

# Control optoelectrónico en tiempo real de la transparencia de ventanas

## Aplicaciones Domóticas

J. M. S. PENA, C. VÁZQUEZ, I. PÉREZ, I. RODRÍGUEZ, D. PLANELL Y S. VARGAS

GRUPO DE DISPLAYS Y APLICACIONES FOTÓNICAS, ÁREA DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA EPS UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID  
[jmpena@ing.uc3m.es](mailto:jmpena@ing.uc3m.es)

### VISUALIZADORES

En general, la interacción de la luz con la materia da lugar a cuatro tipos de fenómenos [1]: transmisión, reflexión, dispersión (o "scattering") y absorción. Si se definen cuatro coeficientes de potencia relacionados con los citados fenómenos (T, R, S, A) y, considerando una señal luminosa normalizada de potencia unidad, se puede establecer entre ellos la siguiente relación:  
 $T + R + S + A = 1$

El efecto electroóptico que presentan los cristales líquidos (CL) consiste básicamente en que, mediante la aplicación de una señal eléctrica de excitación externa, se puede variar alguno de los coeficientes de la relación anterior a expensas de modificar asimismo uno o varios coeficientes restantes que integran la citada igualdad, ya que la suma de todos ellos debe permanecer constante [2]. En resumen, si alguno de dichos coeficientes aumenta (o disminuye), dicha variación debe ser soportada por otro de los coeficientes implicados, de tal forma que éste o éstos disminuyan (o aumenten). En términos prácticos, lo que esto quiere decir es que, la amplia variedad de dispositivos basados en CL que son capaces de modular la luz por alguno de los mecanismos antes mencionados, se basa en el balance o intercambio de potencia que tiene lugar cuando la señal óptica interactúa con el material CL.

En el caso de los tradicionales y bien conocidos visualizadores nemáticos torsionados (TN-LCD) la transmisión u opacidad del pixel se produce por el balance entre los coeficientes T y A. Estos son los dos mecanismos (transmisión y absorción) que predominan en presencia o ausencia de excitación eléctrica externa (siempre que el dispositivo se haya ele-

gido en configuración de "normalmente negro", por ejemplo, en el montaje con polarizadores paralelos).

Si se utilizan CL colestéricos como sensores de temperatura, ésta produce una variación del "pitch" del material y da lugar a una reflexión selectiva de determinadas longitudes de onda. En este caso, los coeficientes implicados serán R y T o A (dependiendo de las propiedades ópticas del "backplane").

En el caso concreto de dispositivos PDLC, el balance o intercambio de potencia se realiza fundamentalmente entre los coeficientes S (scattering) y T (transmisión) de forma que el resultado neto es una conmutación posible entre un estado opaco (para S máximo y T mínimo) y un estado transparente (para T máximo y S mínimo) en función de la señal eléctrica externa aplicada al dispositivo.

### CONSTRUCCIÓN Y MODO DE FUNCIONAMIENTO DE LAS VENTANAS PDLC

Los PDLC se pueden construir como films o paneles flexibles, de pequeño espesor (habitualmente algunas centenas de micras) y de gran área, de tal forma que el cristal líquido incrustado en la matriz orgánica se encuentra formando pequeñas microgotas distribuidas aleatoriamente, las cuales pueden dispersar fuertemente la luz visible. Estos films se preparan con electrodos transparentes sobre sus caras, de tal forma que cuando se aplica un campo eléctrico de CA sobre los citados electrodos, el CL se reorienta y varía sus propiedades ópticas. La elección de los índices de refracción del CL y del polímero es fundamental para conseguir el comportamiento óptico deseado.

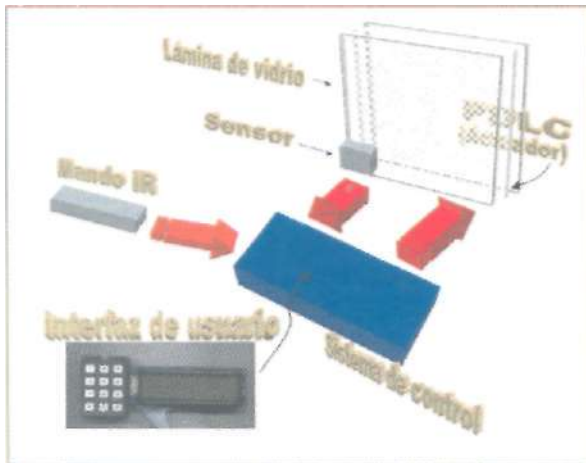


Figura 1. Esquema general del sistema completo desarrollado para el control de la transparencia de las ventanas PDLC.

do. Habitualmente, el índice de refracción del CL reorientado coincide con el de la matriz polimérica y da lugar a un medio homogéneo desde el punto de vista óptico; es decir, la luz no notaría la existencia de dos mesofases diferentes (CL y polímero) a lo largo de su camino óptico. En las citadas condiciones, y en presencia de un campo eléctrico de CA de amplitud suficiente, el material PDLC se hace transparente y la mayoría de la luz que incide sobre él pasa a su través sin sufrir apenas variación. En este tipo de dispositivos, tanto la absorción como la reflexión de la señal luminosa es despreciable frente a los otros dos mecanismos: transmisión y dispersión o scattering.

En resumen, se trata de un dispositivo que en estado OFF (sin excitación eléctrica aplicada) dispersa fuertemente la luz (debido a la desadaptación de índices de refracción entre CL-polímero), lo que confiere al film de PDLC un aspecto lechoso. Por otro lado, al aplicar una tensión de corriente alterna de amplitud suficiente (estado ON), transmite la mayor parte

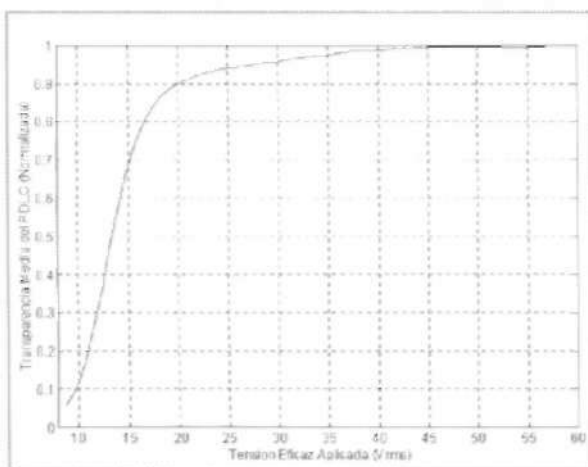


Figura 2. Característica electroóptica del panel PDLC utilizado (suministrado por Snia Ricerche, Italia).

de la luz incidente, sin apenas pérdidas (sólo las debidas a reflexiones entre las interfaces aire-PDLC-aire). Tres características relevantes se pueden deducir de este comportamiento electroóptico:

\*El material PDLC se comporta como un medio dispersor controlable eléctricamente.

\*Para producir este efecto, no se requiere de ningún polarizados y por tanto los niveles de transmisión alcanzados pueden rondar entre el 80 y el 90% de la luz incidente.

\* Existe la posibilidad de obtener niveles intermedios de transmisión si se aplica una señal eléctrica apropiada. La curva electroóptica presenta una pendiente bastante elevada, pero no infinita, lo que origina un número de niveles analógicos intermedios que el usuario puede definir según sus necesidades específicas.

Las citadas características electroópticas confirman a los PDLC como unos excelentes candidatos para construir "ventanas inteligentes" cuya transmisión puede ser regulada de forma automática (por el propio sistema) o manual (por el usuario). En este sentido, se han descrito potenciales aplicaciones de los PDLC como dispositivos reguladores de la luz para invernaderos, ventanas laterales y traseras de vehículos y ventanas de edificios inteligentes [3]. Adicionalmente, se pueden utilizar como "biombos" o ventanas de privacidad controlables eléctricamente en oficinas, escaparates, cabinas telefónicas, etc. [4]. Cuando se aplican en exteriores, se recomienda laminar estos films entre vidrios, al objeto de prolongar su tiempo de vida y evitar el envejecimiento (y por tanto la degradación) del CL por el efecto de los rayos UV de la luz solar.

Cabría pensar que estos dispositivos podrían regular también la energía (calor) de la luz solar cuando se utilizan como ventanas en exteriores. Sin embargo, las pruebas que se han efectuado en este sentido no son demasiado prometedoras [5]. Describiremos, a continuación, el diseño del controlador electrónico que permite estabilizar hasta 4, 8 ó 16 niveles de transmisión en PDLC de gran tamaño, así como la forma de variación de los citados niveles (lineal o logarítmica).

**DISEÑO DEL SISTEMA OPTOELECTRÓNICO**

El sistema optoelectrónico construido para generar la señal eléctrica que hay que aplicar al PDLC y, simultáneamente,

**Tabla 1. Tensión eficaz de la señal de excitación al PDLC para cada nivel de opacidad, escala lineal.**

Nivel de Transparencia	Tensión Eficaz Aplicada al PDLC (V)		
	Número total=4	Número total = 8	Número total=16
1	11.4	10	8.7
2	13.3	11.4	10
3	15.8	12.4	10.7
4	42	13.3	11.4
5		14.3	11.9
6		15.8	12.4
7		18.6	12.9
8		42	13.3
9			13.9
10			14.3
11			15.1
12			15.8
13			16.9
14			18.6
15			24
16			42

**Tabla 2. Tensión eficaz de la señal de excitación al PDLC para cada nivel, escala no lineal.**

Nivel de Transparencia	Tensión Eficaz Aplicada al PDLC (V)		
	Número total = 4	Número total = 8	Número total = 16
1	12.54	10.86	8.83
2	14.87	12.54	10.86
3	16.31	14.1	11.64
4	42	14.87	12.54
5		15.58	13.56
6		16.31	14.1
7		17.83	14.57
8		42	14.87
9			15.28
10			15.58
11			15.98
12			16.31
13			16.59
14			17.83
15			19.97
16			42

medir la luz transmitida a través del dispositivo consta de los siguientes bloques (figura 1):

**\*Ventana o panel PDLC:** el PDLC es el elemento es el dispositivo que varía su transparencia en función del campo eléctrico de CA aplicado en sus electrodos.

**\*El sensor de luz:** recibe la luz transmitida a través del PDLC, permitiendo de esta forma conocer la luz procedente del exterior del edificio. La sensibilidad del sensor de luz es variable y controlable por varias entradas al mismo desde el sistema microcontrolador.

**\*Sistema de control:** representa la parte principal del sistema y es el encargado de recibir la información del sensor de luz (ajustando su sensibilidad), controlar la opacidad del PDLC, y actuar en función de las órdenes introducidas por el usuario a través del interfaz de usuario o el mando a distancia. También controla los mensajes que aparecen a través de dicho interfaz.

**\*Interfaz de usuario:** es el elemento de comunicación entre el usuario y el sistema de control. Permite controlar los parámetros del sistema, además de presentar información relacionada con su estado actual a través de una pantalla de cristal líquido (LCD).

**\*Mando a distancia por infrarrojos (IR):** permite controlar un número limitado de los parámetros del sistema (nivel de opacidad de la ventana) de forma remota.

Asimismo, y aunque no se ha hecho referencia expresa al mismo, existe otro bloque funcional de gran importancia, que es el sistema de alimentación. Éste es el encargado de proporcionar las tensiones necesarias para alimentar el sistema de control, el sensor de luz y el interfaz de usuario.

**FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA**

Una vez estudiado el principio de funcionamiento del PDLC, y haber caracterizado su característica electroóptica, el siguiente paso es desarrollar cómo se controla el nivel de transparencia del PDLC, ya sea de forma manual o cuando el sistema modifica dicho nivel de forma automática.

El encargado de controlar el nivel de transparencia del PDLC es el microcontrolador del sistema digital de control.

Este dispositivo puede, en función de los comandos del usuario, realizar las siguientes operaciones:

\*Fijar una escala de variación lineal o no lineal.

\*Fijar 4, 8 ó 16 niveles de opacidad en el PDLC.

\*Fijar un nivel de transparencia concreto, entre el número de niveles totales elegido.

\*Controlar de forma automática el nivel, en función de las variaciones de la luz exterior al PDLC.

Aunque el sistema que controla el nivel es el microcontrolador, el elemento que actúa sobre el PDLC, esto es, el que aplica el valor correcto de tensión eficaz en sus electrodos, es el driver electrónico. A continuación, se detalla el valor de la tensión eficaz necesaria para conseguir el nivel de opacidad deseado (tanto para la escala de variación lineal como para la no lineal), y cómo regula dicha opacidad el sistema de control de forma automática.

Para fijar los niveles de transmisión se utiliza la curva característica electroóptica media (figura 2), la cual define la relación existente entre la transparencia del PDLC y la tensión eficaz aplicada al mismo. El sistema de control fija dos escalas de variación distintas para el nivel del PDLC: lineal o no lineal. La escala de variación lineal asigna incrementos iguales de transparencia del PDLC, es decir, cada aumento de nivel produce un aumento constante de la transparencia. La escala no lineal o logarítmica, por otro lado, establece un mayor número de niveles en la zona de la curva donde el PDLC es más sensible a variaciones de la tensión aplicada en sus electrodos.

En la tabla 1 se muestra la tensión eficaz que hay que aplicar al PDLC para obtener los distintos niveles de transparencia posibles. Se detalla esta relación para 4, 8 y 16 niveles totales.

La escala no lineal concentra un mayor número de niveles en la zona de la curva característica más sensible a variaciones de la tensión eficaz aplicada. Es por tanto necesario conocer la pendiente en cada punto de la curva característica electroóptica media para determinar qué zona de la curva el PDLC es más sensible. Una vez determinada dicha pendiente, se obtiene que la mayor variación en la curva característica se produce en el entorno de 12 a 17 V eficaces. Estos valores se corresponden en la curva característica de la figura 2 al

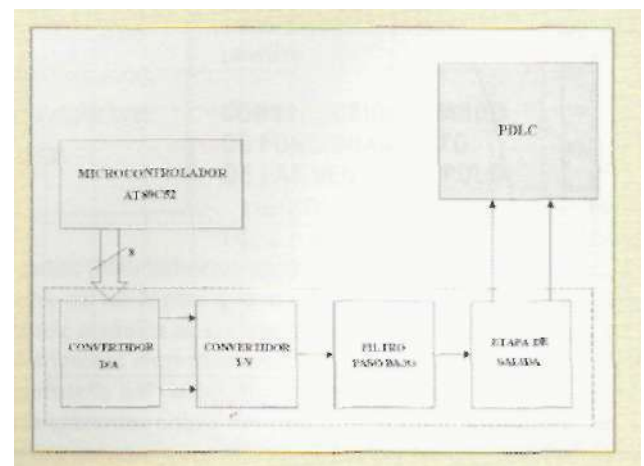


Figura 3. Esquema de bloques del driver electrónico implementado.

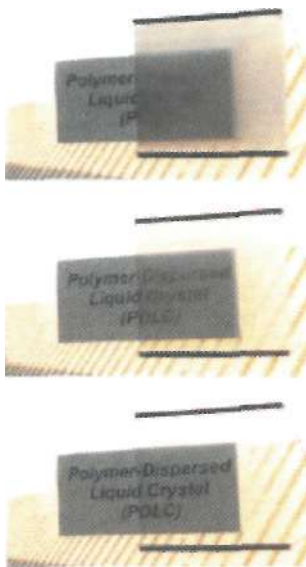


Figura 4. Tres niveles de opacidad del PDLC: opaco, intermedio y transparente. Mediante una señal de excitación adecuada se ha conseguido estabilizar hasta 16 niveles diferentes.

cantidad de luz que atraviesa el panel PDLC. Esta medida va a depender de la cantidad de luz dispersada a través del PDLC, para el estado OFF o en estados próximos a él, o de la cantidad de luz transmitida, para el estado ON o para estados próximos a él. El sensor de luz es el elemento muestreador de la señal de salida del sistema dentro del lazo optoelectrónico de realimentación introducido, el cual es la base del control on-line.

El sistema de control es el encargado de, a través del microcontrolador y del programa adecuado, regular de forma automática el nivel del PDLC, en función de las variaciones de las condiciones ambientales exteriores a la ventana PDLC y, por tanto, transmitidas al sensor ubicado habitualmente en el interior de la habitación. Por otra parte, el sistema excitador del PDLC (figura 3) es el encargado de aplicar la señal de excitación senoidal de 60 Hz al PDLC, con el valor de tensión eficaz apropiado para situar un nivel concreto de transparencia en el mismo. Este nivel es fijado por el microcontrolador, y lo comunica al sistema excitador a través de un bus de 8 líneas

El sistema optoelectrónico completo actúa de tal forma que regula automáticamente el nivel de opacidad del PDLC (figura 4), en función de las siguientes condiciones:

- \*El usuario selecciona el modo de activación automática a través del menú de configuración del interfaz de usuario.

- \*El microcontrolador toma como medida patrón la medida recibida del sensor en el momento en el que el usuario cambia:

- \*el nivel de transmisión del PDLC
- \*el número total de niveles
- \*el tipo de activación (automática/manual).

- \*El sistema regula el nivel del PDLC en función de las variaciones que se producen en el exterior del panel (detecta-

40 y al 80% de la transparencia máxima del PDLC. Además, cabe destacar que es en este margen de transparencias donde aparentemente el ojo humano es más sensible a las variaciones del PDLC [6].

A partir de los datos de transparencia de la escala no lineal y de la curva característica electroóptica media, se obtiene para cada nivel de opacidad del PDLC los valores de tensión eficaz que se presentan en la tabla 2.

**Funcionamiento en modo automático**

El sensor TSL230 (convertidor luz-frecuencia) es el encargado de medir la cantidad

de luz que atraviesa el panel PDLC. Estas variaciones son el resultado de comparar la medida patrón con la tomada por el sensor en cualquier instante.

\*Para que el sistema incremente/decremente la transmisión del PDLC en un nivel, la diferencia entre la medida tomada por el sensor y la medida patrón debe ser superior/inferior a un 6,25% de la misma para el caso de un total de 16 niveles elegidos ( $1/16=0,0625$ ), un 12,5% si son 8 el número total de niveles ( $1/8=0,125$ ) y 25% si son 4 el número máximo de niveles. Si la medida es superior/inferior al doble de los valores citados, el sistema incrementa/decrementa dos niveles, y así sucesivamente. El nivel máximo que puede fijar el sistema de forma automática es el número total de niveles elegido por el usuario.

\*Si el sistema incrementa/decrementa uno o más niveles la opacidad del PDLC, la medida patrón no varía.

\*El microcontrolador comprueba cada 0,8 segundos la medida realizada por el sensor, determinando si tiene la sensibilidad correctamente ajustada. Si no es así, y en función de la medida realizada, se multiplica x10 o se divide x10 la sensibilidad, tomando una nueva medida del sensor e invalidando la recibida en ese instante. La medida patrón se ve afectada por cambios en la sensibilidad del sensor: si ésta se multiplica x10, la medida patrón también se multiplica x10, de tal forma que la medida que se reciba a continuación del sensor y la medida patrón tomada en el pasado estén en el mismo margen. Idéntico caso ocurre cuando la sensibilidad se divide x 10.

\*Si el sistema no puede ajustar de forma automática la sensibilidad (se ha llegado al máximo o al mínimo de la misma),

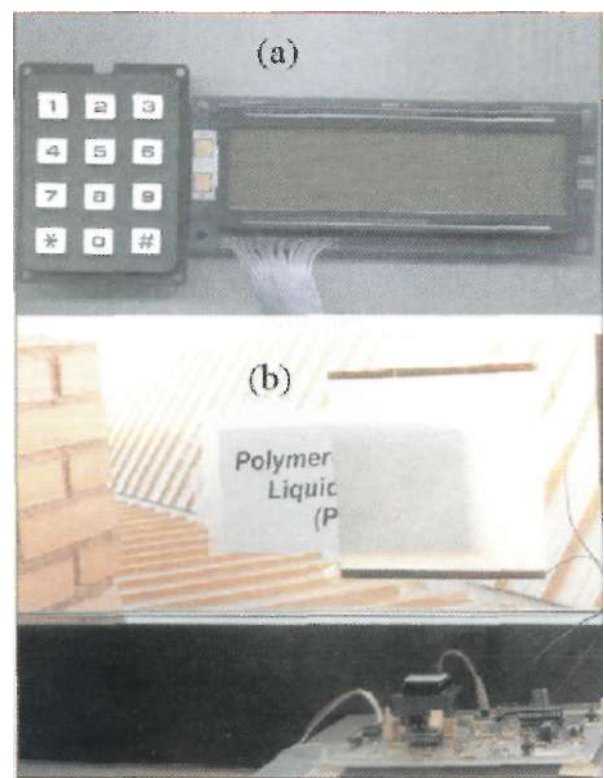


Figura 5. Interfaz de usuario (a) y electrónica diseñada (b) para controlar la ventana PDLC.

el sensor se coloca fuera de sensibilidad, y el sistema sale de forma inmediata del modo automático pasando a modo manual.

Por tanto, el sistema regula la transparencia comprobando si la diferencia entre la medida tomada y la medida patrón es "n" veces superior o inferior a la diferencia patrón, parámetro que depende del número total de niveles seleccionado por el usuario a través del interfaz diseñado (figura 5).

#### CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un sistema optoelectrónico, barato y flexible capaz de controlar en tiempo real la transparencia de ventanas PDLC para aplicaciones domóticas. El sistema puede funcionar en modo manual y automático. En este modo de funcionamiento, y debido al lazo de realimentación optoelectrónica que incorpora, es capaz de muestrear una señal óptica (la transmitida a través de la ventana PDLC), compararla con una medida patrón y, en función de su evolución, modificar la señal eléctrica que excita a la ventana PDLC para que varíe su nivel de transparencia al objeto de adaptarse a la nueva situación. El sistema puede estabilizar 4, 8 ó 16 niveles de transmisión diferentes y producir una variación lineal o logarítmica entre los mismos, mediante la selección fijada por el usuario. El control de los parámetros del sistema puede realizarse a través de un interfaz de usuario formada por un teclado y una

pantalla de CL. Asimismo, puede también actuarse sobre el sistema completo de forma remota mediante un sistema emisor-receptor de infrarrojos comercial.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los proyectos TIC2000-1594-C02-02 y TIC98-0397-CO3-03.

#### REFERENCIAS

- [1] Born, M. y Wolf, E., "Principles of Optics", 6th edition, Pergamon Press, Oxford (1980).
- [2] J.M. Otón, "Electrooptics of Liquid Crystal Displays", Proc. II Workshop on LCD Technology, p. 8, Lisboa, Portugal (1996).
- [3] Hakemi, H., "Industrial Development of Plastic PDLC: Is there a Future?", Liq. Cryst.Today, 8(3), 7-12 (1998).
- [4] Pena, J.M.S., Pérez, I., Rodríguez, I., Planell, D., Millanes, J., López, F.J., Vázquez, C., "Electrically Controllable Privacy PDLC Window for Architectural and Automotive Applications", Proc. IV Workshop on LCD Technology, La Habana, Cuba (1999).
- [5] Van Konynenburg, R, Marsland, S., and McCoy, J., "Solar Radiation Control using NCAP Liquid Crystal Technology", Solar Energy Maten, 19,27-41(1989).
- [6] Drzaick, P.S., "Liquid Crystal Dispersions". World Scientific Publishing Co., New York, (1995). **OPTRO**



**RABBIT**  
Semiconductor

# RABBIT 2000™

## Microprocesadores de 8 bits de altas prestaciones

- Interfaz sin lógica externa
- Puerto esclavo
- 4 puertos serie
- 40 I/O pines
- Control de reloj por soft
- Coma flotante rápida
- Kit de desarrollo económico

- 4 niveles de prioridad de interrupciones
- Sistemas de temporización
- Temporización de watch-dog
- Reloj en tiempo real
- Modo ultrabajo consumo
- Fácil lenguaje C
- Programación "in circuit"
- Software Internet incluido




**Kits de desarrollo desde 24000 Ptas**

**Conectividad Internet TCP/IP**



**Matrix**  
ELECTRONICA S.L.

**MADRID:** Belmonte de Tajo, 76 - 3ºB - 28019 MADRID - TEL. 91 560 27 37 - FAX 91 565 28 65 - e-mail: matrix@matrix.us

**BARCELONA:** Sant Joan, 4 - 08191 RUBÍ (BARCELONA) - TEL. 93 566 21 37 - FAX 93 566 61 72 - e-mail: apsi@matrix.es

**LISBOA:LUSOMATRIX:** Avda. Coronel Eduardo Galhardo, Lote A2, 2º piso 10 - 1170-105 LISBOA - TEL. 351 1 816 26 25 - FAX 351 1 814 94 82 - e-mail: lusomatrix@mail.telepac.pt