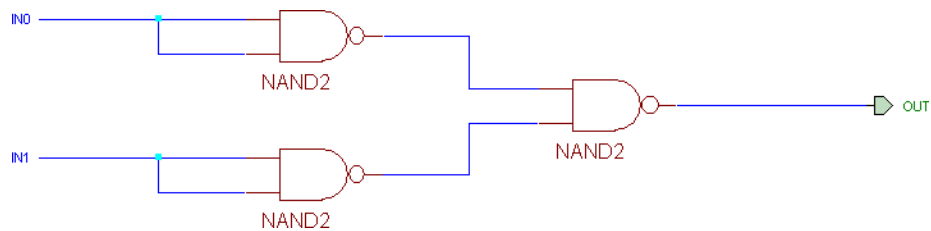


**ALBERTO DAZA MÁRQUEZ**

# ***PRÁCTICAS DE FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA***



## **PRÁCTICAS DE FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA.**

*Primera edición, Octubre de 2013*

© Autor, Editor e Ilustrador: Alberto Daza Márquez

I.S.B.N. 13: 978-84-695-8851-2

I.S.B.N. 10: 84-695-8851-6

Depósito Legal: MA-1990-2013

## **ÍNDICE.**

### **PRÁCTICA 3. TRANSISTOR BIPOLAR.**

#### **PARTE 1. SIMULACIÓN CON LTSPICE.**

	<b>3</b>
1.1. ESTUDIO DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN TRANSISTOR BIPOLAR.	3
1.2. ESTUDIO DE UN INVERSOR RTL.	4
1.3. SUBIR LA SIMULACIÓN DE LA PRÁCTICA 3 AL CAMPUS VIRTUAL.	7

#### **PARTE 2. MONTAJE EN LABORATORIO CON TRANSISTORES BIPOLARES.**

	<b>8</b>
2.1. TRANSISTOR BIPOLAR NPN 2N2222.	8
2.2. CARACTERÍSTICA DE TRANSFERENCIA DE UN INVERSOR RTL.	9
2.3. RESPUESTA TEMPORAL DE UN INVERSOR RTL, SIENDO $V_i$ UNA SEÑAL CUADRADA.	10

## **Práctica 3. Transistor Bipolar.**

### **Documentación.**

La **documentación** debe conservarse como material de la asignatura para el alumno y en ella se deben anotar las soluciones obtenidas para que el alumno tenga una copia de los resultados obtenidos.

La **práctica** consiste en el análisis de varios circuitos mediante **simulación con el programa LTSpice**. Los resultados se recogerán en este documento PDF, el cual se entregará antes de acceder al laboratorio el día que esté señalado como corrección de esta práctica. **Se deberán subir al campus virtual los ficheros de las simulaciones (esquemáticos y gráficas de cada apartado)**, para ello se debe crear un directorio separado para cada nueva simulación, y todos estos directorios se comprimirán en un único archivo .ZIP que se subirá al Campus Virtual antes de entrar al laboratorio. **Además, se incluirán en dicho archivo .ZIP este documento PDF, con todos sus campos de formulario debidamente cumplimentados.**

## Parte 1. Simulación con LTSpice.

### Material Necesario

- Ordenador Personal
- Simulador LTSpice

### Objetivos

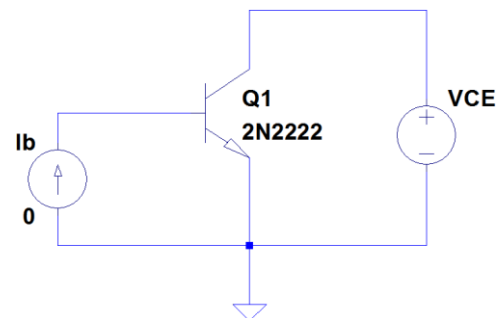
- Obtener las gráficas de las curvas características de un transistor bipolar
- Conocer el manejo del simulador LTSpice para realizar análisis en continua (“DC”) y transitorios (“TRAN”), aplicado en circuitos con transistores bipolares
- Caracterizar el inversor RTL: parámetros estáticos (característica de transferencia) y dinámicos (tiempos de subida y bajada, tiempos de propagación)

### 1.1. Estudio de las curvas características de un transistor bipolar.

En este apartado vamos a tratar de caracterizar el comportamiento de un transistor bipolar. Para ello obtendremos, mediante simulación, su curva de funcionamiento. Así, usando el simulador LTSpice, obtendremos las curvas características del transistor 2N2222, representando la intensidad de colector  $I_C$  (medida en mA) frente a la caída de tensión colector-emisor,  $V_{CE}$  (medida en V) para distintos valores de la intensidad de base  $I_B$  (medida en mA). El tipo de análisis necesario es del tipo “.DC” donde variaremos las dos fuentes de alimentación presentes en el siguiente circuito,  $V_{CE}$  e  $I_B$ , en el siguiente orden:

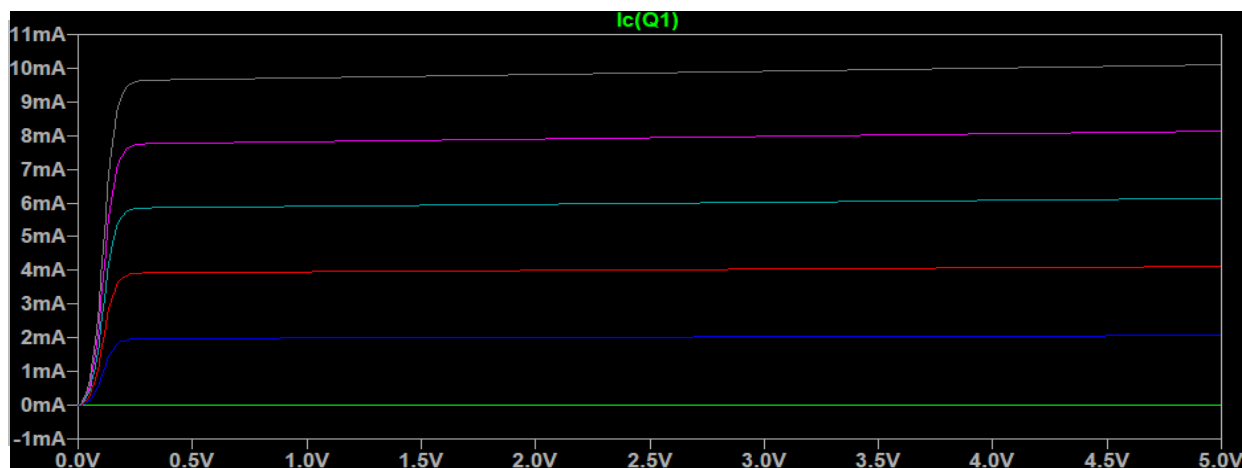
1ª fuente (“1st Source”) → La fuente  $V_{CE}$ : Tomará valores entre 0 y 5 V, con un incremento de 0.01 V

2ª fuente (“2nd Source”) → La fuente  $I_B$ : Tomará valores entre 0 y 50  $\mu\text{A}$ , con un incremento de 10  $\mu\text{A}$



Para utilizar el modelo de transistor adecuado, pondremos en el circuito de LTSpice el elemento de la librería llamado “NPN”, pincharemos con el botón derecho del ratón sobre su símbolo, y seleccionaremos la opción “Pick New Transistor”, apareciendo una lista de modelos disponibles de la cual escogeremos el 2N2222.

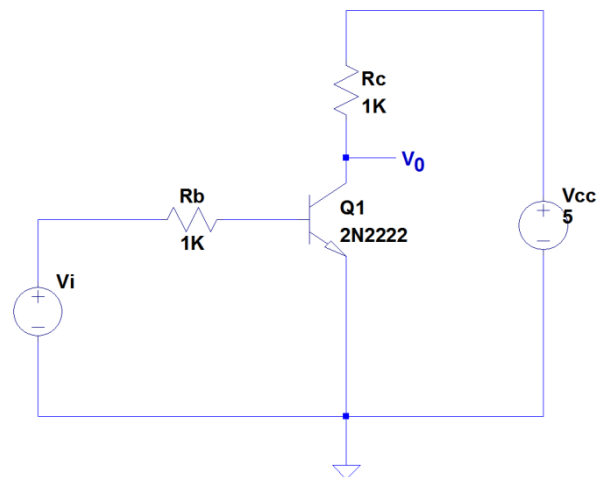
**1.1.1. Dibuja las curvas obtenidas al representar la intensidad de colector  $I_C$  frente a  $V_{CE}$  y señala las distintas zonas de trabajo del transistor en la gráfica:**



## 1.2. Estudio de un inversor RTL.

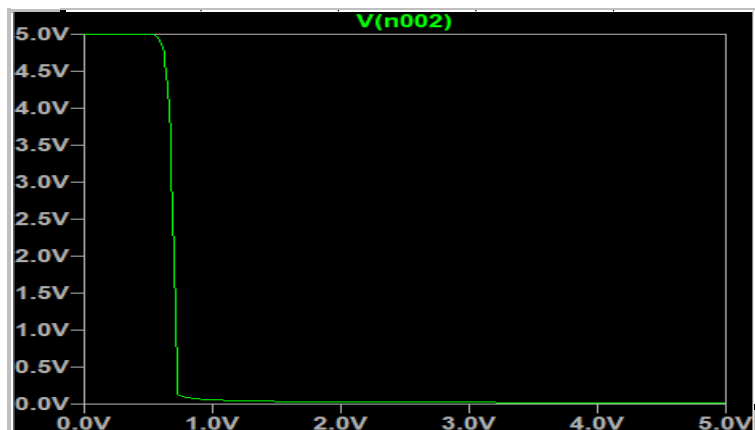
La siguiente figura nos muestra un inversor RTL. Utilizando el simulador LTSpice obtendremos las siguientes gráficas y calcularemos una serie de parámetros a partir de las mismas:

- Característica de Transferencia ( $V_o$  en función de  $V_i$ ). Cálculo de Parámetros Estáticos.
- Respuesta temporal del circuito, medida en la salida  $V_o$ , cuando se introduce en  $V_i$  una señal triangular.
- Respuesta temporal del circuito, medida en la salida  $V_o$ , cuando se introduce en  $V_i$  una señal cuadrada. Cálculo de parámetros Dinámicos (tiempos de subida, bajada y propagación).



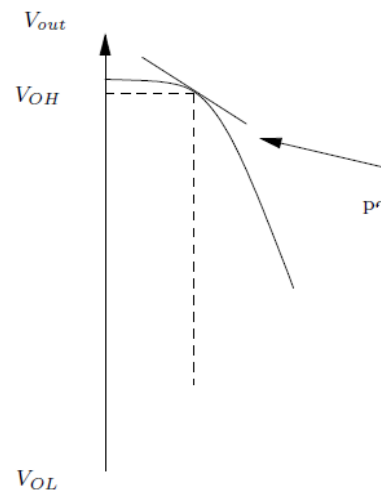
### 1.2.1. Característica de Transferencia de un inversor RTL.

El objetivo es obtener la señal de salida  $V_o$  en función de la entrada  $V_i$ . Para ello se debe realizar un análisis en continua (análisis “.DC”), efectuando un barrido sobre la señal  $V_i$  de entrada entre 0V y 5V. Utilizar un incremento de 0.01V por ejemplo.



A partir de la simulación anterior es posible calcular los valores de los llamados Parámetros Estáticos. Para medir dichos valores se escogen los puntos donde la pendiente de la característica de transferencia toma el valor  $-1$ . Podemos localizar estos puntos fácilmente con LTSpice si representamos la derivada de la misma, usando el menú “Plot Settings → Add Trace” y en la casilla “Expression to add” tecleamos “d(V(NNNN))”, donde “NNNN” es el nodo en el que está medida la salida  $V_o$  y que podemos ver en la parte superior de la gráfica ya representada de  $V_o$  (por ejemplo, si “NNNN” fuera el nodo “n002”, la expresión de la derivada quedaría “d(V(n002))”). Finalmente, localizamos con los cursores el primer punto donde esta nueva curva toma el valor  $-1$  en el eje vertical, y en ese instante nos cambiamos a la gráfica de la  $V_o$  de salida obteniendo de la misma nuestro primer par de valores ( $V_{IL}$  y  $V_{OH}$  si se trata del punto más a la izquierda, o  $V_{IH}$  y  $V_{OL}$  si es el de más a la derecha). Repetimos el proceso para el otro punto y completamos la siguiente tabla:

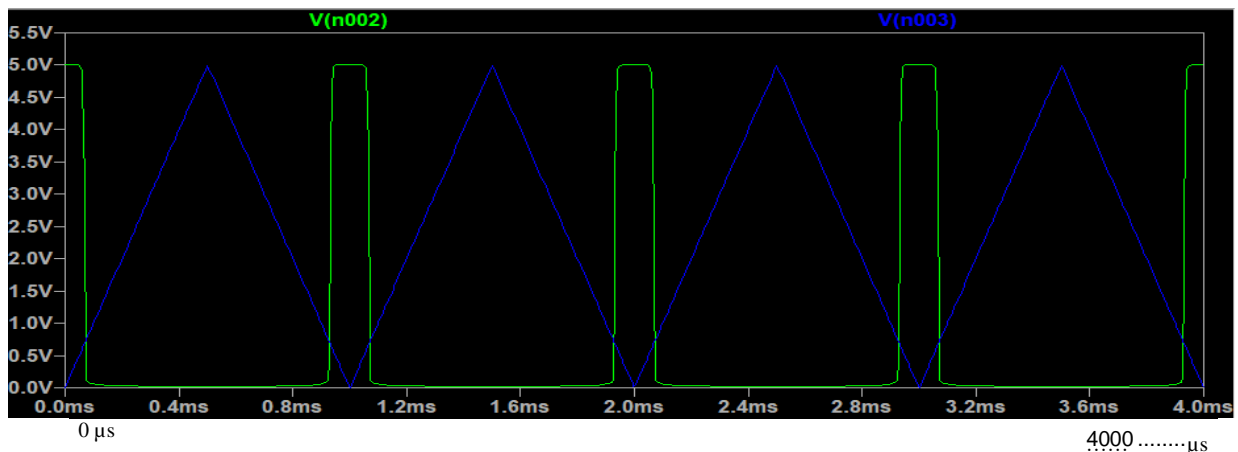
$V_{IL} = 560\text{mV}$
$V_{IH} = 750\text{mV}$
$V_{OL} = 110,83\text{mV}$
$V_{OH} = 4,97\text{V}$
$NM_L = V_{OH} - V_{IH} = 4,223\text{V}$
$NM_H = V_{IL} - V_{OL} = 0,449\text{V}$



Nota:  $NM_L$  y  $NM_H$  son los márgenes de ruido a nivel bajo y alto, respectivamente.

### 1.2.2. Respuesta temporal de un inversor RTL, siendo $V_i$ una señal triangular.

La respuesta temporal de un circuito a una señal de entrada que depende del tiempo se obtiene mediante un análisis “.TRAN”. En nuestro caso,  $V_i$  será una señal triangular de 1 KHz de frecuencia que oscila entre los 0 V (valor mínimo) y 5 V (valor máximo), y mediremos en  $V_o$  la respuesta del inversor RTL. Calcular el “Stop Time” adecuado para la simulación “.TRAN” de forma que se aprecien 4 ciclos completos de la señal de entrada  $V_i$ , y anotarlo en la parte inferior derecha de la gráfica. Nota: Recordar de la Práctica 1 cómo se introduce una señal triangular en el LTSpice, así como la forma de especificar el análisis transitorio.



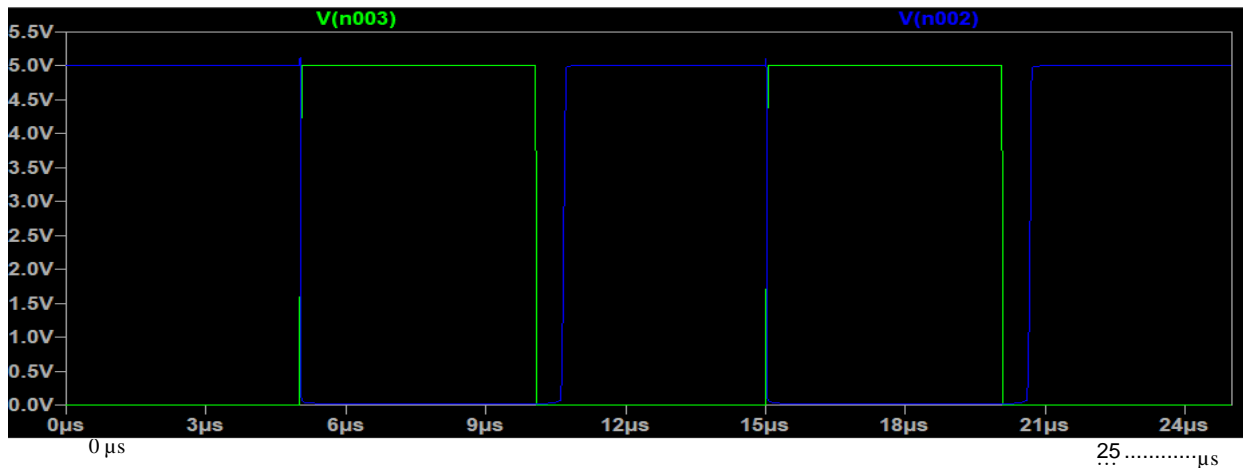
Explica el comportamiento observado en la gráfica:

Como podemos observar en la gráfica el tiempo de subida y bajada del inversor son muy cortos y el tiempo que se mantiene en el valor máximo es muy pequeño en comparación con el tiempo que se mantiene en el valor mínimo

### 1.2.3. Respuesta temporal de un inversor RTL, siendo $V_i$ una señal cuadrada.

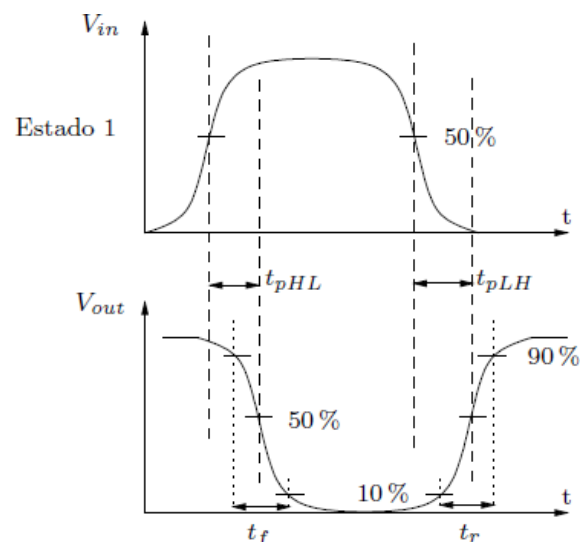
Este apartado será muy parecido al anterior, si bien nuestro objetivo será calcular los parámetros dinámicos del inversor RTL (tiempos de subida, bajada y propagación).

En este caso, la señal de entrada  $V_i$  será una señal cuadrada de **100 KHz de frecuencia** que oscila entre los 0 V (valor mínimo) y 5 V (valor máximo), con tiempos de subida y bajada ( $T_{rise}$  y  $T_{fall}$ ) de 50 ns, y mediremos en  $V_o$  la respuesta del inversor RTL. Calcular el “Stop Time” adecuado para la simulación “.TRAN” de forma que se aprecien **2 ciclos completos** de la señal de entrada  $V_i$ , y anotarlo en la parte inferior derecha de la gráfica. Nota: Recordar de la Práctica 1 cómo se introduce una señal cuadrada en el LTSpice, así como la forma de especificar el análisis transitorio.



Utilizando esta gráfica y los cursores del simulador LTSpice, podemos calcular los tiempos de propagación del inversor RTL ( $t_{pHL}$ ,  $t_{pLH}$  y  $t_{pD}$ , tiempo de propagación medio), así como los tiempos de bajada y subida de la señal de salida  $V_o$  ( $t_f$  y  $t_r$ ) tal y como se muestra en la figura:

$t_{pHL} = 7 \text{ ns}$
$t_{pLH} = 600 \text{ ns}$
$t_{pD} = 600 \text{ ns}$
$t_f = 15 \text{ ns}$
$t_r = 70 \text{ ns}$





---

### 1.3. Subir la simulación de la práctica 3 al Campus Virtual.

Crear un directorio llamado “Practica3”, en cuyo interior se encontrarán los circuitos que ya se han simulado y que se llamarán como cada uno de los apartados. Los pasos que se seguirán para cada uno de ellos serán los siguientes:

- Ejecutar el LTSpice
- Abrir uno de los ficheros de los circuitos a simular
- Ejecutar la simulación de dicho circuito
- Obtener las gráficas de salida que se pidan en el apartado correspondiente
- Guardar estas gráficas con la opción “*File → Save Plot Settings*”, generándose unos ficheros con extensión .PLT y .RAW para este apartado de la práctica
- Repetir el proceso con el resto de archivos .ASC (uno diferente por cada apartado)

Los ficheros que habrá generado el LTSpice tendrán el mismo nombre que se le haya dado al archivo .ASC, pero con extensión .LOG, .RAW y .PLT. Todo el contenido del directorio se archivará finalmente en un fichero ZIP ó RAR, subiéndolo a la tarea creada para tal caso en el Campus Virtual. Añade al archivo comprimido el archivo .PDF con los resultados obtenidos y los comentarios solicitados.

## Parte 2. Montaje en Laboratorio con Transistores Bipolares.

### Material Necesario

- Fuente de Alimentación
- Generador de funciones
- Osciloscopio
- Material de la caja del puesto: Protoboard, cables, etc.
- 1 Transistor Bipolar NPN 2N2222
- 2 Resistencias de 1 K $\Omega$

### Objetivos

- Caracterizar el inversor RTL: parámetros estáticos (característica de transferencia) y dinámicos (tiempos de subida y bajada, tiempos de propagación)

### 2.1. Transistor Bipolar NPN 2N2222.

El transistor 2N2222 que se muestra a la derecha es un transistor bipolar NPN, el cual nos lo podemos encontrar en el laboratorio con dos tipos de encapsulados distintos:

- TO-18. El encapsulado es plateado, redondo, y corresponde con el de la izquierda de la foto.
- TO-92. El encapsulado es negro y más aplastado, y corresponde con el de la derecha de la foto.

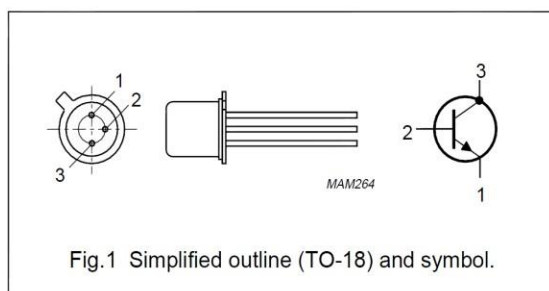


A la hora de realizar un montaje con este transistor es importante distinguir de cuál de los dos se trata, ya que las patillas no van en el mismo orden en ambos transistores.

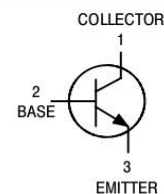
#### TO-18



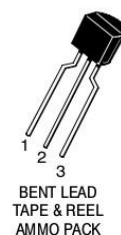
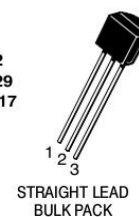
PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector, connected to case



#### TO-92



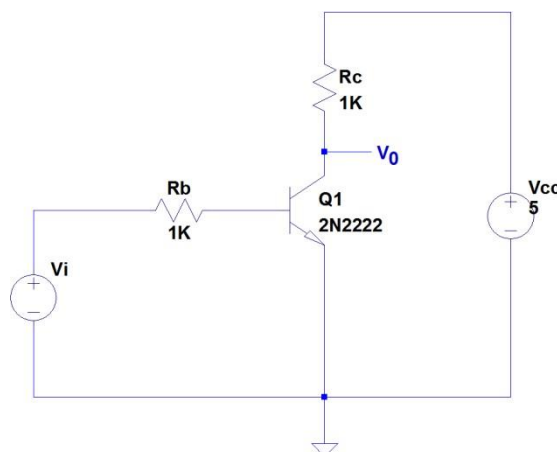
TO-92  
CASE 29  
STYLE 17



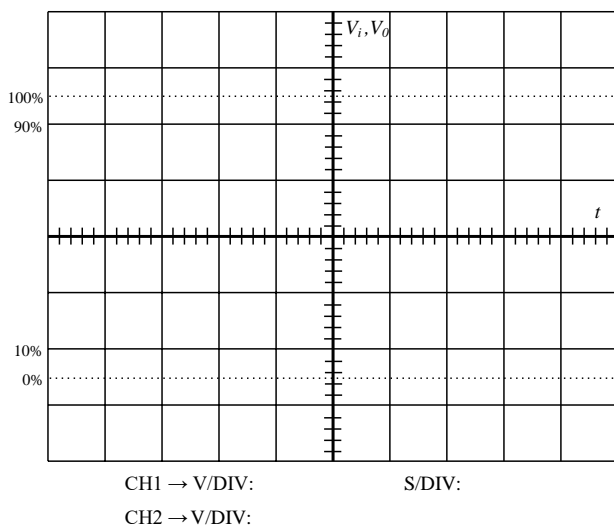
## 2.2. Característica de Transferencia de un inversor RTL.

En este apartado se pretende obtener en la pantalla del osciloscopio la característica de transferencia del inversor RTL. Para ello se debe montar en la protoboard el circuito indicado utilizando el transistor 2N2222.

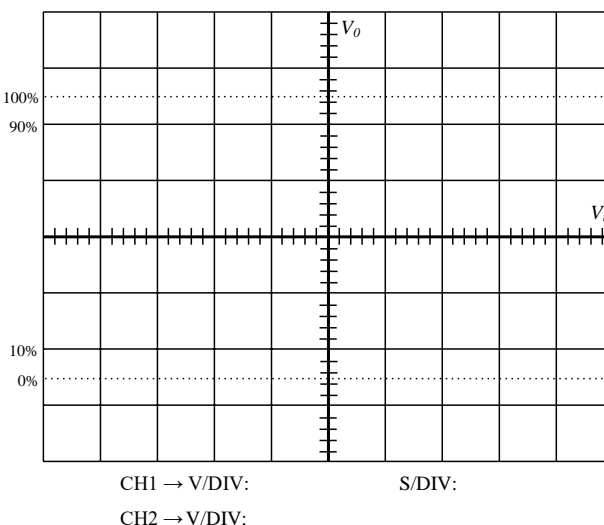
En  $V_i$  introduciremos una onda triangular de 1 KHz de frecuencia, comprendida entre 0V (valor mínimo) y 5V (valor máximo) utilizando el generador de funciones (será preciso introducir OFFSET en la señal). Tal y como se hizo en las prácticas 1 y 2, se representarán simultáneamente las señales  $V_i$  y  $V_o$  en función del tiempo (Medida 1). A continuación, se representará en el osciloscopio la gráfica de  $V_o$  (eje Y) frente a  $V_i$  (eje X), es decir, en modo X-Y, que será la característica de transferencia (Medida 2).



### Medida 1: $V_i$ y $V_o$ en func. del tiempo



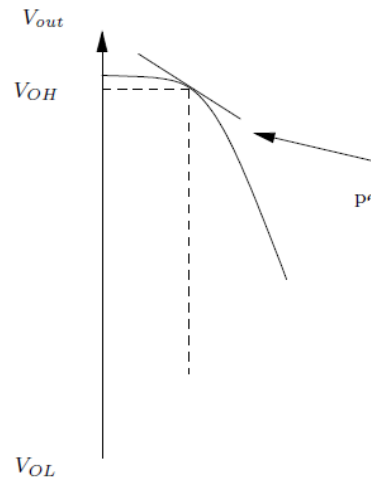
### Medida 2: Modo X-Y ( $V_o$ en func. de $V_i$ )



A partir de la característica de transferencia anterior es posible calcular los valores de los llamados Parámetros Estáticos. Para medir dichos valores se escogen los puntos donde la pendiente de la característica de transferencia toma el valor  $-1$ , si bien en la pantalla del osciloscopio no podremos saber exactamente dónde se encuentran los mismos, por lo que habrá que aproximar esos valores. Nota: Para obtener una mejor precisión en las medidas, utilizar una escala de Voltios/División más pequeña de lo habitual (0.5V/DIV ó incluso menor), de esa manera se podrán visualizar mejor los resultados. Anotar en la tabla de la Medida 3 los valores hallados:

### Medida 3: Parámetros Estáticos

$V_{IL} =$
$V_{IH} =$
$V_{OL} =$
$V_{OH} =$
$NM_L =$
$NM_H =$



Nota:  $NM_L$  y  $NM_H$  son los márgenes de ruido a nivel bajo y alto, respectivamente.

Compara los resultados obtenidos en el osciloscopio con los de la simulación:

.....

.....

.....

.....

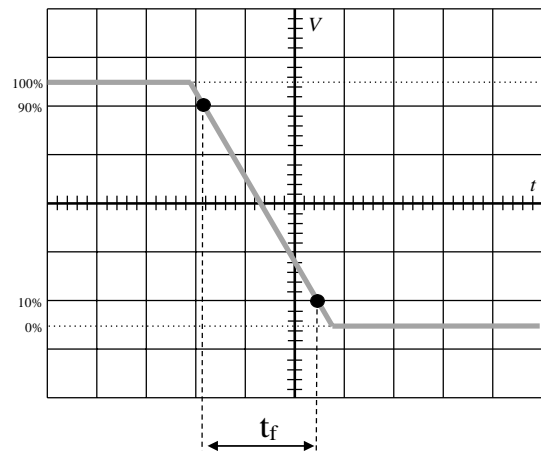
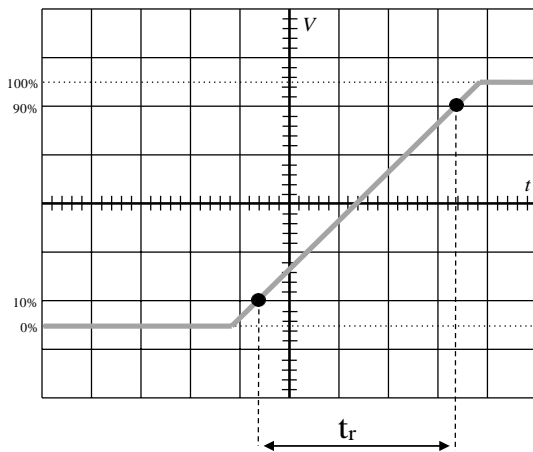
.....

### 2.3. Respuesta temporal de un inversor RTL, siendo $V_i$ una señal cuadrada.

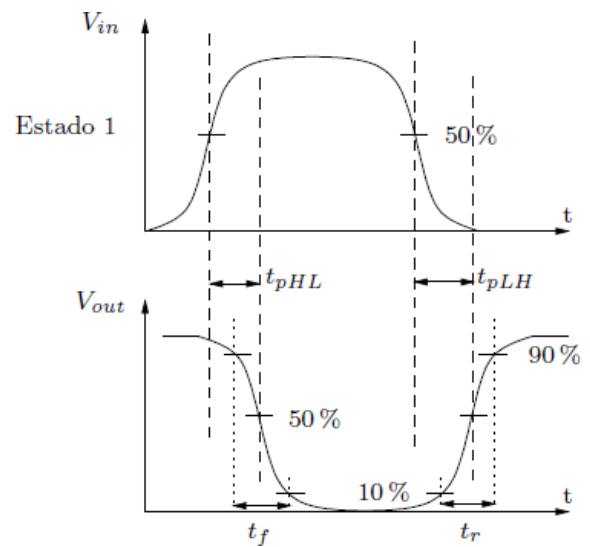
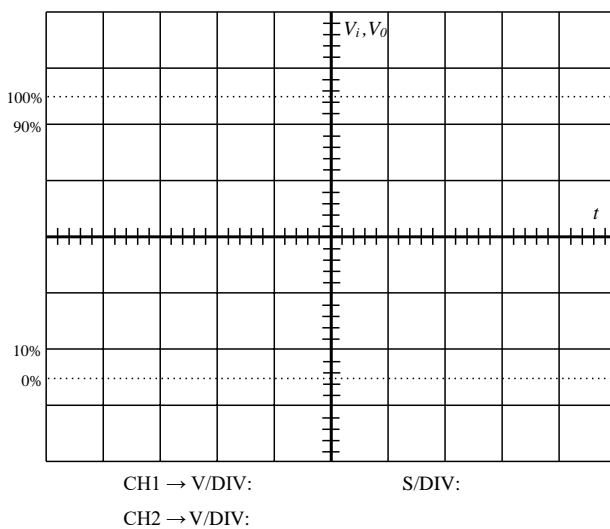
El objetivo de este apartado será obtener los parámetros dinámicos de un inversor RTL, es decir, tiempos de propagación ( $t_{pHL}$ ,  $t_{pLH}$  y  $t_{pD}$ , siendo este último el tiempo de propagación medio), así como los tiempos de bajada y subida de la señal de salida  $V_o$  ( $t_f$  y  $t_r$ ). Para ello introduciremos en  $V_i$  una onda cuadrada de 100 KHz de frecuencia, comprendida entre 0V (valor mínimo) y 5V (valor máximo) utilizando el generador de funciones. Tal y como se ha hecho en el apartado anterior, se representarán las señales  $V_i$  (canal 1) y  $V_o$  (canal 2) simultáneamente en función del tiempo, y anotarán en la tabla de la Medida 4 los valores de los tiempos medidos. Representar dichas gráficas de forma que haya al menos un flanco de subida y otro de bajada en la señal de salida.

Nota 1: Si no se ven bien los cambios en las señales es debido a que hemos aumentado mucho la frecuencia de la señal respecto al apartado anterior. Será necesario girar el mando "SEC/DIV" del osciloscopio para lograr una correcta visualización de las mismas.

Nota 2: Si encontráis difícil distinguir la onda de entrada de la de salida, moved la posición de alguna de ellas para que queden separadas, si bien para medir los tiempos de propagación, subida y bajada deberán estar colocadas en pantalla tal y como se vio en el tutorial de la práctica 1, es decir, la parte baja de la señal situada en la marca del 0% de la pantalla del osciloscopio, y la parte superior en la marca del 100%; esto se consigue accionando los mandos de POSITION y de VOLTS/DIV para que cuadren correctamente. Utilizar los cursores para realizar las mediciones, así como la opción "x10 MAG" del osciloscopio para medir con más precisión.



## Medida 4: Parámetros Dinámicos



$t_{pHL} =$
$t_{pLH} =$
$t_{pD} =$
$t_f =$
$t_r =$

Compara los resultados obtenidos en el osciloscopio con los de la simulación:

.....

.....

.....

.....

.....

# ***PRÁCTICAS DE FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA***

EL MUNDO DE LA ELECTRÓNICA ES MUY AMPLIO, Y EN ESTE MANUAL SE PRETENDE ABORDAR UNA PRIMERA TOMA DE CONTACTO CON EL MISMO. ES POR ELLO QUE SE HAN PREPARADO UNA SERIE DE PRÁCTICAS DE SIMULACIÓN Y MONTAJE ENFOCADAS A INTRODUCIR AL ALUMNO EN LOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS MÁS BÁSICOS (FUENTES DE TENSIÓN E INTENSIDAD, RESISTENCIAS, DIODOS Y TRANSISTORES) ASÍ COMO EN LA BASE DE CUALQUIER CIRCUITO DIGITAL (PUERTAS LÓGICAS Y ELEMENTOS DE MEMORIA, ESTO ES, BIESTABLES). LA PRIMERA PARTE DE ESTE MANUAL SE ENFOCA A REALIZAR PRÁCTICAS PARA TOMAR DESTREZA EN LA SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN FÍSICA EN EL LABORATORIO DE CIRCUITOS BASADOS EN DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS BÁSICOS Y EN SEMICONDUCTORES, CON EL OBJETIVO DE PODER CREAR PUERTAS LÓGICAS CON LOS MISMOS, TRAS LO CUAL LAS ANALIZAREMOS Y ESTUDIAREMOS SU COMPORTAMIENTO. LA SEGUNDA PARTE DE ESTE MANUAL SE ENCAMINA A DOTARLE AL ALUMNO DE LOS CONOCIMIENTOS NECESARIOS PARA PODER CREAR UN ESQUEMÁTICO CON UN CIRCUITO DIGITAL REALIZADO A BASE DE PUERTAS LÓGICAS Y ELEMENTOS DE MEMORIA (BIESTABLES), ASÍ COMO PARA SIMULARLO E INCLUSO PODER PROBARLO FÍSICAMENTE EN EL LABORATORIO A TRAVÉS DEL USO DE UNA PLATAFORMA DIGITAL PROGRAMABLE COMO ES UNA CPLD.

