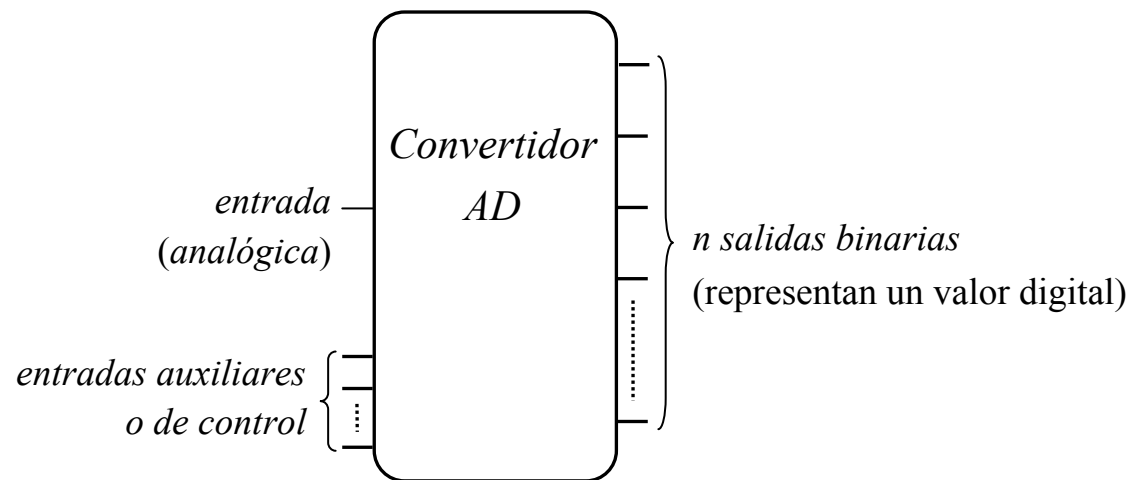
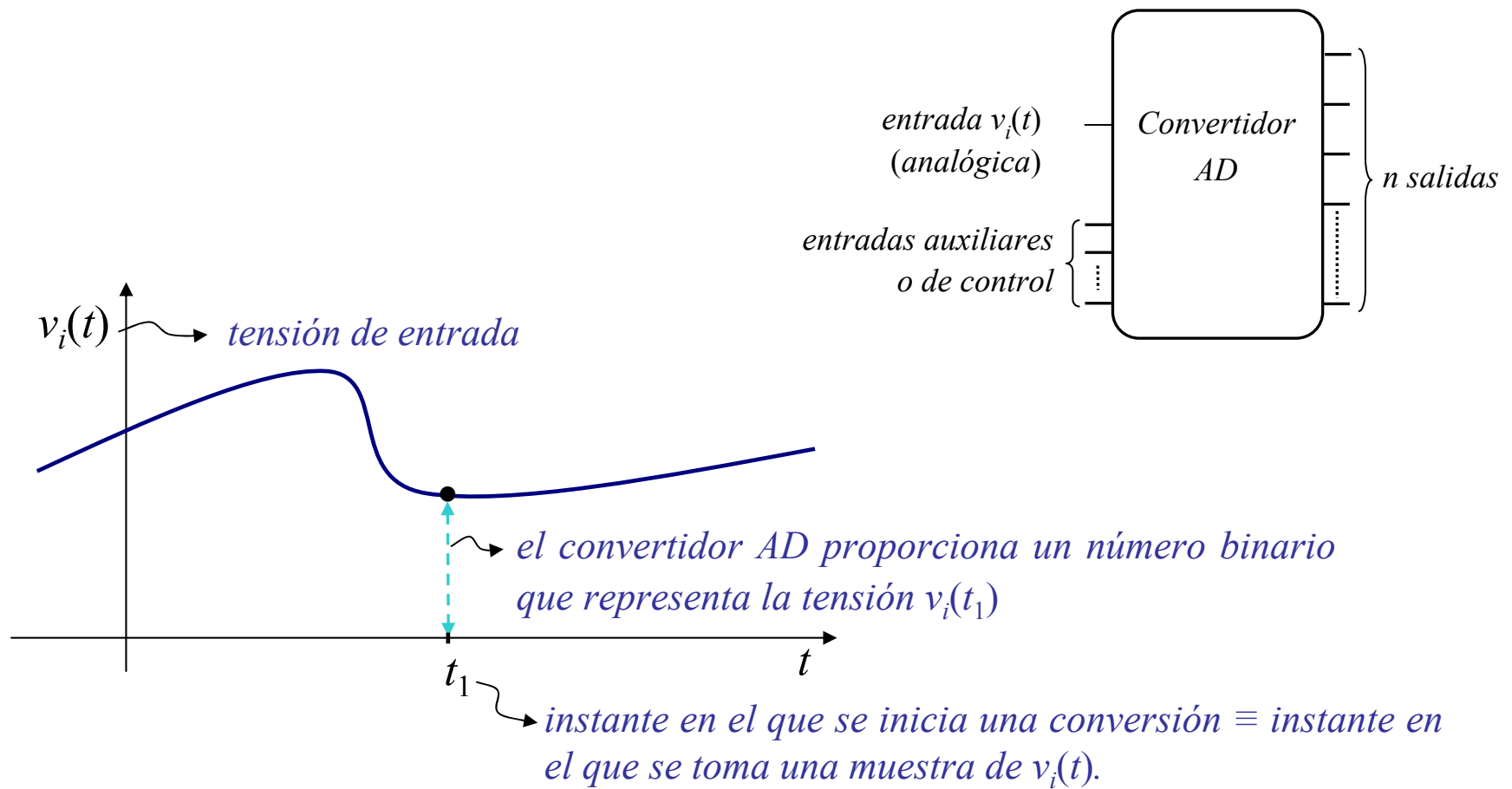


Analog to digital converter (A/D converter). Characteristics

- Un convertidor AD de n bits es un circuito con 1 entrada (*analógica*) y n salidas binarias que en conjunto representan un valor *digital*.
- Cada vez que se realiza una conversión, las n salidas del convertidor toman un valor comprendido entre 0 y 2^n-1 , el cual representa el valor de la tensión existente en la entrada del convertidor en el instante en el que se inicia la conversión.





Nota: realizar una conversión AD equivale a 'tomar una muestra' de la señal presente en la entrada.

- Un convertidor AD sólo puede medir tensiones de entrada comprendidas entre dos tensiones dadas, denominadas *tensiones de referencia*: V_{ref+} y V_{ref-} .

Nota: en el convertidor AD del PIC18F452: $V_{ref-} \geq V_{SS}-0.3V$ y $V_{ref+} \leq V_{DD}+0.3V$

- Dado que las n salidas de un convertidor AD de n bits sólo pueden representar 2^n valores distintos y que la tensión presente en la entrada puede tomar *infinitos* valores distintos, la representación de la tensión de entrada mediante un número binario de n bits conlleva, en general, un *error*. Más adelante se verá que el valor máximo de dicho error es igual a la *resolución* del convertidor, si la cuantificación se realiza por *truncamiento*, y que es igual a la mitad de la *resolución* si la *cuantificación* se realiza por *redondeo*.

- Se define la *resolución* (λ) de un convertidor AD como el valor *mínimo* en el que debe aumentarse o reducirse la tensión de entrada ($v_i \pm \lambda$) para que, con independencia del valor que tenga la tensión de entrada (v_i), se produzca un cambio de valor en la salida del convertidor que corresponde al dígito menos significativo.

▪ Una conversión AD consta de las siguientes etapas (operaciones):

1º: *muestreo (sample)*: se obtiene una ‘copia’ la tensión a medir.

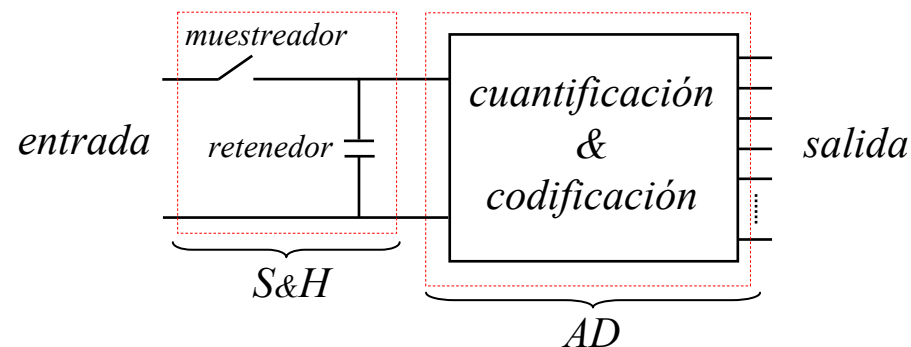
2º: *retención (hold)*: mantiene constante el valor de la tensión a medir mientras se realiza la conversión.

3º: *cuantificación*: se le asigna un valor (un número) a la tensión de entrada a medir.

4º: *codificación*: se representa el valor asignado a la tensión de entrada en un código binario. Los códigos más utilizados son:

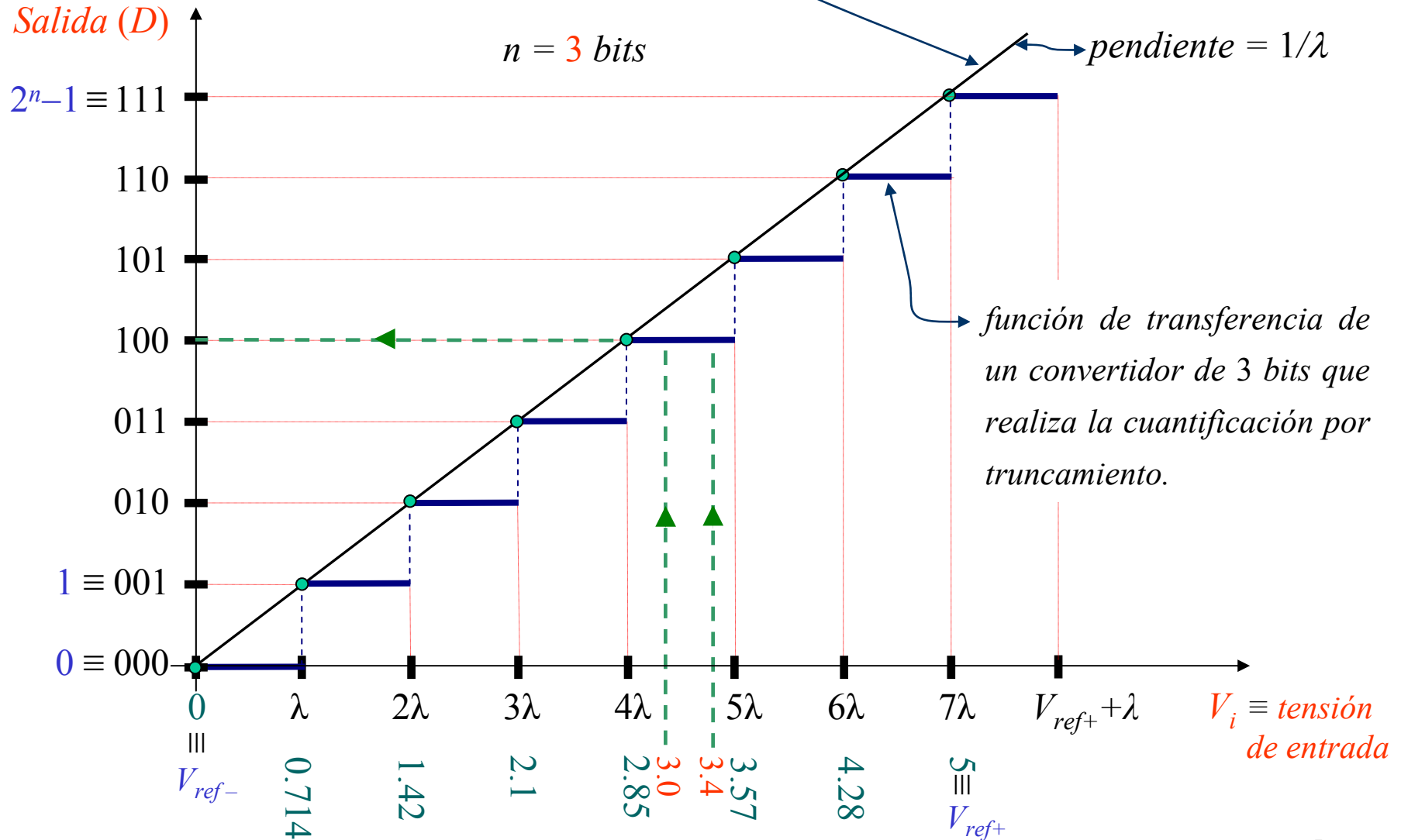
_ En convertidores AD unipolares: *binario natural* y *BCD_{natural}*

_ En convertidores AD bipolares: *código signo-magnitud* y *código complemento a 2*



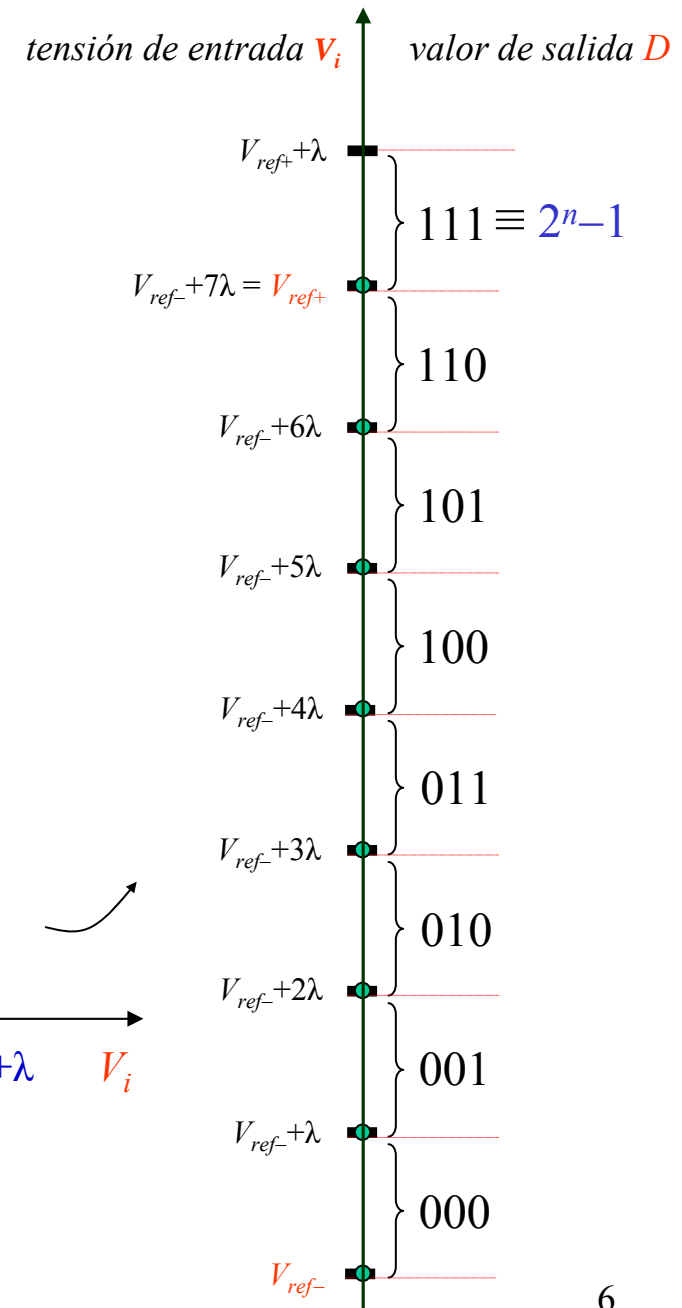
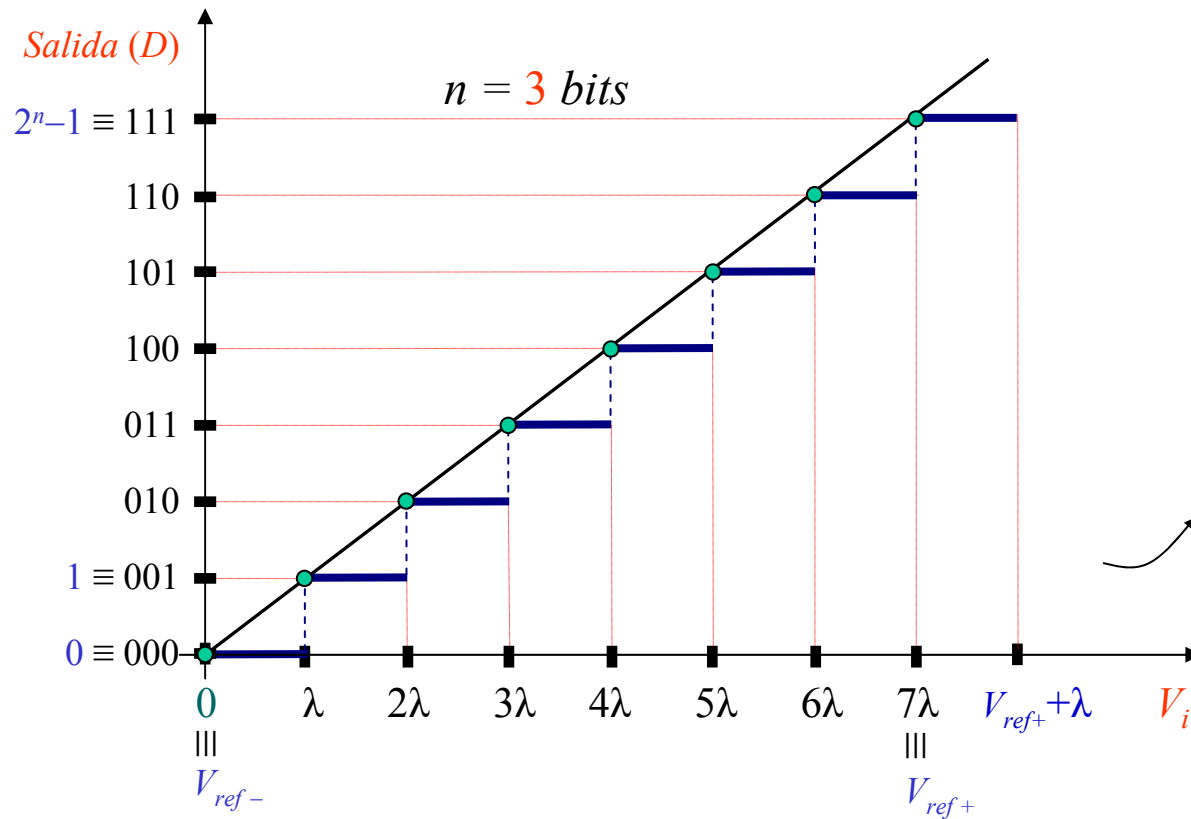
Tipo de cuantificación: *truncamiento*

$$V_i \in [V_{ref-}, V_{ref+} + \lambda]$$



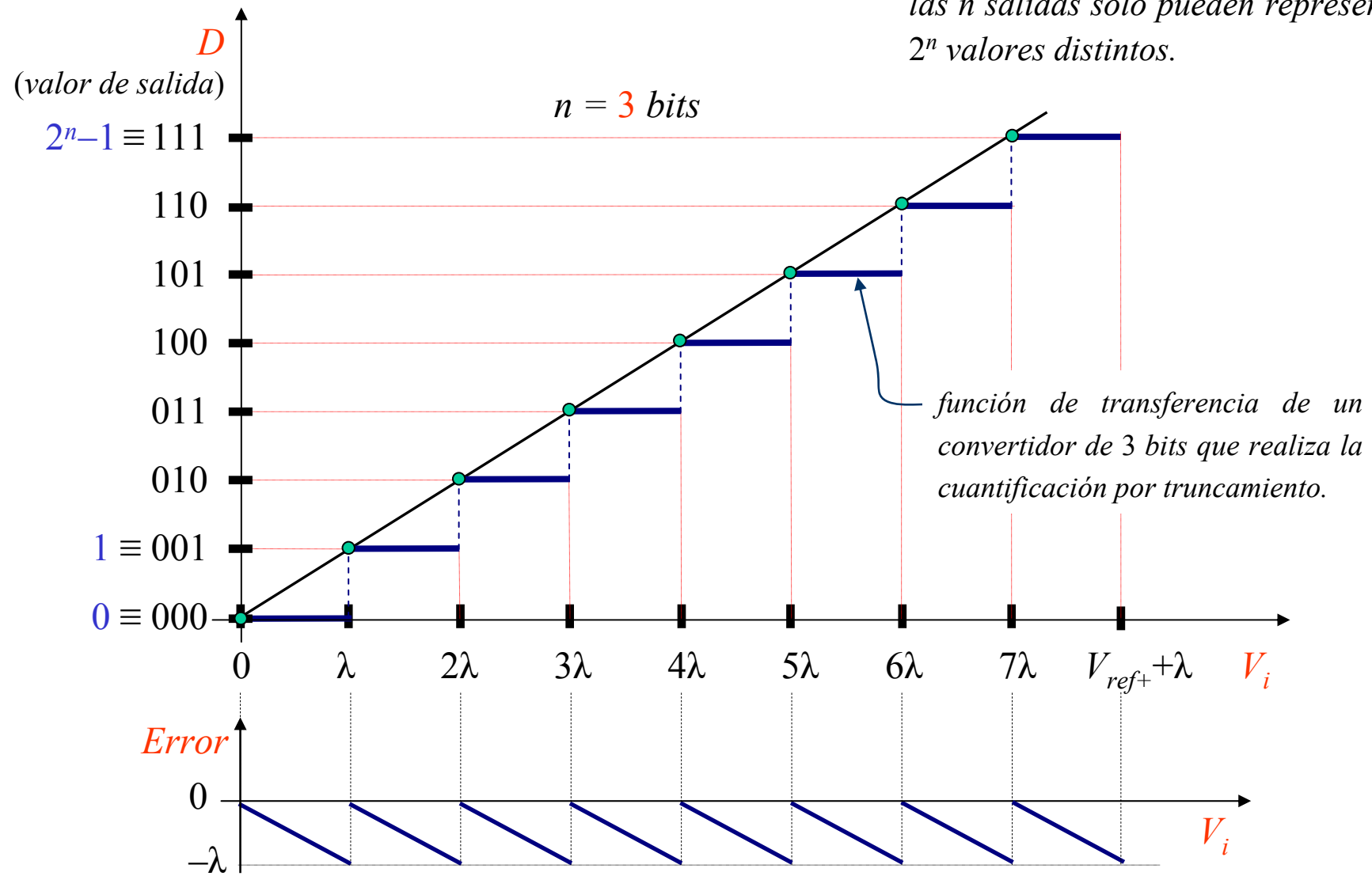
Preguntas:

- a) ¿Qué tensiones se convierten de forma exacta?
- b) ¿Qué rango de tensiones se aproximan por el valor 010?



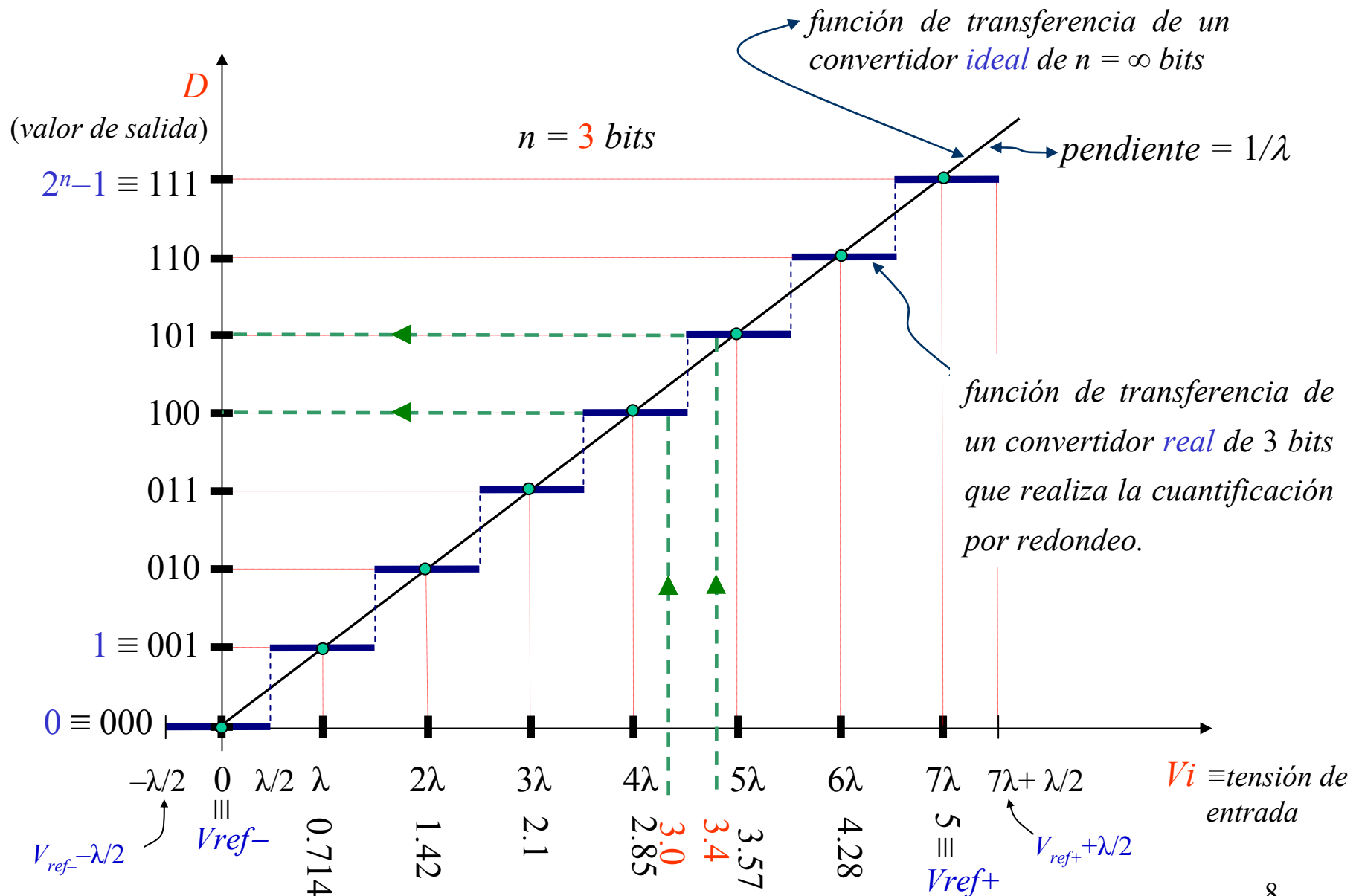
Error de cuantificación por *truncamiento*

Nota: la tensión de entrada puede tomar infinitos valores distintos, pero las n salidas sólo pueden representar 2^n valores distintos.



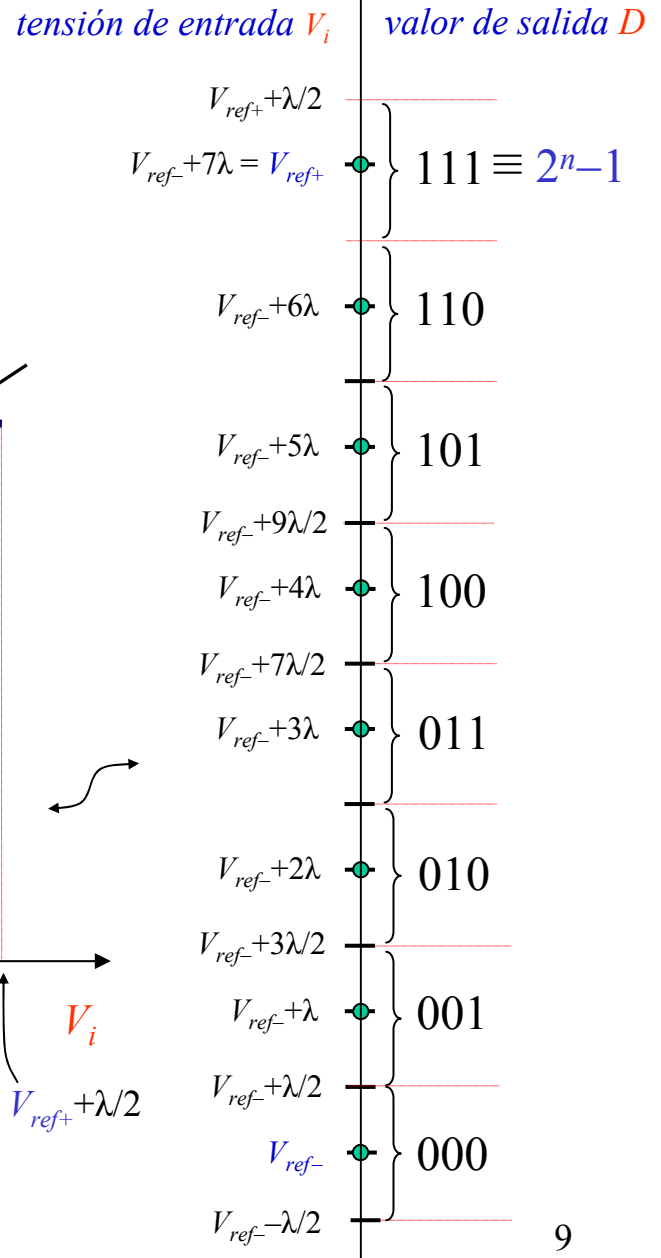
Tipo de cuantificación: *redondeo*

$$V_i \in [V_{ref-} - \lambda/2, V_{ref+} + \lambda/2]$$



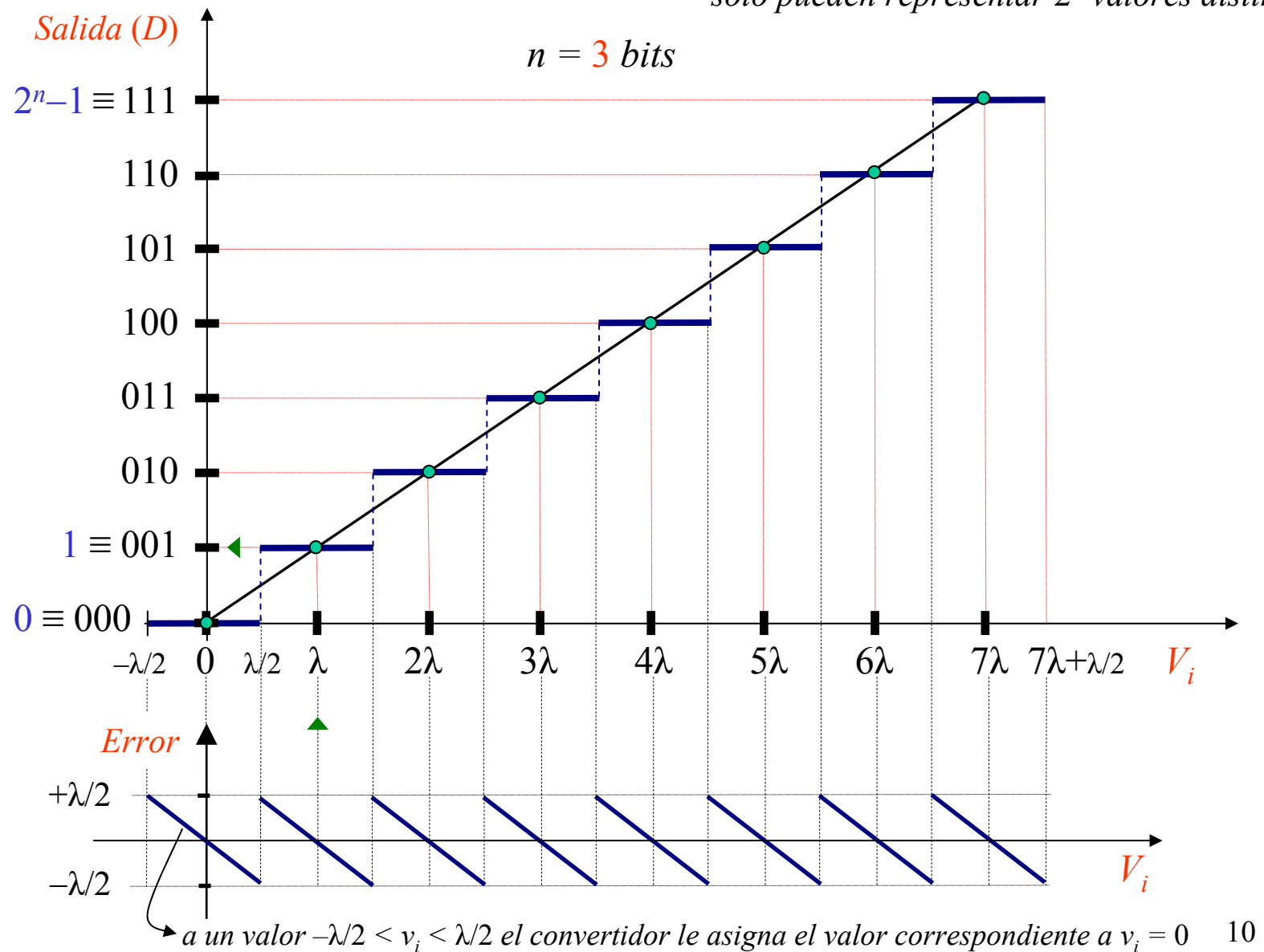
a) ¿Qué tensiones se convierten de forma exacta?

b) ¿Qué rango de tensiones se aproximan por el valor 100?



Error de cuantificación por *redondeo*

Nota: la tensión de entrada puede tomar infinitos valores distintos, pero las n salidas sólo pueden representar 2^n valores distintos.



- La resolución (λ) de un convertidor AD de n bits cumple lo siguiente:

$$\frac{2^n - 1 - 0}{V_{ref+} - V_{ref-}} = \frac{1 - 0}{\lambda - 0} \rightarrow \lambda = \frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{2^n - 1} \approx \frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{2^n}$$

th. de Tales

aproximar $2^n - 1$ por 2^n tiene la ventaja de que la división de una cantidad por 2^n se realiza en mucho menos tiempo que la división por $2^n - 1$ (ver ejemplos en la siguiente página).

Nota: hay aplicaciones en las que no es necesario determinar el valor de la tensión de entrada correspondiente al valor proporcionado por el convertidor AD.

Ejemplo: un convertidor AD de $n = 10$ bits, con $V_{ref+} = 5\text{v}$ y $V_{ref-} = 0\text{v}$ tiene una resolución de:


$$\lambda = \frac{5-0}{2^{10}-1} = 0.0048875\text{V} \simeq \frac{5-0}{2^{10}} = 0.0048828\text{V}$$

Ejemplo: un convertidor AD de $n = 10$ bits, con $V_{ref+} = 4\text{v}$ y $V_{ref-} = 2.5\text{v}$ tiene una resolución de:

$$\lambda = \frac{4-2,5}{2^{10}-1} = 0.0014662\text{V} \simeq \frac{4-2,5}{2^{10}} = 0.0014648\text{V}$$

- A continuación se indica la relación entre el valor (D_{10}) de la salida de un convertidor AD de n bits, que codifica el valor de las muestras en *binario natural*, y la tensión de entrada V_i .

$$\frac{2^n - 1 - 0}{V_{ref+} - V_{ref-}} = \frac{D_{10} - 0}{V_i - V_{ref-}} \quad \Leftrightarrow \quad V_i = \lambda \cdot D_{10} + V_{REF-}$$


th. de Tales

De acuerdo con lo visto en las páginas anteriores, el *error máximo* (en valor absoluto) que se comete al aplicar la expresión anterior es igual a λ voltios, si el convertidor AD realiza la *cuantificación* por *truncamiento* y es igual a $\lambda/2$ voltios, si la cuantificación la realiza por *redondeo*.

Nota: al aplicar la expresión anterior no se comete un error si la tensión de entrada corresponde a una de las 2^n tensiones que el convertidor AD de n bits puede convertir de forma exacta.

Ejemplo: un convertidor AD de $n = 10$ bits, con $V_{ref+} = 5\text{v}$ y $V_{ref-} = 3\text{v}$, presenta una salida $D = 1101011101_2 = 861_{10}$. La tensión de entrada correspondiente es (aprox.):

$$V_i \simeq \lambda \cdot D_{10} + V_{REF-} = 1,955 \cdot 10^{-3} \times 861 + 3 = 4,683\text{V}$$

*Nota***:* quizás el criterio más importante a la hora de elegir el número de bits (n) de un convertidor AD consiste en que la resolución λ a que dan lugar los n bits represente un error despreciable a la hora de calcular el valor de la tensión de entrada a partir del valor (D) proporcionado por el convertidor.

Ejercicio: ¿Es posible que 2 convertidores AD, que tienen el mismo número de bits, tengan resoluciones distintas?. ¿Cómo?

Ejercicio: ¿Qué se puede hacer para obtener unas medidas más precisas (con un error medio menor)?. ¿Por qué?

Ejercicio: ¿Es cierto que los convertidores AD miden algunas tensiones de forma exacta?. En caso afirmativo, dime de qué tensiones se trata. Te planteo la pregunta de otra forma, ¿cuántas tensiones (distintas) convierte de forma exacta un convertidor AD de n bits?.

Nota: Además de lo indicado en las diapositivas anteriores, existen varios parámetros que influyen en la elección de un convertidor AD como, por ejemplo, el *tiempo de conversión*, el *error de offset*, el *error de ganancia*, etc.

Problema práctico: si se muestrea una tensión v_i con un convertidor AD de n bits, teóricamente el convertidor AD puede distinguir hasta 2^n valores distintos de la tensión de entrada, siempre que se cumpla lo siguiente:

Cuantificación por truncamiento:

$$v_{ref+} \leq v_{i-max} < v_{ref+} + \lambda \quad \rightarrow \quad v_{i-max} \cong v_{ref+}$$

$$v_{i-min} = v_{ref-} \quad \rightarrow \quad v_{i-min} = v_{ref-}$$

Cuantificación por redondeo:

$$v_{ref+} - \lambda/2 < v_{i-max} < v_{ref+} + \lambda/2 \quad \rightarrow \quad v_{i-max} \cong v_{ref+}$$

$$v_{ref-} - \lambda/2 < v_{i-min} < v_{ref-} + \lambda/2 \quad \rightarrow \quad v_{i-min} \cong v_{ref-}$$

Si se cumple que:

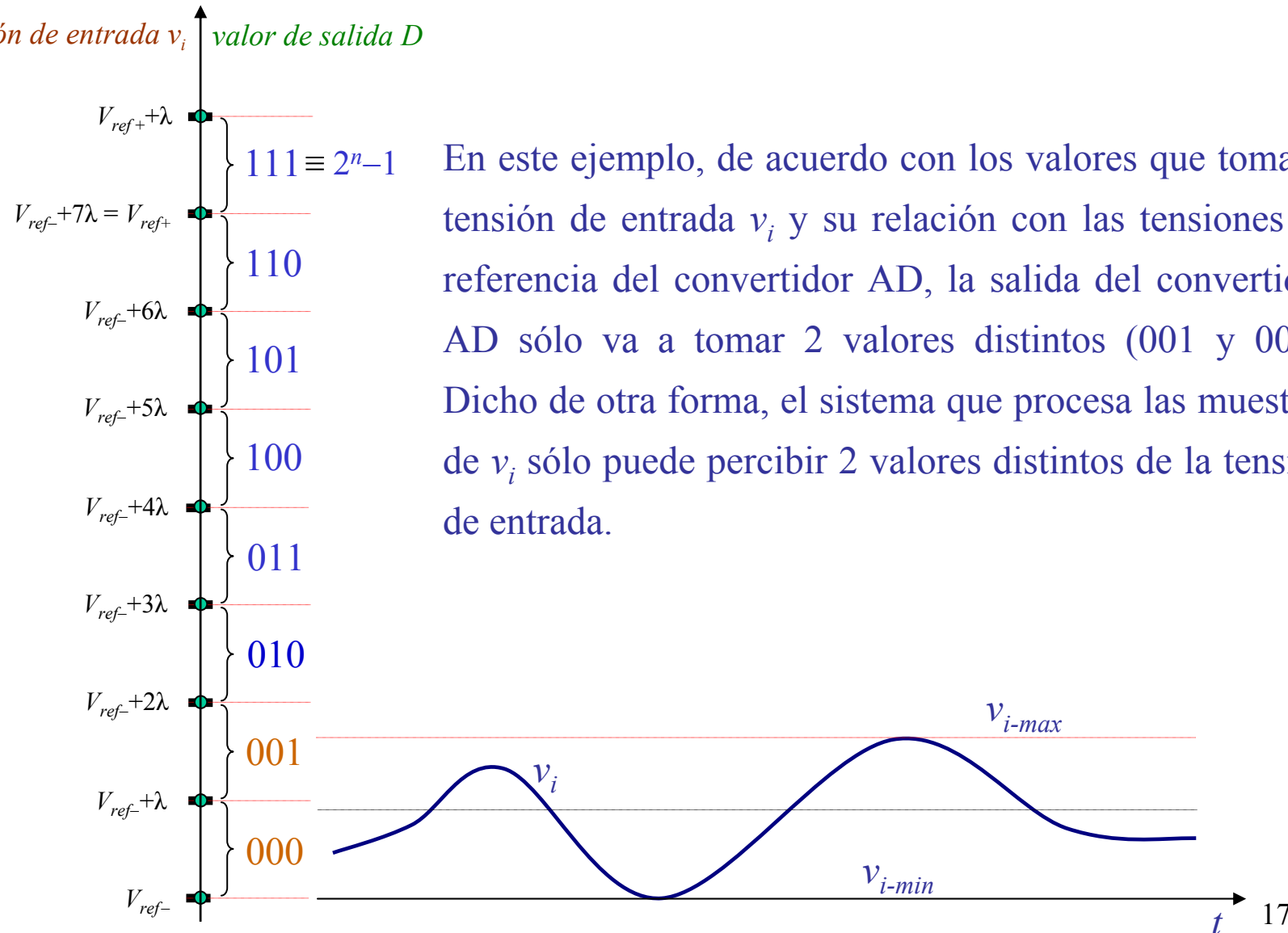
truncamiento: $v_{i-max} < v_{ref+}$ y $v_{i-min} > v_{ref-} + \lambda$

redondeo: $v_{i-max} < v_{ref+} - \lambda/2$ y $v_{i-min} > v_{ref-} + \lambda/2$

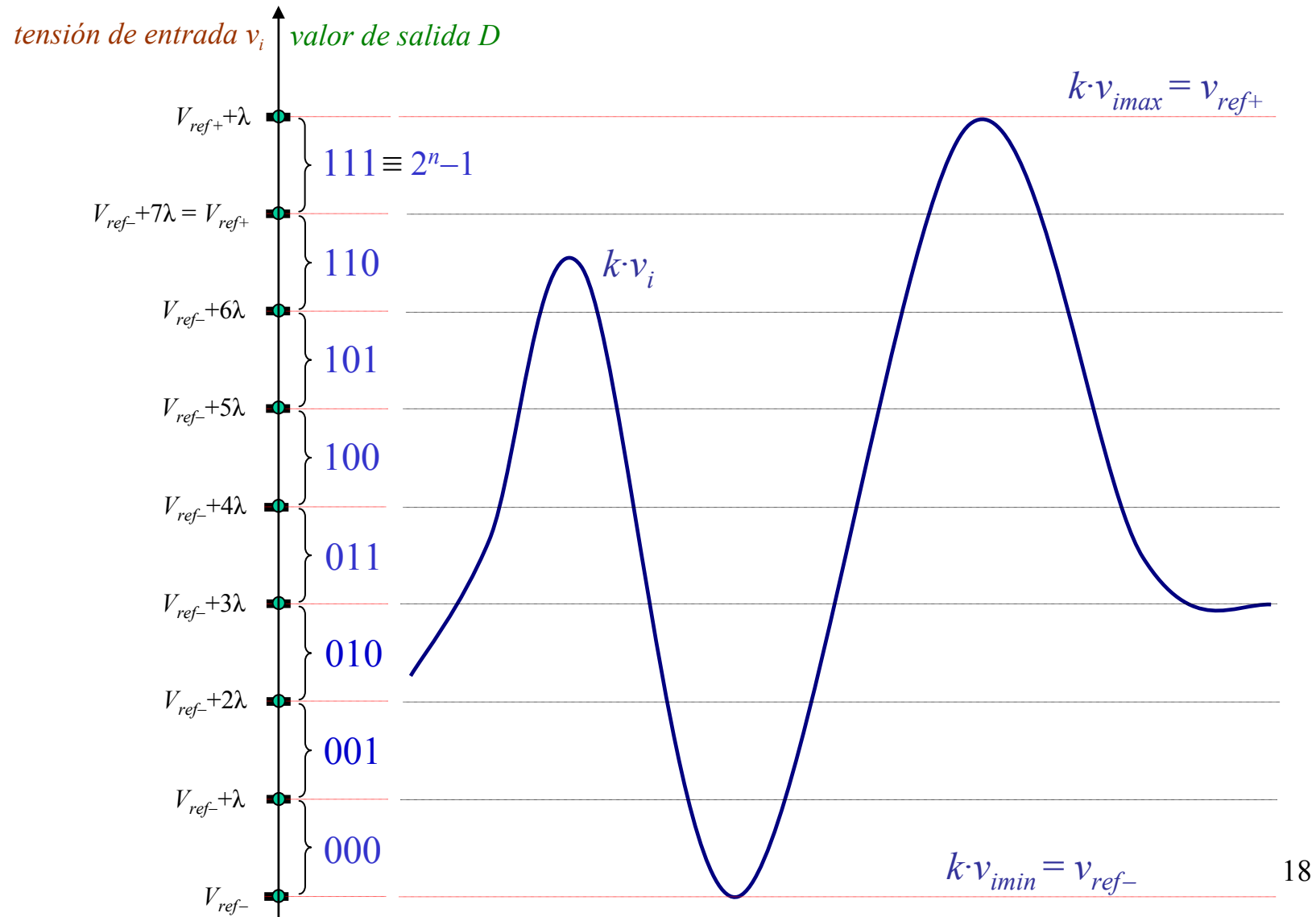
el convertidor AD no puede distinguir 2^n valores distintos de la tensión de entrada...

Ejemplo de un mal muestreo de una tensión v_i con un convertidor de $n = 3$ bits que realiza la cuantificación por truncamiento.

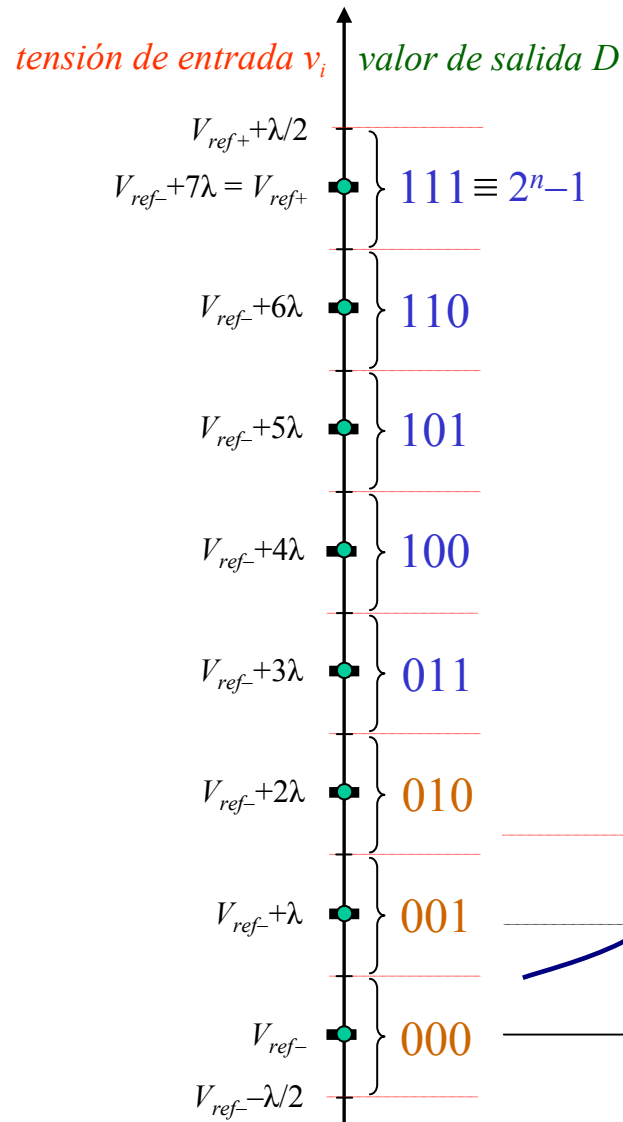
tensión de entrada v_i valor de salida D



Una solución al problema anterior: si antes de muestrear la señal v_i se amplifica, de modo que se cumpla que $k \cdot v_{imax} = v_{ref+}$ y $k \cdot v_{imin} = v_{ref-}$, se consigue distinguir 2^n valores distintos de $k \cdot v_i$ y, por lo tanto, 2^n valores distintos de v_i .

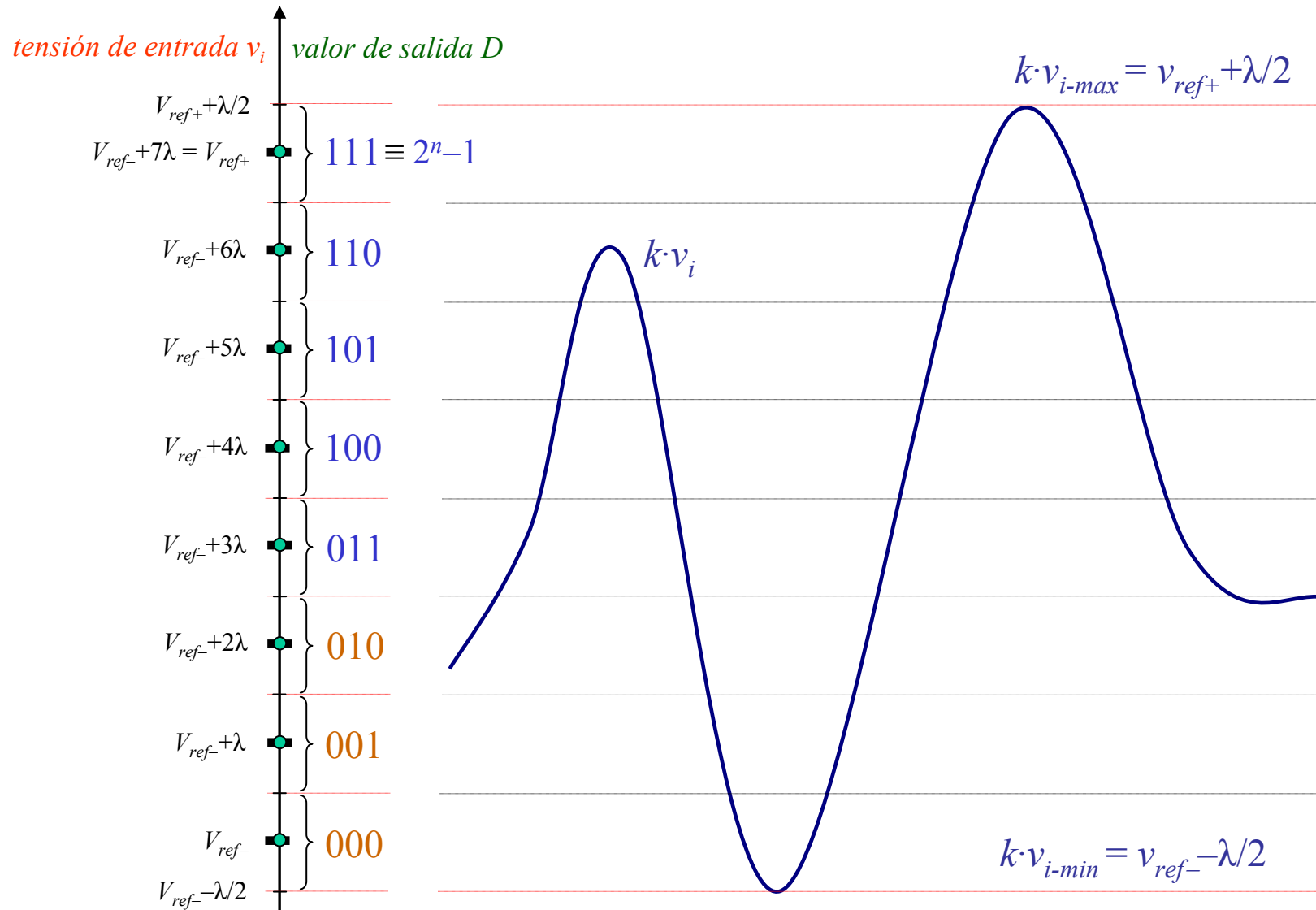


Ejemplo de un mal muestreo de una tensión v_i con un convertidor de $n = 3$ bits que realiza la cuantificación por redondeo.



En este ejemplo, de acuerdo con los valores que toma la tensión de entrada v_i y su relación con las tensiones de referencia del convertidor AD, la salida del convertidor AD sólo va a tomar 3 valores distintos (010, 001 y 000). Dicho de otra forma, el sistema que procesa las muestras de v_i sólo puede percibir 3 valores distintos de la tensión de entrada.

Una solución al problema anterior: si antes de muestrear la señal v_i se amplifica, de modo que se cumpla que $k \cdot v_{imax} = v_{ref+} + \lambda/2$ y $k \cdot v_{imin} = v_{ref-} - \lambda/2$, se distinguen 2^n valores distintos de $k \cdot v_i$ y, por lo tanto, se distinguen 2^n valores distintos de v_i .



Nota: hay convertidores AD que permiten modificar los valores de sus tensiones de referencia. Esta opción proporciona otra forma de lograr que los valores máximo y mínimo que toma la tensión de entrada sean aproximadamente iguales a las tensiones de referencia del convertidor. A veces se modifican los valores de las tensiones de referencia y se amplifica (o se atenúa) la tensión de entrada.

En el caso del PIC18F452, se cumple lo siguiente (pág. 287-8 de las *datasheet*):

- Si $V_{DD} < 3V$, entonces: $v_{ref+} - v_{ref-} \geq 1,8V$
- Si $V_{DD} \geq 3V$, entonces: $v_{ref+} - v_{ref-} \geq 3V$
- $V_{SS} < v_{ref+} < V_{DD} + 0,3V$
- $V_{SS} - 0,3V \leq v_{ref-} \leq v_{ref+} - 1,8V$ si $V_{DD} < 3V$
- $V_{SS} - 0,3V \leq v_{ref-} \leq v_{ref+} - 3V$ si $V_{DD} > 3V$
- $V_{SS} - 0,3V \leq v_i \leq V_{DD} + 0,3V$
- Se recomienda que la impedancia de v_i sea menor que $2k5\Omega$
(ver tabla 22-21 de las hojas de datos del PIC18Fxx2)

Notas para el PIC18F452:

El PIC18F452 dispone de 1 convertidor AD de 10 bits, el cual se caracteriza por lo siguiente:

- Tiene 8 canales analógicos (AN0-AN7), repartidos entre el PORTA y el PORTE, a los que se le puede aplicar una tensión analógica y muestrearla con el convertidor AD del PIC.
- El módulo AD se configura y se controla por medio de los registros ADCON0 y ADCON1 (ver página siguiente)
- El funcionamiento interno del módulo AD está sincronizado con una señal de reloj de frecuencia f_{AD} . Dicha señal de reloj se puede obtener de un circuito oscilador interno del μC (f_{RC}) o a partir de la señal de reloj del μC (F_{osc}). En cualquier caso, el valor de f_{AD} no debe ser superior a:

$$f_{AD} = \frac{1}{T_{AD}} \leq \frac{1}{1,6\mu seg} = 625kHz$$

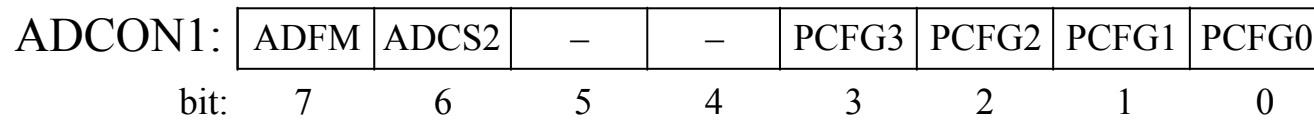
Nota: T_{AD} es el tiempo mínimo de conversión por bit ($T_{AD} \geq 1.6\mu seg$).

- El módulo AD se configura y se controla por medio de los registros ADCON0 y ADCON1

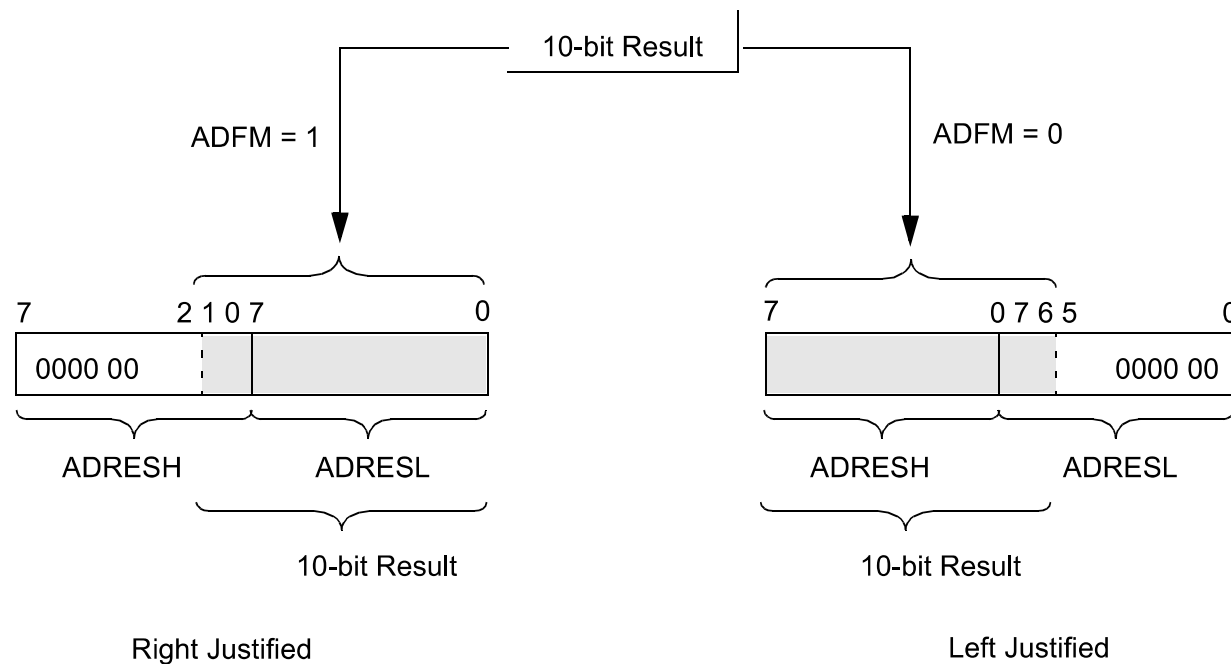
ADCON0:	ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	–	ADON
bit:	7	6	5	4	3	2	1	0

ADCON1:	ADFM	ADCS2	–	–	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit:	7	6	5	4	3	2	1	0

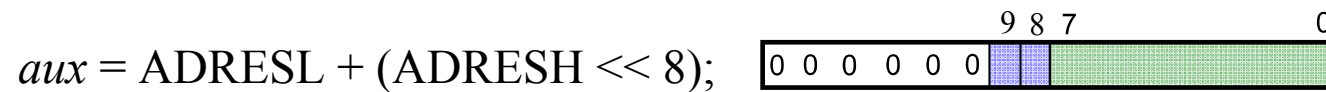
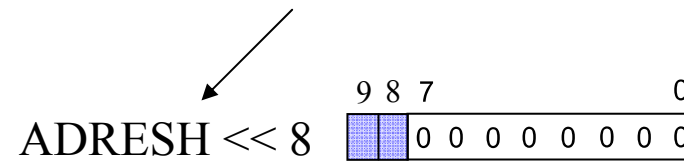
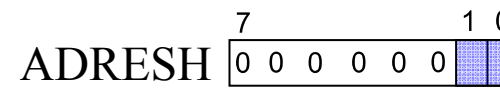
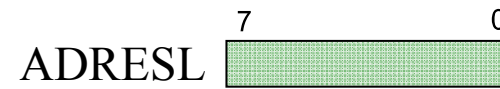
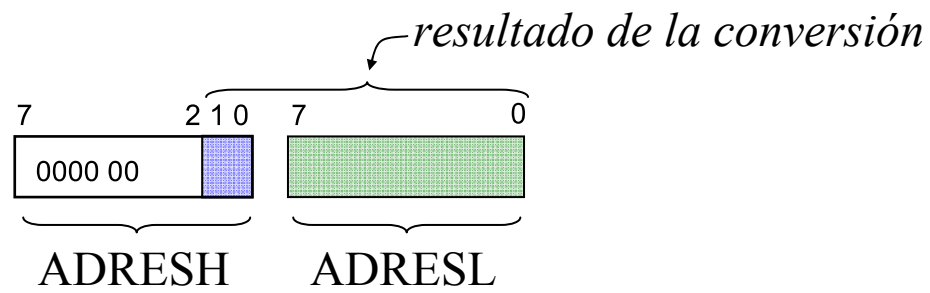
- Por medio de los bits ADCS2, ADCS1 y ADCS0 se establece el valor del *prescaler* con el que se fija la frecuencia de reloj del módulo AD.
- Con los bits CHS2, CHS1 y CHS0 se establece el canal analógico (ANx) que se conecta a la entrada del convertidor AD. Cuando se ponga a 1 el bit GO, el módulo AD realizará una conversión [\equiv convertirá el valor de la tensión presente en el canal AN seleccionado en un valor digital, codificado en binario utilizando 10 bits].
- El bit ADON sirve para encender el módulo AD (que se ponga este bit a 1 no significa que el módulo AD se ponga a realizar una conversión).



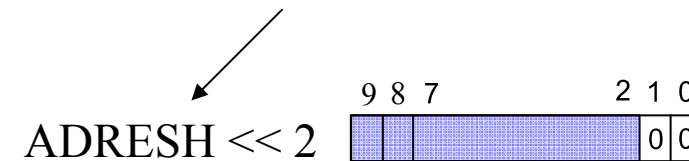
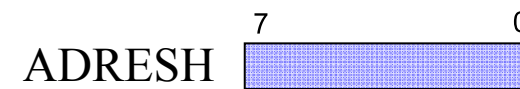
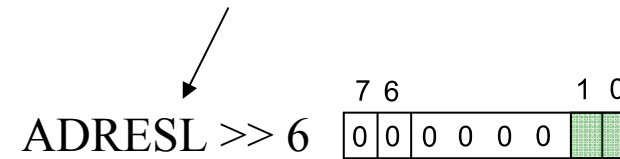
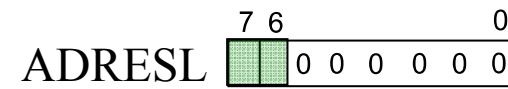
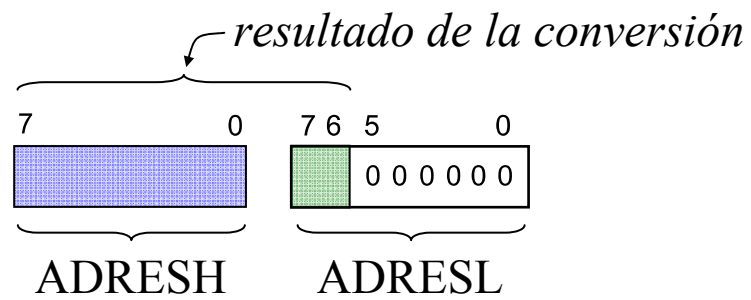
- El resultado de una conversión (valor representado con 10 bits) se guarda en dos registros de 8 bits denominados ADRESH y ADRESL. La forma en la que se guarda el resultado de la conversión (10 bits) en estos registros depende del valor del bit ADFM:



ADFM = 1



ADFM = 0



$$aux = (ADRESL \gg 6) + (ADRESH \ll 2);$$

9 8 7 2 1 0

0 0 0 0 0 0

ADCON1:	ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit:	7	6	5	4	3	2	1	0

▪ Los bits PCFG <3:0> sirven para:

_ configurar los terminales ANx del microcontrolador como terminales analógicos (A) o bien como terminales de entrada/salida digitales (D).

_ establecer de dónde se obtienen las tensiones de referencia V_{REF+} y V_{REF-}

PCFG <3:0>	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0	VREF+	VREF-	C / R
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8 / 0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	7 / 1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5 / 0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	4 / 1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3 / 0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	AN3	VSS	2 / 1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	—	—	0 / 0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	6 / 2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6 / 0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	5 / 1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	4 / 2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	3 / 2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	2 / 2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1 / 0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	AN3	AN2	1 / 2

Nota: hay que tener siempre presente que cuando se pone en funcionamiento el microcontrolador o bien cuando éste sale de un *reset*, los terminales AN están configurados por defecto como terminales analógicos. Si ésta no es la configuración deseada, hay que cambiarla por software escribiendo los valores adecuados en los bits PCFG <3:0> del registro ADCON1.

Ejemplos:

ADCON1 = 0x07; // se configuran todos los terminales AN como digitales (D)

ADCON1 = 0x00; // se configuran todos los terminales AN como analógicos y las tensiones de referencia (V_{REF+} y V_{REF-}) se obtienen de las tensiones de alimentación del microcontrolador (5V y 0V)

Nota: V_{DD} es la tensión de alimentación (+) del microcontrolador y V_{SS} es la tensión de alimentación negativa (masa).

A la hora de realizar una conversión AD deben seguirse los siguientes pasos:

- Configurar como entradas el terminal o terminales analógicos (ANx) a utilizar.
- En el registro ADCON1 configurar como analógicos (AN) los terminales a utilizar e indicar de dónde se obtienen las tensiones de referencia (V_{ref+} y V_{ref-}) del convertidor.
- Indicar en el registro ADCON0 el canal analógico en el que se aplica la tensión que se va a muestrear, el valor del *prescaler* que establece la frecuencia de reloj (f_{AD}) del convertidor AD y encender el módulo AD (ADON = 1)
- Configurar la interrupción del convertidor AD:

PIR1.ADIF = 0;

PIE1.ADIE = 1;

INTCON.PEIE = 1;

INTCON.GIE = 1;

Nota: desde que se enciende el módulo AD o desde que se cambia de canal analógico hay que esperar al menos 15 μ seg antes de iniciar una conversión AD (\equiv poner el bit G0 a 1)

- Esperar a que se produzca la interrupción ($\text{PIR1.ADIF} = 1$) o a que el bit GO se ponga a cero (ver registro ADCON0).
- Leer el resultado de la conversión en los registros ADRESH y ADRESL y poner el bit PIR1.ADIF a cero (si es necesario).
- Para realizar una nueva conversión, después de indicado el canal analógico a muestrear, es necesario esperar un mínimo de $2T_{AD}$ antes de poner el bit GO a 1. Siempre que se cambie el canal analógico a muestrear, es necesario esperar al menos unos $15\mu\text{seg}$ antes de iniciar una nueva conversión ($\text{GO} = 1$).
- El bit GO/DONE no debe ponerse a 1 en la misma instrucción en la que se pone a 1 el bit ADON (ver pág 187 de las hojas de datos). Primero hay que poner el bit ADON a 1 y después (en otra instrucción) hay que poner el bit GO a 1.

Ejemplo de cálculo del valor del $prescaler_{AD}$:

$$F_{osc} - \boxed{prescaler\ AD} - f_{AD}$$

Supóngase que la señal de reloj del μC tiene una frecuencia $F_{osc} = 8\text{MHz}$ ($8 \cdot 10^6$ Hercios). Dado que la señal de reloj del convertidor AD no puede tener una frecuencia superior a 625kHz, el menor valor del $prescaler$ que se puede elegir para generar la señal de reloj del convertidor AD a partir de la señal F_{osc} es:

$$f_{AD} = \frac{F_{osc}}{prescaler_{AD}} \leq 625\text{kHz} \Leftrightarrow prescaler_{AD} \geq \frac{F_{osc}}{625 \cdot 10^3} = \frac{8 \cdot 10^6}{625 \cdot 10^3} = 12,8$$

De acuerdo con el resultado anterior, el $prescaler$ más pequeño que se puede elegir es: 16. Para establecer este valor hay que poner $ADCS\langle 2:0 \rangle = 101$

Nota: los $prescalers$ elegibles son (ver datasheet): 2, 4, 8, 16, 32 y 64

Pregunta: ¿Qué crees que interesará más, un valor de f_{AD} lo mayor posible o lo menor posible?. ¿Por qué?

Notas acerca de las funciones de la biblioteca del compilador de Mikroelektronika:

1) Para utilizar la función `ADC_Read()` no es necesario ejecutar primero la función `ADC_Init()`. Sin embargo, para utilizar la función `ADC_Get_Sample()` sí es necesario ejecutar primero la función `ADC_Init()`.

2) Se deben configurar siempre los registros que controlan el módulo AD del correspondiente PIC (por ejemplo: `ADCON0` y `ADCCON1`) con independencia de si se ejecuta o no la función `ADC_Init()`.

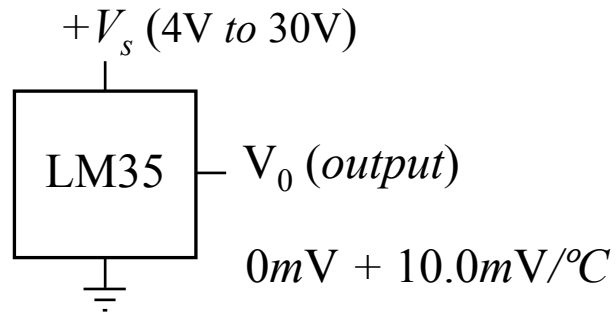
Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española:

Cuantificar: expresar numéricamente una magnitud

Cuantificación: acción y efecto de cuantificar

Cuantizar: aplicar los conceptos y métodos de la mecánica cuántica al estudio de un fenómeno físico

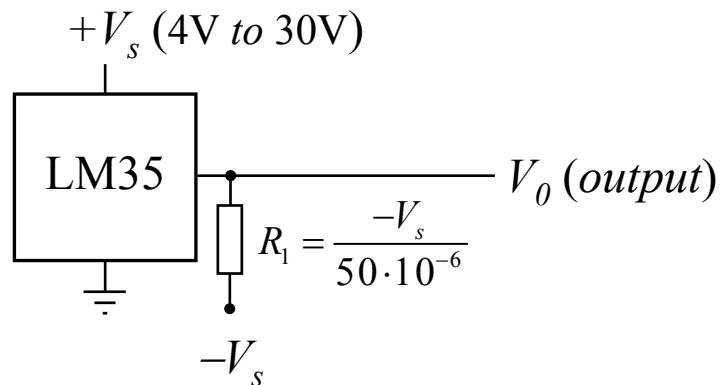
Sensor de temperatura LM35:



$$T_{(^{\circ}\text{C})} = 100 \cdot V_0$$

$$+2^{\circ}\text{C} \text{ to } +150^{\circ}\text{C}$$

V_0 no toma valores negativos



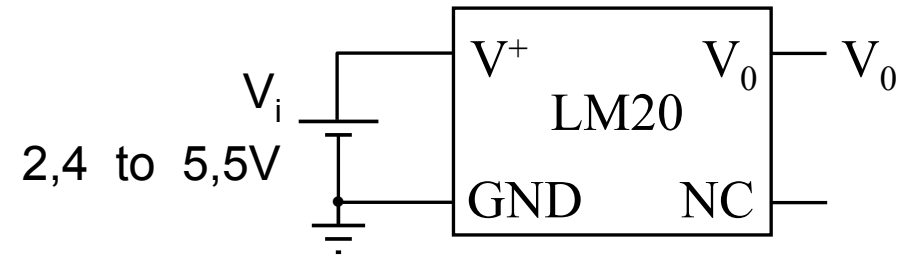
$$T_{(^{\circ}\text{C})} = 100 \cdot V_0$$

$$-55^{\circ}\text{C} \text{ to } +150^{\circ}\text{C}$$

V_0 toma valores negativos

Sensor de temperatura LM20:

El fabricante de este *sensor + circuito acondicionador de señal* indica que la relación entre la tensión (V_0) proporcionada por el dispositivo LM20 y la temperatura del mismo cumple lo siguiente:



$$V_o = -3.88 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + (-1.15 \cdot 10^{-2}) \cdot T + 1.8639$$

$$T = -1481.96 + \sqrt{2.1962 \cdot 10^6 + \frac{(1.8639 - V_o)}{3.88 \cdot 10^{-6}}}$$

Nota: Las expresiones de V_o y de T son válidas para $T \in [-55 \text{ °C}, +130 \text{ °C}]$

Sensor de temperatura NTC:

Las *NTCs* están fabricadas con un material que se caracteriza porque la resistencia (R_{NTC}) que presentan al paso de la corriente eléctrica disminuye con el aumento de la temperatura (a mayor temperatura del material, menor resistencia eléctrica). A nivel matemático, el valor de la resistencia eléctrica de una *NTC* se puede definir mediante la siguiente expresión:

$$R_{NTC} = R_0 \cdot e^{\beta(1/T - 1/T_0)} \quad (1)$$

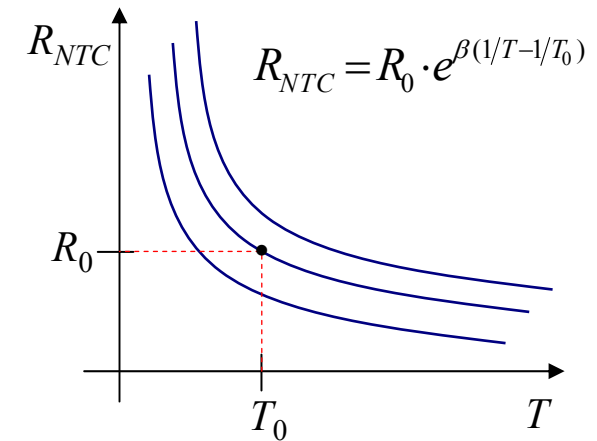
siendo:

R_0 : valor indicado por el fabricante de la resistencia que presenta la *NTC* a la temperatura T_0

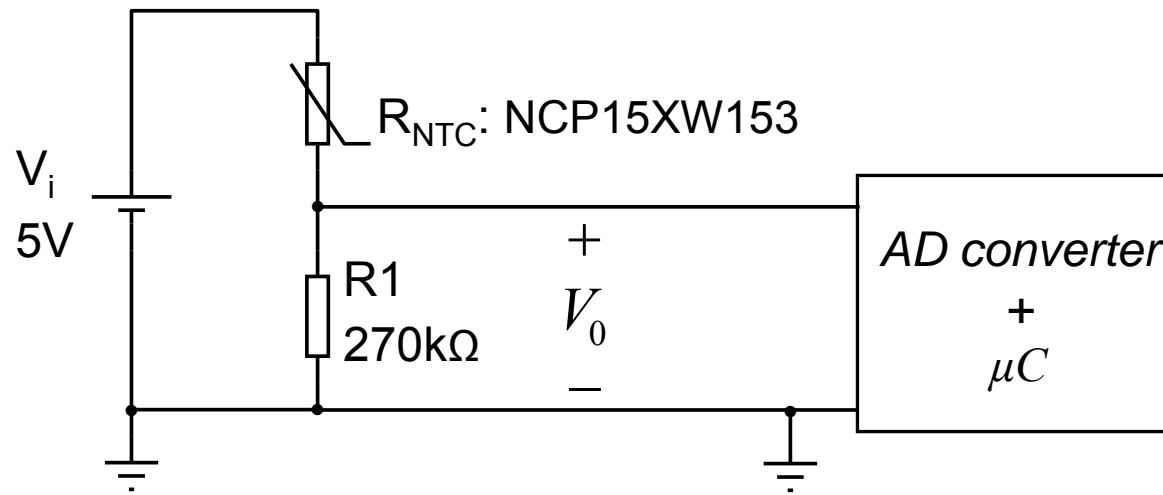
T_0 : temperatura de la *NTC* correspondiente al valor R_0 . Los valores de R_0 y T_0 los proporciona el fabricante y sirven para establecer el comportamiento de la *NTC* con la ayuda de la expresión 1 (el valor típico de T_0 es 298 °K)

β : constante característica del material con el que se ha fabricado la *NTC* (su valor se suele expresar en °K)

T : temperatura del sensor (en °K)



Ejemplo de aplicación:



Datos NCP15XW153: $R_0 = 15\text{k}\Omega$ $T_0 = 298 \text{ }^\circ\text{K}$ $\beta = 3950 \text{ }^\circ\text{K}$ $-40^\circ\text{C} \leq T \leq +125^\circ\text{C}$

1º paso: *Se determina el valor de la resistencia de la NTC correspondiente a la tensión V_0 indicada en el circuito anterior*

$$V_0 = \frac{V_i}{1 + R_{NTC}/R_1} \quad \rightarrow \quad R_{NTC} = R_1 \left[\frac{V_i}{V_0} - 1 \right] \quad (2)$$

2º paso: Se determina la temperatura T de la NTC (en grados kelvin). A partir de la expresión (1), se deduce lo siguiente (el valor de R_{NTC} se ha calculado en el paso anterior):

$$R_{NTC} = R_0 \cdot e^{\beta(1/T - 1/T_0)} \Rightarrow T_{(^{\circ}K)} = \frac{1}{\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{R_{NTC}}{R_0}\right) + \frac{1}{T_0}} = \frac{\beta \cdot T_0}{T_0 \ln\left(\frac{R_{NTC}}{R_0}\right) + \beta}$$

3º paso: Se determina la temperatura de la NTC (en grados centígrados) a partir del valor en grados Kelvin calculado en el paso anterior

$$T_{(^{\circ}C)} = T_{(^{\circ}K)} - 273.15$$

Sensor de presión absoluta MPX4115A:

Este dispositivo está formado por un sensor de presión y un circuito acondicionador de señal, caracterizándose por lo siguiente:

- _ De los 6 terminales que tiene, sólo se utilizan 3 de ellos: V_s (3), GND (2) y V_{out} (1).
- _ El terminal V_{out} presenta una tensión proporcional a la presión (en kPa \equiv *kilopascals*) que percibe, cumpliéndose lo siguiente:

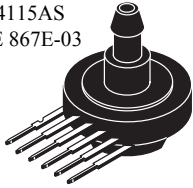
$$V_{out} = V_s (0.009 \cdot P_{kPa} - 0.095) \pm error$$

Si se desprecia el error de medida que presenta el sensor de presión ($\pm 1,5$ kPa) y se considera que la medición de la temperatura se realiza entre 0°C y 85°C, entonces se puede determinar la presión medida a partir de la tensión V_{out} , de acuerdo con la siguiente expresión:

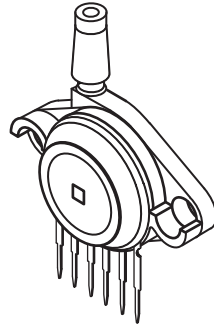
$$P_{kPa} = \frac{(V_{out}/V_s) + 0.095}{0.009} \quad (V_s=5V) = 22.2 \cdot V_{out} + 10.5$$

- _ El rango de presiones que puede medir el MPX4115A es: $15\text{kPa} \leq P \leq 115\text{kPa}$

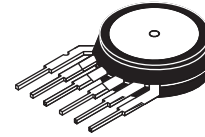
MPX4115AS
CASE 867E-03



MPX4115AP
CASE 867B-04



MPX4115A
CASE 867-08



X4115ASX
CASE 867F-03

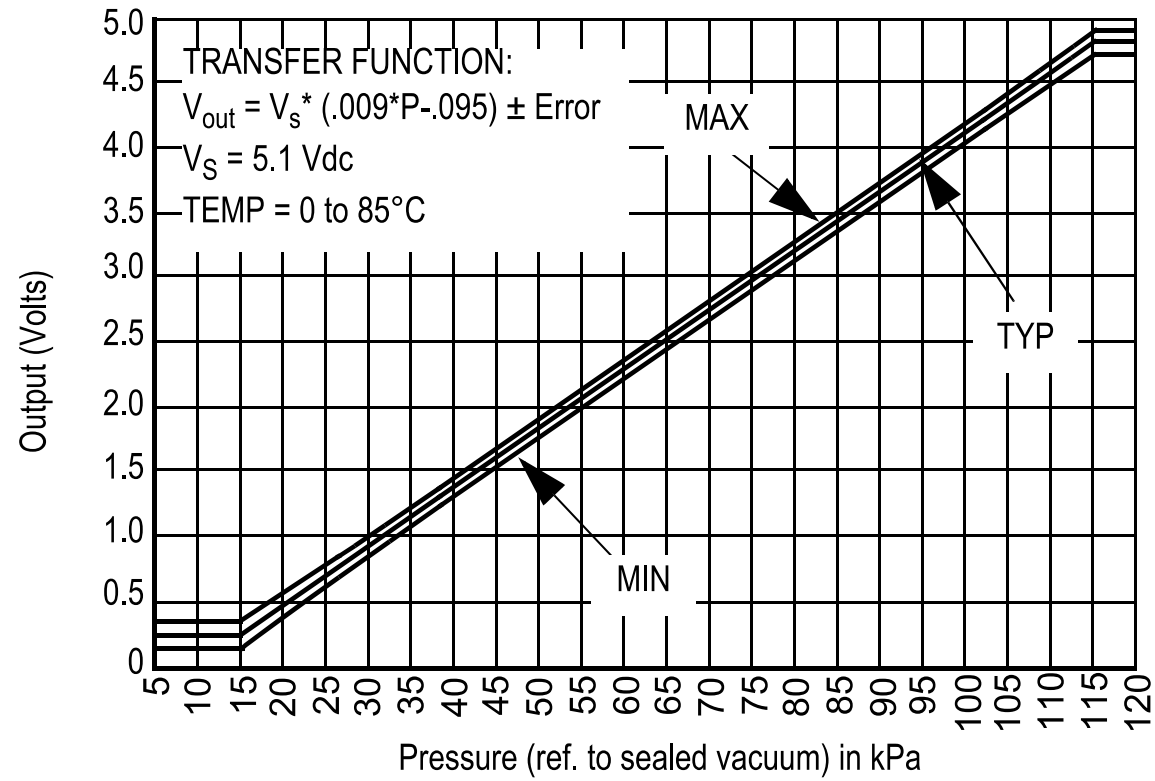
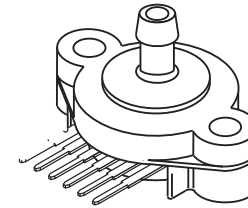


Figure 4: Output versus Absolute Pressure

PIC18F452

