

Fuentes Reguladas - Especificaciones y Disipación de Potencia del Transistor de Paso

Ing. Raúl A. Villa, Cátedra Electrónica Aplicada.
Facultad de Física, Matemáticas y Ciencias Naturales.
Universidad Nacional de San Luis.

E-mail: rvilla@unsl.edu.ar

1. Disipación de potencia en el transistor de paso.

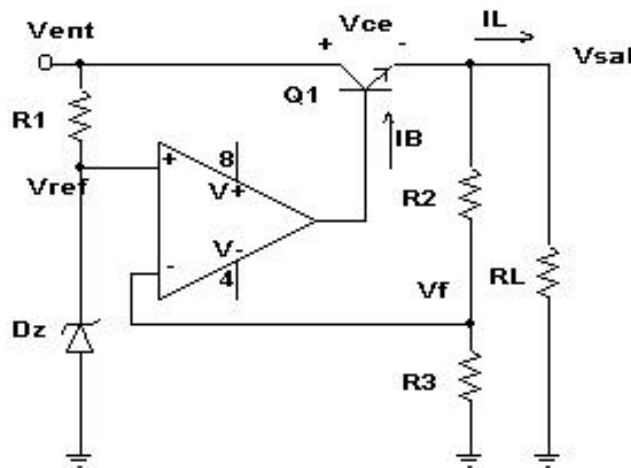


Fig. 1

Al transistor Q1 se lo denomina transistor de paso pues toda la corriente de la carga "pasa" por él.

La principal desventaja de un regulador serie de tensión, es la potencia que se disipa en el transistor de paso. Esta potencia no es transferida a la carga, lo cual motiva que el rendimiento sea bastante inferior al 100%.

La potencia disipada en el transistor Q1 está dada por la siguiente expresión:

$$P_{Q1} = V_{CE} I_C$$

Donde:

$$V_{CE} = V_{ent} - V_{sal}$$

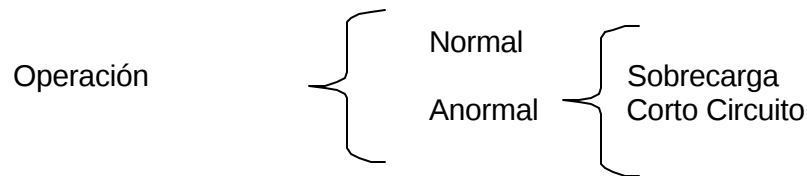
$$I_C = I_L \text{ (corriente de carga)}$$

La potencia máxima P_{Q1max} :

$$V_{ent} = V_{ent_{max}}$$

$$I_L = I_{L_{max}}$$

$$(1) \quad P_{Q1max} = (V_{ent_{max}} - V_{sal}) I_{L_{max}}$$

2. Especificaciones del transistor de paso**Condiciones de carga del regulador.**

Operación normal: Condición de carga que no excede el máximo de corriente para la cual se diseñó la fuente.

Operación anormal: Incluye condiciones de sobrecarga (se excede el valor máximo de corriente permitido) y en caso extremo, el corto circuito entre los terminales de salida de la fuente.

Especificaciones para condiciones de carga normal.

Estas especificaciones deberán ser tenidas en cuenta a la hora de elegir el transistor en un diseño, así como para su reemplazo en el caso de realizar una reparación. Se toman en cuenta las condiciones normales de operación ya que todos los circuitos reguladores de tensión son provistos de una protección electrónica que limita la corriente en caso de sobrecarga o corto circuito.

- ❑ $I_{Cmax} > I_{Lmax}$: Siempre la corriente máxima de colector que admite el transistor debe ser mayor que la máxima corriente prevista para la carga.
- ❑ $V_{CE0max} > V_{ent,max}$: Para la tensión máxima de colector-emisor a base abierta (V_{CE0}) del transistor se debe tener en cuenta el instante de encendido de la fuente, ya que, como la carga todavía no consume corriente la caída de tensión sobre la misma es igual a cero y toda la tensión de la fuente no regulada cae sobre el transistor de paso.
- ❑ $h_{FEmin} > I_{Lmax}/I_{Bmin}$: Siempre es posible y de hecho se utilizan, si la ganancia no es la necesaria, colocar arreglos de transistores en configuración darlington. Tener en cuenta que el circuito de control (ver A.O. en Fig.1) suele tener baja capacidad de corriente y los transistores de potencia tienen ganancias de corriente bajas (para el 2N3055 el h_{FEmin} es de 20), lo cual implica que la corriente de base del elemento de paso suele ser importante.
- ❑ $P_{Dmax} > P_{Q1max}$: P_{Q1max} , calculado según la expresión (1).
Tener en cuenta que la especificación de P_{Dmax} , que da el fabricante del transistor, está dada para una temperatura de encapsulado del transistor de 25°C. Si se esperan temperaturas de operación mayores, lo cual para un transistor de potencia es casi seguro, se deberá **reducir** la potencia máxima, que se espera pueda disipar el transistor, según las curvas que provee el fabricante en las hojas de datos (Ver Fig. 2).

Un correcto aprovechamiento del transistor de potencia deberá contemplar el montaje del mismo sobre un disipador de calor, que es un sistema radiador de gran superficie en contacto con el aire.

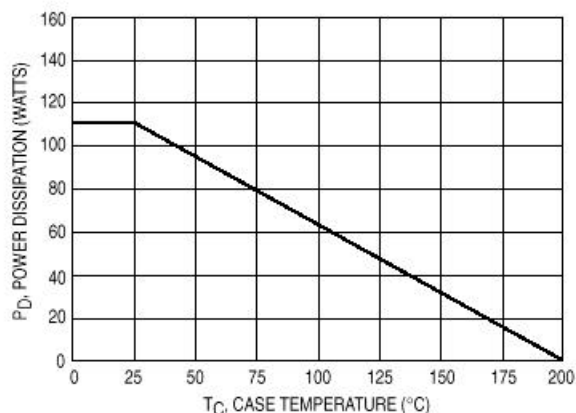


Fig. 2

SELECTED BIPOLAR POWER TRANSISTORS

npn	pnnp	Pkg ^a	V_{CE0} max (V)	I_C max (A)	h_{FE} typ	@ I_C (A)	f_T min (MHz)	C_{cb} ^b typ (pF)	P_{diss} ($T_C=25^\circ C$) (W)	Θ_{JC} ($^\circ C/W$)	T_J max ($^\circ C$)	Comments
Regular power: $V_{CE}(sat) = 0.4V$ (typ); $V_{BE}(on) = 0.8V$ (typ)												
2N5191	2N5194	A	60	4	100	0.2	2	80	40	3.1	150	low cost, gen purp
2N5979	2N5976	B	80	5	50	0.5	2	60	70	1.8	150	
2N3055	MJ2955	TO-3	60	15	50	2	2.5	125	115	1.5	200	metal, indus std
MJE3055	MJE2955	B	60	10	50	2	2.5	125	'90	1.4	150	plastic, indus std
2N5886	2N5884	TO-3	80	25	50	10	4	400	200	0.9	200	
2N5686	2N5684	TO-3	80	50	30	25	2	700	300	0.6	200	for real power jobs
2N6338	2N6437	TO-3	100	25	50	8	40	200	200	0.9	200	premium audio
2N6275	2N6379	TO-3	120	50	50	20	30	400	250	0.7	200	premium audio
Darlington power: $V_{CE}(sat) = 0.8V$ (typ); $V_{BE}(on) = 1.4V$ (typ)												
2N6038	2N6035	A	60	4	2000	2	—	30	40	3.1	150	low cost
2N6044	2N6041	B	80	8	2500	4	4	80	75	1.7	150	
2N6059	2N6052	TO-3	100	12	3500	5	4	100	150	1.2	200	
2N6284	2N6287	TO-3	100	20	3000	10	4	150	160	1.1	200	high current

^(a) A: small plastic pwr pkg (TO-126). B: large plastic pwr pkg (TO-127). ^(b) C_{cb} (nnp) at $V_{CB}=10V$; C_{cb} (pnnp) = $2C_{cb}$ (nnp).

Tabla 1

3. Transistores de Potencia y Disipadores

Todos los dispositivos de potencia son encapsulados de modo que permitan el contacto entre una superficie metálica del encapsulado, y el disipador externo. En la mayoría de los casos la superficie metálica está eléctricamente conectada a un terminal del dispositivo, en los transistores de potencia es casi siempre el colector.

El objetivo del disipador es mantener la temperatura de la juntura del transistor por debajo del rango de temperatura de operación máximo especificado. Para transistores de Silicio, en encapsulado metálico TO3 (Fig. 3), usualmente es de $200^\circ C$ y en encapsulado plástico, TO220 (Fig 4), de $150^\circ C$.

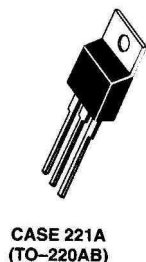
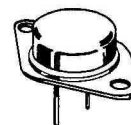


Fig. 4



CASE 1-07
TO-204AA
(TO-3)

Fig. 3

El cálculo del disipador es simple: conociendo la potencia máxima de operación del transistor, expresión (1), se calcula la temperatura a la que llega la juntura, considerando los efectos de la conductividad del calor en el transistor, disipador, etc. y la temperatura ambiente máxima, a la cual se espera operar. Luego se elige el disipador, lo suficientemente grande, como para mantener la temperatura de la juntura, por debajo del máximo especificado por el fabricante. Es aconsejable hacer un cálculo conservador del disipador, ya que la vida útil del transistor, decrece rápidamente con temperaturas de operación cercanas a la máxima.

4. Resistencia Térmica.

Para llevar adelante el cálculo del disipador se usa el concepto de RESISTENCIA TERMICA " R_{θ} ", definido como el decremento de temperatura dividido por la potencia transferida. Ver expresión 2.

$$R_{\theta} [^{\circ} \text{C/W}] = \Delta T / P_{ot} \quad (2)$$

Cuando se considera el calor transferido enteramente por conducción (no por radiación, ni convección) la R_{θ} es una constante, independiente de la temperatura, que depende solo de las características de la "unión" entre las superficies de los dos medios por los que se transmite el calor.

Existe una analogía entre la expresión 2 y la Ley de Ohm (Ver Fig. 5), que es frecuentemente utilizada para modelar flujo de calor. Notar que ΔT corresponde a la caída de tensión (V) sobre la resistencia térmica R_{θ} (R) y la potencia disipada a la corriente (I).

Para una sucesión de uniones térmicas "en serie" la $R_{\theta \text{Total}}$ es la suma de las resistencias térmicas individuales.

De todas las resistencias térmicas que intervienen en un transistor montado sobre disipador, los fabricantes de semiconductores especifican la $R_{\theta jc}$ (Resistencia Térmica entre la juntura y la cápsula del transistor) ya que está determinada por la construcción y forma del dispositivo. Por otra parte, de todas las resistencias que intervienen hasta llegar con el calor disipado en la juntura, al medio ambiente; la única verdaderamente manipulable es la del disipador. Esto, aunque la resistencia térmica entre el fondo de la cápsula y el disipador puede ser minimizada. Esta minimización se lleva a cabo mejorando el acabado de las superficies en contacto de forma que el aire atrapado entre ellas sea el menor posible. Mejor todavía es sustituir el aire atrapado, entre ambas superficies, por compuestos. El más utilizado para esta función es la grasa de silicona mezclada con óxido de cinc, que presenta ventajas respecto de otros fluidos por su estabilidad.

Como en la mayoría de dispositivos semiconductores de potencia la cápsula está en contacto con uno de los electrodos, el radiador a él adosado quedará también bajo

FUENTES REGULADAS

Especificaciones y Disipación de Potencia del Transistor de Paso

tensión. Para que esto no suceda, entre cápsula y disipador pueden intercalarse materiales aislantes eléctricos, buenos conductores del calor. Estos materiales suelen ser delgadas hojas de mica.

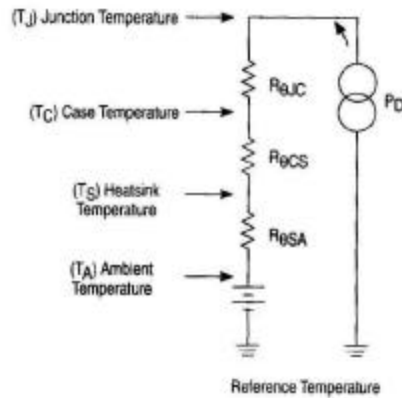


Fig. 5

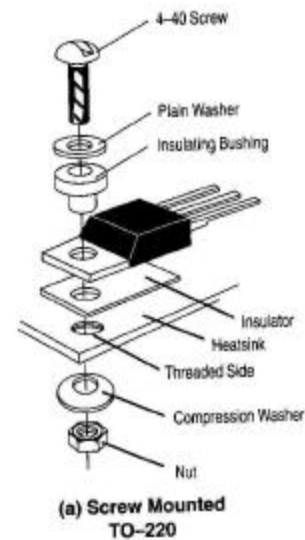


Fig. 6

Para un transistor montado sobre un disipador (Ver Fig. 6) la $R_{\theta Total}$ desde la juntura hasta el ambiente es la suma de:

- $R_{\theta jc}$: Resistencia térmica juntura - cápsula. Depende del encapsulado y la provee el fabricante en las hojas de datos.
- $R_{\theta cd}$: Resistencia térmica cápsula - disipador. Depende de si el transistor va aislado (mica) o no. Un transistor de potencia encapsulado en TO3 con mica aislante más grasa siliconada tiene un $R_{\theta cd} \cong 0.3^\circ \text{C/W}$.
- $R_{\theta da}$: Resistencia térmica disipador - ambiente. Depende aproximadamente de la superficie expuesta (dimensiones) del disipador al ambiente.

Tomando en cuenta que:

$$\Delta T = T_J - T_A$$

donde:

T_J : Temperatura de la juntura.

T_A : Temperatura ambiente

y la resistencia térmica total es:

$$R_{q Total} = R_{q jc} + R_{q cd} + R_{q da}$$

La temperatura de la juntura la podemos escribir reemplazando ΔT y $R_{q Total}$ en la expresión (2), según la expresión (3):

$$T_J = T_A + (R_{q jc} + R_{q cd} + R_{q da}) P_{ot} \quad (3)$$

Ejemplo: Calcular la $R_{\theta da}$ máxima que deberá poseer el disipador a utilizar para las siguientes condiciones de trabajo:

- P_{Q1max} según fórmula (1) = 20W
- $T_A \leq 50^\circ\text{C}$ (Considerando el ambiente cerrado de un gabinete)
- $T_j \leq 150^\circ\text{C}$ (Especificación del diseño)
- $R_{\theta jc} = 1.5^\circ\text{C/W}$ (Valor dado para un encapsulado TO3)
- $R_{\theta cd} \cong 0.3^\circ\text{C/W}$ (Con mica aislante + grasa siliconada)

Cálculo:

$$R_{\theta da} = (T_j - T_A)/P_{ot} - R_{\theta jc} - R_{\theta cd} = (150^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}) / 20\text{W} - 1.5^\circ\text{C/W} - 0.3^\circ\text{C/W}$$
$$= 3.2^\circ\text{C/W}$$

Se debe utilizar un disipador que posea una resistencia disipador - ambiente ($R_{\theta da}$) menor a 3.2°C/W . Como ejemplo podemos seleccionar el Disipador ZD-6 por 75mm de largo, del catálogo del Apéndice A, que posee una $R_{\theta da}=2,9^\circ\text{C/W}$.

5. Comentarios sobre disipadores.

Los disipadores se construyen de un metal buen conductor del calor, normalmente aluminio. La resistencia térmica de un disipador es función de sus dimensiones físicas y especialmente de la superficie de contacto con el aire. Por esta razón están normalmente provistos de aletas y se procura que la superficie sea rugosa (al contrario que en la zona de contacto con la cápsula del semiconductor, donde es pulida).

Los disipadores deben instalarse en lugares con fácil acceso para la entrada y salida de aire; con sus aletas en sentido vertical para favorecer la circulación del aire. Esto permite que se establezca un efecto de *tiro* por la ascensión del aire caliente. Si el disipador es montado en forma diferente, o si el flujo de aire es obstruido, la eficiencia del mismo se verá reducida (mayor resistencia térmica).

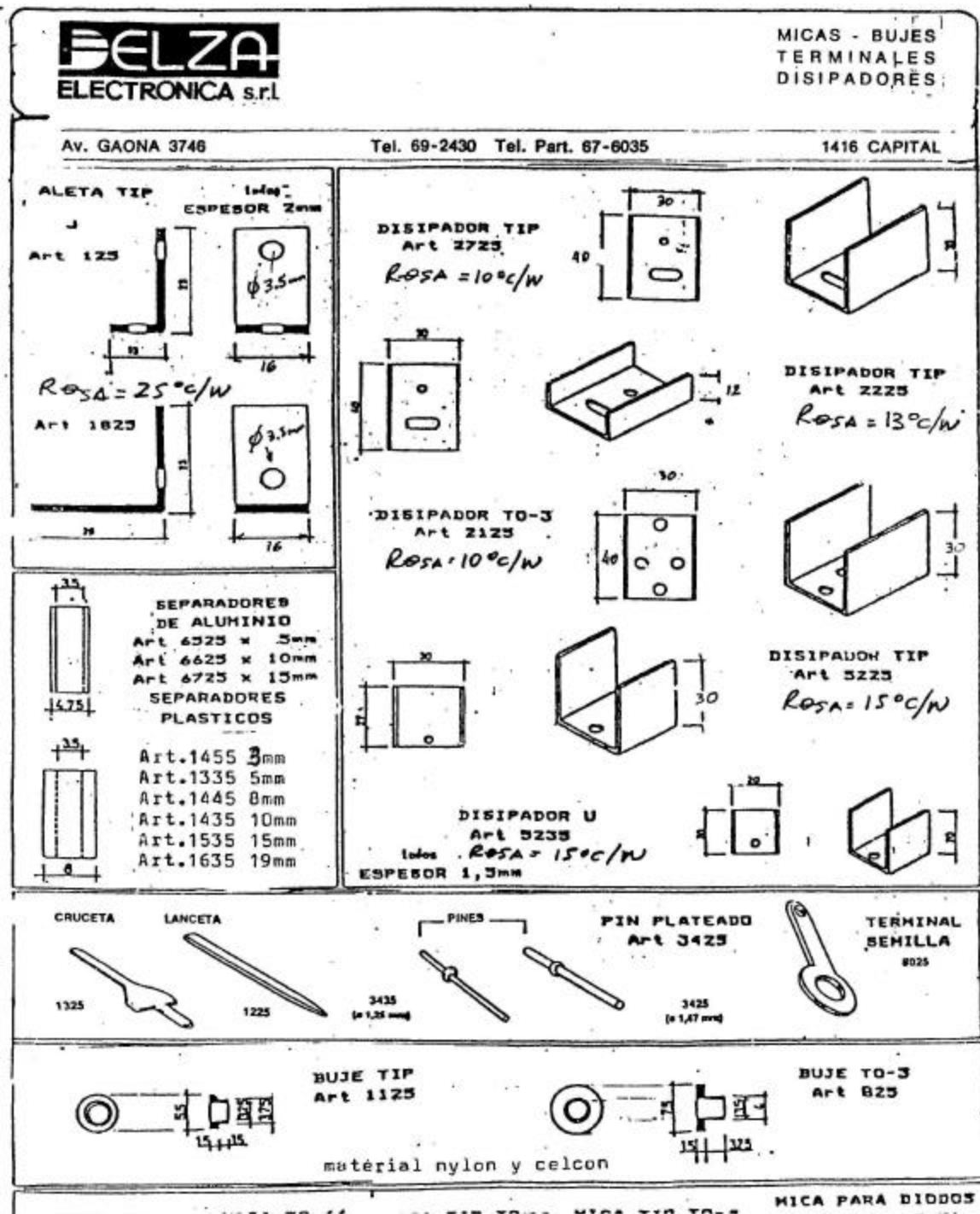
Si la potencia disipada es alta el enfriamiento por aire forzado (uso de ventilador) suele ser necesario. En este caso el efecto de tiro vertical, antes mencionado, es sustituido por la dirección del flujo de aire impulsado.

Bibliografía:

1. Tomas L. Floyd. "Dispositivos Electrónicos", 3ª Edición. Editorial Limusa.
2. Malvino Albert Paul. "Principios de Electrónica", 5ª Edición. Editorial Mc. Graw Hill.
3. Horowitz Paul and Winfield Hill. "The Art of Electronics". 2ª Edición. Editorial Cambridge University Press.
4. Bonnin Forteza F. "Fuentes de Alimentación Reguladas Electrónicamente", 1ª Edición. Editorial Marcombo.
5. Linear Regulator Construction and Layout, Motorola Analog Interface ICs, Vol. 1, 1995.
6. Motorola Bipolar Power Transistor Data, 1995.

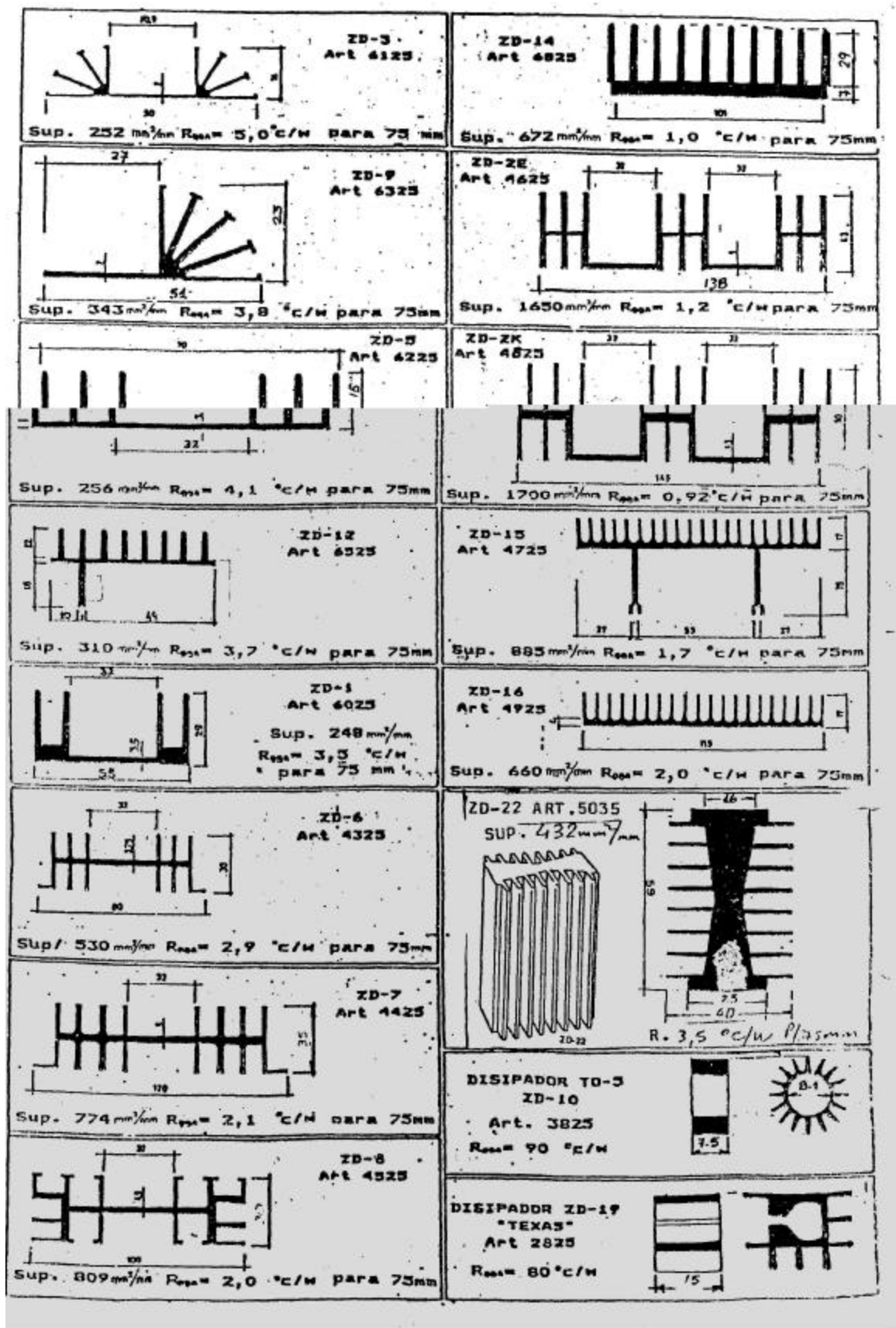
FUENTES REGULADAS

Especificaciones y Disipación de Potencia del Transistor de Paso



FUENTES REGULADAS

Especificaciones y Disipación de Potencia del Transistor de Paso



Apéndice A

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by 2N3055/D

Complementary Silicon Power Transistors

... designed for general-purpose switching and amplifier applications.

- DC Current Gain — $h_{FE} = 20-70$ @ $I_C = 4$ Adc
- Collector-Emitter Saturation Voltage —
 $V_{CE(sat)} = 1.1$ Vdc (Max) @ $I_C = 4$ Adc
- Excellent Safe Operating Area

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	Vdc
Collector-Emitter Voltage	V_{CER}	70	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	7	Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	15	Adc
Base Current	I_B	7	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	115 0.657	Watts $\text{W}/^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +200	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.52	$^\circ\text{C}/\text{W}$

NPN
2N3055*
PNP
MJ2955*

*Motorola Preferred Device

15 AMPERE
POWER TRANSISTORS
COMPLEMENTARY
SILICON
60 VOLTS
115 WATTS



CASE 1-07
TO-204AA
(TO-3)

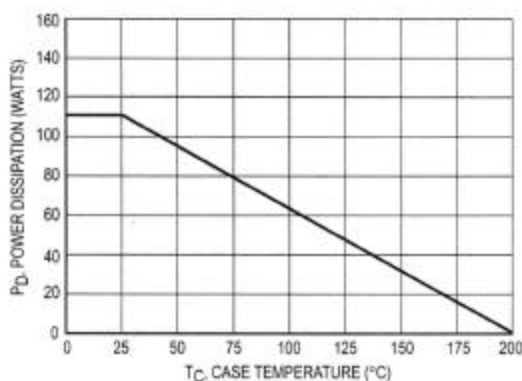


Figure 1. Power Derating

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

© Motorola, Inc. 1995



MOTOROLA

FUENTES REGULADAS

Especificaciones y Disipación de Potencia del Transistor de Paso

2N3055 MJ2955

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

*OFF CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) ($I_C = 200\text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	$V_{CEO(sus)}$	60	—	Vdc
Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) ($I_C = 200\text{ mAdc}$, $R_{BE} = 100\text{ Ohms}$)	$V_{CER(sus)}$	70	—	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30\text{ Vdc}$, $I_B = 0$)	I_{CEO}	—	0.7	mAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 100\text{ Vdc}$, $V_{BE(off)} = 1.5\text{ Vdc}$) ($V_{CE} = 100\text{ Vdc}$, $V_{BE(off)} = 1.5\text{ Vdc}$, $T_C = 150^\circ\text{C}$)	I_{CEX}	— —	1.0 5.0	mAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 7.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}	—	5.0	mAdc

*ON CHARACTERISTICS (1)

DC Current Gain ($I_C = 4.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 10\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$)	h_{FE}	20 5.0	70 —	—
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 4.0\text{ Adc}$, $I_B = 400\text{ mAdc}$) ($I_C = 10\text{ Adc}$, $I_B = 3.3\text{ Adc}$)	$V_{CE(sat)}$	—	1.1 3.0	Vdc
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 4.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$)	$V_{BE(on)}$	—	1.5	Vdc

SECOND BREAKDOWN

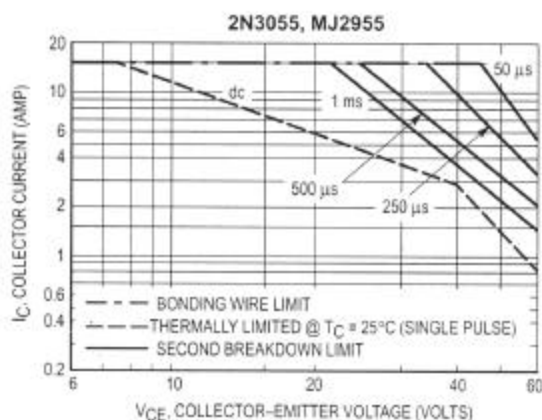
Second Breakdown Collector Current with Base Forward Biased ($V_{CE} = 40\text{ Vdc}$, $t = 1.0\text{ s}$, Nonrepetitive)	$I_{s/b}$	2.87	—	Adc
---	-----------	------	---	-----

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Current Gain — Bandwidth Product ($I_C = 0.5\text{ Adc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	f_T	2.5	—	MHz
*Small-Signal Current Gain ($I_C = 1.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	h_{fe}	15	120	—
*Small-Signal Current Gain Cutoff Frequency ($V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$, $I_C = 1.0\text{ Adc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	f_{hfe}	10	—	kHz

* Indicates Within JEDEC Registration. (2N3055)

(1) Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.



There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate $I_C - V_{CE}$ limits of the transistor that must be observed for reliable operation; i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

The data of Figure 2 is based on $T_C = 25^\circ\text{C}$; $T_J(pk)$ is variable depending on power level. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% but must be derated for temperature according to Figure 1.

2N3055 MJ2955

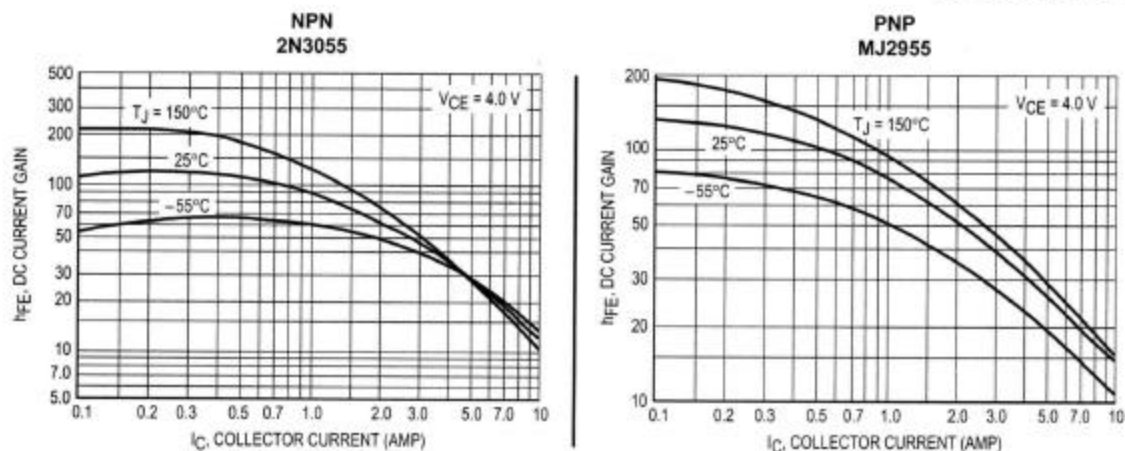


Figure 3. DC Current Gain

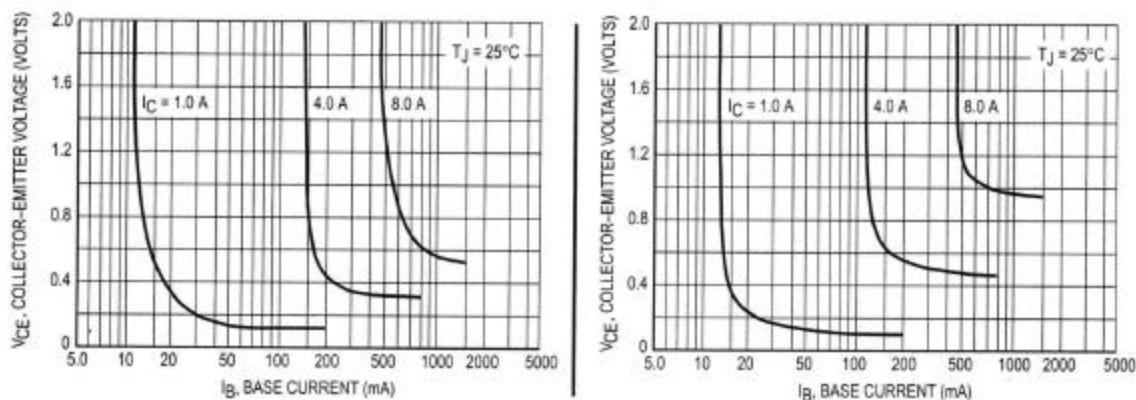


Figure 4. Collector Saturation Region

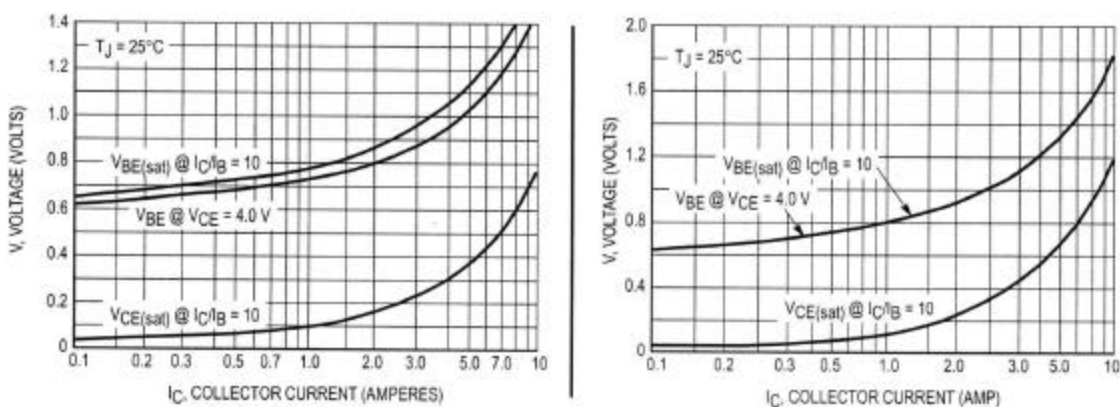


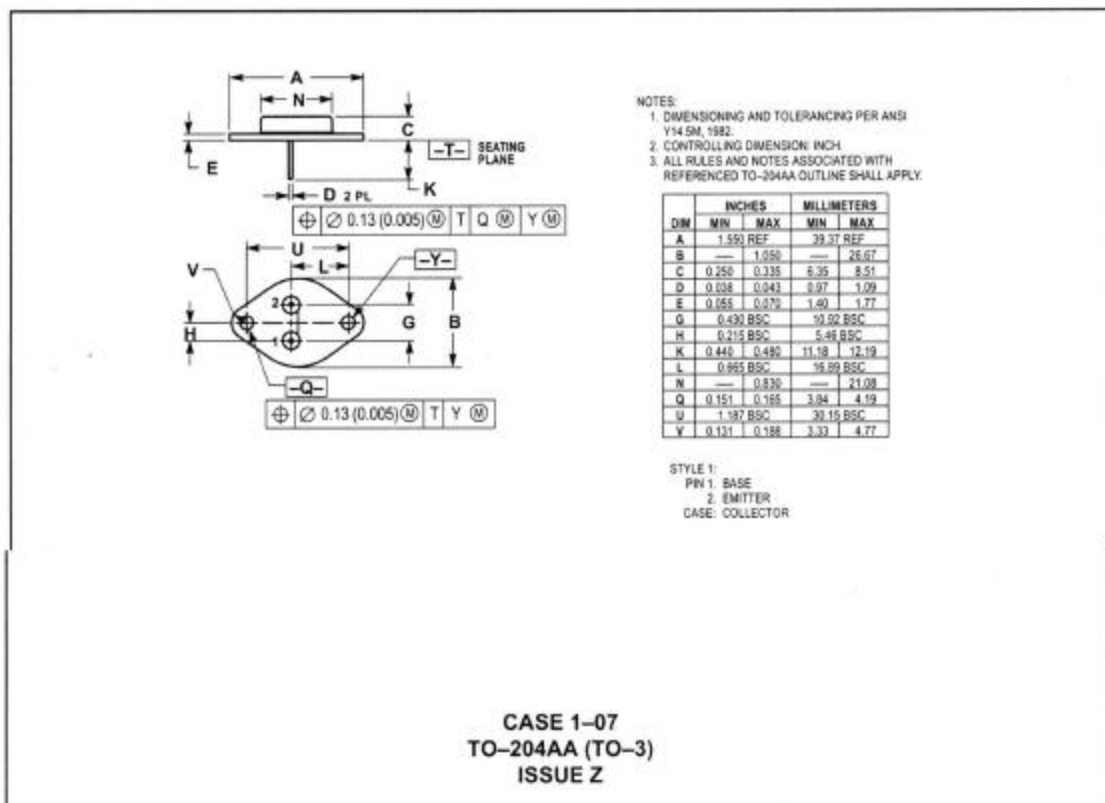
Figure 5. "On" Voltages

FUENTES REGULADAS

Especificaciones y Disipación de Potencia del Transistor de Paso

2N3055 MJ2955

PACKAGE DIMENSIONS



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and (M) are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA / EUROPE: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE (602) 244-6609
INTERNET: <http://Design-NET.com>

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,
6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



MOTOROLA



2N3055/D

