# Estación meteorológica con conexión a internet

Complementos Sistemas Electrónicos Digitales Avanzados – MUIT

Adrián Gallego Sánchez

Boby Nicusor Constantin

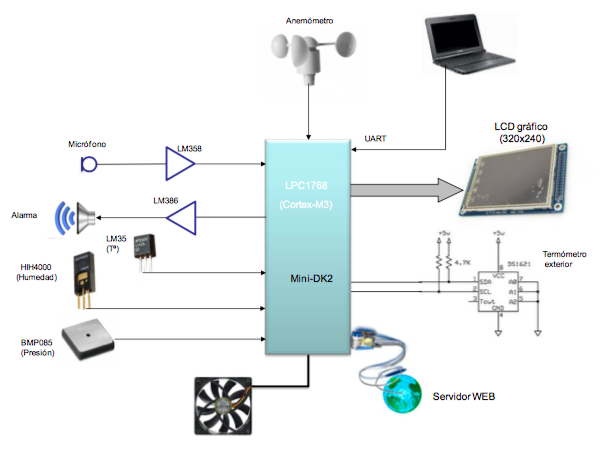
# Índice

# Introducción

La propuesta de proyecto consiste en diseñar un sistema empotrado basado en el

microcontrolador LPC1768 (Cortex-M3) junto con la tarjeta de desarrollo “miniDK2”. El objetivo de este sistema es implementar una estación meteorológica que ofrezca la posibilidad de ser monitorizada de forma remota a través de distintos recursos (WEB, interfaz serie asíncrona…). Además, también se mostrarán sobre un display LCD los datos y valores obtenidos de los diferentes sensores. Dicho sistema contará con los siguientes elementos:

* Sensor analógico de temperatura LM35
* Termómetro-termostato digital DS1621
* Sensor analógico de humedad HIH4000
* Sensor digital de presión BMP180
* Micrófono
* Anemómetro
* Ventilador de refrigeración
* Altavoz
* Módulo de visualización (HY28B)
* Servidor HTTP



# Descripción del proyecto

En los siguientes apartados se procede a describir los elementos que componen el proyecto, bien elementos hardware, bien código desarrollado.

## Hardware

En este apartado se especificarán las características de los distintos sensores y dispositivos hardware empleados, así como los sistemas de acondicionamiento empleados para adquirir las señales.

SENSORES ANALÓGICOS (crear sección)

### Sensor LM35

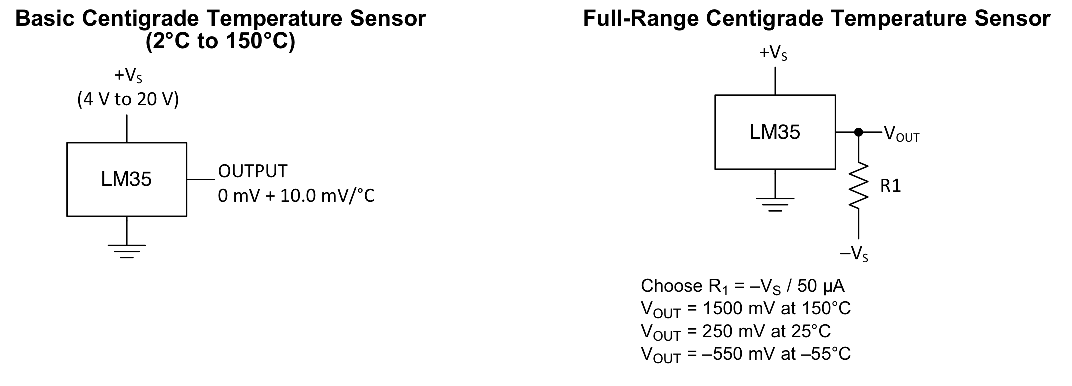
El LM35 es un dispositivo de circuito integrado que mide temperatura con una salida en tensión proporcional a la temperatura en grados centígrados. La ventaja de los dispositivos LM35 sobre los sensores de temperatura calibrados en Kelvin es que el usuario no necesita restar a la salida una constante en tensión para obtener un escalado apropiado de los grados centígrados. En adición, los dispositivos LM35 no necesitan un calibrado externo para ofrecer una precisión de hasta ¼ de grado a temperatura ambiente y hasta ¾ de grado cuando mide temperaturas en el rango de -55ºC a 150ºC. La salida de baja impedancia, la salida lineal y la calibración inherente hacen que la lectura y circuitería de control resulten especialmente sencillas. Se ha empleado el formato de sensor con empaquetado “LP” de 3 pines “TO-92”.

Características principales:

* Calibrado directamente en grados centígrados (Celsius)
* Factor lineal de +10 mV/ºC
* Precisión de 0.5ºC a temperatura ambiente (25ºC)
* Funciona con una alimentación desde 4 a 30 V



Modos de funcionamiento:



Puesto que se trata del sensor que va a realizar medidas sobre el exterior del encapsulado del sistema en desarrollo y dado que el rango dinámico de temperaturas puede obtener valores negativos, se ha decidido implementar el modo “F*ull-Range”* con una resistencia R1 de valor 100kΩ. Se alimenta el sensor con Vcc=+5v, extraídos desde la tarjeta de desarrollo.

Para evitar posibles ruidos derivados de la alimentación desde la tarjeta, se propone el siguiente circuito de filtrado para todos aquellos dispositivos que se alimenten con Vcc=+5v:

A close up of a clock

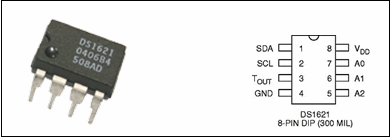
Description generated with high confidence

Nota: Poner en el título “diseño realizado con Eagle” y referencia al prog.

SENSORES DIGITALES (Crear sección)

### Sensor DS1621

Se trata de un termómetro-termostato digital que proporciona lecturas de temperatura de 9 bit. Además, contiene una salida de alarma Tout  que se activa cuando la temperatura del dispositivo supera el umbral definido por el usuario (TH), este tipo de comportamiento es el definido por el termostato (no se emplea en este proyecto). La salida permanece activa hasta que la temperatura se sitúa por debajo de un umbral (TL), también definido por el usuario.

Los ajustes definidos por el usuario se almacenan en memoria no volátil (EEPROM) por lo que puede ser programado antes de ser introducido en un sistema. Los ajustes y lecturas de temperatura se comunican hacia/desde el DS1621 mediante un interfaz serie de dos hilos (I2C). Se empleará este sensor para llevar a cabo la monitorización de la temperatura en el interior del posible encapsulado del sistema, de manera que sea posible activar dispositivos de enfriamiento en un cierto umbral evitando así el sobrecalentamiento del sistema.

Características principales:

* El DS1621 es capaz de medir temperaturas en el rango de -55ºC a 125ºC con incrementos de 0.5ºC.
* La configuración de termostato es definida por el usuario y guardada en memoria no volátil.
* Rango de alimentación de 2.7 a 5.5 V.
* La comunicación se establece mediante I2C.
* No requiere de componentes externos para medir la temperatura.

Comandos:

* Leer temperatura [**AAh**]: lee el resultado de la última conversión de temperatura. EL DS1621 envía 2 bytes
* Acceso a TH [**A1h**]: si el valor campo R/W es ‘0’ se escribe en el registro TH (Alta Temperatura). Los dos siguientes bytes que se escriban/envíen al DS1621 configurarán el valor del umbral superior de temperatura para la alarma. Si el valor es ‘1’ entonces se lee el valor del registro TH
* Acceso a TL [**A2h**]: si el valor campo R/W es ‘0’ se escribe en el registro TL (Baja Temperatura). Los dos siguientes bytes que se escriban/envíen al DS1621 configurarán el valor del umbral inferior de temperatura para la alarma. Si el valor es ‘1’ entonces se lee el valor del registro TL
* Acceso a Config [**ACh**]: si el valor campo R/W es ‘0’ se escribe en el registro de configuración. El siguiente byte se escribirá en el registro. Si el valor es ‘1’ se lee el valor del registro de configuración
* Leer Contador [A8h]: este comando lee el valor *Cout\_Remain*. El comando es válido únicamente si R/W es ‘1’
* Leer *Slope* (pendiente)[**A9h**]:este comando lee el valor *Count\_Per\_C.* El comando es válido únicamente si R/W es ‘1’
* Iniciar conversión T [**EEh**]: inicia la conversión de temperatura. En el modo disparo una vez que se realice la conversión el DS1621 quedará ocioso. En el modo continuo, el DS1621 el comando iniciará conversiones continuamente
* Parar la conversión T [**22h**]: interrumpe la conversión de temperatura. Se utiliza para detener un DS1621 en modo conversión continua. Tras enviar este comando, el sensor finalizará la conversión en curso y me mantendrá ocioso hasta nueva orden

El sensor permite definir los tres últimos bits de la dirección (7bits) asignada a dicho dispositivo, siendo los cuatro bits de mayor peso de valor *“1001”.* Los 3 bits restantes se han llevado a masa, es decir que los pines A0=A1=A2=0 y, por tanto, la dirección asignada a este dispositivo ha sido la 0x48.

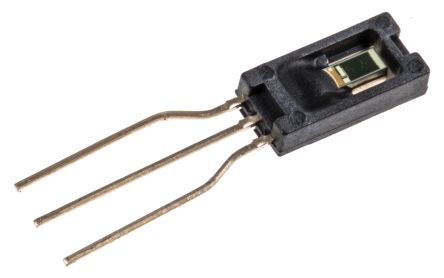
Por otro lado, se ha alimentado con Vcc=+5v y se han implementado las sendas resistencias de pull-up necesarias para que el protocolo I2C sea plenamente funcional. Dichas resistencias tienen, ambas dos, un valor de 2.2KΩ.

Cabe destacar que fue necesario emplear un adaptador *SOIC-DIP* de 8 pines para poder emplear este sensor en el proyecto y testearlo en la *protoboard* ya que se compró, por error, el sensor con formato *SOIC.*

### Sensor HIH4000

Este tipo de sensores de humedad, en concreto la serie HIH-4000, están específicamente diseñados para usuarios que empleen un alto volumen de OEM (Original Equipment Manufacturer). La gran ventaja de este sensor es que la salida casi lineal en tensión, permite la conexión directa con un microcontrolador u otro dispositivo, lo cual es ideal para este proyecto. Con un consumo de corriente de 200 μA, típicamente, la serie HIH-4000 es ideal para sistemas de bajo consumo.

Características principales:

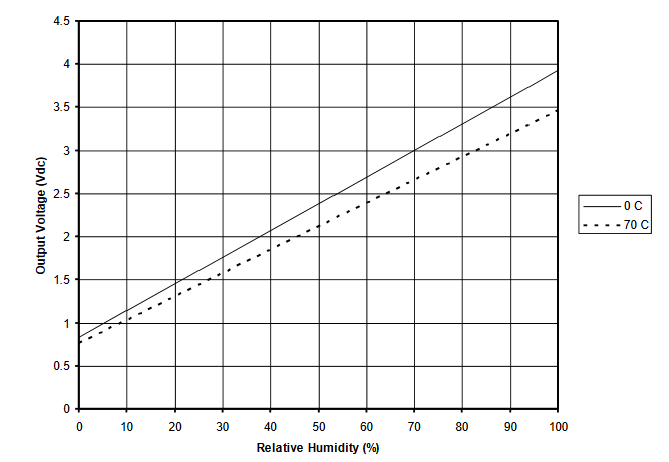
* Encapsulado de plástico termoendurecido.
* Salida en tensión casi lineal frente a % de humedad relativa.
* Diseño de bajo consumo.
* Tiempo rápido de respuesta.
* Precisión mejorada.
* Calibración de fábrica.

Este sensor permitirá hacer las mediciones de humedad relativa en el ambiente referidas al exterior del sistema generado.Para conectar este sensor a la entrada pertinente del microcontrolador (más adelante se detallará que dicha entrada es del ADC y cómo se han adquirido los datos), ha sido necesario implementar el siguiente circuito tomado del datasheet:

A screenshot of a cell phone

Description generated with very high confidence

Donde la resistencia indicada, en este caso, se ha implementado con un valor de 100KΩ. Finalmente, cabe destacar que a la hora de calcular la humedad relativa del sensor, será necesario tener en cuenta el offset reflejado en el siguiente diagrama:

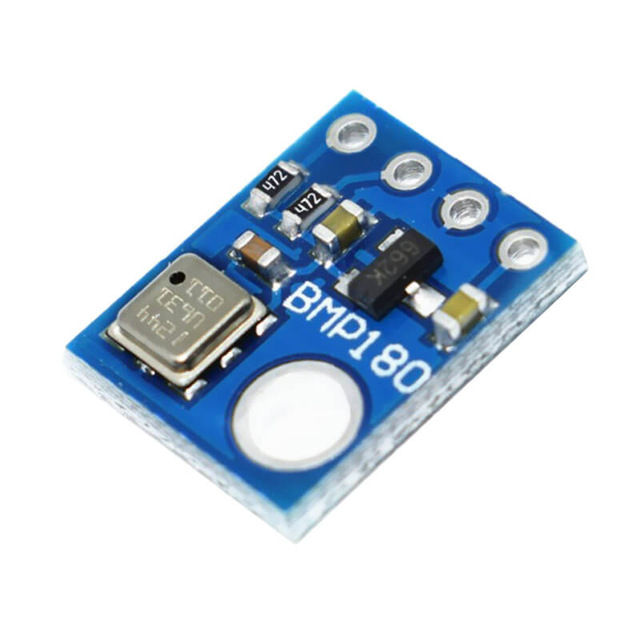


NOTA: Introducir referencias al datasheet: https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-hih4000-series-product-sheet-009017-5-en.pdf

### Sensor BMP180

Se trata de un sensor de presión diseñado para ser conectado directamente a un microcontrolador a través de un bus I2C. Su electrónica de ultra-bajo consumo lo hacen óptimo para teléfonos móviles, PDAs, navegadores GPS, equipamiento de campo o, para este caso, para el proyecto referido.

El BMP180 está formado por un sensor piezo-resistivo, un conversor analógico digital y una unidad de control con E2PROM e interfaz serie I2C. Lo cual, permite al dispositivo entregar el valor de presión y temperatura sin calibrar. Para obtener los datos de dichas magnitudes de manera representativa, en otras palabras, obtener las magnitudes calibradas y reales, el sensor incorpora una memoria E2PROM que contiene 176 bits de datos de calibración. Dicha memoria E2PROM, está dividida en 11 palabras de 16 bits cada una, cada palabra conforma un parámetro o coeficiente de calibración. Estos coeficientes son individuales para cada sensor, por lo tanto, el *máster* ha de leer los parámetros antes de la primera conversión.



Características principales (fabricante *Adafruit*):

* Rango de alimentación de 1.8 a 3.6 V.
* Rango de medida de presión desde 300 hasta 1100 hPa.
* Bajo consumo: 5 μA por muestra/seg en modo estándar.
* Precisión de 0.03 hPa en modo de alta precisión.

El objetivo principal de este sensor es el de permitir al sistema realizar medidas sobre la presión absoluta, con respecto al nivel del mar, y reflejarlas en los distintos sistemas de visualización. A su vez, y de manera adicional, realizará medidas sobre la temperatura en el exterior del sistema (esto permitirá realizar comparativas entre los resultados obtenidos por la medida analógica del LM35 y este) y sobre la altitud en la que esté ubicado el sistema.

En contraste con el sensor *DS1621*, este no permite la configuración de la dirección de dispositivo esclavo y, por tanto, esta tiene un valor fijo de 0x77. Cabe destacar que este sensor en concreto incorpora un sistema para la comprobación del correcto funcionamiento de las comunicaciones maestro-esclavo, este sistema es algo tan simple como el hecho de incorporar un registro de solo lectura (0xD0) con un valor fijo conocido como ID (0x55), de manera que el desarrollador, para comprobar si existe una comunicación con el dispositivo tan solo tiene que leer dicho registro y comprobar que el valor devuelto es un 0x55. Asimismo, contempla el uso de varios niveles de precisión, permitiendo el ajuste de estos (nºmuestras, ruido, tiempo de conversión…) mediante un parámetro configurable en el registro de control, en este proyecto se ha empleado el **modo estándar** , esto es:

* Oss=1
* Número de muestras = 2
* Tiempo de conversión = 7.5ms
* Corriente media = 5uA
* Ruido RMS en presión (hPa): 0.05

Para terminar, pasa a describirse el circuito implementado para el correcto funcionamiento del protocolo de comunicación entre el maestro y el esclavo:

A screenshot of a cell phone

Description generated with very high confidence

Como se puede observar en la figura, ha sido necesario implementar un condensador de 100nF y dos resistencias de pull-up, en este caso, ambas de valor 2.2kΩ.

### Micrófono

Con el objetivo de permitir al usuario grabar un mensaje de alarma que se emplee para avisar de manera sonora que se ha superado el umbral de la temperatura de trabajo o para futuras aplicaciones que pudieran incluir el trato con sonido, se ha decidido hacer uso del micrófono *MAX9812L.* Este modelo, junto al *MAX9813*, es un micrófono de salida única con una ganancia fija de 20dB y que introduce poco ruido, por ello, es ideal para el uso en PDAs, teléfonos móviles, etc. El nombre que recibe el micrófono hace referencia al amplicador operacional que lleva integrado en la placa, el *MAX9812,* el cual está en formato *SC70*, permite mantener el ancho de banda del micrófono a 500kHz y está optimizado para trabajar con una tensión de entrada de 3.3v. En la siguiente imagen es posible apreciar los distintos componentes mencionados:

A close up of a device

Description generated with high confidenceCabe destacar que, a pesar de tener una ganancia fija de 20dB, esta es, en la mayoría de los casos, insuficiente. Por este motivo, ha sido necesario implementar un circuito de amplificación de la señal que extrae este micrófono, para ello se han empleado los siguientes componentes:

* AO SN741: Configurado en modo no inversor con una ganancia de 101.
* Resistencia R1: 10KΩ.
* Resistencia R2: 1MΩ.

### Altavoz

En relación con lo mencionado en el apartado anterior sobre la señal de aviso/alarma, ha sido necesario implementar un dispositivo que permitiera al usuario ser consciente de que la señal de alarma se ha disparado y para ello, se ha usado un altavoz dinámico de bobina móvil con una impedancia de entrada de, aproximadamente, 8Ω.

Para permitir que la señal que reproduce el altavoz sea nítida y tenga la amplitud requerida, se ha requerido el uso de una etapa de amplificación. Dicha etapa lo constituye el *Módulo de amplificación de sonido LM386*, el cuál se compone del famoso amplificador operacional LM386, un potenciómetro para regular la ganancia y algunos condensadores para acondicionar y filtrar la señal, por lo tanto, es idóneo para los requisitos de la aplicación.

### Ventilador

Pon las características del ventilador que tengas y fuera (deberían venir en la pegatina que tiene).

### Anemómetro

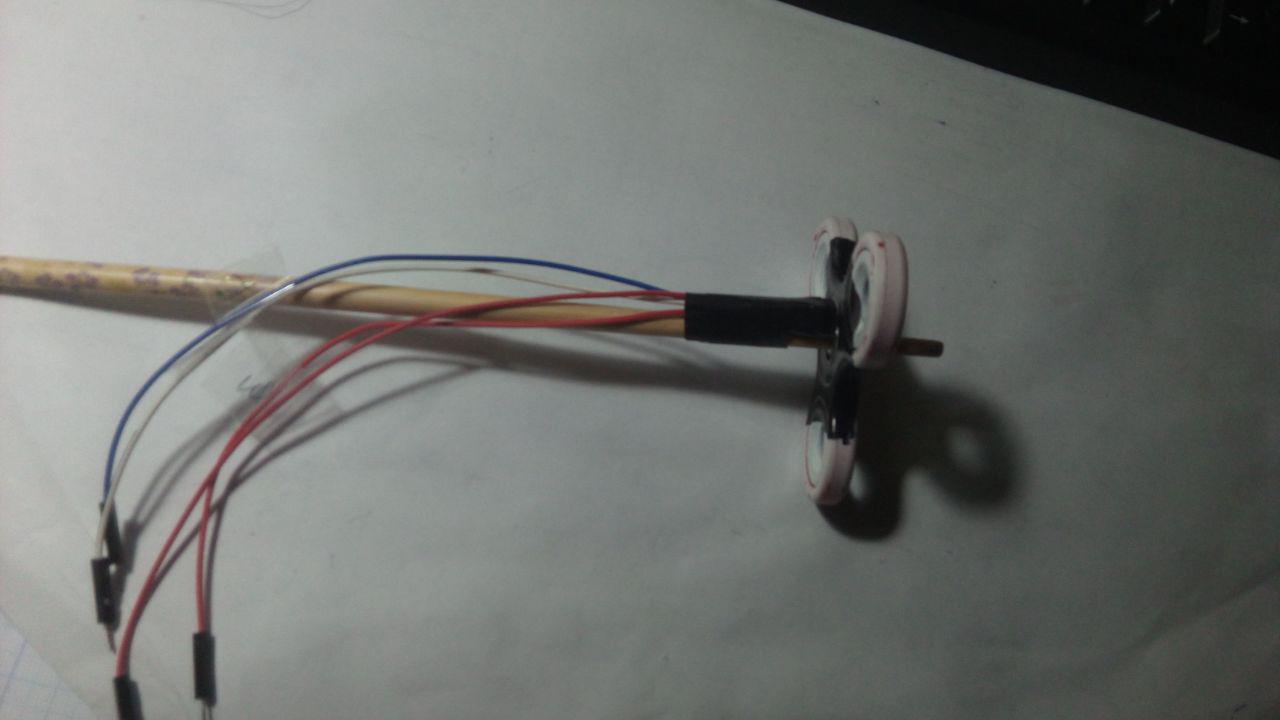
Como toda estación meteorológica, el sistema diseñado también implementa un dispositivo que permite tomar medidas acerca de la velocidad del viento. En este caso se ha utilizado un “pseudo-anemómetro”, el cual se compone de:

* Un Spinner.
* Un sensor CNY70.
* Elemento de sujeción.

A picture containing indoor

Description generated with high confidenceEl objetivo es el de emular el comportamiento de un anemómetro real, midiendo la frecuencia con que el sensor refleja una banda blanca pintada en el spinner. A continuación se adjuntan imágenes del “diseño”:

A picture containing indoor, wall

Description generated with very high confidence

Como se puede observar, ha sido necesario pintar el Spinner con un fondo negro y una banda blanca para que el fotodiodo pueda trabajar de manera correcta. Dadas las características del CNY70, ha sido necesario acercar lo máximo posible el sensor al spinner (el datasheet recomienda una distancia de 0.5mm).

Para terminar, puesto que la señal obtenida por el CNY70 no está conformada para generar pulsos de 0-5v, es necesario tratar la señal con una etapa de acondicionamiento para adaptarla a las necesidades del microcontrolador. Con este objetivo, se ha empleado como base el siguiente circuito:

A drawing of a person

Description generated with high confidence

A dicho circuito se le han realizado algunas modificaciones:

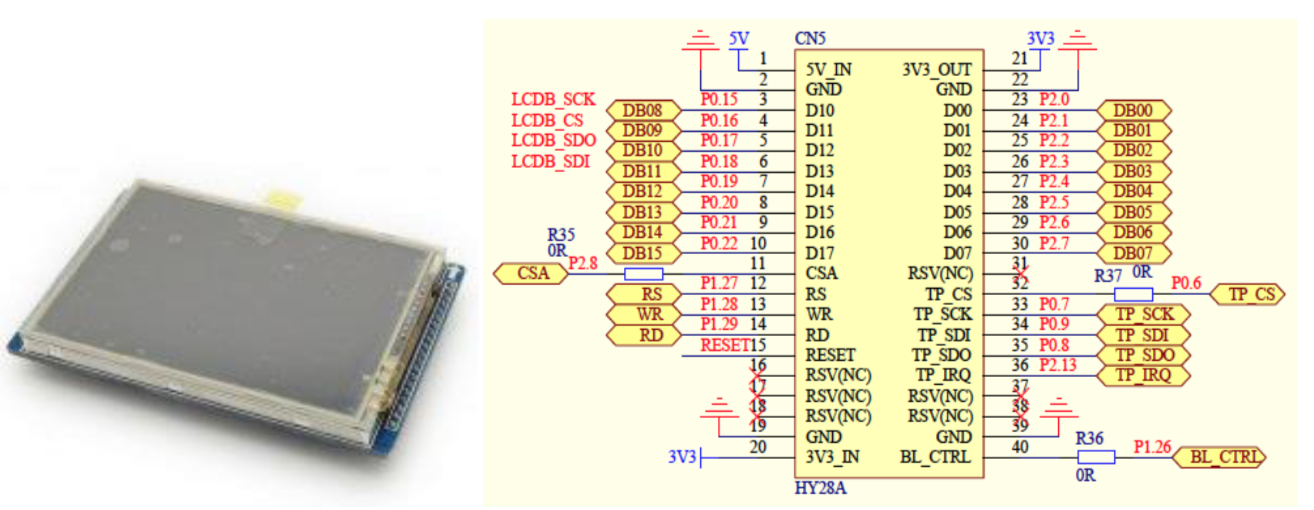
* Se ha eliminado la resistencia de 47kΩ.
* El dispositivo 4016 se ha sustituido por un inversor SN74HC14N que permite conformar los pulsos.
* Entre la salida de dicho inversor y masa se ha colocado un led para conocer si se están generando los pulsos a medir.

### Módulo de visualización (HY28B)

El módulo de visualización consta de un display TFT de 2.8” a color táctil y con una resolución de 320x240 píxeles. Utiliza el driver ILI9325, un driver integrado que proporciona hasta 262.144 colores. Además, cuenta con una RAM de 172.800 bytes de memoria gráfica. El display está implementado en un PCB que incorpora los circuitos de la interfaz táctil XPT2046 y de la retroiluminación del panel.

El driver ILI9325 permite 3 modos de funcionamiento de alta velocidad: 8 bits en paralelo, 16 bits en paralelo o mediante SPI.

El controlador XPT2046 es un controlador de pantalla táctil resistiva que incorpora un conversor A/D de 12 bit y 125 KHz de muestreo. Es capaz de detectar la presión en la pantalla mediante dos conversiones A/D. Además de la posición, también mide la presión de la pulsación.



# Software utilizado

A continuación, se describen las bibliotecas más destacables que se han empleado para desarrollar el proyecto así como la función que desempeñan dentro de este.

### HTTP

Esta biblioteca es proporcionada por KEIL y nos permite generar páginas web dinámicas que es uno de los objetivos del proyecto. Los ficheros más destacables que incluye son:

* TCP\_CM3.lib: proporciona las funciones de comunicaciones de KEIL RL-TCPnet.
* EMAC\_LPC17xx\_LAN8720.c: implementa la interfaz entre las funciones de la biblioteca de comunicaciones con el hardware, tanto del subsistema hardware del microcontrolador como con el chip externo que implementa el nivel físico.
* Net\_Config.c: fichero a través del cual se configura la biblioteca de funciones de la comunicación TCP/IP. Entre otros, se puede configurar la dirección IP, la máscara de red, el servidor DNS, el Gateway o la dirección MAC.
* Net\_Debug.c: permite depurar las comunicaciones TCP/IP.
* TCPD\_CM3.lib: biblioteca de funciones de comunicaciones de Keil RL-TCPnet que permiten depuración. Se debe mencionar que no es compatible con la librería TCP\_CM3.lib

### GLCD

Esta biblioteca se encarga de gestionar el display y su configuración. Las librerías principales son:

* GLCD.c: contiene las funciones de configuración y acceso al display.
* AsciiLib.c: contiene la tabla de codificaciones de los píxeles gráficos que corresponde a cada carácter ASCII.

### I2c\_lpcxx

Esta biblioteca se encarga de implementar las funciones necesarias para simular el funcionamiento de i2c mediante los pines P0.0 y P0.1 que simulan SDA y SCL respectivamente. Las principales funciones son:

* I2CSendAddr(): genera la condición de START, y establece la comunicación con el dispositivo.
* I2CGetByte(): se encarga de leer la información procedente del dispositivo o esclavo.
* I2CSendByte(): se encarga de enviar información al dispositivo.
* I2CSendStop() se encarga de dejar el bus en reposo.
* I2CDelay(): se encarga de garantizar los tiempos de retardo mínimos.
* Pulso\_SCL(): se encarga de generar de simular los pulsos del reloj.

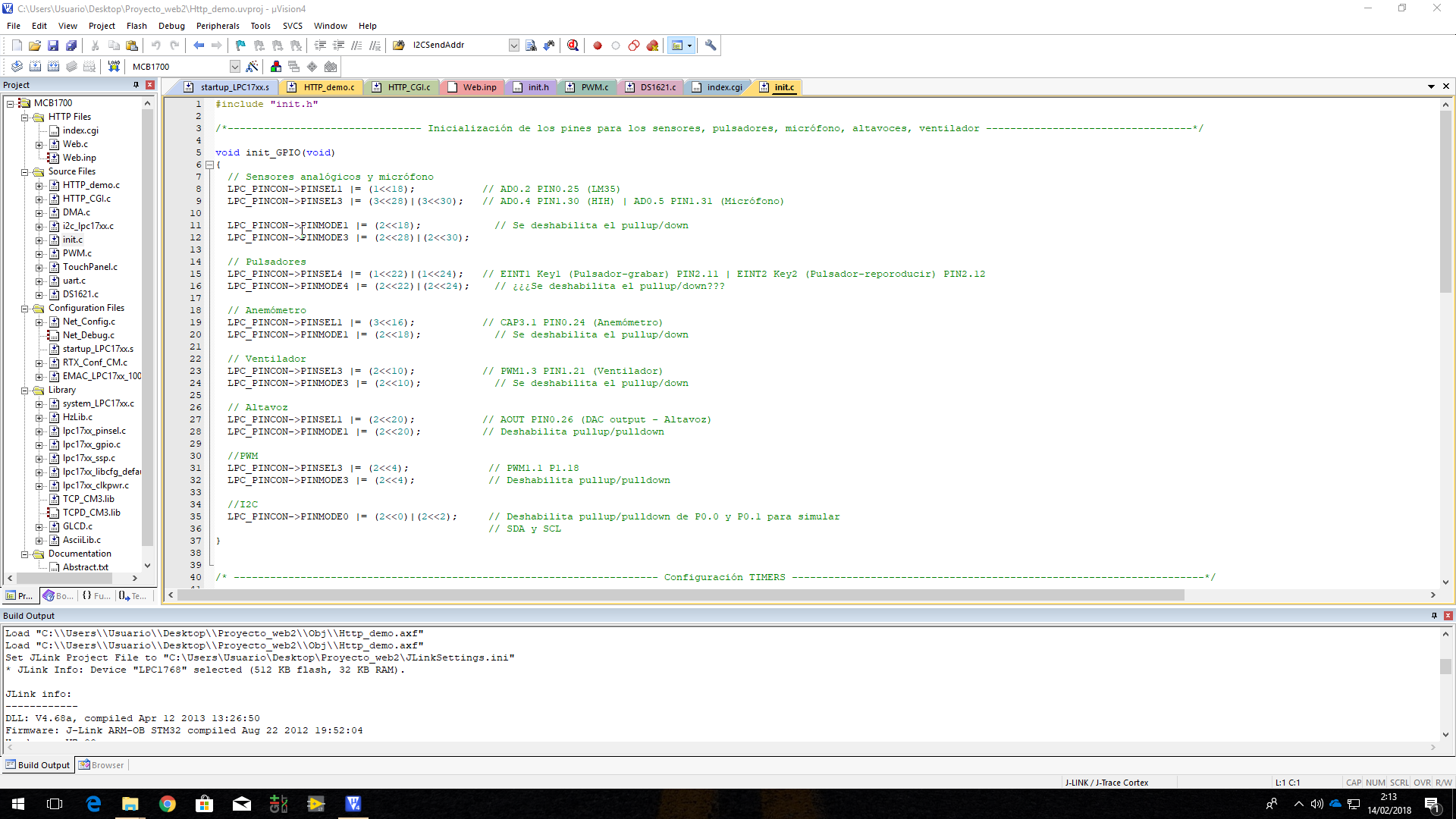
# Código generado

El código generado se ha dividido en varios archivos. A continuación, se describe cada uno de ellos.

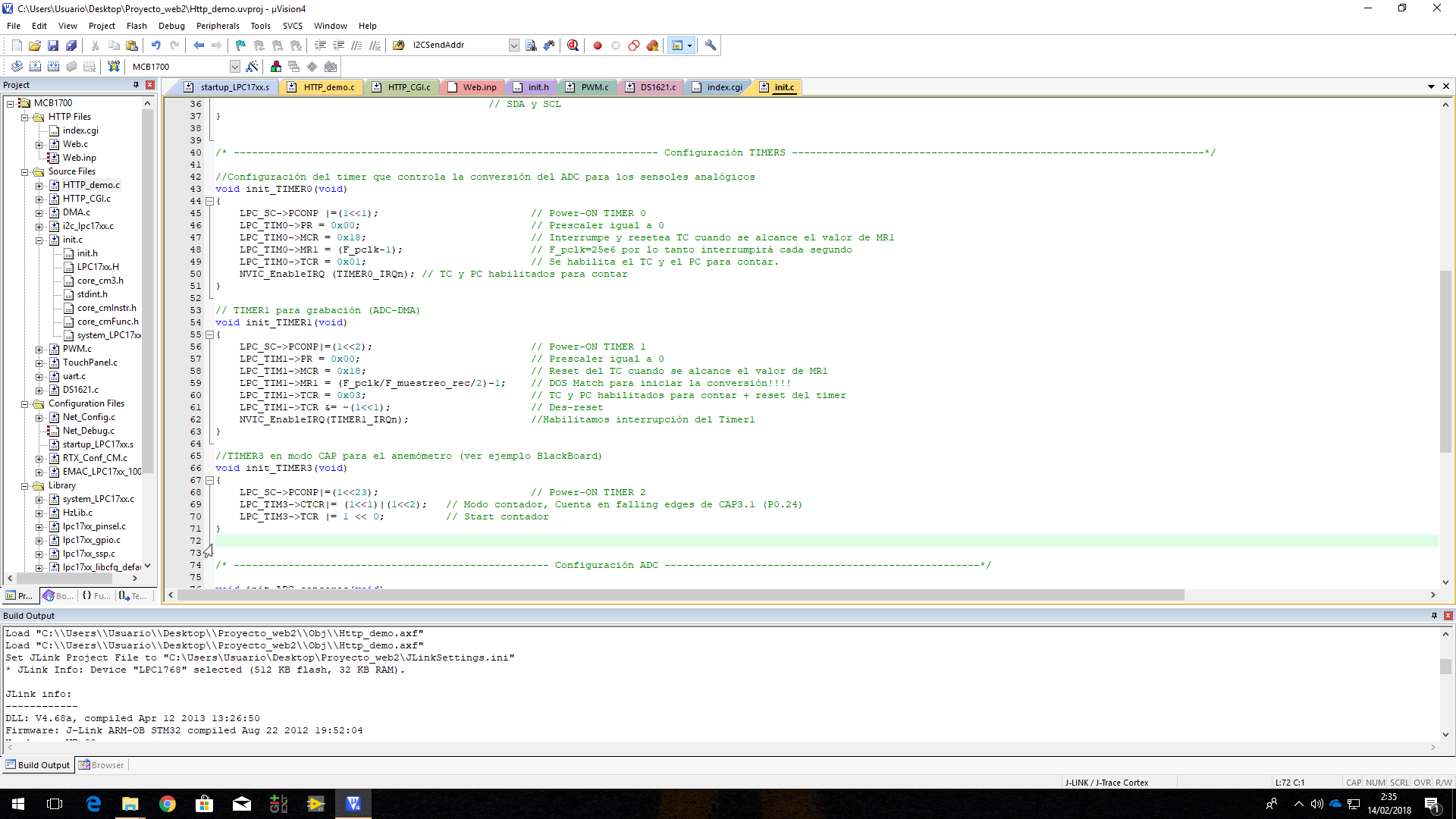
### init.c

Este archivo es uno de los más importantes del proyecto ya que se encarga de realizar la configuración de los elementos de la placa MINI-DK2. Las funciones que se implementan son:

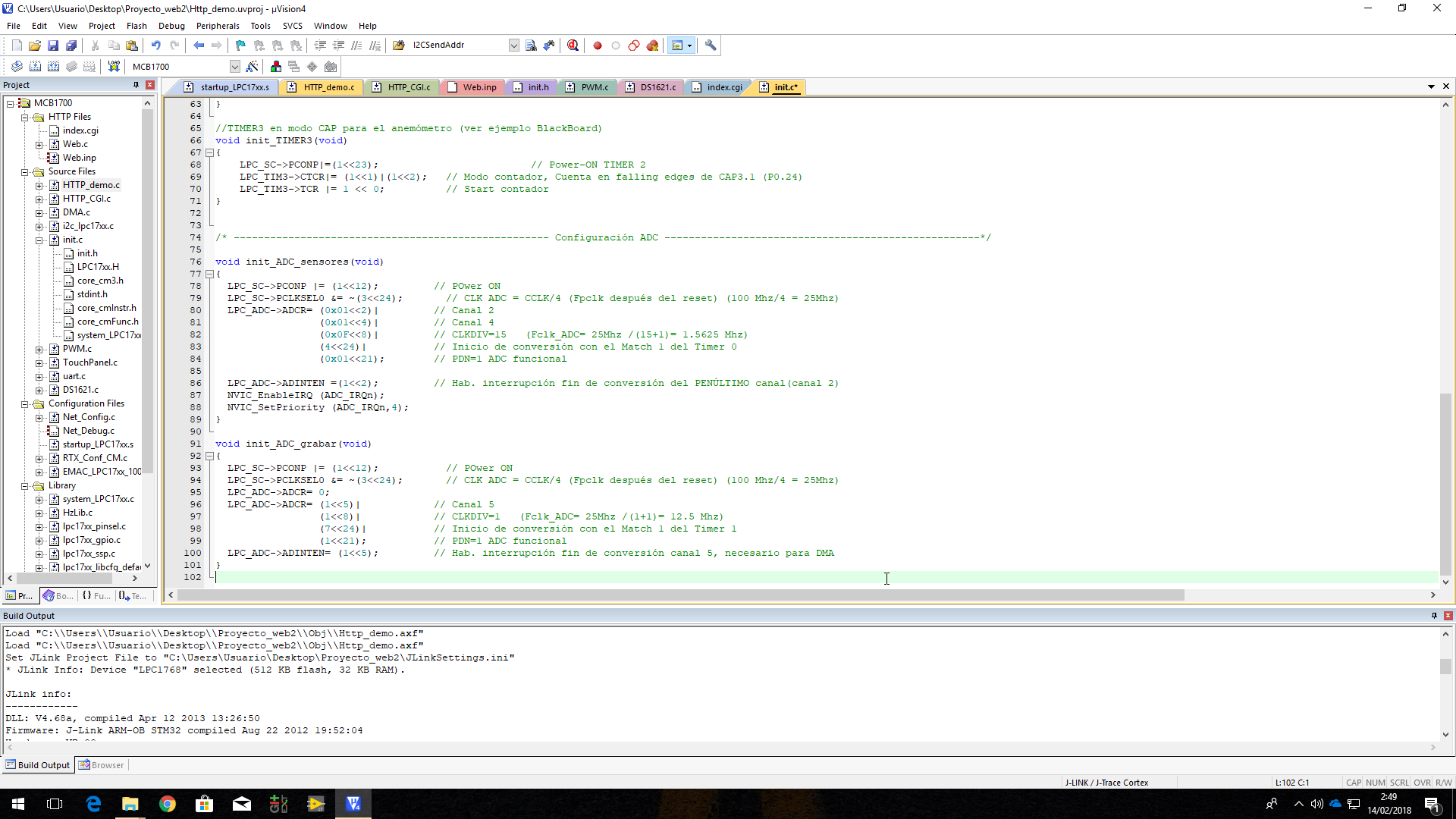
* Init\_GPIO(): se encarga de inicializar los pines para los sensores, micrófono, pulsadores, anemómetro, ventilador, altavoz, PWM y para los GPIO que se utilizan como SDA y SCL para simular I2C



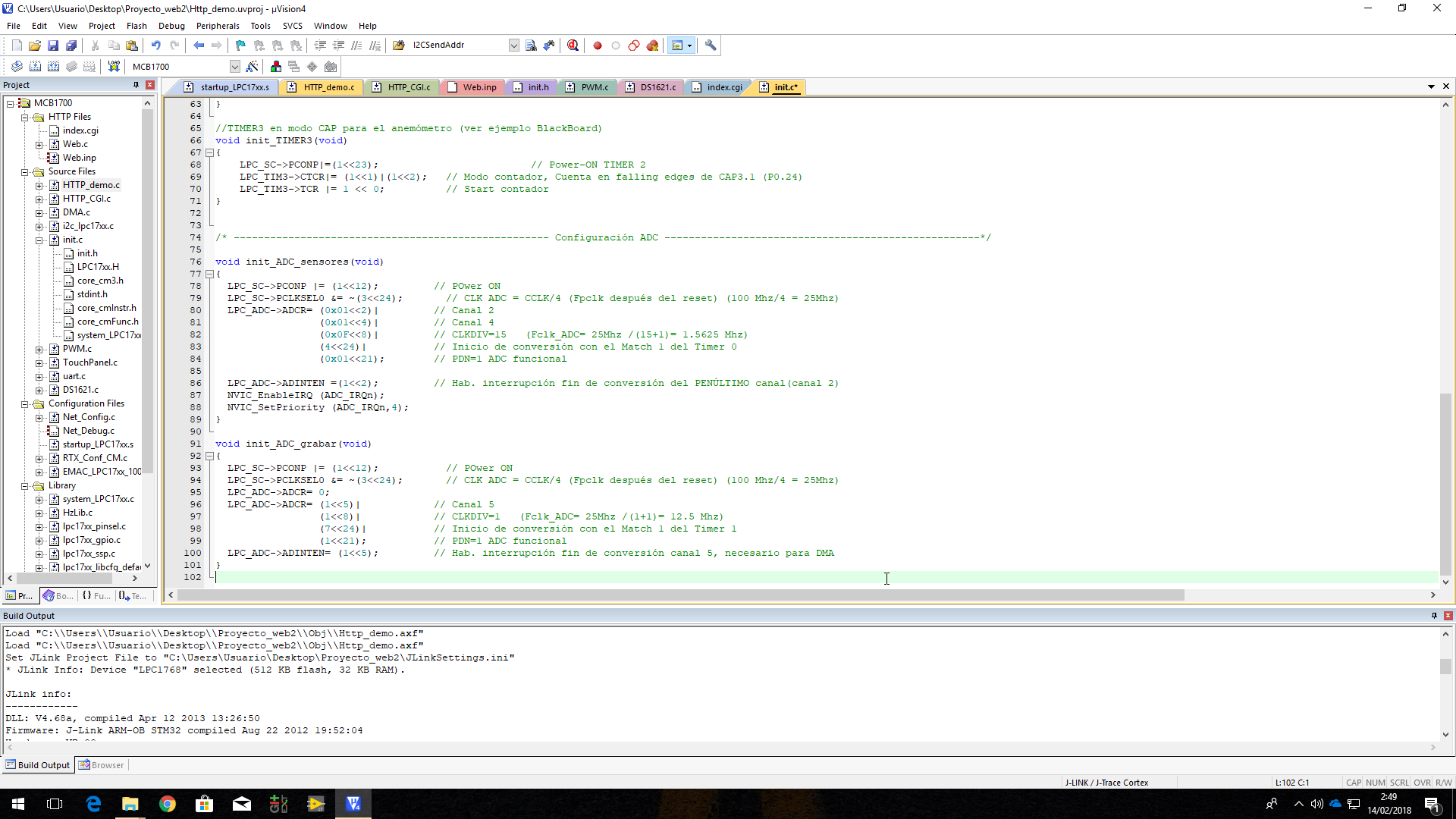
* Init\_TIMER0: configura el TIMER0 para que interrumpa cada segundo. Su función de interrupción se utilizará para gestionar diferentes tareas del sistema.



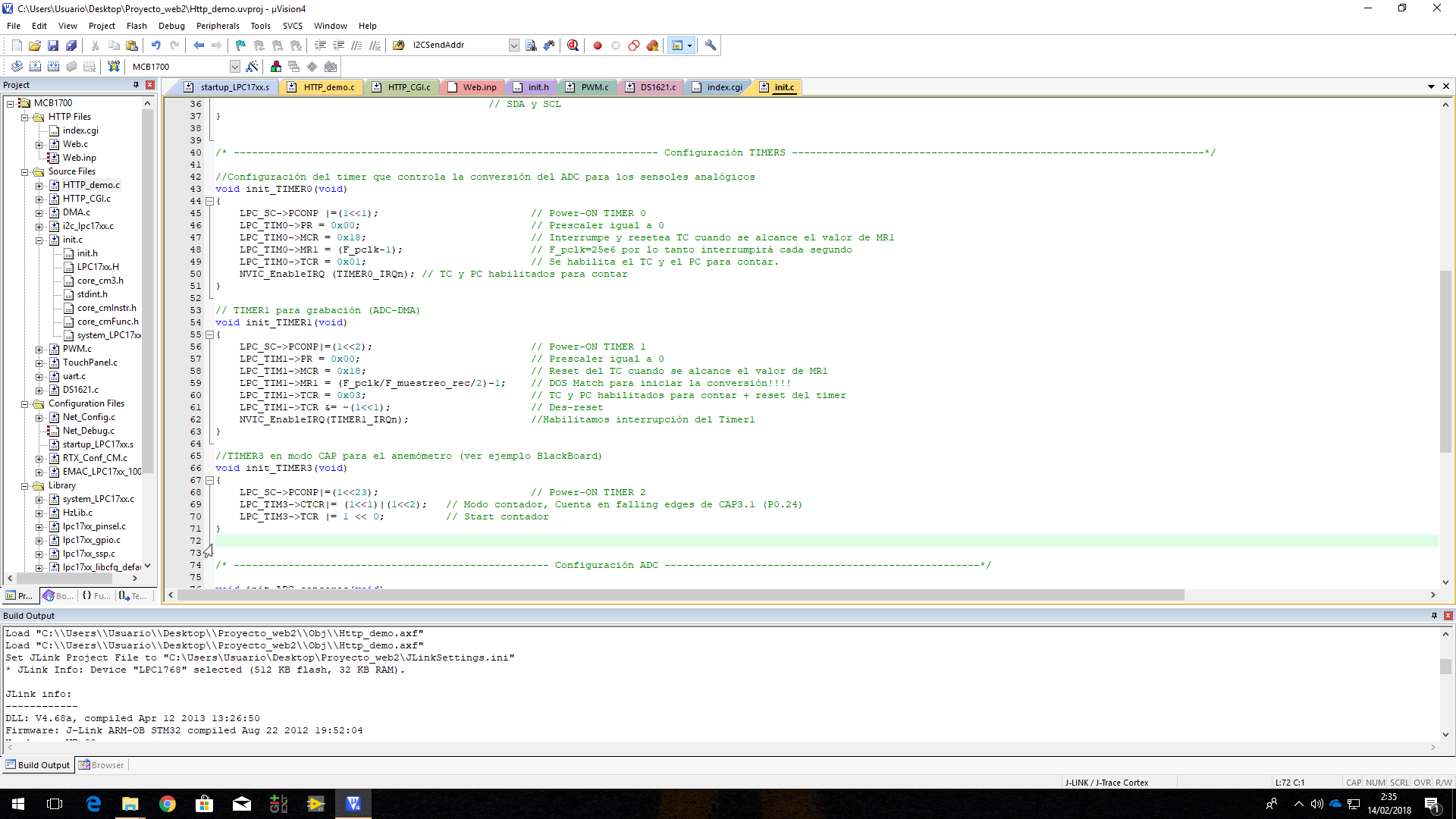
* Init\_ADC\_sensores(): configura el ADC para que muestree el canal 2 y 4 del ADC donde están conectados los sensores analógicos. Se configura para comenzar la conversión en función del Match1 del Timer0 por lo tanto muestrea cada 2 segundos.



* Init\_ADC\_grabar(): configura el ADC para grabar el sonido del micrófono y convertir las muestras de la alarma.



* Init\_TIMER1(): configura el TIMER1 para la grabación de sonido mediante el micrófono y la conversión mediante el ADC. Se configura para que el ADC muestree a 8 KHz.



* Init\_TIMER3(): configura el TIMER3 en modo CAP para calcular la velocidad del anemómetro.

