



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Diseño de máquina para prueba de estanqueidad  
en grifos.

Autor/es

Daniel Arroyo Abril

Director/es

Antonio Bono Nuez

Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
2016



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D<sup>a</sup>. \_\_\_\_\_,

con nº de DNI \_\_\_\_\_ en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) \_\_\_\_\_, (Título del Trabajo)

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza,



Fdo: \_\_\_\_\_

## RESUMEN.

La grifería que existe actualmente en el mercado, y en la vida cotidiana, tiene que tener una fiabilidad y una calidad que haga que el grifo no tenga pérdidas de agua, ya que, si las hubiera, estaríamos derrochando agua y, por tanto, esto iría en detrimento del medio ambiente y, además, supondría un encarecimiento de la factura del consumo de agua. Por ello, se ha decidido diseñar e implementar una máquina que sea capaz de detectar si un grifo tiene pérdidas.

La empresa “Griferías Grober, S.L.” ha decidido fabricar esta máquina en vez de comprar una que realice las mediciones debido a que la empresa desea poseer más de un puesto de medida y, si hubiera realizado la compra de las máquinas, habría tenido un desembolso excesivamente elevado.

Por tanto, el objetivo de este proyecto es desarrollar un prototipo para comprobar la estanqueidad de la grifería, de acuerdo a las especificaciones de la empresa “Griferías Grober S.L.”. Para mejorar el proyecto, se ha realizado un programa que permite visualizar y reportar los datos obtenidos por el microcontrolador, con lo que se puede hacer un estudio de los datos y poder clasificar los grifos en grifos positivos (han pasado el test) o grifos negativos (no han pasado el test).

## ABSTRACT.

The taps that currently exists in the market, and in everyday life, must have reliability and quality that makes the faucet is not leaking water, because, if the tap had lost some water, we would be wasting an amount of water and, therefore, this would favor to an improper use of the environment and, also, this would mean a rise in water bills. Thus, we were decided to design and implement a machine that is able to detect if a tap is leaking.

The company "Griferías Grober, SL" has decided to make this machine instead of buying a machine to perform measurements because the company wants to have more jobs measure and, if they had made the purchase of the machines, they had had a disbursement very high that they would not carry out.

Therefore, the objective of this project is to develop a prototype to test the tightness of a tap, according to company specifications "Griferías Grober S.L.". To improve the project, we have made a program that lets you view and report the data obtained by the microcontroller. So, we can make a study of the data and we can classify the faucets on positive taps (if they have passed the test) or negative taps (if they have not passed the test).

## ÍNDICE.

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
<b>3 EMPRESA.....</b>	<b>10</b>
3.1 HISTORIA DE LA EMPRESA.....	10
3.2 DATOS GENERALES.....	10
3.2.1 PLANTILLA.....	11
3.3 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA.....	11
3.4 CAPACIDAD COMERCIAL.....	12
3.4.1 ORGANIZACIÓN COMERCIAL DE LA EMPRESA.....	12
3.5 EMPRESAS COMPETIDORAS.....	12
<b>4 DISEÑO DEL SISTEMA.....</b>	<b>14</b>
4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA.....	14
4.2 HARDWARE.....	17
4.2.1 MICROCONTROLADOR.....	17
4.2.2 ADAPTACIONES Y CONEXIONES.....	22
4.2.3 SENSOR DE PRESIÓN.....	24
4.2.4 ELECTROVÁLVULA.....	27
4.2.5 BOMBA DE CARGA INVERSORA.....	28
4.2.6 REPRESENTACIÓN DE DATOS.....	29
4.3 SOFTWARE.....	31
4.3.1 FIRMWARE DEL MICROCONTROLADOR.....	31
4.3.2 APLICACIONES DE PC DESARROLLADAS.....	34
<b>5 PROTOTIPO.....</b>	<b>38</b>
5.1 FUNCIONAMIENTO.....	39
5.2 CONTENIDO DE LAS CARCASAS.....	40
5.2.1 MÓDULO HMI.....	40

**DISEÑO DE MÁQUINA PARA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN GRIFOS.  
MICROFUGÓMETRO. | ÍNDICE**

5.2.2	MÓDULO MÁQUINA.....	41
5.3	COSTE.....	41
5.3.1	MÓDULO HMI.....	42
5.3.2	MÓDULO MÁQUINA.....	42
5.3.3	TOTAL.....	43
<b>6</b>	<b>TRABAJOS FUTUROS.....</b>	<b>44</b>
6.1	FUNCIONAMIENTO.....	44
6.2	COSTE.....	45
6.2.1	MÓDULO HMI.....	45
6.2.2	MÓDULO MÁQUINA.....	46
6.2.3	TOTAL.....	46
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Datos generales de la empresa.....	10
Tabla 2. Plantilla GRB.....	11
Tabla 3. Facturación de la competencia de GRB. ....	13
Tabla 4. Coste módulo HMI – Microfugómetro de un canal.....	42
Tabla 5. Coste módulo máquina – Microfugómetro de un canal.....	43
Tabla 6. Coste total – Microfugómetro de un canal.....	43
Tabla 7. Coste módulo HMI – Microfugómetro de tres canales. ....	45
Tabla 8. Coste módulo máquina – Microfugómetro de tres canales.....	46
Tabla 9. Coste total – Microfugómetro de tres canales. ....	46

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. Organigrama de Grober.....	11
Ilustración 2. Organización comercial de Grober.....	12
Ilustración 3. Diagrama de bloques global eléctrico.....	14
Ilustración 4. Sensor de presión.....	15
Ilustración 5. Representación, símbolo y electroválvula física.....	15
Ilustración 6. Diagrama de bloques global neumático.....	16
Ilustración 7. Válvula reguladora de caudal bidireccional y unidireccional.....	16
Ilustración 8. Manómetro.....	17
Ilustración 9. Arduino UNO.....	18
Ilustración 10. Arduino MEGA.....	18
Ilustración 11. Arduino ZERO.....	19
Ilustración 12. MSP-EXP430G2.....	19
Ilustración 13. EK-TM4C123GXL.....	20
Ilustración 14. CC3200-LAUNCHXL.....	20
Ilustración 15. Schneider Electric Zelio Logic.....	21
Ilustración 16. Siemens LOGO! 6.....	22
Ilustración 17. Circuito de adaptación del sensor.....	24
Ilustración 18. Transformación de corriente a tensión.....	24
Ilustración 19. Grafica Corriente/Presión.....	25
Ilustración 20. Gráfica Tensión/Presión (1).....	25
Ilustración 21. Gráfica Tensión/Presión (2).....	27
Ilustración 22. Circuito de control de la electroválvula.....	28
Ilustración 23. Circuito bomba de carga inversora.....	29
Ilustración 24. Conexión LCD.....	30
Ilustración 25. Conexión LED.....	30
Ilustración 26. Conexión zumbador.....	31
Ilustración 27. Diagrama de flujo firmware del microcontrolador.....	31
Ilustración 28. Diagrama de flujo INICIO.....	32
Ilustración 29. Diagrama de flujo ESPERA.....	32
Ilustración 30. Diagrama de flujo FUNCIONAMIENTO.....	33
Ilustración 31. Diagrama de flujo FIN.....	34
Ilustración 32. Diagrama de flujo Software Visual Studio 2015.....	34
Ilustración 33. Aplicación software Visual Studio 2015.....	35
Ilustración 34. Diagrama de flujo Software MATLAB.....	36
Ilustración 35. Aplicación software MATLAB.....	36
Ilustración 36. Diseño de las carcasa.....	38
Ilustración 37. Diagrama de flujo del funcionamiento del microfugómetro de un canal.....	39
Ilustración 38. Cara TOP y BOTTOM PCB HMI.....	40
Ilustración 39. PCB HMI física.....	40

**DISEÑO DE MÁQUINA PARA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN GRIFOS.  
MICROFUGÓMETRO. | ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 40. Cara TOP y BOTTOM PCB máquina. ....	41
Ilustración 41. PCB Máquina física. ....	41
Ilustración 42. Diagrama global del funcionamiento del microfugómetro de tres canales. ....	44
Ilustración 43. Diagrama de flujo del funcionamiento del microfugómetro de tres canales. ....	44

## 1 INTRODUCCIÓN.

La necesidad creciente de automatizar los procesos de fabricación en la industria ha elevado a los mecanismos y maquinas accionados por aire y aceite comprimido hasta cotas insospechadas. Para ello se emplea entre otras la electrónica que es la rama de la física y especialización de la ingeniería, que estudia y emplea sistemas cuyo funcionamiento se basa en la conducción y el control del flujo de los electrones u otras partículas cargadas eléctricamente.

Utiliza una gran variedad de conocimientos, materiales y dispositivos, desde los semiconductores hasta las válvulas termoiónicas. El diseño y la gran construcción de circuitos electrónicos para resolver problemas prácticos forman parte de la electrónica y de los campos de la ingeniería electrónica, electromecánica y la informática en el diseño de software para su control. El estudio de nuevos dispositivos semiconductores y su tecnología se suele considerar una rama de la física, más concretamente en la rama de ingeniería de materiales.

El objetivo de este proyecto es desarrollar un prototipo para comprobar la estanqueidad de un grifo, de acuerdo a las especificaciones de la empresa “Griferías Grober S.L.”, para lo que se utilizarán distintos elementos, tanto activos como pasivos, como son, por ejemplo, sensores de presión, electroválvulas y adaptaciones con resistencias y amplificadores operacionales.

También se diseñarán dos aplicaciones software, para el manejo del prototipo, en dos entornos diferentes, uno para la propia empresa y otro para poder hacer un estudio intensivo, en la universidad, de los datos obtenidos. Dichos entornos son Visual Studio 2015 y MATLAB 2015a.

Se decide realizar este proyecto porque la empresa “Griferías Grober S.L.” desea poseer varias máquinas para hacer el estudio de la estanqueidad de los grifos, pero, debido al alto coste de compra de las existentes en el mercado, se ha planteado el diseño propio de un prototipo.

Griferías Grober S.L. en adelante GRB, es una empresa aragonesa fundada en 1996 que tiene como actividad principal el diseño, desarrollo, producción y comercialización de una gama completa de grifería termostática para uso residencial, monomandos y grifería en general.

GRB es una empresa en evolución constante, cuya visión de negocio, a diferencia del resto de fabricantes nacionales, no coincide con una producción masificada u orientada al precio, sino que considera la grifería como un elemento de decoración, con unos valores de diseño, tecnología, ahorro y ergonomía propios de un bien de consumo de alta calidad. De esta forma, la política de GRB es el desarrollo de productos novedosos e innovadores, que la diferencien, potenciando la imagen corporativa de aspecto cada vez más tecnológico.

## 2 OBJETIVOS.

Con el fin de tomar decisiones más apropiadas a la hora de desarrollar el diseño de una máquina de estanqueidad en grifos, se han planteado una serie de objetivos que ayudaran a minimizar costes, manteniendo su funcionalidad, eficacia y facilidad de uso.

Por todo esto surge la necesidad de detallar un objetivo general, que va a ser el resultado a alcanzar en este proyecto y, a raíz del objetivo general, surgen unos objetivos operativos necesarios para la realización del prototipo.

### 2.1 OBJETIVO GENERAL.

*Diseñar e implementar un prototipo para la comprobación de la estanqueidad de un grifo GRB.*

Para conseguir este objetivo se empleará un microcontrolador de la marca Texas Instruments, más concretamente en una placa de desarrollo EK-TM4C123GXL, para lo que, se ha programado dicha placa en el software suministrado por Texas Instruments, Code Composer Studio 6.1.2.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ▶ Conocer las necesidades de la empresa Griferías Grober S.L.
- ▶ Seleccionar los elementos necesarios para el diseño del prototipo.
- ▶ Estudiar de los diferentes componentes empleados.
- ▶ Diseñar los circuitos necesarios para el funcionamiento del prototipo.
- ▶ Programar el microcontrolador.
- ▶ Implementar los circuitos realizados.
- ▶ Programar software de adquisición de datos con Visual Studio 2015 y MATLAB 2015a.
- ▶ Fabricar placas de circuito impreso con Altium Designer 2016.
- ▶ Diseñar los planos de las carcasas del prototipo con AutoCAD 2014.

Todos estos objetivos han sido planteados antes de la realización del prototipo. En los apartados 4 y 5 de este proyecto se desarrollan más detalladamente, explicando cómo se realizaron.

### 3 EMPRESA.

#### 3.1 HISTORIA DE LA EMPRESA.

Griferías GROBER, S. L. fue fundada en 1996, aunque la actividad proviene de 1990 bajo la misma marca en régimen de autónomo. El promotor del negocio es Roberto Ladrón Jiménez, actual Director General. La empresa se estableció en el casco urbano de Zaragoza, trasladándose al polígono industrial de la localidad de Cuarte de Huerva (Zaragoza) en 1998. En 2008 se produce un nuevo cambio de instalaciones, en este caso, a la emblemática plataforma logístico-industrial de Pla-Za.

En 2006, Griferías GROBER S.L. adquirió la empresa familiar GRISANEX, y ha integrado la marca en la estructura financiera, productiva, etc. excepto en la comercial, donde se mantienen ambas marcas.

Finalmente es destacable que la Innovación es un valor impulsado desde la Dirección, que participa en la promoción y fomento de la I+D+i entre el tejido empresarial aragonés, como, por ejemplo, habiendo sido el Secretario General de la Asociación de Jóvenes Empresarios (AJE), en la que, además, ejerce la dirección del Comité de I+D de la asociación AJE, por el cual se han visitado ferias, participado en congresos, o traído personalidades del ámbito de la innovación. También es activa la participación en Innovación Zaragoza, o en actividades de formación a raíz de haber sido seleccionado como caso de éxito sobre la I+D para muchos organismos, como por ejemplo el Instituto Tecnológico Aragonés, exponiendo directamente el caso a alumnos trabajadores de otras empresas y compartiendo con ellos la experiencia de la innovación desde una visión práctica.

#### 3.2 DATOS GENERALES.

Nombre	GRIFERIAS GROBER, S.L.		
NIF	B-50667690		
Fecha de constitución	01/01/1996		
Objeto social	Trabajos de mecanización de piezas y montaje de elementos de fabricación para la industria en general. Fabricación y comercialización de grifería, monomandos y productos complementarios o accesorios		
Dirección	Plataforma Logística PLAZA, Avenida Alaun 19 edificio GRB, ZARAGOZA, 50197.		
Teléfono	976504170	Correo electrónico	<a href="mailto:gerencia@grober.es">gerencia@grober.es</a>

Tabla 1. Datos generales de la empresa.

### 3.2.1 PLANTILLA.

	DEPARTAMENTO	EMPLEADOS
PLANTILLA DE LA EMPRESA	Dirección y Administración	5
	Comercial	10
	Producción	30
	I+D	5
	<b>TOTAL</b>	<b>50</b>

Tabla 2. Plantilla GRB.

### 3.3 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA.

En la Ilustración 1 se muestra el organigrama de la empresa:

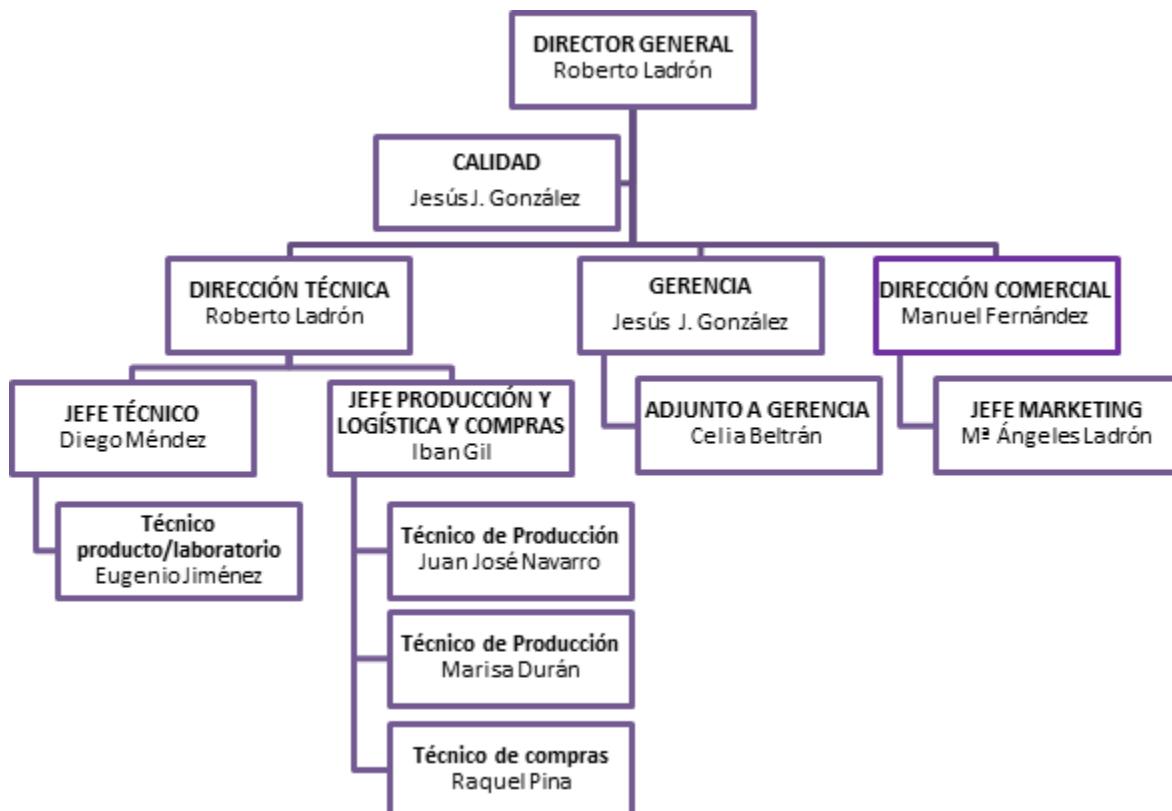


Ilustración 1. Organigrama de Grober.

### 3.4 CAPACIDAD COMERCIAL.

#### 3.4.1 ORGANIZACIÓN COMERCIAL DE LA EMPRESA.

La empresa cuenta, en estos momentos, con la organización comercial que podemos ver en la Ilustración 2:

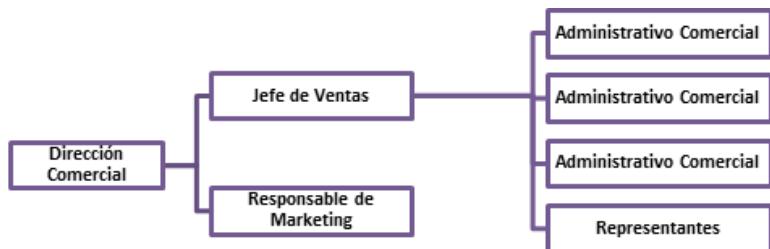


Ilustración 2. Organización comercial de Grober.

El modelo de distribución elegido por la empresa se basa en contar con distribuidores por área. Con esta política se cubre el 70% de las ventas, quedando el 30% restante para ventas a pequeñas tiendas en zonas donde se carece de distribuidor.

En España la empresa cuenta con presencia en el 100% del territorio a través de 34 colaboradores. Además, actualmente se cuenta con una red comercial presente en Francia (4 agentes) y en Portugal (2 representantes), con la intención de ampliar la presencia en otros países. Todos los vendedores de la empresa son Agentes de Comercio libres. Actualmente se ha iniciado una nueva andadura que permite a GRB tener una red comercial propia en Chile, a través de GRB Pacífico. Además, se realizan exportaciones puntuales a otros países como Colombia, Cuba, etc. que se espera que incrementen gracias a GRB Pacífico, y a este Plan de Competitividad.

### 3.5 EMPRESAS COMPETIDORAS.

La principal competencia de Griferías GROBER son grandes empresas, como vemos en la Tabla 3, como pueden ser Roca, Grifería Tres, Hans Grohe, Ramón Soler, etc., empresas para las cuales la comercialización de grifos empotrados supone solo una pequeña parte de sus ingresos, mercado que para GROBER puede constituir otro de sus ejes principales de negocio.

Las facturaciones de estas empresas en España en los últimos años es la siguiente (los datos de GRB son sin sumar las ventas de GRISANEX, ya que no formaron una empresa única hasta 2013):

**DISEÑO DE MÁQUINA PARA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN GRIFOS.  
MICROFUGÓMETRO. | EMPRESA**

FABRICANTE	2008	2009	2010	2011	2012
ROCA	<b>105.000</b>	<b>79.750</b>	<b>78.026</b>	<b>78.843</b>	<b>77.650</b>
TRES	<b>32.974</b>	<b>30.447</b>	<b>35.873</b>	<b>37.761</b>	<b>37.361</b>
GROHE	<b>54.458</b>	<b>36.226</b>	<b>34.798</b>	<b>30.200</b>	<b>24.932</b>
RAMON SOLER	<b>30.290</b>	<b>27.479</b>	<b>27.752</b>	<b>25.111</b>	<b>23.856</b>
TEKA	<b>37.432</b>	<b>24.320</b>	<b>24.226</b>	<b>23.984</b>	<b>21.056</b>
HANSGROHE	<b>28.950</b>	<b>17.355</b>	<b>17.542</b>	<b>17.600</b>	<b>12.853</b>
CLEVER	<b>14.650</b>	<b>15.350</b>	<b>14.478</b>	<b>13.390</b>	<b>11.251</b>
GENEBRE	<b>5.840</b>	<b>5.544</b>	<b>8.205</b>	<b>8.505</b>	<b>9.174</b>
GRB		<b>4.349</b>	<b>5.230</b>	<b>5.287</b>	<b>5.182</b>
FELIU BOET	<b>2.883</b>	<b>3.075</b>	<b>2.870</b>	<b>3.584</b>	<b>3.246</b>
MA DEL RIO	<b>3.289</b>	<b>2.796</b>	<b>2.841</b>	<b>2.991</b>	<b>2.748</b>
ALTRO SUPERGRIF	<b>5.185</b>	<b>4.666</b>	<b>2.306</b>	<b>2.254</b>	
DORN BRATCH	<b>4.942</b>	<b>3.923</b>	<b>2.542</b>	<b>2.139</b>	<b>1.950</b>
GALINDO	<b>3.152</b>	<b>1.875</b>	<b>1.940</b>	<b>1.975</b>	

*Tabla 3. Facturación de la competencia de GRB.*

## 4 DISEÑO DEL SISTEMA.

En este apartado se va a explicar el diseño del sistema creado, describiendo cómo va a ser, qué hardware va a utilizar y qué software se ha diseñado para el uso del microfugómetro.

### 4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA.

Como observamos en la Ilustración 3, el diagrama de bloques del diseño global del sistema está compuesto por diversas unidades que nos permiten desarrollar el microfugómetro.

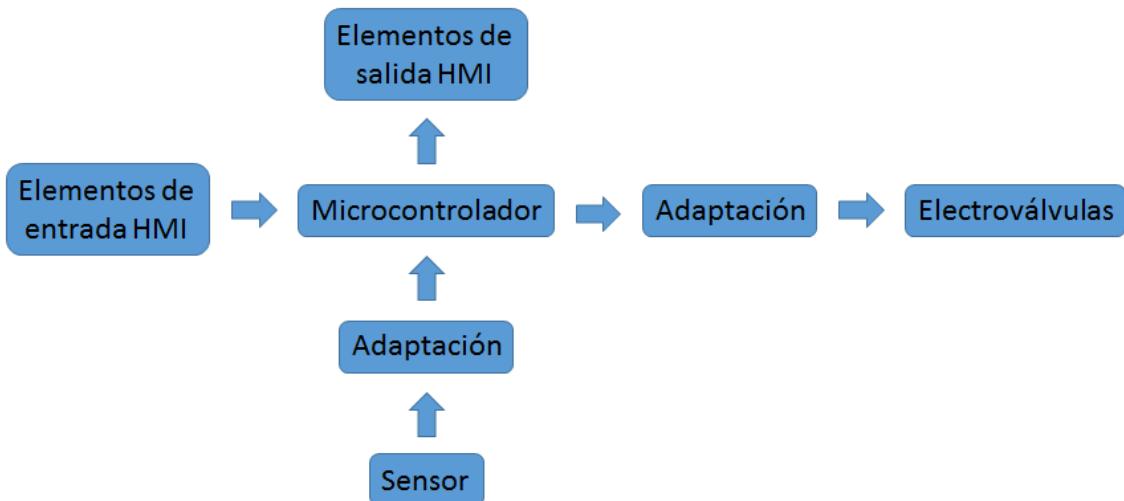


Ilustración 3. Diagrama de bloques global eléctrico.

El microcontrolador es el componente que obtiene, tanto los valores del sensor, como la información de los elementos de entrada del módulo HMI (Human Machine Interface), y, también, el componente electrónico que abre y cierra las electroválvulas. Además, envía datos a los elementos de salida del módulo HMI.

Los pulsadores son elementos de entrada del módulo HMI con los que podremos:

- ▶ Seleccionar el tiempo de llenado de aire en el grifo.
- ▶ Empezar la medición.

Los elementos de salida del módulo HMI son:

- ▶ Una pantalla LCD 16x2, con la que podremos visualizar el estado de la máquina.
- ▶ Dos LEDs de información, que nos dirá si un grifo es correcto o si, por el contrario, tiene pérdidas importantes que necesitan ser arregladas.
- ▶ Un zumbador, que notificará de forma auditiva si la pieza tiene fugas.

El sensor de presión (Ilustración 4), o transductor de presión, es un elemento que transforma la magnitud física de presión, o fuerza por unidad de superficie, en otra magnitud eléctrica, en nuestro caso corriente.

## DISEÑO DE MÁQUINA PARA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN GRIFOS. MICROFUGÓMETRO. | DISEÑO DEL SISTEMA



Ilustración 4. Sensor de presión.

El sensor que hemos utilizado mide presión entre 0 y 6 bares y cuyas características explicaremos más adelante.

La electroválvula (Ilustración 5) es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide (dispositivo físico capaz de crear un campo magnético sumamente uniforme e intenso en su interior y muy débil en el exterior). Una vez cesa la electricidad en la electroválvula, ésta retorna a la posición inicial gracias al muelle que posee en su interior.

En las electroválvulas pueden existir varias posiciones y varias vías. Las posiciones se representan por un cuadrado, y lo más frecuente es usar dos posiciones. Las vías se representan por las entradas o salidas que están unidas a una de las posiciones. Son orificios que comunican con el exterior. Así pues, podemos encontrar electroválvulas 2/2 (dos posiciones, dos vías), 2/3 (dos posiciones, tres vías), entre otras.

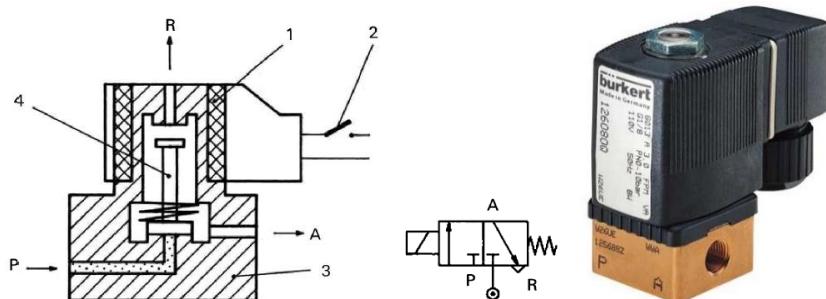


Ilustración 5. Representación, símbolo y electroválvula física.

En nuestro caso, se ha utilizado una electroválvula 2/2 cuyas características veremos en el apartado de Hardware, más adelante.

La función del sistema de forma neumática viene representada por el siguiente diagrama de bloques (Ilustración 6).

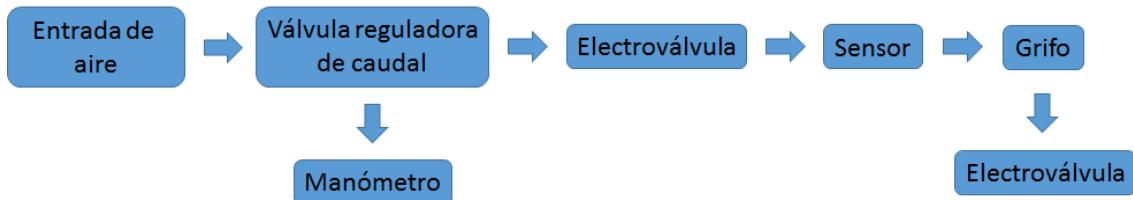


Ilustración 6. Diagrama de bloques global neumático.

La entrada de aire es una toma de aire comprimido que está en el lugar de uso de la máquina, proporcionando un aire a una elevada presión que debe ser controlada. Para ello, se ha utilizado una válvula reguladora de caudal.

Una válvula reguladora de caudal, o válvula estranguladora, es una válvula que permite seleccionar qué cantidad de fluido pasa por un conducto. Actúa estrangulando el paso, disminuyendo la sección del conducto. Se puede regular en ambos sentidos, o bien, en uno de ellos solamente, poseyendo este último, un antirretorno en el propio cuerpo, que produce el paso libre en un sentido actuando en paralelo con la estrangulación.

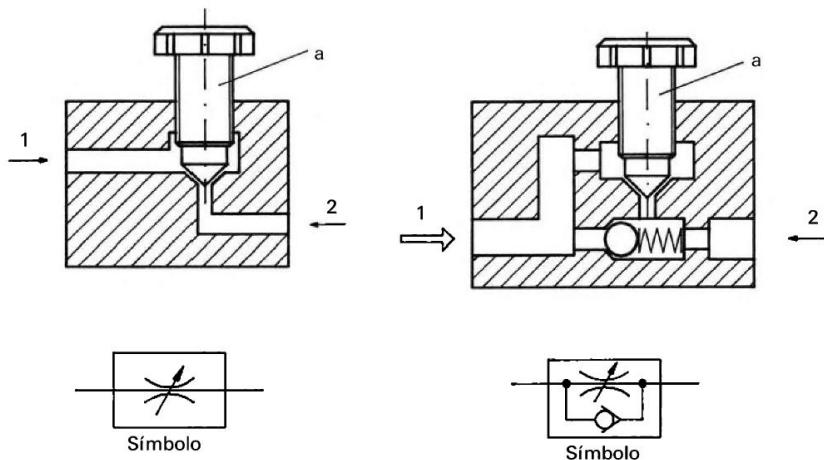


Ilustración 7. Válvula reguladora de caudal bidireccional y unidireccional.

La válvula reguladora de caudal que utilizamos es una T020003030000, cuyas características podemos ver en el anexo 2, página 95.

A la salida de esta válvula, encontramos tanto la electroválvula como un manómetro, un elemento que mide la presión del circuito neumático o hidráulico en bares o PSI (pounds-force per square inch). El modelo normal consiste en un tubo Bourdon de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón.



Ilustración 8. Manómetro.

El manómetro que utilizamos es un TV 40 de sección 1/8, que mide de 0 a 6 bares de presión.

## 4.2 HARDWARE.

En esta sección, se va a explicar qué hardware se ha utilizado y por qué ha sido elegido.

### 4.2.1 MICROCONTROLADOR.

El microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Los componentes integrados básicos que todo microcontrolador debe tener son:

- ▶ Memoria volátil (Random Access Memory).
- ▶ Memoria no volátil (Read Only Memory).
- ▶ Módulo de reloj.
- ▶ Módulos de entradas y salidas.
- ▶ Módulos de comunicación serie.
- ▶ Módulos de entradas analógicas.
- ▶ Controladores de interrupciones.

Entre las diversas marcas de microcontroladores, vamos a hablar sobre dos compañías que poseen placas de desarrollo que contienen microprocesadores capaces de llevar a cabo la programación necesaria para el uso del microfugómetro, y, también, vamos a hablar sobre los autómatas programables.

#### 4.2.1.1 ARDUINO.

Arduino es una plataforma de creación de prototipos de código abierto basada en un uso fácil de hardware y software. Las placas de Arduino pueden leer entradas (leer un sensor, el estado de un pulsador, etc.), y transformarlas en una salida (activar un motor, encender un LED, etc.). Para poder hacerlo, se usa el lenguaje de programación de Arduino (Basado en Wiring) y el software de Arduino (IDE).

A través de los años, Arduino ha sido el cerebro de cientos de proyectos, desde objetos cotidianos hasta instrumentos científicos complejos. Una comunidad de diseñadores de todo el mundo, estudiantes, programadores, aficionados, etc., se ha reunido en torno a esta plataforma de código abierto y sus contribuciones han añadido una gran cantidad

## DISEÑO DE MÁQUINA PARA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN GRIFOS. MICROFUGÓMETRO. | DISEÑO DEL SISTEMA

de conocimiento que puede ser de ayuda tanto para los principiantes como para los expertos.

Arduino nació en el Instituto de Diseño de Interacción IVREA, Milán, Italia, como una herramienta fácil para prototipos rápidos, dirigido a estudiantes sin amplios conocimientos en electrónica y en programación. Tan pronto como alcanzó una comunidad más amplia, la placa de iniciación de Arduino cambió para adaptarse a nuevas necesidades y retos, diferenciando su oferta desde placas simples de 8-bits hasta productos para aplicaciones IoT (Internet of Things), wearables, impresoras 3D... Todas las placas de Arduino son de código abierto, potenciando a los usuarios a crear, independientemente y eventualmente, sus necesidades particulares. El software es, también, de código abierto, y está creciendo gracias a los usuarios de todo el mundo.

El software de Arduino es fácil de usar para los principiantes, pero lo suficientemente flexible para usuarios avanzados.

Entre las placas más conocidas de Arduino podemos encontrar las siguientes:

- Arduino UNO: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>

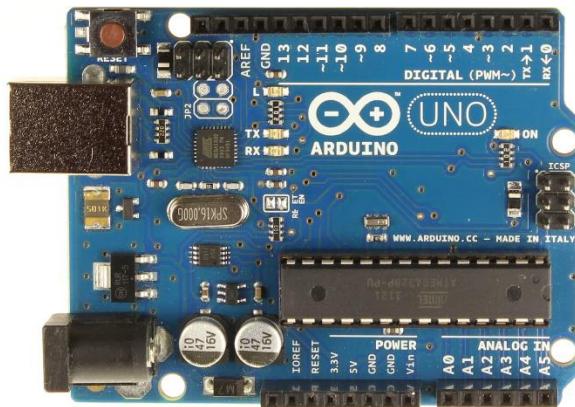


Ilustración 9. Arduino UNO.

- Arduino MEGA: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>

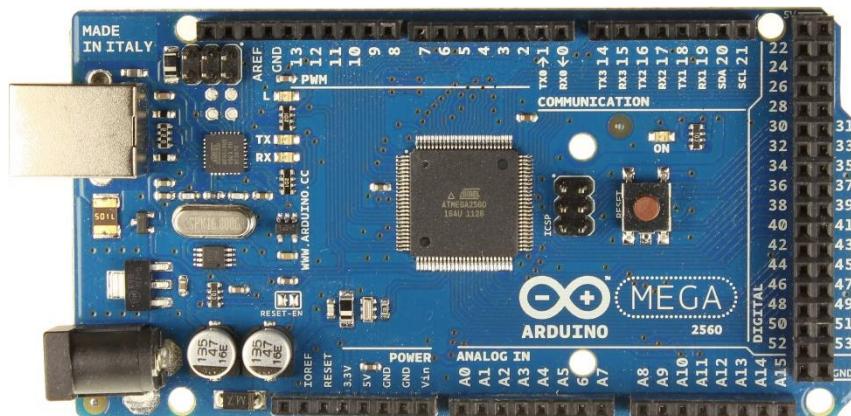


Ilustración 10. Arduino MEGA.

## DISEÑO DE MÁQUINA PARA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN GRIFOS. MICROFUGÓMETRO. | DISEÑO DEL SISTEMA

- ▶ Arduino ZERO: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardZero>



Ilustración 11. Arduino ZERO.

### 4.2.1.2 TEXAS INSTRUMENTS.

Texas Instruments (TI) es una empresa norteamericana con sede en Dallas, Texas, que desarrolla y comercializa semiconductores y tecnología para ordenadores. Es el tercer mayor fabricante de semiconductores del mundo tras Intel y Samsung y es el mayor suministrador de circuitos integrados para teléfonos móviles. Igualmente, es el mayor productor de procesadores digitales de señal y semiconductores analógicos.

Como placas de desarrollo de TI podemos destacar las siguientes:

- ▶ MSP-EXP430G2: <http://www.ti.com/tool/msp-exp430g2>

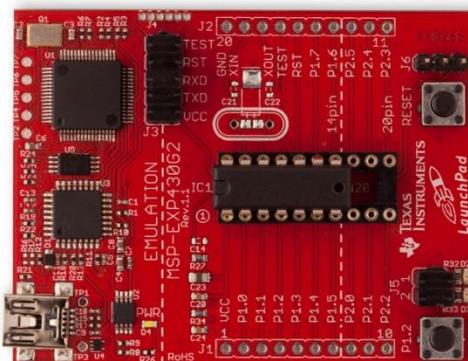


Ilustración 12. MSP-EXP430G2.

# DISEÑO DE MÁQUINA PARA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN GRIFOS. MICROFUGÓMETRO. | DISEÑO DEL SISTEMA

- EK-TM4C123GXL: <http://www.ti.com/tool/EK-TM4C123GXL>

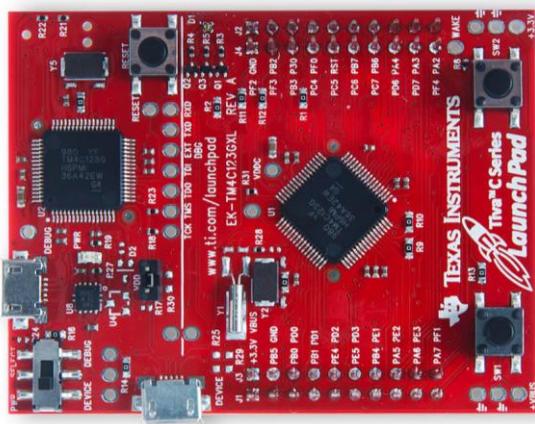


Ilustración 13. EK-TM4C123GXL.

- ▶ CC3200-LAUNCHXL: <http://www.ti.com/tool/CC3200-LAUNCHXL>

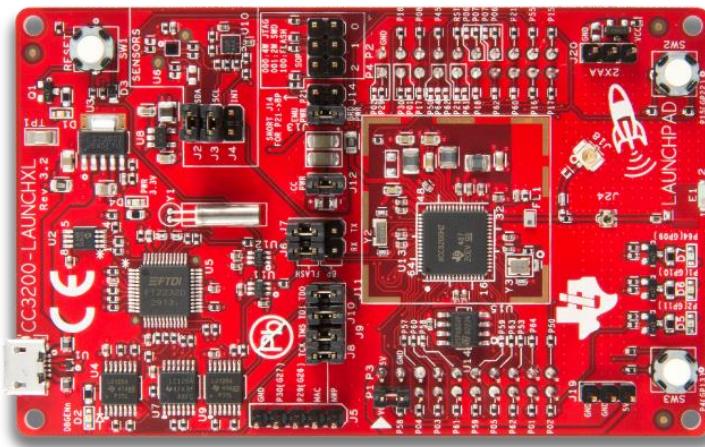


Ilustración 14. CC3200-LAUNCHXL.

#### 4.2.1.3 AUTÓMATA PROGRAMABLE.

Podemos considerar un autómata programable como un sistema basado en un microprocesador, siendo sus partes fundamentales la Unidad Central de Procesado (CPU), la memoria y el sistema de entradas y salidas.

La CPU realiza el control interno y externo del autómata y la interpretación de las instrucciones del programa. A partir de las instrucciones almacenadas en la memoria y de los datos que recibe de las entradas, genera las señales de las salidas. La memoria se divide en dos bloques, la memoria de solo lectora o ROM (Read-Only Memory) y la memoria de lectura y escritura o RAM (Random Access Memory).

En la memoria ROM se almacenan programas para el correcto funcionamiento del sistema, como el programa de comprobación de la puesta en marcha y el programa de exploración de la memoria RAM.

La memoria RAM a su vez puede dividirse en dos áreas:

- ▶ Memoria de datos, en la que se almacena la información de los estados de las entradas y salidas, de variables internas.
- ▶ Memoria de usuario, en la que se almacena el programa con el que trabaja el autómata.

El sistema de entradas y salidas recoge la información del proceso controlado (entradas) y envía las acciones de control del mismo (salidas). Los dispositivos de entrada pueden ser pulsadores, interruptores, finales de carrera, termostatos, presostatos, etc.

Por su parte, los dispositivos de salida también son muy variados: pilotos indicadores, relés, contactores, arrancadores de motores, válvulas, etc.

En general, las entradas y salidas de un autómata pueden ser discretas, analógicas, numéricas o especiales.

Como autómatas programables podemos seleccionar:

- ▶ Schneider Electric Zelio Logic:  
<http://www.schneider-electric.com.ar/es/product-range/531-zelio-logic/>  
<http://es.rs-online.com/web/p/modulos-logicos/4684450/>



Ilustración 15. Schneider Electric Zelio Logic.

- Siemens LOGO! 6:

<http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/modular-basic-variants/pages/default.aspx>  
<http://es.rs-online.com/web/p/modulos-logicos/0499829/>



Ilustración 16. Siemens LOGO! 6.

#### 4.2.1.4 CONCLUSIONES.

Entre todos los microcontroladores descritos anteriormente, se decidió utilizar el kit de evaluación EK-TM4C123GXL debido a que:

- Es una placa de desarrollo con unas prestaciones muy elevadas.
- Precio asequible.
- El software con el que se programa el microcontrolador es Code Composer Studio 6.1, programa suministrado por la casa de Texas Instruments.
- El software, tiene un sistema de depuración muy completo, que nos permite hacer un estudio paso a paso.
- Permite visualizar el valor de las variables en cualquier momento.
- Este software, ha sido utilizado en el grado de Electrónica y Automática.

#### 4.2.2 ADAPTACIONES Y CONEXIONES.

En este apartado vamos a ver cuál es la manera de conectar el sensor para que el microcontrolador sea capaz de interpretar la presión que está midiendo, y, también, cuál es el circuito para poder cambiar la posición de la electroválvula, permitiendo o no, el flujo de aire desde la entrada a la salida.

Una vez decidido sobre que microcontrolador se iba a trabajar se recopiló información acerca de sensores de presión y electroválvulas.

Entre los sensores de presión, encontramos una amplia variedad de los como:

- 3100 Series Pressure Transmitter:

<http://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-presion/4554624/>

Entre las principales características de este sensor, podemos encontrar que el rango de presiones capaz de medir es de 0 a 10 bares, con una precisión del 0.25%, una salida analógica de 4 a 20mA, una tensión de alimentación de 10 a 30V en DC y un rango de temperatura de funcionamiento de -40 a 125°C.

- JUMO dTRANS p30:

<http://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-presion/4245819/>

Entre los rasgos más importantes de este sensor, podemos observar que el rango de presiones capaz de medir es de 0 a 6 bares, con una precisión del 0.5%, una salida analógica de 4 a 20mA, una tensión de alimentación de 10 a 30V en DC y un rango de temperatura de funcionamiento de -20 a 100°C.

- Danfoss MBS 3000 – 060G1124:

<http://products.danfoss.com/productdetail/industrialautomation/pressure-transmitters/mbs-3000-compact-pressure-transmitters/060g1124/#/>

Entre las propiedades más notorias de este sensor, se pueden destacar que el rango de presiones capaz de medir es de 0 a 6 bares, con una precisión del 0.5%, una salida analógica de 4 a 20Ma, una tensión de alimentación de 10 a 30V en DC y un rango de temperatura de funcionamiento de -40 a 85°C.

Como se observa en todos los sensores anteriormente descritos, la salida que nos proporciona el sensor, es una salida de analógica de 4 a 20Ma, con lo que deberemos de adaptar dicha salida a tensión para que el microcontrolador sea capaz de obtener los valores.

Entre las electroválvulas, encontramos una amplia variedad como:

- Burkert 6013 – 134237:

<http://www.burkert.com/en/type/6013>

Entre las principales características de esta electroválvula, podemos encontrar que el rango de presión que es capaz de soportar, como máximo, 12 bares de presión, tiene una función 2/2 (2 posiciones y 2 vías) NC (normalmente cerrada), una tensión de alimentación de 24V en DC, una potencia de 8W y una temperatura de funcionamiento de máximo 55°C.

- SMC VQ20/30 – VQ21A1-5YZ-C8-F-Q:

<http://es.rs-online.com/web/p/valvulas-de-control-accionado-por-solenoides-piloto-neumaticas/4943333/>

Entre los rasgos más importantes de esta electroválvula, podemos observar que el rango de presión que es capaz de soportar es de 0.1 – 6 bares, tiene una función 2/2 NC, una tensión de alimentación de 24V en DC, una potencia de 2.5W y un rango de temperatura de funcionamiento de -10 – 50°C.

- Norgren V05 – V05B286N-B433A:

<http://es.rs-online.com/web/p/valvulas-de-control-accionado-por-solenoide-piloto-neumaticas/2273525/>

Entre las propiedades más notorias de esta electroválvula, se pueden destacar que la presión máxima capaz de soportar es de 13 bares, tiene una función 2/2 NC, una tensión de alimentación de 24V en DC, una potencia de 9W y un rango de temperatura de funcionamiento de -20 – 50°C.

La elección del sensor y las electroválvulas vino determinada por la empresa, que optó por los mismos que se están utilizando en la fábrica y suministrados por su proveedor (sensor de presión: MBS 3000 060G1124, electroválvula: Burkert 6013 A). (ANEXO 2, páginas 91 y 85 respectivamente)

#### 4.2.3 SENSOR DE PRESIÓN.

Una vez determinado el sensor, se procedió al estudio de sus hojas de características, de tal manera que se ha podido diseñar un circuito de adaptación del sensor. El circuito es el siguiente:

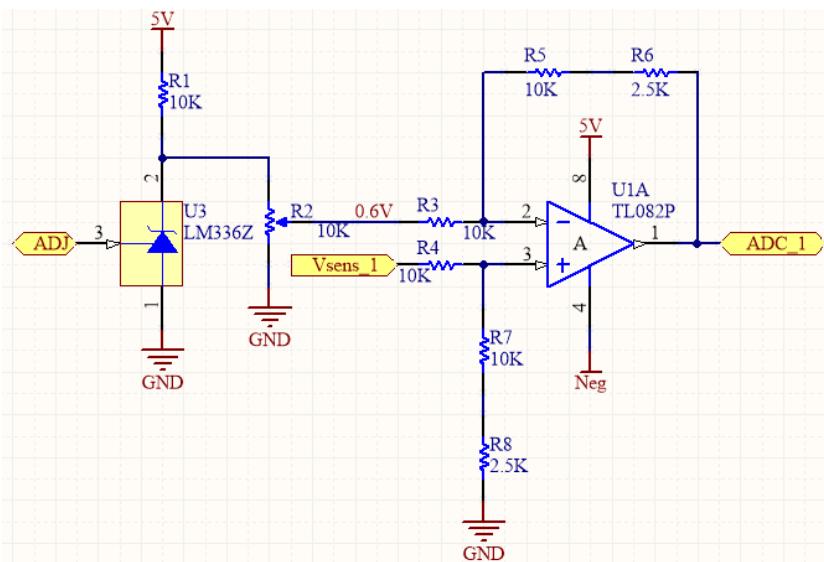


Ilustración 17. Circuito de adaptación del sensor.

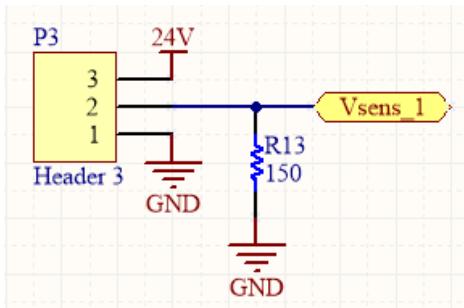


Ilustración 18. Transformación de corriente a tensión.

## DISEÑO DE MÁQUINA PARA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN GRIFOS. MICROFUGÓMETRO. | DISEÑO DEL SISTEMA

El sensor se alimenta con una tensión de 24V y éste da a su salida una corriente entre 4 y 20mA, por lo que hay que hacer una conversión corriente-tensión para poder introducir dichos valores al conversor analógico-digital (ADC) del microcontrolador. El ADC del microcontrolador es de 12 bits por lo que:

$$V_{LSB} = \frac{V_{RH} - V_{RL}}{2^n - 1} = \frac{3 - 0}{2^{12} - 1} = 732.6\mu V$$

El sensor, al dar una corriente de 4 a 20mA, y ser lineal la corriente respecto a la presión, necesitamos hacer una transformación a tensión (Ilustración 18) y por ello necesitamos una resistencia de:

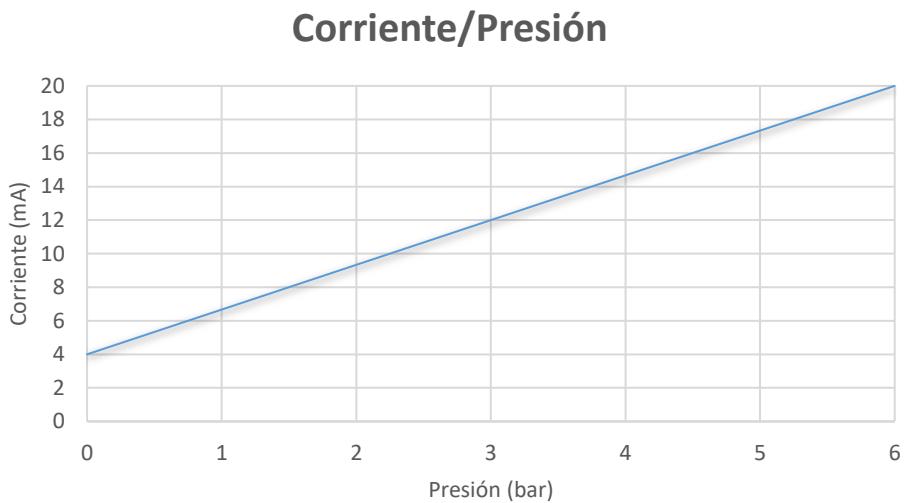


Ilustración 19. Grafica Corriente/Presión.

$$V = R \cdot I \rightarrow 3V = R \cdot 20mA \rightarrow R = \frac{3V}{20mA} = 150\Omega$$
$$V = 150\Omega \cdot 4mA = 0.6V$$

Con lo que obtenemos una gráfica tensión-presión tal que:

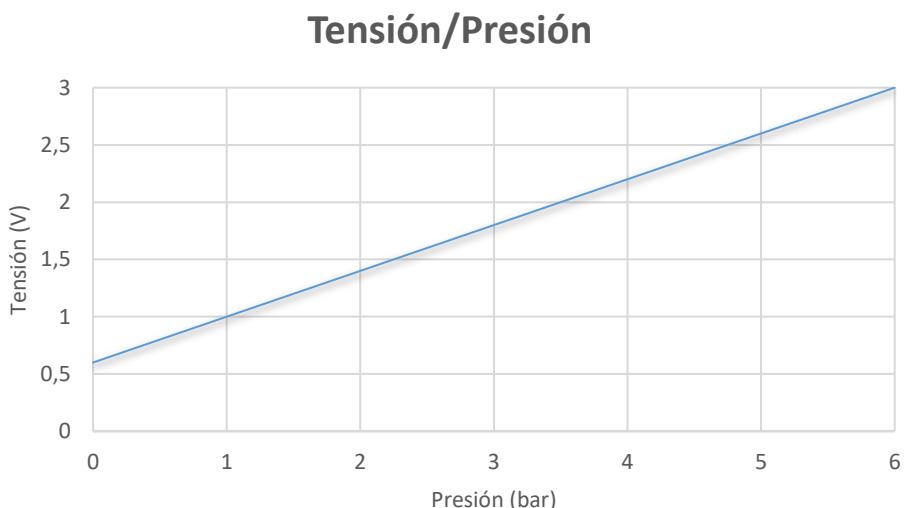


Ilustración 20. Gráfica Tensión/Presión (1).

A partir de este punto, comprobamos cuál es el valor de presión por cada LSB (bit menos significativo) ya que con ello podremos saber cuál es la presión por cada bit que se aumente en el ADC:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \rightarrow \frac{x - 0}{6 - 0} = \frac{0.6 + V_{LSB} - 0.6}{3 - 0.6} \rightarrow x = 1.832 \text{ mbar}$$

Por lo que se decide bajar la tensión a cero para tener más rango de medida. Se consigue diseñando una etapa restadora con amplificadores operacionales como se puede observar en la Ilustración 17. Esta etapa se compone de la tensión que le llega del sensor (entrada + del amplificador operacional) y la tensión que queremos restar (tensión constante de valor 0,6V en la entrada – del amplificador operacional). Para no tener problemas con las impedancias, decidimos añadir seguidores de tensión. Con todo ello, los cálculos necesarios para hacer dicha etapa son:

- Tensión constante de valor 0,6V: se realizará con una referencia de tensión de 2,5 voltios con un potenciómetro en paralelo para poder disminuir dicha tensión hasta los 0,6V.
- Etapa restadora:

$$V_+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_1$$

$$\frac{V_2 - V_-}{R_1} = \frac{V_- - V_O}{R_2} \rightarrow V_O = V_- \left( \frac{R_2}{R_1} + 1 \right) - \frac{R_2}{R_1} V_2$$

Suponemos que el amplificador operacional es ideal y por tanto obtenemos que  $V_+ = V_-$  con lo que podemos igualar las dos ecuaciones quedándonos:

$$V_O = \frac{R_2}{R_1} (V_1 - V_2)$$

Con esto, lo que conseguimos es restar la mínima tensión que nos puede dar el sensor obteniendo una nueva mínima tensión = 0V, pero la tensión máxima también desciende, con lo que tendremos que jugar con las resistencias para que la tensión máxima sea igual a 3V, y, por tanto:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{V_O}{V_1 - V_2} \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{3V}{3V - 0,6V}$$

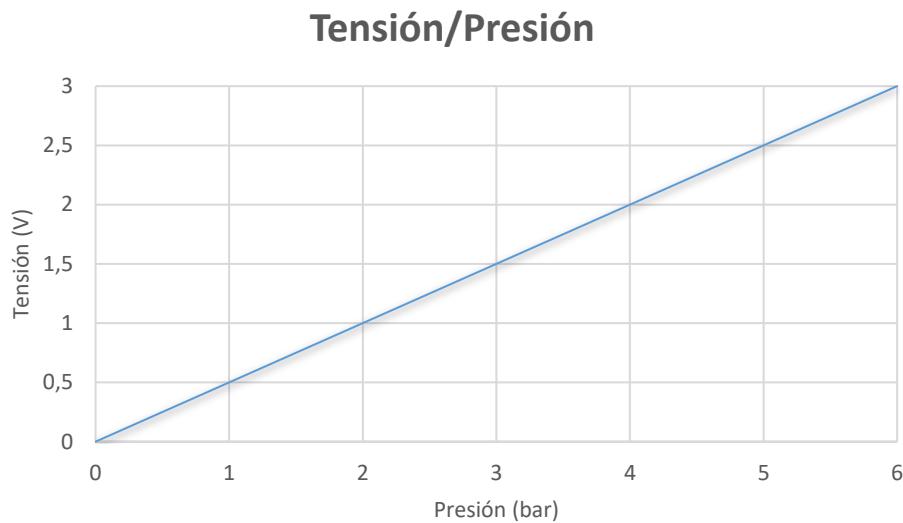


Ilustración 21. Gráfica Tensión/Presión (2).

Con lo que obtenemos unos valores de resistencias de  $R_1 = 10\text{k}$  y de  $R_2 = 12.5\text{k}$ . Volvemos a calcular el valor de presión de cada LSB y obtenemos:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \rightarrow \frac{x - 0}{6 - 0} = \frac{V_{LSB} - 0}{3 - 0} \rightarrow x = 1.465\text{mbar}$$

Con lo expuesto anteriormente, la señal que viene dada por el sensor en corriente, puede ser leída por el microcontrolador en tensión y, a partir de ella, se podrán interpretar los datos y realizar la operación de funcionamiento de la máquina.

#### 4.2.4 ELECTROVÁLVULA.

Las electroválvulas son elementos que permiten el paso de un fluido por un conducto. En nuestro caso, son válvulas que se activan con una tensión en una bobina que hace que se abra la válvula y, cuando cese la tensión, retornará a la posición inicial gracias al muelle que posee.

Usaremos electroválvulas 2/2, lo que significa que son electroválvulas con dos conductores de flujo y dos posibles posiciones. Para nuestra aplicación, disponemos de electroválvulas de apertura y corte de flujo.

El circuito de control de la electroválvula es el siguiente:

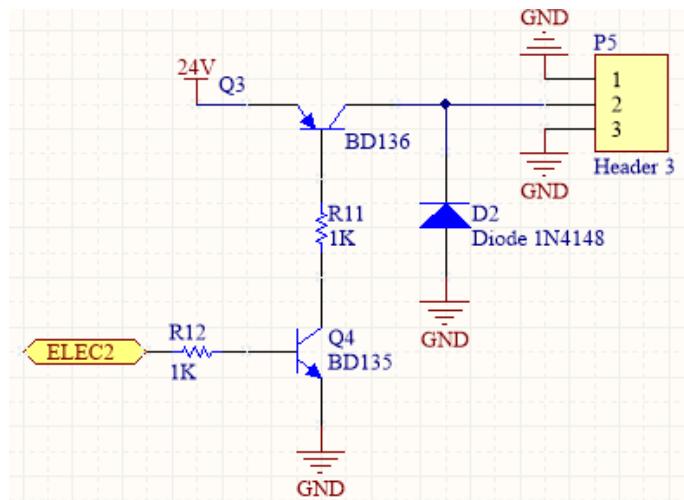


Ilustración 22. Circuito de control de la electroválvula.

El conector P5 representa la electroválvula, que como nos indica el datasheet, necesita tener una conexión a masa y la segunda conexión debe tener alimentación a 24V. Por ello, se ha utilizado una estructura de interruptores como la mostrada en la Ilustración 22.

Cuando el microcontrolador da una tensión digital a la entrada del transistor Q4, Q3 permite la transmisión, tanto de tensión, como de corriente, desde la alimentación hasta la electroválvula, lo que supone el cambio de posición de la misma.

Cuando la tensión digital del microcontrolador cese, Q3 impide el paso de la tensión y de corriente lo que hace que exista un cambio de posición automático debido al muelle interno de la electroválvula.

Se ha añadido, también, un diodo de protección en antiparalelo con la electroválvula ya que, ésta, está compuesta por una bobina y al abrir el interruptor (eliminando la tensión que excita a la base del transistor Q4) se pueden generar picos de corriente que puedan afectar al funcionamiento del prototipo y, con el diodo, conseguimos eliminar estos picos de corriente producidos por dicha bobina.

#### 4.2.5 BOMBA DE CARGA INVERSORA.

Con la bomba de carga inversora podemos obtener una tensión de valor negativo a partir de una tensión positiva, suministrando una corriente pequeña. Se ha utilizado este circuito ya que necesitamos que el amplificador operacional, utilizado previamente en el sensor, llegue al rail inferior (0 voltios). Se hizo una comparación económica entre el circuito de la bomba de carga inversora y un amplificador de instrumentación, rail to rail, de alimentación simple, dando como resultado un mayor coste de este último, y, por tanto, se descartó la posibilidad de comprar el amplificador. También se podía haber utilizado un TPS6040 de la familia Texas Instruments, como se ve en el enlace <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps60403.pdf>, pero se seleccionó el circuito basado en el 555 porque seguía siendo más económico dicho circuito que este integrado.

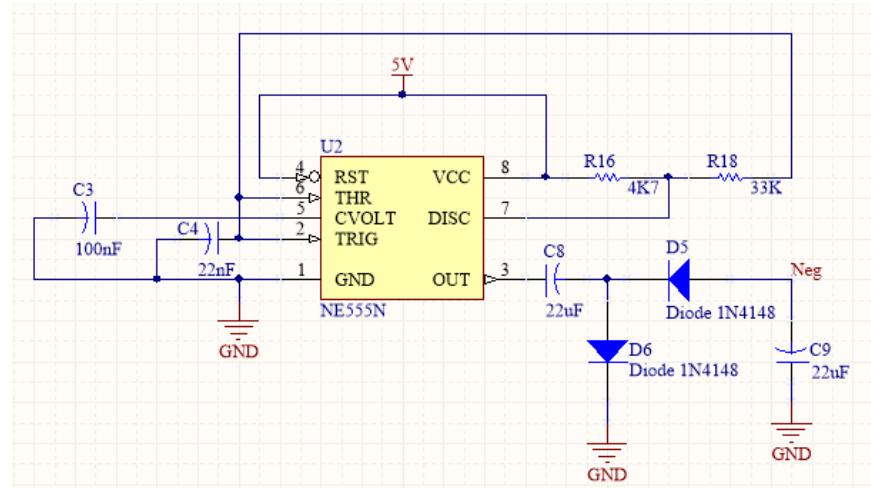


Ilustración 23. Circuito bomba de carga inversora.

Para poder generar la tensión negativa, utilizamos el integrado 555 configurado como multivibrador astable. De acuerdo con lo que dice Albert Malvino en su libro, esta configuración no posee ningún estado estable en el que pueda permanecer indefinidamente y, por tanto, funciona produciendo un pulso rectangular a la salida con una frecuencia aproximada de:

$$f \approx \frac{1}{\ln(2) \cdot C_4 \cdot (R_{16} + 2 \cdot R_{18})} \approx \frac{1.443}{C_4 \cdot (R_{16} + 2 \cdot R_{18})}$$

Y cuyo periodo de la señal de salida es:

$$T \approx 0.693 \cdot C_4 \cdot (R_{16} + 2 \cdot R_{18}) \quad [1]$$

A partir de este punto, podemos obtener dos estados a la salida:

- ▶ Salida 555 nivel alto: se carga el condensador  $C_8$  a través del diodo  $D_6$ .
  - ▶ Salida 555 nivel bajo: la carga almacenada del condensador  $C_8$  se traslada al condensador  $C_9$  a través del diodo  $D_5$  y del circuito integrado 555.

El proceso se repite de forma continua durante el tiempo, manteniendo siempre a la salida del circuito integrado una tensión negativa, por lo que conseguimos que el amplificador llegue al rail negativo.

#### 4.2.6 REPRESENTACIÓN DE DATOS.

En este apartado vamos a describir la forma de representar los datos. Utilizar pantallas LCD es muy interesante cuando se utilizan microcontroladores. Las pantallas LCD son útiles para obtener información en forma visual sobre qué es lo que está ocurriendo en el microcontrolador, como pueden ser los valores de los registros, o de alguna variable que se esté utilizando, la observación por ejemplo de algún dato como puede ser una medida analógica entre muchas otras informaciones de interés.

#### 4.2.6.1 LCD.

Se ha utilizado una LCD con la que podemos ver en qué estado se encuentra el programa del prototipo.

La LCD que se ha propuesto es de 16x2 (columnas por filas), basada en el controlador Hitachi HD44780 con una conexión de 4 bits en lugar de con una conexión de 8 bits ya que se primó el ahorro de patillaje del microcontrolador para una posible ampliación del prototipo, en lugar de premiar la rapidez de la pantalla.

En ella se puede ver un display de bienvenida, una espera de confirmación para el uso del prototipo, una espera de funcionamiento de la máquina y el resultado de la prueba.

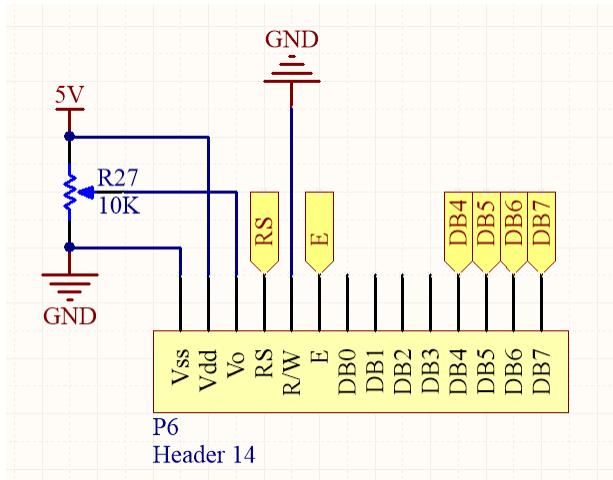


Ilustración 24. Conexión LCD.

#### 4.2.6.2 LEDs.

Se han utilizado dos LEDs, uno de color azul y otro de color rojo, de 10mm para visualizar el resultado de prueba realizada.

Cuando el programa llega al resultado de la prueba, se visualiza el dato de la presión en la LCD y a su vez se enciende un LED. Si la prueba ha resultado satisfactoria, no hay pérdida de presión, o es inferior a 10 milibares, el LED azul se ilumina durante 3 segundos.

En el caso contrario, si ha resultado errónea, existe una pérdida de presión superior a 10 milibares, el LED rojo se ilumina durante 3 segundos.

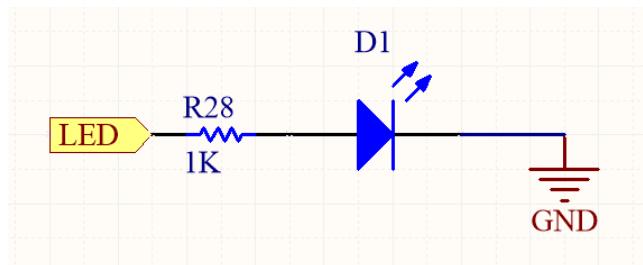


Ilustración 25. Conexión LED.

#### 4.2.6.3 ZUMBADOR.

El uso del zumbador solamente se utiliza en caso de que la prueba sea errónea. En este caso, el zumbador sonará durante 3 segundos, lo que hará que el trabajador se dé cuenta, de forma sonora, de que el grifo contiene fugas y ha de ser reparado.

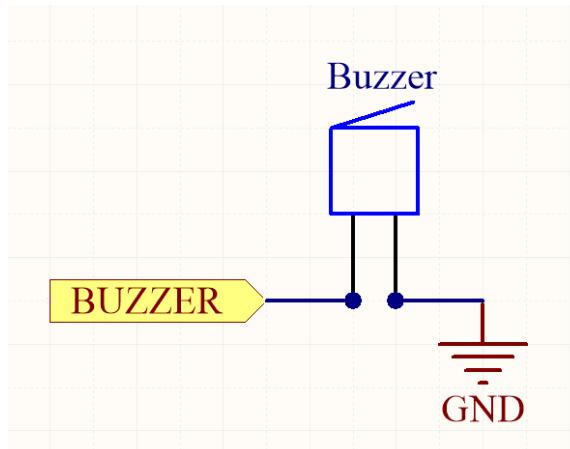


Ilustración 26. Conexión zumbador.

### 4.3 SOFTWARE.

En este apartado, se va a explicar tanto el firmware del microcontrolador como las aplicaciones software de ordenador para utilizar con el microfugómetro.

#### 4.3.1 FIRMWARE DEL MICROCONTROLADOR.

Según dice Alberto Prieto en su libro se puede definir firmware como una secuencia de microinstrucciones que capta o interpreta una instrucción del lenguaje máquina del computador (frontera entre el hardware y el software) [2].

El firmware del microprocesador está descrito por una máquina de estados que tiene cuatro estados diferentes:

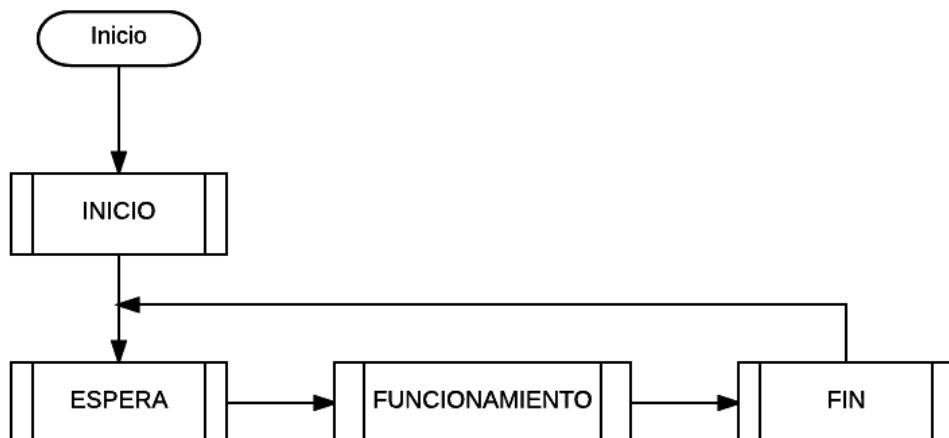


Ilustración 27. Diagrama de flujo firmware del microcontrolador.

## DISEÑO DE MÁQUINA PARA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN GRIFOS. MICROFUGÓMETRO. | DISEÑO DEL SISTEMA

### ► INICIO:

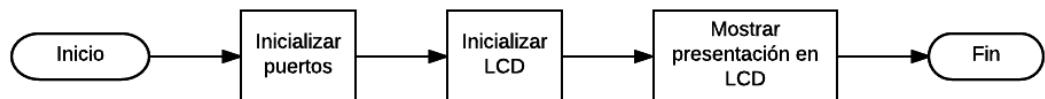


Ilustración 28. Diagrama de flujo INICIO.

Nada más encender la máquina, llegamos a este estado. En él, configuramos el reloj, inicializamos los puertos de salida, los puertos de entrada, habilitamos el ADC (Analog-to-Digital Converter), la comunicación serie, el timer y las interrupciones.

Una vez inicializados todos los puertos, configuramos la LCD en 4 bits, 2 líneas, activándola y sin parpadeo, estableciendo el modo de autoincremento y borrando la pantalla.

Finalizadas todas las inicializaciones, se mostrará por pantalla, durante cinco segundos, “MEDIDA PRESIÓN – GRB” y, acto seguido, pasaremos al siguiente estado.

### ► ESPERA:

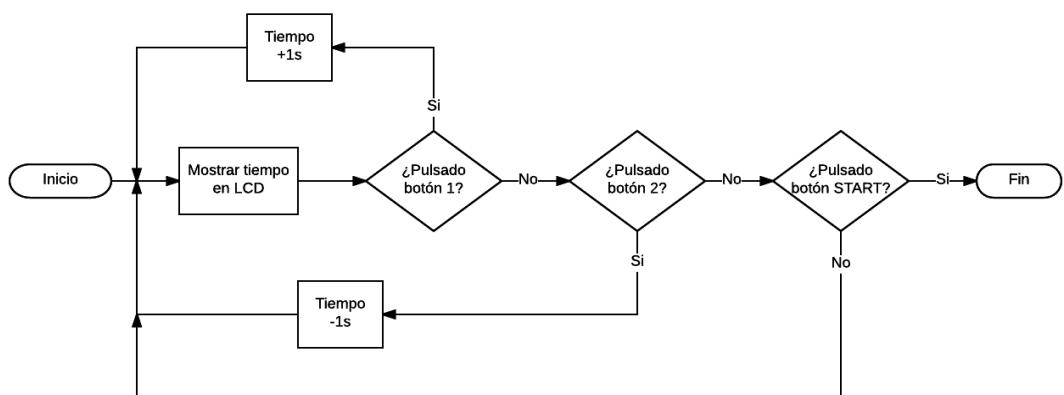


Ilustración 29. Diagrama de flujo ESPERA.

Este estado va a ser en el que vamos a poder seleccionar el tiempo que queremos que esté abierta la electroválvula, para que entre más o menos aire dentro del grifo. Mediante dos pulsadores vamos a poder hacer esta selección y, posteriormente, vamos a poderlo ver visualizado por pantalla. Cuando la selección del tiempo sea la idónea para el grifo a medir, pulsaremos el botón de “START” para empezar la medición y cambiar al siguiente estado.

► FUNCIONAMIENTO:

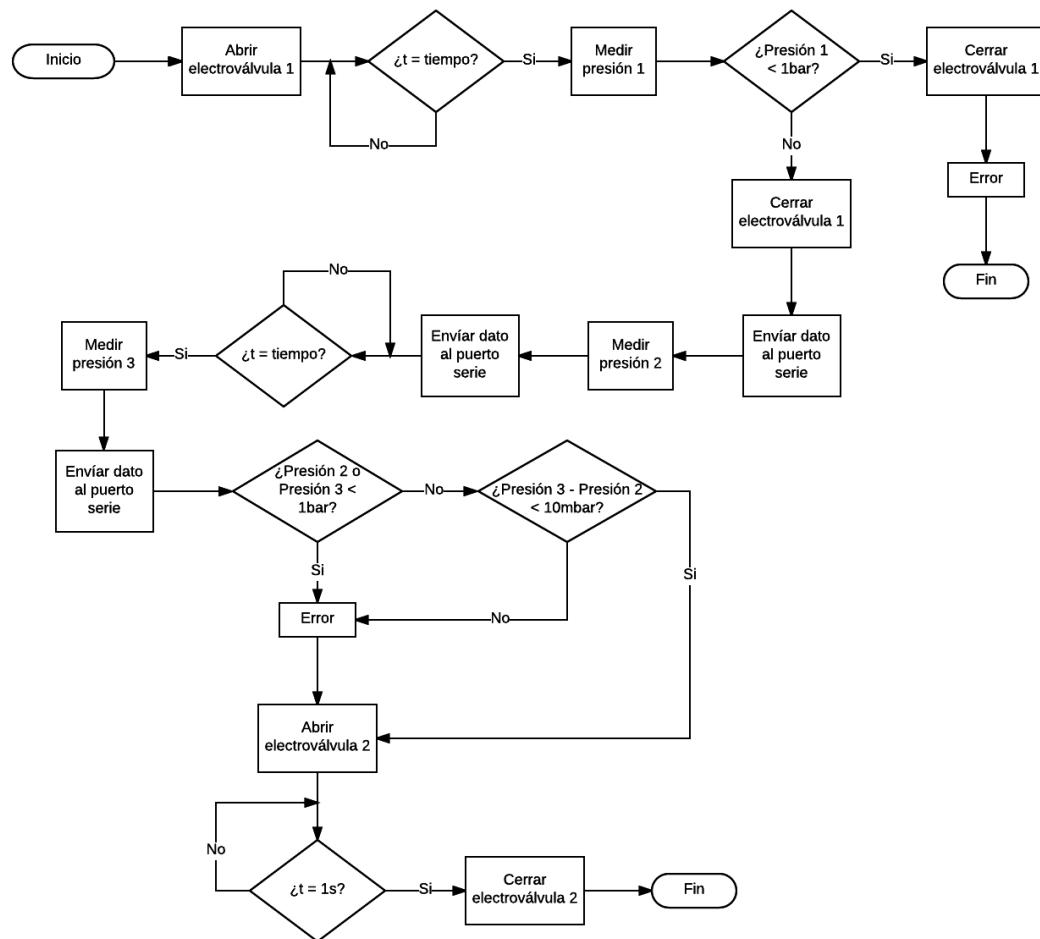


Ilustración 30. Diagrama de flujo FUNCIONAMIENTO.

Una vez pulsado el botón de “START” entra en funcionamiento el sistema del microfugómetro abriendo la primera electroválvula haciendo que el aire fluya desde el regulador de presión hasta el grifo. Una vez pasado el tiempo que se ha seleccionado previamente, se mide la presión y, si da por debajo de 1 bar, salta al último estado con un error y se cierra la electroválvula. Este error puede ser debido a que no se ha acoplado correctamente el grifo, o que el aire no está dado. Si, por el contrario, la presión es superior a 1 bar, se cierra la electroválvula y se vuelve a medir la presión. Se estabiliza el aire durante el tiempo establecido anteriormente y se vuelve a medir la presión. Si cualesquiera de las dos presiones miden menos de 1 bar, o si la diferencia entre ambas es superior a 10 milibares, saltará al último estado con un error. De lo contrario, si las presiones son superiores a 1 bar y la diferencia entre ambas es inferior a 10 milibares, obtendremos el resultado correcto de la medición. En ambos casos, se abrirá la segunda electroválvula durante un segundo para expulsar el aire de dentro del grifo pudiendo ser extraído con total seguridad, y, posteriormente, se cerrará la electroválvula.

► FIN:

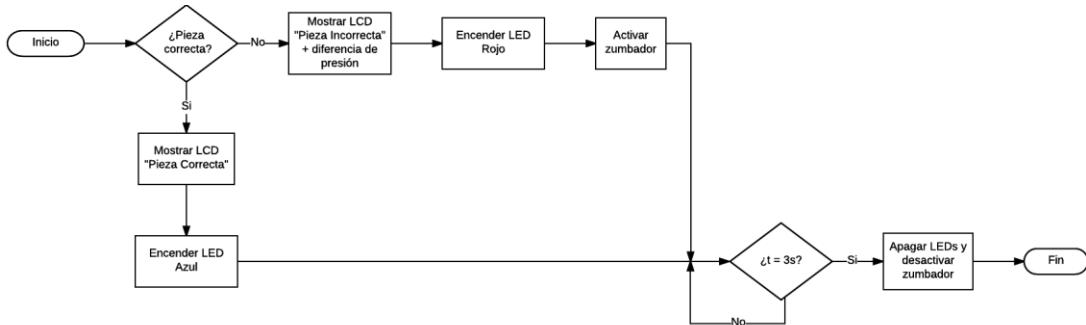


Ilustración 31. Diagrama de flujo FIN.

Después de finalizar la medición, se mostrará por pantalla si la pieza es correcta o si la pieza es incorrecta. A su vez, si la pieza es correcta, se iluminará un LED de color azul, mientras que, si la pieza es incorrecta, se iluminará un LED de color rojo y, también, sonará un zumbador. Pasados tres segundos, los LEDs se apagarán y el zumbador dejará de sonar, y volveremos al estado de ESPERA hasta que se realice la siguiente medición.

#### 4.3.2 APLICACIONES DE PC DESARROLLADAS.

Para la utilización del prototipo, se han diseñado, también, aplicaciones software para poder obtener datos de los sensores. Se han programado dos aplicaciones con dos softwares distintos.

- Uno de ellos ha sido programado con Visual Studio 2015, ya que, es un software gratuito y, por tanto, no hace falta licencia para ser utilizado. Con este programa obtenemos, de manera gráfica y numérica, el valor de la presión, que es medida por el sensor. Una vez realizada la medición, se puede imprimir un informe para poder adjuntar con la pieza de grifería para que el cliente observe que el grifo no posee fugas. Además, se puede guardar dicha medición para poder realizar un control de la cantidad y la calidad de las mediciones, mostrando así las que han resultado correctas e incorrectas.

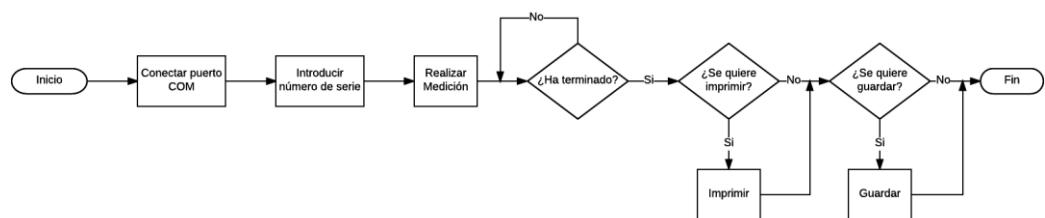


Ilustración 32. Diagrama de flujo Software Visual Studio 2015.

La interfaz de la aplicación es la siguiente:



Ilustración 33. Aplicación software Visual Studio 2015.

En el anexo 3, se puede ver un informe de la medición de un grifo.

Para poder obtener los datos del microcontrolador realizaremos los siguientes pasos:

- ✓ Conectamos el prototipo al ordenador vía USB, con lo que se habilita un puerto COM para que el programa pueda leer los datos enviados por el microcontrolador.
- ✓ Accedemos al programa y clicamos en Archivo, conectar. Veremos todos los puertos COM disponibles y seleccionamos el puerto del microcontrolador.
- ✓ Añadimos el número de serie del grifo.
- ✓ Presionamos en “Realizar Medición” y esperamos a que el test de comprobación termine.
- ✓ Una vez finalizado la medición, podemos imprimir el informe o guardarlo, clicando en Archivo, Imprimir, o clicando en Archivo, Guardar.
- ✓ En el caso de que se quiera parar la medición, pulsaremos en “Parar Medición”.
- ✓ Si se quiere volver a hacer una medición, deberemos de pulsar en “Limpiar Medición” y, posteriormente, pulsaremos en “Realizar Medición”.
- ▶ El otro software, se ha diseñado con MATLAB. Se decidió diseñar una GUI (graphical user interface, interfaces gráficas de usuario) para poder realizar las mediciones de una forma gráfica. Aunque no haya sido un requerimiento de la empresa, esta aplicación se diseñó como una mejora al presente proyecto. La

## DISEÑO DE MÁQUINA PARA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN GRIFOS. MICROFUGÓMETRO. | DISEÑO DEL SISTEMA

ventaja que puede tener este software respecto al otro, es la obtención de los datos del sensor, y, posteriormente, se pueden tratar dichos valores para obtener un estudio estadístico y, observar así, la media, el punto máximo, etcétera.

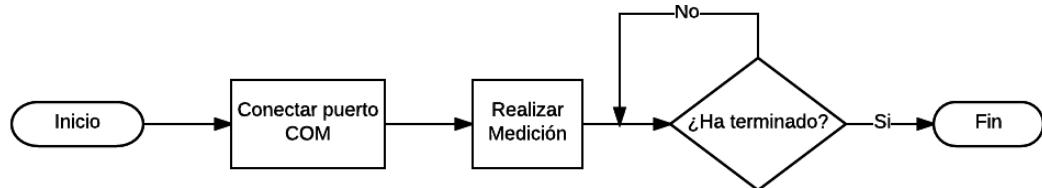


Ilustración 34. Diagrama de flujo Software MATLAB

La interfaz de la GUI es la siguiente:



Ilustración 35. Aplicación software MATLAB.

Para poder obtener los datos del microcontrolador realizaremos los siguientes pasos:

- ✓ Conectamos el prototipo al ordenador vía USB, con lo que se habilita un puerto COM para que el programa pueda leer los datos enviados por el microcontrolador.
- ✓ Clicamos en el botón de conexión para poder realizar la medición. En el caso de que se haya conectado correctamente, el indicador luminoso superior, tornará el color a verde.

## DISEÑO DE MÁQUINA PARA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN GRIFOS. MICROFUGÓMETRO. | DISEÑO DEL SISTEMA

- ✓ Pulsamos el botón “Start” para realizar la medición y esperamos a que dicha medición termine.
- ✓ Una vez terminada la medición, obtendremos los datos en el área de trabajo de MATLAB y podremos realizar las operaciones oportunas.
- ✓ En el caso de que se quiera parar la medición, pulsaremos el botón de “Stop”.

## 5 PROTOTIPO.

Una vez definido el microcontrolador que vamos a utilizar, las adaptaciones y las conexiones, podemos presentar el diseño final del prototipo, tanto esquemáticamente, como físicamente.

El prototipo se compone de dos partes fundamentales: la caja máquina, donde se albergan todos los componentes neumáticos, sus adaptaciones y sus conexiones, y el microcontrolador; la caja de interfaz HMI (Human Machine Interface) en la que encontramos el manómetro, la pantalla LCD, los pulsadores y el zumbador. Las dos carcasa, han sido diseñadas con AutoCAD 2014 y posteriormente fabricadas en una empresa externa.

Se decidió realizar este formato ya que la empresa quería optimizar el espacio de su fábrica y, por tanto, se consideró que la mejor forma de hacerlo sería colocando la máquina por debajo de una mesa, atornillada a la misma y, posteriormente, conectando la HMI mediante un tubo de 4mm, para el manómetro, y con un bus, para los componentes electrónicos. Ésta puede atornillarse a la mesa, si se desea, gracias a las pletinas que se les añadieron a los laterales.

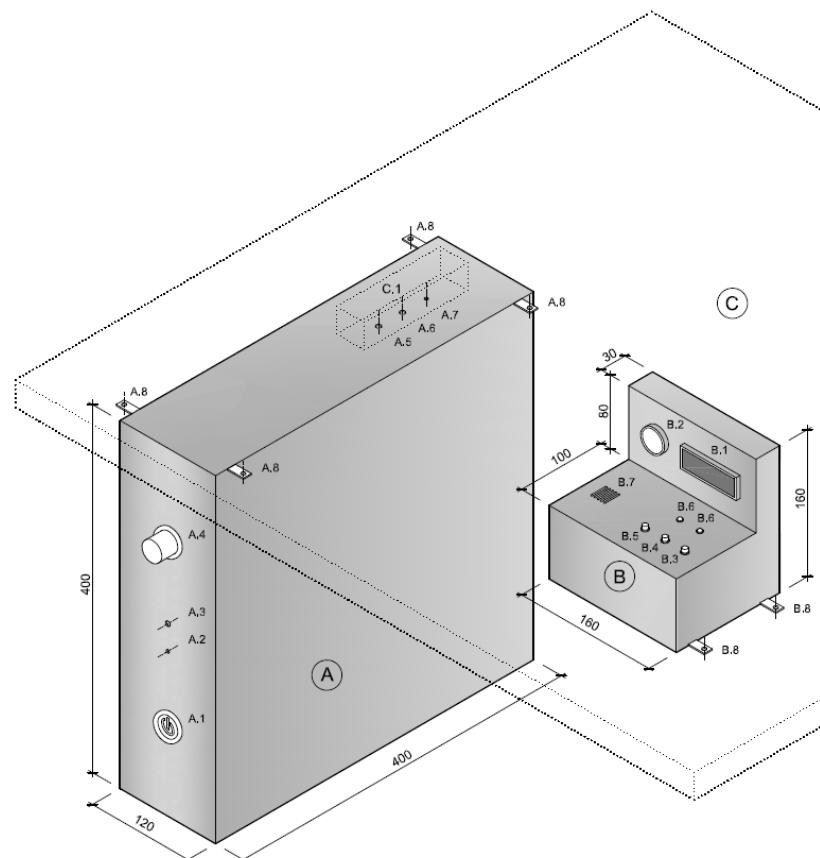


Ilustración 36. Diseño de las carcasa.

## 5.1 FUNCIONAMIENTO.

Se ha diseñado un microfugómetro de un canal, que está diseñado para grifos de una sola entrada y una sola salida.

El diagrama de flujo del funcionamiento del prototipo es el siguiente:

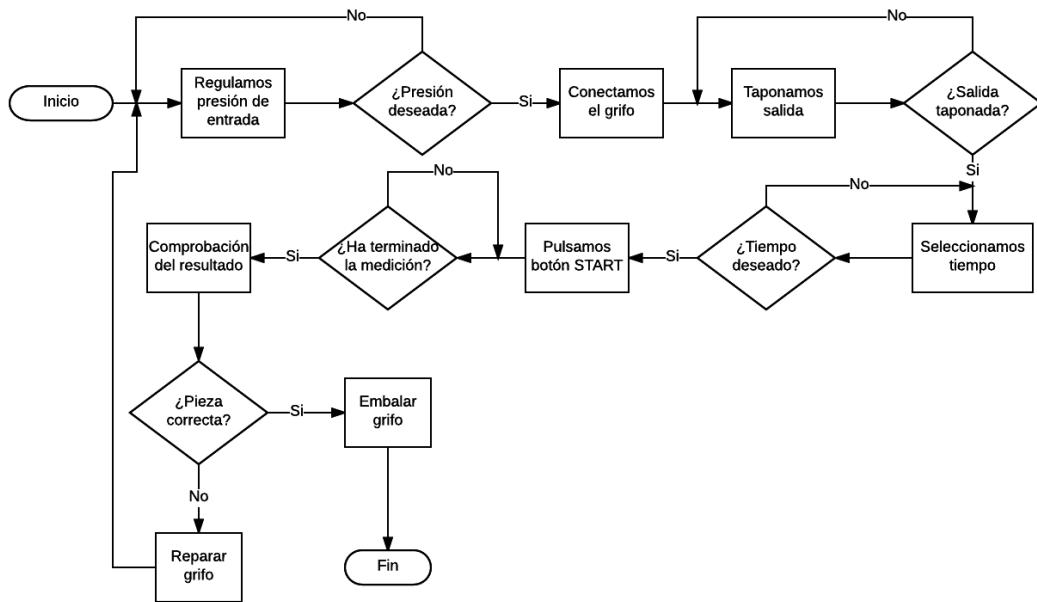


Ilustración 37. Diagrama de flujo del funcionamiento del microfugómetro de un canal.

En primer lugar, debemos de regular la presión de entrada para tener la presión deseada en el interior del grifo. Para ello, utilizamos la válvula reguladora de caudal. La presión puede variar desde los 0 a los 6 bares, pero, según la empresa, debe haber una presión mínima de funcionamiento de 2 bares, y una máxima de 5 bares. Acto seguido, acoplaremos el grifo al microfugómetro taponando la salida. Seleccionaremos el tiempo necesario para hacer la prueba del grifo y pulsaremos el botón de “START”. El aire comprimido se inyectará por la entrada del mismo durante el tiempo seleccionado. El aire se estabiliza en la cámara del grifo durante unos pocos segundos y se procede a hacer la comprobación de las pérdidas a la salida del grifo. Posteriormente, se liberará el aire del interior de la cámara. Tras esta medición, pueden ocurrir dos cosas:

- ▶ Variación de presión de la salida frente a la entrada sea superior a 10mbar: el grifo tendría unas pérdidas importantes teniendo que ser retirado y posteriormente reparado.
- ▶ Variación de la presión de la salida frente a la entrada sea inferior a 10 mbar: el grifo está listo para su uso y, por tanto, se debe embalar para ser distribuido.

## 5.2 CONTENIDO DE LAS CARCASAS.

Una vez explicado el funcionamiento del microfugómetro diseñado, vamos a ver qué contienen las carcasas.

Se han diseñado PCBs de doble cara, con plano de 5V en la cara superior y plano de masa en la cara inferior, porque, en la página donde se mandaron a fabricar ([www.pcbway.com](http://www.pcbway.com)), el precio no variaba entre hacerlo a una cara o a dos caras, debido a las dimensiones y al número de piezas solicitadas. En el caso de que quisieramos realizar una gran tirada de máquinas, intentaríamos hacerlas de una sola cara ya que ahí sí que se ven importantes diferencias económicas.

### 5.2.1 MÓDULO HMI.

- ▶ Diseño de la PCB:

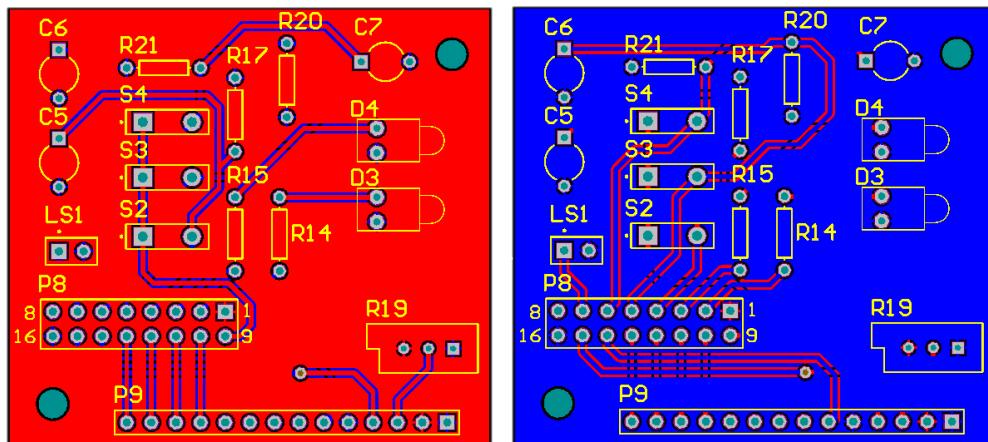


Ilustración 38. Cara TOP y BOTTOM PCB HMI.

- ▶ PCB:

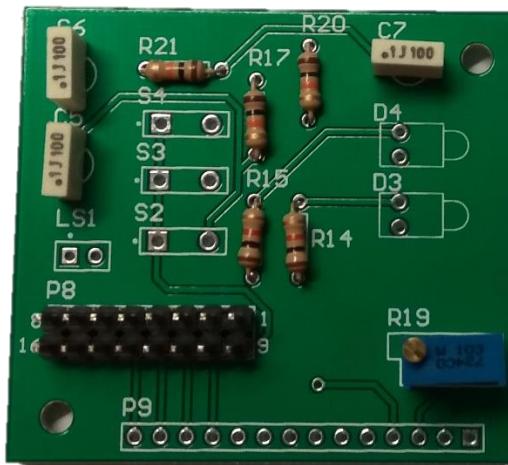


Ilustración 39. PCB HMI física.

## DISEÑO DE MÁQUINA PARA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN GRIFOS. MICROFUGÓMETRO. | PROTOTIPO

### 5.2.2 MÓDULO MÁQUINA.

#### ► Diseño de la PCB:

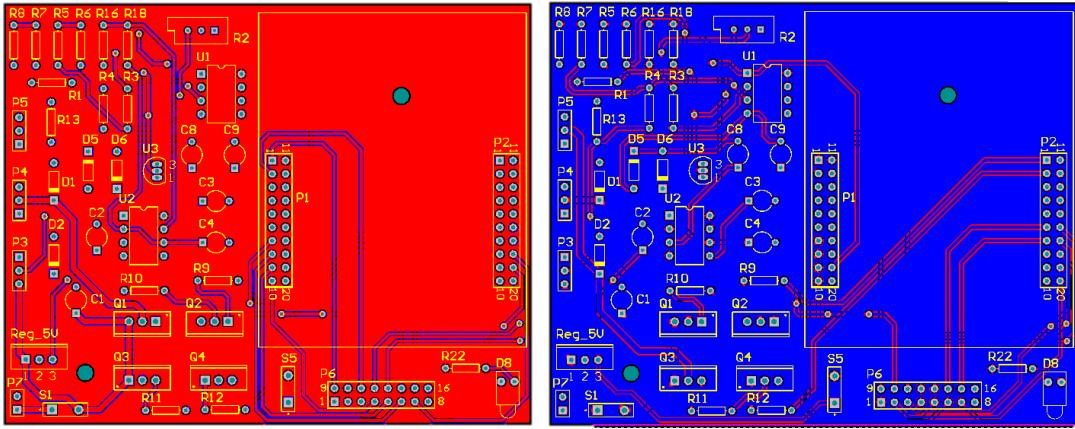


Ilustración 40. Cara TOP y BOTTOM PCB máquina.

#### ► PCB:

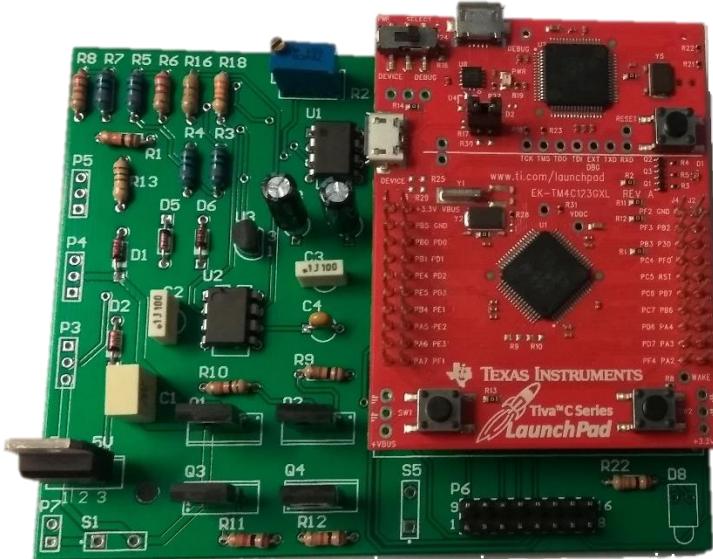


Ilustración 41. PCB Máquina física.

Todos los elementos que faltan por soldar, van a estar acoplados a las carcasa, y, al no disponer de ellas a la hora de redactar la memoria, no pudieron conectarse.

### 5.3 COSTE.

Por último, se va a presentar un presupuesto final del proyecto. Los precios que se indican están expresados en euros (€). Los precios de cada partida no incluyen el impuesto sobre el valor añadido (I.V.A.) por lo que el presupuesto global se ve incrementado con el 21%, valor actual del I.V.A. de España.

**DISEÑO DE MÁQUINA PARA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN GRIFOS.  
MICROFUGÓMETRO. | PROTOTIPO**

**5.3.1 MÓDULO HMI.**

Descripción	Identificación particular	Proveedor	Precio unitario (€)	Precio total (€)	Gastos de envío (€)
Condensador	100nF	Electrónica Goya	0.10	0.30	
Header	16	Electrónica Goya	0.01	0.16	
LCD	2x16	Electrónica Goya	11.92	11.92	
LED	10mm Azul	Electrónica Goya	1.17	1.17	
LED	10mm Rojo	Electrónica Goya	0.96	0.96	
Potenciómetro	10K	Electrónica Goya	0.55	0.55	
Pulsador	Normalmente Abierto	Electrónica Goya	0.81	2.43	
Resistencia	1K	Electrónica Goya	0.02	0.04	
Resistencia	10K	Electrónica Goya	0.02	0.06	
Zumbador	3.3V	Electrónica Goya	1.43	1.43	
Manómetro	0-6 bar	HNTOOLS	3.91	3.91	
Carcasa	HMI		99.00	99.00	
PCB	5x4.5mm	PCBWAY	1.78	8.90	22.23
<b>TOTAL</b>				<b>153.06</b>	

*Tabla 4. Coste módulo HMI – Microfugómetro de un canal.*

**5.3.2 MÓDULO MÁQUINA.**

Descripción	Identificación particular	Proveedor	Precio unitario (€)	Precio total (€)	Gastos de envío (€)
Amplificador operacional	TL-082	Electrónica Goya	0.23	0.23	
Condensador	22µF	Electrónica Goya	0.05	0.10	
Condensador	0.33µF	Electrónica Goya	0.10	0.10	
Condensador	0.1µF	Electrónica Goya	0.10	0.20	
Condensador	22nF	Electrónica Goya	0.02	0.02	
Diodo	1N4148	Electrónica Goya	0.01	0.04	
Header	56	Electrónica Goya	0.01	0.56	
Integrado	555	Electrónica Goya	0.16	0.16	
Interruptor	ON-OFF	Electrónica Goya	2.08	4.16	
LED	10mm Rojo	Electrónica Goya	0.96	0.96	
Potenciómetro	10K	Electrónica Goya	0.55	0.55	
Referencia de tensión	LM336Z-2.5V	Electrónica Goya	0.14	0.14	
Regulador de tensión	7805	Electrónica Goya	0.18	0.18	
Resistencia	150	Electrónica Goya	0.02	0.02	
Resistencia	1K	Electrónica Goya	0.02	0.10	
Resistencia	2.5K	Electrónica Goya	0.02	0.04	
Resistencia	4.7K	Electrónica Goya	0.02	0.02	
Resistencia	10K	Electrónica Goya	0.02	0.10	
Resistencia	33K	Electrónica Goya	0.02	0.02	
Transistor	BD137	Electrónica Goya	0.08	0.16	
Transistor	BD138	Electrónica Goya	0.10	0.20	

## DISEÑO DE MÁQUINA PARA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN GRIFOS. MICROFUGÓMETRO. | PROTOTIPO

Descripción	Identificación particular	Proveedor	Precio unitario (€)	Precio total (€)	Gastos de envío (€)
Sensor de presión	MBS 3000	Electric Automation Network	123.77	123.77	
Electroválvula	Burkert 6013	HNTOOLS	47.69	95.38	
Regulador de presión	1/4" 0-8 bar	HNTOOLS	14.40	14.40	
Carcasa	Máquina		99.00	99.00	
PCB	10x10mm	PCBWAY	1.78	8.90	22.23
			<b>TOTAL</b>	371.74	

*Tabla 5. Coste módulo máquina – Microfugómetro de un canal.*

### 5.3.3 TOTAL.

Al pedirse los dos packs de PCBs a la vez, nos ahorramos los gastos de envío, pero, por el contrario, se tuvo que pagar aduanas debido al método de transporte que se solicitó. También, al ser diseñadas en China, el precio final es el mismo que el especificado en las tablas anteriores, con lo que no debemos añadir el I.V.A. Por tanto, el precio total es de:

Descripción	Identificación particular	Precio unitario (€)	Precio con I.V.A. (€)
Carcasa	HMI	153.06	178.67
Carcasa	Máquina	371.74	443.27
Gasto de envío	Reducción	22.23	22.23
Aduanas	Añadido	26.63	26.63
Varios	Añadido	20.00	24.20
	<b>TOTAL</b>	549.20	650.53

*Tabla 6. Coste total – Microfugómetro de un canal.*

## 6 TRABAJOS FUTUROS.

Una vez diseñado y desarrollado el microfugómetro de un canal, la empresa GRB decidió que, en un futuro, se pudiera diseñar otro prototipo que fuera capaz de medir fugas de presión en griferías de dos entradas (agua fría y agua caliente) y una salida. Por tanto, se planteó el funcionamiento futuro, y su posible presupuesto.

### 6.1 FUNCIONAMIENTO.

El diagrama de bloques del funcionamiento del mismo es el siguiente:

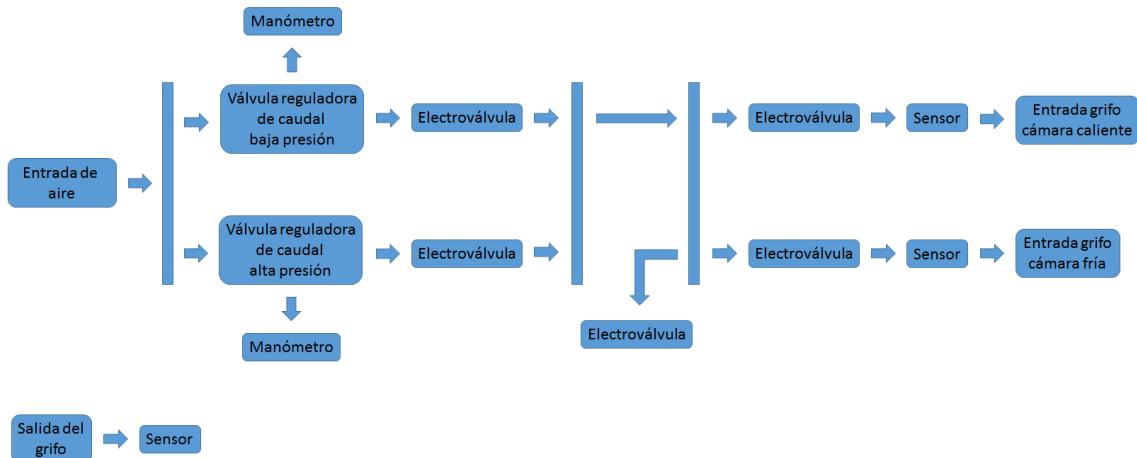


Ilustración 42. Diagrama global del funcionamiento del microfugómetro de tres canales.

El diagrama de flujo del microfugómetro de tres canales es el siguiente:

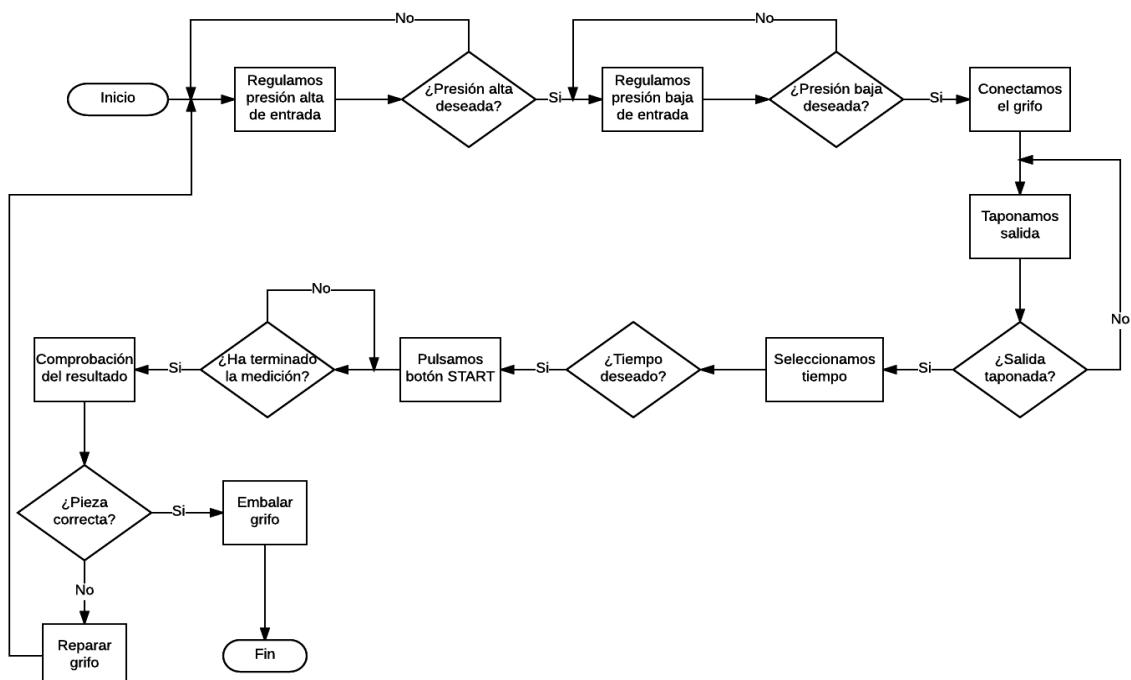


Ilustración 43. Diagrama de flujo del funcionamiento del microfugómetro de tres canales.

En primer lugar, debemos de regular tanto la presión de entrada de alta presión, como la de baja, para tener las presiones deseadas en el interior del grifo. Para ello, utilizaremos las válvulas reguladoras de caudal. Tras regular la presión, acoplaremos el grifo al microfugómetro y seleccionaremos el tiempo de funcionamiento. Taponamos, tanto la salida como una de las entradas del grifo, e inyectamos aire por la entrada restante durante un tiempo variable, seleccionable con el menú programado. El aire se estabiliza en la cámara durante unos pocos segundos y se procede a hacer la comprobación de las pérdidas de la cámara. Posteriormente, se libera el aire del interior de la cámara. Si las pérdidas han sido inferiores a 10mbar, la comprobación de la cámara da un resultado positivo por lo que se puede proceder a evaluar la siguiente cámara. En caso negativo, la pieza de grifería tendría una fuga de aire importante y, por tanto, debería de ser arreglada antes de ser comercializada. Una vez que se haya superado la primera comprobación, se bloquearía la salida y la entrada por la que se ha realizado la comprobación anterior y se realizaría otra vez el mismo test por la otra entrada. Si el resultado es correcto, se procedería a hacer el último test por el que introduciríamos aire por las dos entradas mientras está la salida taponada. Si el resultado es negativo, habría que reparar el grifo y realizar el test nuevamente. Por último, si la última comprobación del grifo (inyectar aire por las dos entradas con la salida taponada) es positivo, el grifo estaría listo para ser empaquetado y, posteriormente, ser comercializado.

## 6.2 COSTE.

Se ha diseñado un presupuesto aproximado del coste del prototipo.

### 6.2.1 MÓDULO HMI.

Descripción	Identificación particular	Proveedor	Precio unitario (€)	Precio total (€)	Gastos de envío (€)
Condensador	100nF	Electrónica Goya	0.10	0.30	
Header	16	Electrónica Goya	0.01	0.16	
LCD	2x16	Electrónica Goya	11.92	11.92	
LED	10mm Azul	Electrónica Goya	1.17	1.17	
LED	10mm Rojo	Electrónica Goya	0.96	0.96	
Potenciómetro	10K	Electrónica Goya	0.55	0.55	
Pulsador	Normalmente Abierto	Electrónica Goya	0.81	2.43	
Resistencia	1K	Electrónica Goya	0.02	0.04	
Resistencia	10K	Electrónica Goya	0.02	0.06	
Zumbador	3.3V	Electrónica Goya	1.43	1.43	
Manómetro	0-6 bar	HNTOOLS	3.91	7.82	
Carcasa	HMI		99.00	99.00	
PCB	5x4.5mm	PCBWAY	1.78	8.90	22.23
<b>TOTAL</b>				<b>156.97</b>	

Tabla 7. Coste módulo HMI – Microfugómetro de tres canales.

**DISEÑO DE MÁQUINA PARA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN GRIFOS.  
MICROFUGÓMETRO. | TRABAJOS FUTUROS**

### 6.2.2 MÓDULO MÁQUINA.

Descripción	Identificación particular	Proveedor	Precio unitario (€)	Precio total (€)	Gastos de envío (€)
Amplificador operacional	TL-082	Electrónica Goya	0.23	0.46	
Condensador	22 $\mu$ F	Electrónica Goya	0.05	0.10	
Condensador	0.33 $\mu$ F	Electrónica Goya	0.10	0.10	
Condensador	0.1 $\mu$ F	Electrónica Goya	0.10	0.20	
Condensador	22nF	Electrónica Goya	0.02	0.02	
Diodo	1N4148	Electrónica Goya	0.01	0.06	
Header	56	Electrónica Goya	0.01	0.56	
Integrado	555	Electrónica Goya	0.16	0.16	
Interruptor	ON-OFF	Electrónica Goya	2.08	4.16	
LED	10mm Rojo	Electrónica Goya	0.96	0.96	
Potenciómetro	10K	Electrónica Goya	0.55	0.55	
Referencia de tensión	LM336Z-2.5V	Electrónica Goya	0.14	0.14	
Regulador de tensión	7805	Electrónica Goya	0.18	0.18	
Resistencia	150	Electrónica Goya	0.02	0.06	
Resistencia	1K	Electrónica Goya	0.02	0.18	
Resistencia	2.5K	Electrónica Goya	0.02	0.12	
Resistencia	4.7K	Electrónica Goya	0.02	0.02	
Resistencia	10K	Electrónica Goya	0.02	0.26	
Resistencia	33K	Electrónica Goya	0.02	0.02	
Transistor	BD137	Electrónica Goya	0.08	0.32	
Transistor	BD138	Electrónica Goya	0.10	0.40	
Sensor de presión	MBS 3000	Electric Automation Network	123.77	371.31	
Electroválvula	Burkert 6013	HNTOOLS	47.69	286.14	
Regulador de presión	1/4" 0-8 bar	HNTOOLS	14.40	28.80	
Carcasa	Máquina		99.00	99.00	
PCB	10x10mm	PCBWAY	1.78	8.90	22.23
			<b>TOTAL</b>	<b>825.41</b>	

Tabla 8. Coste módulo máquina – Microfugómetro de tres canales.

### 6.2.3 TOTAL.

Al pedirse los dos packs de PCBs a la vez, nos ahorraremos los gastos de envío. También, al ser diseñadas en China, el precio final es el mismo que el especificado en las tablas anteriores, con lo que no debemos añadir el I.V.A. Por tanto, el precio total es de:

Descripción	Identificación particular	Precio unitario (€)	Precio con I.V.A. (€)
Carcasa	HMI	156.97	183.40
Carcasa	Máquina	825.41	992.21
Gasto de envío	Reducción	22.23	22.23
	<b>TOTAL</b>	<b>960.15</b>	<b>1153.38</b>

Tabla 9. Coste total – Microfugómetro de tres canales.

## 7 CONCLUSIONES.

Tras la elaboración del proyecto, se ha podido llegar a las siguientes conclusiones:

- ▶ Se ha elaborado un estudio detallado de la empresa, conociendo sus necesidades, entre las cuales está la creación de un microfugómetro, que abarate costes en la comprobación de calidad de la grifería.
- ▶ Se ha realizado una elección del microcontrolador más apropiado, así como los elementos necesarios para hacer que el microfugómetro funcione correctamente.
- ▶ Se ha elegido el microcontrolador EK-TM4C123GXL, debido a que su software, tiene un sistema de depuración muy completo, que nos permite hacer un estudio paso a paso.
- ▶ Se han utilizado el sensor de presión MBS 3000 060G1124 y la electroválvula Burkert 6013 A, ya que son los mismos que se están utilizando en la fábrica y son suministrados por su proveedor.
- ▶ Respecto al diseño electrónico, se ha hecho una selección de todos los componentes electrónicos necesarios, diseñando las adaptaciones y conexiones, para que pueda desempeñar las funciones para las que ha sido diseñado.
- ▶ Se ha realizado una programación utilizando una máquina de estados, con la que podemos diferenciar las distintas etapas del funcionamiento del prototipo.
- ▶ Se han diseñado y fabricado placas de circuito impreso, con Altium Designer, para poder implementar los circuitos realizados.
- ▶ Se ha seleccionado el material más apropiado para la estructura del microfugómetro, así como un recubrimiento para otorgarle mayor protección ante posibles golpes que pueda sufrir.
- ▶ Se han diseñado los planos de las carcasas con AutoCAD 2014 para su posterior fabricación.
- ▶ Se han programado softwares de adquisición de datos tanto en MATLAB, como en Visual Studio.
- ▶ Se ha montado y comprobado, a satisfacción de la empresa, el prototipo diseñado.

## 8 BIBLIOGRAFÍA.

- ▶ [1]: MALVINO, Albert P.: Principios de electrónica. Ed. McGraw-Hill, 6º edición. 2001.
- ▶ [2]: Prieto, Alberto: Introducción a la informática. Ed. McGraw-Hill, 4º edición. 2006.
- ▶ [3]: RIEDEL, Susan A., NILSSON, James W.: Circuitos eléctricos. Ed. Pearson Education, 7º edición. 2005.
- ▶ [4]: MILLMAN, Jacob: MICROELECTRÓNICA. Circuitos y sistemas analógicos y digitales. Ed. McGraw-Hill, 3º edición. 1986.
- ▶ [5]: MOHAN, Ned, UNDELAND, Tore M., ROBBINS, William P.: Electrónica de potencia. Ed. McGraw-Hill, 3º edición.
- ▶ [6]: MARTÍN, Bonifacio, BONO, Antonio: Transductores y Sistemas de Instrumentación. Depto. Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.
- ▶ [7]: SERRANO, Antonio: Neumática práctica. Ed. Paraninfo. 2010.
- ▶ [8]: CREUS, Antonio: Neumática e hidráulica. Ed. Marcombo. 2010.
- ▶ [9]: FOXALL, James D.: Visual Basic 2015 in 24 hours, sams teach yourself. Ed. SAMS.
- ▶ [10]: TEXAS INSTRUMENTS Tiva TM4C123GH6PM Microcontroller.  
<http://www.ti.com/lit/ds/spms376e/spms376e.pdf>
- ▶ [11]: TEXAS INSTRUMENTS Getting Started with the Tiva TM4C123G LaunchPad Workshop.  
[http://software-dl.ti.com/trainingTTO/trainingTTO\\_public\\_sw/GSW-TM4C123G-LaunchPad/TM4C123G\\_LaunchPad\\_Workshop\\_Workbook.pdf](http://software-dl.ti.com/trainingTTO/trainingTTO_public_sw/GSW-TM4C123G-LaunchPad/TM4C123G_LaunchPad_Workshop_Workbook.pdf)
- ▶ [12]: TEXAS INSTRUMENTS TivaWare Peripheral Driver Library.  
<http://www.ti.com/lit/ug/spmu298d/spmu298d.pdf>
- ▶ [13]: MATLAB Creación de apps con interfaces gráficas de usuario.  
<http://es.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html?requestedDomain=es.mathworks.com>