

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

GRADO EN INGENIERÍA DE LA SALUD

MENCIÓN EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

**Diseño e implementación de un voltímetro digital**

**Design and implementation of a digital voltmeter**

*Realizado por*

**Ariadna García García**

*tutorizado por*

**José de Oliva Rubio**

*Departamento*

**Ingeniería de Comunicaciones**

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

MÁLAGA, Junio de 2017

Fecha de defensa: Julio de 2017

El secretario del Tribunal



# Resumen

El desarrollo de diferentes equipos médicos en el ámbito de la Ingeniería Biomédica ha supuesto un gran avance en la Medicina.

La utilización de estos equipos ha permitido estudiar y conocer de una forma minuciosa cada uno de los sistemas que conforman el organismo humano y ha facilitado a los profesionales de la salud un diagnóstico más preciso de ciertas patologías.

Por tanto, la instrumentación médica pasa a ser un aspecto importante en el proceso de la medición y el registro de diferentes variables fisiológicas, que se traducen en señales que se pueden medir.

En este trabajo se ha diseñado un voltímetro con lectura en *display* LCD como instrumento de medida de cualquier magnitud que pueda ser transformada mediante un transductor en una tensión. Para ello se ha realizado un estudio del integrado ICL7106, que es un conversor analógico-digital diseñado específicamente para este propósito. También ha sido necesario analizar el principio de funcionamiento de los LCD.

En el ámbito de la implementación de prototipos, en primer lugar, se ha procedido al montaje del diseño en una placa de prototipado y finalmente se ha creado un prototipo completamente funcional utilizando el programa *DesignSpark PCB* con el que se ha obtenido la máscara necesaria para la fabricación de la PCB.

Finalmente, se ha comprobado el funcionamiento correcto del diseño a través de diversas pruebas realizadas sobre el prototipo final implementado.

## Palabras clave:

- Circuito integrado.
- Conversión analógica-digital.
- Display de cristal líquido (LCD).
- Instrumentación médica.
- Señales analógicas y digitales.
- Tarjeta de circuito impresa (PCB).
- Voltímetro digital.

# Abstract

The development of different medical instruments in the field of Biomedical Engineering has led to a great progress in the field of Medicine.

Making use of these devices allows the study and through knowledge of every system of the human organism. In addition, medical modern instrumentation has lead to the health professionals to higher levels of accuracy in the diagnosis of diverse pathologies.

Thus, medical instrumentation becomes an important issue in the measurement and recording processes of the different physiological variable.

In this work, a LCD display readout voltmeter has been designed as a control device for the medical instrumentation. Besides, it is also useful for the measurement and presentation of any physiological magnitude that can be transformed in a voltage by means of a transducer. The first task in the work has been the study of the ICL7106 integrate circuit, which is an analog-to-digital converter specifically designed for this purpose. Then the study of the LCD working principles has been carried out. Afterwards, the assembly of the design in a protoboard has been carried out and, at last, a prototype has been implemented. The mask of the PCB board has been generated with the DesignSpark PCB program, then the PCB itself has been etched and the components soldered to build the final prototype.

Finally, the performance of the implemented prototype has been assessed by means of different laboratory measurements.

## Keywords:

- Integrate Circuit (IC).
- Analog to digital conversion.
- Liquid Crystal Display (LCD).
- Medical Instrumentation.
- Analog and digital signals.
- Printed Board Circuit (PCB).
- Digital voltmeter.

# Agradecimientos

*A mis padres, Paloma y Goyo, quienes lo han dado todo por mí y me han apoyado hasta el final. Les agradezco su cariño infinito cuando las fuerzas eran mínimas. Gracias a ellos he llegado donde estoy ahora. Y a mi abuela María, quien ha confiado en mí desde un principio.*

*A mi tutor, Pepe, por su eterna paciencia y por darme la oportunidad de realizar este trabajo. Y a Jorge por su completa dedicación.*

*A mis compañeros del laboratorio por toda la ayuda recibida y por el buen ambiente de trabajo en el que me he sentido muy cómoda.*

*Mi recuerdo a mi abuela Resu y mis abuelos, Vicente y Gregorio, a quienes llevo en el corazón.*



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Teoría y conceptos previos</b>	<b>3</b>
2.1. Señales analógicas y digitales . . . . .	3
2.2. Procesado digital de señal . . . . .	4
2.3. El voltímetro . . . . .	6
2.4. El LCD . . . . .	7
2.5. El circuito integrado ICL7106 . . . . .	10
2.6. La fabricación de la PCB . . . . .	15
2.7. Puesto de laboratorio . . . . .	18
2.7.1. El osciloscopio . . . . .	18
2.7.2. La fuente de alimentación . . . . .	19
<b>3. Diseño del voltímetro</b>	<b>21</b>
3.1. Diseño teórico de los subsistemas . . . . .	21
3.1.1. El reloj . . . . .	21
3.1.2. El autocero . . . . .	22
3.1.3. La referencia . . . . .	22
3.1.4. El encendido del punto decimal . . . . .	22
3.2. Implementación del prototipo en la <i>protoboard</i> . Medidas y ajustes . . . . .	24
3.2.1. El reloj . . . . .	24
3.2.2. LCD . . . . .	25
3.2.3. Montaje final . . . . .	28
3.3. Implementación del prototipo final . . . . .	28
3.3.1. Obtención de la máscara de la PCB . . . . .	28
3.3.2. Placa PCB . . . . .	33
3.3.3. Pruebas finales del prototipo . . . . .	33
3.3.4. Prototipo final . . . . .	36
<b>4. Conclusiones y Líneas futuras de trabajo</b>	<b>39</b>
<b>5. Referencias bibliográficas</b>	<b>41</b>





# Índice de figuras

1.1. Voltímetro digital diseñado e implementado. . . . .	1
2.1. Ejemplo de señal analógica y digital. Señal sinusoidal y su aproximación en escalera [1]. . . . .	4
2.2. Diagrama de bloques de un sistema de procesamiento digital de señales [1].	4
2.3. Proceso de muestreo de una señal analógica [1]. . . . .	5
2.4. Conexión en paralelo del voltímetro para la toma de medidas. . . . .	6
2.5. LCD de 3 y 1/2 dígitos empleado para la realización del trabajo [3]. . . . .	8
2.6. Señal $BP$ (en azul) y $\bar{BP}$ (en rojo). El período de ambas señales se encuentra entre 50 y 60 Hz y la amplitud es de 5 V. . . . .	9
2.7. Número de dígitos y letras correspondientes a cada segmento del LCD. . .	10
2.8. Componentes externos para el funcionamiento del circuito integrado ICL7106 con un <i>display</i> de 3 y 1/2 dígitos [4]. . . . .	11
2.9. Sección analógica del ICL7106. Se encuentra rodeada la parte del integrador [4]. . . . .	11
2.10. Modelo para la discusión del funcionamiento de las fases de autocero, integración y cálculo de $V_{in}$ . . . . .	12
2.11. Forma de onda a la salida del amplificador [5]. Se trata de una dibujo aclaratorio, no de una representación real de las formas de onda. . . . .	13
2.12. Sección analógica del ICL7106. Se encuentra rodeada la parte de la referencia [4]. . . . .	13
2.13. Divisor de tensión. . . . .	14
2.14. Sección digital del ICL7106 para un <i>display</i> de cristal líquido o LCD [4]. .	14
2.15. Insoladora con temporizador junto a las máscaras correspondientes al diseño realizado. . . . .	16
2.16. Cubeta de químicos para el revelado y atacado de placas. . . . .	16
2.17. Placa obtenida después de los procesos de insolación, revelado y atacado. .	17
2.18. Osciloscopio digital empleado en el laboratorio. . . . .	18
2.19. Fuente de alimentación utilizada en el laboratorio. . . . .	19
3.1. Esquema circuital correspondiente al encendido del punto decimal. . . . .	23
3.2. Montaje en la <i>protoboard</i> con el inversor HEF4049BP necesario para el encendido del punto decimal. Las conexiones se corresponden con el montaje del esquema circuital. . . . .	23

3.3. Montaje del reloj en la <i>protoboard</i> . . . . .	25
3.4. Señal cuadrada del reloj medida en el osciloscopio. . . . .	25
3.5. Montaje necesario para el funcionamiento del chip. . . . .	26
3.6. Señales BP y BP invertida medidas en el osciloscopio. . . . .	27
3.7. Prueba del encendido de cada uno de los segmentos que constituyen los dígitos del LCD. . . . .	27
3.8. Implementación en la <i>protoboard</i> del voltímetro digital. . . . .	28
3.9. Esquema circuital del voltímetro digital diseñado para el ICL7106. . . . .	30
3.10. Conversión del plano eléctrico a la PCB. . . . .	31
3.11. Trazado manual de las pistas del diseño. . . . .	31
3.12. Visión 3D de la PCB por ambas caras. . . . .	32
3.13. Trazado de las pistas en las caras <i>TOP</i> y <i>BOTTOM</i> . . . . .	32
3.14. Placa PCB en la que se aprecian los componentes soldados. . . . .	33
3.15. Filtro RC del reloj. El potenciómetro de ajuste fino de $1\text{ k}\Omega$ que se aprecia en la imagen es el que permite el ajuste de la tensión de referencia $V_{ref}$ , no pertenece al filtro RC del oscilador. . . . .	34
3.16. Efectividad del autocero, que marca 0 V para una alimentación con la entrada cortocircuitada. . . . .	34
3.17. Tensiones medidas entre $V+$ e <i>INPUT LOW</i> y entre <i>INPUT LOW</i> y $V-$ . . . . .	35
3.18. Encendido del punto decimal empleando el inversor HEF4049BP. . . . .	36
3.19. Diseño e implementación del prototipo final. El circuito es alimentado con 9 V, resultando una medida de 64 mV. . . . .	37

# Capítulo 1

## Introducción

La forma en la que se diseñan los distintos instrumentos médicos en el ámbito de la Ingeniería Biomédica es un aspecto importante para el proceso de medida y registro de las diferentes variables fisiológicas.

La conversión de las señales analógicas a digitales para la obtención de los resultados clínicos y la posterior valoración por el profesional médico es muy importante ya que cada señal generada por los distintos sistemas que constituyen el organismo humano proporciona información acerca de estos.

El principal objetivo del trabajo es el diseño de un voltímetro que mida tensiones y que permita la visualización a través de un *display* LCD del dato recogido. La validación del diseño se va a realizar mediante la fabricación y prueba de un prototipo completamente funcional que se muestra en la Figura 1.1.

El trabajo se ha distribuido en varios puntos. En primer lugar, se ha realizado un estudio del circuito integrado ICL7106, que consiste en un conversor analógico-digital. Como producto de las prácticas externas de otros compañeros, el ICL7106 ha sido el integrado escogido para el diseño de este voltímetro. Más tarde se ha pasado al montaje del diseño en la *protoboard* y finalmente se ha creado un proyecto con el programa *DesignSpark PCB* para obtener la máscara necesaria para la fabricación del prototipo.

Por último, se ha comprobado el correcto funcionamiento del prototipo implementado a través de diversas pruebas de validación.

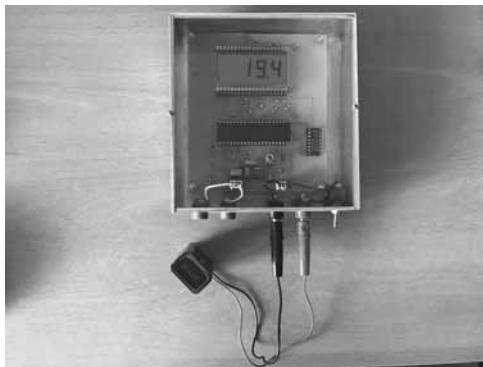


Figura 1.1: Voltímetro digital diseñado e implementado.



# Capítulo 2

## Teoría y conceptos previos

En este trabajo se manejan de forma recurrente algunos conceptos básicos que se van a discutir en las siguientes secciones.

### 2.1. Señales analógicas y digitales

Una señal eléctrica es el patrón de variación de un campo electromagnético en función del tiempo. Debido a su carácter físico, las señales eléctricas (tensiones y corrientes en teoría de circuitos) son siempre continuas, pero dependiendo de si la señal toma valores de forma continua o si lo hace de forma discreta, se distingue entre señal analógica y señal digital respectivamente.

Se denomina señal analógica a aquella que toma valores en un dominio continuo, por ejemplo, el de los números reales. Un ejemplo de señal analógica es una onda sinusoidal.

Por otro lado, se denomina señal digital a la que toma valores en un dominio discreto, por ejemplo, el de los números naturales o enteros. Es decir, únicamente varía a intervalos escalonados determinados. Esto es que entre un intervalo y el siguiente no pueden tomar valores intermedios. Cuando la señal digital solo puede tomar dos estados diferentes se denomina señal binaria. Estos dos estados diferenciados son “0” y “1” o estado bajo y estado alto, respectivamente. Este es el tipo de señal con el que operan los sistemas digitales [1].

En la Figura 2.1 se muestra un ejemplo de una señal sinusoidal y su aproximación en escalera mediante un circuito de muestreo. Mediante este circuito, la señal analógica se digitaliza.

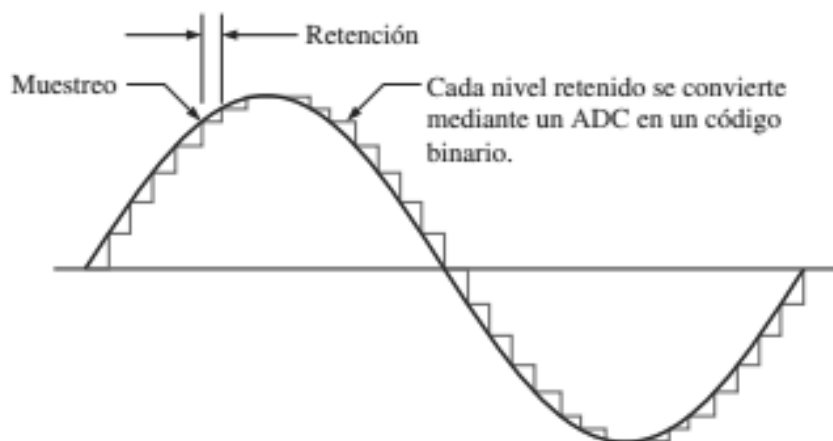


Figura 2.1: Ejemplo de señal analógica y digital. Señal sinusoidal y su aproximación en escalera [1].

## 2.2. Procesado digital de señal

El funcionamiento operativo de los sistemas digitales, donde las señales son de tipo numérico, se basa en operaciones de tipo aritmético y lógico como son las sumas, las restas, las comparaciones, etc.

El resultado de este tipo de operaciones puede actuar, a través de circuitos de acoplamiento adecuados, sobre dispositivos de salida como motores, electroválvulas, etc.

Para el procesamiento de señales analógicas mediante sistemas digitales, se transforma la naturaleza de la señal convirtiendo su formato de analógico a digital sin perder información en la transformación. En la Figura 2.2 se muestra el diagrama de bloques del procesamiento de una señal analógica a digital.

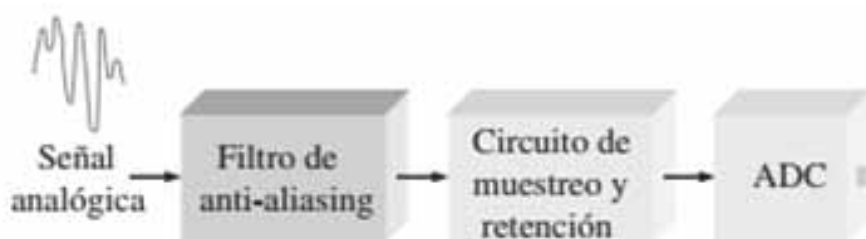


Figura 2.2: Diagrama de bloques de un sistema de procesamiento digital de señales [1].

Las señales continuas periódicas que corresponden a la forma de variación de una magnitud física, pueden por lo general descomponerse en una combinación lineal de sinusoides armónicas. Es lo que se conoce como desarrollo en serie de Fourier. El conjunto de señales sinusoidales que forman esta descomposición es lo que se conoce como el espectro de frecuencia de la señal.

Para una determinada frecuencia de muestreo, solo es posible convertir adecuadamente a señales discretas las señales continuas de frecuencia inferior a un valor determinado (la mitad de la frecuencia de muestreo). Es por eso que el primer bloque de la cadena que se muestra en la Figura 2.2 es un filtro que bloquea los armónicos del espectro de la señal de entrada por encima de una determinada frecuencia, de forma que el resto del espectro pueda ser procesado adecuadamente por el convertor A/D. Este filtro se denomina filtro *anti-aliasing* o anti-solapamiento.

El segundo bloque de la cadena de la Figura 2.2 forma el cabezal de muestreo. La función de muestreo lleva a cabo dos operaciones. La primera operación es el muestreo, que es el proceso de tomar un número suficiente de valores discretos de una forma de onda en determinados instantes de tiempo como para definir adecuadamente esa forma de onda. Cuantas más muestras se tomen, la forma de onda se podrá definir de manera más precisa. El muestreo convierte una señal analógica en una serie de impulsos. Cada uno de ellos representa la amplitud de la señal en un determinado instante. La Figura 2.3 muestra el proceso de muestreo [1].

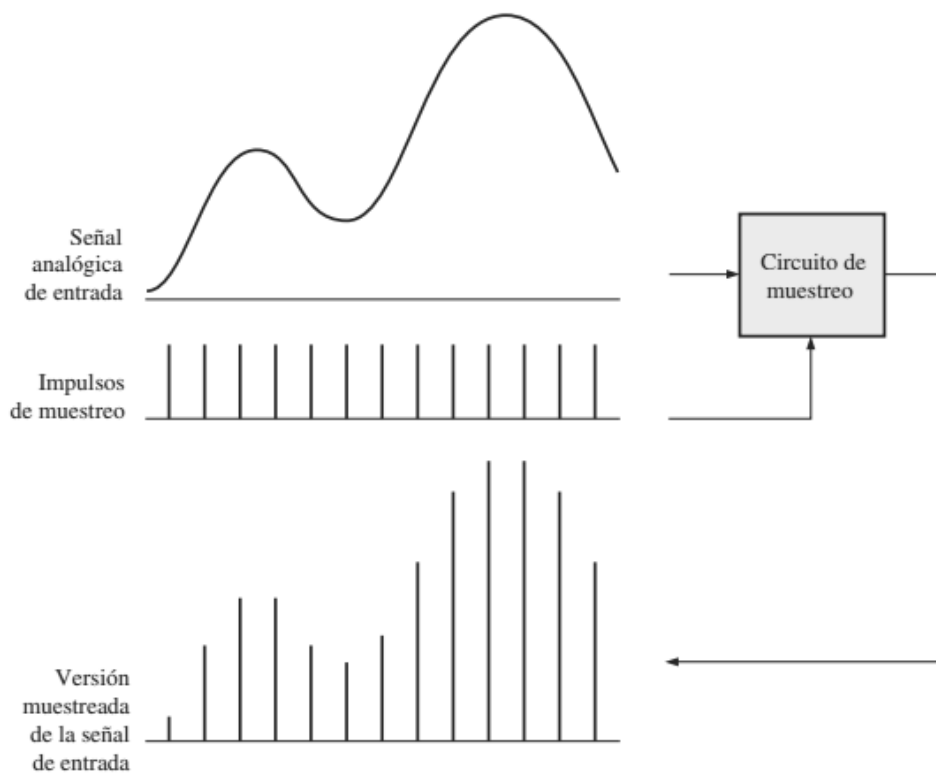


Figura 2.3: Proceso de muestreo de una señal analógica [1].

La segunda operación es la cuantificación y se corresponde con la obtención de la señal digital. La cuantificación consiste en la transformación de la señal analógica a la señal digital. El tercer bloque del diagrama de la Figura 2.2 es el que se encarga de la conversión de analógica a digital (*Analog to Digital Converter*, ADC).

## 2.3. El voltímetro

En el cuerpo humano, cada sistema genera diferentes tipos de señales que informan acerca del estado del organismo. Una enfermedad o patología en un sistema causa una alteración del mismo y por lo tanto origina variaciones en los patrones habituales de las señales generadas por el organismo sano.

Una de las formas más habituales para la medida de señales se basa en la utilización de un transductor para transformar la magnitud que se desea medir en una magnitud eléctrica, habitualmente una tensión. Posteriormente, esta tensión se mide empleando un voltímetro y el valor medido se relaciona con el valor de la magnitud original. Un ejemplo es la medida de variaciones de temperatura mediante su transformación en variaciones de tensión por medio de un termopar o un termistor y la correspondiente medida de la tensión con un voltímetro.

Los voltímetros pueden clasificarse en analógicos y digitales, como la mayoría de instrumentos electrónicos. La principal ventaja de los voltímetros digitales es que poseen una pantalla en la que muestran el valor numérico de la medida con mayor resolución que los analógicos.

La configuración actual más habitual es el voltímetro digital. El principio de funcionamiento de la versión digital consiste en un convertor A/D que transforma la señal que se quiere medir, que es una señal continua y analógica en una señal discreta y digital. Lo que mide el voltímetro es la diferencia de potencial eléctrico o tensión entre dos puntos en un circuito y éste siempre ha de colocarse en paralelo al circuito en el que se van a tomar las medidas como se muestra en la Figura 2.4.

Dada la necesidad de colocar el voltímetro de forma paralela al circuito que se mide, el voltímetro ideal tiene que tener una resistencia interna infinita para que la corriente que circule por él sea cero y por lo tanto no afecte a la magnitud que se desea medir.

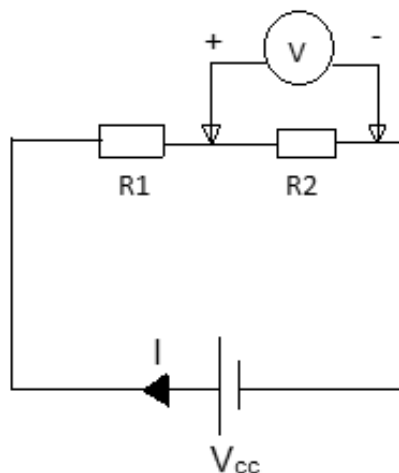


Figura 2.4: Conexión en paralelo del voltímetro para la toma de medidas.



## 2.4. El LCD

Las pantallas de cristal líquido o LCD son muy útiles porque permiten mostrar los datos y la información de una forma clara.

El principio de funcionamiento de las pantallas de cristal líquido LCD se basa en la forma en la que se manifiesta una de las capas que las constituyen, la llamada capa de cristal líquido.

La base de funcionamiento del cristal líquido que se usa en los diferentes instrumentos y dispositivos son las propiedades de propagación de la luz polarizada. Esto es que los campos eléctricos y magnéticos varían en el tiempo de forma simultánea y están acoplados entre sí, y por ello, cuando la luz se propaga, el vector de dirección de la luz describe un movimiento. Ese movimiento es lo que se llama la polarización de la luz. Normalmente, la luz tiene características de una onda transversal, es decir, no tiene componente en la dirección de propagación. En función de la relación de aspecto de las fases de sus componentes transversales, el vector de campo total se mueve en una elipse en la que el eje mayor y el eje menor no están alineados con los ejes cartesianos transversales y describe por ello un movimiento como de una espiral alrededor del eje de propagación, que es lo que se llama estado de polarización de la luz.

Las distintas capas que constituyen las pantallas de cristal líquido LCD son [2]:

- Polarizador vertical.
- Pantalla transparente.
- Capa de cristal líquido.
- Electrodo común.
- Polarizador horizontal.
- Pantalla reflectante.

La funcionalidad de cada una de las distintas capas que conforman las pantallas LCD desde la más externa a la más interna es la siguiente [2]:

Por un lado, la pantalla reflectante es la encargada de hacer rebotar la luz incidente para que parte de esta luz pueda llegar a los ojos.

Para que la luz llegue a los ojos, el polarizador horizontal se encarga de definir antes un estado de polarización conocido que es la polarización horizontal.

El electrodo común es una capa con tratamiento conductor de manera que se puede aplicar tensión a esta capa. La tensión aplicada es necesaria para orientar las moléculas de la capa de cristal líquido.

La capa de cristal líquido se encuentra entre dos electrodos, el común y el específico de cada uno de los segmentos del *display* que se encuentra en la capa transparente. La capa de cristal líquido es capaz de reaccionar a la tensión aplicada. El cristal líquido está compuesto por moléculas que tras aplicarles una tensión, cambian la orientación en

función de la tensión que ha sido aplicada. Esto es lo que provoca que cambie el estado de polarización de la luz.

La pantalla transparente es una capa con electrodos con zonas independientes. Esto es que se puede aplicar tensión a cada uno de los segmentos de forma individual.

Por último, el polarizador vertical se encarga de filtrar la luz a la salida de la celda del LCD, bloqueándola o no en función de su estado de polarización. Al pasar por el polarizador horizontal, la luz llega a la celda de cristal líquido con polarización horizontal. Si no se aplica tensión, la parte de cristal líquido está diseñada para que convierta la polarización horizontal en polarización vertical a su salida. De esta manera, si no se aplica tensión, a la salida se puede ver toda la luz, ya que el polarizador vertical no la bloquea, dejándola pasar. Por el contrario, si se aplica tensión, la celda de cristal líquido no varía el estado de polarización de entrada, por lo que a la salida no se ve luz porque se tiene un polarizador orientado de forma perpendicular al estado de polarización de la luz. Por tanto, como el polarizador vertical bloquee la luz horizontalmente polarizada, en el *display* se observa una zona oscura que es la que define los segmentos de los diferentes dígitos.

En el trabajo realizado se utiliza un LCD de 3 y 1/2 dígitos como el que se muestra en la Figura 2.5 donde se pueden visualizar los valores de las medidas tomadas.

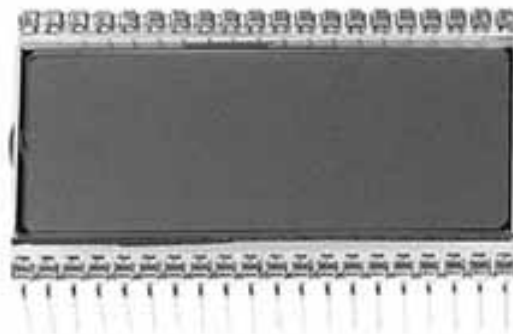


Figura 2.5: LCD de 3 y 1/2 dígitos empleado para la realización del trabajo [3].

Circuitualmente, desde el punto de vista de su tensión de alimentación, cada uno de los segmentos del LCD es, en esencia, un condensador. Por sus características particulares, los segmentos no pueden alimentarse de forma seguida con una tensión continua, porque se dañan. Por tanto, las señales de alimentación de los segmentos son señales periódicas, de forma que cada uno de los segmentos se alimenta a una tensión positiva durante la mitad del período y a la misma tensión negativa durante la segunda mitad. El período es lo suficientemente corto para que el giro del cristal se produzca con mayor rapidez de la que el ojo humano puede captar.

La señal que se aplica al electrodo común se suele llamar señal de "*BackPlane*" ( $BP$ ) y durante el tiempo que se desee tener un segmento encendido, la señal del segmento correspondiente de la pantalla transparente se alimenta con la señal de *BackPlane* pero invertida ( $\overline{BP}$ ).

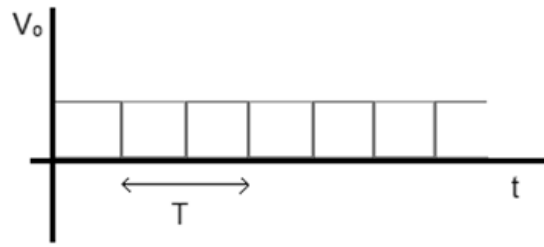


Figura 2.6: Señal  $BP$  (en azul) y  $\bar{BP}$  (en rojo). El período de ambas señales se encuentra entre 50 y 60 Hz y la amplitud es de 5 V.

En la Figura 2.6 se muestran las señales  $BP$  (en azul) y  $\bar{BP}$  (en rojo).

En la Tabla 2.1 se muestra la correspondencia entre las patillas del LCD y cada uno de sus segmentos.

Tabla 2.1: Correspondencia de los números del pin del LCD y el segmento que enciende cada uno de ellos; NC no se conecta.

PIN	COM	PIN	COM
1	COM	21	4A
2	Y	22	4F
3	K	23	4G
4	NC	24	3B
5	NC	25	3A
6	NC	26	3F
7	NC	27	3G
8	DP1	28	COL
9	2E	29	2B
10	2D	30	2A
11	2C	31	2F
12	DP2	32	2G
13	3E	33	NC
14	3D	34	NC
15	3C	35	NC
16	DP3	36	NC
17	4E	37	NC
18	4D	38	Z
19	4C	39	X
20	4B	40	COM

En la Figura 2.7 se muestran los números de los dígitos del LCD que se ha empleado para la realización del trabajo y la letra que representa cada uno de los segmentos que conforman el dígito.

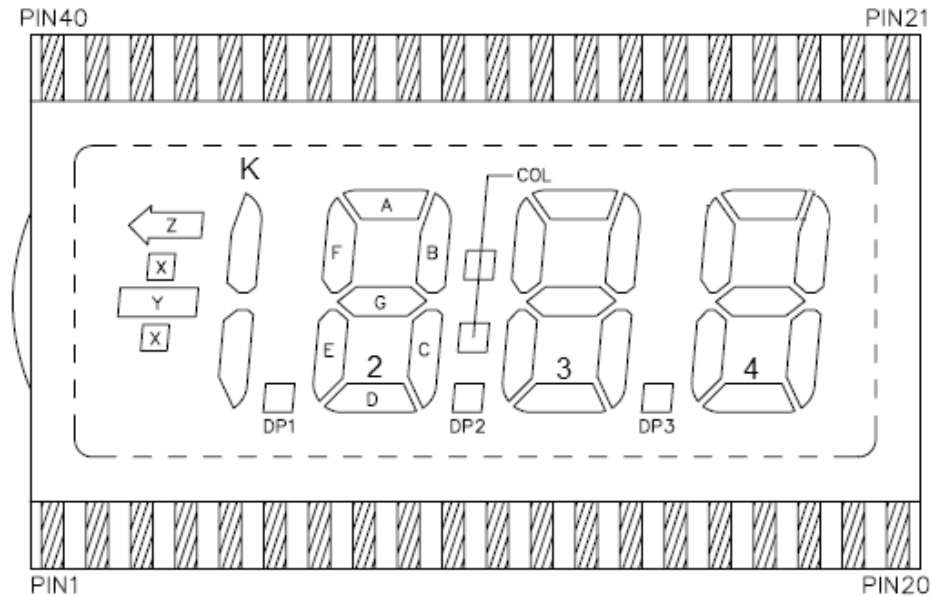


Figura 2.7: Número de dígitos y letras correspondientes a cada segmento del LCD.

## 2.5. El circuito integrado ICL7106

En este trabajo se va a llevar a cabo el diseño y la implementación de un voltímetro digital a partir del integrado ICL7106. La selección de este integrado para la realización del voltímetro digital es una decisión de diseño que se tomó con anterioridad, durante las prácticas externas de estudiantes del Grado de Ingeniería de la Salud en el curso 2015/2016 que se desarrollaron en el grupo de investigación *Photonics and RF Group* del Departamento de Ingeniería de Comunicaciones de la ETS Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad de Málaga.

Un circuito integrado es un circuito electrónico funcional cuyos componentes se fabrican todos a la vez sobre una base monolítica de material semiconductor (sustrato). Esto es lo que se conoce como chip. El chip, una vez encapsulado para que pueda ser manejable, da lugar al circuito integrado.

El integrado empleado en el desarrollo del proyecto es el ICL7106 de *Maxim*, que es un conversor analógico-digital monolítico de alto rendimiento y bajo consumo, capaz de proporcionar una salida de 3 y 1/2 dígitos para *displays* de cristal líquido. Este se muestra en la Figura 2.8 junto a los componentes externos necesarios para el funcionamiento correcto del chip.

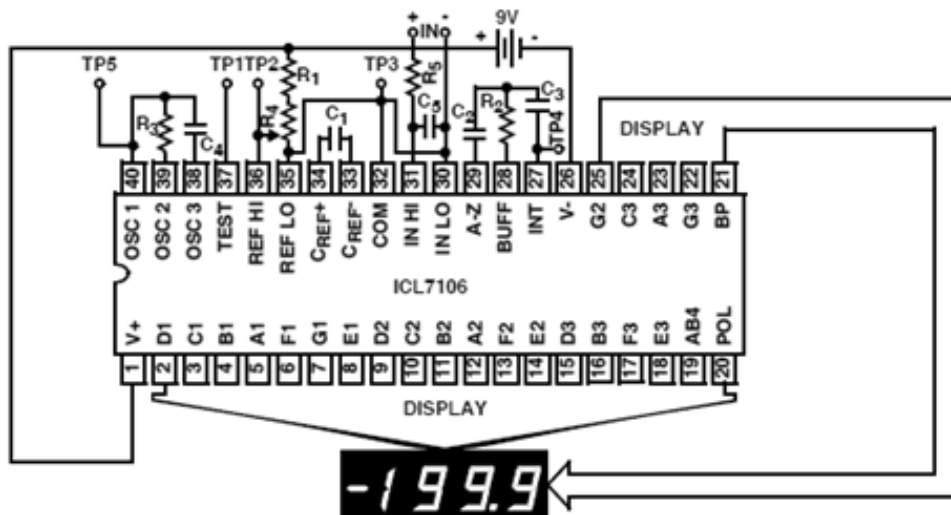


Figura 2.8: Componentes externos para el funcionamiento del circuito integrado ICL7106 con un *display* de 3 y 1/2 dígitos [4].

Algunas de las características principales del integrado son: corriente de entrada típica (1 pA), bajo ruido, lectura “cero” con 0 V de entrada en todas las escalas, referencia y reloj incorporados y baja disipación de potencia.

El integrado ICL7106 consta de una sección analógica y de una digital.

En la Figura 2.9 se muestra la sección analógica o lo que es lo mismo, la sección del chip donde se realizan todas las operaciones necesarias para la conversión analógico-digital.

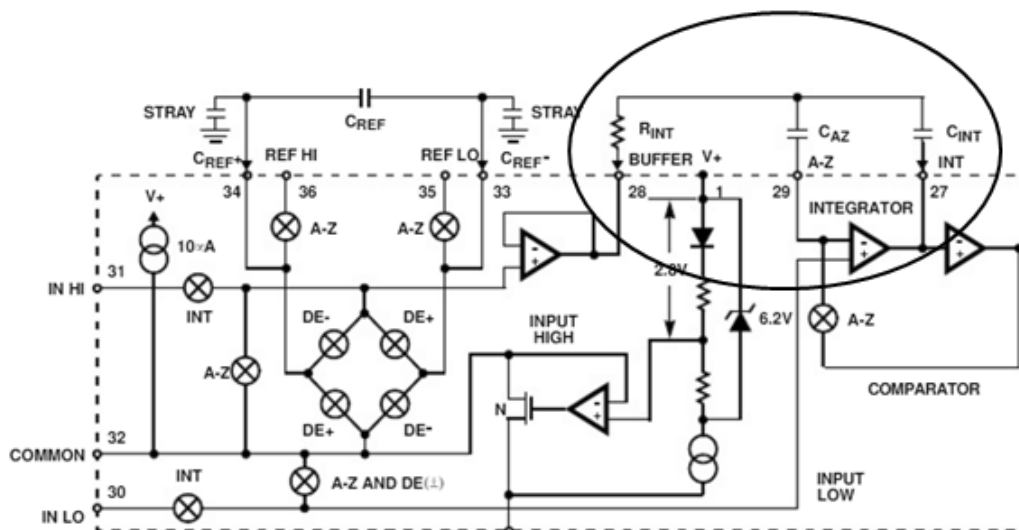


Figura 2.9: Sección analógica del ICL7106. Se encuentra rodeada la parte del integrador [4].

Una de las partes que conforman la sección analógica que se muestra en la Figura 2.9 es la encargada de convertir la señal analógica a digital. Se trata de un conversor analógico-digital de tipo integrador en el que la conversión se realiza en tres pasos, que son el autocero, la integración y el cálculo de  $V_{in}$ . Para comprender mejor el funcionamiento, en la Figura 2.10 se muestra un modelo de la sección del chip donde ocurren estos tres procesos.

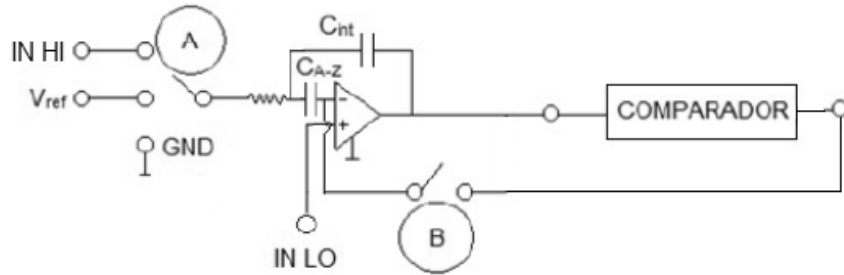


Figura 2.10: Modelo para la discusión del funcionamiento de las fases de autocero, integración y cálculo de  $V_{in}$ .

En la fase de autocero, el conmutador A que se observa en la Figura 2.10 se conecta a GND y el conmutador B se encuentra cerrado. El condensador de autocero se carga hasta la misma tensión que hay a la salida del comparador. Cuando llega a cargarse a la tensión que hay a la salida del comparador, provoca que el condensador de integración no se cargue durante la fase de integración si la tensión de entrada es de 0 V.

En la fase de integración, el conmutador A que se muestra en la Figura 2.10 se conecta a  $V_{in}$  y el conmutador B se encuentra abierto. Lo que ocurre durante esta fase es que el condensador de integración se carga durante 1000 ciclos de reloj.

Para el cálculo de  $V_{in} = V_{INHI} - V_{INLO}$ , el conmutador A que se muestra en la Figura 2.10 se conecta a  $V_{ref}$  y el conmutador B se encuentra abierto. El condensador de integración se descarga y se cuentan los ciclos que tarda en descargarse. Conociendo  $V_{ref}$  y el número de ciclos, el valor de  $V_{in}$  se puede calcular fácilmente.

En la Figura 2.11 se muestra la típica forma de onda a la salida del amplificador. Se puede observar que en la fase de integración, el condensador de integración se carga durante 1000 ciclos y en la fase de de-integración o cálculo de  $V_{in}$ , el condensador de integración se descarga entre 0 y 1999 ciclos.

De la Figura 2.11, donde se indica el número de ciclos de cada fase, se puede deducir el tiempo total de conversión que viene dado por la ecuación:

$$t_{total} = 4000 \cdot t_{clock} = 16000 \cdot t_{osc} \quad (2.5.1)$$

Donde el valor del período del oscilador ( $t_{osc}$ ) se puede calcular a partir de la ecuación 2.5.4.

La otra parte de la sección analógica es la referencia, que se muestra en la Figura 2.12.

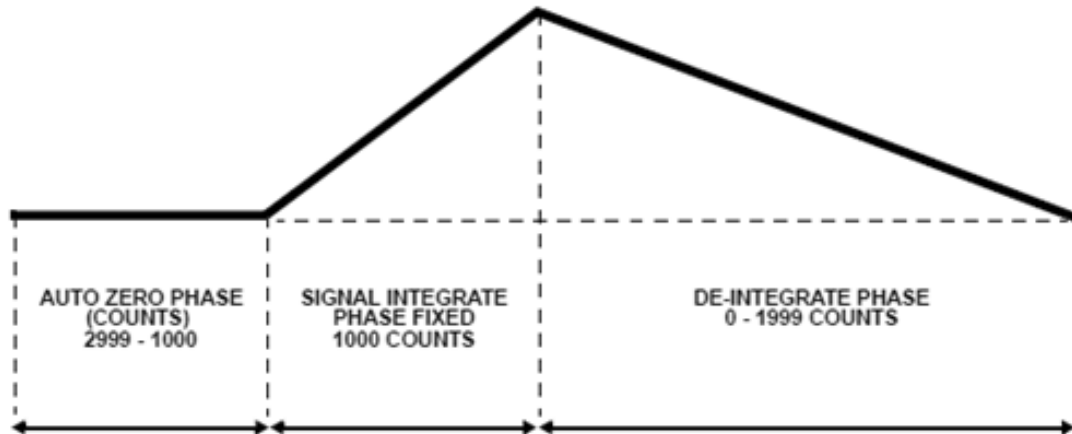


Figura 2.11: Forma de onda a la salida del amplificador [5]. Se trata de una dibujo aclaratorio, no de una representación real de las formas de onda.

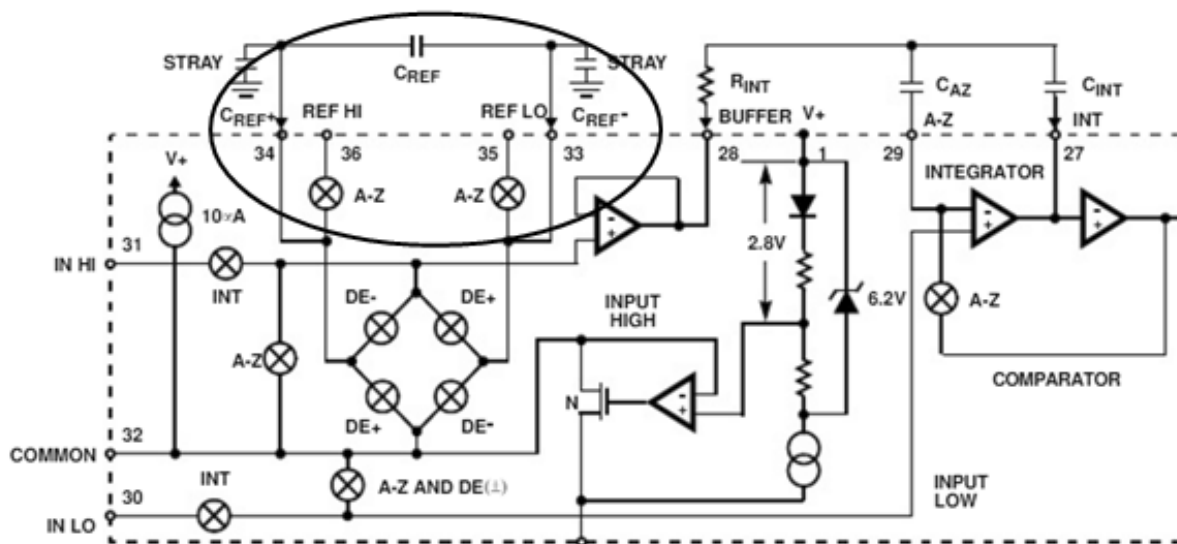


Figura 2.12: Sección analógica del ICL7106. Se encuentra rodeada la parte de la referencia [4].

La tensión de referencia se establece entre *REF LOW* y *REF HIGH* correspondientes a los pines números 35 y 36 respectivamente que se muestran en el chip de la Figura 2.8. Para establecer  $V_{ref}$  es necesario colocar un potenciómetro multivoltas de valor 1 k $\Omega$  y ajustarlo con el cursor. En la Figura 2.13 se muestra cómo se tiene que ajustar  $V_{ref}$ .

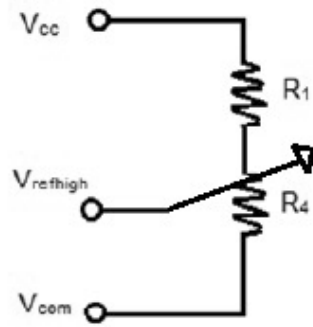


Figura 2.13: Divisor de tensión.

De la Figura 2.13 se puede deducir la ecuación

$$V_{ref} = \frac{V_{cc}}{R_1 + R_4} \cdot k \cdot R_4, \quad (2.5.2)$$

donde k toma valores entre 0 y 1.

Por otro lado, en la Figura 2.14 se muestra la sección digital del integrado ICL7106 y la sección correspondiente al circuito del reloj.

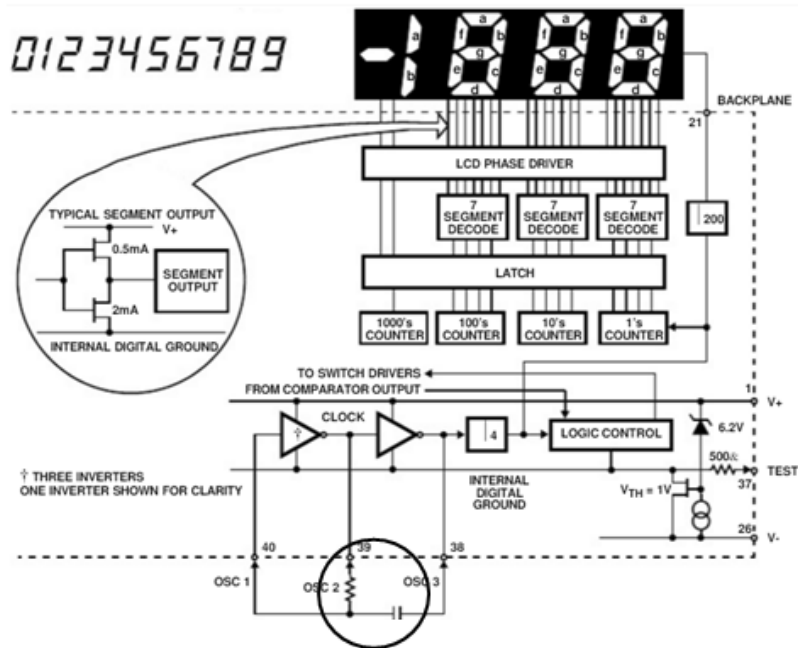


Figura 2.14: Sección digital del ICL7106 para un *display* de cristal líquido o LCD [4].

El filtro RC que se muestra en la Figura 2.14, y que se encuentra rodeado, es el encargado de fijar la frecuencia del reloj interno del ICL7106. Para conocer la frecuencia



y el período del oscilador y la frecuencia y el período de integración es necesario tener en cuenta las ecuaciones que vienen dadas en la hoja de características del ICL7106. Para que la frecuencia resultante de las ecuaciones sea en hercios y el tiempo en segundos, las unidades de la resistencia se tienen que expresar en ohmios y las del condensador en faradios.

La frecuencia del oscilador ( $f_{osc}$ ) viene dada por la ecuación:

$$f_{osc} = \frac{0,45}{R \cdot C} \quad (2.5.3)$$

Donde R y C corresponden a  $R_3$  y  $C_4$  de la Figura 2.8.

El período del oscilador ( $t_{osc}$ ) viene dado por la ecuación:

$$t_{osc} = \frac{R \cdot C}{0,45} \quad (2.5.4)$$

La frecuencia del reloj de integración ( $f_{clock}$ ) depende directamente de la frecuencia del oscilador interno:

$$f_{clock} = \frac{f_{osc}}{4} \quad (2.5.5)$$

Y el período de integración ( $t_{int}$ ), que depende directamente de la frecuencia del oscilador, viene dado por la ecuación:

$$t_{int} = 1000 \cdot \frac{4}{f_{osc}} \quad (2.5.6)$$

## 2.6. La fabricación de la PCB

Haciendo uso del programa *DesignSpark PCB*, se diseña la máscara necesaria para la fabricación de la PCB sobre la que se va a construir el prototipo final del voltímetro. El diseño de la placa se describe con detalle en el apartado correspondiente del Capítulo 3.

Tras la obtención de la máscara se lleva a cabo la fabricación de la PCB, que se divide en varias fases.

La placa que se va a emplear es una placa de fibra de vidrio (FR4) metalizada con cobre por ambas caras. El cobre se encuentra a su vez recubierto por resina fotosensible.

En primer lugar es necesario ajustar y por lo tanto recortar la placa de acuerdo a las medidas del diseño. También es necesario hacer que las máscaras obtenidas, tanto de la cara *TOP* como de la cara *BOTTOM*, coincidan entre ellas y también lo hagan los orificios de las pistas trazadas que más tarde se van a taladrar.

Una vez preparada la placa, el primer tratamiento al que se somete es la insolación. Éste consiste en situar la placa de fibra de vidrio recortada entre las dos máscaras y colocarla en la insoladora donde se va a dejar actuar durante dos minutos aproximadamente. La insoladora es el aparato que permite copiar una imagen al iluminar el fotolito que la contiene que se ha puesto en contacto directo con la superficie fotosensible que es la resina, y por lo tanto, el proceso de insolación sirve para copiar las máscaras en cada una de las caras de la placa y es el primer paso porque marca el trazado de las pistas. En la Figura 2.15 se muestra la insoladora del taller que se ha utilizado para la realización del trabajo.



Figura 2.15: Insoladora con temporizador junto a las máscaras correspondientes al diseño realizado.

El segundo tratamiento se realiza tras la finalización del proceso de insolación y recibe el nombre de revelado. El revelador que se emplea consiste en una disolución de sosa cáustica en agua y es necesario para retirar la resina fotosensibilizada y así mostrar el cobre en las zonas que no se desean proteger. Este proceso sirve para mostrar las pistas del circuito. El tiempo de revelado es aproximadamente de un minuto. Después del revelado es necesario sumergir la placa en agua para que finalice este proceso.

El tercer tratamiento al que se somete la placa es el atacado. La placa se sumerge en el atacador, que es un ácido necesario para que desaparezca el cobre que no está protegido por la resina. En la Figura 2.16 se muestra el atacador de placas del taller empleado para la realización del trabajo. La cubeta de la izquierda corresponde al revelador y la de la derecha a la del atacador.

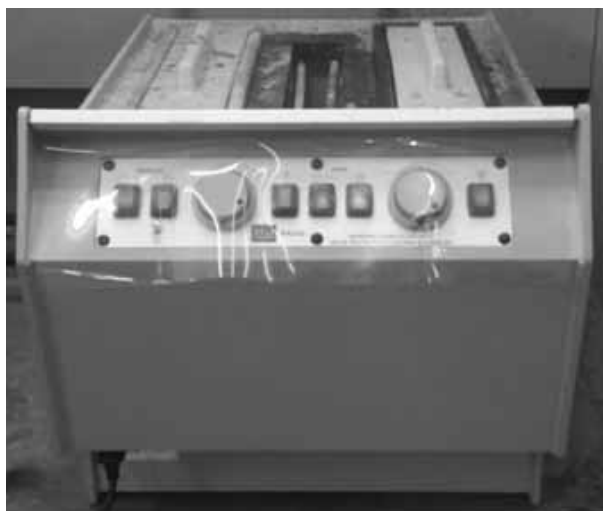


Figura 2.16: Cubeta de químicos para el revelado y atacado de placas.

Por último, para eliminar la resina que protege las pistas, hay que insolar las dos caras de la placa y posteriormente sumergirla en el revelador y después en agua.

Se seca la placa y se procede al taladrado de la misma. En la Figura 2.17 se muestra el proceso de taladrado. Con este proceso se finaliza la fabricación de la placa.



Figura 2.17: Placa obtenida después de los procesos de insolación, revelado y atacado.

## 2.7. Puesto de laboratorio

Para comprobar el correcto funcionamiento del chip y diagnosticar los posibles fallos en el prototipo se han empleado dos instrumentos de trabajo que son el osciloscopio y la fuente de alimentación.

### 2.7.1. El osciloscopio

Para la realización del trabajo se emplea un osciloscopio de doble canal. Esto quiere decir que se puede observar al mismo tiempo en la pantalla dos señales procedentes de dos entradas distintas. Los trenes de impulsos pueden visualizarse en la pantalla y se pueden medir parámetros como la amplitud, el tiempo de subida, el tiempo de bajada, el ancho de pulso, el período y el ciclo de trabajo. Además, se pueden ver y analizar anomalías en la forma o en las características del impulso y visualizar simultáneamente varias señales digitales para determinar y analizar sus relaciones en el tiempo [6].

La pantalla del osciloscopio está dividida en diez divisiones horizontales y ocho verticales. El eje vertical en la pantalla representa la escala de tensión y el eje horizontal es la escala de tiempo. Por lo tanto, los valores de tensión se leen en vertical y los del tiempo en horizontal [6].

El selector de voltios/división especifica el número de voltios que se representarán por cada división principal de la escala vertical.

El selector segundos/división conmuta entre la cantidad de segundos, milisegundos o microsegundos que representan las divisiones principales del eje horizontal. Lo que controla es la velocidad con la que el haz de electrones recorre la pantalla horizontalmente [6].

De esta forma, el período es fácil de medir y luego se puede calcular la frecuencia contando el número de divisiones principales que abarca un ciclo y después multiplicando por lo que marque el selector segundos/división.

Otros controles que posee el osciloscopio son: interruptor de encendido, botón de control de la intensidad, enfoque, posición horizontal y vertical, conmutador, señales de entrada, selector de modo y control de disparo.

En la Figura 2.18 se muestra el osciloscopio que ha sido utilizado para tomar las medidas necesarias a lo largo del trabajo.



Figura 2.18: Osciloscopio digital empleado en el laboratorio.

## 2.7.2. La fuente de alimentación

La función de la fuente de alimentación es convertir la tensión alterna en una tensión regulada. Todos los circuitos digitales requieren tensión continua para funcionar.

La fuente de alimentación se utiliza cuando se trabaja con un nuevo prototipo o cuando se extrae una tarjeta de circuito de algún sistema para probarlo y ya no se está alimentando con la fuente de alimentación interna del sistema [6].

En la Figura 2.19 se muestra la fuente de alimentación que ha sido utilizada para realizar las medidas necesarias a lo largo del trabajo. Consiste en una fuente triple con dos salidas regulables y una fija a 5 V. Las salidas regulables tienen un ajuste fino y uno grueso. La fuente, también, se puede configurar para medir la corriente que proporcionan las salidas ajustables, e incluso se puede limitar la corriente máxima (de cortocircuito) que proporcionan estas salidas.

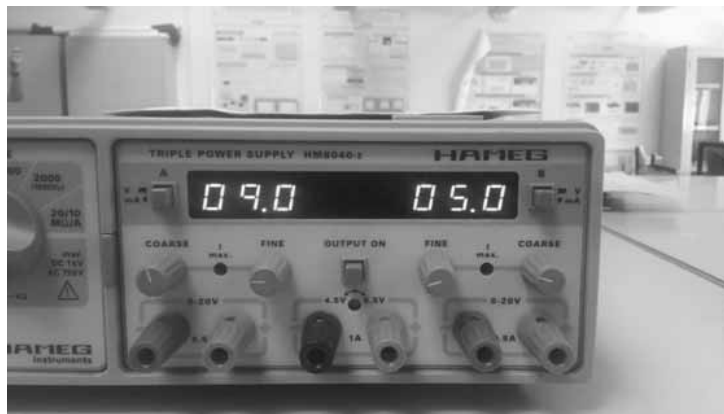


Figura 2.19: Fuente de alimentación utilizada en el laboratorio.



# Capítulo 3

## Diseño del voltímetro

Como ya se ha comentado en las secciones anteriores, el resultado del diseño y la implementación del prototipo con el integrado ICL7106 surge como consecuencia de la continuación del trabajo realizado anteriormente en las prácticas externas por otros compañeros en las que se ha seleccionado este integrado para diseñar el instrumento.

En esta sección se van a presentar las decisiones de diseño necesarias para la selección de los valores concretos de los componentes externos (aparte del ICL7106 y del LCD) que son necesarios para la implementación de un prototipo funcional.

### 3.1. Diseño teórico de los subsistemas

Para el diseño teórico de los subsistemas se tienen en cuenta las indicaciones previamente explicadas y se calculan los valores teóricos correspondientes a las ecuaciones desarrolladas en los apartados correspondientes del Capítulo 2.

#### 3.1.1. El reloj

Para el funcionamiento del reloj se emplea un oscilador RC en el que el valor de la resistencia utilizada (correspondiente a la  $R_3$  mostrada en la Figura 2.8) es de 100 k $\Omega$  y el valor del condensador (correspondiente al  $C_4$  mostrado en la Figura 2.8) es de 100 pF. Los valores han sido obtenidos de la hoja de características del ICL7106.

Escogiendo adecuadamente los componentes  $R_3$  y  $C_4$  se obtienen los valores de la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Magnitud medida y su correspondiente valor nominal.

MAGNITUD	VALOR NOMINAL
Frecuencia del oscilador	45 kHz
Período del oscilador	22,2 $\mu$ s
Frecuencia del reloj de integración	11250 Hz
Período de integración	0,089 s

### 3.1.2. El autocero

Tal y como se explica en el apartado 2.5 del Capítulo 2, el condensador encargado de establecer el autocero es el condensador de autocero, correspondiente al  $C_2$  de la Figura 2.8. El valor del condensador de autocero ( $C_{A-Z}$ ) se debe escoger adecuadamente para que el cálculo de  $V_{in}$  se realice con precisión con 1000 ciclos durante la integración y de 0 a 1999 ciclos de cálculo de  $V_{in}$ . Para ello, el condensador de autocero ( $C_{A-Z}$ ) = 0,47  $\mu F$ , según la hoja de características.

### 3.1.3. La referencia

Como se ha explicado en el apartado 2.5 del Capítulo 2, el voltímetro que se va a diseñar posee dos escalas distintas de medida: para 2 V y para 200 mV. La escala para la que ha sido diseñado el voltímetro de este trabajo es para la de 200 mV, donde la tensión de referencia, entre los pines 35 y 36, correspondientes a *REF LOW* y *REF HIGH* respectivamente, tiene que ser de 100 mV.

Por otra parte, el chip se alimenta con 9 V de entrada pero se debe considerar que entre  $V+$  e *INPUT LOW* (correspondiente al pin 30 del ICL7106) tiene que haber 2,8 V aproximadamente y entre *INPUT LOW* y  $V-$  tiene que haber -6,2 V aproximadamente.

### 3.1.4. El encendido del punto decimal

La señal *BP* se utiliza para establecer la señal pulsada y lo que provoca es que el flanco de subida y de bajada cambien de forma periódica. Esto hace que el cristal se encienda y se apague sin que el ojo humano sea capaz de percibir estos cambios.

Para el caso del encendido de los puntos decimales del LCD, se puede elegir entre encenderlos o no hacerlo. La escala para la que se va a diseñar el voltímetro es de 200 mV, por lo que el punto que se necesita encender es el último (denominado DP3). La escala significa que las medidas que va a tomar el voltímetro diseñado son hasta 200 mV y por lo tanto, el punto DP3 va a estar encendido en todo momento. Para ello, se utiliza el inversor HEF4049BP. Para mantener el punto encendido siempre, es necesaria la señal  $\overline{BP}$ .

Para el encendido del punto decimal, según se aprecia en la Figura 3.1, es necesario invertir la señal de *back plane* (*BP*) del ICL7106. El inversor que se emplea para invertir esta señal es el HEF4049BP que se alimenta a la misma tensión que el ICL7106, es decir, a 9 V.

La señal *BP*, correspondiente al pin número 21 del ICL7106 que se muestra en la Figura 2.8 del Capítulo 2, se conecta al pin número 3 del inversor. La señal  $\overline{BP}$ , correspondiente al pin número 2 del inversor, se conecta al pin número 16 del LCD encargado de encender el tercer punto decimal. En la Figura 3.1 se muestra el esquema circuital correspondiente al encendido del punto decimal.

En la Figura 3.2 se muestra el ICL7106 junto al LCD y al inversor y las correspondientes conexiones necesarias para el encendido del punto decimal.



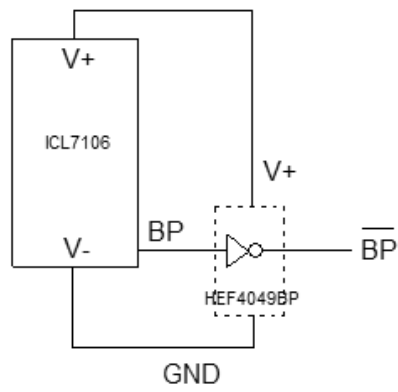


Figura 3.1: Esquema circuital correspondiente al encendido del punto decimal.

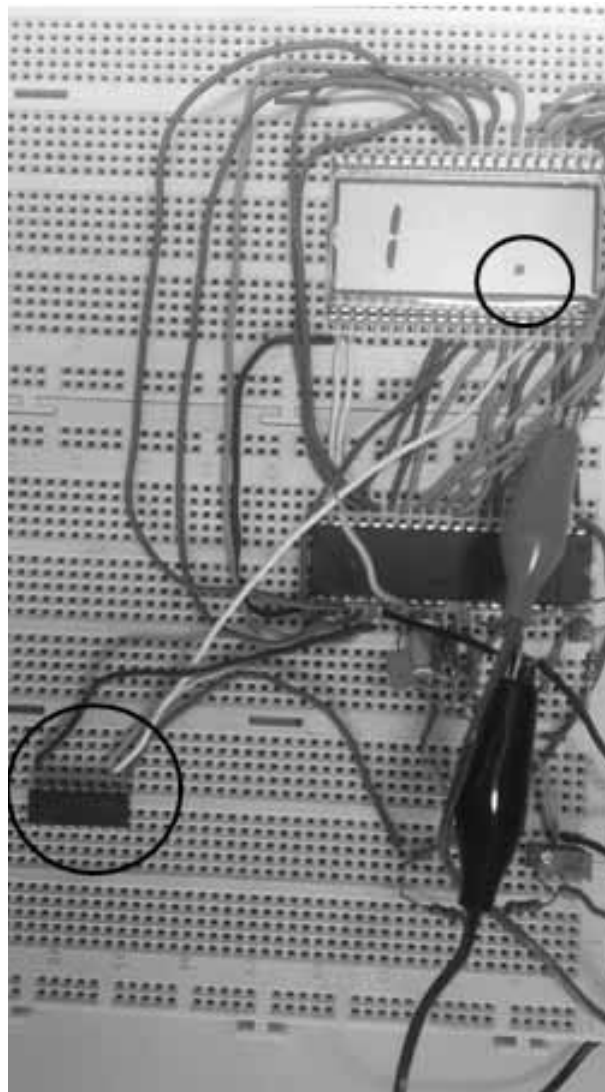


Figura 3.2: Montaje en la *protoboard* con el inversor HEF4049BP necesario para el encendido del punto decimal. Las conexiones se corresponden con el montaje del esquema circuital.

## 3.2. Implementación del prototipo en la *protoboard*. Medidas y ajustes

Una vez realizado el diseño teórico previo de los subsistemas, el siguiente paso consiste en la implementación del prototipo en la *protoboard* y sus correspondientes medidas y ajustes.

### 3.2.1. El reloj

Para una resistencia de 100 k $\Omega$  y un condensador de 100 pF, teniendo en cuenta las ecuaciones 2.5.3, 2.5.4, 2.5.5 y 2.5.6 detalladas en el apartado 2.5 del Capítulo 2, se miden de forma práctica las magnitudes descritas y se comparan con los valores nominales calculados en el apartado 3.1.1 del Capítulo 3.

Para el cálculo del valor mínimo y máximo y la posterior comprobación de que el resultado práctico se encuentra dentro del rango, se tiene en cuenta que la tolerancia de los componentes empleados es del 10%.

Tabla 3.2: Valor mínimo y máximo teórico teniendo en cuenta el 10% de tolerancia de los componentes y valor medido.

MAGNITUD	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR MEDIDO
$f_{osc}$	<b>37190,08 Hz</b>	<b>55555,56 Hz</b>	<b>40,98 Hz</b>
$t_{osc}$	<b>18 <math>\mu s</math></b>	<b>26,9 <math>\mu s</math></b>	<b>24,4 <math>\mu s</math></b>
$f_{int}$	<b>9297,52 Hz</b>	<b>13888,89 Hz</b>	<b>10245 Hz</b>
$t_{int}$	<b>0,071 s</b>	<b>0,11 s</b>	<b>0,098 s</b>

En la Tabla 3.2 se muestran los resultados obtenidos.

En ella puede observarse que el valor medido se encuentra dentro del rango de valores esperados teniendo en cuenta la tolerancia.

Para el montaje en la *protoboard*, se alimenta adecuadamente el chip entre 0 y 9 V habilitando así todas sus funciones y se presta atención, en este caso, al reloj para comprobar el valor de las medidas prácticas y los valores teóricos y por lo tanto, su funcionamiento correcto. El montaje en la *protoboard* se muestra en la Figura 3.3.

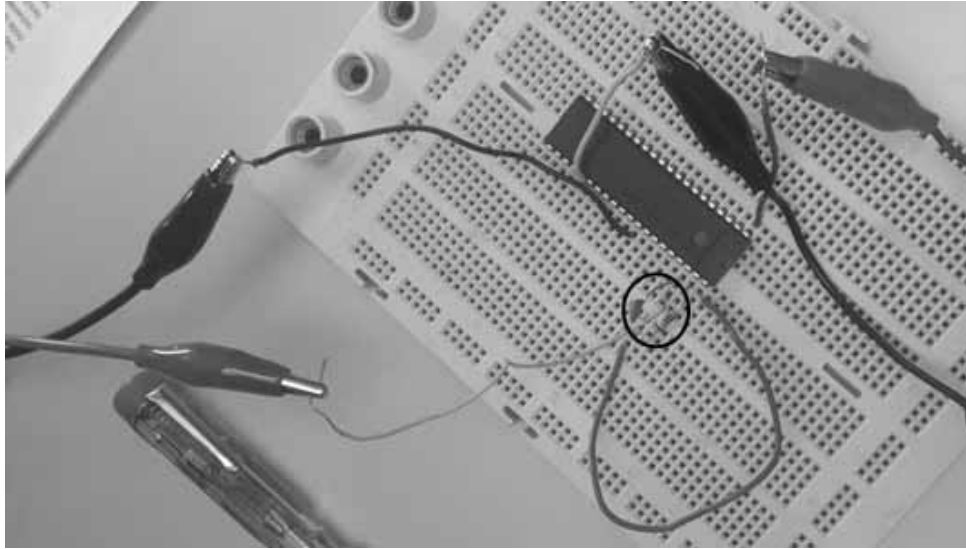


Figura 3.3: Montaje del reloj en la *protoboard*.

La señal de reloj medida en el osciloscopio se muestra en la Figura 3.4. En esta figura se observa una señal cuadrada que oscila entre estado alto y estado bajo. El período, que es el intervalo de tiempo necesario para completar un ciclo repetitivo, se mide utilizando los cursores. La frecuencia de reloj medida es de 40,98 kHz.

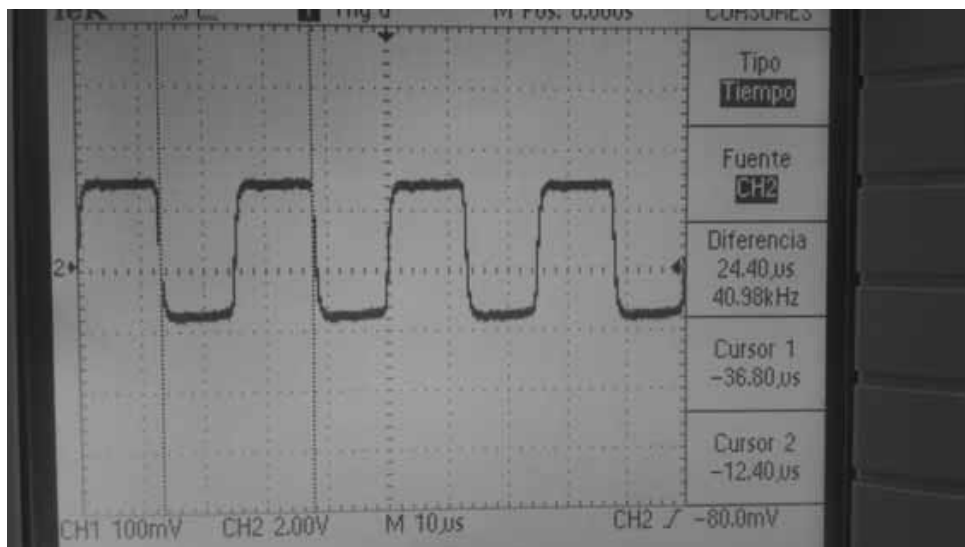


Figura 3.4: Señal cuadrada del reloj medida en el osciloscopio.

### 3.2.2. LCD

Conociendo cada una de las capas que conforman las pantallas LCD y su principio de funcionamiento explicado previamente en el Capítulo 2, se monta el circuito correspondiente en la *protoboard*, necesario para el funcionamiento del LCD de 3 dígitos y  $\frac{1}{2}$  que se va a emplear. Se utiliza, además del integrado ICL7106, el inversor HEF4049BP para preparar las señales  $BP$  y  $\bar{BP}$ . La señal  $BP$ , que es una señal cuadrada, es imprescindible

para alimentar el LCD correctamente evitando que éste se dañe y  $\bar{BP}$  es necesaria para el encendido continuo del tercer punto decimal para la escala de 200 mV que se va a medir. El montaje se muestra en la Figura 3.5.

La señal  $BP$  del integrado es la misma que la del inversor. El pin test del ICL7106 es el común del inversor. Se hacen las conexiones pertinentes y se ajusta el osciloscopio para obtener las señales que se buscan.

En la Figura 3.6 se muestran las señales  $BP$  y  $\bar{BP}$  observadas en el osciloscopio. Ambas son señales cuadradas con una frecuencia de 50 Hz y 5 V de amplitud.

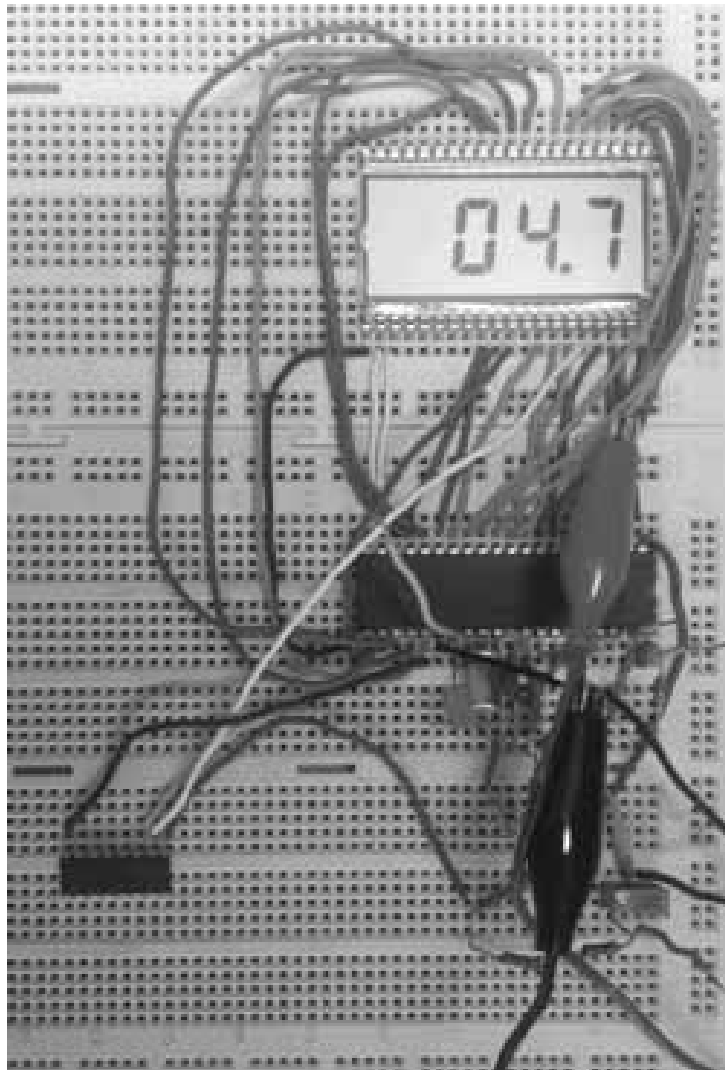


Figura 3.5: Montaje necesario para el funcionamiento del chip.

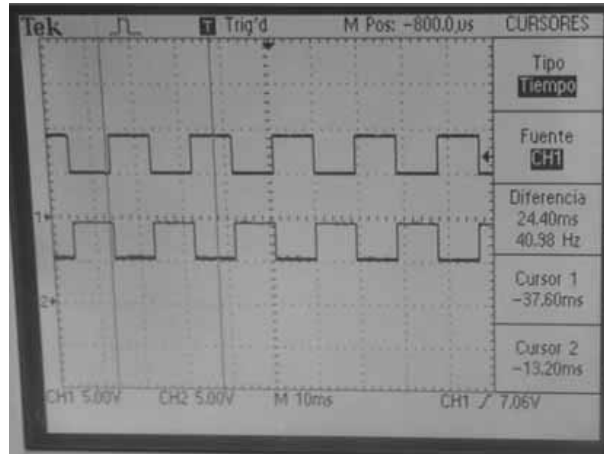


Figura 3.6: Señales BP y BP invertida medidas en el osciloscopio.

Una vez preparadas las señales, se comprueba el encendido de cada uno de los segmentos tal y como se explicó en el apartado 2.4 del Capítulo 2. Los correspondientes pines del LCD que encienden cada uno de los segmentos que constituyen los dígitos de éste se encuentran detallados en la Tabla 2.1. En la Figura 3.7 se muestra la forma de prueba que se ha realizado para obtener los datos de la tabla. El LCD se alimenta con la señal  $BP$  y con  $\overline{BP}$  se va probando en cada uno de los pines para mostrar el segmento que se enciende. Esto ha sido necesario porque se ha usado un LCD cuyo número de serie no se conoce y se ha tenido que comprobar el patillaje.

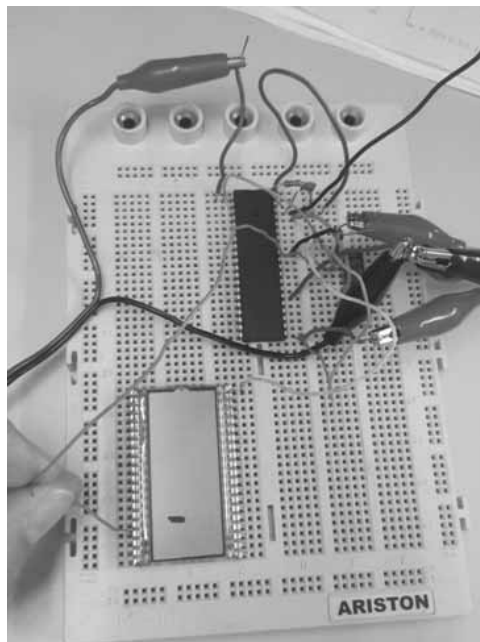


Figura 3.7: Prueba del encendido de cada uno de los segmentos que constituyen los dígitos del LCD.

### 3.2.3. Montaje final

Para finalizar, tras haber comprobado el correcto funcionamiento de la señal de reloj, del autocero, de la referencia y del LCD, se realiza el montaje completo del circuito con sus respectivos elementos y componentes.

Se comprueba que la medida de tensión que muestra el voltímetro es la correcta, comparándola con la que mide un multímetro comercial.

En la Figura 3.8 se muestra la implementación final del prototipo en la *protoboard*. El circuito se alimenta con una sola fuente de 9 V. En los puntos de medida, es decir, entre los pines 30 y 31 se miden 150 mV con el multímetro comercial y en la Figura 3.8 se puede observar que el voltímetro que se ha montado mide 149,8 mV por lo que la medida que toma es correcta.

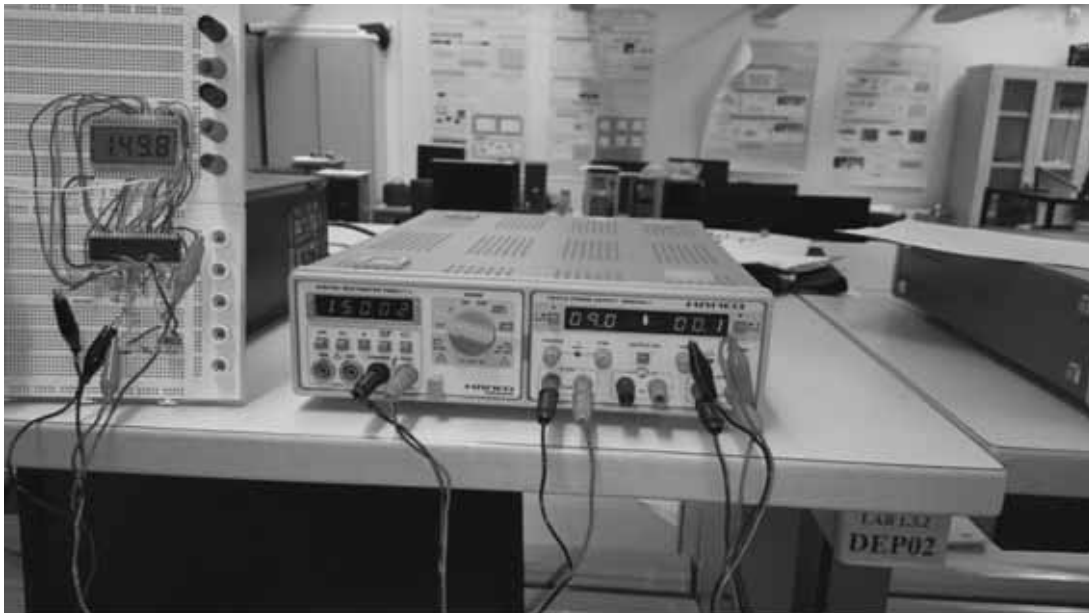


Figura 3.8: Implementación en la *protoboard* del voltímetro digital.

## 3.3. Implementación del prototipo final

Dada la complejidad del montaje, primero se ha implementado el prototipo en la *protoboard* y comprobado el funcionamiento. Una vez implementado, se ha pasado al diseño de la placa PCB y a la implementación del prototipo final.

### 3.3.1. Obtención de la máscara de la PCB

Para la obtención de la máscara necesaria para el diseño de la placa impresa del voltímetro se hace uso del software que ofrece el programa *DesignSpark PCB*. Tras la instalación del programa, se crea un nuevo proyecto. En este caso, el proyecto se llama “VOLTIMETRO”. Una vez creado, aparece una pestaña con el nuevo proyecto creado con las carpetas en las que se incluirán los diferentes ficheros que se van añadiendo al proyecto

a lo largo del diseño: *Schematic Design, PCB Design y Other Files*. Por lo tanto, si se abre el proyecto, se abrirán con él todos los ficheros. Se crea un plano eléctrico dentro del proyecto que permita dibujar el diseño previamente estudiado de forma esquemática en una hoja en blanco.

Antes de empezar a colocar los componentes se inserta el marco y cajetín del plano del dibujo en el que se especifica los datos del diseño que se está realizando. A continuación, se seleccionan los componentes necesarios y se hacen las conexiones pertinentes. Todos los componentes se encuentran dentro de las librerías o en la página *RS-Amidata* de la que se pueden descargar. En algunos casos no se dispone del símbolo para el esquema circuital ni de la huella del componente por lo que se tiene que crear y guardar en una librería nueva o una ya creada.

Para la realización de este trabajo es necesario añadir seis resistencias (ya que para la resistencia de valor  $24\text{ k}\Omega$ , se han empleado dos resistencias en serie de  $12\text{ k}\Omega$ ), cinco condensadores, el integrado ICL7106, un inversor HEF4049BP, un cristal líquido LCD y cuatro conectores para los cables en los que se va a hacer la medida. Todos ellos en formato de inserción.

Para hacer el diseño de una placa de circuito impreso es necesario disponer de los modelos de los componentes que se van a utilizar en el diseño en el formato que utiliza la herramienta CAD de diseño. Así, por cada componente hay que tener, por un lado, el símbolo que describe al componente y que se emplea para dibujar el esquema circuital del diseño. Por otro lado, cada símbolo de componente en el esquema circuital debe estar asociado al componente físico que se va utilizar para implantarlo en la placa de circuito impreso, que es lo que se conoce como huella del componente. Además, opcionalmente se le puede añadir a cada componente un modelo en 3D que, aunque no es necesario para realizar la PCB, puede ser útil para tener una visión final del diseño realizado en tres dimensiones.

Una vez que se añaden los componentes necesarios, se hacen las conexiones pertinentes previamente estudiadas. Se puede dar nombre a cada una de las conexiones para diferenciarlas.

Para el trabajo desarrollado, el esquema circuital del diseño del voltímetro digital con el integrado ICL7106 se muestra en la Figura 3.9. Se va a fabricar una PCB de dos caras (*TOP* y *BOTTOM*), esto es, que tiene metalización de cobre en sus dos caras en las que se van a disponer las conexiones y los dispositivos. La PCB va a ser de  $100\times 110$ .

Una vez que se ha completado el esquema circuital, donde los componentes seleccionados para este esquema tienen asociado su correspondiente huella, se empieza a diseñar el trazado de las pistas de la placa. Se realiza la conversión del esquema circuital a trazado de placa impresa (*layout* de PCB).

Tras finalizar la conversión, en la que únicamente se ubican los componentes pero no se trazan las pistas, aparece en la pantalla el contorno que define los límites de la placa del circuito impreso y los componentes del diseño distribuidos por la ventana del diseño tal y como se muestra en la Figura 3.10. Se observa que los componentes aparecen unidos por líneas (*rastnets*) que indican las diferentes conexiones entre los componentes.

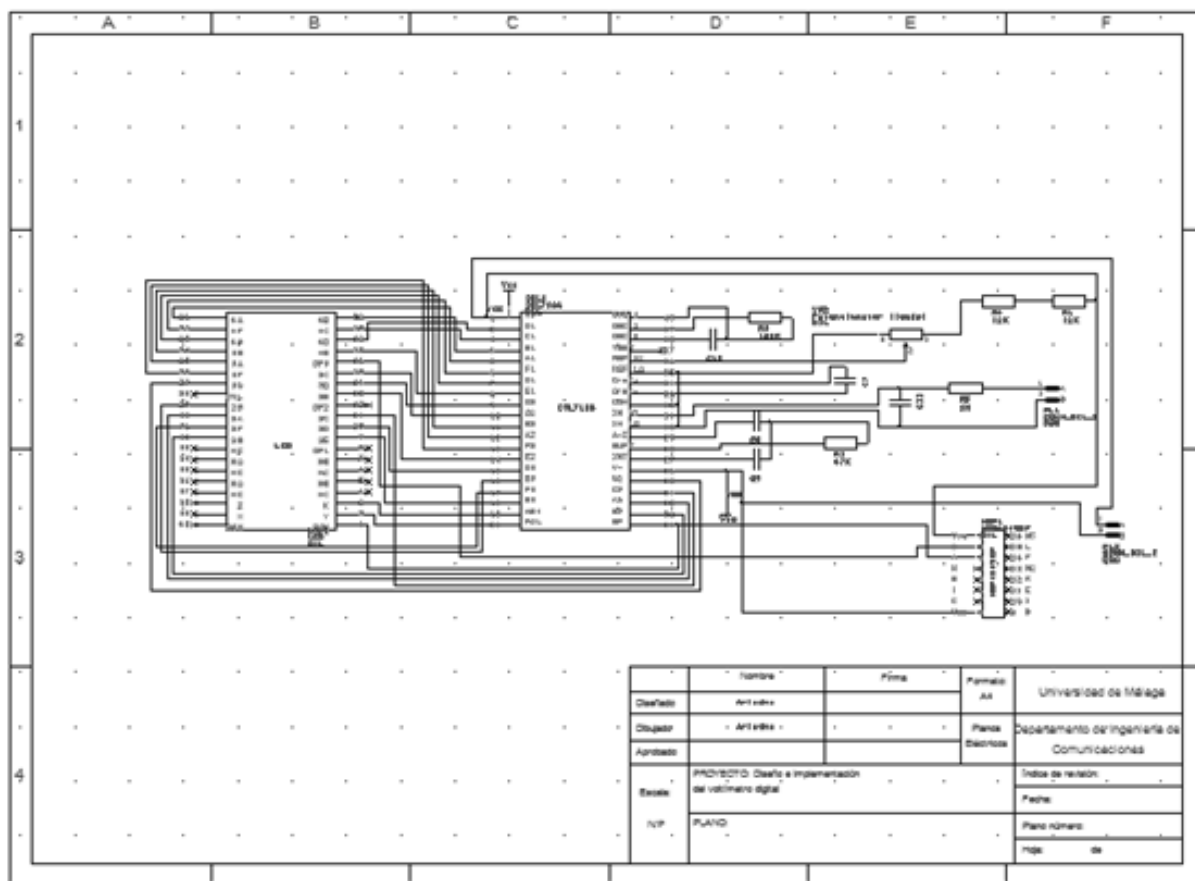


Figura 3.9: Esquema circuital del voltímetro digital diseñado para el ICL7106.

Estas conexiones se convierten en pistas (*tracks*) en el proceso de diseño. La visión de la PCB es desde la cara *TOP*. Se distribuyen y colocan los componentes de tal forma que queden ordenados y suficientemente separados para su posterior impresión. La colocación de los componentes en la PCB está forzada por un plano que fija la posición de los distintos componentes.

Una vez que los componentes han sido colocados en el lugar donde van a aparecer en la PCB, se trazan las pistas o enrutado de forma manual. Se presta especial atención al ancho de las pistas y a los cruces.

En la Figura 3.11 se muestra el enrutado final realizado de forma manual. Las pistas de color rojo indican que van por la cara *TOP* y las azules o celestes que van por la cara *BOTTOM*. El contorno de color verde delimita el perímetro de la PCB.

Para trazar manualmente una pista entre dos conexiones, se pulsa sobre el pad del componente y se observa que la línea amarilla que indica con qué otro pad debe conectarse se convierte en una pista del ancho especificado y del color asociado a la capa en la que se traza. Antes de generar los ficheros de salida que permiten la fabricación de la placa, se procede a chequear que la PCB no viola ninguna de las reglas de diseño que se impusieron a la misma a través de la tecnología especificada como el ancho de las pistas y evitar el cruce de éstas por la misma cara, por ejemplo.



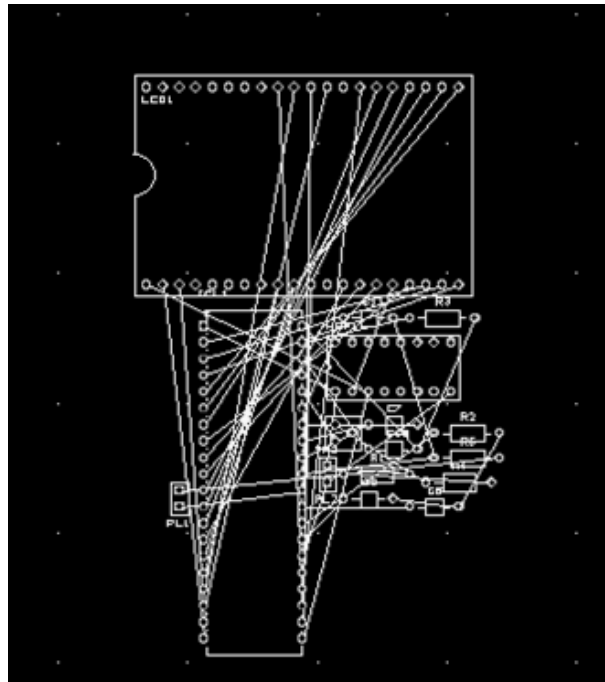


Figura 3.10: Conversión del plano eléctrico a la PCB.

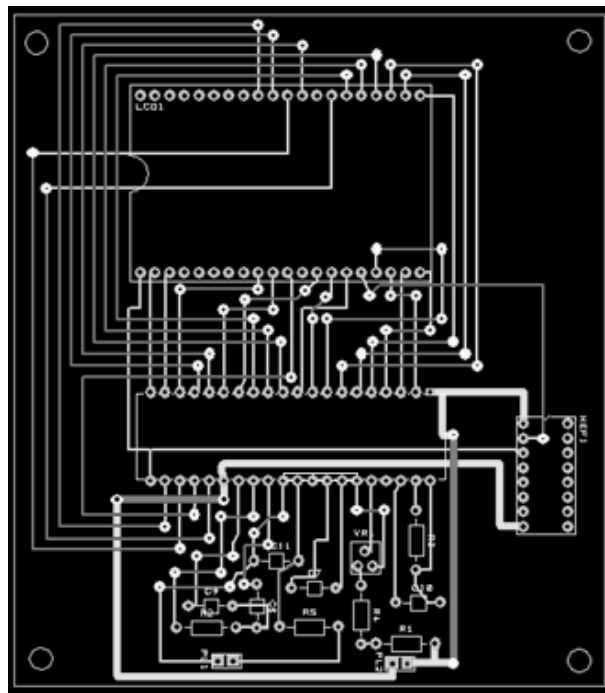


Figura 3.11: Trazado manual de las pistas del diseño.

El diseño ya está totalmente finalizado, pero el programa también permite una visión en 3D del mismo.

En la Figura 3.12 se muestra el diseño en 3D tanto de la cara *TOP* como el de la *BOTTOM*.

Por último, la herramienta de diseño proporciona una serie de informes del diseño realizado y los ficheros de información necesarios para la fabricación de las máscaras de cobre que se imprimen. Estas se pueden observar en la Figura 3.13.

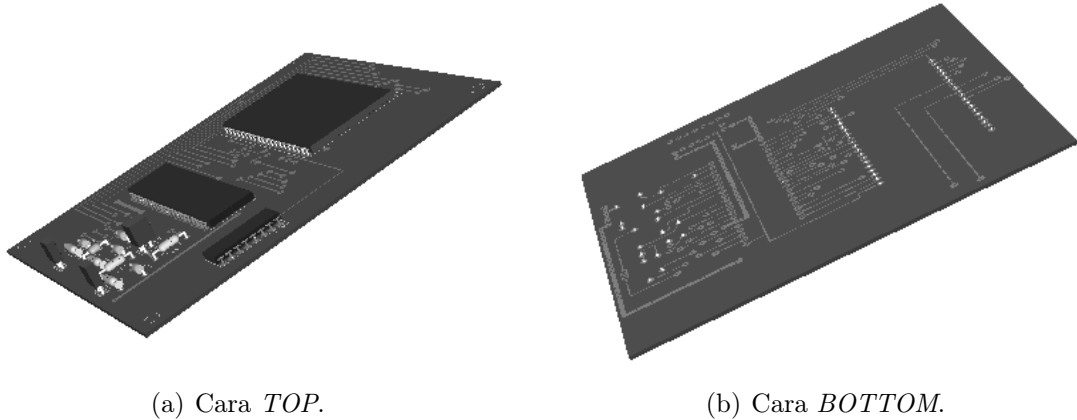


Figura 3.12: Visión 3D de la PCB por ambas caras.

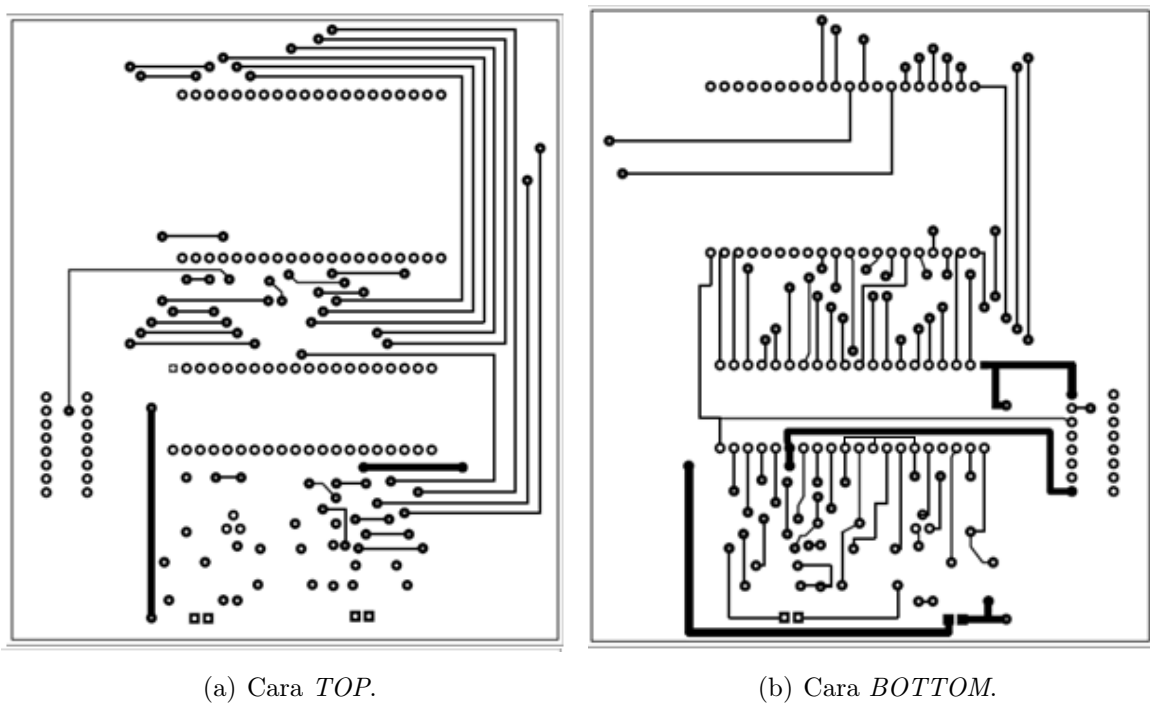


Figura 3.13: Trazado de las pistas en las caras *TOP* y *BOTTOM*.

### 3.3.2. Placa PCB

Tras el tratamiento al que se somete la placa, previamente explicado en el apartado 2.6 del Capítulo 2, se obtiene la placa PCB.

Después de los procesos de insolación, revelado, atacado y taladrado, es necesaria la colocación de cada uno de los componentes y su posterior soldadura. Para el LCD, el ICL7106 y el inversor HEF4049BP se han empleado zócalos. En la Figura 3.14 se muestra una de las caras de la placa PCB con los componentes soldados.

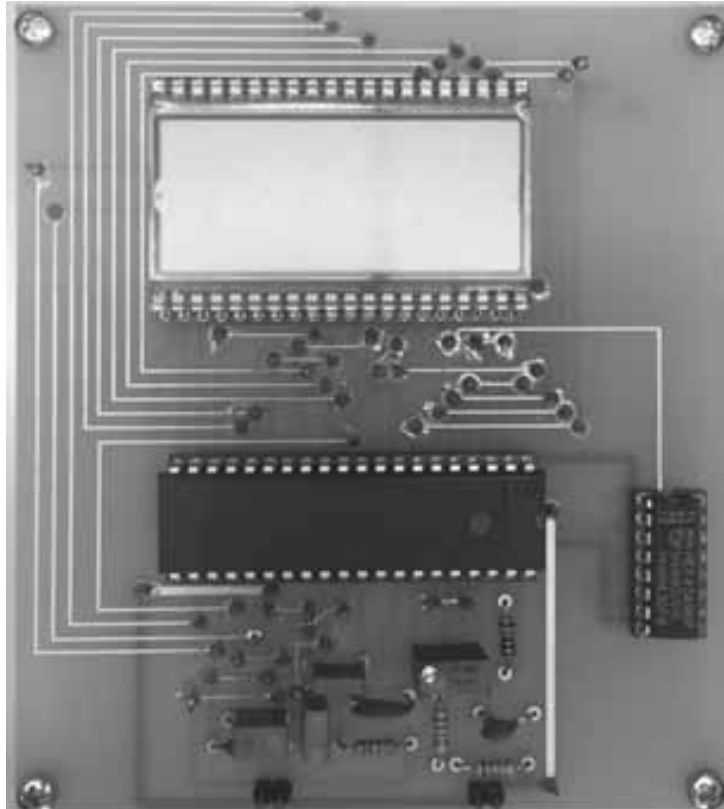


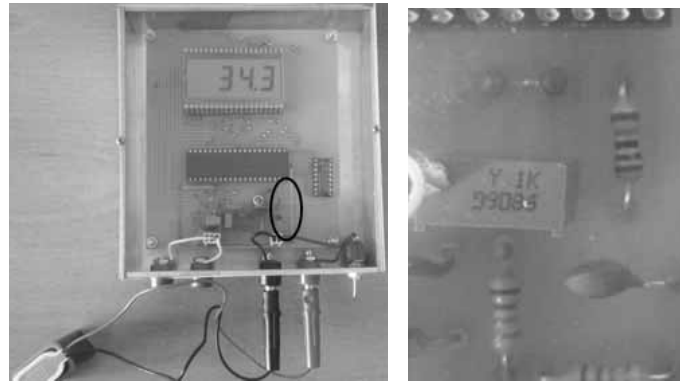
Figura 3.14: Placa PCB en la que se aprecian los componentes soldados.

### 3.3.3. Pruebas finales del prototipo

Se realizan las pruebas pertinentes en el prototipo final de cada uno de los subsistemas desarrollados previamente en el apartado 3.1 de este mismo capítulo.

#### El reloj

En la Figura 3.15 se muestra el montaje del subsistema del reloj. El circuito es alimentado con una pila de 9 V.



(a) Vista del filtro del reloj en su contexto. (b) Vista ampliada de los componentes del filtro RC del oscilador del reloj.

Figura 3.15: Filtro RC del reloj. El potenciómetro de ajuste fino de  $1\text{ k}\Omega$  que se aprecia en la imagen es el que permite el ajuste de la tensión de referencia  $V_{ref}$ , no pertenece al filtro RC del oscilador.

### El autocero

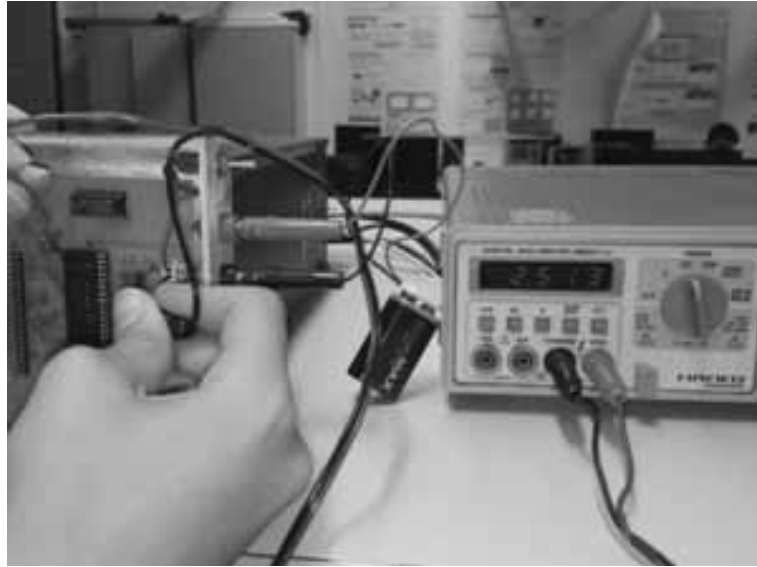
Con la alimentación encendida y las entradas en cortocircuito, la pantalla debe leer 0 V. Un signo de la efectividad del autocero es que el signo negativo se tiene que mostrar alrededor de un 50% del tiempo. En la Figura 3.16 se muestra la acción que realiza el autocero.



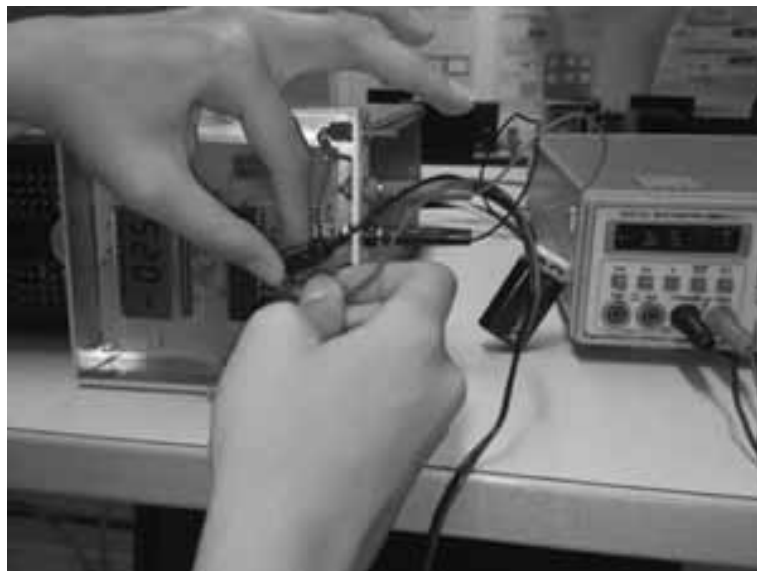
Figura 3.16: Efectividad del autocero, que marca 0 V para una alimentación con la entrada cortocircuitada.

## La referencia

Para la escala de 200 mV, la tensión aplicada entre los pines 35 y 36 tiene que ser de 100 mV. Este valor se ajusta con el potenciómetro de ajuste fino de  $1\text{ k}\Omega$  que se puede observar en la Figura 3.15 b). El chip se alimenta con 9 V de entrada pero se tiene que tener en cuenta que entre  $V+$  e  $INPUT\ LOW$  (correspondiente al pin 30 del ICL7106) tiene que haber 2,8 V aproximadamente y entre  $INPUT\ LOW$  y  $V-$  tiene que haber -6,2 V aproximadamente. En la Figura 3.17 se muestran estas tensiones.



(a) Tensión medida entre  $V+$  e  $INPUT\ LOW$ .



(b) Tensión medida entre  $INPUT\ LOW$  y  $V-$ .

Figura 3.17: Tensiones medidas entre  $V+$  e  $INPUT\ LOW$  y entre  $INPUT\ LOW$  y  $V-$ .

### El encendido del punto decimal

En la Figura 3.18 se ha marcado el inversor que se usa para obtener la señal BP invertida, de forma que se puede tener el punto decimal encendido continuamente sin dañar el elemento LCD correspondiente.

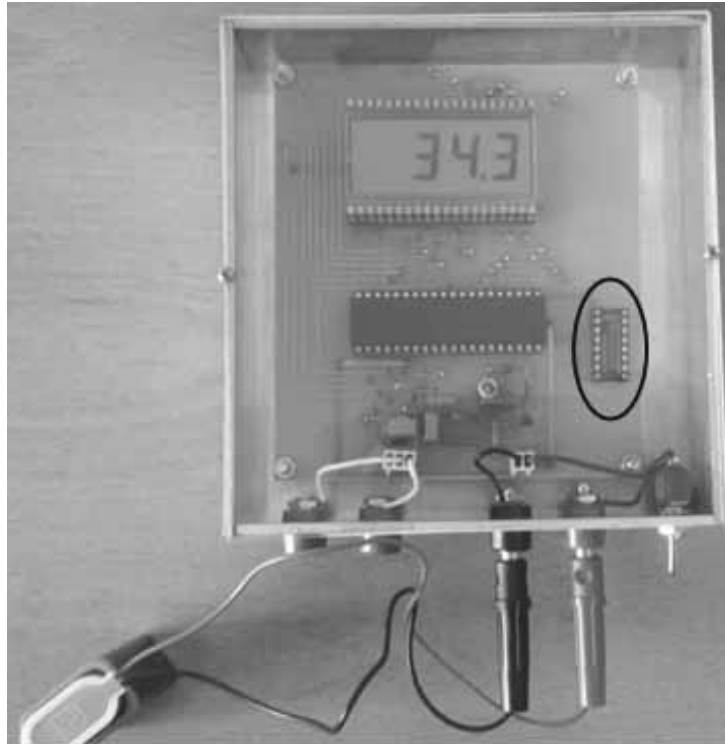


Figura 3.18: Encendido del punto decimal empleando el inversor HEF4049BP.

### 3.3.4. Prototipo final

En la Figura 3.19 se muestra el prototipo final obtenido. Se comprueba que la medida que toma el voltímetro diseñado y un multímetro comercial es la misma.

Para el caso de la Figura 3.19, la tensión que se mide con el multímetro comercial es de 64,11 mV y la que mide el voltímetro diseñado es de 64 mV.

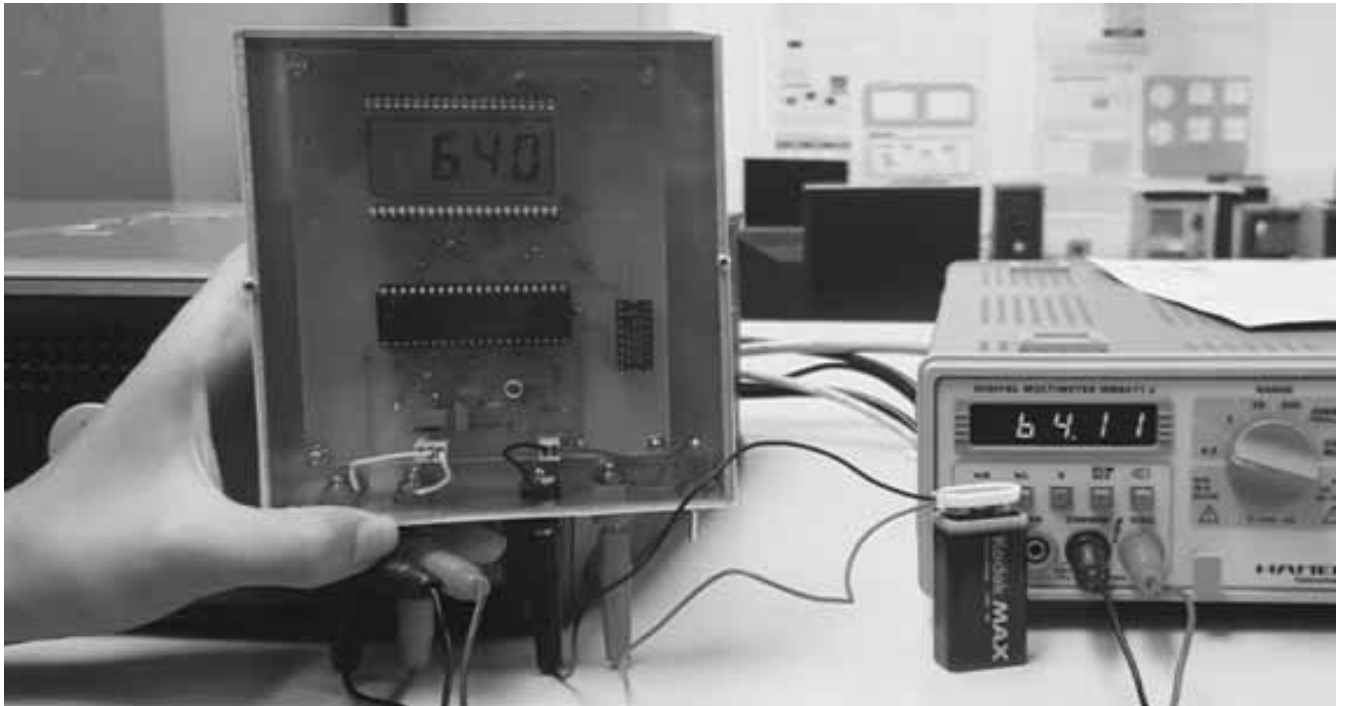


Figura 3.19: Diseño e implementación del prototipo final. El circuito es alimentado con 9 V, resultando una medida de 64 mV.





# Capítulo 4

## Conclusiones y Líneas futuras de trabajo

En este trabajo se ha diseñado e implementado un voltímetro digital que es un instrumento con múltiples aplicaciones en el ámbito de la instrumentación biomédica.

Durante la realización del trabajo se han obtenido los siguientes resultados de aprendizaje:

- El estudio del funcionamiento de los *displays* de cristal líquido.
- El estudio del funcionamiento de los conversores analógico-digital, específicamente los conversores de integración.
- La adquisición de fluidez en el manejo de la instrumentación de laboratorio, específicamente el osciloscopio digital para el *test* y diagnóstico del funcionamiento de subsistemas analógicos y digitales.
- Se ha adquirido experiencia en el diseño y la fabricación de placas de circuito impreso.

Por último, se ha cubierto el objetivo fundamental del trabajo, el diseño y fabricación de un prototipo completamente funcional del voltímetro digital.

Tras la realización del trabajo se definen las siguientes líneas futuras de trabajo:

- Modificación del voltímetro para que sea capaz de cambiar la escala añadiendo la circuitería que sea necesaria.
- Avanzar en el estudio de los conversores analógicos-digitales de forma que se pueda captar una señal continua de variación rápida y pasarla a una memoria en la que se pueda hacer un registro, expandiendo así la funcionalidad y posibles aplicaciones del instrumento.



# Capítulo 5

## Referencias bibliográficas

[1] Floyd, T.L., (2006). *Introducción al procesamiento digital de la señal*. En Fundamentos de sistemas digitales (pp.836-838). Madrid. Pearson.

[2] Guardiola, J., (s.f.). *Tecno-tapa: pantallas de cristal líquido LCD*. Mayo 30, 2017, de Meditaciones dactilares. Sitio web: <https://guardiola.javi.wordpress.com/2013/07/09/tecno-tapa-pantallas-de-cristal-liquido-lcd/>

[3] <https://www.todoelectronica.com/es/display-lcd-de-3-1-2-digitos-p-81448.html>

[4] Intersil. (2002). *3 1/2 Digit, LCD/LED Display, A/D Converters*. Junio 14, 2017, de Intersil Americas Inc.

Sitio web: <http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/icl7/icl7106-07-07s.pdf>

[5] Intersil. (2002). *ICL7106, ICL7107, ICL7107S*. Junio 14, 2017, de Intersil Americas Inc. Sitio web: <http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/icl7/icl7106-07-07s.pdf>

[6] Floyd, T.L., (2016). *Introducción al procesamiento digital de la señal*. En Fundamentos de sistemas digitales (pp.32-42). Madrid. Pearson.