



Índice →

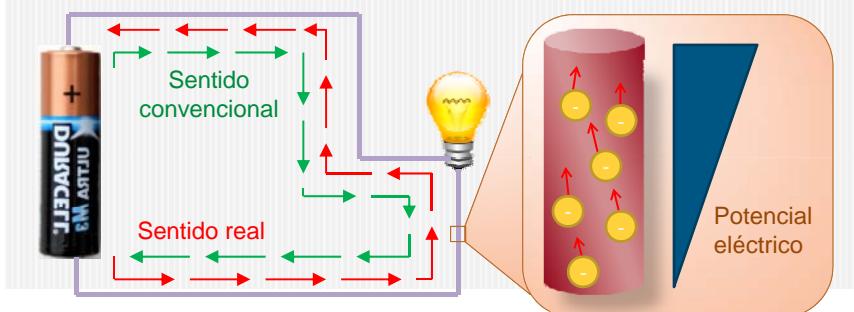
- Circuitos de corriente continua
- Resistencias
- Condensadores
- Bobinas
- Diodos
- Transistores BJT
- Transistores MOS-FET
- Control de motores CC
- Ejemplos de aplicación
- Divisor de tensión
- Resistencias pull-up / pull-down
- Sensor analógico de luz
- Encendido de un LED
- Sensor óptico CNY70
- Control de un zumbador con BJT
- Activación de LEDs con MOS-FET
- Control de los motores

 Robótica aplicada
con Arduino   



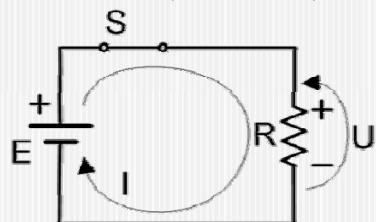
Corriente eléctrica

- Es el movimiento de cargas en un medio (conductor o semiconductor) que está sometido a una diferencia de potencial por la acción de un campo eléctrico.
- Circuito eléctrico: conjunto de elementos que forma un recorrido cerrado por donde circula la corriente.



Círculo de C.C. y ley de Ohm

- E: Potencial eléctrico (o fuerza electromotriz) constante producido por una fuente de tensión (Voltios: V).
- R: Resistencia que se opone al paso de corriente y transforma la energía eléctrica en calor (Ohmios: Ω)
- I: Corriente eléctrica (Amperios: A).
- U: Diferencia de potencial o tensión eléctrica en la resistencia (Voltios: V).



Ley de Ohm

$$I = \frac{U}{R} \quad \left[A = \frac{V}{\Omega} \right]$$

$$E = U = R \cdot I$$

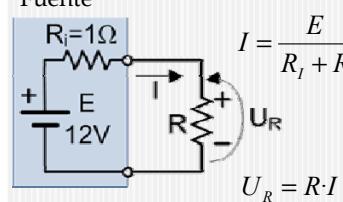


5

Fuentes de tensión o alimentación

- Son elementos capaces de mantener una diferencia de potencial (tensión) en sus bornes, independientemente de la corriente que necesite el circuito.
- En la práctica no hay fuentes ideales. Las fuentes no pueden mantener la tensión para cualquier corriente:
 - Hay una resistencia interna en la fuente.
 - Hay un límite de intensidad máxima.

Fuente



$$I = \frac{E}{R_i + R}$$

$$R = 10K\Omega \rightarrow \begin{cases} I = 12/(10.000 + 1) = 1,19988mA \\ U_R = 10.000 \cdot 0,0011998 = 11,9988V \end{cases}$$

$$R = 100\Omega \rightarrow \begin{cases} I = 12/(100 + 1) = 0,11881A \\ U_R = 100 \cdot 0,11881 = 11,881V \end{cases}$$

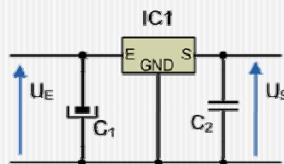
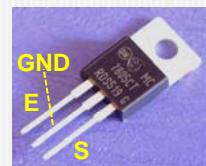
$$R = 10\Omega \rightarrow \begin{cases} I = 12/(10 + 1) = 1,091A \\ U_R = 100 \cdot 1,091 = 10,911V \end{cases}$$



6

Reguladores de tensión

- Hay circuito integrados que mantienen estable la tensión en su salida aunque varíe la corriente, o su tensión de entrada.
- Los hay de 3'3V, 5V, 6V, 9V, 12V... y para diferentes corrientes de salida.
- El más típico de todos: 7805 para 5V.



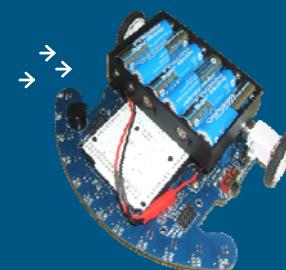
Robótica aplicada con Arduino



dfestslab.es

7

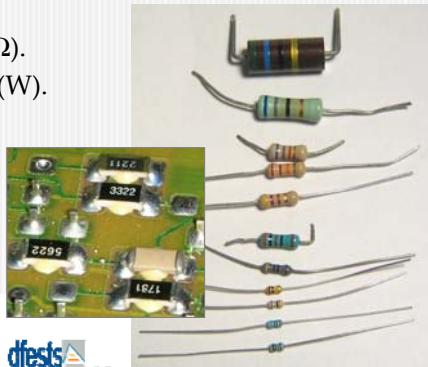
Robótica aplicada con Arduino



CIRCUITOS CON RESISTENCIAS

Resistencias

- Resistencia como componente: Elemento que ofrece una resistencia a la corriente en un circuito y transforma la energía eléctrica en calor.
- Utilidades: Iluminación, calentamiento, limitar corrientes y reducir tensiones en un circuito, sensores.
- Caracterización:
 - Valor resistivo en ohmios (Ω).
 - Potencia máxima en vatios (W).
 - Tolerancia del valor en %.
- Las hay fijas y variables.



9

Código de colores

- En resistencias para montaje “de agujero pasante” se usa un código de colores para indicar su valor:

Color	Banda de cifra	Banda del multiplicador	Banda de tolerancia
NEGRO	0	$10^0 = 1$	
MARRÓN	1	$10^1 = 10$	$\pm 1\%$
ROJO	2	$10^2 = 100$	$\pm 2\%$
NARANJA	3	$10^3 = 1.000$	
AMARILLO	4	$10^4 = 10.000$	$\pm 4\%$
VERDE	5	$10^5 = 100.000$	$\pm 0,5\%$
AZUL	6	$10^6 = 1.000.000$	$\pm 0,25\%$
VIOLETA	7	$10^7 = 10.000.000$	$\pm 0,1\%$
GRIS	8	$10^8 = 100.000.000$	$\pm 0,05\%$
BLANCO	9	$10^9 = 1.000.000.000$	
DORADO		$10^{-1} = 0,1$	$\pm 5\%$
PLATEADO		$10^{-2} = 0,01$	$\pm 10\%$
Ninguno			$\pm 20\%$



10

Valores estándar de resistencias

- No hay resistencias de cualquier valor, sino que se fabrican según unas series del estándar IEC 60063 basados en los números de Renard.

ROW	GOLD	BLACK	BROWN	RED	ORANGE	YELLOW	GREEN
1-	1R0	10R	100R	1K0	10K	100K	1M0
2-	1R1	11R	110R	1K1	11K	110K	1M1
3-	1R2	12R	120R	1K2	12K	120K	1M2
4-	1R3	13R	130R	1K3	13K	130K	1M3
5-	1R5	15R	150R	1K5	15K	150K	1M5
6-	1R6	16R	160R	1K6	16K	160K	1M6
7-	1R8	18R	180R	1K8	18K	180K	1M8
8-	2R0	20R	200R	2K0	20K	200K	2M0
9-	2R2	22R	220R	2K2	22K	220K	2M2
10-	2R4	24R	240R	2K4	24K	240K	2M4
11-	2R7	27R	270R	2K7	27K	270K	2M7
12-	3R0	30R	300R	3K0	30K	300K	3M0
13-	3R3	33R	330R	3K3	33K	330K	3M3
14-	3R6	36R	360R	3K6	36K	360K	3M6
15-	3R9	39R	390R	3K9	39K	390K	3M9
16-	4R3	43R	430R	4K3	43K	430K	4M3
17-	4R7	47R	470R	4K7	47K	470K	4M7
18-	5R1	51R	510R	5K1	51K	510K	5M1
19-	5R6	56R	560R	5K6	56K	560K	5M6
20-	6R2	62R	620R	6K2	62K	620K	6M2
21-	6R8	68R	680R	6K8	68K	680K	6M8
22-	7R5	75R	750R	7K5	75K	750K	7M5
23-	8R2	82R	820R	8K2	82K	820K	8M2
24-	9R1	91R	910R	9K1	91K	910K	9M1
COLOR CODES FOR THE WHOLE E12/E24 RANGE OF RESISTORS							
The twelve odd rows -1, 3, 5...- represent values available in the E12 range only, plus 10M							

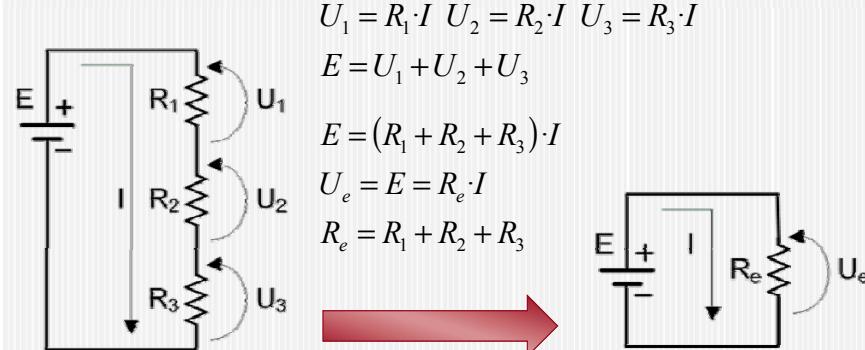
Las series E12 (filas impares) y E24 (filas pares) son las más comunes en las tiendas de electrónica.
(R equivale a Ω)



11

Conexión de resistencias en serie

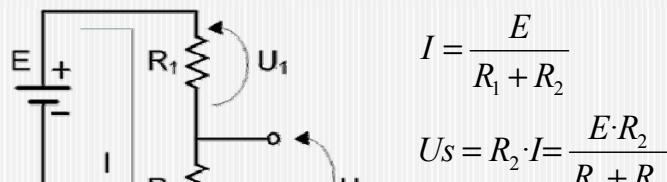
- La tensión de la fuente se reparte entre las resistencias.
- La corriente total del circuito (I) es común a todas las resistencias.



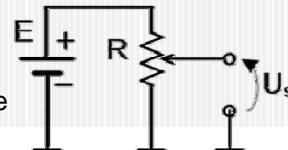
12

Divisor de tensión

- Caso particular de la conexión en serie.
- Se usa habitualmente para obtener una fracción de una tensión dada.



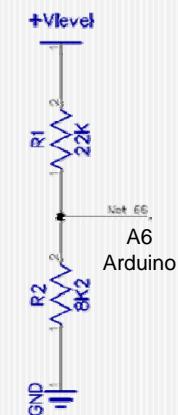
Versión con salida ajustable



13

Divisor de tensión en el GoShieldGR

- Escalar la tensión de batería de 0-12V a la señal de entrada analógica A6 del Arduino de 0-3,3V.



$$A_6 = \frac{+V_{level} \cdot 8200}{22000 + 8200} = +V_{level} \cdot 0,2715$$

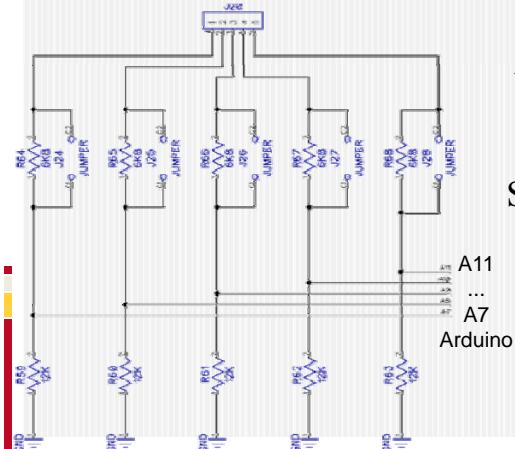
$$\text{Si } +V_{level} = 12V \Rightarrow A_6 = 12 \cdot 0,2715 = 3,26V$$



14

Divisor de tensión en el GoShieldGR

- Escalar entradas analógicas en J20 de 0-5V a señales de entrada analógicas A7-A11 del Arduino de 0-3,3V.



$$A_i = \frac{Vi \cdot 12.000}{6.800 + 12.000} = +Vi \cdot 0,64$$

$$Si +Vi = 5V \Rightarrow A_i = 3,2V$$

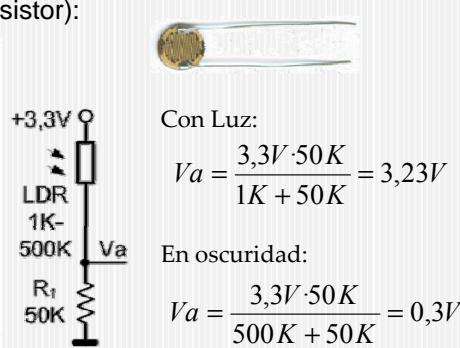
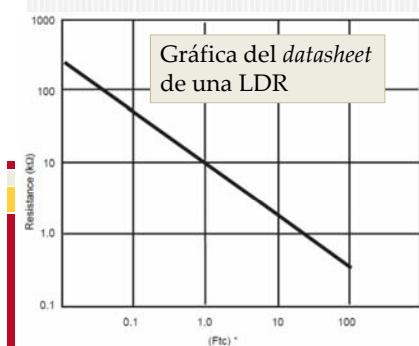
Si se puentea un "jumper" se tiene que $Vi=A_i$ y no hay escalado.



15

Sensores resistivos analógicos

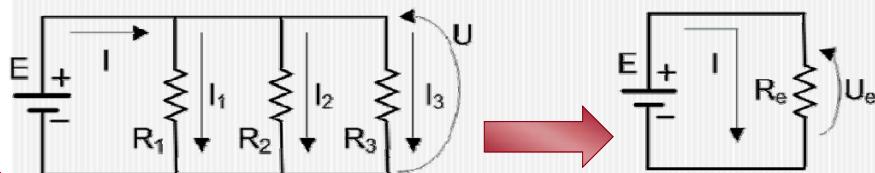
- Hay sensores resistivos muy fáciles de utilizar como sensores analógicos mediante un divisor de tensión:
 - Termistores: NTC (Negative Temperature Coefficient), PTC (Positive Temperature Coefficient).
 - LDR (Light-Dependent Resistor):



16

Conexión de resistencias en paralelo

- Todas las resistencias están sometidas a la misma tensión, que es la de la fuente ($U=E$).
- La corriente total del circuito (I) se divide entre las resistencias.



$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad I_2 = \frac{U}{R_2} \quad I_3 = \frac{U}{R_3}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad U = E$$

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = \frac{U_e}{R_e}$$

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

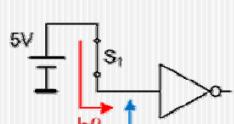


17

Resistencias pull-up y pull-down (I)

- Cuando se conectan pulsadores o interruptores a una línea de entrada de un circuito digital, hay que asegurar que la línea no queda al aire o en "alta impedancia".

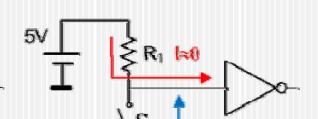
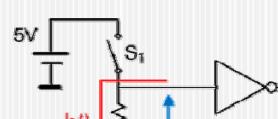
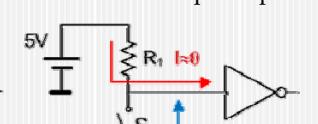
Sin resistencia



Resistencia pull-down



Resistencia pull-up



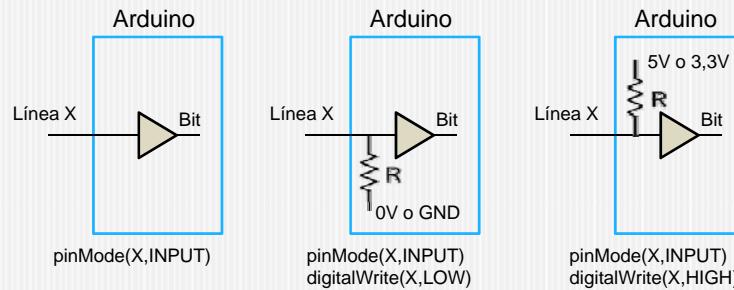
Se suelen usar valores
de 1KΩ a 10KΩ



18

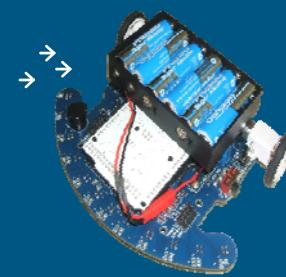
Resistencias pull-up y pull-down (I)

- El controlador del Arduino dispone de resistencias internas pull-up / pull-down que se pueden usar cuando una línea digital se configura como entrada, y así no hace falta usar resistencias externas.



19

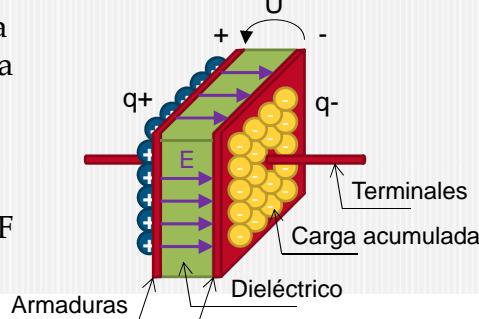
Robótica aplicada con Arduino



CIRCUITOS CON CONDENSADORES

Condensador

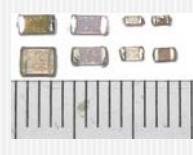
- Almacena carga eléctrica a un determinado potencial para su uso posterior → Puede almacenar tensión.
- Se compone de dos conductores (armaduras) muy próximos, y separados por un aislante (dieléctrico).
- No circula corriente entre las armaduras.
- La capacidad (C) para almacenar carga a una tensión se mide en Faradios (F).
- En la práctica se usan μF (10^{-6}), nF (10^{-9}) y pF (10^{-12}).



21

Tipos de condensadores

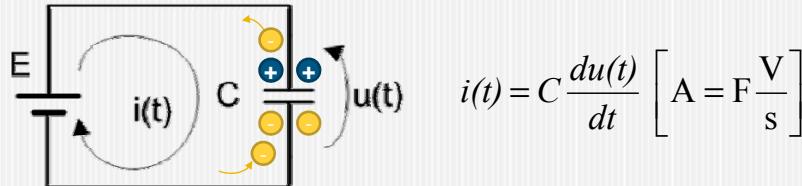
- Cerámicos o de mica. $1\text{pF}-0,5\mu\text{F} / 10\text{V}-20\text{KV}$
- Plástico (poliestér, policarbonato...). $1\text{nF}-1\mu\text{F} / 5\text{V}-2\text{KV}$
- Electrolíticos. Con polaridad. $0,5\mu\text{F}-50\text{mF} / 5\text{V}-200\text{V}$
- Tántalo. Con polaridad. $0,1\mu\text{F}-50\mu\text{F} / 5\text{V}-50\text{V}$



22

El condensador en un circuito CC

- Aunque por el condensador no pasa corriente, el desplazamiento de cargas puede provocar corriente.
- El funcionamiento no es lineal.



- El condensador actúa con las variaciones de tensión:
 - Si $u(t)$ varía con $t \Rightarrow i(t) > 0$
 - Si $u(t) = U$ (constante) $\Rightarrow i(t) = 0$
 - Con un cambio brusco de $u(t) \Rightarrow i(t) = \infty$ (o muy alta).

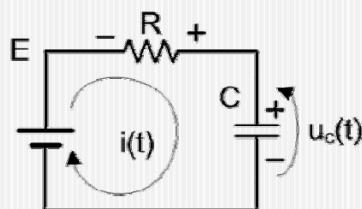
Robótica aplicada
con Arduino

dfestslia.es

23

Carga de un condensador (1)

- El caso general es un condensador que se carga a través de una resistencia que limita la corriente.
- El condensador se carga al valor de la fuente E con una rapidez dada por el valor $R \cdot C$.



$$\begin{aligned} E &= R \cdot i(t) + u_c(t) \Rightarrow \\ &\Rightarrow E = RC \frac{du_c(t)}{dt} + u_c(t) \Rightarrow \\ &\Rightarrow u_c(t) = E + (u_c(0) - E)e^{-t/RC} \end{aligned}$$

↑ Tensión final ↑ Tensión inicial

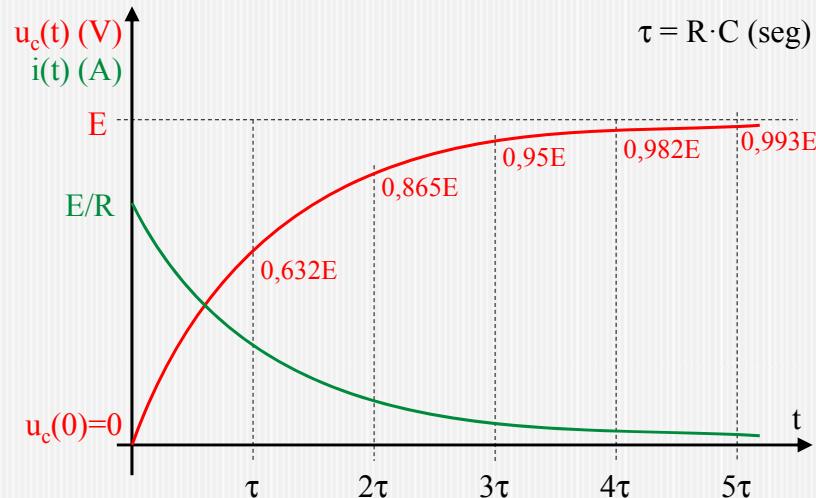
- Si $t=0$ y $u_c(0)=0 \Rightarrow E=R \cdot i(0) \Rightarrow i(0)=E/R$
- Si $t \rightarrow \infty \Rightarrow u_c(\infty)=E \Rightarrow E=R \cdot i(\infty)+E \Rightarrow i(\infty)=0A$

Robótica aplicada
con Arduino

dfestslia.es

24

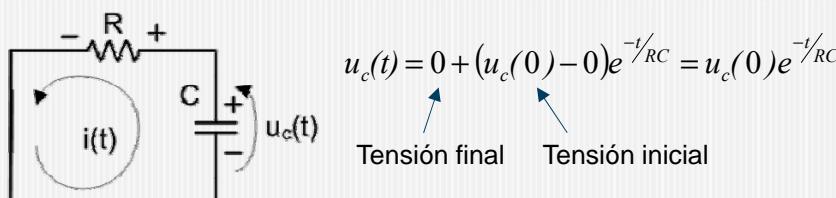
Carga de un condensador (2)

Robótica aplicada
con Arduino

25

Descarga de un condensador (1)

- Un condensador con carga actúa como una fuente, y es capaz de generar corriente en sentido contrario.
- Es un proceso inverso al de como la carga.

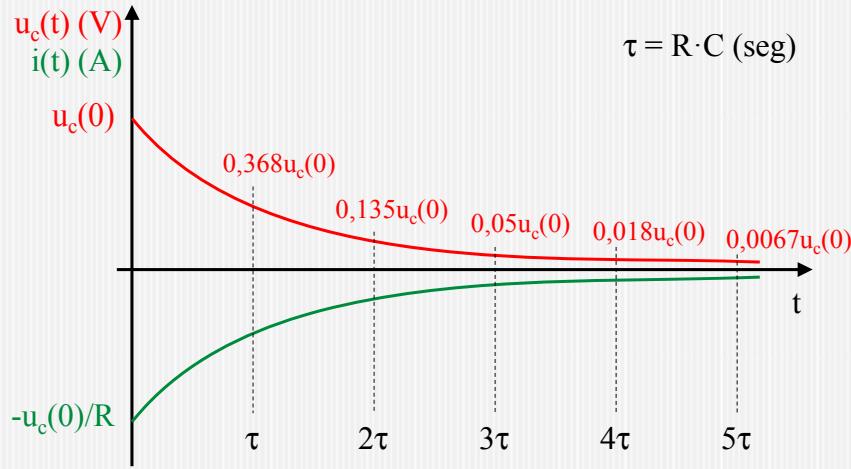


- Si $t=0$ y $u_c(0)=E \Rightarrow i(0) = u_c(0)/R = E/R$
- Si $t \rightarrow \infty \Rightarrow u_c(\infty)=0 \Rightarrow i(\infty) = 0/R = 0A$

Robótica aplicada
con Arduino

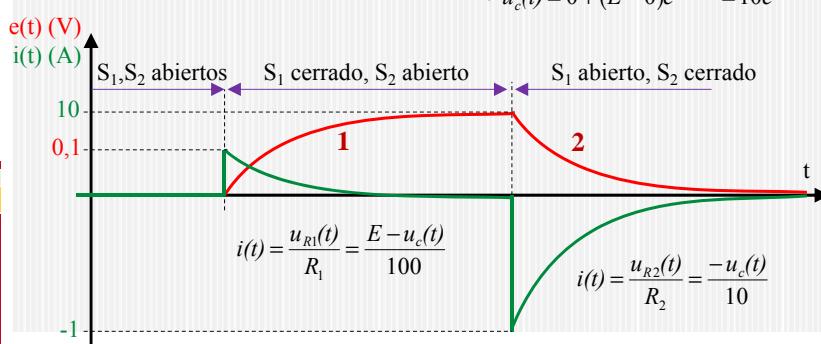
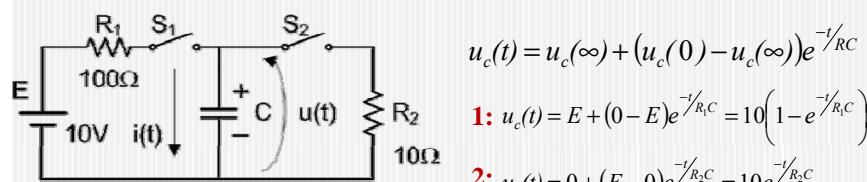
26

Descarga de un condensador (2)



27

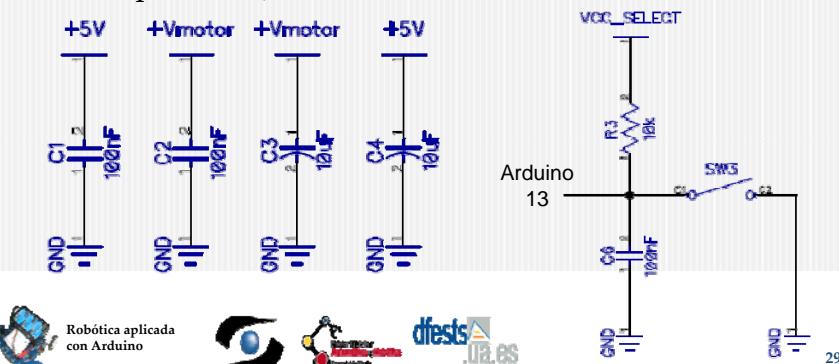
Ejemplo de carga y descarga



28

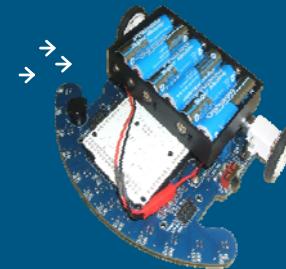
Aplicaciones en el GoShieldGR:

- Para generar retardo de tiempo en sensores ópticos frontales, permitiendo una lectura analógica.
- Filtros para amortiguar las variaciones de tensión en las líneas de alimentación por diferencias en el consumo.
- Filtro que elimina los rebotes (señales de alta frecuencia de un pulsador).



29

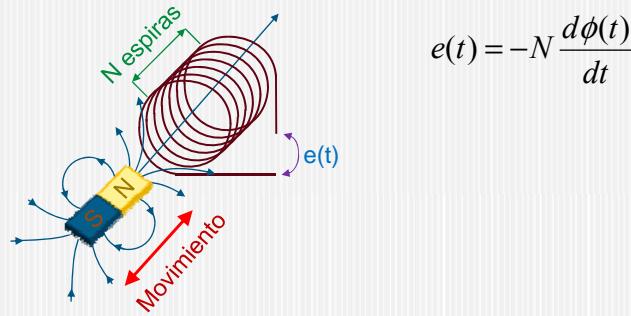
Robótica aplicada con Arduino



BOBINAS
DODIMAX

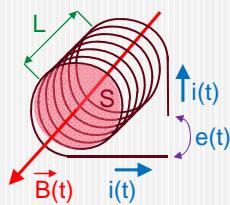
Ley de Faraday

- Una bobina puede actuar como generador, induciendo una **fuerza electromotriz** $e(t)$ en un conductor cerrado y sin fuente de tensión propia, en función del flujo magnético ϕ que atraviesa la superficie del conductor.



Ley de Biot y Savart

- Si se hace circular una corriente $i(t)$ por una bobina de longitud L , sección S y N espiras, se crea en su interior un **campo magnético** $B(t)$ con flujo variable $\phi(t)$.



$$|B(t)| = N \frac{\mu}{L_B} i(t)$$

$$\phi(t) = |B(t)| \cdot S$$

$$e(t) = -N \frac{d\phi(t)}{dt}$$

- Los dos efectos anteriores ocurren a la vez en lo que se llama autoinducción.

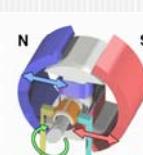
$$e(t) = -L \frac{di(t)}{dt} \quad \left[V = H \frac{A}{s} \right]$$

L se mide en Henrios y representa los parámetros de diseño de la bobina

Ejemplos de bobinas

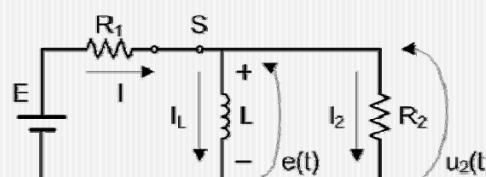


Un motor básicamente también es una bobina



La bobina en un circuito CC (1)

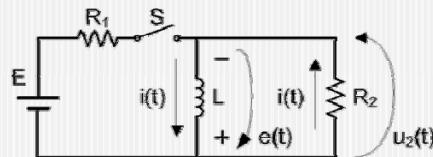
- Si la corriente que atraviesa una bobina es constante (S cerrado), la tensión en bordes de la bobina será 0, y la bobina actúa como un cortocircuito.
 - En la práctica, una bobina soporta una intensidad máxima.



$$\begin{aligned}
 e(t) &= L \frac{di_L(t)}{dt} = L \frac{dI_L}{dt} = 0 \\
 e(t) &= u_2(t) = 0 \Rightarrow \\
 \Rightarrow I_2 &= 0 \Rightarrow \\
 \Rightarrow I &= I_L = \frac{E}{R_1}
 \end{aligned}$$

La bobina en un circuito CC (1)

- Al abrir S se intenta forzar un cambio de corriente en el circuito que se crea un campo magnético en torno a la bobina. Ese campo inducirá f.e.m. en la bobina.
- En la bobina no puede haber cambios instantáneos de corriente: la bobina mantiene la corriente en el instante posterior a abrir S, y luego la corriente disminuye hasta hacerse 0 (descarga)



$$e(t) = L \frac{di(t)}{dt} \quad i(0) = I_L = \frac{E}{R_1}$$

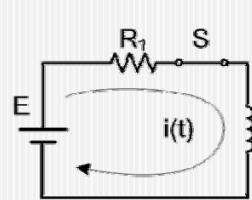
$$u_2(t) = -R_2 i(t)$$



35

Carga de una bobina (1)

- El caso general es una bobina que se carga a través de una resistencia que limita la corriente.
- La bobina almacena corriente en forma de campo magnético con una rapidez dada por el valor L/R_1 .



$$\left. \begin{aligned} e(t) &= L \frac{di(t)}{dt} \\ E &= R_1 i(t) + e(t) \end{aligned} \right\} R_1 i(t) + L \frac{di(t)}{dt} = E \Rightarrow$$

$$\Rightarrow i(t) = \frac{E}{R_1} + \left(i(0) - \frac{E}{R_1} \right) e^{-R_1 t / L}$$

Corriente final

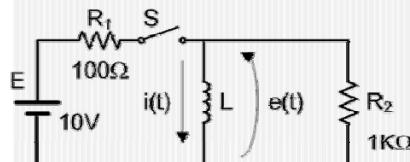
Corriente inicial

- Si $t=0$ y $i(0)=0 \Rightarrow e(t)=E-R_1 \cdot i(0)=E-0=E$
- Si $t \rightarrow \infty \Rightarrow i(\infty)=E/R_1$, $e(\infty)=0V$



36

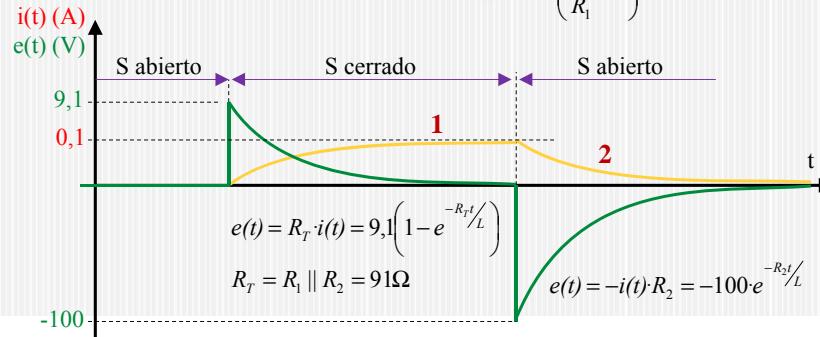
Ejemplo de carga y descarga



$$i(t) = i(\infty) + (i(0) - i(\infty))e^{-Rt/L}$$

$$1: i(t) = \frac{E}{R_1} + \left(0 - \frac{E}{R_1}\right)e^{-R_1 t/L} = 0,1 \left(1 - e^{-R_1 t/L}\right)$$

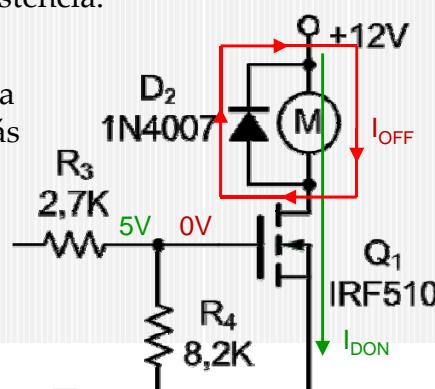
$$2: i(t) = 0 + \left(\frac{E}{R_1} - 0\right)e^{-R_2 t/L} = 0,1 e^{-R_2 t/L}$$



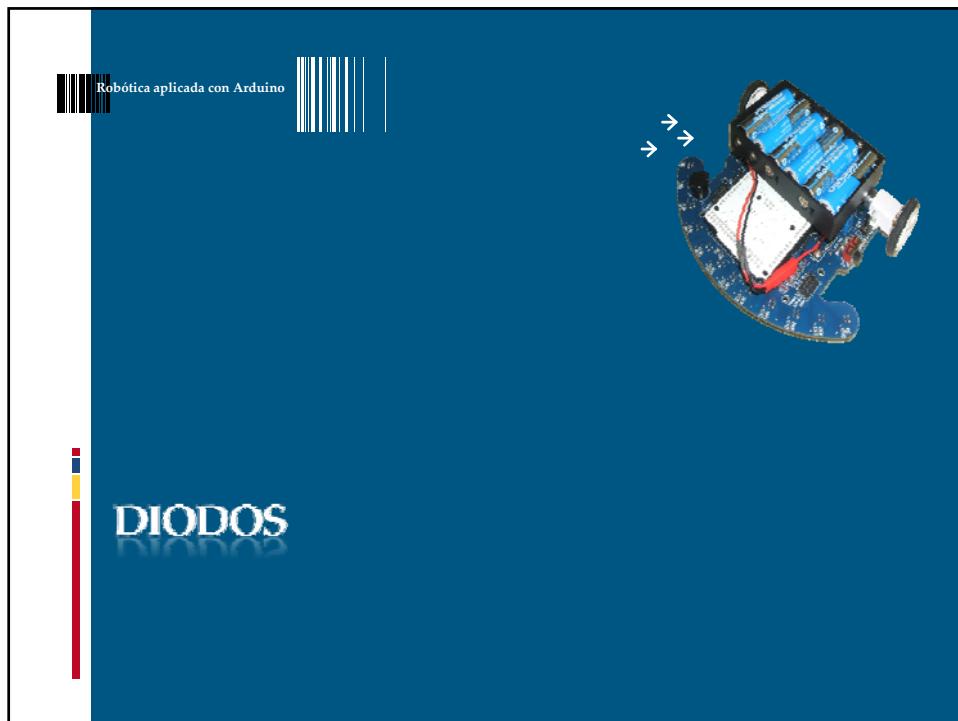
37

Inconveniente de las bobinas

- Cuando se dispone de elementos basados en una bobina (relé, motor, zumbador), al activarlos almacenan corriente, y al desactivarlos pueden provocar picos de tensión altos si el camino para la de descarga de corriente tiene mucha resistencia.
- Hay que asegurar un camino de descarga de baja resistencia. La solución más simple es usar un diodo.

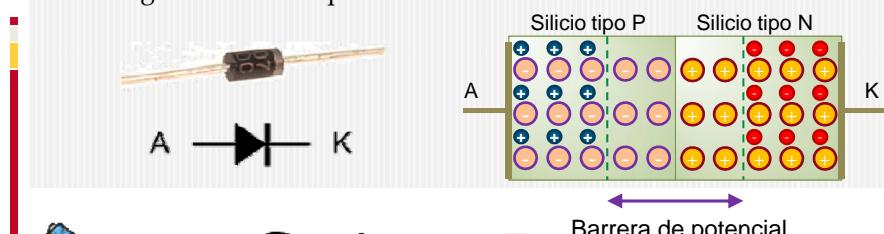


38



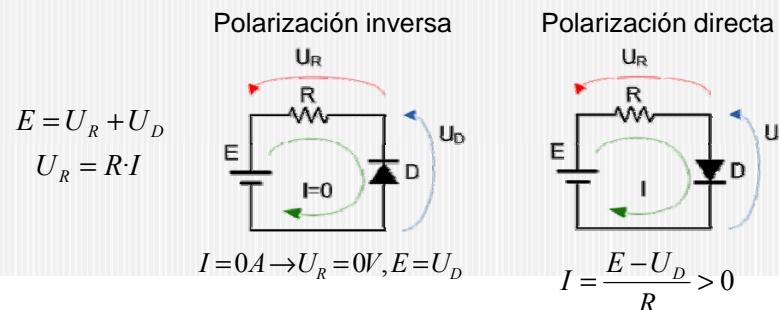
Diodo semiconductor

- Un diodo es un componente que incluye una unión PN, y unos terminales de contacto:
 - Ánodo (A). Conectado a la zona P: cristal de silicio con exceso de electrones.
 - Cátodo (K). Conectado a la zona N: cristal de silicio con defecto de electrones o exceso de huecos.
 - La unión PN es la base de toda la electrónica.
 - Diodos → transistores → amplificadores → puertas lógicas → registros → microprocesadores...



Funcionamiento de un diodo

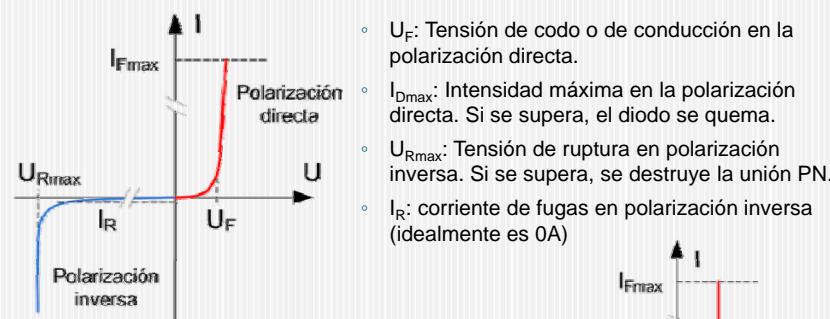
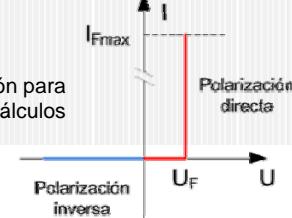
- En un circuito de corriente continua un diodo puede estar polarizado de dos formas: directa e inversa.
 - Si se quiere aplicar una tensión directamente a un diodo, hay que utilizar una resistencia en serie para evitar que la corriente en el circuito supere la máxima que soporta el diodo.
- Un diodo solo conduce en polarización directa.

Robótica aplicada
con Arduino

41

Características de un diodo

- Para que un diodo conduzca:
 - Debe estar polarizado en directa.
 - La tensión que recibe debe ser mayor a su tensión U_F .

Robótica aplicada
con ArduinoAproximación para
simplificar cálculos

42

Tipos de diodos (1)

- Diodo rectificador.

- Finalidad: conducir corrientes altas en un solo sentido y soportar tensiones inversas grandes.
- Uso: circuitos rectificadores, y protección de circuitos con bobinas.
- Ej. 1N4007: $U_F=0,8V$, $I_{Fmax}=1A$, $U_{Rmax}=700V$, $I_R=10\mu A$ (25°).



- Diodo de señal o rápido.

- Finalidad: Comutar entre conducción y no conducción muy rápidamente, aunque no soporte mucha corriente.
- Uso: circuitos de procesamiento de señal.
- Ej. 1N4148: $U_F=0,6-1V$, $I_{Fmax}=0,2A$, $U_{Rmax}=100V$, $I_R=25nA$ (25°), $t_{tr}=4ns$.

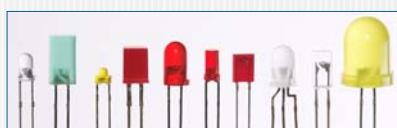


43

Tipos de diodos (2)

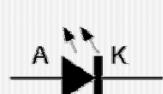
- LED: Light Emitting Diode.

- Finalidad: generar luz visible, infrarroja o laser.
- Infinidad de usos: indicadores, lámparas, pantallas...
- LED 5mm: $I_{Fmax}=25mA$, $I_{Fpeak}=75mA$, $I_{Umax}=5V$, $I_R=10\mu A$ (25°).
- La tensión U_F depende del color del diodo.



Color	U_F (V) *	λ (nm)
Infrarrojo	1,5 – 1,7	> 760
Rojo	1,6 – 2,2	610-760
Naranja-amarillo	2,1 – 2,4	570-610
Verde	2 – 3,5	500-570
Azul	2,5 – 3,8	450-500
Blanco	3,4 – 3,6	múltiple

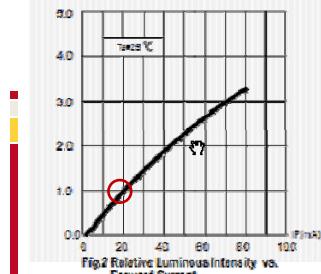
(* Valores orientativos de ejemplo)



44

Resistencia de un LED (1)

- Primero: seleccionar la corriente que debe pasar por el diodo, según la intensidad luminosa deseada.
 - Para mantener el diodo encendido de forma continua: I_F .
 - Para encender el diodo de forma pulsante con PWM: I_{Fpeak} .
- En el *datasheet* de un componente, los datos pueden estar en tablas o en gráficas. Ejemplo de gráfica:



El valor I_F típico para una buena iluminación suele ser 20mA, por lo que se asocia a una luminosidad relativa de 1.

Para LEDs usados como pilotos se suele tomar I_F de 10mA a 20mA.



Robótica aplicada
con Arduino



45

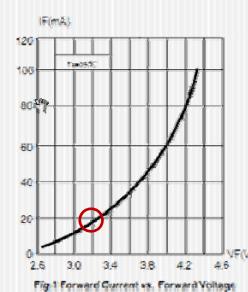
Resistencia de un LED (2)

- Segundo: averiguar el valor U_F , para la I_F escogida, según una gráficas o tabla del *datasheet*.

Typical Electrical & Optical Characteristics (Ta = 25°C)

Items	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Forward Voltage	V_F	$I_F = 20\text{mA}$	---	3.2	3.6	V
Reverse Current	I_R	$V_R = 5\text{V}$	---	---	10	μA
Color Temperature	CCT	$I_F = 20\text{mA}$	---	6500	---	K
X Chromaticity Coordinates	X	$I_F = 20\text{mA}$	---	0.3130	---	---
Y Chromaticity Coordinates	Y	$I_F = 20\text{mA}$	---	0.3290	---	---
Luminous Intensity	I_V	$I_F = 20\text{mA}$	---	18000	---	mod
50% power Angle	2θ₀H-H	$I_F = 20\text{mA}$	---	15	---	deg
2θ₀V-V	$I_F = 20\text{mA}$	---	---	---	---	deg

En este caso, para $I_F = 20\text{mA}$ se tiene $U_F = 3,2\text{V}$.



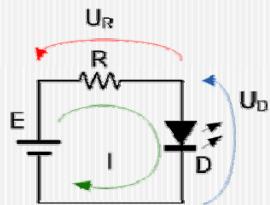
Robótica aplicada
con Arduino



46

Resistencia de un LED (3)

- Finalmente usando la Ley de Ohm se calcula el valor de la resistencia a partir de I_F y U_F .



$$U_D = U_F \quad I = I_F$$

$$E = U_R + U_D \Rightarrow U_R = E - U_D = 5 - 3,2 = 1,8V$$

$$U_R = R \cdot I \Rightarrow R = \frac{U_R}{I} = \frac{1,8V}{20 \cdot 10^{-3}} = 90\Omega \rightarrow 100\Omega$$

- Sabiendo el valor de R en un circuito ya diseñado, y estimando un valor de U_F , se podría determinar I_F :

$$U_R = E - U_D = 3,3 - 2 = 1,3V$$

$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{1,3V}{330\Omega} = 4mA$$



Robótica aplicada
con Arduino



dfrobot
.ua.es

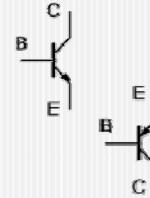


TRANSISTORES BJT

Tipos de transistores

BJT
(Bipolar Junction Transistor)

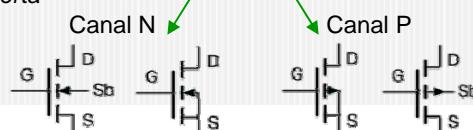
- **NPN** (uniones NP+PN).
- **PNP** (uniones PN+NP).



FET
(Field Effect Transistor)

- **JFET**: De canal , con puerta de unión
- **MOSFET**: De canal, con puerta aislada
- **IGBT**: BJT de puerta aislada

- Empobrecimiento o deplexión
- **Enriquecimiento o acumulación**



Robótica aplicada con Arduino

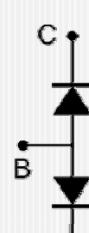
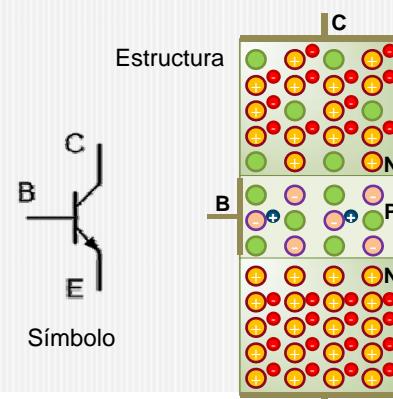


dfestslia.es

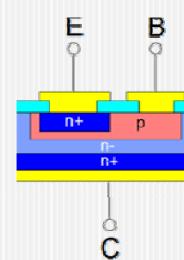
49

Estructura de un BJT

- Un BJT se compone de tres cristales de silicio que forman dos uniones P-N.
- Si la estructura es N-P-N se tiene un transistor NPN:



Estructura equivalente



Fabricación

Robótica aplicada con Arduino

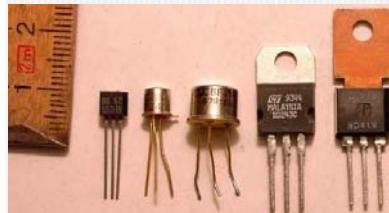


dfestslia.es

50

Ejemplos de encapsulados de BJT

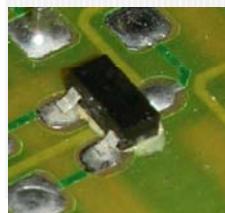
Transistores comunes



Transistores de potencia



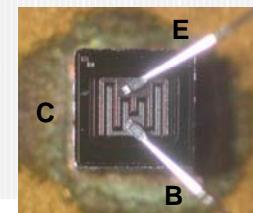
Transistor SMD



Transistor de potencia



Cristal del transistor

Robótica aplicada
con Arduino

dfestts.uva.es

51

Aplicaciones

- Como amplificador:
 - Amplificador de señales.
 - Comparador de tensiones.
 - Circuitos generadores de señales.
 - Circuitos reguladores y estabilizadores de tensión o corriente.
- Como conmutador electrónico:
 - Interruptor para activar-desactivar componentes que requieren grandes corrientes (LEDs, bombillas, relés, motores...).
 - Electrónica digital: puertas lógicas, registros, procesadores...
 - Fuentes de alimentación conmutadas o digitales.
 - Convertidores CA-CC, CC-CC, CC-CA.

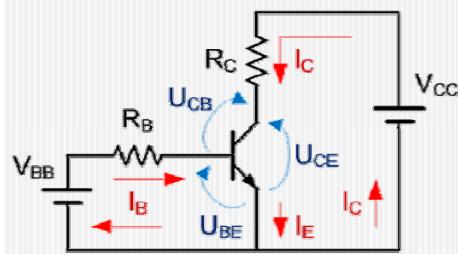
Robótica aplicada
con Arduino

dfestts.uva.es

52

Funcionamiento BJT NPN

- Un BJT se comporta como un amplificador de corriente:
 - Con una pequeña corriente en la base (I_B) se inicia una gran corriente en el colector (I_C).
 - La relación entre I_B e I_C es la ganancia en CC del transistor y se identifica en el *datasheet* como β o h_{FE} .
 - β puede ser desde 50 a 300, dependiendo del transistor.
 - β no es constante y puede variar según la temperatura y el transistor.



$$\begin{aligned}\beta &= \frac{I_C}{I_B} \quad I_C = \beta I_B \\ I_E &= I_B + I_C = (1 + \beta) I_B \approx I_C \\ U_{CE} &= U_{CB} + U_{BE} \\ V_{BB} &= R_B I_B + U_{BE} \\ V_{CC} &= R_C I_C + U_{CE}\end{aligned}$$



53

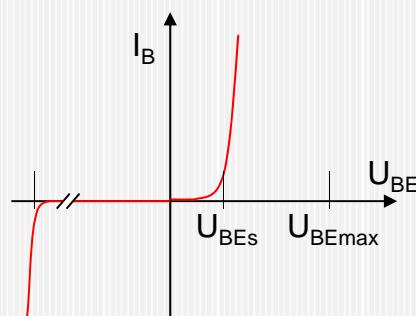
Características de un transistor (1)

- Curva de entrada de un transistor NPN BC547
 - La unión base-emisor se comporta como un diodo.
 - Para que el transistor funcione se requiere $U_{BE}=0,6$ a $0,7V$, dependiendo de transistor



U_{BEs} : Tensión base-emisor de saturación (0,7V)

U_{BEmax} : Tensión de ruptura de la unión base-emisor (6V)



54

Características de un transistor (1)

- Curva de salida de un transistor NPN BC547
 - Representan como evoluciona I_c según U_{CE} para distintas corrientes de base I_B .
 - El colector conduce cuando U_{CE} es mayor a 0V.**

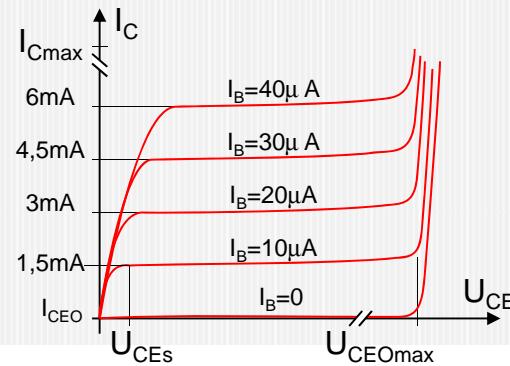
U_{CES} : Tensión colector-emisor de saturación (0,3V)

$\beta = h_{FE}$: Relación I_C/I_B (150)

I_{Cmax} : Intensidad de colector máxima (100mA)

I_{CEO} : Intensidad de fugas del colector con $I_B=0$ (0,2nA)

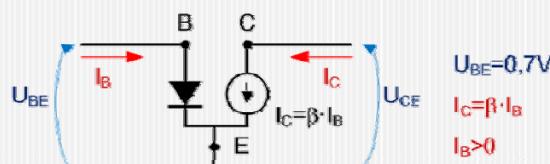
U_{CEOmax} : Tensión colector-emisor máxima con $I_B=0$ (45V)



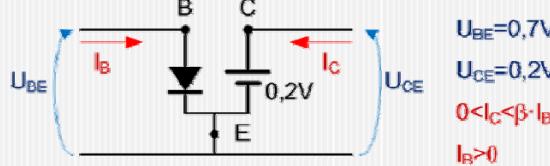
55

Modos de trabajo de un transistor

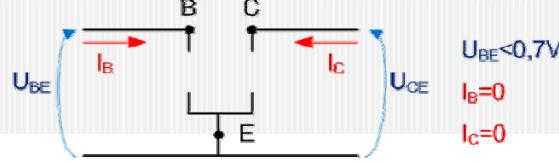
Zona activa
(amplificador)



Zona de
saturación
(máxima
conducción
posible)



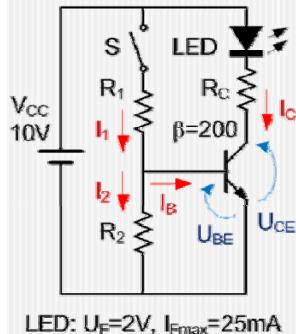
Zona de corte
(no conduce)



56

BJT como conmutador electrónico

- El circuito se diseña para que el transistor funcione en una de estas dos zonas:
 - Corte: no hay conducción porque $U_{BE} < 0,7V$ y $I_B = 0$.
 - Saturación: $U_{CE} \approx 0,2V$ e I_C está limitada por R_C ($I_C < \beta \cdot I_B$) .



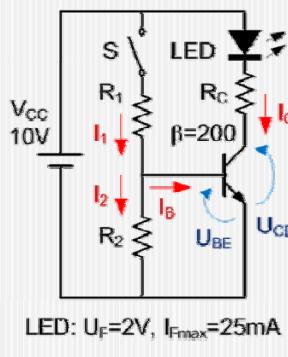
- Si S está abierto: $I_1=0 \rightarrow I_B=0$, $I_2=0$, $U_{BE}=0$. El transistor no conduce: $I_C=0$, y el LED está apagado.
- Si S está cerrado: $I_1>0 \rightarrow I_B>0$, $I_2>0$, $U_{BE}=0,7$. El transistor está saturado: $I_C>0$ y el LED se enciende.
- S puede ser una salida digital del Arduino u otro controlador.



57

Diseño de un conmutador con BJT

- El diseño se hace para el caso de saturación, que es cuando hay corrientes y tensiones en el circuito.



- Se toma $I_C=15mA$ para iluminar el LED sin llegar a I_{Fmax} :

$$V_{CC} = U_F + U_{CE} + R_C I_C$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - U_F - U_{CE}}{I_C} = \frac{10 - 2 - 0,2}{0,015} = 520\Omega$$

- Para saturar el transistor: $I_B=10 \cdot I_C / \beta$

$$I_B = 10 \cdot 15mA / 200 = 0,75mA$$

- Para el divisor de tensión: $I_1=10 \cdot I_B$

$$I_1 = 10 \cdot 0,75mA = 7,5mA \Rightarrow I_2 = I_1 - I_B = 6,75mA$$

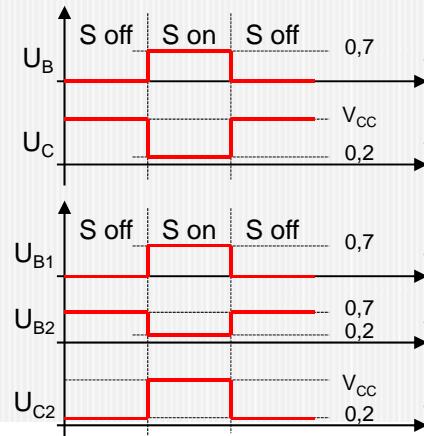
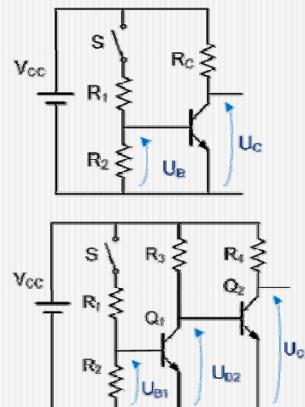
$$R_1 = \frac{10 - U_{BE}}{I_1} = \frac{10 - 0,7}{7,5mA} = 1240\Omega \rightarrow 1,2K\Omega \quad R_2 = \frac{U_{BE}}{I_2} = \frac{0,7}{6,75mA} = 104\Omega \rightarrow 100\Omega$$



58

BJT como inversor

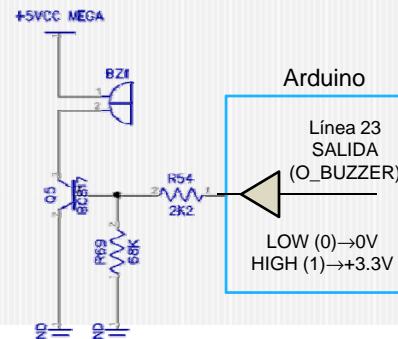
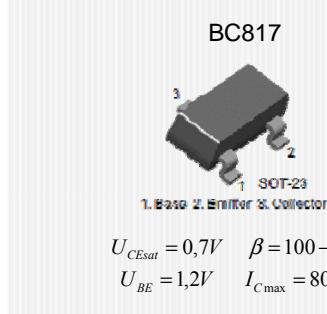
- Un conmutador con transistor en corte-saturación se puede utilizar como un inversor lógico.



59

Uso del BJT en el Robot GoShieldGR (1)

- Activar el zumbador con la salida 23 del Arduino.
 - Un zumbador puede requerir más corriente de la que es capaz de entregar una salida digital de un controlador.
 - El zumbador sustituye a la resistencia de colector R_C y es el que limitará la corriente I_C según la que necesite.



60

Uso del BJT en el Robot GoShieldGR (2)

- Se puede comprobar que el transistor funciona en corte-saturación como conmutador electrónico.

$$I_{69} = \frac{U_{BE}}{R_{69}} = \frac{1,2}{68.000} = 18\mu A$$

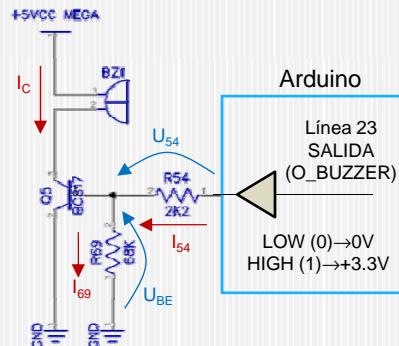
$$I_{54} = \frac{U_{54}}{R_{54}} = \frac{3,3 - U_{BE}}{R_{54}} = \frac{3,3 - 1,2}{2.200} = 0,95mA$$

$$I_B = I_{54} - I_{69} = 0,94mA$$

$$\beta \cdot I_B = 250 \cdot 0,94mA = 234mA$$

$$I_C = \frac{+5VCC - U_{CE}}{R_{BZ1}} = \frac{5 - 0,7}{250\Omega} = 17mA$$

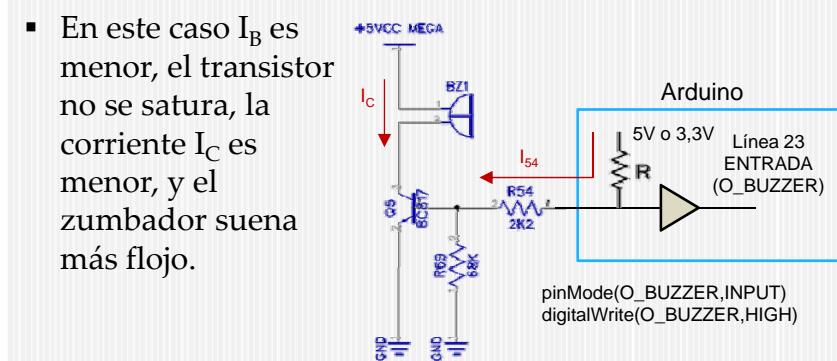
$I_C = 17mA < \beta \cdot I_B = 243mA \rightarrow$ Está en saturación



61

Uso del BJT en el Robot GoShieldGR (2)

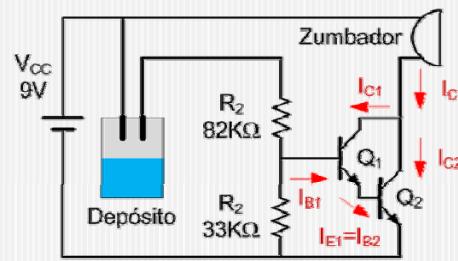
- También se puede activar el zumbador configurando la línea del Arduino como entrada, y activando la resistencia pull-up.
- En este caso I_B es menor, el transistor no se satura, la corriente I_C es menor, y el zumbador suena más flojo.



62

Configuración Darlington

- Configuración Darlington
 - Permite multiplicar las ganancias de dos transistores, para obtener un valor de β muy alto.
 - Hay transistores Darlington como un único componente.
 - Es muy útil para detectores de señales débiles.



$$\beta \approx \beta_2 \cdot \beta_1$$

$$\text{Si } \beta_1 = \beta_2 = 150 \Rightarrow \beta = 150 \cdot 150 = 22.500$$



Robótica aplicada
con Arduino

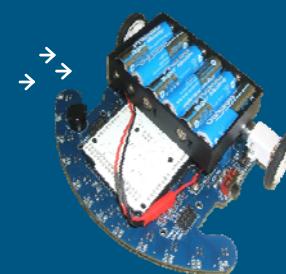


Robotica
aplicada

dfestslia.es

63

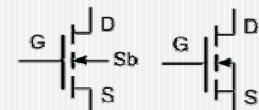
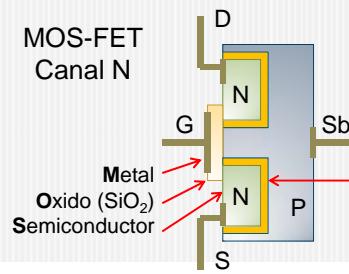
Robótica aplicada con Arduino



TRANSISTORES MOS-FET

Diferencias del MOS-FET con el BJT

- Se controla la conductividad de un cristal de silicio (canal) mediante campo eléctrico, no por corriente.
- La entrada (puerta-G) no necesita corriente sino tensión, al contrario que la base de un transistor BJT.
- Se comportan como una resistencia cuyo valor se controla mediante una diferencia de potencial.



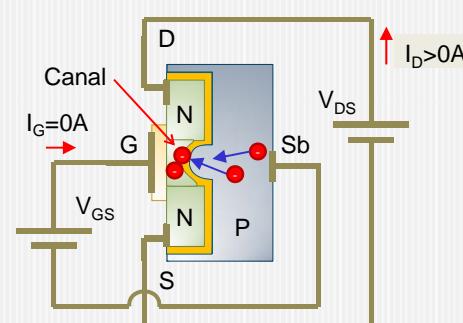
D (Drain): Drenador (~ C).
S (Source): Surtidor (~ E).
G (Gate): Puerta (~ B).
SB: Substrato. Muchas veces conectado a S



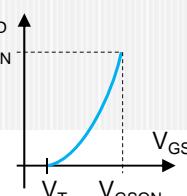
65

Funcionamiento del MOS-FET

- Por defecto no existe canal y no pasa de corriente.
- Al aplicar una tensión entre G y Sb (V_{GS}), el campo eléctrico atrae los electrones de P y crea un canal entre las zonas N.
- A más tensión V_{GS} , el canal es mayor, y hay menor resistencia a la corriente I_D .



$$I_D = I_{DON} \left(\frac{V_{GS} - V_T}{V_{GSON} - V_T} \right)^2$$



66

Ejemplos de MOS-FET

2N700

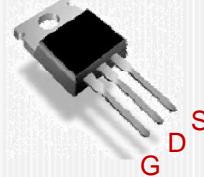
MOSFET de señal



S G D

IRF510

MOSFET de potencia media



G D S

$$I_{Dmax} = 200mA$$

$$V_{DSmax} = 60V$$

$$V_T = 0,8-3V$$

$$R_{DSon} = 5\Omega$$

$$T_{ON} = 10ns$$

$$I_{DON} = 75mA$$

$$V_{GSon} = 4,5V$$

$$R_{DSon} = 5\Omega$$

$$T_{ON} = 10ns$$

$$I_{Dmax} = 5,6A$$

$$V_{DSmax} = 100V$$

$$V_T = 2V$$

$$R_{DSon} = 0,54\Omega$$

$$T_{ON} \approx 0s$$



67

Características del MOS-FET

- Al estar aislada la puerta, no hay corriente por ella.
 - La resistencia puerta-substrato es muy alta: $R_{GSb} > 10M\Omega$.
 - Se puede controlar elementos que consumen mucha corriente con una señal de entrada muy débil.
 - Por el bajo consumo, el MOSFET es adecuado como conmutador digital, y es la base de la electrónica digital.
- Los picos de tensión altos o debidos a electrostática pueden dañar el aislante de la puerta.
 - Muchos transistores MOSFET tienen internamente diodos que protegen la puerta de sobretensiones.
 - Hay que tener precaución al manejar transistores MOSFET o circuitos integrados que usan esta tecnología.

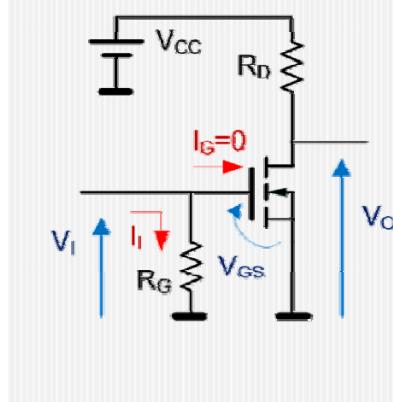


68

El MOS-FET como inversor

- Conmutador inversor con MOSFET:

- El transistor conduce cuando $V_{GS} > V_T$.



$$V_{CC} = 5V$$

$$V_T = 2V$$

Si $V_I = 0V \Rightarrow V_O = 5V$
Si $V_I = 5V \Rightarrow V_O = 0V$

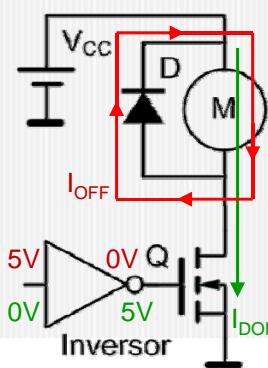
R_G absorbe la corriente de entrada I_I y evita que la puerta del transistor esté "al aire".



69

Conmutador de potencia

- Hay MOSFET diseñados para trabajar como conmutadores de potencia ($I_D \cdot V_{DS} > 1W$):
 - Al contrario que un BJT, cuando un MOSFET se calienta, la corriente I_D baja, por lo que aguanta mejor potencias grandes.
 - Para que un BJT se sature, se fuerza una I_B grande. Eso implica un "tiempo de respuesta" para desalojar los electrones y pasar a corte ($0,1\text{-}0,5\mu\text{s}$). Un MOSFET no se almacena carga y conmuta 10-100 veces más rápido.
 - Al comutar cargas inductivas, conviene colocar un diodo en paralelo a la carga para absorber la corriente almacenada.



70

Diseño de un comutador

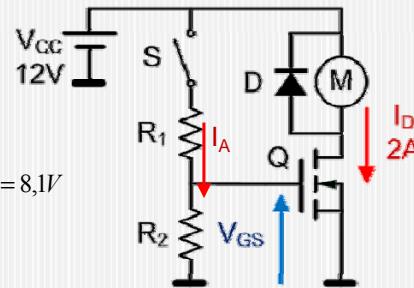
- Se puede usar un divisor de tensión con resistencias para conseguir la tensión V_{GS} que garantiza la intensidad I_D que hace falta.

$$I_D = I_{DON} \left(\frac{V_{GS} - V_T}{V_{GS0N} - V_T} \right)^2$$

$$V_{GS} = V_T + (V_{GS0N} - V_T) \sqrt{\frac{I_D}{I_{DON}}} = 2 + 8 \sqrt{\frac{2}{3,8}} = 8,1V$$

$$R_2 = \frac{V_{GS}}{I_A} = \frac{8,1V}{1mA} = 8,1K\Omega$$

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{GS}}{I_A} = \frac{3,9V}{1mA} = 3,9K\Omega$$



Características de Q = IRF510:

$$I_{Dmax} = 5,6A$$

$$V_{DSmax} = 100V$$

$$V_T = 2V$$

$$I_{DON} = 3,4A$$

$$V_{GS0N} = 10V$$

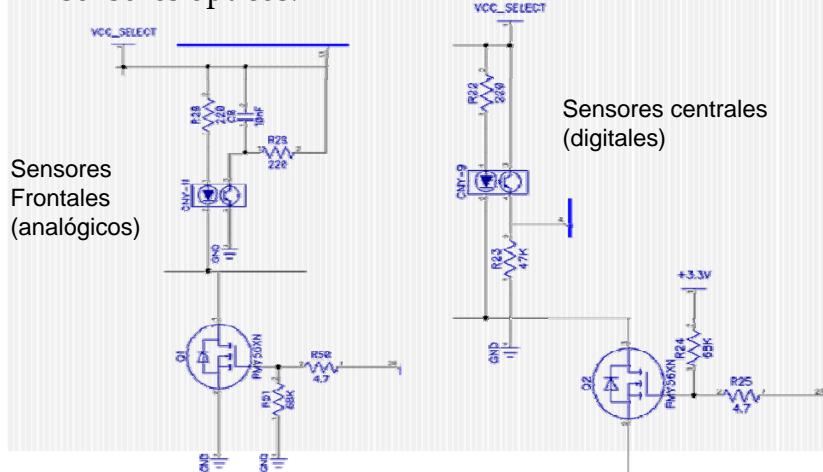
$$R_{DS0N} = 0,54\Omega$$



71

MOS-FET en el GoShieldGR

- Para controlar encendido de los LEDs de las series de sensores ópticos.



72



Funcionamiento de un motor CC

- Cuando se deja de aplicar corriente a un motor CC, este actúa como generador debido a su inercia, produce una fuerza contra-electromotriz y devuelve corriente.
- En un motor que puede girar en ambos sentidos, se pueden considerar cuatro etapas o cuadrantes de funcionamiento:

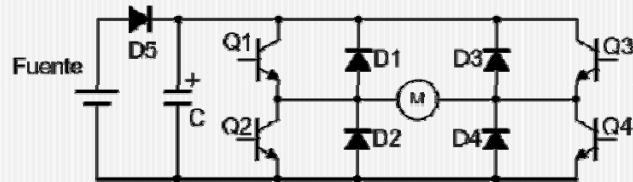
 $i_m \rightarrow$ M $e_m \leftarrow$	Frenando hacia adelante $e_m = + ; i_m = -$ Moviendo hacia atrás $e_m = - ; i_m = -$	Moviendo hacia adelante $e_m = + ; i_m = +$ Frenando hacia atrás $e_m = - ; i_m = +$
--	---	---

Robótica aplicada con Arduino dfestslab.es

74

Amplificador full bridge (H-bridge)

- Para controlar un motor CC en los cuatro cuadrantes (4Q) se requiere un circuito amplificador con:
 - Cuatro conmutadores electrónicos, para poder invertir la dirección de la corriente y el sentido de giro.
 - Diodos y condensador para absorber las corrientes de frenado, y evitar que se estropeen los conmutadores y la fuente de alimentación.

Robótica aplicada
con Arduino

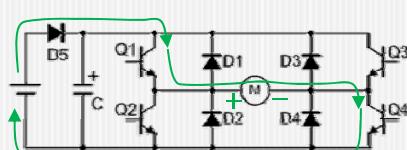
Robot



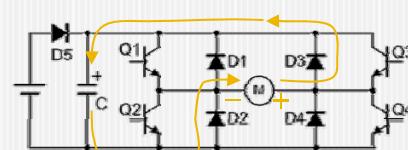
75

Funcionamiento H-bridge 4Q

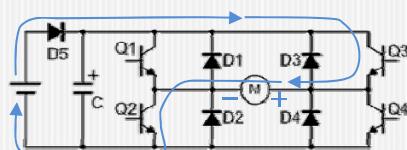
Movimiento hacia adelante



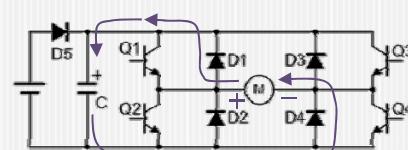
Frenado hacia atrás



Movimiento hacia atrás



Frenado hacia adelante

Robótica aplicada
con Arduino

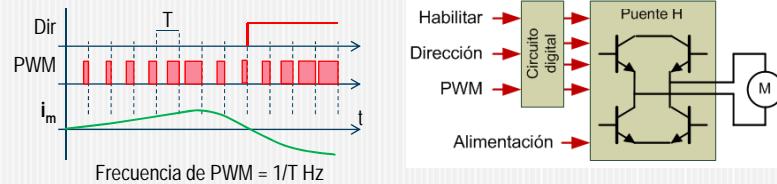
Robot



76

Amplificador digital con PWM

- Los transistores que forman el puente funcionan como conmutadores corte-saturación en alta frecuencia.
 - Los transistores disipan poca energía y se calientan poco.



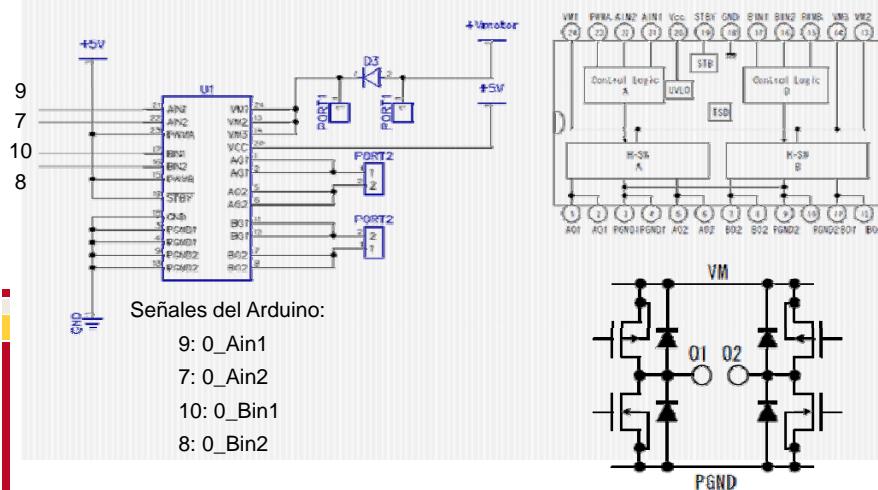
- En la actualidad se suelen usar MOS-FET porque conducen mejor que los BJT, y disipan todavía menos potencia que los BJT en corte-saturación.



77

Control de motores en el GoShieldGR

- Se emplea el controlador-driver TB6612FNG.



78

Señales de control del motor

0_Ain1 (9)	0_Ain2 (7)	Out1	Out2	Modo
High	High	Low (0V)	Low(0)	Freno forzado
High	Low	Low (0V)	High (+Vmotor)	CW:Clockwise Alante
Low	High	High (+Vmotor)	Low (0V)	CCW: Counter clockwise Atrás
Low	Low	Al aire	Al aire	Libre: freno por descarga

Se puede usar señal PWM para controlar velocidad con `analogWrite(0_Ain1,valor)`



Robótica aplicada
con Arduino



79

- //Motor izquierdo avanza
`analogWrite(O_Bin1,speedLeft);
digitalWrite(O_Bin2,LOW);`
- //Motor izquierdo retrocede
`analogWrite(O_Bin1,(maxRes-speedLeft));
digitalWrite(O_Bin2,HIGH);`
- //Motor derecho avanza
`analogWrite(O_Ain1,speedRight);
digitalWrite(O_Ain2,LOW);`
- //Motor derecho retrocede
`analogWrite(O_Ain1,(maxRes-speedRight));
digitalWrite(O_Ain2,HIGH);`



Robótica aplicada
con Arduino



80