

## NOTAS DE CLASE

# Comparadores de tensión

### **OBJETIVOS - CONOCIMIENTOS PARA EL COLOQUIO:**

El alumno deberá poder reconocer cuáles son los parámetros más importantes de cada circuito integrado específico e individualizarlos en las hojas de datos correspondientes.

Deberá, también, poder identificar en el circuito interno las principales etapas de los comparadores estudiados en clase: el LM311, LM392, LM393 y LM339.

## Índice

1.	Introducción: .....	3
2.	Comparador de tensión de uso general LM311 .....	4
2.1	Compensación del offset de tensión: .....	5
2.2	El terminal strobe: .....	5
2.3	Esquemas de polarización de salida: .....	6
2.4	Características principales del LM311: .....	6
2.5	Tiempos de respuesta: .....	7
2.6	Aplicación típica de AND-cableada: .....	8
3.	Comparador de tensión de uso general LM393 .....	8
3.1	Circuito interno simplificado: .....	9
3.2	Características principales del LM393: .....	9
3.3	Tiempos de respuesta: .....	10
4.	Comparador de tensión de uso general LM392 .....	11
4.1	Circuito interno simplificado: .....	11
4.2	Características principales del LM392: .....	11
5.	Comparador de tensión de uso general LM339 .....	12
5.1	Características principales del LM339: .....	12
6.	Conclusión.....	12
7.	Bibliografía: .....	12

## 1. Introducción:

Hemos estudiado ya aplicaciones no lineales con Amplificadores Operacionales, y hemos visto como se los utiliza en diversos circuitos de aplicación (comparadores, astables, monoestables, etc)..

Veremos ahora cuales son las limitaciones de un A. O. tradicional utilizado como comparador:

Estudiemos el tema del tiempo de respuesta: el Slew Rate

EL Slew Rate del 741 es de  $0,5 \text{ V}/\mu\text{seg}$ . Vemos que si esta alimentado con  $\pm 15 \text{ V}$  tardaría unos  $52 \mu\text{seg}$  en ir desde  $-13 \text{ V}$  a  $13 \text{ V}$ . ( $26 \text{ V} / 0,5 \text{ V}/\mu\text{seg} = 52 \mu\text{seg}$ )

Obviamente si necesitamos un menor tiempo de respuesta, podemos utilizar un A.O. mas rápido como el LF353 en cuyo caso tenemos un Slew Rate de  $13 \text{ V}/\mu\text{seg}$  con lo cual el tiempo de respuesta seria de  $26 \text{ V} / 13 \text{ V}/\mu\text{seg} = 1,6 \mu\text{seg}$

También podemos utilizar un AO sin compensación interna como el LM301. Recordemos que la compensación de frecuencia es muy importante en las aplicaciones lineales, pero no tiene importancia en las aplicaciones de lazo abierto donde hace más lento al comparador innecesariamente.

El LM301 es un AO sin compensación interna (tiene dos terminales para hacer la compensación externamente) tiene un Slew Rate de  $10 \text{ V}/\mu\text{seg}$ , menor que el del LF353. Obtendríamos un tiempo de respuesta de  $26 \text{ V} / 10 \text{ V}/\mu\text{seg} = 2,6 \mu\text{seg}$ .

Ya sea que estén internamente compensados o no, los A.O. tradicionales están destinados a operar en zona lineal y sus circuitos internos no están optimizados para la operación de lazo abierto, en conmutación. Veremos que sus tiempos de respuesta si bien pueden funcionar muy bien para aplicaciones de baja frecuencia, son inaceptables para muchas aplicaciones donde el tiempo de respuesta es crítico.

Otra limitación importante de los A.O. tradicionales son los niveles de saturación de salida, que por lo general son un problema para crear la interfase con circuitos digitales, ya que en estos no se puede cambiar a voluntad los niveles de tensión de salida a niveles compatibles para excitar una compuerta lógica o la entrada de un microcontrolador (TTL, CMOS,...). Por lo general hay que agregar circuitos adicionales para lograr esto.

Estas son las razones principales para desarrollar una categoría de amplificadores de alta ganancia optimizados de manera específica para esta operación, que se llaman comparadores de voltaje.

Los comparadores de tensión comunes tienen tiempos de respuesta típicos que van de los 50 a 200 nseg. Mientras que comparadores para aplicaciones de alta velocidad (como por ejemplo para aplicaciones como los conversores A/D Flash) tienen tiempos de respuesta del orden de los 10 nseg.

## 2. Comparador de tensión de uso general LM311

El LM311 es uno de los primeros comparadores de tensión que se comercializaron. Entre sus principales características encontramos que se puede alimentar con fuente doble  $\pm 15$  o simple de  $+5$  V. Además posee una salida a colector abierto lo que permite seleccionar los niveles de la tensión de salida.

En el circuito interno simplificado podemos observar la etapa de entrada consistente en dos seguidores de tensión  $Q_1$  y  $Q_2$  que se acoplan a una etapa diferencial  $Q_3$ - $Q_4$ . Cuya salida en forma diferencial se acopla a una nueva etapa también diferencial constituida por  $Q_5$ - $Q_6$ . Y luego acoplada a  $Q_7$  (seguidor) y a  $Q_8$  (etapa en base común) que provee una corriente para excitar el transistor de salida  $Q_0$ .

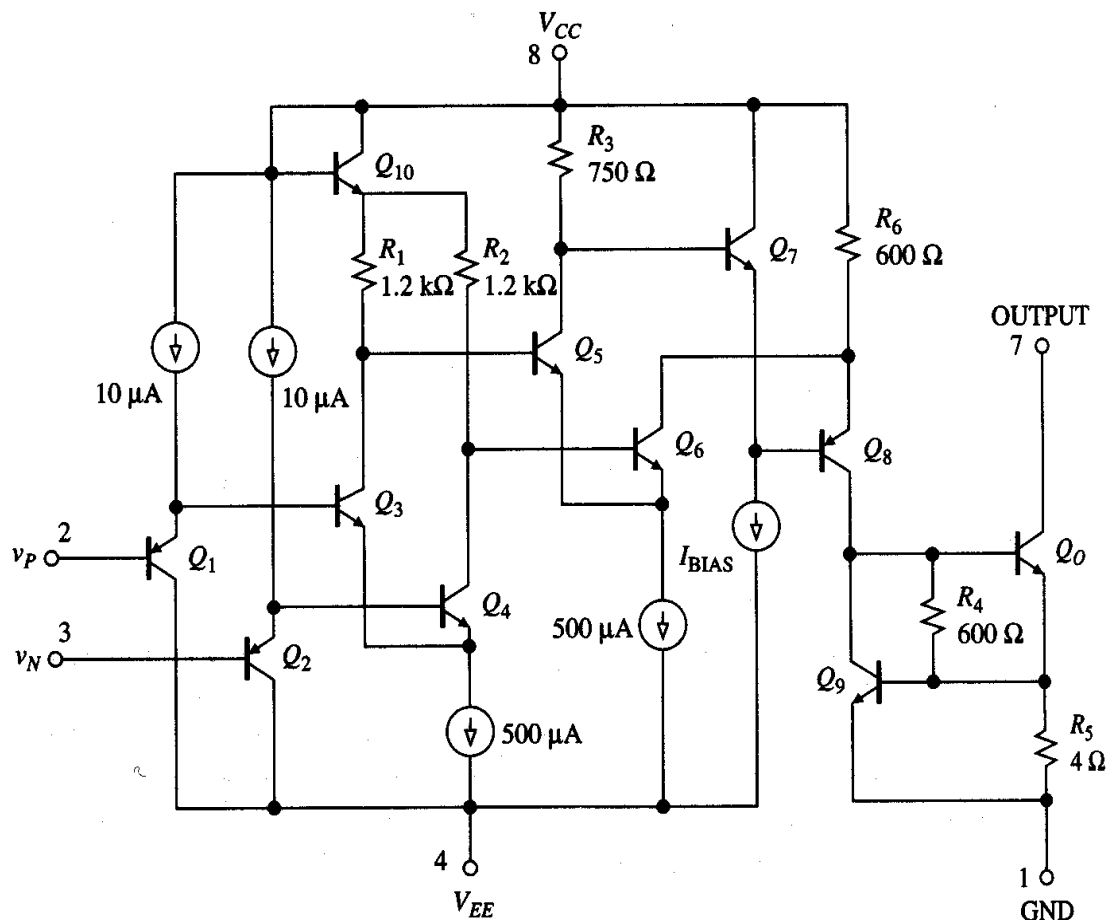
En tanto que  $Q_9$  es la protección contra sobre corriente de  $Q_0$ .

La razón de utilizar la etapa seguidora PNP de entrada  $Q_1$  y  $Q_2$  es que de esta forma permite al circuito llegar a tensiones de entrada por debajo de  $V_{EE}$  y además soportar altas tensiones diferenciales.

Cuando  $Q_0$  conduce puede absorber hasta 50 mA y cuando esta cortado tiene una corriente de fuga típica de 0,2 nA.

Observar en el diagrama que tengo acceso a los terminales 1 GND (emisor de  $Q_0$ ) y 7 OUTPUT (colector de  $Q_0$ ) lo cual nos permite elegir los niveles de tensión que desee para la salida. Además el terminal 1 GND no necesariamente debe conectarse a masa, puede tener una tensión negativa (que puede o no ser  $V_{EE}$ ), de acuerdo a mis necesidades, para excitar la etapa siguiente.

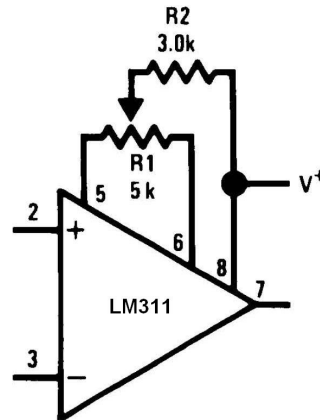
### Circuito interno simplificado del LM311:



## 2.1 Compensación del offset de tensión:

El LM311 también posee terminales para la compensación del Offset de tensión, actuando de manera similar a la compensación en el 741. Estos terminales desbalancean las fuentes de corriente de  $10\ \mu\text{A}$  de la etapa de entrada variando así las tensiones base emisor de Q1 y Q2 produciendo de esta forma la compensación del Offset de tensión. Estos terminales pueden observarse en el circuito esquemático completo suministrado en las hojas de datos del LM311.

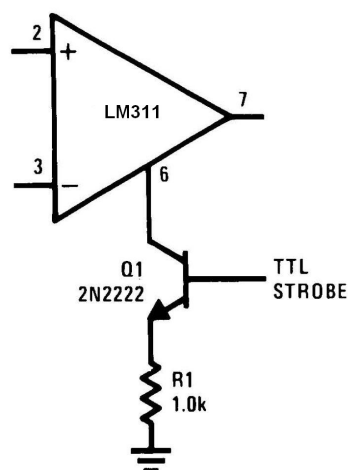
Circuito típico de compensación del Offset de tensión:



## 2.2 El terminal strobe:

El terminal strobe es una función interesante del LM311, ya que permite conectar múltiples comparadores a una misma línea digital de datos y habilitarlos secuencialmente con este terminal, para leerlos por ejemplo con un microcontrolador.

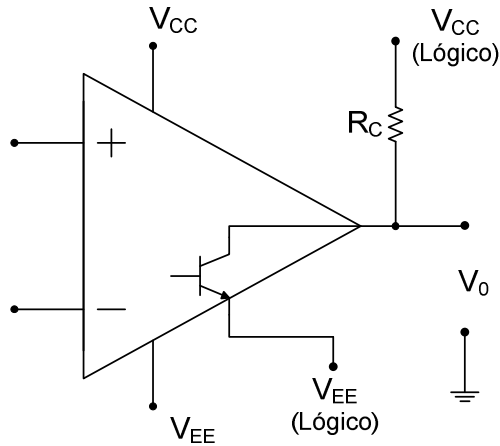
El diagrama muestra una forma en que se puede conectar este terminal a una señal TTL de 5V. Esta activaría el transistor Q1 haciendo que el transistor de salida del LM311 se corte.



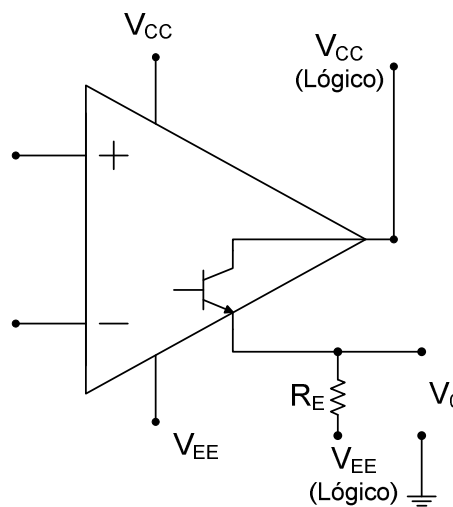
### 2.3 Esquemas de polarización de salida:

Los esquemas de polarización de la salida a colector abierto mas comunes son las siguientes

#### Salida por colector:



#### Salida por emisor:



### 2.4 Características principales del LM311:

Ganancia de tensión: 200 V/mV

Tiempo de respuesta: 200 nseg.

Máxima tensión de entrada diferencial:  $\pm 30V$

Margen de tensión de entrada en modo común: - 14.5 V a 13 V (para alimentación de  $\pm 15V$ )

Tensión Offset máximo: 7,5 mV

Corriente de entrada máxima: 250 nA

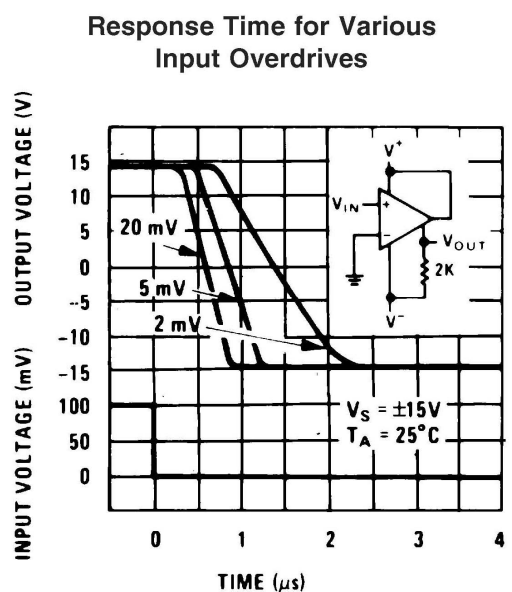
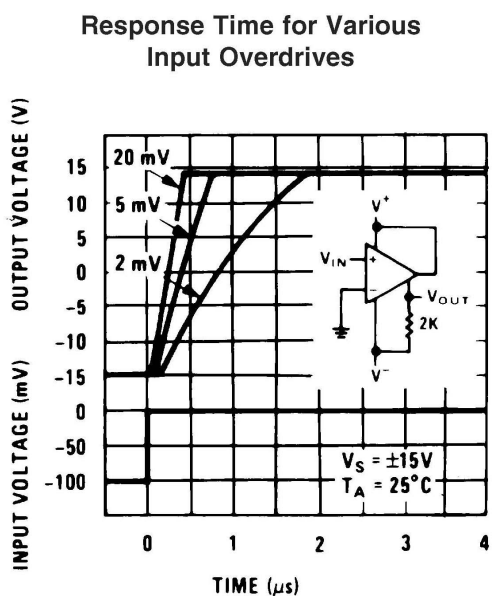
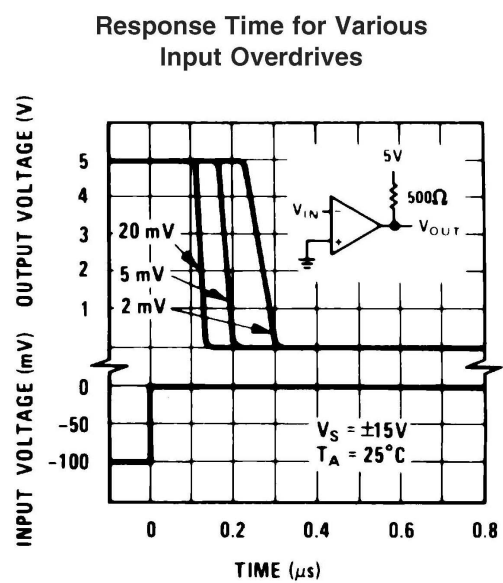
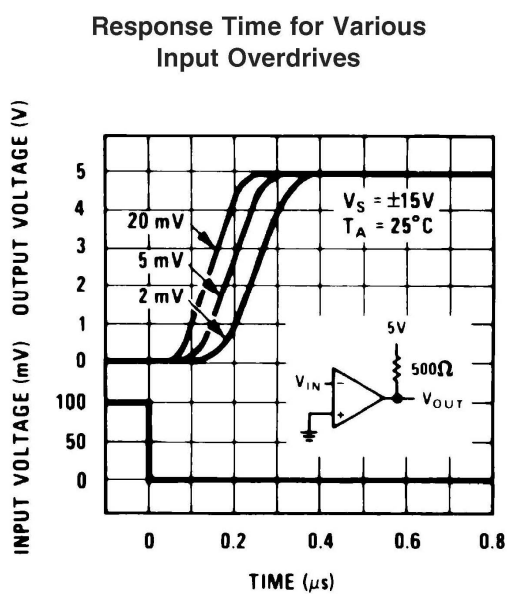
Corriente Offset máxima: 50 nA

Tensión de alimentación: duales  $\pm 15\text{ V}$  o simple  $+ 5\text{ V}$

Potencia consumida: 135 mW (para alimentación de  $\pm 15\text{ V}$ )

### 2.5 Tiempos de respuesta:

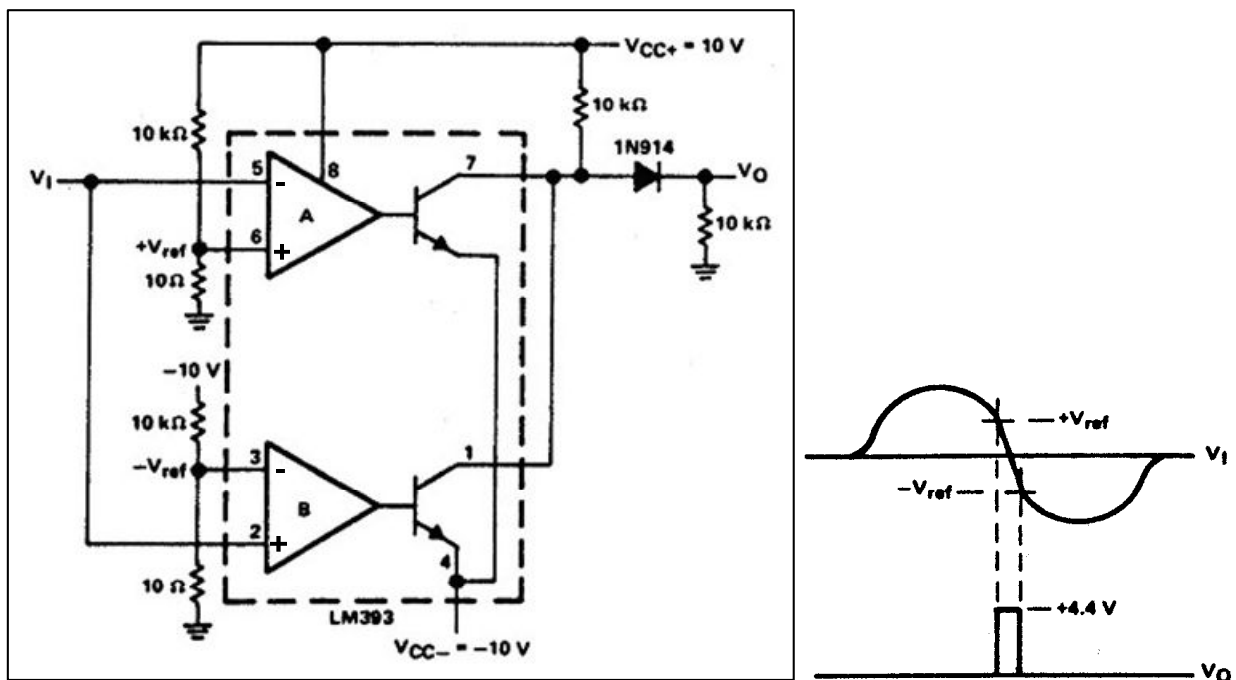
Podemos observar en las curvas suministradas por el fabricante los tiempos de respuesta para salida por emisor y por colector para distintos niveles de sobre-excitación de entrada.



## 2.6 Aplicación típica de AND-cableada:

Otra ventaja de la salida a colector abierto es la posibilidad de implementar una compuerta AND sin circuitos adicionales (comúnmente llamada AND-cableada).

**Detector de ventana (Ejemplo de aplicación: detector de cruce por cero):**



## 3. Comparador de tensión de uso general LM393

El LM393 es un circuito integrado con dos comparadores de tensión de baja potencia y bajo Offset.

Este integrado también admite fuente simple o doble.

Vemos en el circuito interno simplificado la etapa diferencial de entrada configurada por un par Darlington PNP (Q1-Q2 y Q3-Q4), lo cual permite tener una muy baja corriente de polarización de entrada y alcanzar tensiones de entrada mínimas hasta 0 V.

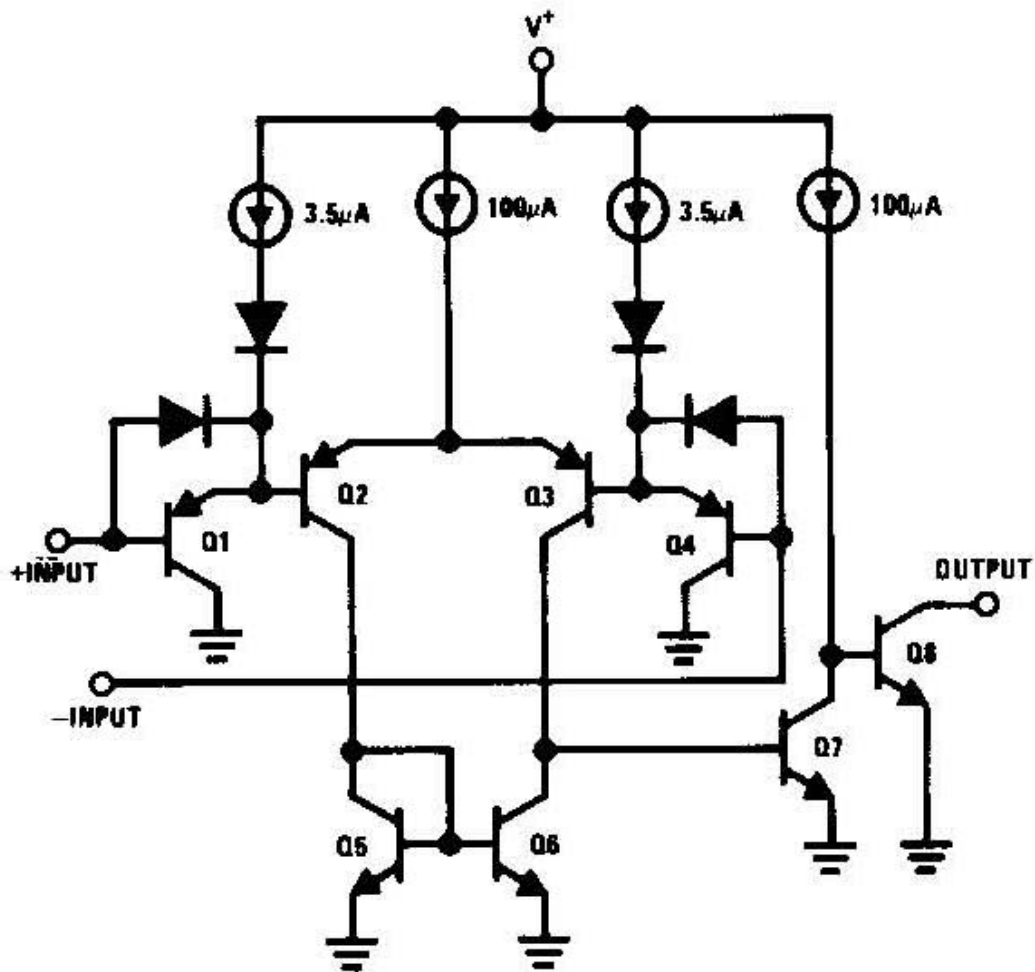
El espejo de corriente Q5-Q6 forma la carga activa de este diferencial. La salida se toma a modo simple para excitar Q7 (etapa en emisor común) incrementando la ganancia de tensión, para finalmente excitar el transistor de salida Q0.

Donde como en el LM311 la salida de Q0 es a colector abierto. Q0 puede absorber (cuando esta saturado) una corriente típica de 16 mA (como mínimo 6 mA). La corriente de fuga de colector cuando esta cortado es de 0,1 nA.

A diferencia del LM311 en este integrado no tengo acceso al emisor de Q0, estando este internamente conectado a masa o a la fuente negativa correspondiente.



### 3.1 Circuito interno simplificado:



### 3.2 Características principales del LM393:

Ganancia de tensión: 200 V/mV

Tiempo de respuesta: 1,3 µseg.

Máxima tensión de entrada diferencial: 36V

Margen de tensión de entrada en modo común: 0 a  $V_{cc} - 2 V$

Tensión Offset máximo: 9 mV

Corriente de entrada máxima: 400 nA

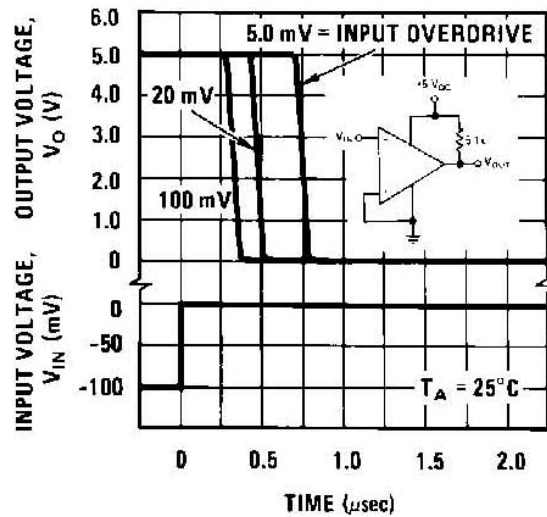
Corriente Offset máxima: 150 nA

Tensión de alimentación: Simple de 2 a 36 V, Doble de  $\pm 1 V$  a  $\pm 18 V$

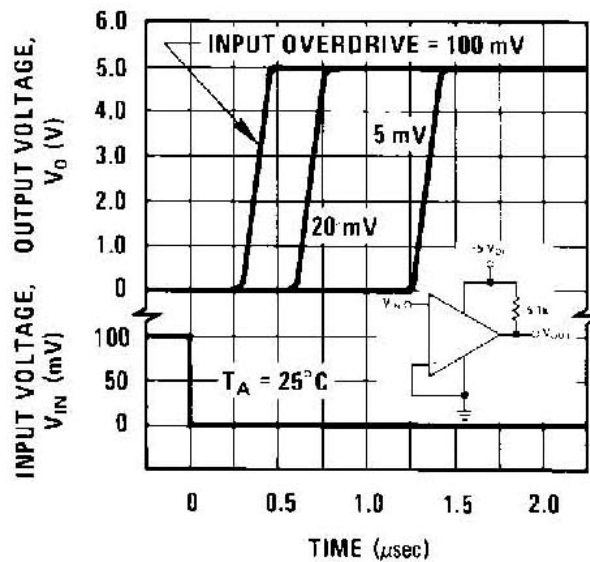
### 3.3 Tiempos de respuesta:

Podemos observar en las curvas suministradas por el fabricante los tiempos de respuesta del circuito.

**Response Time for Various Input Overdrives — Negative Transition**



**Response Time for Various Input Overdrives — Positive Transition**



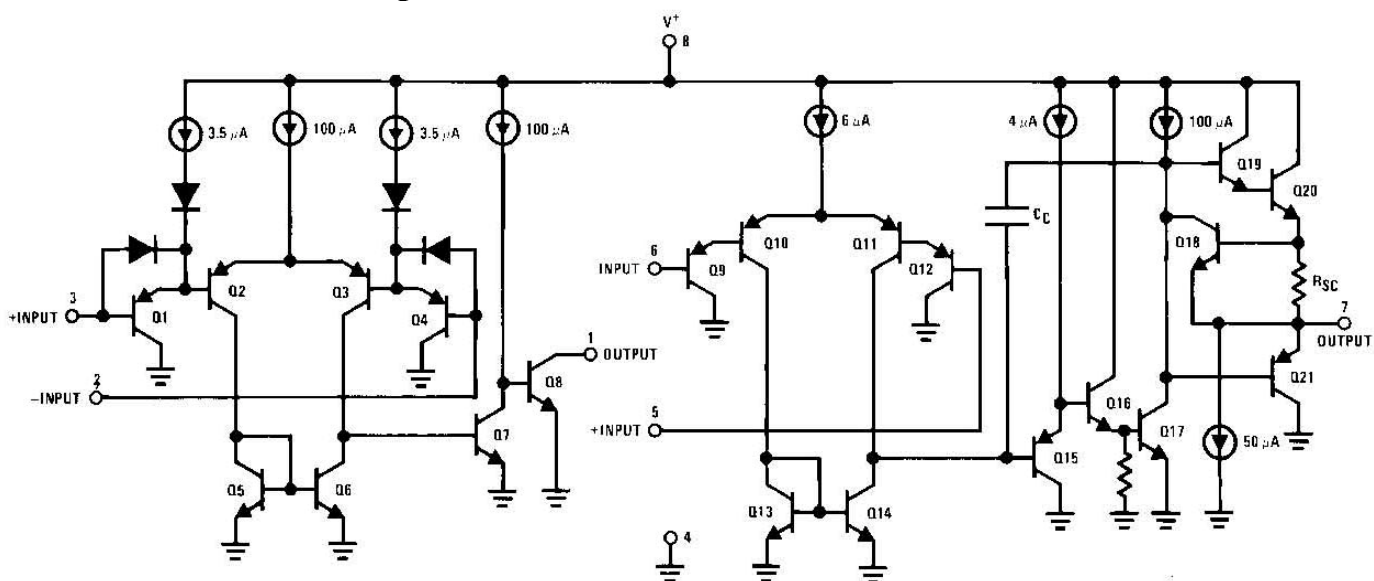
## 4. Comparador de tensión de uso general LM392

El LM392 posee un AO y un comparador de tensión en el mismo integrado. Esta es una interesante opción ya que hay muchas aplicaciones donde se necesita un AO, además de un comparador de tensión.

En el circuito interno simplificado podemos observar un comparador de tensión similar a los del LM393 y un AO de estructura tradicional. Observen en el esquema la estructura típica, con su capacitor de compensación en frecuencia y su salida con un par complementario.

El transistor de salida del comparador (a colector abierto) puede absorber (cuando esta saturado) una corriente típica de 16 mA (como mínimo 6 mA). La corriente de fuga de colector cuando esta cortado es de 0,1 nA.

### 4.1 Circuito interno simplificado:



### 4.2 Características principales del LM392:

Ganancia de tensión del comparador: 200 V/mV

Ganancia de tensión del AO: 100 V/mV

Tiempo de respuesta del comparador: 1,3 μseg.

Máxima tensión de entrada diferencial: 32V

Margen de tensión de entrada en modo común: 0 a  $V_{cc} - 2V$

Tensión Offset máximo: 5 mV

Corriente de entrada máxima: 250 nA

Corriente Offset máxima: 50 nA

Tensión de alimentación: Simple de 3 a 32 V, Doble de  $\pm 1,5 V$  a  $\pm 16 V$

## 5. Comparador de tensión de uso general LM339

Este circuito integrado posee cuatro comparadores de tensión de estructura interna similar a las del LM393, con mejoras sensibles en el tiempo de respuesta, Offset de tensión y corrientes de polarización.

### 5.1 Características principales del LM339:

Ganancia de tensión: 200 V/mV

Tiempo de respuesta: 300 nseg.

Máxima tensión de entrada diferencial: 36V

Margen de tensión de entrada en modo común: 0 a  $V_{cc} - 2 V$

Tensión Offset máximo: 2 mV

Corriente de entrada máxima: 250 nA

Corriente Offset máxima: 50 nA

Tensión de alimentación: Simple de 2 a 36 V, Doble de  $\pm 1 V$  a  $\pm 18 V$

## 6. Conclusión

Lo que tratamos de mostrar aquí son los comparadores de tensión más tradicionales que podemos obtener fácilmente en el mercado local. Queda para el alumno cuando se enfrente a un problema práctico, el buscar en las páginas Web de los fabricantes los comparadores de tensión que más se adapten a su aplicación específica.

## 7. Bibliografía:

-) Diseño con Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Analógicos, Sergio Franco – Mc Graw Hill 3ª Edición - ISBN 9701045955

-) Hojas de datos del LM311, LM392, LM393 y LM339 de National Semiconductor, Motorola y Fairchild.