



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# TRABAJO FINAL DE GRADO

## GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

SENSOR DE BAJO COSTE PARA LA MEDICIÓN DE LA  
CALIDAD DEL ACEITE EN TIEMPO REAL

**AUTOR:** *Francisco Bartolomé Calatayud*

**TUTOR:** *Antonio Correcher Salvador*

**DEPARTAMENTO:** *Ingeniería de Sistemas y Automática*



## Contenido

<i>DOCUMENTO 1: MEMORIA TÉCNICA</i>	4
<b>1. OBJETO DEL PROYECTO</b>	4
<b>2. JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN</b>	4
<b>3. ANTECEDENTES</b>	5
<b>3.1 Tipos de sensores para la medida de aceites</b>	5
<b>4. DESARROLLO TÉCNICO</b>	8
<b>4.1 Estudio de necesidades, factores a considerar: limitaciones y condicionantes.</b>	8
<b>4.1.1 Especificaciones del diseño</b>	8
<b>4.2 Planteamiento de soluciones alternativas y justificadas de la solución adoptada.</b>	10
<b>4.2.1 Hardware</b>	10
4.2.1.1 Placa Arduino	10
4.2.1.2 Placa Raspberry PI	12
4.2.1.3 Placa STM32 F4	15
<b>4.3 Justificación de la solución adoptada</b>	17
<b>4.4 Descripción detallada de la solución adoptada</b>	18
<b>4.4.1 Descripción de la solución adoptada</b>	18
<b>4.4.2 Desarrollo de la solución adoptada</b>	22
4.4.2.1 Diseño del hardware	22
4.4.2.2 Equipo de medida	22
4.4.2.3 Arduino UNO	23
4.4.2.4 Pantalla LCD	24
4.4.2.5 Montaje circuito	26
<b>4.4.3 Diseño del software</b>	30
4.4.3.1 Resumen programas utilizados	30
<b>5. RESULTADOS OBTENIDOS</b>	33
<b>6. CONCLUSIONES</b>	38
<i>DOCUMENTO 2: PLIEGO DE CONDICIONES</i>	39
<b>1. OBJETO</b>	39
<b>2. CONDICIONES DE LOS MATERIALES</b>	40
<b>2.1 Descripción</b>	40
<b>2.2 Control de calidad</b>	40
2.2.1 Cableado eléctrico	40



2.1.2	Cableado de datos	41
2.1.3	Componentes electrónicos	41
2.1.4	Placa Protoboard	41
2.1.5	Microcontrolador Arduino	42
<b>3.</b>	<b>CONDICIONES DE LA EJECUCIÓN</b>	<b>43</b>
3.1	Descripción	43
3.2	Control de calidad	43
<b>4.</b>	<b>PRUEBAS Y AJUSTES FINALES O DE SERVICIO</b>	<b>45</b>
	<i>DOCUMENTO 3: PRESUPUESTO</i>	46
	<i>DOCUMENTO 4: PLANOS</i>	51
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	55
	ANEXOS	56
	MANUAL USUARIO	59

## DOCUMENTO 1: MEMORIA TÉCNICA

### 1. OBJETO DEL PROYECTO

El objeto de este proyecto es la creación de un prototipo de sensor de medición de turbidez “low cost” para poder medir la calidad del aceite gracias a un fotodiodo de 940 nm de longitud de onda.

Para ello se debe diseñar un circuito electrónico para tratar la señal recibida con un foto-receptor y diseñar un controlador que incluya interfaz de usuario.

### 2. JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN

El mantenimiento de máquinas y el coste que implica siempre ha sido de una gran importancia para la industria. Por ello, la optimización de los mantenimientos es crucial. En el caso del mantenimiento de fluidos es muy importante para la vida de los componentes y su desgaste proporcional e rendimiento, pudiendo evitar averías innecesarias. Por ello tener un buen mantenimiento óptimo de cambio de fluidos puede evitar fallos y roturas innecesarias, alargando la vida de sus componentes, evitando así costes excesivos, paro de máquinas, etc. Si a ello le sumamos poder medir y ver en tiempo real el estado de sus fluidos, optimizaríamos el mantenimiento de estos, pudiendo realizar sus cambios.

A esto viene, que el aceite de las maquinas es uno de los elementos que puede aportar información crucial del estado para la optimización de su mantenimiento. En la actualidad hay sensores para la medición de partículas y de la contaminación externa plenamente funcionales en el mercado. Este prototipo de sensor que vamos a estudiar en este proyecto viene a complementar esa información dando una medida precisa y robusta del grado de turbidez / degradación del aceite durante todo el proceso, desde que es nuevo hasta que ya no es utilizable.

Éste proporcionando una medida sencilla que es proporcional a la degradación e turbidez del aceite. De esta forma es posible realizar previsiones sobre su estado futuro y obtener en el momento óptimo para el cambio del aceite, lo cual produce importantes beneficios económicos, medioambientales y operacionales.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 Tipos de sensores para la medida de aceites

En el mercado actual existen numerosos tipos de sensores para el tratado de aceites los cuales hacen un papel muy importante a la hora de evaluar el estado de la máquina o producto. Algunos de ellos combinándolos se puede llegar a tener una cierta información muy valiosa para poder tener un proceso correcto y sin fallos e evaluar el estado en tiempo real. Todo ello pudiendo hacer un estudio óptimo de cuando hacer su mantenimiento e cambios de aceites.

En el mercado de los sensores ofrecen diversas tecnologías de sensado que pueden ser empleados para detectar características del aceite, a continuación se describirán las principales tecnologías usadas y sus principales ventajas e inconvenientes y prestaciones de cada tecnología.

- **Sensores inductivos:** Detectan los metales como acero, bronce, aluminio. Gracias a su principio físico básico de funcionamiento, pueden detectar los materiales a diferentes distancias. También se encuentran sensores inductivos de especialidad: para áreas de soldadura, para altas temperaturas, ambientes con altas presiones, sensores de anillo, inmunes a campos electromagnéticos, etc.

**Ventajas:** Ignoran los materiales del entorno que no sean metales, múltiples formas y tamaños de carcasas, carcasa de metal.

**Desventajas:** Rango de sensado corto (desde 0.8mm hasta 120 mm), afectado por campos electromagnéticos.

- **Sensores capacitivos:** Detectan materiales metálicos y no metálicos. Se utilizan comúnmente para detección de nivel o graduación de materiales, pueden atravesar paredes de plástico de hasta 12 mm de espesor. Consideramos un sensor flexible debido a puede ajustarse el rango de sensado. Los sensores capacitivos tienen tamaños desde M12 hasta M30, sin olvidar que hay carcasas en forma de bloque. Los materiales de la carcasa los hay en metales o plástico (PVC, PTFE, etc.).

**Ventajas:** detección de materiales metálicos y no metálicos, rango de sensado ajustable, pueden efectuarse falsas detecciones en líquidos por la espuma que pueda producir éste.

**Desventajas:** La detección de líquidos es afectada por la espuma.

- **Sensores fotoeléctricos:** Detectan los materiales que son capaces de reflejar o interrumpir un haz de luz. De igual forma que los sensores inductivos, los sensores fotoeléctricos son los sensores más usados para la detección de objetos. Existen 3 tipos de fotoeléctricos: emisor-receptor, retro-reflectivo y difuso. Este tipo de sensores tienen filtros que nos ayudan a que la luz solar no afecte el sensado.

**Ventajas:** Se encuentran sensores de especialidad (sensores de color, sensores de luminiscencia, sensores de contraste, supresión de frente y fondo, etc.), rangos de sensado de hasta 100 m, diversos tipos de carcasas tubulares y de bloque.

**Desventajas:** Las propiedades de los objetos pueden perjudicar la detección, como el brillo y la rugosidad de los materiales, rangos de temperaturas menores comparadas con los sensores inductivos.

- **Sensores magnéticos:** Detectan magnetos (comúnmente nombrados imanes) que se encuentran en el rango de sensado. Estos sensores se utilizan sobre todo para la detección de inicio y fin de carrera en cilindros neumáticos e hidráulicos. También se pueden requerir sensores magnéticos para áreas de soldadura.

**Ventajas:** Ignoran los materiales que no conserven magnetismo, precisos para la detección de principios y finales de carrera.

**Desventajas:** Se activan con campos electromagnéticos de sus alrededores, rangos cortos de sensado (hasta 120 mm).

- **Sensores ultrasónicos:** Detectan los materiales en los que pueden rebotar las ondas ultrasónicas emitidas por el sensor. Este sensor se puede utilizar para la detección de objetos y de nivel en contenedores. Son sensores que cuentan con un rango de sensado amplio de hasta 8m.

**Ventajas:** Buen rango de sensado, diversas formas de encapsulado, rango de sensado ajustable y diferentes funciones para activación de las salidas (histéresis, set points, ventanas).

**Desventajas:** Necesitan mantenimiento en la cara de sensado pues se pueden generar falsas detecciones, resolución de detección baja y no es óptimo para ambientes con humedad.

Los principales sensores que existen en el mercado específicamente para el tratado de aceites son:

- Sensores de temperatura
- Sensores de presión
- Sensores de caudal
- Sensores de nivel
- Sensores de viscosidad
- Sensores de turbidez / degradación (los cuales nos centramos)

## **4. DESARROLLO TÉCNICO**

### **4.1 Estudio de necesidades, factores a considerar: limitaciones y condicionantes.**

#### **4.1.1 Especificaciones del diseño**

El objetivo del proyecto es dar solución a los equipos industriales o no industriales que trabajen con aceite para su buen funcionamiento mecánico.

Por ello es importante poder tener una herramienta que nos facilite el poder tener un seguimiento del estado del aceite en tiempo real cara al usuario, así pudiendo optimizar los mantenimientos de dichos equipos. El dispositivo en cuestión, debe ser capaz de poder dar directamente al usuario información real a pie de máquina del estado del aceite, para que puedan evaluar y optimizar el cambio de aceite, así pudiendo alargar la vida del aceite, con lo que supone el favorecimiento ambiental y los costes que supone.

Esta visualización se dará en pantalla y reflejará los ciertos niveles de suciedad del aceite en ese instante.

Todo ello dependerá, claro está, de las especificaciones de los fluidos a usar en los distintos equipos, ya sean por su tipo de viscosidad, color, etc.

Entonces, dependiendo de las especificaciones usaremos distintas programaciones, adaptándolo al tipo de aceite, todo ello, con un hardware de bajo coste.

Así pues, las especificaciones que debe satisfacer el prototipo son:

- A - Buena visualización.
- B - Lectura fácil.
- C - Datos en tiempo real.
- D - Tamaño reducido.



A todo ello hay que considerar ciertos factores como las limitaciones y condicionantes que el estudio pueda presentar:

Tales como el hecho de que la plataforma venga ya ensamblada le quita flexibilidad a los proyectos, así por ejemplo estaríamos obligados a usar un espacio y forma acorde con el PDB del arduino, para solucionar esto deberíamos trabajar con otro microcontrolador y diseñar la PDB desde cero con los PICs.

Por otra parte dada que la programación no se realiza en ensamblar, el uso de librerías es un retraso en la ejecución de las instrucciones (algunos microsegundos), que en algunos casos es irrelevante, pero significativos a la hora de adquisición de datos.

En este caso no es relevante, ya que no necesitamos alta precisión, por ello lo diseñamos de coste bajo.

Entonces:

¿Cómo se va a proceder a dar solución a ello?

Para poder proceder a la realización de dicho dispositivo, en el siguiente apartado, se plantean distintas alternativas que existen en el mercado y elegiremos según nuestras características de diseño, la más adecuada para nuestro objetivo final.

## **4.2 Planteamiento de soluciones alternativas y justificadas de la solución adoptada.**

### **4.2.1 Hardware**

El hardware constituirá la parte física de nuestra instalación. Para ello analizaremos distintas alternativas de mercado ya que es la base del proyecto.

Se va a detallar de modo individual las diferentes alternativas para estudiarlas, aplicar los criterios de selección y valorar la opción que más se adapta a nuestra idea.

Se dispondrá de una gran variedad de plataformas de distribución de hardware y software libre, como pueden ser las más conocidas: la STM32, la *Raspberry-pi* y el *Arduino*.

#### **4.2.1.1 Placa Arduino**

Según su página web, Arduino es “Una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos (<https://www.arduino.cc/en/Main/FAQ#toc2>).

A día de hoy podemos encontrar una extensa variedad de placas (Figura. 1).



**Fig.1** Gama Arduino

Los criterios para el *Arduino* son:

Diseño, tamaño compacto y facilidad de integración: Esta plataforma se basa en micro controladores de la familia *Atmel*, posee una extensa gama de productos, que van desde sus placas más potentes y funcionales como el *Arduino Mega*, hasta modelos más básicos y con menos memoria como el *Arduino Nano*. Debido a que *Arduino* es una plataforma de Open Hardware, hay disponibles gran cantidad de imitaciones perfectamente funcionales por precios menores, lo que puede ser una ventaja para usuarios con limitaciones económicas. Es una plataforma de uso libre, lo que significa que su utilización no requiere de pago alguno, incluso aunque se emplee para fines comerciales al programa.

Variedad de puertos, velocidad de trabajo y opciones aplicables: Una placa de características intermedia de Arduino, como es el modelo Uno, dispone de micro controlador ATmega328 con memoria flash de 32Kb, SRAM de 2KB y una EEPROM de 1KB.

Incluye un conector USB, conector Jack DC para alimentación externa, 14 entradas/salidas Digitales, de las cuales 6 son PWM y 6 entradas Analógicas. Una velocidad de reloj de 16 MHz, además de diversos protocolos de comunicación.

Dificultad de implantación y desarrollo: Existen una gran cantidad de desarrolladores que han elaborado distintas Shields (placas conectables compatibles con el ensamblado de la placa *Arduino*) que aportan grandes opciones de ampliación, además de ser compatibles con una gran variedad de sensores y actuadores.

Asimismo, otro punto a tener en cuenta, es la gran variedad de librerías desarrolladas que facilitan la implementación de componentes externos y ayudan en el desarrollo de aplicaciones. Sin embargo, es necesario tener conocimientos de programación si se desea modificar algún módulo y adaptarlo a la PCB base.

Este sistema trabaja con un lenguaje propio derivado del C++ pero compatible con otros software y lenguajes más complejos.

Coste: Según modelo elegido, entre 4€ y 45€.

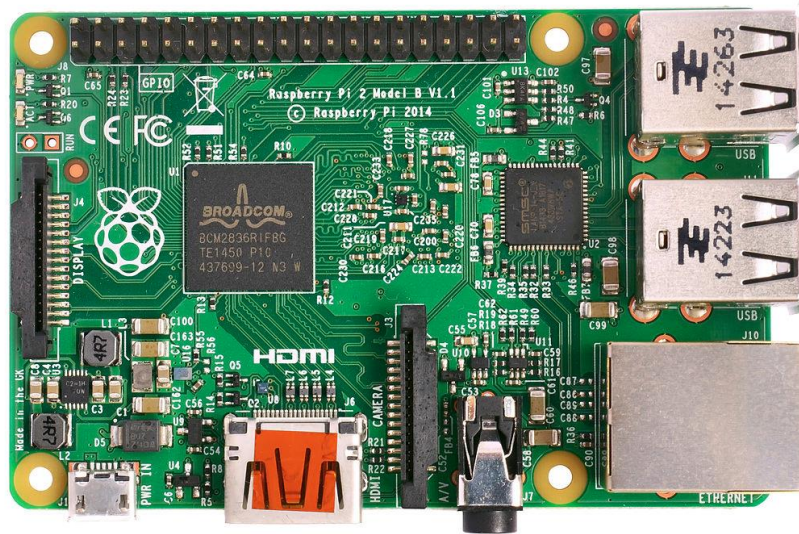
#### 4.2.1.2 Placa Raspberry Pi

Es un computador embebido de bajo coste desarrollado por la Fundación *Raspberry Pi*, con intención de promover la enseñanza computacional en las escuelas en Reino Unido.

Los criterios para la *Raspberry Pi* son:

Diseño, tamaño compacto y facilidad de integración: Es un hardware libre con derechos de marca, disponible su compra a través de dos empresas o revendedores de las mismas, con lo que mantienen el control de la plataforma a pesar de permitir su libre uso particular o académico.

Posee un diseño de placa compacto (Figura 2), con gran variedad de puertos.



**Fig.2** Raspberry Pi 2 Modelo B

Variedad de puertos, velocidad de trabajo y opciones aplicables: Tras el segundo modelo de la marca, el *Raspberry Pi 1* Modelo B, se comercializó el *Raspberry Pi 2* Modelo B con mejoras. Ambas placas son muy similares en características, las cuales detallamos a continuación:

### *Raspberry Pi 1 Modelo B*

Está compuesto por 40 pines GPIO, salida de vídeo a través de puerto HDMI y Video RCA, un conector mini Jack, un conector Ethernet (RJ45) y dos conectores USB. Es alimentado mediante un Micro USB e incluye un conector de cámara. Para su conexión a Internet es necesario un adaptador Wi-Fi a USB.

Su procesador es un Broadcom BCM2835, Single-Core a 700MHz. 512 MB de RAM y una gráfica Broadcom VideoCore IV.

### *Raspberry Pi 2 Modelo B*

Este modelo varía respecto a las versiones anteriores al incluir un nuevo modelo de microprocesador, se incorpora uno de la misma marca modelo BCM2836. Respecto a los anteriores de un solo núcleo a 700MHz, este está compuesto por 4 núcleos a una velocidad de 900MHz. Mantiene la misma gráfica (VideoCore IV). Respecto a la memoria RAM, pasa de 512MB a 1GB de capacidad, aunque es compartida con la gráfica. Además, posee 40 pines GPIO, y cuatro puertos USB. En este modelo se prescinde de la conexión RCA.

Dificultad de implantación y desarrollo: Centrándonos en la parte de hardware, se trata de una PCB muy completa con grandes opciones de desarrollo y ampliación a través de desarrollo de pequeños circuitos electrónicos. Es importante considerar que esta más orientada a aplicaciones multimedia.

Sin embargo, el software es open source, siendo su sistema operativo oficial una variante de Linux, el Raspbian. Esta condición limita su desarrollo, aunque también es posible usar otros sistemas operativos.

Coste: 38€, aproximadamente.



#### 4.2.1.3 Placa STM32 F4

El STM32 es un computador embebido fabricado desde el año 2011 (Fig. 3). Está basado en la tecnología ARM Cortex-M, en este caso no es un hardware libre, por lo que posee derechos de autor.



**Fig.3:** Placa STM32VLDISCOVERY

Los criterios para la STM32 F4 son:

Diseño, tamaño compacto y facilidad de integración: En lo referente a la STM32, es considerada una placa de desarrollo muy completa con chip ARM Cortex-M3.

Variedad de puertos, velocidad de trabajo y opciones aplicables: Una ventaja del sistema es que incorpora un inclinómetro y giroscopio, que serían de gran utilidad en el proyecto el tenerlos integrados e implementados.

Además, cuenta con un sensor de temperatura interesante para comprobar la temperatura de trabajo. Estos son algunos de los puertos que tiene la placa: Un USB 2.0 OTG HS y FS, dos CAN 2.0B, un SPI + dos SPI o full-duplex I<sup>2</sup>S, tres I<sup>2</sup>C, cuatro USART, dos UART, SDIO para tarjetas SD/MMC, 16 o 24 canales en tres ADCs, dos DACs, 51 a 140 GPIOs, dieciséis DMA.

Procesador ARM Cortex-M4F con un núcleo a 180 MHz de velocidad de reloj máxima y un cristal interno (16 MHz, 32 kHz), opcional externo (4 a 26 MHz, 32.768 a 1000 kHz).

Otras características de la placa son la Memoria RAM estática superior a 192 KB de uso general, 64 KB CCM y 4 KB de respaldo de batería. De memoria Flash posee hasta 2048 KB de uso general, 30 KB arranque de sistema, 512 bytes para el OTP y 16 bytes opcionales.

Dificultad de implantación y desarrollo: Es compatible con distintos programas open source. Por el contrario, encontramos la necesidad de usar programas de pago si no se dispone de licencia de estudiante, con la cual luego no está permitido comercializar el diseño desarrollado. Asimismo, es la placa más compleja de programar de todas las presentes alternativas ya que es necesario programar las configuraciones del hardware detalladamente, dado que no tiene librerías que lo complementen automáticamente.

En conclusión, es una PCB con grandes ventajas de versatilidad de adaptación a procesos y usos. Todo ello, en relación a su coste, proporciona una gran variedad de configuraciones y personalizaciones, aunque limitadas en puertos.

Coste: Importe aproximado de 32 €.



### 4.3 Justificación de la solución adoptada

Se busca un sistema con el que sea posible llevar a cabo los objetivos con suficiente flexibilidad y que disponga de un buen chip, con múltiples puertos analógicos y digitales, sencillo de compilar y económico.

Con todas estas características, además, que sea capaz de registrar y gestionar toda la información sin problemas. Para ello, en la siguiente tabla de criterios de valoración (Tabla 1), se agrupa los valores obtenidos:

<b>Modelo</b>	<b>1<sup>er</sup> Criterio</b>	<b>2<sup>o</sup> Criterio</b>	<b>3<sup>er</sup> Criterio</b>	<b>4<sup>o</sup> Criterio</b>	<b>Valor Total</b>
	Diseño, tamaño compacto y facilidad de integración	Dificultad de implantación y desarrollo	Variedad de puertos, velocidad de trabajo y opciones aplicables	Coste de compra	
	<b>(10%)</b>	<b>(15%)</b>	<b>(40%)</b>	<b>(35%)</b>	<b>(100%)</b>
<b>ARDUINO</b>	8	8	9	7	<b>8,05 / 10</b>
<b>RASPBERRY PI</b>	6	6	7	4	6,65 / 10
<b>STM32</b>	7	5	8	6	6,75 / 10

**Tabla 1:** Valoración de simuladores

Debido a que los hardware libres tienen gran versatilidad, ya que se trata de una idea de distribución gratuita, descartamos la placa STM32 por falta de información y coste elevado.

Así pues, con las opciones de la *Raspberry pi* y el *Arduino*, se selecciona esta última. A pesar de tener prestaciones inferiores a las otras placas, se considera que es la que más se adapta a nuestras condiciones y necesidades por su versatilidad, al igual que por su multitud de puertos de trabajo que resultan de mayor utilidad para la realización de las tareas de este proyecto. Otra ventaja que encontramos es que la tecnología utilizada es totalmente libre, lo que permite realizar diferentes diseños y ampliaciones sin necesidad de tener que invertir en licencias comerciales.

Es de mencionar que, por su mayor sencillez de manejo y desarrollo, ayuda a reducir las complicaciones de montaje, dado el poco tiempo que disponemos, es un factor muy importante a valorar de cara a realizar ampliaciones.

#### **4.4 Descripción detallada de la solución adoptada**

##### **4.4.1 Descripción de la solución adoptada**

*Arduino* es una herramienta muy flexible, con gran variedad de opciones de trabajo gracias a su expansión en el mercado, estabilidad, precio asequible y facilidad de contrastar información. Debido a la accesibilidad a la información de dicha placa y materiales sobre esta plataforma, disponemos de gran variedad de placas Shield de integración. La propia marca facilita el acceso a foros públicos de consulta, en varios idiomas, lo que los acerca tanto a gente sin nociones de electrónica ni programación, al disponer de programas y esquemas básicos de aprendizaje, hasta usuarios con conocimientos de programación y electrónica que buscan una vía económica y fácil de desarrollo de aplicaciones personalizadas.

Se comienza el desarrollo del datalogger analizando la información de las distintas placas y opciones, consultando la página web [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc) . Debido a que es una plataforma de hardware libre, es posible obtener su esquemático y su diseño, con el fin de poder montar desde cero la placa.

Pudiendo usar cualquiera de estos microprocesadores, ATmega8, ATmega168 o ATmega328, sin necesidad de cambiar el diseño.

Respecto al software utilizado, *Arduino* ha desarrollado un programa propio (compatible con Microsoft y Mac) basado en C++, que comparte su estructura y grupo de caracteres, pero más sencillo gracias al uso de palabras.

De toda la variedad que existe nos quedaremos con Arduino UNO, que es una de las placas más completas y económicas:



**Fig.4:** Arduino UNO

Las Características de la Arduino Uno son (Fig. 4):

**Micro controlador:** *ATmega328*

**Voltaje Operativo:** *5v mediante USB o alimentación externa*

**Voltaje de Entrada (Recomendado):** *7 - 12V (Limite): 6-20V*

**Entradas/Salidas Digitales:** *14 (De las cuales 6 son salidas PWM)*

**Entradas Analógicas:** *6*

**Corriente DC para pines I/O: 20mA**

**Corriente DC para pin de 3.3V: 50mA**

**Memoria Flash: 32 KB de los cuales 0,5 KB es usado por el Bootloader**

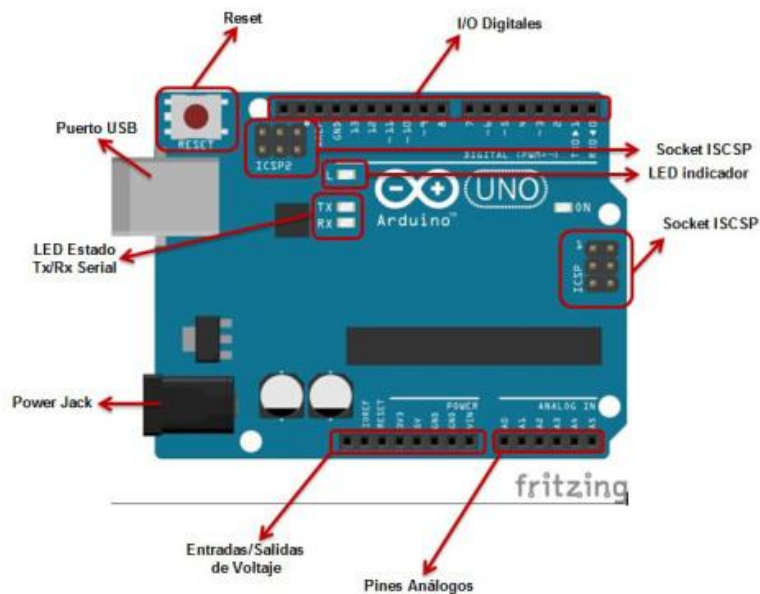
**SRAM: 2 KB (ATmega328)**

**EEPROM: 1 KB (ATmega328)**

**Velocidad del Reloj: 16 MHZ**

**Programación:** Mediante IDE Arduino a través del USB hembra

**Puerto ICSP y Botón Reset**



**Fig.5:** Funciones de los Pines en Arduino Uno

Una vez seleccionada la placa electrónica sobre la que se trabajara, se comienza a desarrollar el programa básico sobre el cual se irán integrando diferentes subcircuitos, de la forma más modular posible, para poder aislar errores y facilitar modificaciones.

## **SUBCIRCUITOS**

Respecto al elemento sensor, se basará en la ley de Lambert-Beer (explicado en el anexo), dado que sería el método funcional (low cost) para nuestras especificaciones. Así que, usaremos Led (emisor) más fototransistor (receptor). Ya que nuestro objetivo es que pase el fluido entre los sensores para poder determinar su grado de turbidez/degradación del mismo en tiempo real, siendo así una forma limpia de medir, ya que pasaría por un conducto transparente. Todo ello evitando lo que supondría: suciedad, componentes de medida aceitosos, etc.

Todo ello se tratará basándose como tipo de visualización, una pantalla **LCD (Liquid Crystal Display)** de tamaño 16x2, ya que la información a transmitir al usuario es básica y visualmente fácil de interpretar a pie de máquina por el tamaño de la misma. Todo ello basándose en la idea de hacerse low cost, que no hace falta decir, que todo aquello que se le quiera poner de más, se iría incrementando el coste.

Y los datos a transmitir serían los básicos, basándose en la turbidez del aceite. Ya sea por grados de suciedad dependiendo de las características del aceite, así el usuario puede ver el estado e interpretar cuando es el mejor momento para el mantenimiento del equipo o si ha habido alguna incidencia en la degradación del mismo antes de tiempo.

#### 4.4.2 Desarrollo de la solución adoptada

En este apartado se procede a enumerar y detallar los pasos realizados durante el transcurso del proyecto.

##### 4.4.2.1 Diseño del hardware

Es la parte física de la instalación. Incluyendo todos los elementos correspondientes para el correcto funcionamiento del sistema.

##### 4.4.2.2 Equipo de medida

Para poder medir se montará un fotodiodo (Led infrarrojo de 940 nm de longitud de onda, figura 6) alimentándose con una corriente continua dada por el propio arduino de 5V encarado el led al fototransistor (figura 7).



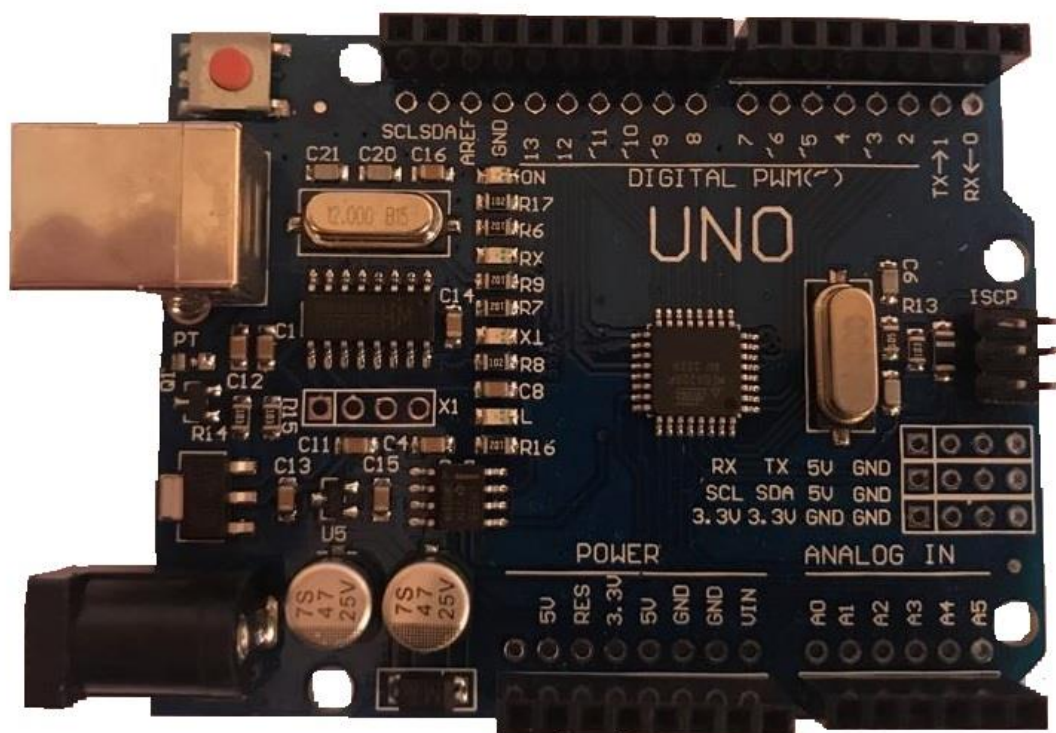
**Fig.6:** Led Infrarrojo.



**Fig.7:** Fototransistor.

#### 4.4.2.3 Arduino UNO

La placa que se utilizará está basada en la Arduino UNO, como anteriormente hemos comentado, que en resumen es una placa micro controladora de código abierto basada en el micro controlador “Microchip ATmega328P y desarrollada por Arduino

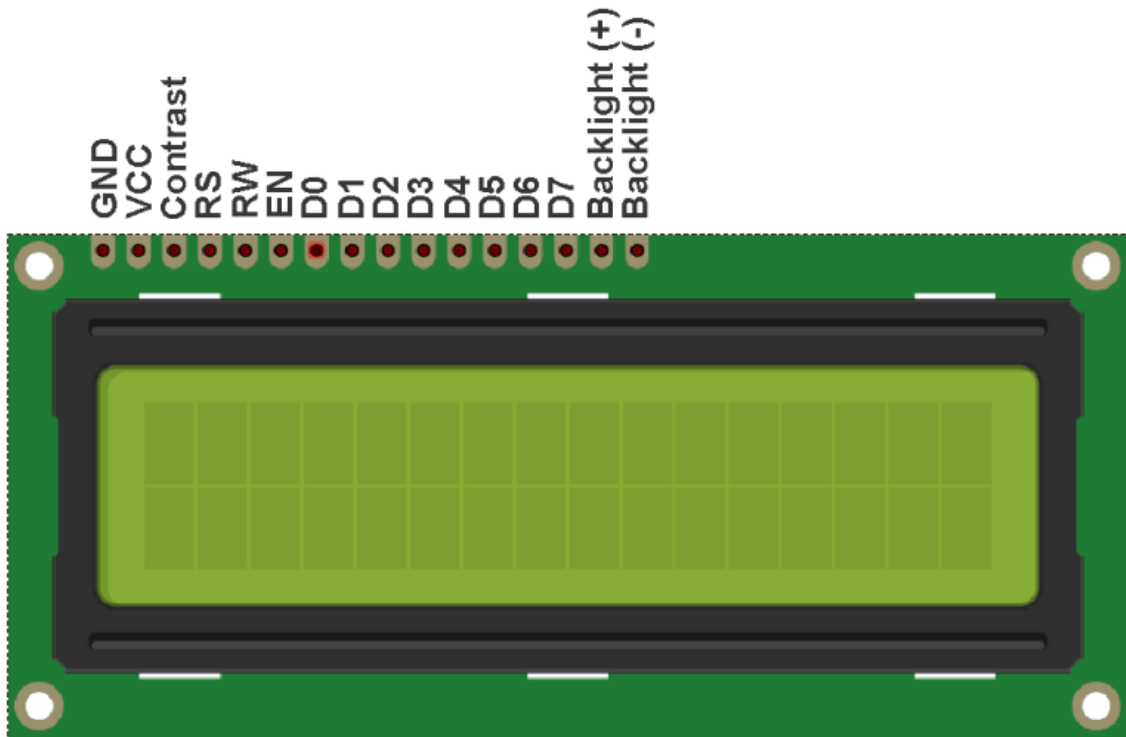


**Fig.8:** Arduino UNO.

#### 4.4.2.4 Pantalla LCD

Por lo que respecta a la pantalla se utilizará una (**Líquido Crystal Display**) de tamaño 16x2. Ésta es formada por un determinado número de píxeles que se colocan delante de una fuente de luz y el cristal líquido permite que la luz pase de un polarizador al otro. La mayoría de las **pantallas LCD** vienen unidas a una placa de circuito y poseen pines de entrada/salida de datos y como se podrán imaginar, **Arduino** es capaz de utilizar las **pantallas LCD** para desplegar datos.



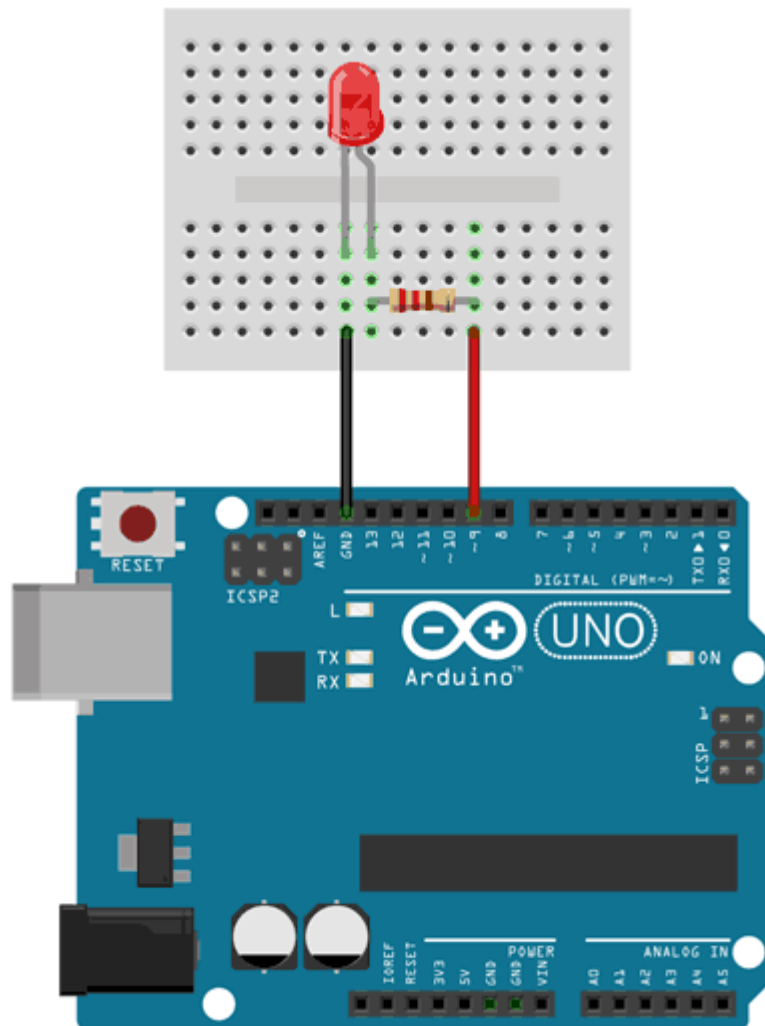


**Fig.9:** Pantalla LCD 16x2 con la leyenda de los pines de conexión.

#### 4.4.2.5 Montaje circuito

### DISEÑO DE LA CIRCUITERIA PARA LA RECEPCIÓN DE LA SEÑAL DEL SENSOR

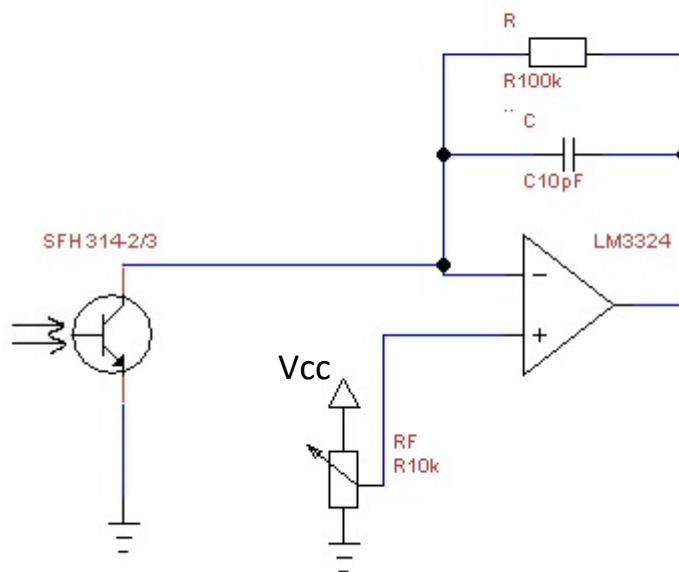
Se usa un LED infrarrojo incidiendo al fototransistor de forma continua.



**Fig.10:** Conexión Arduino con Led.

### Circuito conversor de I/V

Para transformar la luz del sensor a voltaje. Se transforma la fotocorriente que entrega el fototransistor del sensor en un voltaje de salida, circuito electrónico llamado amplificador de transimpedancia. Figura (11)



**Fig.11:** Circuito conversor

Se utiliza el amplificador operacional LM324, ya que cumple con las características necesarias para nuestro circuito bioelectrónico.

El factor de proporcionalidad entre el voltaje de salida y la corriente de entrada del amplificador operacional se encuentra en la resistencia de retroalimentación  $R_F$  (figura 11) obedeciendo de esta manera a la ley de ohm, lo cual podemos observar en la ecuación X.1.

Esto se debe a que el foto-receptor del sensor entrega corrientes en el orden de los nanos amperios, con una resistencia  $R_F$  de  $60M\Omega$  se obtiene el voltaje de salida del amplificador de transimpedancia, obteniendo una señal de salida (onda fotopletisgráfica) cuyo valor máximo es de  $4.5V_{pp}$  y un valor mínimo de  $2.5V_{pp}$ . A continuación, se muestra explicado como el amplificador de transimpedancia se rige por la ley de ohm.

Siendo el voltaje de salida del amplificador de transimpedancia:

$$E_0 = I_i R_F \frac{A_{OL}}{1+A_{OL}} \quad (X.1)$$

Y donde la ganancia AOL es mucho mayor que 1, de modo que se simplifica a:

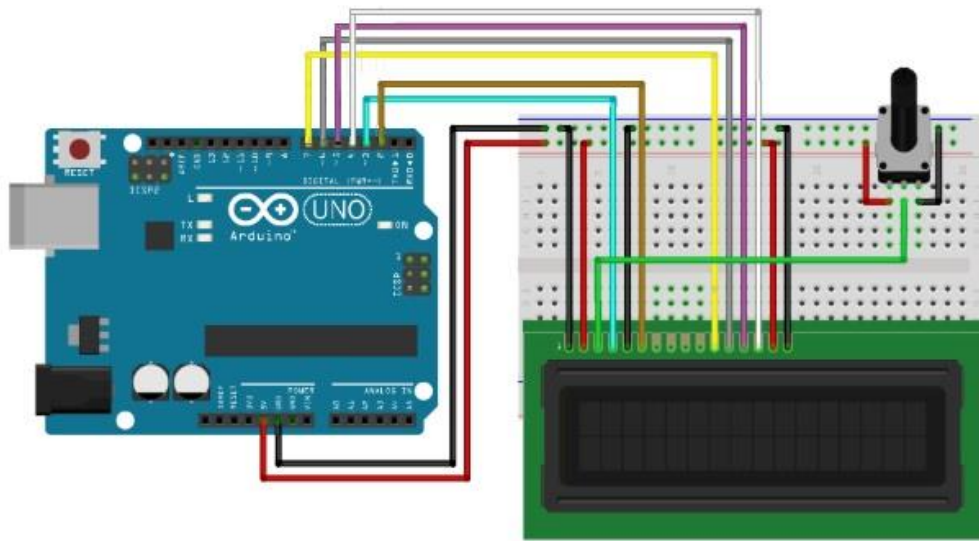
$$\frac{A_{OL}}{1+A_{OL}} = 0.990099 \quad (X.2)$$

En conclusión:

$$I_i = \frac{E_0}{R_F} = \frac{4.3V}{60M\Omega} = 71.66nA \quad (X.3)$$

Además el circuito cuenta con un condensador C en paralelo con la resistencia R, evitando que el amplificador que no cambie su comportamiento a altas frecuencias.

CONEXIONADO RECEPCIÓN DATOS EN PANTALLA LCD



**Fig.12:** Conexionado Arduino con Pantalla LCD 16x2.

### 4.4.3 Diseño del software

#### 4.4.3.1 Resumen programas utilizados

Los programas utilizados es el mismo programa Arduino abierto y libre de patentes conjuntamente con el PC, pudiéndolo descargar en la misma página oficial de Arduino gratuitamente.

#### 4.4.3.2 Programación del Arduino

```
#include <LiquidCrystal.h> // Incluye la Libreria LiquidCrystal  
  
LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7); // Crea un Objeto LC. Parametros: (rs, enable, d4, d5, d6, d7)  
  
int digPin = 9;  
  
String texto = "";  
  
void setup() {  
  
    Serial.begin(9600);           // Iniciamos la comunicacion serie  
  
    lcd.begin(16, 2); // Inicializa la interface para el LCD screen, and determina sus dimensiones  
    (ancho y alto) del display  
  
    delay(1000); // Pausa de 1 segundo  
  
    pinMode(digPin, OUTPUT);  
  
    Serial.begin(9600);  
  
  
    lcd.print("Proyecto"); // Imprime "Proyecto" sobre el LCD  
  
    delay(1500); // 3 segundos de espera  
  
    lcd.setCursor(0, 1); // Seteamos la ubicacion texto 0 linea 1 que sera escrita sobre el LCD
```



```
    lcd.print("Sensor Aceite");

    delay(4000);

    lcd.clear(); // Limpia la pantalla
}

void loop()
{
    digitalWrite(digPin, LOW);

    digitalWrite(digPin2, HIGH);

    delay(100);

    digitalWrite(digPin, HIGH);

    digitalWrite(digPin2, LOW);

    delay(100);

    texto = analogRead(A0);
    int numero = texto.toInt();

    lcd.clear();

    lcd.print("Calidad Aceite");

    lcd.setCursor(0, 1);

    if(numero<200){ // menos 100

        lcd.print("Aceite muy sucio");

        Serial.println("Aceite muy sucio");

        Serial.println(texto + " mg/dl");

    }else if(numero<500){ // entre 100 y 300
```



```
lcd.print("Aceite sucio");  
Serial.println("Aceite sucio");  
Serial.println(texto + " mg/dl");  
}else if (numero<700){ // entre 300 y 500  
  
lcd.print("Aceite semi limpio");  
Serial.println("Aceite semi limpio");  
Serial.println(texto + " mg/dl");  
}else{ // el resto  
  
lcd.print("Aceite limpio");  
Serial.println("Aceite limpio");  
Serial.println(texto + " mg/dl");  
}  
}
```

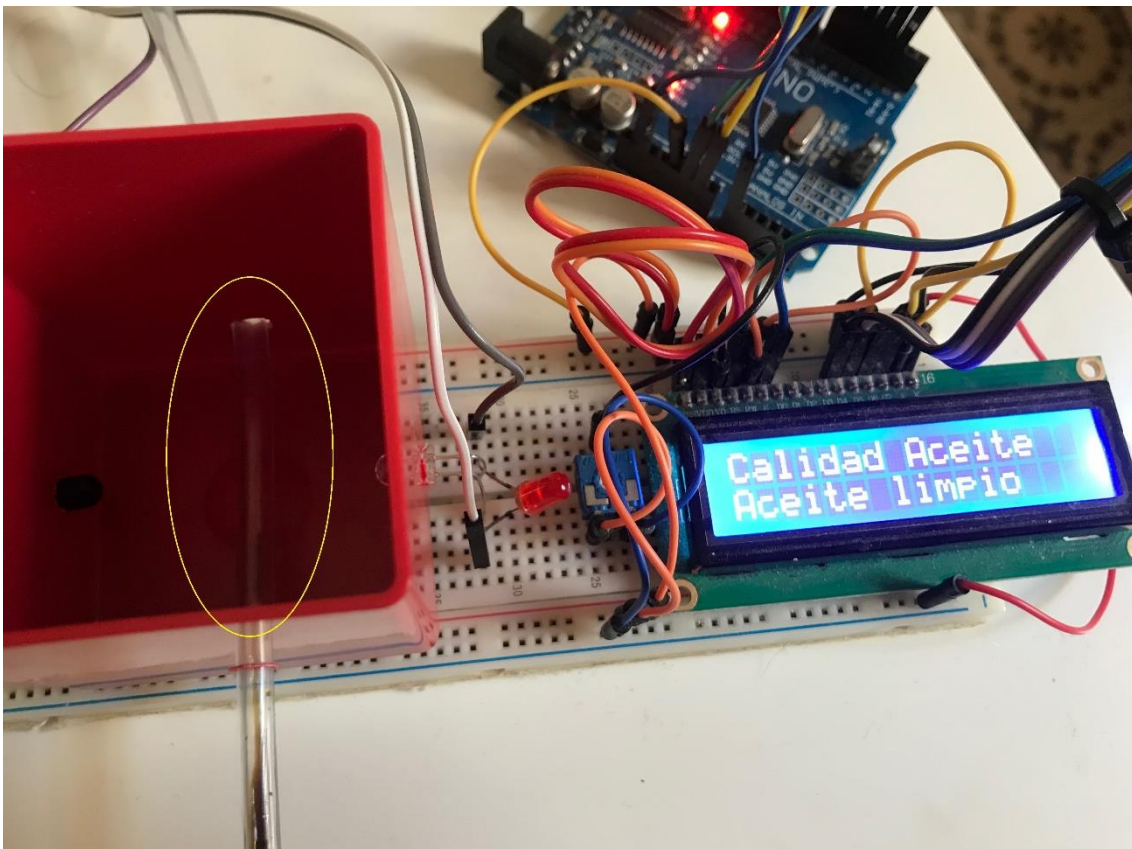


## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado se procederá a detallar los pasos realizados, el análisis y los resultados obtenidos tras la realización de diversas pruebas de funcionamiento durante el transcurso del proyecto.

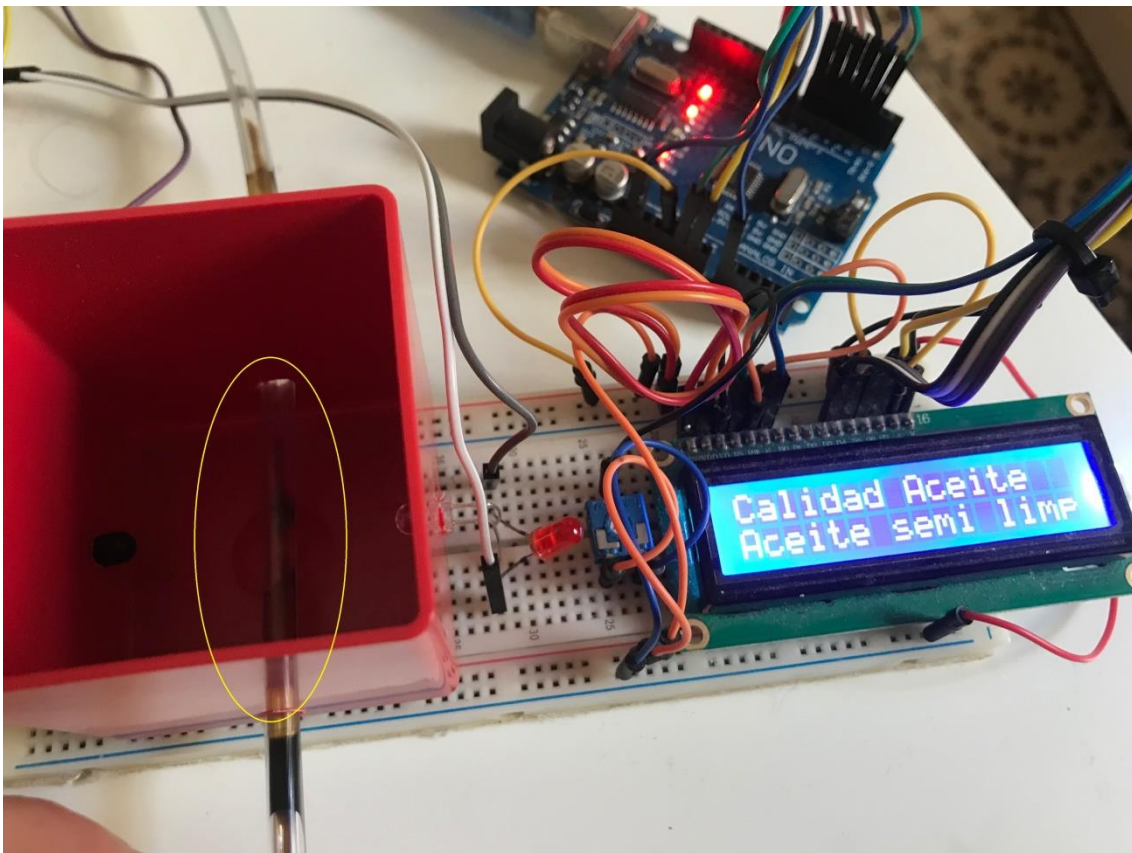
En la imagen siguiente se podrá contemplar las distintas fases en las que hemos hecho pasar el aceite por el sensor y evaluar las distintos grados que presentaría a lo largo de su tiempo de uso y como lo interpreta el sensor para poder informarnos en tiempo real de su estado al usuario.

Cuando se ha empezado a pasar el aceite limpio recorriendo el circuito y va detectando el sensor, dada su transparencia y a la ley del principio matemático Ley de Lambert-Beer (explicada en el anexo) el cual nos basamos para hacer este estudio nos muestra que está en sus propiedades óptimas (figura 13).



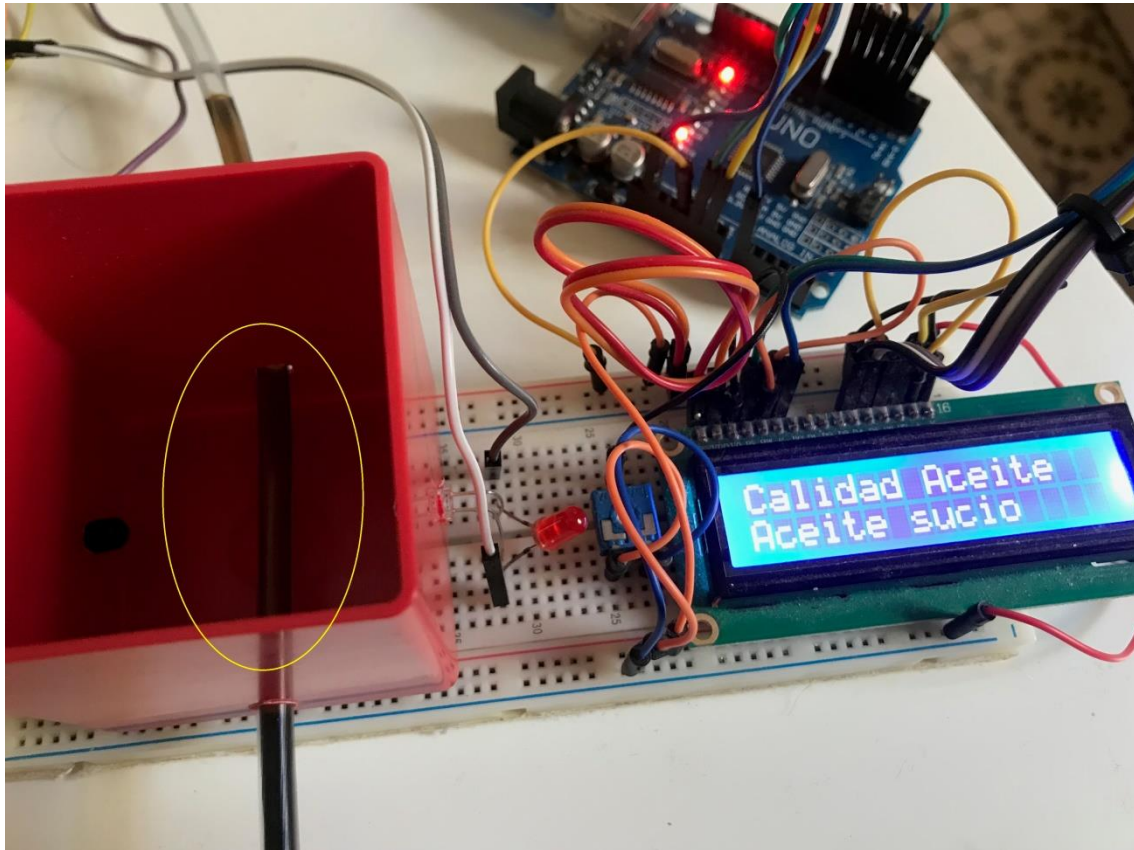
**Fig.13**

Cuando el aceite se va degradando y perdiendo sus propiedades por el uso, se va haciendo más turbio al paso por el sensor, dando al sensor menos corriente he interpretado que se está empezando a degradar (figura 14).



**Fig.14**

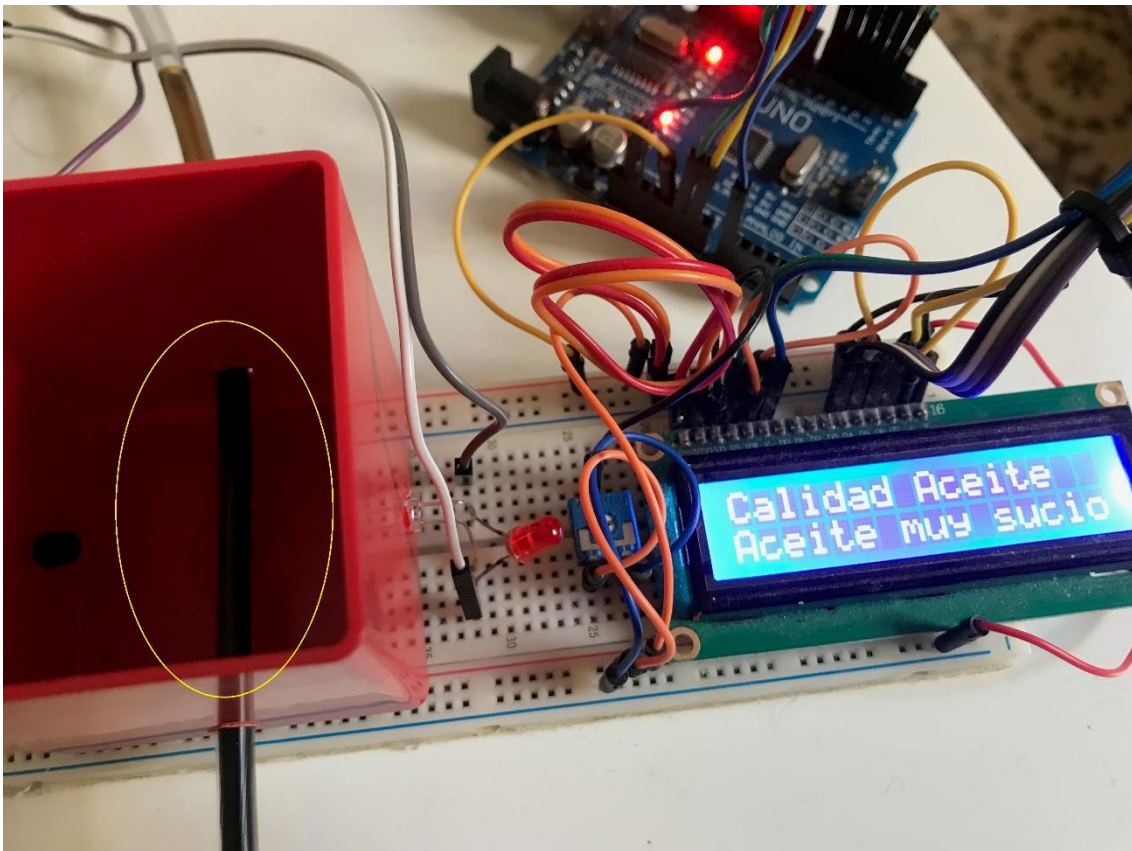
El aceite, en este caso ya está en su fase de desgaste y ha perdido prácticamente sus propiedades, como se muestra en la figura 15, el sensor interpreta y nos comunica que la sustitución del mismo debe ser en breve.



**Fig.15**

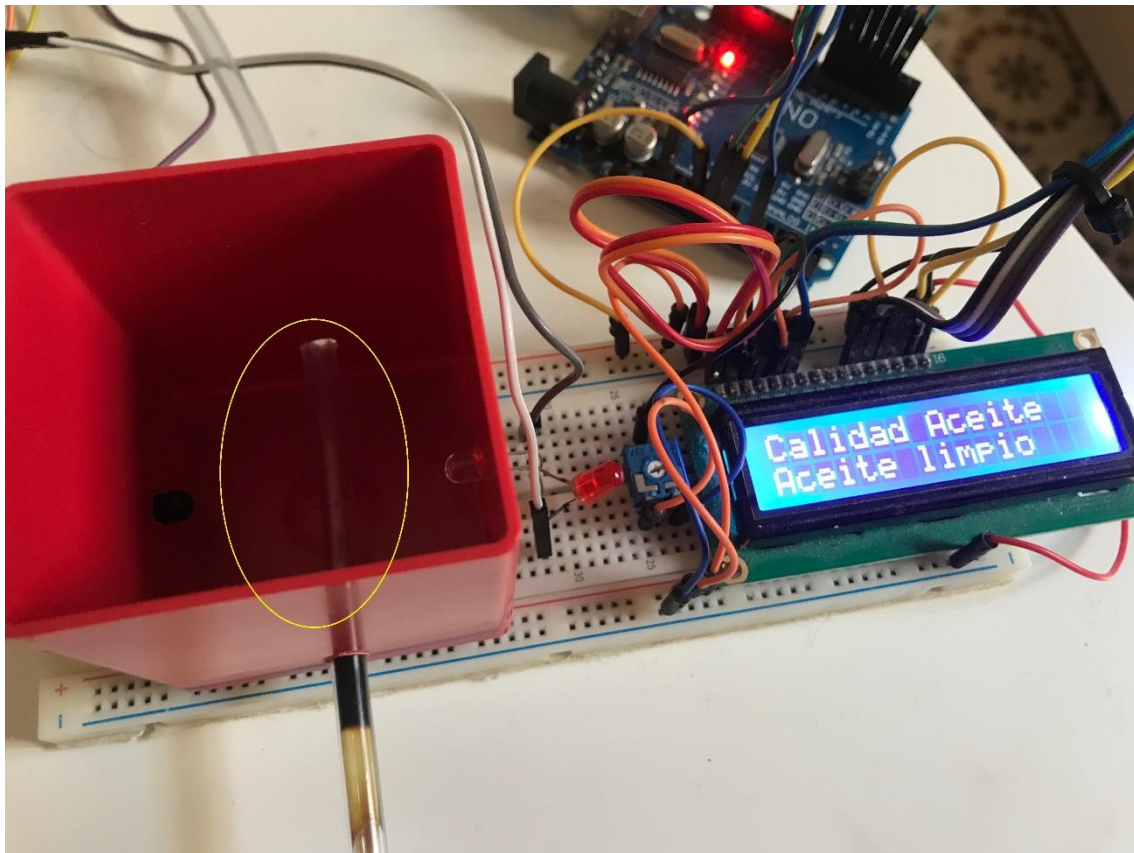


En este caso lo mostrado en la figura 16, es una lectura más extrema, la cual nos indica que es un aceite con grado de desgastaste muy elevado y el cual ha perdido todas sus propiedades, por ello en este caso continuar con este aceite nos arriesgamos a averías innecesarias.



**Fig.16**

Cuando el aceite es sustituido y vuelve a pasar por el sensor este ya detecta su grado de limpieza, decir en este caso sería limpio (figura 17).



**Fig.17**

## 6. CONCLUSIONES

Las conclusiones sobre este proyecto es que es el principio de cualquier actividad o uso en el cual se puede ampliar y adaptar a cualquier tipo de maquinaria la cual se quiera tener un control de su estado de líquidos refrigerantes o de engrase de todas sus piezas, tan importantes para su funcionamiento y vida de las mismas. Todo ello dado que son materiales de bajo coste, ya sea por materiales o hardware y teniendo un control de todo ello gracias al software, contemplando el gran abanico que pueden ofrecer este tipo de aplicaciones que existen en el mercado.

Dada a la programación es bastante intuitivo y existen en el mercado muchas herramientas para poder conseguir y programar sin tener grandes conocimientos de programación.

También comentar, que dado su bajo coste son bastantes precisos para un uso cotidiano. Pero hay que tener en cuenta que tienen sus limitaciones y márgenes para la precisión que puedan tener ciertas aplicaciones en maquinaria.

## DOCUMENTO 2: PLIEGO DE CONDICIONES

### 1. OBJETO

El objeto de este documento es definir todas las condiciones básicas a cumplir tanto por parte de las personas como de los materiales utilizados del proyecto. Donde se van a describir los conceptos facultativos, técnicos, económicos y legales que afectan al proyecto, en relación a:

- Mantener en todo momento la seguridad de las personas y los elementos que puedan intervenir.
- Mejorar la calidad del proyecto.
- Seguridad del proyecto, tales como las condiciones para que no resulte dañado, ni los provoque a personas o instalaciones en contacto directo con él durante o después de su funcionamiento.
- Normativa legal a la cual debe acogerse tanto a los materiales utilizados, la forma de utilizarlos, los procesos y las personas interventoras en el proyecto.
- Descripción de los materiales a utilizar para la ejecución de dicho proyecto, incluyendo las características técnicas y el valor económico de los mismos.

Este último apartado se tendrá especial atención, ya que afecta directamente a la compra de materiales necesarios y al mismo tiempo al presupuesto del proyecto.

El presente documento se extiende a todos los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que forman parte del proyecto. Por ello se ha de tener en cuenta como referencia a los demás documentos del proyecto y no de modo aislado, así poder garantizar el cumplimiento de las

especificaciones fijadas. Por otro modo en determinados supuestos se podrán adoptar distintas propuestas ya que por su naturaleza del mismo o desarrollo tecnológico lo permitan, todo ello justificando su necesidad y que no impliquen una disminución de las exigencias mínimas esperadas del mismo.

## **2. CONDICIONES DE LOS MATERIALES**

A continuación se van a describir las especificaciones de los materiales a utilizar, siendo estos el microcontrolador Arduino, placa protoboard, componentes electrónicos, etc.

### **2.1 Descripción**

Con el objetivo de garantizar la fiabilidad de los diferentes elementos existen una serie de normativas a tener en cuenta. Se recomienda realizar un control a la recepción de los productos.

### **2.2 Control de calidad**

Antes de realizar el montaje de los componentes, se deberá comprobar el funcionamiento de los mismos.

#### **2.1.1 Cableado eléctrico**

No necesita ningún tipo de protección especial para ningún tipo de control, ya que estarán aislados de la intemperie, partes móviles y posibles cortes.

No obstante, se exige una protección mínima frente a descargas, ya que los cables están próximos al usuario y en caso de accidente podrían al usuario.



### 2.1.2 Cableado de datos

Para las comunicaciones entre PC y Arduino, se utilizará cable USB suministrado junto al Arduino. Para las comunicaciones placa / módulos se utilizará cableado de colores de 0.28mm de sección, tanto para la entrada como para la salida de señal.

### 2.1.3 Componentes electrónicos

Todo componente electrónico deberá cumplir las características designadas en los esquemas o descripciones.

### 2.1.4 Placa Protoboard

Se utiliza placa microperforada, la cual debe cumplir la siguiente normativa:

- DIN 40801, parte 1 “Circuitos impresos, fundamentos, retículos”  
Parte 2 “Circuitos impresos, fundamentos, orificios y espesores nominales”.
- DIN 40803, parte1. “Circuitos impresos, placas de circuitos impreso, requisitos generales y comprobadores, tablas de tolerancias”.
- DIN 40804 “Circuitos impresos, conceptos”.
- UNE 20621-2/1C:1985. “Circuitos impresos, métodos de ensayo”.

### 2.1.5 Microcontrolador Arduino

Como base del proyecto usaremos la placa Arduino UNO. Es posible usar otro tipo de placa, siempre que tenga iguales o mejores características técnicas. La alimentación del sistema debe realizarse a través de un DC Jack con centro positivo y un valor entre 5V y 20V.

Las características técnicas del microcontrolador se detallan en el capítulo "Descripción de la solución adoptada" incluido en la memoria.

Este tipo de producto está diseñado para cumplir con los requisitos de normas de seguridad para equipos electrónicos de medida, control y uso en laboratorio:

- IEC 61010-1, EN61010-1, UL 61010-1, CSA 61010-1
- UNE-EN 60745
- UNE-EN 61800

Este tipo de placa no está certificada para el uso en lugares peligrosos.

### 3. CONDICIONES DE LA EJECUCIÓN

#### 3.1 Descripción

Deben seguirse las normas para realizar la conexión de los elementos siempre siguiendo el manual de instrucciones proporcionado. Además, los cables deberán ser proporcionados o los recomendados por el proveedor de material para que el sistema tenga un correcto funcionamiento.

#### 3.2 Control de calidad

Los elementos directamente proporcionados por el fabricante no deberán ser modificados.

Los requisitos mínimos del equipo para la manipulación del programa,, así como el hardware proporcionado, se necesitará disponer de un equipo con las siguientes características mínimas:

- Microprocesador: Pentium i3 / Celeron o superior
- Memoria RAM mínimo de 1GB
- Sistema operativo Windows XP o superior o en su caso IOS10 o superior.
- Espacio en disco mínimo 2GB para incluir drivers más librerías.
- Entradas para USB

Para el diseño y ensamblado de los subcircuitos es necesario diseñar y valorar el esquema en relación al tipo de componentes a emplear y el espacio de la misma protoboard. Para esta ejecución debemos seguir unos pasos:

- Procedimiento de soldadura

Para la cual se utilizara un soldador eléctrico de estaño de 30 watts con punta de 1 o 1.2 mm, todo ello para garantizar una buena soldadura habrá que tener en cuenta las siguientes anotaciones:

- La punta del soldador siempre limpia y estañada, con el soldador a una temperatura de trabajo correcta, unos 350Cº.
- Tiempo de soldadura y temperatura correctos, todo ello previamente precalentando primero el cobre, sin excederse de tiempo, ya que puede dañar la placa y el componente.
- La placa debe estar limpia y las partes a soldar libres de impurezas.
- Evitar mover los componentes en su proceso de enfriamiento.
- Muy importante, evitar el exceso de estaño para no producir posibles cortocircuitos.

#### 4. PRUEBAS Y AJUSTES FINALES O DE SERVICIO

Para hacer las pruebas y ajustes finales o de servicio, se ha de seguir cierta configuración y programación del Arduino.

Por ello se utilizará el software de Arduino llamado IDE. Para instalar el software, hay que ir siguiendo los pasos del manual *Getting Started* publicado en la página oficial de Arduino.

Una vez instalado, realizaremos la introducción de las librerías necesarias por el programa para su correcto funcionamiento.

Para incorporar dichas librerías seguiremos esta pequeña ruta: *“Sketch→Import library→Add library...”* y seleccionaremos la librería a instalar. Este proceso se debe repetir con cada librería.

Seguidamente, se abrirá el archivo principal del proyecto. A través del conector USB entre PC y el Arduino, seleccionamos el puerto de comunicación donde esté conectado con la siguiente ruta: *“Tools→Serial port”* y el modelo *“Tools→Board→Arduino Uno”*.

Para finalizar, cargamos el programa mediante la ruta: *“File→Upload”*, cargando el archivo *“Proyecto\_Sensor\_Aceite\_Final”*.

Y estando todo el procedimiento correcto, para su comprobación del correcto funcionamiento de los componentes del sistema se deben seguir los pasos descritos en el manual de usuario.

## DOCUMENTO 3: PRESUPUESTO

### **PRESUPUESTO**

En el siguiente apartado se muestra el análisis del presupuesto del proyecto. Se evaluarán tanto software como hardware.

Se esquematiza de la siguiente manera:

- 1- Costes mano de obra.
- 2- Costes materiales.
- 3- Gastos generales.

### **COSTES DE MANO DE OBRA.**

En este apartado se calcula la duración de los trabajos realizados. Diseño, programación y análisis. El tiempo se dividiría en:

- 1- Diseño y programación del software.  
La duración de esta sección será aproximada de una semana.  
 $1 \text{ semana} \times 5 \text{ días} / \text{semana} \times 8 \text{ horas} / \text{día} = 40 \text{ horas}$
- 2- Diseño y montaje del hardware. Diseño estructural del sistema, además del conexionado de todos sus elementos.  
El tiempo estimado para esta sección es de tres semanas.  
 $2 \text{ semanas} \times 5 \text{ días} / \text{semana} \times 8 \text{ horas} / \text{día} = 80 \text{ horas.}$
- 3- Análisis funcionamiento y pruebas.  
El tiempo estimado para esta sección es de dos semanas.  
 $2 \text{ semanas} \times 5 \text{ días} / \text{semana} \times 8 \text{ horas} / \text{día} = 80 \text{ horas}$

Función	Nº Horas	Coste por hora (€)	Total (€)
Diseño y programación software del proyecto.	40	45	1.800
Estudio hardware, montaje y análisis del proyecto.	80	45	3.600
Posterior análisis funcionamiento y pruebas.	80	45	3.600
<b>Total.</b>			<b>9.000 €</b>

## COSTES MATERIALES

En este apartado se refleja los costes de material utilizado en el proyecto.

En la siguiente tabla se pueden observar los materiales utilizados en el presente proyecto:

Elemento	Unidades	Precio Ud. (€)	Importe (€)
Tarjeta Arduino	1	8	8
Led Infrarrojo	1	0,28	0,28
Fototransistor	1	0,50	0,50
Pantalla LDC 16x2	1	4	4
Kit cableado	1	6	6
Resistencia 100k	1	0,15	0,15
Condensador 10pF	1	0,080	0,08
Operacional	1	0,85	0,85



LM3324			
Potenciómetro 10k	1	0,75	0,75
Placa board	1	1,50	1,50
Placa universal PCB	1	3	3
Tubuladura	1	1,5	1,5
Aceite 1L	1	15	15
<b>Total</b>			<b>41,61€</b>

#### GASTOS GENERALES.

En esta sección se incluye los gastos originados por los recursos utilizados, tales como podrían ser, luz, agua, etc.

Se calcula dando un porcentaje estimado del coste total de la mano de obra, por tanto, el valor estimado sería un 6%.

El valor estimado de gastos generales sería:  $9.000€ \times 0,06 = 540€$ .



## TOTAL PRESUPUESTO

Costes totales	Sin impuestos	Impuestos (21%)	Total
Coste mano de obra	9.000€	1.890€	10.890€
Coste materiales	41,61€	8,74€	50,35€
Coste generales	540€	113,4€	653,4€
<b>Total</b>	<b>9.581,61€</b>	<b>2.012,14€</b>	<b>11.593,75€</b>

Así pues, el presupuesto de este proyecto asciende a **11.593,75 € IVA incluido**.



## ESTUDIO COSTE POR UNIDAD

Dado que éste es un diseño de un sensor “low cost” y lo que se trata es que sea económico, haremos un pequeño estudio del coste por unidad, de manera ver qué precio tendría.

Por ejemplo si quisiéramos hacer unas 100 unidades:

Sería:

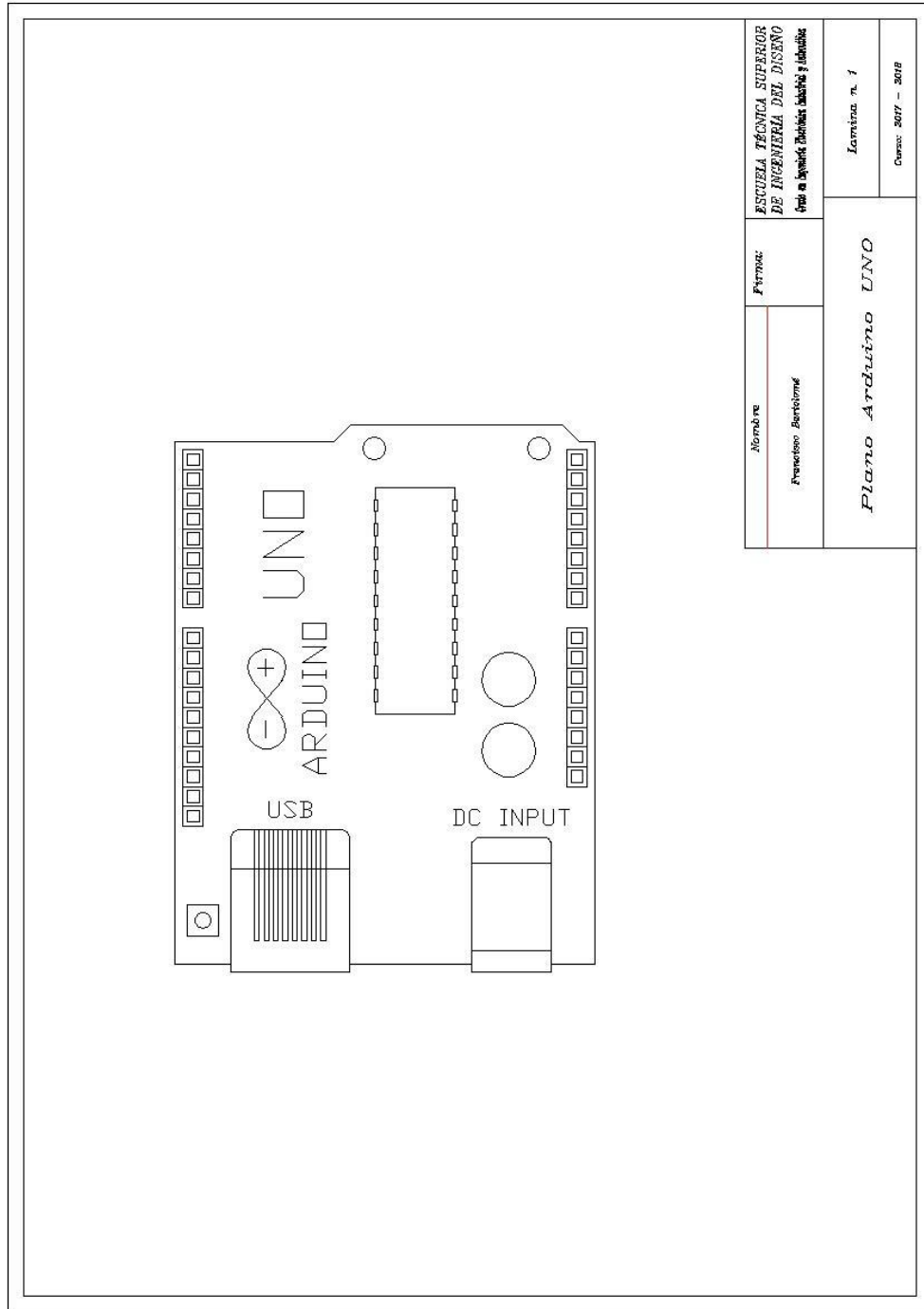
Coste por unidad = coste de materiales para fabricar 1 + presupuesto del proyecto / número de unidades a fabricar

Quedando así:

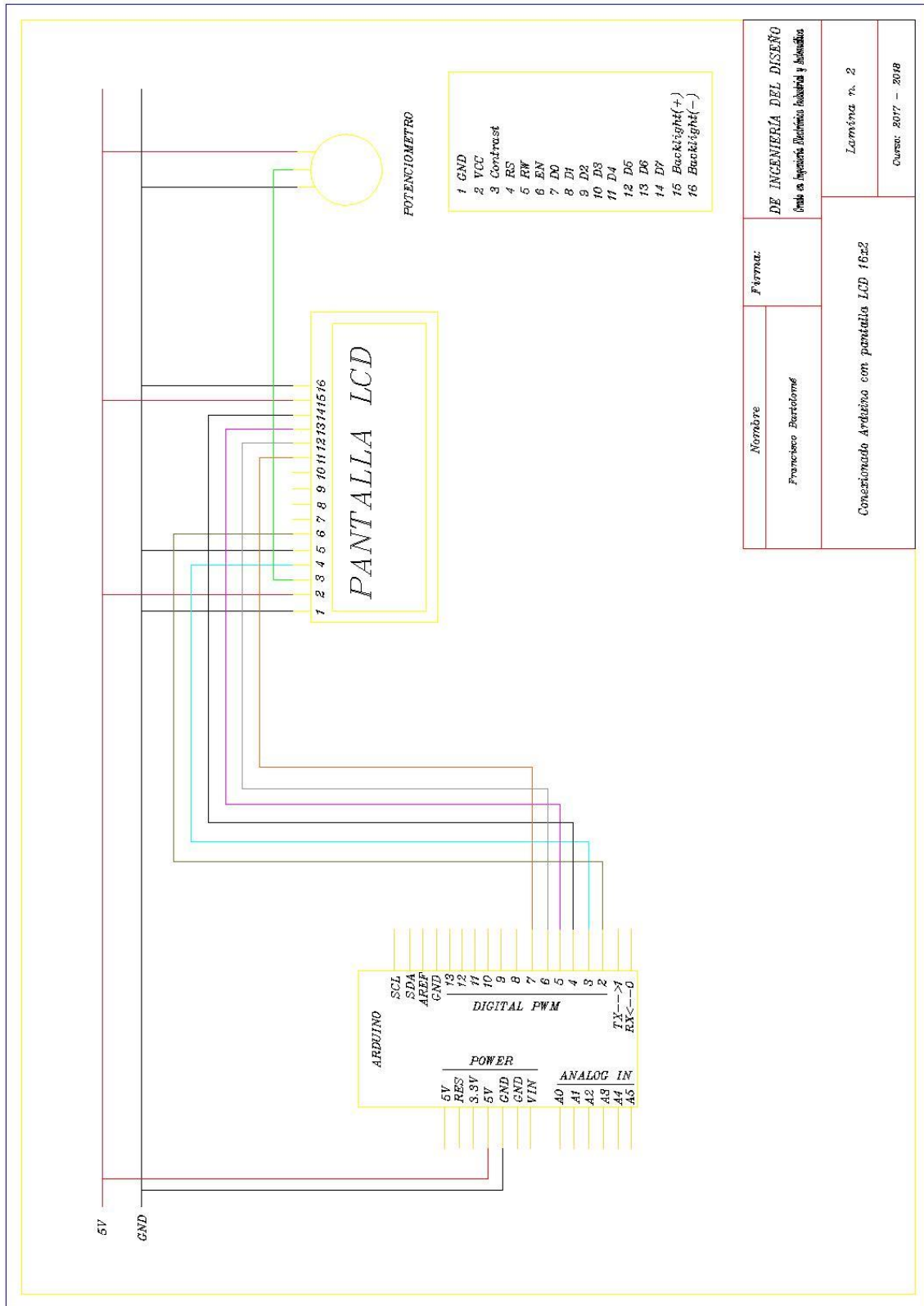
**Coste por unidad = 41,61 € + 9581,61 € / 100u = 96.23 € más IVA**

# DOCUMENTO 4: PLANOS

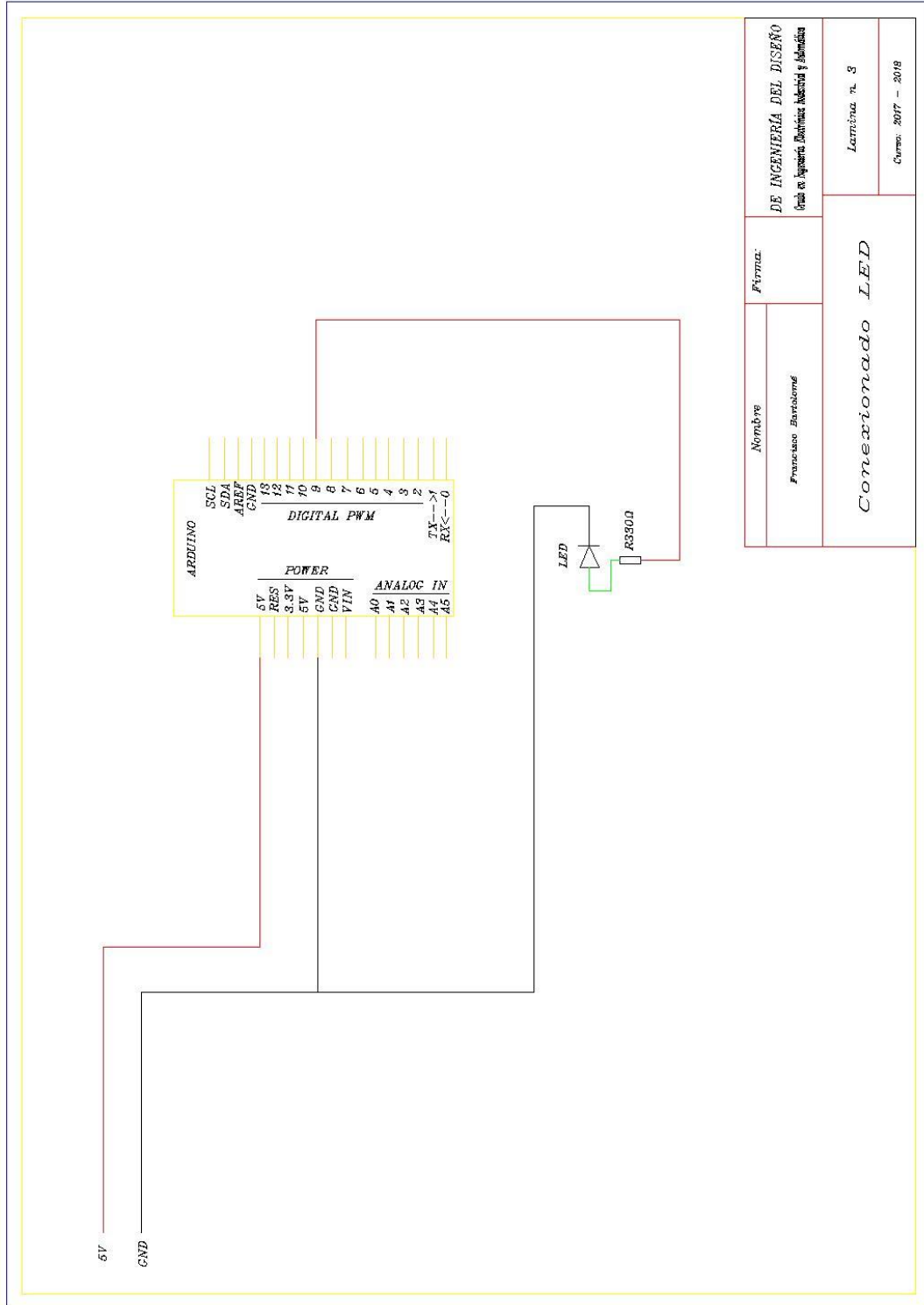
## Arduino Uno



Conexión de Arduino con Pantalla LCD 16x2

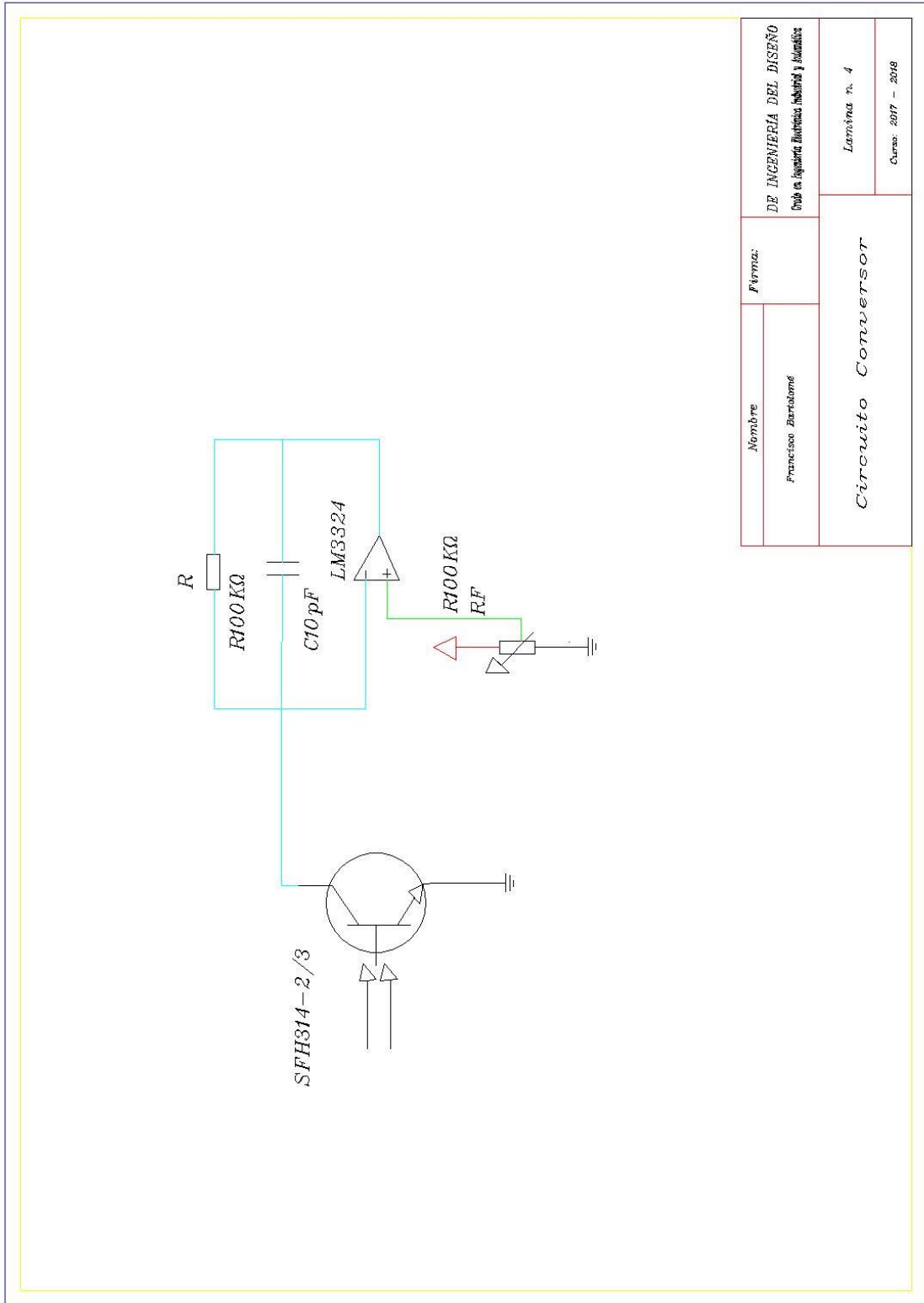


**Conexión de Arduino con Led**



Nombre	Firma:	DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
Francisco Barrolomé		Curso de Ingeniería Domótica Industrial y Automática
Conexión de LED		Lamina n.º 3
		Curso: 2017 - 2018

Circuito conversor





## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- <http://arduino.cc/> (2019)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi#Raspberry\\_Pi\\_1\\_Modelo\\_B\\_y\\_B+/](https://es.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi#Raspberry_Pi_1_Modelo_B_y_B+/) (2019)
- <https://www.st.com/en/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html> (2019)
- <http://equipo8quimicanalitica302.blogspot.com/2015/11/practica-15-comprobacion-experimental.html> (2018)
- [https://www.espectrometria.com/espectrometra\\_raman](https://www.espectrometria.com/espectrometra_raman) (2018)
- <http://www.metalmecanica.com/temas/Como-elegir-un-sensor+108149> (2019)

## ANEXOS

### Principio matemático Ley de Lambert-Beer

La ley de Lambert-Beer es una relación matemática entre la luz absorbida con las propiedades del material atravesado. Esta ley dice que cuando un rayo de luz pasa a través de un medio absorbente, su intensidad disminuye exponencialmente a medida que la concentración del medio absorbente aumenta, está es directamente relacionada con las propiedades intrínsecas del analito, con su concentración y con la longitud de la trayectoria del haz de radiación al atravesar.

En óptica (Rama de la física que se encarga del estudio de la luz) La ley de Beer afirma que la totalidad de luz que emana de una muestra puede disminuir debido a tres fenómenos de la física, que serían los siguientes:

1. El número de materiales de absorción en su trayectoria, lo cual se denomina concentración
2. Las distancias que la luz debe atravesar a través de la muestra. Denominamos a este fenómeno, distancia del trayecto óptico
3. Las probabilidades que hay de que el fotón de esa amplitud particular de onda pueda absorberse por el material. Esto es la absorbencia o también coeficiente de extinción.

La relación anterior puede ser expresada de la siguiente manera:

$$A = -\epsilon cd$$



Donde,

A = Absorbencia

$\epsilon$  = Coeficiente molar de extinción

d = Recorrido (en cm)

c = Concentración molar

A medida que la luz atraviesa un medio que la absorbe, la cantidad de luz absorbida en cualquier volumen corresponde a la intensidad de luz que incide, luego se multiplica por el coeficiente de la absorción. Frecuentemente la intensidad de un haz de luz incidente declina significativamente a medida que pasa a través del medio absorbente. Cuando esta relación se expresa como Ley de BOUGUERLAMBERT- BEER, tenemos que:

$$T = 10^{-\epsilon cd} \quad o \quad T = 10^{-A}$$

Donde,

T = Transmitancia

$\epsilon$  = Coeficiente molar de extinción

c = Concentración molar del absorbente

d = Recorrido en cm

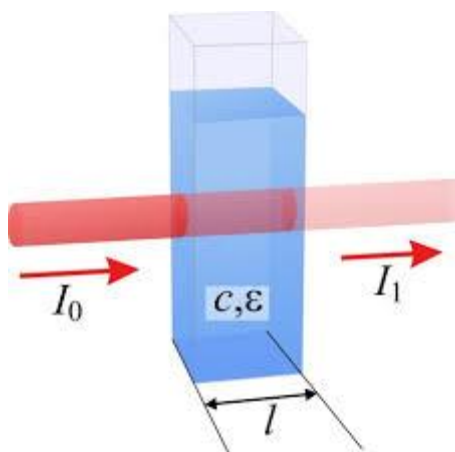
La transmitancia se puede expresar como la intensidad de la radiación incidente,  $I_0$ . Esto puede dividirse a la luz que emerge de la muestra,  $I$ . Se refiere a la relación  $I/I_0$  como transmitancia o como T.

La transmitancia se puede trazar con relación a la concentración, pero esta relación no sería lineal. Aunque el logaritmo negativo en base 10 de la transmitancia sí es lineal con la concentración.

De esta forma, la absorción es medida como:

$$A = -\log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad o \quad A = -\log_{10}(T)$$

A continuación, podemos observar un diagrama de la absorción de un haz que atraviesa un recipiente de tamaño  $l$



Imagen

(<http://equipo8quimicanalitica302.blogspot.com/2015/11/practica-15-comprobacion-experimental.html>)

Por ello las variaciones de concentración de residuos generan cambios en la cantidad de luz absorbida, motivo para la utilización de la ley Lambert-Beer, creando de esta manera un patrón de medida. Estos cambios en la concentración también generan variaciones en la cantidad de luz dispersa. Por lo que la concentración de residuos puede ser medida debido a la variación de la intensidad lumínica, tanto reflejada como transmitida y capturada por un fotodiodo del sensor, el cual transforma la intensidad en una señal de corriente.

# MANUAL USUARIO

## **Pantalla inicial**

La pantalla de inicio da la bienvenida al usuario al sistema y le ofrece directamente los datos de la calidad del aceite.

## **Los distintos niveles de calidad el aceite.**

Existen 4 niveles de medida para dar a conocer el estado del aceite en tiempo real.

Lo cuales son:

- 1- Aceite Limpio: Nos informa de que el aceite está en sus óptimas condiciones.
- 2- Aceite Semi-limpio: En este nivel el aceite ya presenta cierta suciedad, pero se puede seguir utilizando, estaría a mitad de su vida útil.
- 3- Aceite sucio: En este nivel el aceite ya presenta suciedad y ha llegado a su fin de vida útil, lo cual recomendamos la sustitución del mismo.
- 4- Aceite muy sucio: En este nivel el aceite ya ha perdido todas sus propiedades y puede acarrear alguna avería por su suciedad excesiva, lo cual hay que sustituirlo inmediatamente.

Cuando el aceite es sustituido y recircule, el sensor mismo marcará otra vez aceite limpio sin la necesidad de hacer ninguna acción adicional.