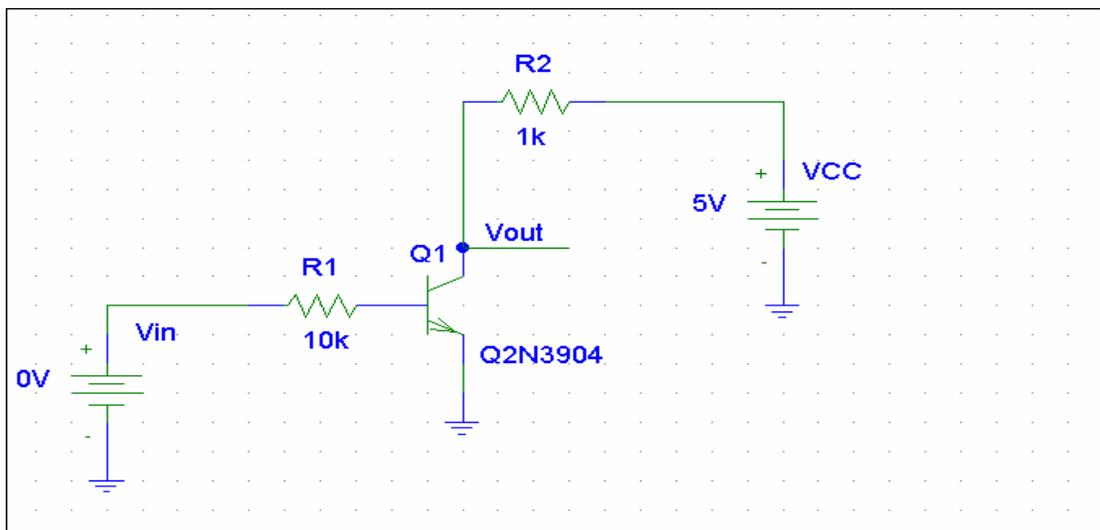
Inversor Básico

OBJETIVOS:

- Mostrar la curva característica de transferencia (VTC) de un inversor básico con un solo BJT NPN.
- Determinar cuales serán los valores V_{OL} , V_{OH} , V_{IL} , V_{IH} .
- Calcular los márgenes de ruido N_{ML} y N_{MH}
- Calcular PSLH y PSHL.
- Aplicar un pulso V_{in} y encontrar V_{out} .
- Determinar TPLH y TPHL.
- Trazar la gráfica de potencia dinámica - estática.

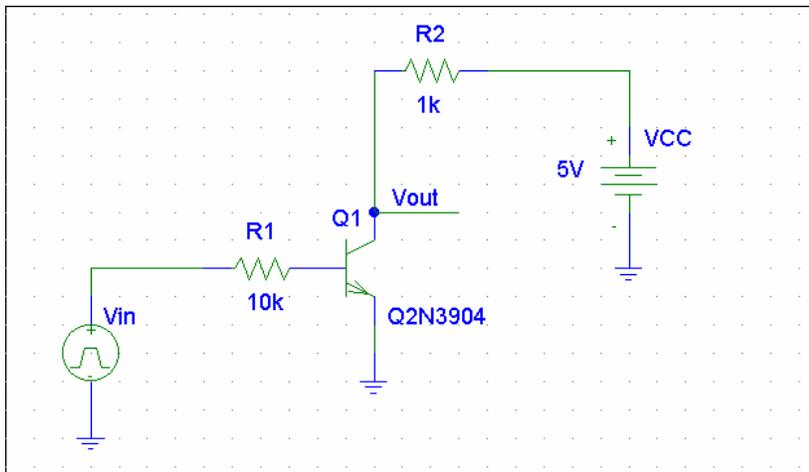
PROCEDIMIENTO:

1. Monte el circuito como se muestra en la siguiente figura en **Schematics**.

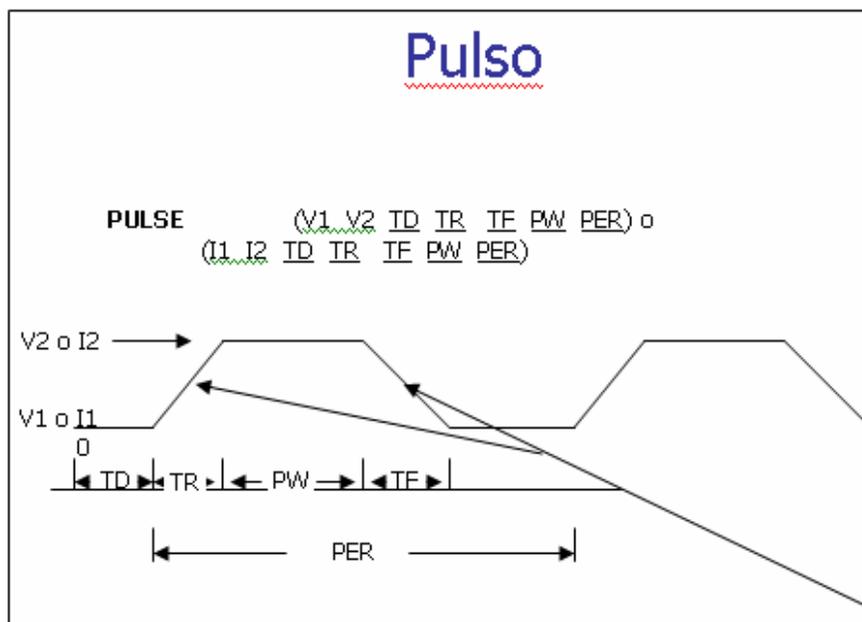


2. En **Schematics**, vaya a **Analysis**, luego seleccione **Setup**. Elija **DC Sweep** y presione el botón. En el menú, en **Voltage Source** introduzca el nombre de la fuente de voltaje de entrada (V_{IN}) con un valor de 0V en **Start Value** y 5v para **End Value**, 0.01V en **Increment**, déle un valor a la fuente de VCC de 5V.
3. Vaya a **Analysis** y elija **Simulate**.
4. Se iniciará el programa de **Pspice A/D** donde se ven los resultados de las simulaciones gráficamente. Vaya a **Trace** y elija **Add Trace**. Seleccione el voltaje en el nodo de salida del circuito. Se verá la curva de transferencia.
5. En **Plot**, elija **Add Plot to Window**. Seleccione la nueva ventana y vaya a **Add Trace**, en **Trace Expresión** tiene que colocar esta ecuación: $D(V(Vout)) / D(V(Vin:+))$. Con esto, encontrará los valores de V_{OL} , V_{OH} , V_{IL} , V_{IH} y los márgenes de ruido N_{ML} y N_{MH} . Elija en el menú a **Plot – Axis Settings**. Elija la pestaña **Y Axis** y ponga el **Data Range** en **User Defined** con un valor de -2 a 0. Elija del menú gráfico el botón de **Toggle Cursor** . En la gráfica marque donde la pendiente (en Y) sea igual a -1. Los valores en X serán los valores de voltaje buscados.
6. Calcule los retardos de tiempo. Utilice la fuente de pulsos (VPULSE) como en la siguiente figura. Configure la señal digital de entrada $V1=0v$, $V2=5v$ con tiempos de $TD=2us$, $TR=0s$, $TF=0s$, $PW=2us$, y $PER=4us$.

- Vaya a **Analysis – Setup** y elija **Transient**. Ponga el **Print Step** en 0s y el **Final Time** en 10uS. Simule el circuito.



Luego vaya a **Pspice A/D** y obtenga dos gráficas, una con el voltaje V_{in} y otra V_{out} . Busque con el Cursor las diferencias de tiempo para calcular los TPLH y TPHL entre las gráficas. La gráfica de abajo muestra los valores configurados en VPULSE.



- Calcule las potencias dinámica y estática. Obtenga, en **Pspice A/D** tres gráficas, una de voltaje de salida, una de corriente de salida, y otra con la multiplicación de estos valores, que dará la potencia total (en **Add Trace**, ponga las variables de V_{out} e I_{out} multiplicadas, usando “*” como el signo de multiplicación).

Práctica 3

Laboratorio de Electrónica Digital

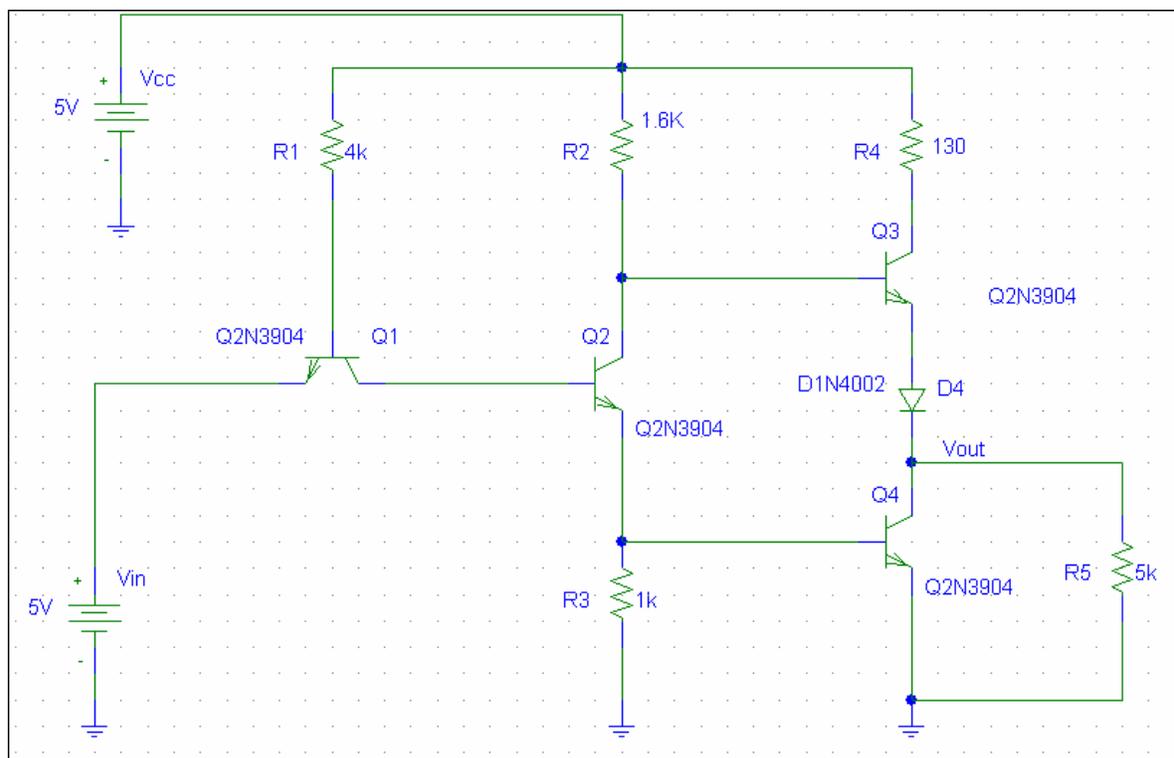
Inversor TTL

OBJETIVOS:

- Mostrar curva característica de transferencia (VTC) de un inversor TTL.
- Determinar los valores V_{OL} , V_{OH} , V_{IL} , V_{IH} .
- Calcular los márgenes de ruido N_{ML} y N_{MH}
- Calcular PSLH y PSHL.
- Aplicar pulso V_{in} y encontrar V_{out} .
- Determinar TPLH y TPHL.
- Trazar gráfica de potencia dinámica y estática.

PROCEDIMIENTO:

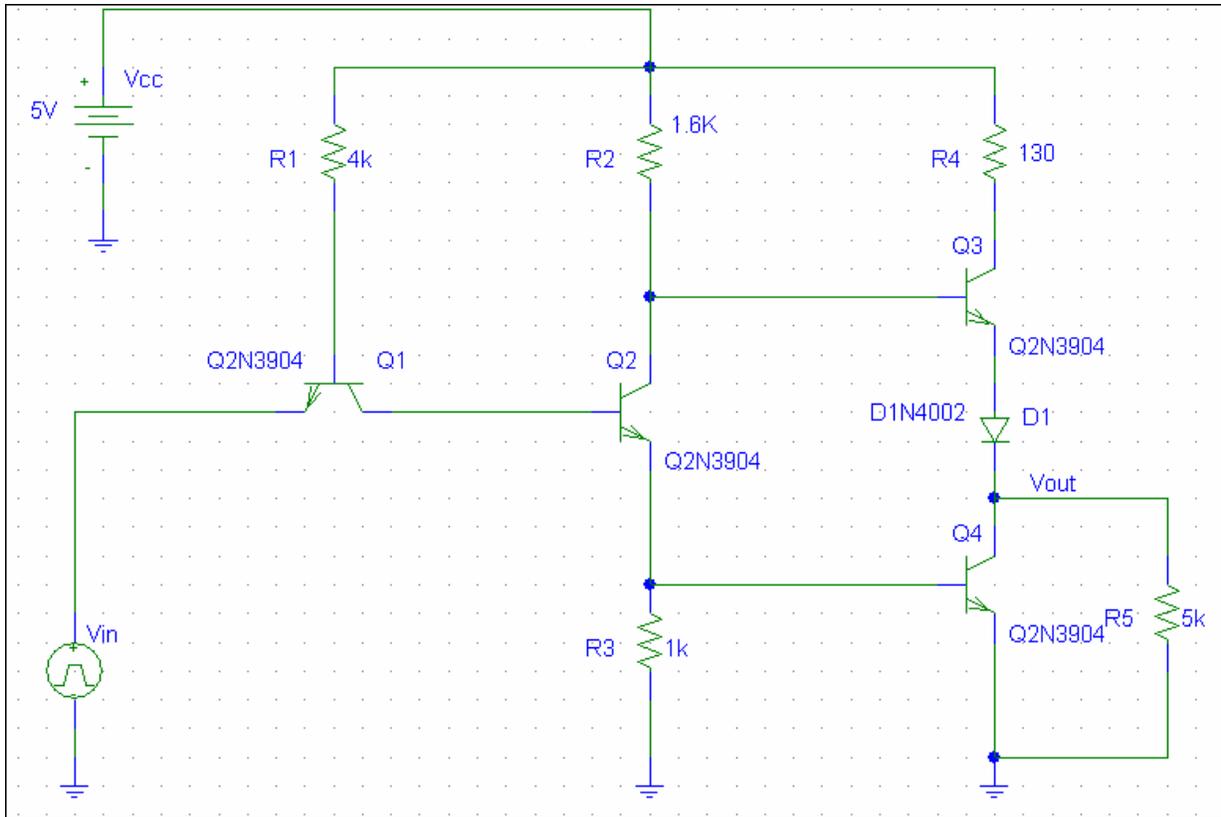
1. Monte el circuito como se muestra en la siguiente figura en **Schematics**.



2. En **Schematics**, vaya a **Analysis**, luego seleccione **Setup**. Elija **DC Sweep** y presione el botón. En el menú, en **Voltage Source** introduzca el nombre de la fuente de voltaje de entrada (V_{IN}) con un valor de 0V en **Start Value**, 10 para **End Value**, 0.01V en **Increment**, déle un valor a la fuente de VCC de 5V.
3. Vaya a **Analysis** y elija **Simulate**.
4. Se iniciará el programa de **Pspice A/D** donde se ven los resultados de las simulaciones gráficamente. Vaya a **Trace** y elija **Add Trace**. Seleccione el voltaje en el nodo de salida del circuito.
5. Se verá la curva de transferencia. En **Plot**, elija **Add Plot to Window**. Seleccione la nueva ventana y vaya a **Add Trace**. En Trace Expresión coloque la ecuación de la pendiente $D(V(Vout)) / D(V(Vin:+))$. Con esto, encontrará los valores de V_{OL} , V_{OH} , V_{IL} , V_{IH} y los márgenes de ruido N_{ML} y N_{MH} . Elija en el menú a **Plot – Axis Settings**. Elija la pestaña **Y Axis** y ponga el **Data Range** en

User Defined con un valor de -2 a 0. Elija del menú gráfico el botón de **Toggle Cursor** . En la gráfica marque donde la pendiente (en Y) sea igual a -1. Los valores en X serán los valores de voltaje buscados.

- Calcule los retardos de tiempo. Utilice la fuente de pulsos (VPULSE) configurada de la siguiente forma $V1=0$, $V2=5\text{v}$ con tiempos de $TD=2\mu\text{s}$, $TR=0\text{s}$, $TF=0\text{s}$, $PW=2\mu\text{s}$, y $PER=4\mu\text{s}$. Vaya a **Analysis** – **Setup** y elija **Transient**, ponga el **Print Step** en 0s y el **Final Time** en 10 μs .
- Simule. Luego vaya a *Pspice A/D* y obtenga dos gráficas (plots), una con el voltaje de V_{IN} y otra con el voltaje de salida V_{out} . Busque con el Cursor las diferencias de tiempo para calcular los TPLH y TPHL entre las gráficas.



- Calcule las potencias dinámica y estática. Obtenga, en *Pspice A/D* tres gráficas, una de voltaje de alimentación, una de corriente de alimentación, y otra con la multiplicación de estos valores, que dará la potencia total.

Preguntas

- ¿Qué pasa si quitamos el diodo D1? ¿Cómo afecta esto a la gráfica VTC?
- ¿Qué pasa si aumentamos la frecuencia (reducimos el período) de la señal de entrada? ¿Hasta que punto el inversor trabaja aceptablemente?

Laboratorio de Electrónica Digital

Práctica 4

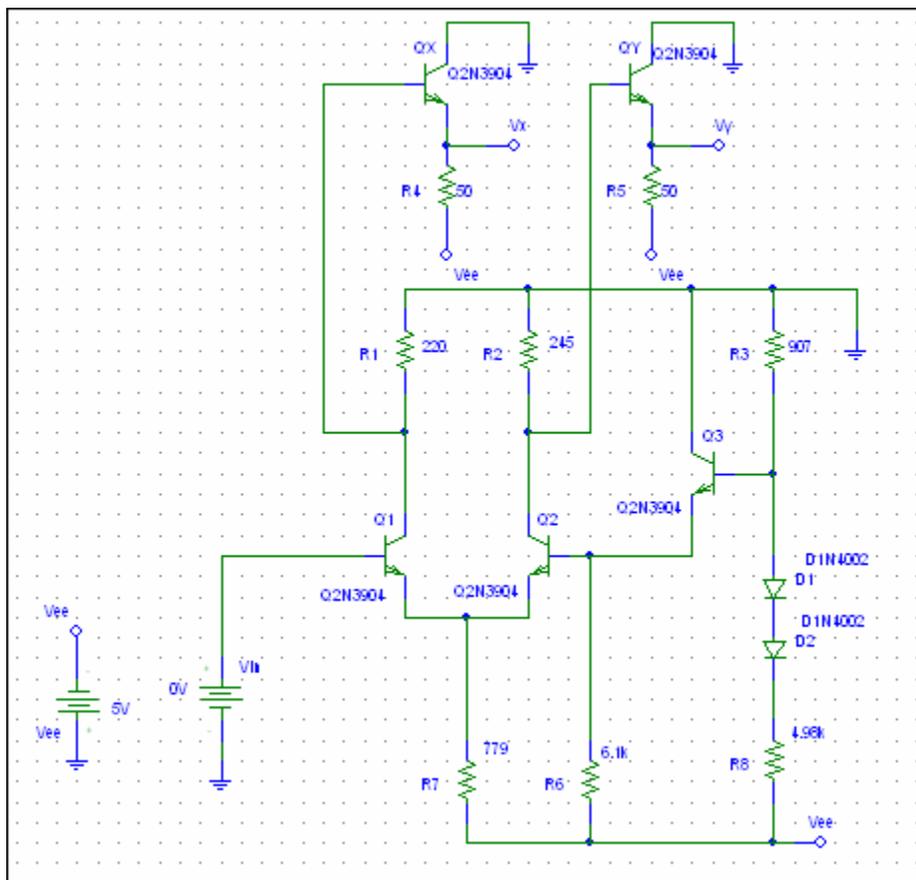
Inversor ECL

OBJETIVOS:

- Mostrar la curva característica de transferencia (VTC) de un inversor ECL.
- Determinar cuales serán los valores V_{OL} , V_{OH} , V_{IL} , V_{IH} .
- Calcular los márgenes de ruido N_{ML} y N_{MH}
- Calcular PSLH y PSHL.
- Aplicar pulso V_{in} y encontrar V_{out} .
- Determinar TPLH y TPHL.
- Trazar la gráfica de potencia dinámica y estática.

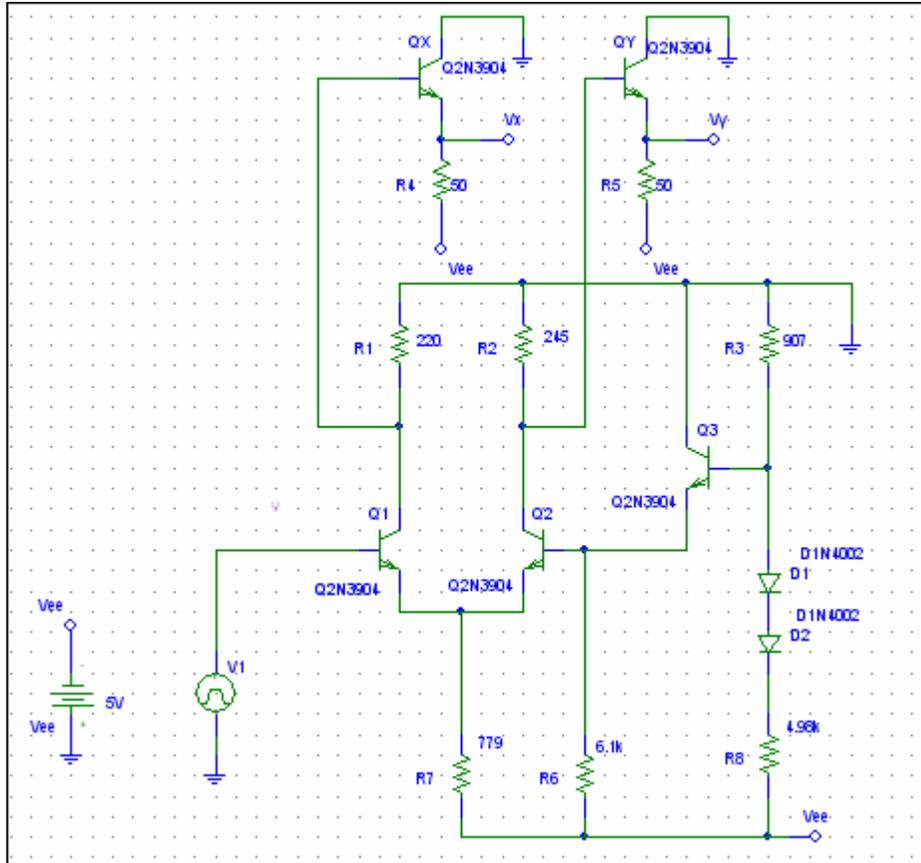
PROCEDIMIENTO:

1. Monte el circuito como se muestra en la siguiente figura en **Schematics**.



2. En **Schematics**, vaya a **Analysis**, luego seleccione **Setup**. Elija **DC Sweep** y presione el botón. En el menú, en **Voltage Source** introduzca el nombre de la fuente de voltaje de entrada (VIN) con un valor de 0V en **Start Value** y -10 para **End Value**, con incrementos de 0.01V. Déle un valor a la fuente Vee de 5V.
3. Vaya a **Analysis** y elija **Simulate**.
4. Se iniciará el programa de **Pspice A/D** donde se ven los resultados de las simulaciones gráficamente. Vaya a **Trace** y elija **Add Trace**. Seleccione el voltaje en el nodo de salida del circuito, V(Vx).

- Se verá la curva de transferencia. En **Plot**, elija **Add Plot to Window**. Seleccione la nueva ventana y vaya a **Add Trace**. En **Trace Expresión** tiene que estar así: $D(V(Vx)) / D(V(Vin: +))$. También haga lo mismo pero con el voltaje en Vy . Con esto, encontrará los valores de VOL , VOH , VIL , VIH y los márgenes de ruido NML y NMH
- Calcule los retardos de tiempo. Utilice la fuente de pulsos (**VPULSE**) como en la figura.



Configure la señal digital de entrada $V1=0v$, $V2=5v$ con tiempos de $TD=2\mu s$, $TR=0s$, $TF=0s$, $PW=2\mu s$, y $PER=4\mu s$. Vaya a **Analysis – Setup** y elija **Transient**. Ponga el **Print Step** en $0s$ y el **Final Time** en $10\mu s$. Simule. Luego vaya a **Pspice A/D** y obtenga dos gráficas (plots), una con el voltaje de $V(V1: +)$ y otra con el voltaje de salida $V(Vx)$. Busque con el Cursor las diferencias de tiempo para calcular los $TPLH$ y $TPHL$ entre las gráficas.

- Calcule las potencias dinámica y estática. Obtenga, en **Pspice A/D** tres gráficas: voltaje de alimentación $V(V1: +)$, corriente de alimentación $I(V1)$, y otra con la multiplicación de estos valores, que dará la potencia total.

Pregunta

- ¿Qué pasa si aumentamos la frecuencia (reducimos el período) de la señal de entada? ¿Hasta que punto el inversor trabaja aceptablemente? (Compárelo con los valores de la práctica anterior).

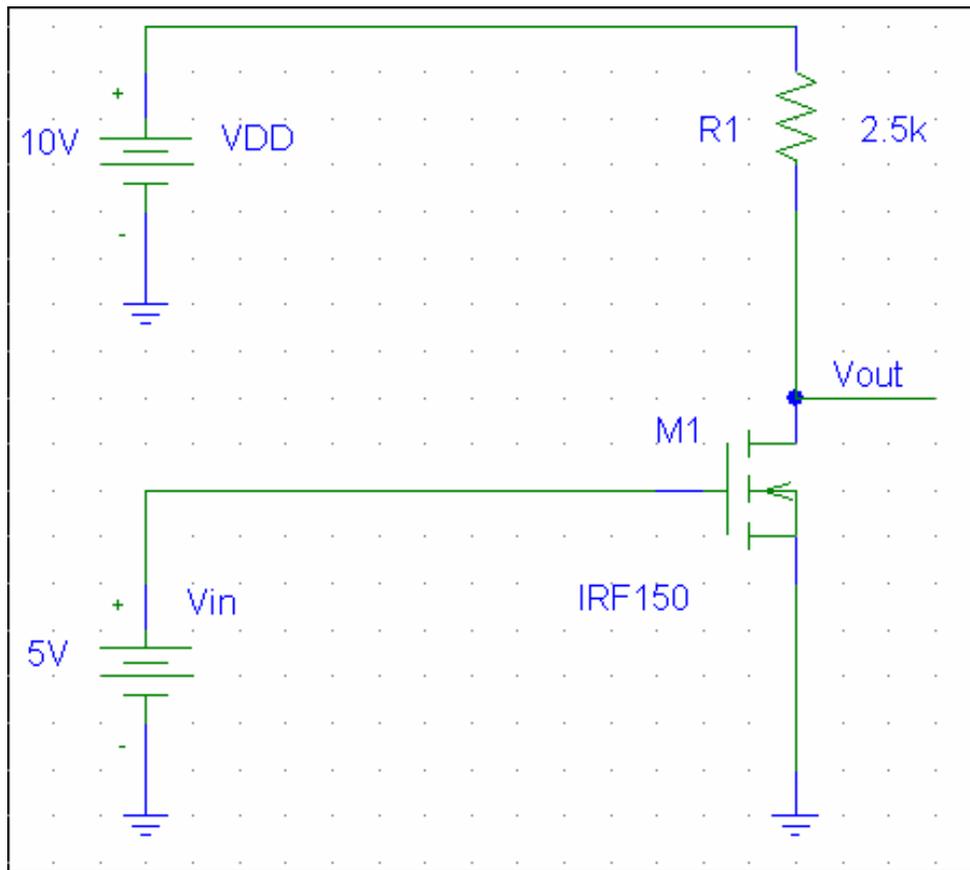
Laboratorio de Electrónica Digital
Práctica 6
Familias de curvas del MOSFET

OBJETIVOS:

- Mostrar la familia de curvas de un Transistor de Efecto de Campo Semiconductor de Óxido Metálico (canal N y P).
- Determinar las corrientes de base de los transistores en cada curva.
- Ver como la curva cambia al variar el parámetro de modelo V_{to} .

PROCEDIMIENTO:

1. Monte el circuito con el transistor MOSFET canal N de la siguiente figura en **Schematics**.



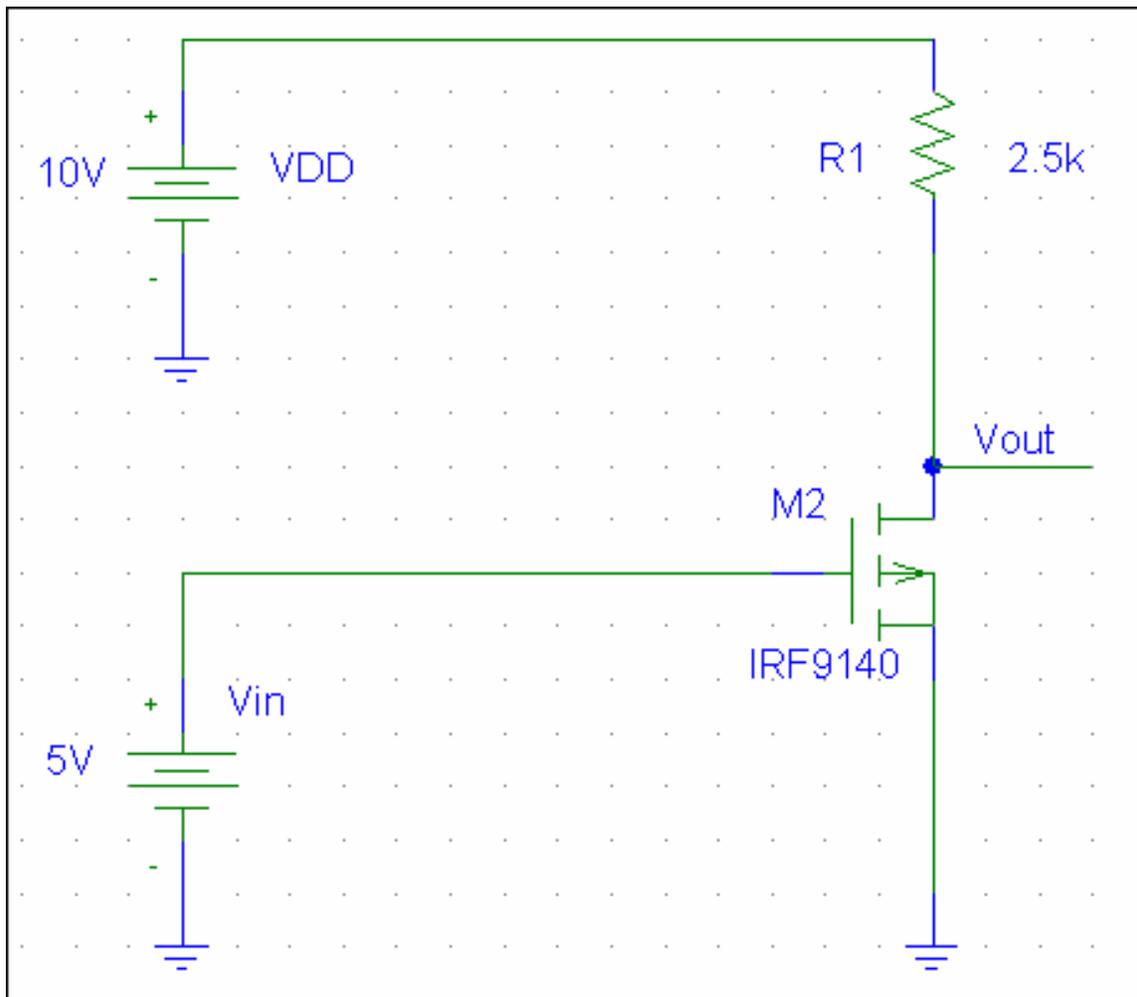
Elija el MOSFET. En el menú elija **Edit – Model**. Le saldrá una ventana. Elija **Edit Instance Model (text)**. Borre todos los valores y añada los siguientes:

$K_p=70e-4$

$V_{to}=1$

$LAMBDA=0.011$

2. En **Schematics**, vaya a **Analysis**, luego seleccione **Setup**. Elija **DC Sweep** y presione el botón. En el menú, en **Voltage Source** introduzca el nombre de la fuente de voltaje en el GATE (V_{in}) con un valor de 0V en **Start Value** y 10 para **End Value**, con incrementos de 0.01V en **Increment**.
3. Elija **Nested Sweep** para configurar a VDD. Que comience con valores de 0V hasta 10V en incrementos de 2V. Asegúrese de marcar **Enable Nested Sweep**.
4. Simule el circuito.
5. Se iniciará el programa de *Pspice A/D* donde se ven los resultados de las simulaciones gráficamente. Vaya a **Trace** y elija **Add Trace**. Seleccione la corriente I_D en el nodo de salida del circuito (V_{OUT}).
6. Para variar V_{to} , seleccione el transistor, luego vaya a **Edit**, **Edit Model**. En la ventana, busque a V_{to} y cambie el valor para ver como varía la curva.
7. Repita los pasos 2 hasta el 6 para el de canal P de la siguiente figura:



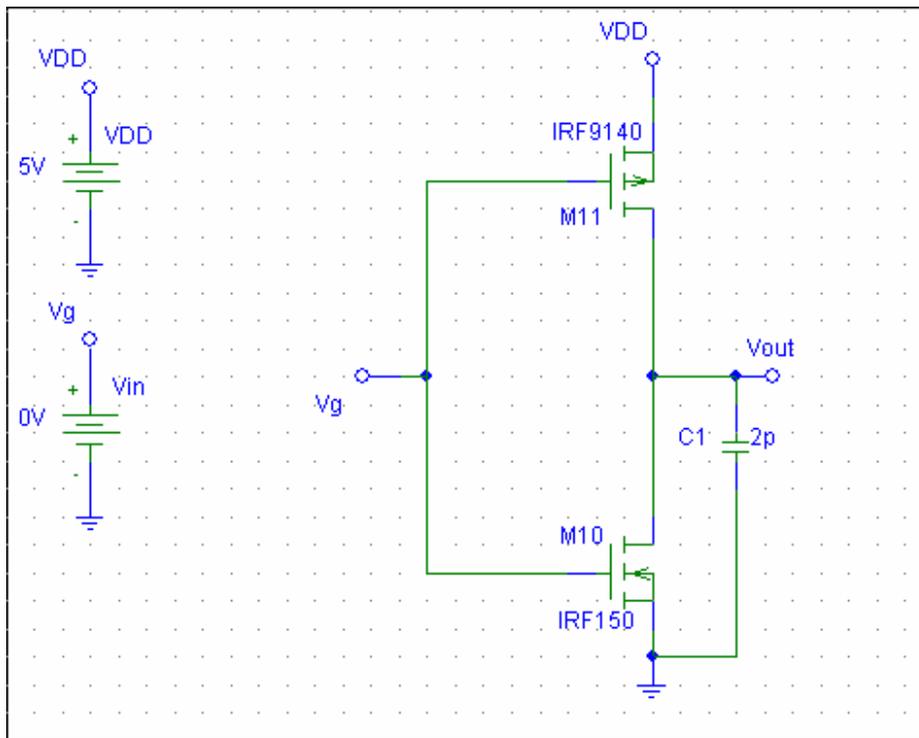
Laboratorio de Electrónica Digital
Práctica 7
Inversor CMOS

OBJETIVOS:

- Mostrar la curva característica de transferencia (VTC) de un inversor CMOS.
- Determinar cuales serán los valores V_{OL} , V_{OH} , V_{IL} , V_{IH} .
- Determinar los márgenes de ruido N_{ML} y N_{MH}
- Calcular PSLH y PSHL.
- Aplicar pulso V_{in} y encontrar V_{out} .
- Determinar TPLH y TPHL.
- Trazar grafica de potencia dinámica y estática.

PROCEDIMIENTO:

1. Monte el siguiente circuito en **Schematics**.



2. Utilice los parámetros de modelo para el MOSFET canal P y MOSFET canal N siguientes: (**Nota para variar los parámetros, ir a *edit model* y eliminar la data dentro del paréntesis, luego agregar la siguiente data**)

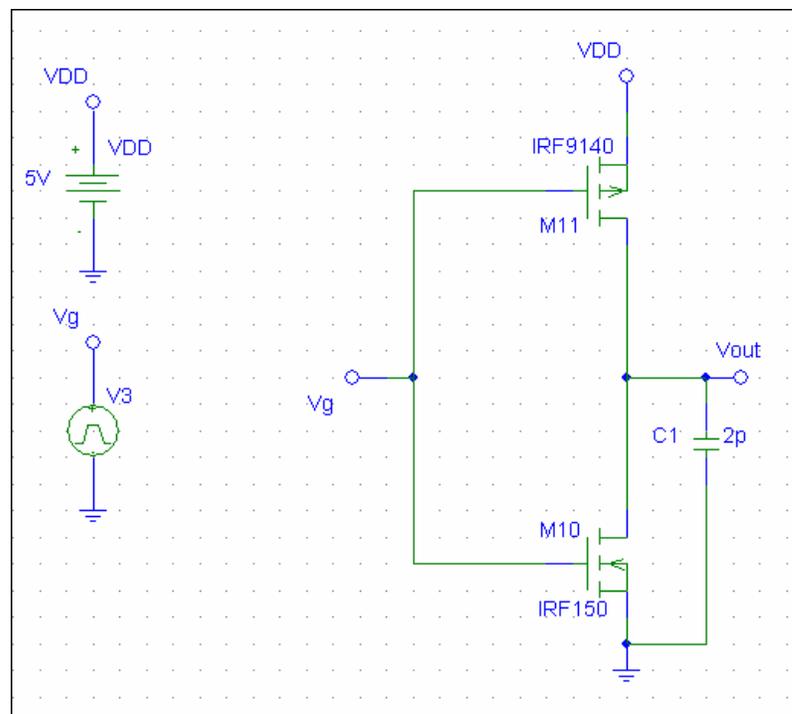
Modelo Canal P

$K_p=40u$
 $V_{to}=-1$
 $LAMBDA=0.011$

Modelo Canal N

$K_p=40u$
 $V_{to}=1$
 $LAMBDA=0.011$

- En **Schematics**, vaya a **Analysis**, luego seleccione **Setup**. Elija **DC Sweep** y presione el botón. En el menú, en **Voltage Source** introduzca el nombre de la fuente de voltaje de entrada (V_{IN}) con un valor de 0V en **Start Value** y 5V para **End Value**, con incrementos de 0.01V en **Increment**, déle un valor a la fuente de VDD de 5V.
- Vaya a **Analysis** y elija **Simulate**.
- Se iniciará el programa de **Pspice A/D** donde se ven los resultados de las simulaciones gráficamente. Vaya a **Trace** y elija **Add Trace**. Seleccione el voltaje en el nodo de salida del circuito.
- Se verá la curva de transferencia. En **Plot**, elija **Add Plot to Window**. Seleccione la nueva ventana y vaya a **Add Trace**, seleccione en el lado derecho a “D()” (derivada). En Trace Expresión tiene que estar así: $D(V(Vout)) / D(V(Vin:+))$. Con esto, encontrará los valores de V_{OL} , V_{OH} , V_{IL} , V_{IH} y los márgenes de ruido N_{ML} y N_{MH} . Elija en el menú a **Plot – Axis Settings**. Elija la pestaña **Y Axis** y ponga el **Data Range** en **User Defined** con un valor de -2 a 0. Elija del menú gráfico el botón de **Toggle Cursor** . En la gráfica marque donde la pendiente (en Y) sea igual a -1. Los valores en X serán los valores de voltaje buscados.
- Calcule los retardos de tiempo. Utilice la fuente de pulsos (VPULSE) como en la figura siguiente.



Configure la señal digital de entrada $V1=0v$, $V2=5v$ con tiempos de $TD=2\mu s$, $TR=0s$, $TF=0s$, $PW=2\mu s$, y $PER=4\mu s$. Vaya a **Analysis – Setup** y elija **Transient**. Ponga el **Print Step** en 0s y el **Final Time** en 10 μs . Simule. Luego vaya a **Pspice A/D** y obtenga dos gráficas (plots), una con el voltaje de V_g y otra con el voltaje de salida V_{out} . Busque con el cursor las diferencias de tiempo para calcular los TPLH y TPHL entre las gráficas.

- Calcule las potencias dinámica y estática. Obtenga, en **Pspice A/D** tres gráficas, una de voltaje de alimentación, una de corriente de alimentación, y otra con la multiplicación de estos valores, que dará la potencia total.

Preguntas

1. ¿Cómo es la diferencia de potencia del CMOS comparado con el ECL o con el TTL?
2. Si se varía el KP, ¿que pasa con la gráfica?
3. El CMOS utiliza dos transistores simétricos, por lo tanto los parámetros W y L deben ser simétricos. Justifique esto.

PRÁCTICA ADICIONAL DE TAREA

“Simulación de una Compuerta NOR CMOS de 2 entradas”

OBJETIVOS:

- Mostrar los diagramas de tiempos de una compuerta NOR CMOS de 2 entradas
- Escribir la tabla de verdad de dicha compuerta
- Comprobar que la salida de la compuerta se corresponde con su tabla de verdad

Sugerencia:

Ver material de la teoría (libro de microelectrónica) el ejemplo de una compuerta NOR CMOS de 2 entradas y agregarle a las entradas fuentes de pulsos para su simulación. Luego déles valores a las fuentes de la siguiente manera:

Vpulse_A: V1=0v, V2= 5v, TD= 2.5us, TR= 0s, TF= 0s, PW= 2.5us, PER= 5us

Vpulse_B: V1=0v, V2= 5v, TD= 5us, TR= 0s, TF= 0s, PW= 5us, PER= 10us

Ahora solo hay que cambiarle los parámetros a los transistores, configurar el transient, simular el circuito y obtener tres gráficas, las de las dos fuentes de pulso y la gráfica de salida. Con esto podremos alcanzar los objetivos.

Laboratorio de Electrónica Digital
Práctica Adicional con NetList (tarea)
Inversor CMOS

PROCEDIMIENTO

1. Abrir *Pspice A/D*.
2. Abrir **File, New, Text File**. Esto abre un documento de texto.
3. Introduzca el siguiente código de NETLIST.

***INVERSOR CMOS CON CAPACITOR DE CARGA**

VDD 1 0 5V

***Poner vin de 0v a 5v**

Vin 2 0

***Especificando las conexiones de los MOSFETS de canal P y de canal N**

MP 3 2 1 1 PMOS
MN 3 2 0 0 NMOS

***Añadiendo el Capacitor de Carga C_L**

CL 3 0 2pF

***Configurando los parámetros de los MOSFETS**

.MODEL PMOS PMOS(VTO=-1 KP=0.4e-3 LAMBDA= 0.01)
.MODEL NMOS NMOS(VTO=1 KP=0.4e-3 LAMBDA= 0.01)

***Configurando los parámetros del análisis en DC Sweep**

.DC Vin 0 5 0.01
.PROBE V(2) V(3)
.END

Para la simulación con transiente, es necesario cambiar Vin, y cambiar el parámetro de análisis.

Vin 2 0 PWL(0 0 0.1n 5v 20n 5v 20.1n 0)

***Definir análisis**

.TRAN 1n 40n
.PROBE V(2) V(3)
.END

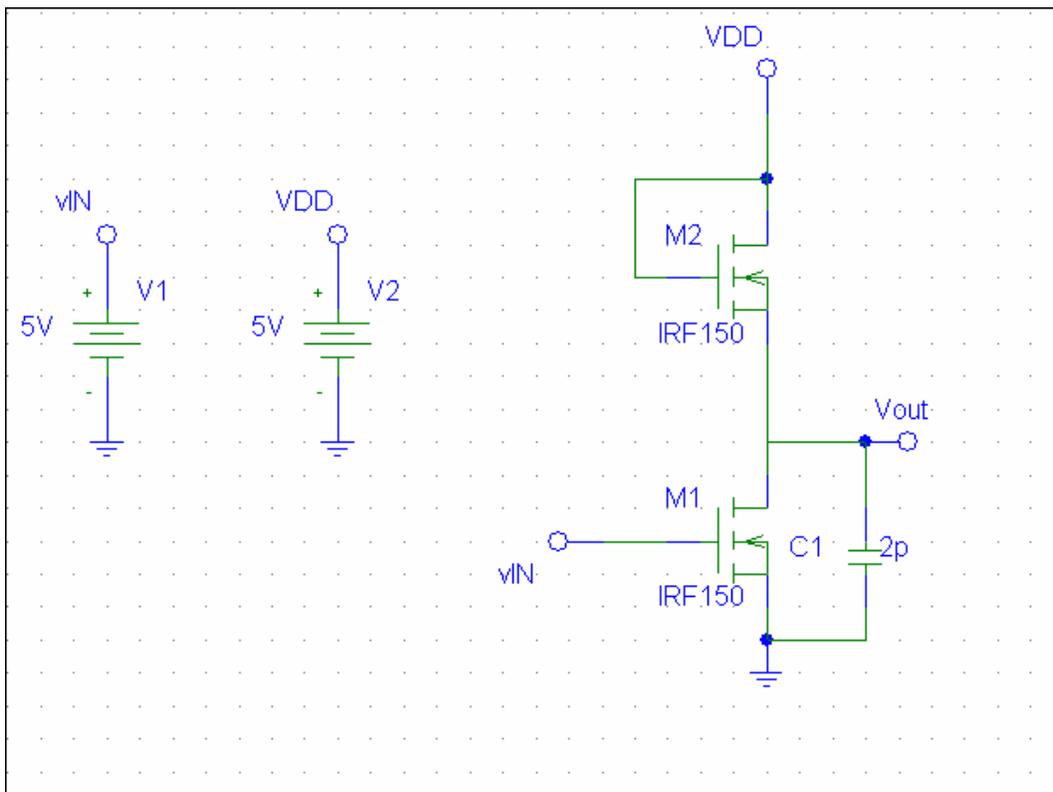
Laboratorio de Electrónica Digital
Práctica 8
Inversor NMOS

OBJETIVOS:

- Mostrar curva característica de transferencia (VTC) de un inversor NMOS.
- Determinar cuales serán los valores V_{OL} , V_{OH} , V_{IL} , V_{IH} .
- Determinar los márgenes de ruido N_{ML} y N_{MH}
- Determine PSLH y PSHL.
- Aplicar pulso V_{in} y encontrar V_{out} .
- Determinar TPLH y TPHL.
- Trazar gráfica de potencia dinámica y estática.

PROCEDIMIENTO:

1. Monte el circuito como se muestra en la figura en **Schematics** de NMOS con carga Incremental.



2. Utilice los parámetros de modelo para el MOSFET canal N siguientes:

Para M1:

$W=2\mu$

$L=2\mu$

$LAMBDA=0.011$

$V_{to}=1$

Para M2:

$W=0.125\mu$

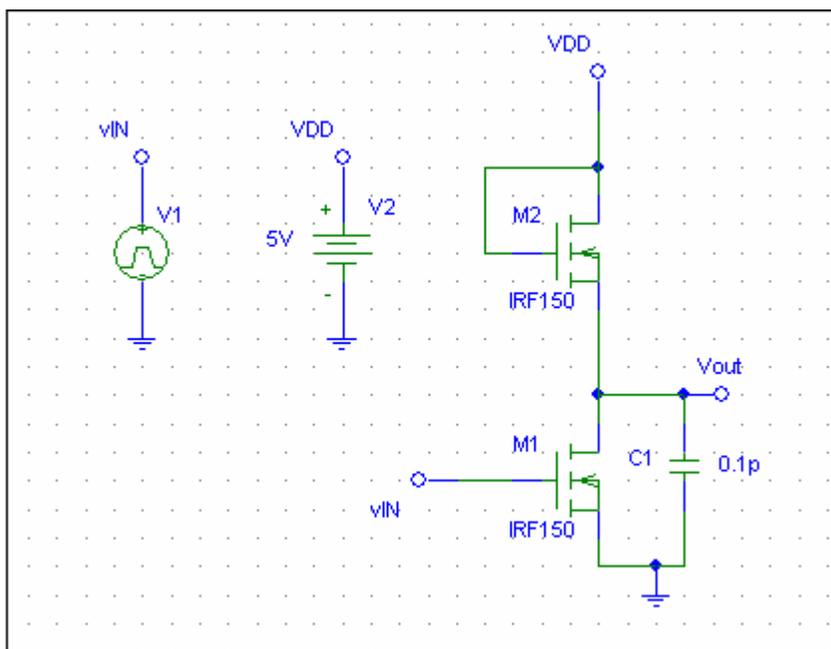
$L=2\mu$

$LAMBDA=0.011$

$V_{to}=1$

Con esta configuración los parámetros W y L tienen una proporción dimensional de 1/16.

3. En **Schematics**, vaya a **Analysis**, luego seleccione **Setup**. Elija **DC Sweep** y presione el botón. En el menú, en **Voltage Source** introduzca el nombre de la fuente de voltaje de entrada (V_1) con un valor de 0V en **Start Value** y 5 para **End Value**, con incrementos de 0.01V en **Increment**, déle un valor a la fuente de VDD de 5V.
4. Vaya a **Analysis** y elija **Simulate**.
5. Se iniciará el programa de **Pspice A/D** donde se ven los resultados de las simulaciones gráficamente. Vaya a **Trace** y elija **Add Trace**. Seleccione el voltaje en el nodo de salida del circuito.
6. Se verá la curva de transferencia. En **Plot**, elija **Add Plot to Window**. Seleccione la nueva ventana y vaya a **Add Trace**, aquí seleccione en el lado derecho a “D)” (derivada). En **Trace Expresión** tiene que estar así: $D(V(V_{out})) / D(V(V_{in}:+))$. Con esto, encontrará los valores de V_{OL} , V_{OH} , V_{IL} , V_{IH} y los márgenes de ruido N_{ML} y N_{MH} . Elija en el menú a **Plot – Axis Settings**. Elija la pestaña **Y Axis** y ponga el **Data Range** en **User Defined** con un valor de -2 a 0. Elija del menú gráfico el botón de **Toggle Cursor** . En la gráfica marque donde la pendiente (en Y) sea igual a -1. Los valores en X serán los valores de voltaje buscados
7. Calcule los retardos de tiempo. Utilice la fuente de pulsos (VPULSE) como en la siguiente figura.



Configure la señal digital de entrada $V_1=0v$, $V_2=5v$ con tiempos de $T_D=0.05s$, $T_R=0s$, $T_F=0s$, $PW=0.05s$, y $PER=0.1s$. Vaya a **Analysis – Setup** y elija **Transient**. Ponga el **Print Step** en 0s y el **Final Time** en 0.3s. Simule. Luego vaya a **Pspice A/D** y obtenga dos gráficas (plots), una con el voltaje de V_{IN} y otra con el voltaje de salida V_{out} . Busque con el cursor las diferencias de tiempo para calcular los TPLH y TPHL entre las gráficas.

8. Calcule las potencias dinámica y estática. Obtenga, en **Pspice A/D** tres gráficas, una de voltaje de alimentación, una de corriente de alimentación, y otra con la multiplicación de estos valores, que dará la potencia total.

Preguntas

1. ¿Qué diferencia habría al modificar los valores de W y L en los MOSFETS?
2. Si cambiamos los valores de la proporción dimensional a $\frac{1}{4}$, ¿que pasará con la corriente de carga de cambio?

PRÁCTICA ADICIONAL DE TAREA

“Simulación de una Compuerta NAND NMOS de 2 entradas”

OBJETIVOS:

- Mostrar los diagramas de tiempos de una compuerta NAND NMOS de 2 entradas
- Escribir la tabla de verdad de dicha compuerta
- Comprobar que la salida de la compuerta se corresponde con su tabla de verdad

Sugerencia:

Ver material de la teoría (libro de microelectrónica) el ejemplo de una compuerta NAND NMOS de 2 entradas y agregarle a las entradas fuentes de pulsos para su simulación. Luego hay que déle valores a las fuentes de la siguiente manera:

Vpulse_A: V1=0v, V2= 5v, TD= 2.5ms, TR= 0s, TF= 0s, PW= 2.5ms, PER= 5ms

Vpulse_B: V1=0v, V2= 5v, TD= 5ms, TR= 0s, TF= 0s, PW= 5ms, PER= 10ms

Ahora solo hay que cambiarle los parámetros a los transistores, configurar el transient, simular el circuito y obtener tres gráficas, las dos de las fuentes de pulso y la grafica de salida. Con esto podremos alcanzar los objetivos.

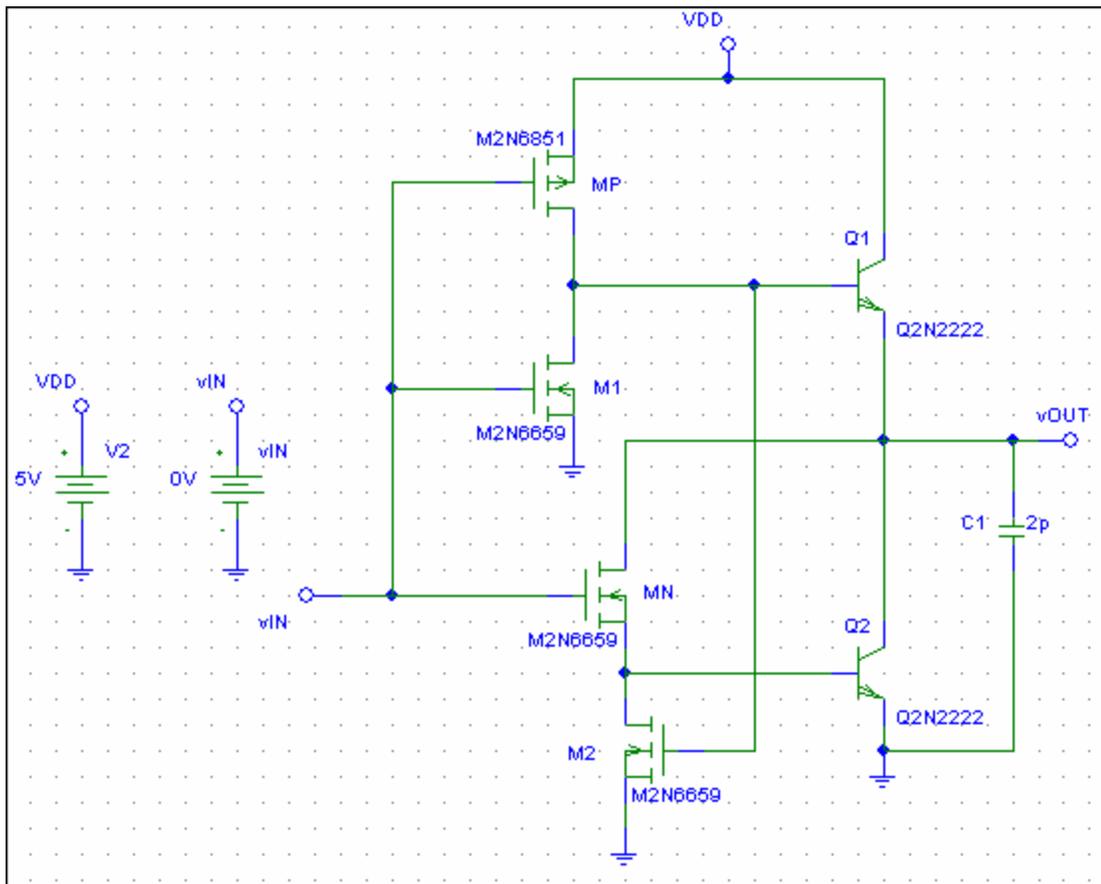
Laboratorio de Electrónica Digital
Práctica 9
Inversor BiCMOS

OBJETIVOS:

- Mostrar curva característica de transferencia (VTC) de un inversor BiCMOS.
- Determinar cuales serán los valores V_{OL} , V_{OH} , V_{IL} , V_{IH} .
- Determinar los márgenes de ruido N_{ML} y N_{MH}
- Determine PSLH y PSHL.
- Aplicar pulso V_{in} y encontrar V_{out} .
- Determinar TPLH y TPHL.
- Trazar grafica de potencia dinámica y estática.

PROCEDIMIENTO:

1. Monte el circuito como se muestra en la siguiente figura en **Schematics**.



- Utilice los siguientes parámetros de modelo para el MOSFET canal P, MOSFET canal N y transistor PNP mediante **Edit Model**.

MOSFET CANAL P

$K_p=0.2e-3$

$V_{to}=-1.5$

$LAMBDA=0.05$

MOSFET CANAL N

$K_p=0.2e-3$

$V_{to}=1.5$

$LAMBDA=0.05$

TRANSISTOR NPN

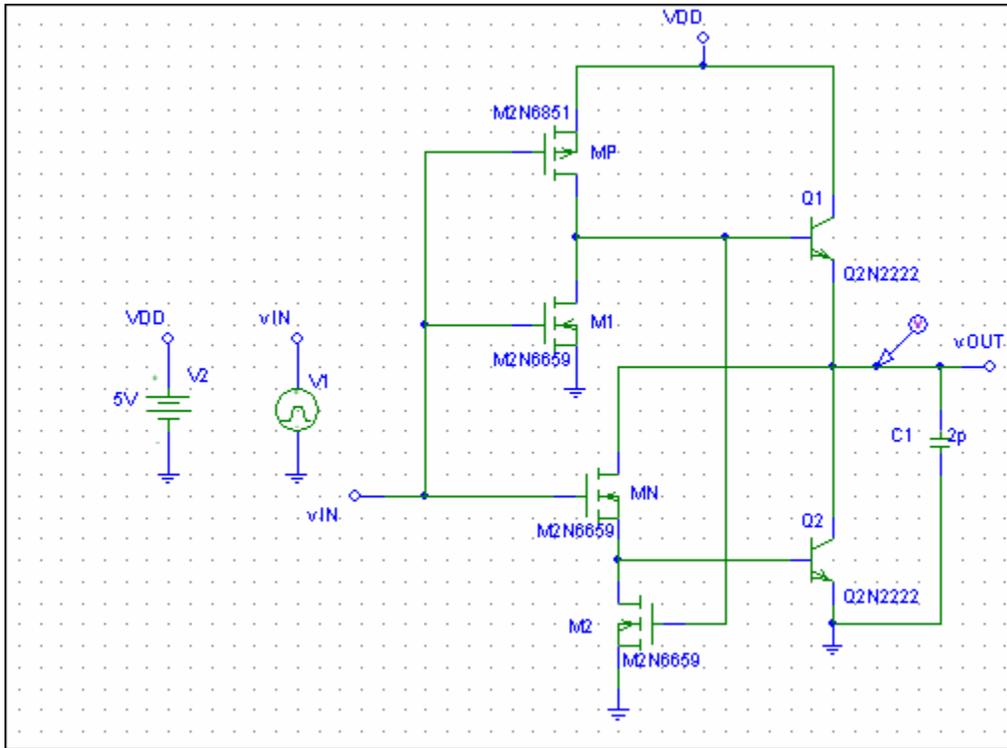
$B_f=100$

$V_a=50$

Si su librería de Pspice no posee los transistores mostrados en la figura, puede utilizar los mismos transistores utilizados para el inversor CMOS (MOSFETs) con los parámetros que se utilizaron para dicha práctica, como también los transistores BJT que se utilizaron para el TTL.

- En **Schematics**, vaya a **Analysis**, luego seleccione **Setup**. Elija **DC Sweep** y presione el botón. En el menú, en **Voltage Source** introduzca el nombre de la fuente de voltaje de entrada (V_{IN}) con un valor de 0V en **Start Value** y 5 para **End Value**, con incrementos de 0.01V en **Increment**, déle un valor a la fuente de VDD de 5V.
- Vaya a **Analysis** y elija **Simulate**.
- Se iniciará el programa de *Pspice A/D* donde se ven los resultados de las simulaciones gráficamente. Vaya a **Trace** y elija **Add Trace**. Seleccione el voltaje en el nodo de salida del circuito.
- Se verá la curva de transferencia. En **Plot**, elija **Add Plot to Window**. Seleccione la nueva ventana y vaya a **Add Trace**. En **Add Trace** seleccione en el lado derecho a "D()" (derivada). En **Trace Expresión** tiene que estar así: $D(V(Vout)) / D(V(Vin:+))$. Con esto, encontrará los valores de V_{OL} , V_{OH} , V_{IL} , V_{IH} y los márgenes de ruido N_{ML} y N_{MH} . Elija en el menú a **Plot – Axis Settings**. Elija la pestaña **Y Axis** y ponga el **Data Range** en **User Defined** con un valor de -2 a 0. Elija del menú gráfico el botón de **Toggle Cursor** . En la gráfica marque donde la pendiente (en Y) sea igual a -1. Los valores en X serán los valores de voltaje buscados
- Identifique las zonas de la curva de transferencia.

8. Calcule los retardos de tiempo. Utilice la fuente de pulsos (VPULSE) como en la siguiente figura.



Configure la señal digital de entrada $V1=0v$, $V2=5v$ con tiempos de $TD=2\mu s$, $TR=0s$, $TF=0s$, $PW=2\mu s$ y $PER=4\mu s$. Vaya a **Analysis – Setup** y elija **Transient**. Ponga el **Print Step** en 0s y el **Final Time** en 10 μs . Simule. Luego vaya a *PspiceA/D* y obtenga dos gráficas (plots), una con el voltaje de V_{IN} y otra con el voltaje de salida V_{out} . Busque con el cursor las diferencias de tiempo para calcular los TPLH y TPHL entre las gráficas.

9. Calcule las potencias dinámica y estática. Obtenga, en *Pspice A/D* tres gráficas, una de voltaje de alimentación, una de corriente de alimentación, y otra con la multiplicación de estos valores, que dará la potencia total.

Preguntas

1. ¿Cómo es la diferencia de velocidad (tiempos de retardo) del BiCMOS comparado con las demás prácticas?
2. ¿Cómo es su disipación de potencia con relación a las demás prácticas?
3. ¿Cómo usted definiría su nivel de integración?

Practica adicional de tarea

“Simulación de una compuerta NOR CMOS de 2 entradas”

OBJETIVOS:

- Obtener compuertas complejas a partir de un inversor CMOS.
- Mostrar los diagramas de tiempos de una compuerta NOR CMOS de 2 entradas
- Comprobar que la salida de la compuerta se corresponde con su tabla de verdad

PROCEDIMIENTO:

1. Armar el siguiente el siguiente circuito en la ventana Schematics:

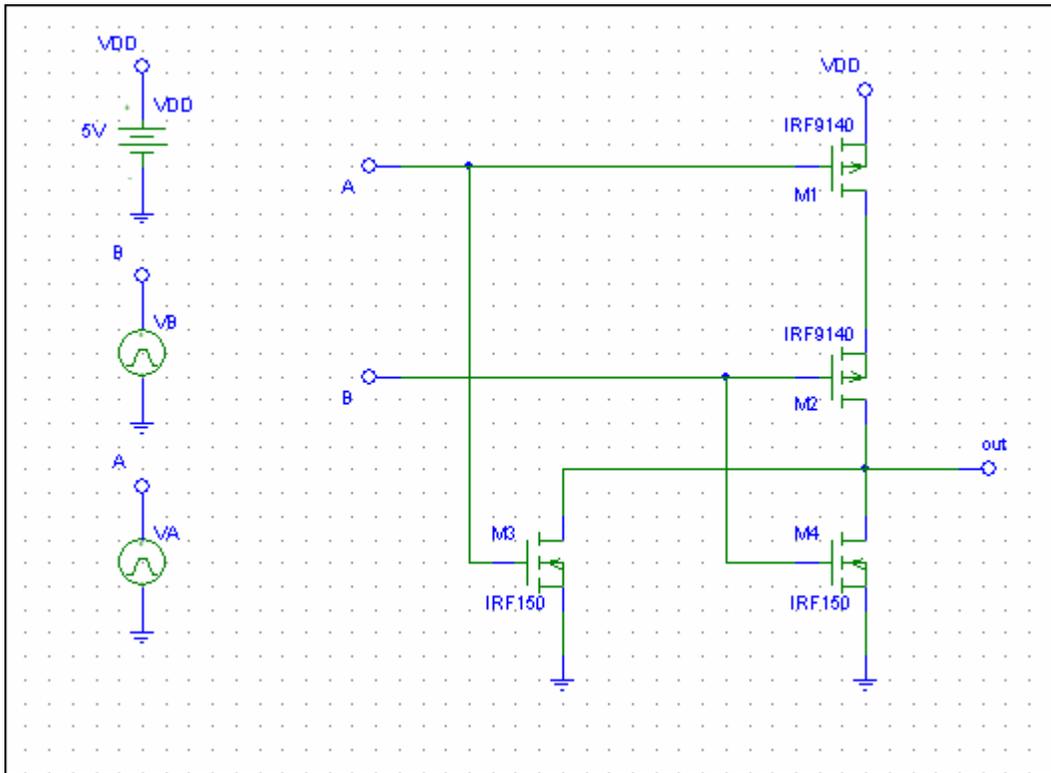


Tabla de Verdad de la NOR:

A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

2. Para Configurar los transistores utilice los parámetros de modelo para el MOSFET canal P y MOSFET canal N siguientes:

Modelo Canal P
Kp=40u
Vto=-1
LAMBDA=0.011

Modelo Canal N
Kp=40u
Vto=1
LAMBDA=0.011

Seleccione el transistores, luego en menú **Edit--Model**, le saldrá una ventana elija **Edit Instance Model (text)**, una vez allí elimine todos los valores que se encuentren dentro del paréntesis y coloque los valores mas arriba mostrados.

3. Configure las fuentes de pulsos (VPULSE) y calcule los retardos de tiempo:
Seleccione la fuente y a continuación configúrela con los siguientes valores:

Vpulse_A: V1=0v, V2= 5v, TD= 5us, TR= 0s, TF= 0s, PW= 5us, PER= 10us

Vpulse_B: V1=0v, V2= 5v, TD= 2.5us, TR= 0s, TF= 0s, PW= 2.5us, PER= 5us

4. No olvide configurar el Transient. Vaya a **Analysis – Setup** y elija **Transient**. Ponga el **Print Step** en 0s y el **Final Time** en 10uS.

5. El valor de la fuente VDD = 5v.

6. Vaya a **Analysis** y elija **Simulate**.

7. Se iniciará el programa de **Pspice A/D** donde se ven los resultados de las simulaciones gráficamente. Vaya a **Trace** y elija **Add Trace**. Seleccione el voltaje en el nodo de salida del circuito. (Repita estos pasos hasta obtener las tres gráficas pedidas)

8. Al simular el circuito y obtener las tres gráficas, las de las dos fuentes de pulso (entradas) y la gráfica de salida. Con esto podremos alcanzar los objetivos.

Práctica Adicional

Diseño de un circuito integrado complejo. NMOS

Dada la tabla de verdad

a	b	c	F(a,b,c)
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

1. Dibuje el circuito digital que satisfaga la tabla de verdad.
2. Utilice solo compuertas NAND.
3. Diseñar en pspice una NAND con la tecnología NMOS.
4. Utilice la opción de modulo en pspice y generar un modulo NAND.
5. Simular el circuito con las combinaciones de módulos.
6. Encapsular el circuito por completo.
7. Mostrar las graficas con todas las señales.

Característica de la familia NMOS.

Sus retardos de propagación son mayores que las demás familias y su margen de ruido alto es elevado comparado con las compuertas de su tipo y con las bipolares.

En lo correspondiente al consumo, su disipación de potencia es menor que todas las demás familias lógicas.

Características:

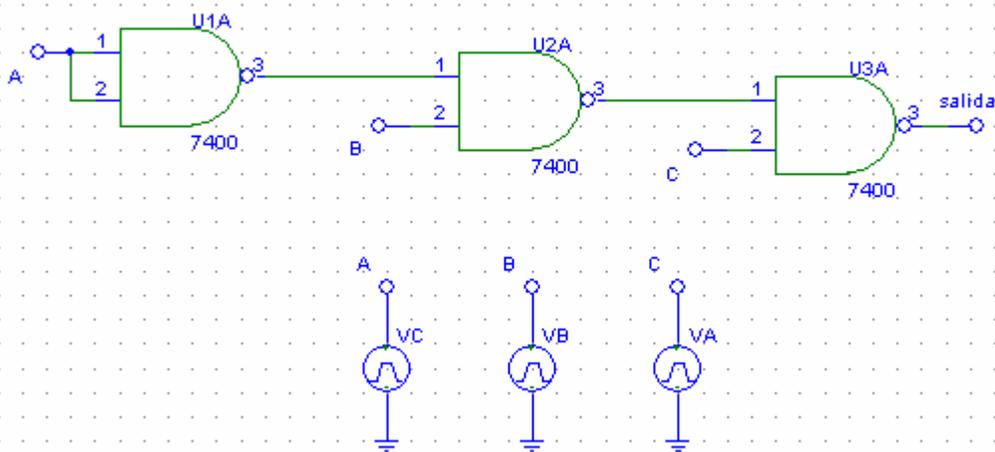
- Baja disipación de potencia.
- Altos retardos de propagación.
- Menos componentes
- Muy alta escala de integración (VLSI).

Mapa de Karnaugh

	C	
AB	0	1
00	1	0
01	1	1
11	1	0
10	1	0

$A'B + C'$ ecuación

Circuitito en compuertas NAND



Parámetros utilizados del modelo para el MOSFET canal N.

Para M1:

W=2u

L=2u

LAMBDA=0.011

Vto=1

Para M2:

W=0.125u

L=2u

LAMBDA=0.011

Vto=1

Con esta configuración los parámetros W y L tienen un proporción dimensional de 1/16.

Configuración de las fuentes.

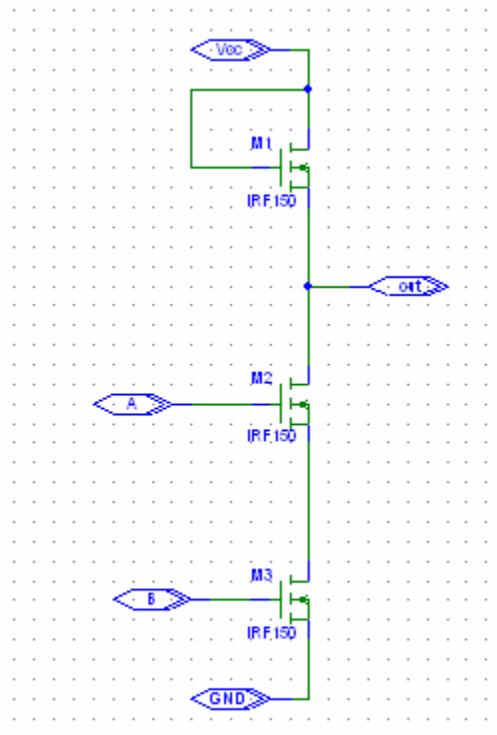
Vpulse_A: V1=0v, V2= 5v, TD= 5.15us, TR= 0s, TF= 0s, PW= 5.15us, PER= 10us

Vpulse_B: V1=0v, V2= 5v, TD= 2.65us, TR= 0s, TF= 0s, PW= 2.65us, PER= 5us

Vpulse_C: V1=0v, V2= 5v, TD= 1.25us, TR= 0s, TF= 0s, PW= 1.25us, PER= 2.5us

Nota: generalmente la configuración de las fuentes son una el doble de la anterior, pero en este caso se hizo un reguero en los parámetros TD y PW. Esto evita que cuando dos o más transistores estén al mismo tiempo en la zona de transición la señal de salida tenga un pico negativo.

Compuertas NAND con tecnología NMOS.

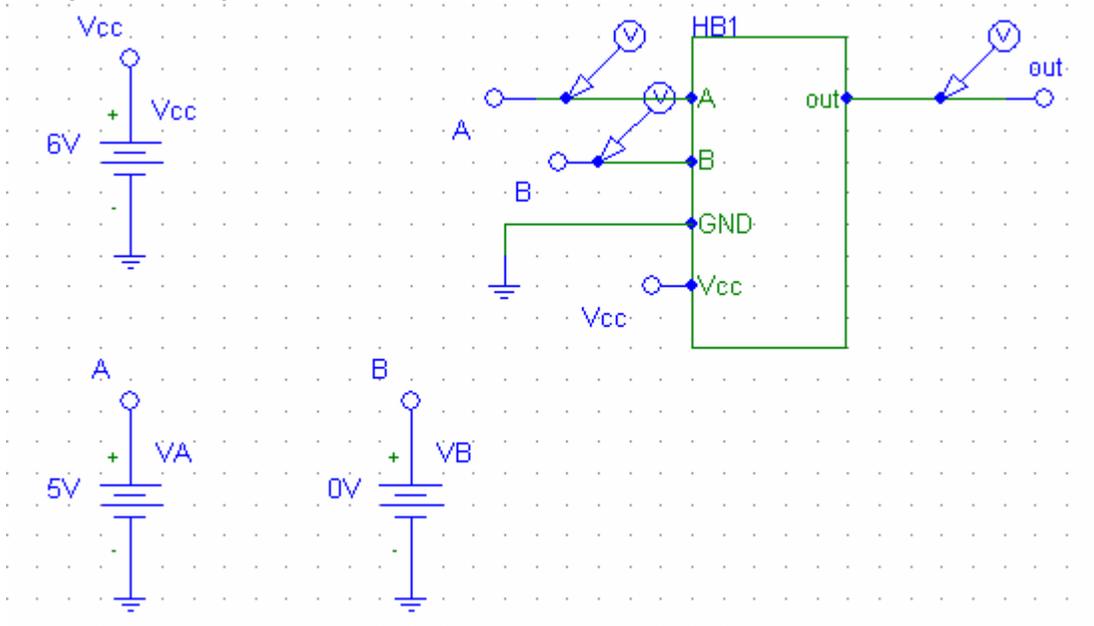


Nota: el Vcc y GND son entradas.

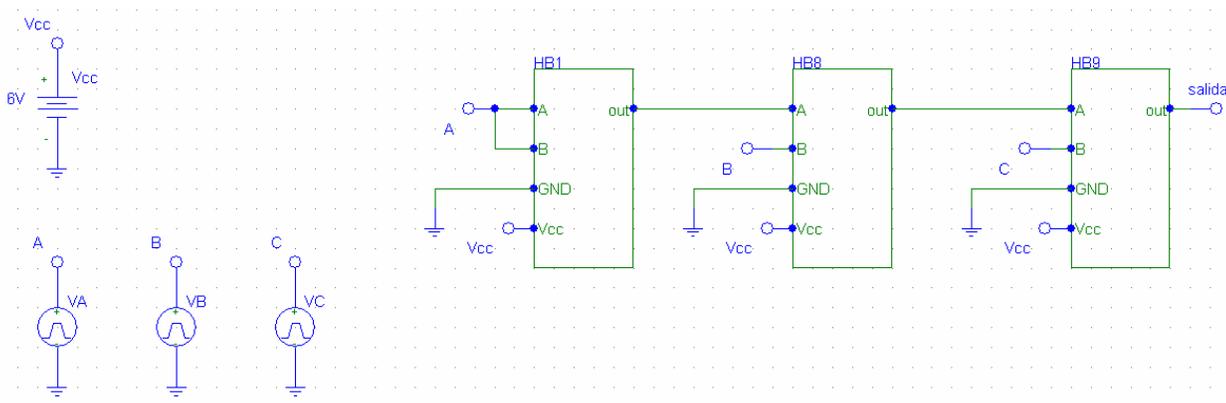
Pasos para encapsular un circuito.

1. Luego de montado el circuito se etiquetan todas las entradas y todas las salidas. Para las entradas se utilizan las etiquetas **IF_IN** e **IF_OUT** para las salidas.
2. Se habrá una pagina nueva y se saca un bloque (**Draw Block**).
3. Encima de este dar doble click, le pedirá que grabe el archivo. Luego colocar el nombre del archivo a encapsular.
4. Colocar todas la entradas y salida del encapsulado.
5. Vaya **Analysis** y elija **library and include file** colocar el nombre de la librería de los parámetro del **MOSFET canal N**. Esto se hace para que el encapsulado cargue la configuración nueva de los parámetros.

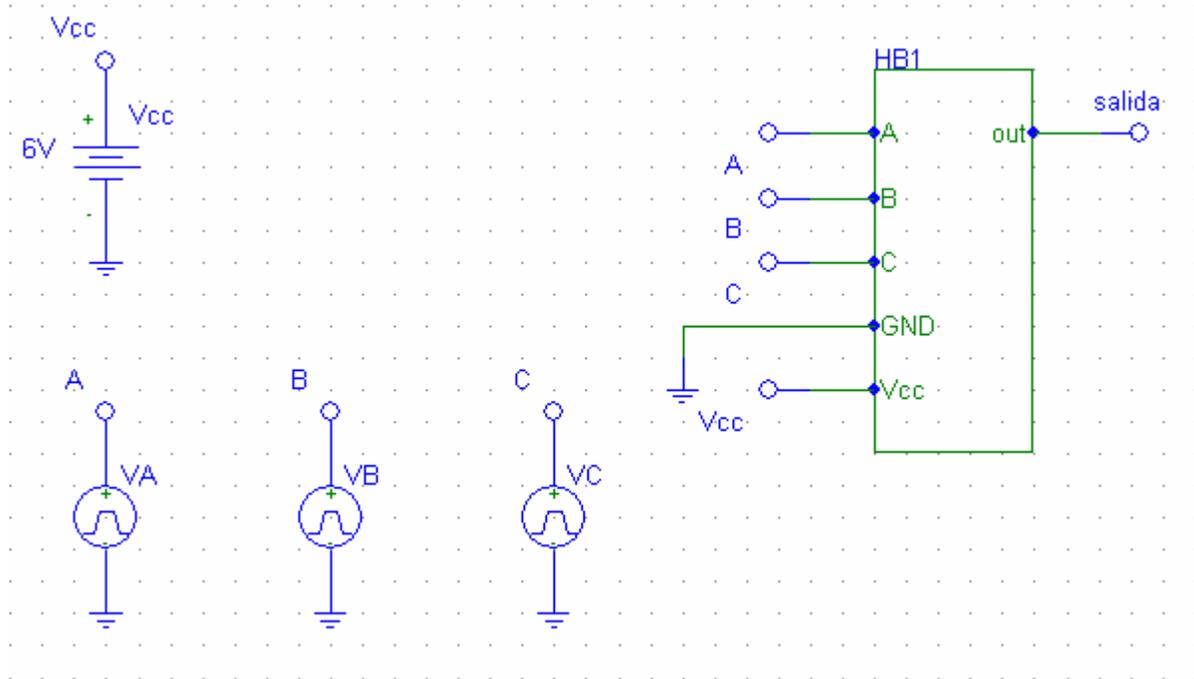
Encapsulado de prueba.



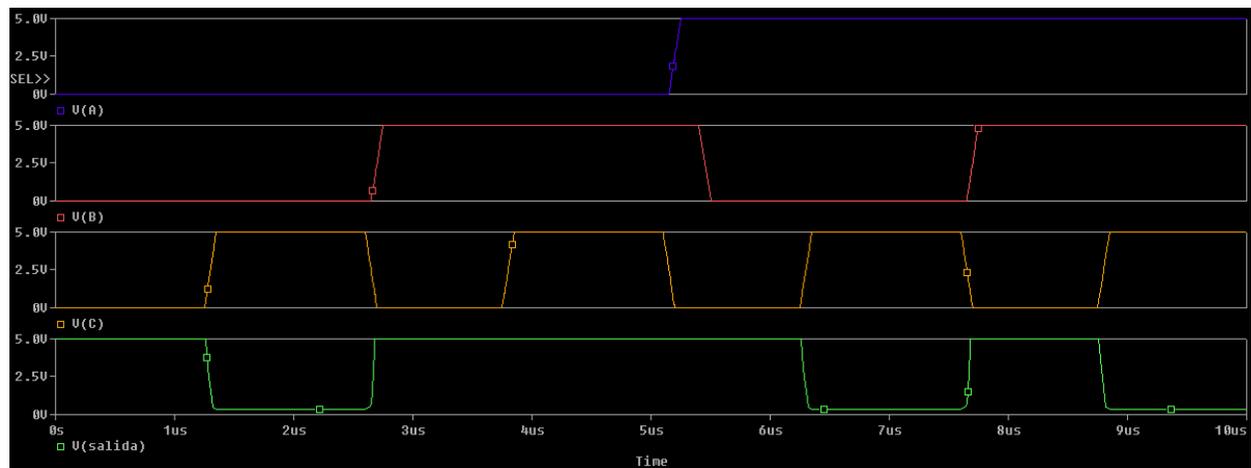
Circuito encapsulado por compuertas.



Circuito encapsulado completo.



Curvas de característica del circuito.

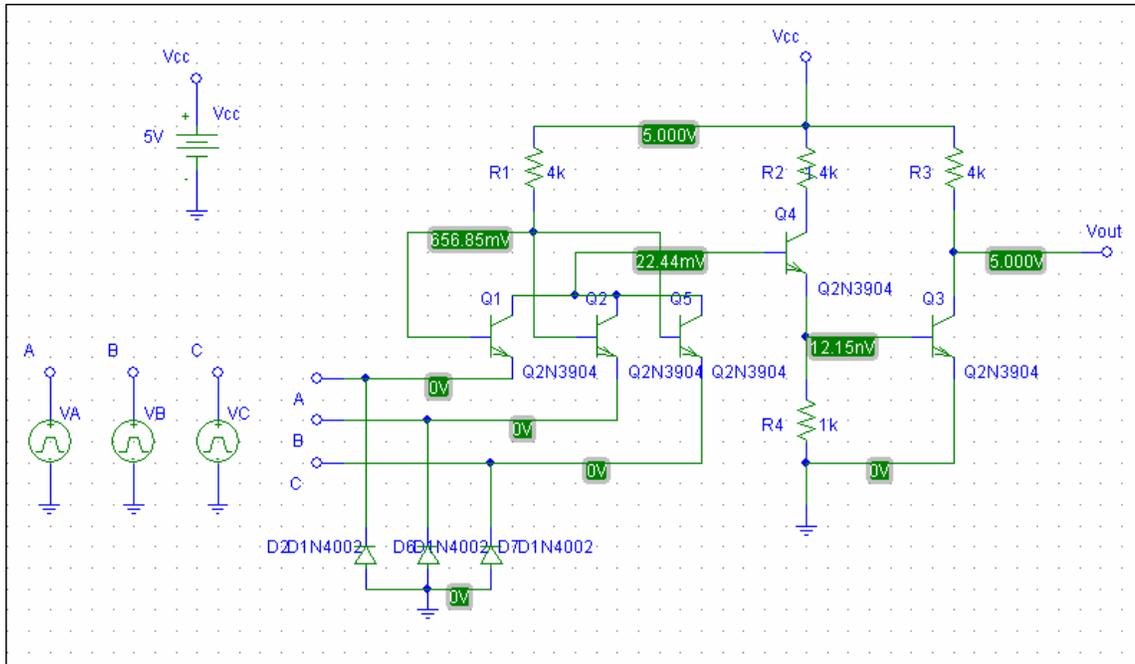


Práctica Adicional

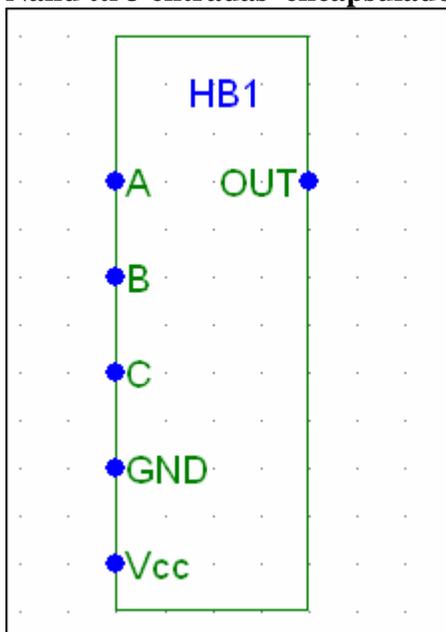
Nand TTL de 3 entradas.

Diagrama

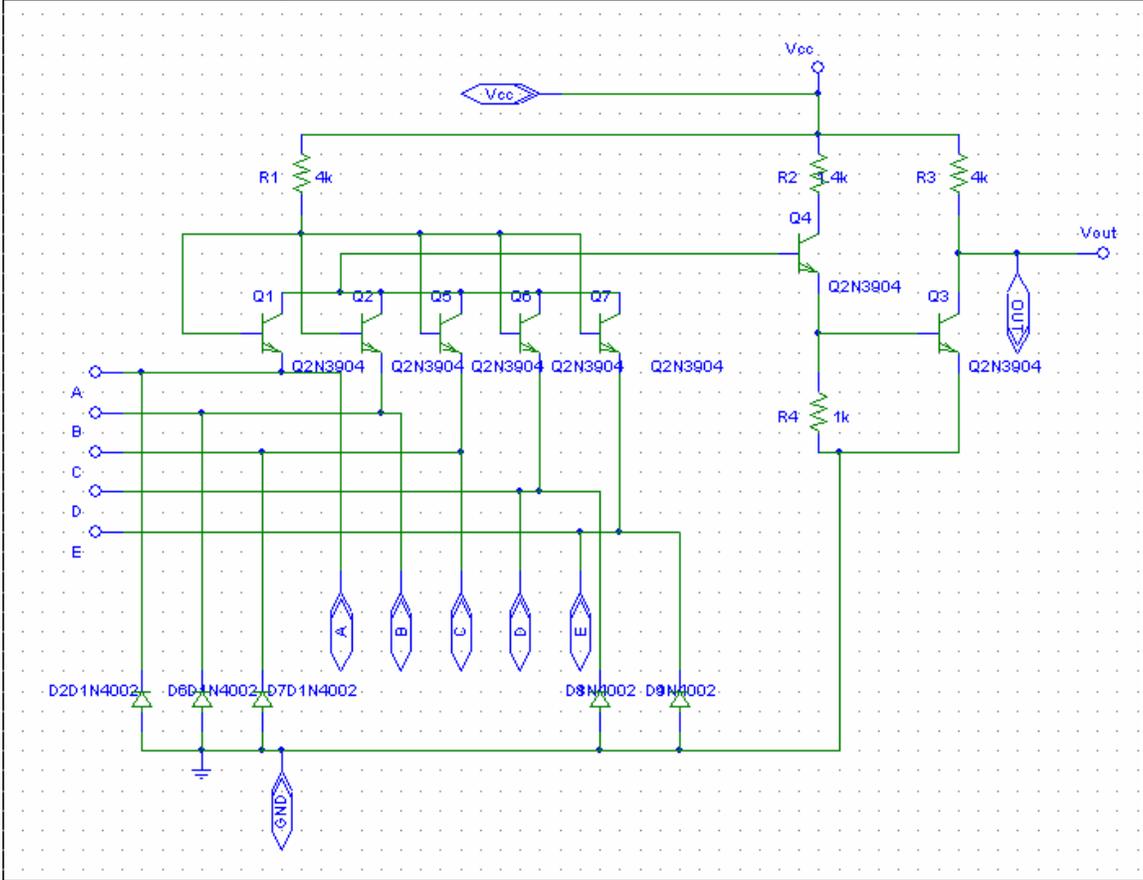
Nand ttl 3 entradas diagrama



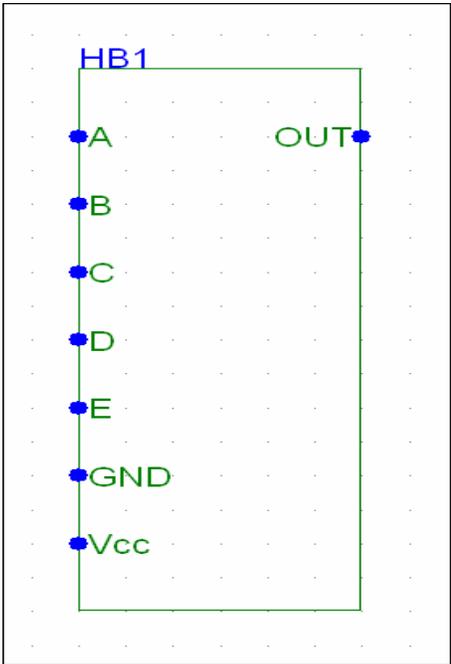
Nand ttl 3 entradas encapsulado



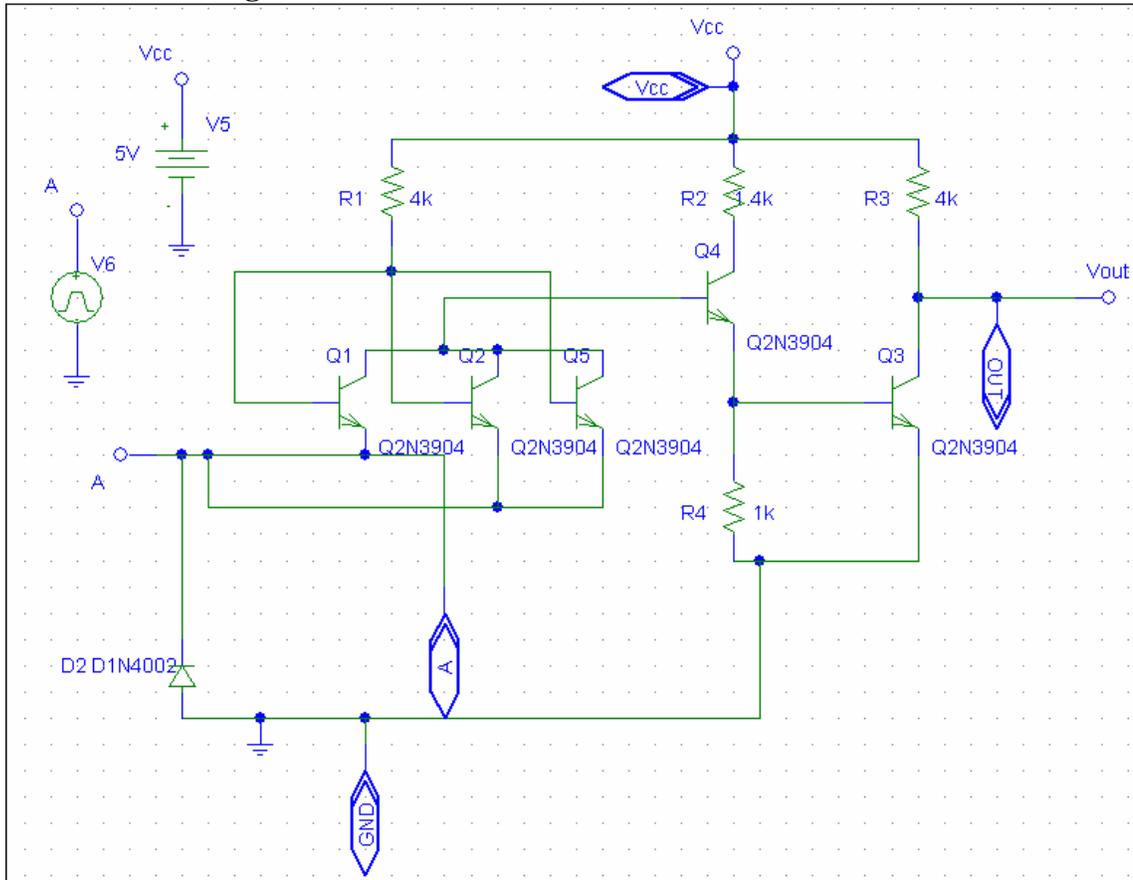
Nand 5 entradas diagrama



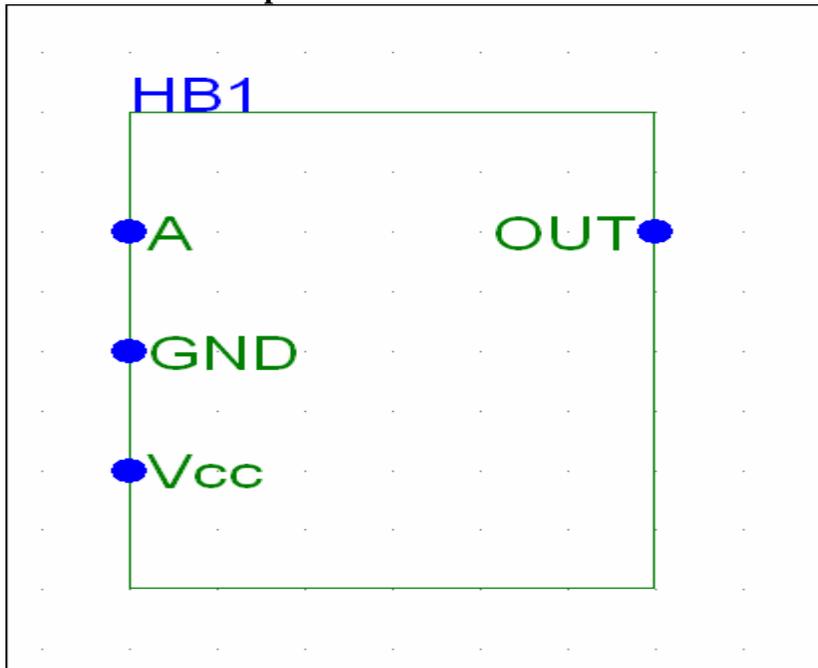
Nand 5 entrada encapsulado



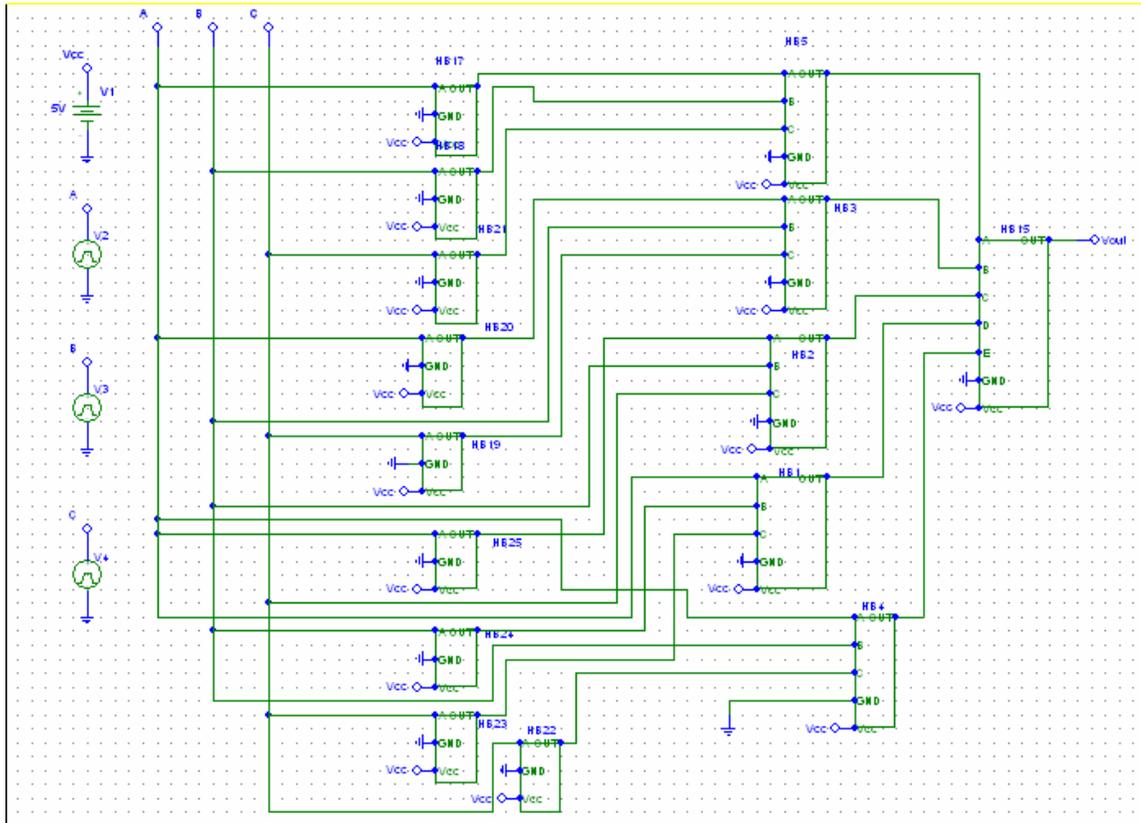
Inversor TTL diagrama



Inversor TTL encapsulado



Circuito completo



* Schematics Netlist *

```

V_V1      Vcc 0 5V
V_V2      A 0
+PULSE 0v 5v 1.25us 0s 0s 1.25us 2.5us
V_V3      A 0
+PULSE 0v 5v 2.5us 0s 0s 2.5us 5us
V_V4      A 0
+PULSE 0v 5v 5us 0s 0s 5us 10us
R_HB17_R1  $N_0001 Vcc 4k
R_HB17_R2  $N_0002 Vcc 1.4k
R_HB17_R3  A Vcc 4k
Q_HB17_Q4  $N_0002 $N_0003 $N_0004 Q2N3904
Q_HB17_Q1  $N_0003 $N_0001 A Q2N3904
Q_HB17_Q5  $N_0003 $N_0001 A Q2N3904
Q_HB17_Q2  $N_0003 $N_0001 A Q2N3904
D_HB17_D2  0 A D1N4002
R_HB17_R4  0 $N_0004 1k
Q_HB17_Q3  A $N_0004 0 Q2N3904
V_HB17_V5  Vcc 0 5V
V_HB17_V6  A 0
+PULSE 0v 5v 1.25us 0s 0s 1.25us 2.5us
R_HB20_R1  $N_0005 Vcc 4k

```

```

R_HB20_R2    $N_0006 Vcc 1.4k
R_HB20_R3    A Vcc 4k
Q_HB20_Q4    $N_0006 $N_0007 $N_0008 Q2N3904
Q_HB20_Q1    $N_0007 $N_0005 A Q2N3904
Q_HB20_Q5    $N_0007 $N_0005 A Q2N3904
Q_HB20_Q2    $N_0007 $N_0005 A Q2N3904
D_HB20_D2    0 A D1N4002
R_HB20_R4    0 $N_0008 1k
Q_HB20_Q3    A $N_0008 0 Q2N3904
V_HB20_V5    Vcc 0.5V
V_HB20_V6    A 0
+PULSE 0v 5v 1.25us 0s 0s 1.25us 2.5us
R_HB21_R1    $N_0009 Vcc 4k
R_HB21_R2    $N_0010 Vcc 1.4k
R_HB21_R3    A Vcc 4k
Q_HB21_Q4    $N_0010 $N_0011 $N_0012 Q2N3904
Q_HB21_Q1    $N_0011 $N_0009 A Q2N3904
Q_HB21_Q5    $N_0011 $N_0009 A Q2N3904
Q_HB21_Q2    $N_0011 $N_0009 A Q2N3904
D_HB21_D2    0 A D1N4002
R_HB21_R4    0 $N_0012 1k
Q_HB21_Q3    A $N_0012 0 Q2N3904
V_HB21_V5    Vcc 0.5V
V_HB21_V6    A 0
+PULSE 0v 5v 1.25us 0s 0s 1.25us 2.5us
R_HB19_R1    $N_0013 Vcc 4k
R_HB19_R2    $N_0014 Vcc 1.4k
R_HB19_R3    A Vcc 4k
Q_HB19_Q4    $N_0014 $N_0015 $N_0016 Q2N3904
Q_HB19_Q1    $N_0015 $N_0013 A Q2N3904
Q_HB19_Q5    $N_0015 $N_0013 A Q2N3904
Q_HB19_Q2    $N_0015 $N_0013 A Q2N3904
D_HB19_D2    0 A D1N4002
R_HB19_R4    0 $N_0016 1k
Q_HB19_Q3    A $N_0016 0 Q2N3904
V_HB19_V5    Vcc 0.5V
V_HB19_V6    A 0
+PULSE 0v 5v 1.25us 0s 0s 1.25us 2.5us
R_HB25_R1    $N_0017 Vcc 4k
R_HB25_R2    $N_0018 Vcc 1.4k
R_HB25_R3    A Vcc 4k
Q_HB25_Q4    $N_0018 $N_0019 $N_0020 Q2N3904
Q_HB25_Q1    $N_0019 $N_0017 A Q2N3904
Q_HB25_Q5    $N_0019 $N_0017 A Q2N3904
Q_HB25_Q2    $N_0019 $N_0017 A Q2N3904
D_HB25_D2    0 A D1N4002
R_HB25_R4    0 $N_0020 1k
Q_HB25_Q3    A $N_0020 0 Q2N3904
V_HB25_V5    Vcc 0.5V
V_HB25_V6    A 0
+PULSE 0v 5v 1.25us 0s 0s 1.25us 2.5us

```

R_HB24_R1 \$N_0021 Vcc 4k
R_HB24_R2 \$N_0022 Vcc 1.4k
R_HB24_R3 A Vcc 4k
Q_HB24_Q4 \$N_0022 \$N_0023 \$N_0024 Q2N3904
Q_HB24_Q1 \$N_0023 \$N_0021 A Q2N3904
Q_HB24_Q5 \$N_0023 \$N_0021 A Q2N3904

Otros parametros

**** 08/01/07 13:37:15 ***** Evaluation PSpice (Nov 1999) *****

* C:\Documents and Settings\Eymer Marte\Desktop\final.sch

**** CIRCUIT DESCRIPTION

* Schematics Version 9.1 - Web Update 1
* Wed Aug 01 13:37:15 2007

** Analysis setup **

.tran 0s 10us
.STMLIB "final.stl"

* From [PSPICE NETLIST] section of pspicev.ini:
.lib "nom.lib"

.INC "final.net"

**** INCLUDING final.net ****

* Schematics Netlist *

```

R_R4      0 $N_0001 1k
Q_Q5      $N_0003 $N_0002 C Q2N3904
Q_Q1      $N_0003 $N_0002 A Q2N3904
Q_Q2      $N_0003 $N_0002 B Q2N3904
R_R1      $N_0002 Vcc 4k
R_R2      $N_0004 Vcc 1.4k
R_R3      Vout Vcc 4k
Q_Q4      $N_0004 $N_0003 $N_0001 Q2N3904
Q_Q3      Vout $N_0001 0 Q2N3904
D_D2      0 A D1N4002
D_D7      0 C D1N4002
D_D6      0 B D1N4002
V_Vcc     Vcc 0 5V
V_VA      A 0
+PULSE 0v 5v 1.25us 0s 0s 1.25us 2.5us
V_VB      B 0
+PULSE 0v 5v 2.5us 0s 0s 2.5us 5us
V_VC      C 0
+PULSE 0v 5v 5us 0s 0s 5us 10us

```

**** RESUMING final.cir ****

.INC "final.als"

**** INCLUDING final.als ****

* Schematics Aliases *

.ALIASES

```

R_R4      R4(1=0 2=$N_0001 )
Q_Q5      Q5(c=$N_0003 b=$N_0002 e=C )
Q_Q1      Q1(c=$N_0003 b=$N_0002 e=A )
Q_Q2      Q2(c=$N_0003 b=$N_0002 e=B )
R_R1      R1(1=$N_0002 2=Vcc )
R_R2      R2(1=$N_0004 2=Vcc )
R_R3      R3(1=Vout 2=Vcc )
Q_Q4      Q4(c=$N_0004 b=$N_0003 e=$N_0001 )
Q_Q3      Q3(c=Vout b=$N_0001 e=0 )
D_D2      D2(1=0 2=A )
D_D7      D7(1=0 2=C )
D_D6      D6(1=0 2=B )
V_Vcc     Vcc(+=Vcc -=0 )
V_VA      VA(+=A -=0 )
V_VB      VB(+=B -=0 )
V_VC      VC(+=C -=0 )
_ _      (Vout=Vout)
_ _      (Vcc=Vcc)
_ _      (A=A)
_ _      (B=B)
_ _      (C=C)

```

.ENDALIASES

**** RESUMING final.cir ****

.probe

.END

**** 08/01/07 13:37:15 ***** Evaluation PSpice (Nov 1999) *****

* C:\Documents and Settings\Eymer Marte\Desktop\final.sch

**** Diode MODEL PARAMETERS

D1N4002
IS 14.110000E-09
N 1.984
ISR 100.000000E-12
IKF 94.81
BV 100.1
IBV 10
RS .03389
TT 4.761000E-06
CJO 51.170000E-12
VJ .3905
M .2762

**** 08/01/07 13:37:15 ***** Evaluation PSpice (Nov 1999) *****

* C:\Documents and Settings\Eymer Marte\Desktop\final.sch

**** BJT MODEL PARAMETERS

Q2N3904
NPN

```

IS 6.734000E-15
BF 416.4
NF 1
VAF 74.03
IKF .06678
ISE 6.734000E-15
NE 1.259
BR .7371
NR 1
RB 10
RC 1
CJE 4.493000E-12
MJE .2593
CJC 3.638000E-12
MJC .3085
TF 301.200000E-12
XTF 2
VTF 4
ITF .4
TR 239.500000E-09
XTB 1.5
CN 2.42
D .87

```

**** 08/01/07 13:37:15 ***** Evaluation PSpice (Nov 1999) *****

* C:\Documents and Settings\Eymer Marte\Desktop\final.sch

**** INITIAL TRANSIENT SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

(A) 0.0000 (B) 0.0000 (C) 0.0000 (Vcc) 5.0000

(Vout) 5.0000 (\$N_0001) 12.15E-09 (\$N_0002) .6569

(\$N_0003) .0224 (\$N_0004) 5.0000

VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME CURRENT

V_Vcc -1.086E-03
V_VA 3.619E-04
V_VB 3.619E-04
V_VC 3.619E-04

TOTAL POWER DISSIPATION 5.43E-03 WATTS

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME .13

BIBLIOGRAFIA:

- 1- Mark N. Horenstein, Microelectrónica: Circuitos y Dispositivos, Prentice Hall , 1997.
- 2- Sedra / Smith, Microelectronic Circuits.
- 3- Haldun Haznedar, Microelectrónica Digital, Benjamin. Cummins Publ.Co.,1991.
- 4- Mead C. & Conway L., Introduction to VLSI Systems,Addison Wesley,1980.
- 5- Tutorial Pspice