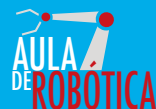


Javier Arlegui · Alfredo Pina



El sensor de color de EV3 y el sensor de luz NXT



DEXTRA

4. EL SENSOR DE COLOR DE EV3 Y EL SENSOR DE LUZ NXT

El sensor de color del EV3 (figura 18.11) está provisto de un par de elementos clave: de un LED de 3 colores, capaz de emitir un haz de luz roja, verde y azul, o una combinación de ellos, y de un fotodiodo, el cual permite llevar a cabo la lectura deseada. En la determinación de la capacidad para captar la luz por el fotodiodo, téngase en cuenta su posición ligeramente desalineada con respecto al LED.



Figura 18.11

El sensor puede funcionar en tres modos diferentes:

- *Modo de color.* Detecta el color de un objeto, lo que le permite distinguir ocho colores: negro, azul, verde, amarillo, rojo, blanco, marrón o sin color, es decir, la ausencia de una superficie reflectante enfrente del sensor.

Dado que la detección del color se realiza por el fotodiodo que lee repetidamente la luz reflejada cuando la superficie es iluminada por uno de los tres colores que son emitidos en rotación rápida, el sensor es capaz de detectar solo el color de una superficie iluminada por el sensor (y no, por ejemplo, el color emitido por una pantalla). Además, la luminosidad de fondo se mide con el LED momentáneamente apagado para mejorar la medida del color reflejado cuando el LED está encendido. Todo esto sucede tan rápido que parece que el LED, cuando se opera en este modo, emite permanentemente los tres haces de color.

El procesamiento de todos estos datos se realiza mediante la electrónica del sensor y lo que se transmite finalmente es un código numérico que representa el color (véase la relación entre códigos y colores que muestra la figura 18.12).



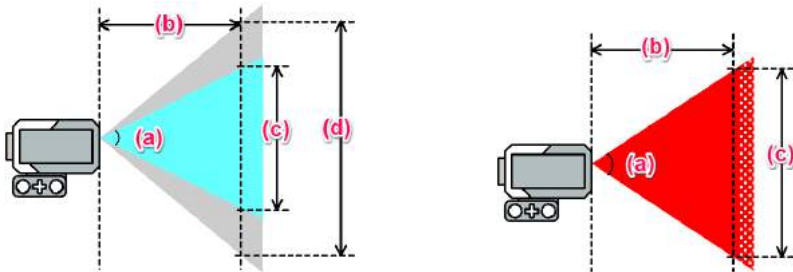
Figura 18.12

- *Modo de luz reflejada.* En este modo el sensor opera como un sensor de luminosidad y en este caso detecta la intensidad de la luz reflejada por la superficie iluminada por el haz de luz roja que emite el sensor.

Originalmente, los valores de la medición en bruto (raw) están en un intervalo de [0 1023], por lo tanto, con una resolución de aproximadamente un 1%. Sin embargo, la medición se reescala y se envía finalmente al programa en un intervalo de valores porcentuales [0 100], dentro de una banda de valores LMIN a LMAX, ajustable mediante la calibración (véase más adelante).

- *Modo de luz ambiental.* El sensor detecta la intensidad de la luz ambiental capturada del medio ambiente e igualmente la devuelve en un intervalo de valores porcentuales [0 100] sin que haya prevista una calibración.

La luz que incide sobre el sensor, por supuesto, depende de la ubicación y la orientación del sensor con respecto a cualquier fuente de luz puntual, y también depende de la luz que llega de las reflexiones en las paredes y en otros objetos.



a) Cono de visibilidad en la modalidad color

b) Cono de visibilidad en la modalidad luz reflejada

Figura 18.13

Tanto para el modo de color como para la luz reflejada, la distancia recomendada para la colocación del sensor es una "unidad LEGO", o alrededor de 8 mm de la superficie. Sin embargo, en los dos modos el sensor tiene un cierto "cono de visibilidad" (Figura 18.13, a y b).

Las dimensiones del cono de visibilidad en la modalidad *color* son:

(a) 45° (b) 53 mm (c) 54 mm (d) 88 mm, zona incierta

Las dimensiones del cono de visibilidad en la modalidad *luz reflejada* son:

(a) 53 ° (b) 53 mm (c) 71 mm)⁶

4.1. El bloque EV3 para el sensor de color

En la sección de Sensores de EV3-G se muestra el bloque para el sensor de color con todos los diferentes modos de funcionamiento del sensor. En la figura 18.14 aparecen los bloques para las medidas de color, de la intensidad de la luz reflejada y de la intensidad de la luz ambiental, respectivamente.



Figura 18.14

En la figura 18.15 se muestran los mismos bloques, pero con la opción de comparación. Como puede verse en la figura, mientras que en el bloque que compara la intensidad de la luz reflejada con un *valor-objetivo* umbral solo hay que establecer dicho valor umbral, en el bloque que compara el color el establecimiento del *color-objetivo* es más complejo. Es particularmente interesante observar que esta es una comparación de *pertenencia* del color detectado a un conjunto de colores, representado por un "array" que puede contener uno o más colores.

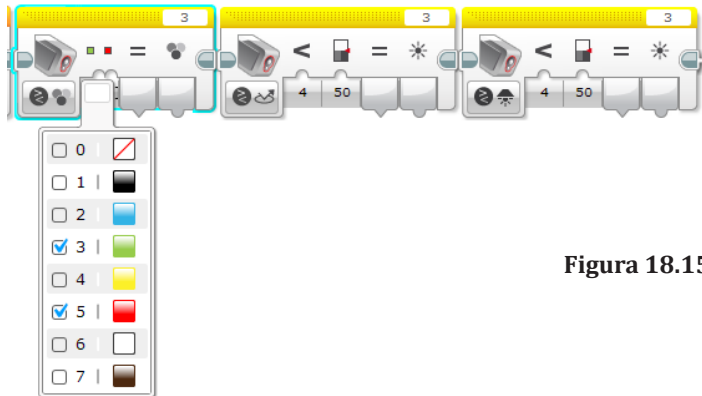


Figura 18.15

⁶ Fuente: Afrel <http://www.afrel.co.jp/en/>

En el modo "luz reflejada" es posible proceder a un calibrado que permite seleccionar los valores mínimo y máximo de intensidad luminosa reflejada, entre los cuales se reescala la intensidad luminosa en un rango de valores [0 100]. Igualmente se puede reiniciar (reset) el calibrado de fábrica (véase figura 18.16).

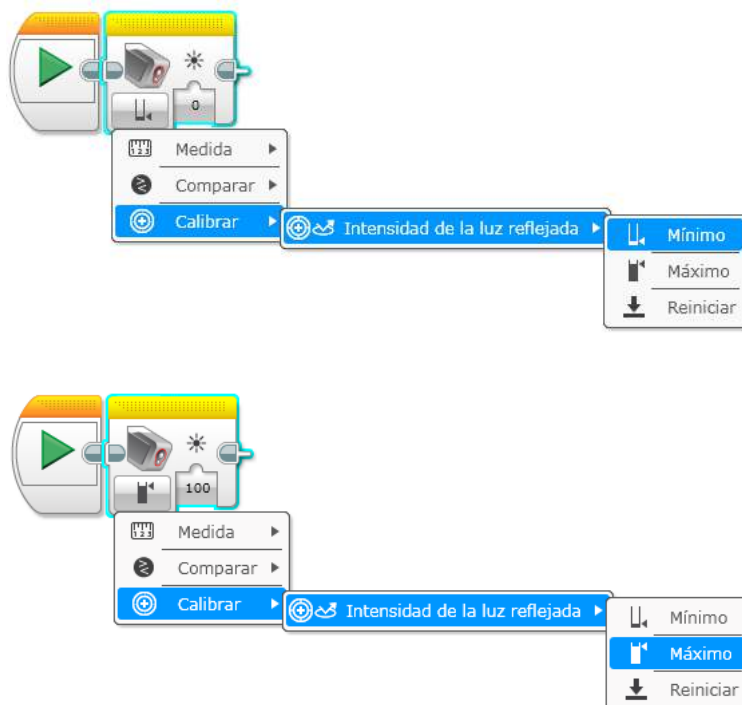


Figura 18.16

Por ejemplo, se pueden establecer estos valores mínimo y máximo obteniendo, al principio del programa, dos medidas: iluminando con el LED rojo primero la superficie más oscura y después la más clara. Es de señalar que en la opción de calibración el bloque no exige especificar el puerto al que está conectado el sensor, ya que la función de calibración la realiza el software del "ladrillo" (microordenador) asociado al bloque y no directamente el propio sensor de color.

4.2. La detección de los colores de las piezas de LEGO

Hemos efectuado una evaluación de cómo el sensor de color detecta los diversos colores de las piezas del kit de LEGO. Hemos creado superficies de color uniendo dife-

rentes piezas de LEGO de un mismo color, y hemos medido, usando el sensor de color, tanto el color como la luz reflejada. Esta última después de una calibración realizada tomando como valores mínimo y máximo [0 1000] los detectados en las superficies de piezas negras y blancas respectivamente. El resultado se resume en la tabla 18.2.

Tabla 18.2

Bloque LEGO	Color	Color detectado	Luminosidad
	Gris	Blanco	32
	Amarillo	Amarillo	92
	Azul	Azul	0
	Verde	Verde	0
	Rojo	Rojo	64
	Blanco	Blanco	100
	Negro	Negro	0

Como se observa, la detección del color es buena, el gris es un tono claro y se detecta como blanco. La medida de la luminosidad reflejada por sí sola no permite discriminar los colores más oscuros, mientras que distingue el gris entre el blanco y el negro.

4.3. La discriminación de las gradaciones de color

Con este experimento se ha querido determinar cómo el sensor detecta los colores primarios y sus gradaciones. También se desea determinar entre qué niveles de saturación y de luminosidad se puede reconocer correctamente un color.

Para este fin se utilizó una escala de colores compuesta por los colores fundamentales, y algunas gradaciones intermedias, y otra escala con cambios en la saturación y el brillo de los seis colores básicos. En ambos casos se coloca el sensor de color a la distancia de una unidad estándar de la superficie coloreada.

Antes de la presentación de los resultados, exponemos aquí una breve descripción de cómo se codifica el color en un formato electrónico. Para representar los colores hay propuestas estándar y, entre ellas, la más conocida y utilizada es la representación RGB⁷: separa cada color en sus tres componentes aditivos básicos: rojo, verde y azul; el nivel de cada componente viene representado por un número natural de n bits (n igual para todos los 3 colores). Por ejemplo, para un RGB de 24 bits, cada color está representado por un número de 8 bits en el rango [0 255]. Con esta representación se

⁷ Véanse descripciones análogas que se realizan en el capítulo 16, "Sensores de luz y color en SNAP".

pueden codificar un total de 2^{24} colores diferentes (cerca de 16 millones de colores). La representación de las componentes RGB se muestra en la figura 18.17.

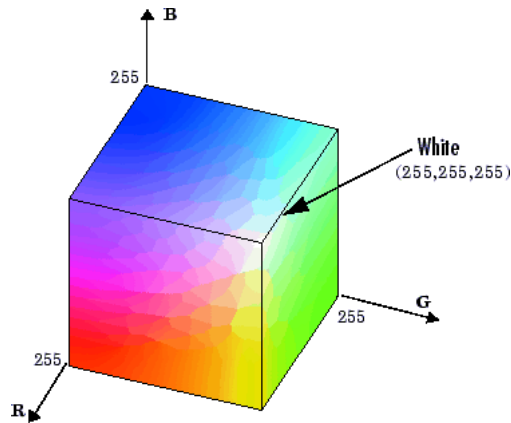


Figura 18.17⁸

Otra representación conocida se refiere, en cambio, a las características de los colores más cerca de nuestra percepción: es la representación HSV (tono [Hue], Saturación y Valor, también llamada HSB, donde B representa *el brillo*). La representación de las componentes HSV se muestra en la figura 18.18.

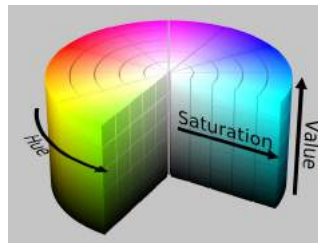


Figura 18.18⁹

⁸ Diagrama del cubo estándar RGB. Fuente: MathWorks <http://es.mathworks.com/>














⁹ El cilindro estándar VHS. Fuente: Wikipedia https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_de_color_HSV

En esta representación:

- El componente Hue representa el *tono* de color, un tono que percibimos como similar entre los puntos vecinos. Por ejemplo, el tono naranja sigue al rojo y precede al amarillo. Se mide en grados, de 0 a 360.
- El componente Valor representa la *luminosidad* del color, especialmente desde el punto de vista de la percepción humana. Se mide entre 0 y 100.
- El componente Saturación representa la "*plenitud*" del color; valores bajos de saturación corresponden a color grisáceo. El eje central conecta los distintos tonos de gris, desde el negro hasta el blanco. Se mide entre 0 y 100.
- Las coordenadas RGB y HSV están relacionadas y existen funciones que las conectan¹⁰.

La tabla 18.3 resume algunos colores básicos, codificados en RGB y HSV, y su reconocimiento por el sensor de color. Se puede observar que los colores de prueba tienen S y V a su valor máximo (100) y varían solo en su componente H en múltiplos de 15 grados.

Tabla 18.3

Color	Valor RGB			Valor HSV			Color detectado
	R	G	B	H	S	V	
	255	0	0	0	100	100	Rojo
	255	65	0	15	100	100	Rojo
	255	130	0	30	100	100	Rojo
	255	190	0	45	100	100	Amarillo
	255	255	0	60	100	100	Amarillo
	190	255	0	75	100	100	Blanco
	130	255	0	90	100	100	Blanco
	65	255	0	105	100	100	Verde
	0	255	0	120	100	100	Verde
	0	255	65	135	100	100	Verde
	0	255	130	150	100	100	Blanco
	0	255	190	165	100	100	Blanco
	0	255	255	180	100	100	Azul

¹⁰ Para los interesados, véase: "Transformación RGB a HSV" en Wikipedia https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_de_color_HSV

El reconocimiento es bueno cuando los colores primarios y secundarios están bien definidos, y es más incierto en los colores intermedios, especialmente algunos colores que aparecen como más "claros" son reconocidos como blanco. Además, los valores reconocidos por el sensor no se distribuyen uniformemente al variar H: los valores a los que se asignan más colores son el rojo y el azul. Los extremos de los verdes no son reconocidos y se leen como blanco. El amarillo tiene un pequeño rango de valores, mientras que el conjunto de violeta y magenta no se discrimina, a excepción de un color que se reconoce como marrón.

La segunda prueba se llevó a cabo mediante la variación de los valores de S y V para los 6 colores básicos (rojo, amarillo, verde, cian, azul y magenta) correspondientes a seis valores de H (con valores en múltiplos de $360/6 = 60$). Para cada uno de estos colores se han variado de forma independiente las componentes S y V con 8 valores cada una (100/8 pasos), de modo que la saturación disminuye horizontalmente, mientras que la luminosidad disminuye verticalmente.

Hemos formado así las seis matrices de color visibles en las líneas primera y tercera de la figura 18.19. El reconocimiento por el sensor de las diversas celdas de color se muestra en las matrices de las filas segunda y cuarta de la misma figura. Si hay más de un color en una celda es que el reconocimiento del color es incierto.

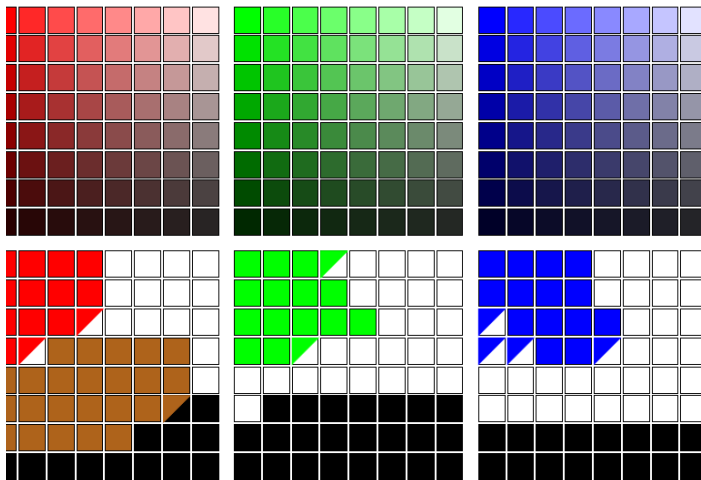


Figura 18.19

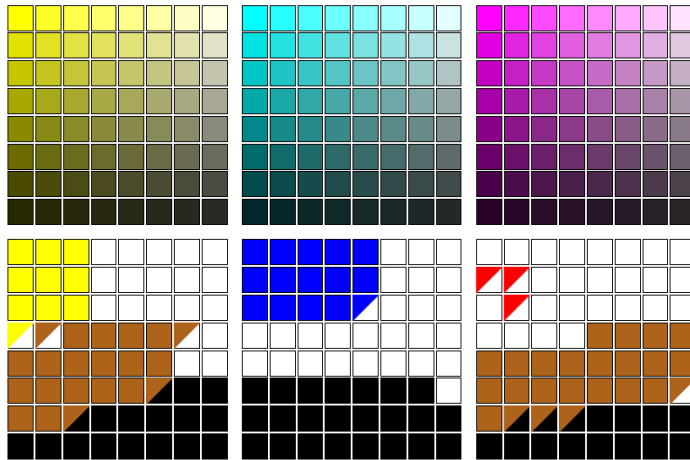


Figura 18.19 (continuación)

En cuanto a la precisión en la lectura de los colores de las celdas, a partir de la figura 18.19 puede verse que el sensor se comporta de manera diferente dependiendo de la tonalidad de la componente H. Casi todos los colores son reconocidos como blanco cuando la saturación desciende a la mitad de su escala, aunque el color amarillo se lee como blanco hasta un mayor nivel de saturación, mientras que el cian sigue siendo detectado como azul hasta una menor saturación. Se ve también que los colores rojo, verde y azul se detectan adecuadamente a los niveles de luminosidad de hasta 2/3 de su escala (con alta saturación). El magenta es el único tono que no es detectado correctamente para cualquier nivel de los parámetros V y S. Finalmente, se puede señalar que, para niveles de brillo intermedio, el rojo, amarillo y magenta se leen como marrón para casi todos los niveles de saturación.

Discriminación de tonos de gris

Como se ha visto anteriormente, el sensor también puede utilizarse en la opción “intensidad de la luz reflejada”, y esta opción se puede adoptar para discriminar los niveles de gris.

Hemos realizado detecciones de colores “grises”, con $H = 0$ y $S = 0$ y con valores sucesivos de V en el intervalo de 0 a 100. Como se puede ver en la tabla 18.4, los 33 colores grises de la escala tienen los tres componentes RGB iguales y se imprimieron en papel usando una impresora láser, calibrando el sensor en los extremos blanco y negro.

El sensor, cuando se activa en la opción color, reconoce correctamente media escala de grises como negro y la otra mitad como blanco. En las dos últimas columnas

Tabla 18.4: Componentes RGB escala de grises.

Nivel de gris	Valores RGB			Valores HSV			Color detectado	Luz reflejada detectada	
	R	G	B	H	S	V		Mínimo	Máximo
	0	0	0	0	0	0	Nero	0	0
	8	8	8	0	0	3.125	Nero	0	0
	16	16	16	0	0	6.25	Nero	0	0
	24	24	24	0	0	9.375	Nero	0	0
	32	32	32	0	0	12.5	Nero	0	0
	40	40	40	0	0	15.625	Nero	0	1
	48	48	48	0	0	18.75	Nero	1	1
	56	56	56	0	0	21.875	Nero	2	2
	64	64	64	0	0	25	Nero	2	4
	72	72	72	0	0	28.125	Nero	2	4
	80	80	80	0	0	31.25	Nero	4	5
	88	88	88	0	0	34.375	Nero	4	5
	96	96	96	0	0	37.5	Nero	8	8
	104	104	104	0	0	40.625	Nero	10	11
	112	112	112	0	0	43.75	Nero	13	13
	120	120	120	0	0	46.875	Nero	16	17
	128	128	128	0	0	50	Bianco	21	21
	136	136	136	0	0	53.125	Bianco	23	23
	144	144	144	0	0	56.25	Bianco	27	27
	152	152	152	0	0	59.375	Bianco	27	27
	160	160	160	0	0	62.5	Bianco	32	33
	168	168	168	0	0	65.625	Bianco	37	37
	176	176	176	0	0	68.75	Bianco	42	42
	184	184	184	0	0	71.875	Bianco	45	46
	192	192	192	0	0	75	Bianco	53	53

de la tabla vemos los valores de la luminosidad reflejada detectados en varias lecturas repetidas, con el valor mínimo y el máximo en cada caso.

El sensor es bastante exacto porque la diferencia entre los valores mínimo y máximo se limita a un par de puntos. Los valores, sin embargo, no crecen de una manera perfectamente lineal con el brillo, como se ve en el gráfico de la figura 18.20. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la no linealidad también se puede ver afectada por el rendimiento de la impresión que no se conoce con precisión.

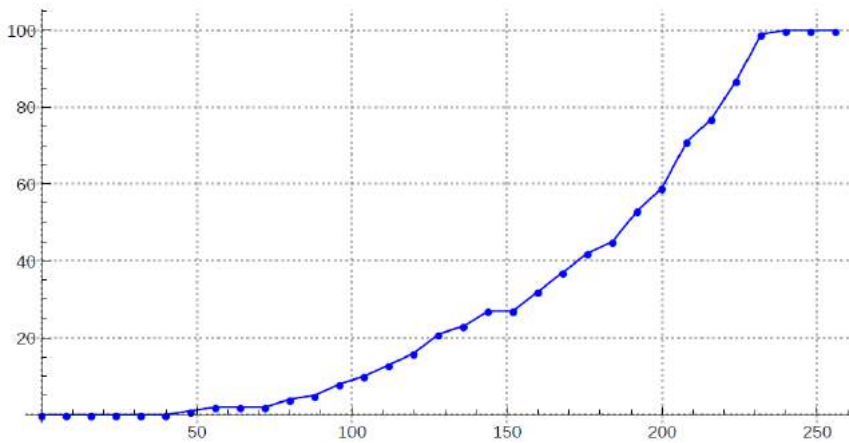


Figura 18.20

4.4. El sensor de luz de NXT

Presentamos aquí el sensor de luz (figura 18.21) que se distribuye con la versión anterior del kit de robot Mindstorms, la versión NXT. No tiene la posibilidad de detectar los colores, solo la capacidad de detectar la luminosidad reflejada.

Los resultados de la prueba con piezas de LEGO se resumen en la tabla 18.5, donde los colores fueron ordenados según la disminución de los niveles de brillo detectados. Hay que tener en cuenta que no se ha realizado ninguna calibración y que el rango de los valores resultantes no es muy amplio. En particular, las parejas blanco-amarillo y azul-negro son discriminadas con mayor dificultad.



Figura 18.21

Tabla 18.5

	A	B	C
1	Brick	Color	Light %
2		White	71
3		Yellow	69
4		Red	65
5		Bright Gray	58
6		Gray	49
7		Blue	42
8		Black	39

La prueba con la luminosidad detectada en los niveles de gris se realizó con la impresión láser en papel, con el sensor a 4 mm de la hoja y en una habitación iluminada artificialmente. La tabla 18.6 muestra las mediciones ("Número" representa el valor común de los componentes RGB). También se muestran estas medidas en el gráfico de la figura 18.22, que sugiere una linealidad aceptable en función del valor de las coordenadas RGB de la impresión.

Tabla 18.6

GrayScale	Number	Light %
	0	30
	15	33
	31	37
	47	40
	63	42
	79	44
	95	46
	111	48
	127	50
	143	52
	159	55
	175	57
	191	60
	207	62
	223	65

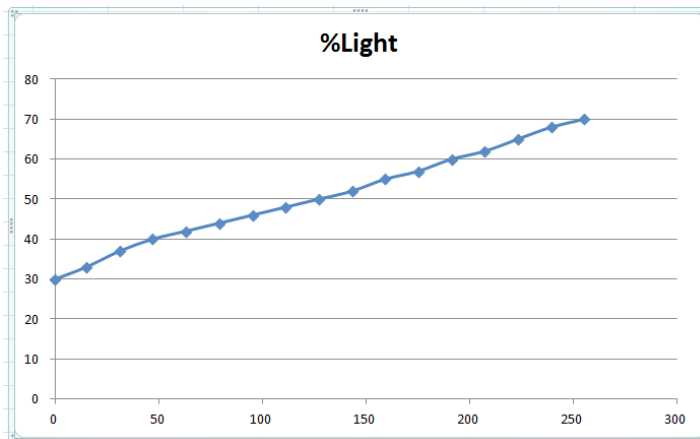


Figura 18.22