



# Ecodiseño de dispositivos electrónicos

## UNIDAD 12: Ejemplos del proceso de producción de dispositivos electrónicos.

Autor: Andrej Sarjaš

- 12.1. Producción de dispositivos electrónicos ..... 2
- 12.2. Elección de los elementos del dispositivo ..... 3
  - 12.2.1. Sensor de flujo de aire..... 3
  - 12.2.2. Válvula proporcional ..... 4
  - 12.2.3. Microcontrolador ..... 4
  - 12.2.4. Modo de control de flujo ..... 5
- 12.3. Producción de prototipo de materia impresa ..... 7
  - 12.3.1. Primer prototipo ..... 7
  - 12.3.2. Segundo prototipo ..... 8
  - 12.3.3. Tercer prototipo..... 9
- 12.4. Modelado del sistema y prueba de rendimiento ..... 10
- 12.5. Aplicación para recopilar y controlar datos del dispositivo ..... 11

### Resumen de la unidad:

- Proceso de producción de dispositivos electrónicos
- Desarrollo y actualización de productos
- Prototipos y pruebas

## 12.1. Producción de dispositivos electrónicos.

Echemos un vistazo al proceso de producción de dispositivos electrónicos. El cliente ha pedido un estudio y fabricación de equipos de laboratorio para medir el bajo flujo de aire en el proceso de envejecimiento del aceite de transformador. El aceite de transformador se usa para enfriar el sistema de transformadores. El aceite generalmente se produce a partir de material altamente refinado y tiene que ser estable a altas temperaturas. También necesita tener grandes propiedades aislantes porque tiene que evitar la corona (combustión lenta de poca energía) y las chispas. Las características del aceite son importantes para la fiabilidad de los dispositivos de energía y debido a esto, existe un estándar y proceso para probar el aceite.

Antes de comenzar con los principios de producción, presentemos brevemente las funciones del dispositivo. El proceso de envejecimiento del aceite del transformador es una prueba de la calidad del aceite. Con un flujo de aire constante a través del aceite a una temperatura de 120 ° C, inducimos el proceso de envejecimiento rápido. Si usamos 0.5 dl de aceite y constantemente ponemos aire con un flujo de aire de 1l / h a una temperatura de 120 ° C durante 10 días a través de él, alcanzamos una edad de aceite que es equivalente a un uso de 25 años. El aceite envejecido a la fuerza puede luego analizarse en el laboratorio químico para investigar su composición química y calidad. La producción del dispositivo para el proceso de envejecimiento forzado consiste en documentación que incluye análisis funcionales y panorámicos. El análisis panorámico determina la auditoría de dispositivos y elementos existentes en el mercado. La documentación funcional determina el tipo de elementos seleccionados y describe el funcionamiento del dispositivo. Después de revisar las soluciones existentes, llegamos a la conclusión de que haremos todos los elementos del dispositivo. Con esto, nos referimos al uso de reguladores de flujo industriales que son dispositivos independientes. El dispositivo industrial se puede conectar al propio sistema o plataforma a través de interfaces de comunicación. Las soluciones industriales actuales no ofrecen regulación de bajos caudales como lo exige la norma. El precio por unidad también es muy alto. El siguiente problema es elegir un sensor asequible, confiable y preciso. El flujo de 1l / h cae dentro del área de flujo bajo donde los enfoques clásicos de medición con una apertura no son muy precisos y confiables. Para medir el flujo a través del punto de medición, hemos elegido una válvula proporcional adecuada. Hemos conectado ambos dispositivos a un microcontrolador que fue responsable de la administración del flujo de circuito cerrado y la comunicación con otros dispositivos externos.

Algunas características funcionales del dispositivo:

- Precisión del dispositivo  $\pm 0.25$ l/h.
- Gestión de flujo hasta 0.5-2l/h.
- El dispositivo tiene que ser lo más pequeño posible.
- Alta fiabilidad.
- Comunicación con un ordenador personal: USB, Bluetooth.



- Comunicación industrial RS485.
- Aplicación de Windows para capturar y guardar datos durante la prueba.

Principales aspectos ecológicos en el proceso de diseño de dispositivos:

- Utilizar elementos que no contengan sustancias peligrosas como plomo, mercurio, etc.
- Fiabilidad.
- El más bajo posible consume de energía.
- Minimización del dispositivo y el menor número posible de materiales usados con la misma fiabilidad.
- Peso.

## 12.2. Elección de los elementos del dispositivo

La elección de elementos debe estar centrada en la fiabilidad, precisión y precio.

### 12.2.1. Sensor de flujo de aire

Los criterios principales en la determinación del sensor fueron el rango de medición deseado [0.5-2] l/h y la sensibilidad adecuada. En el mercado, podemos encontrar un número limitado de sensores de medición de flujo de aire que tienen una buena relación dimensión precio. Para la producción del regulador, necesitaremos un sensor que pueda comunicarse con el controlador a través de una de las interfaces de comunicación clásicas: entrada analógica, protocolo I2C o SPI. Hemos elegido un sensor con protocolo I2C, compensación de temperatura y escala de medición lineal. De esta forma, hemos evitado la necesidad adicional de linealización del programa y compensación adicional del error de medición. El sensor elegido WBI se presenta en la imagen 1. Cumple con los siguientes criterios: rango de medición [0.1-2.5] l/h, resolución 0.1l/h, comunicación I2C, tiempo de medición 5ms, dimensiones w/h/d-3.5x1x2.5cm .



**IMAGEN 1: SENSOR DE FLUJO DE AIRE WBI.**



### 12.2.2. Válvula proporcional

Al elegir la válvula, teníamos requisitos similares a los del sensor. La válvula debe proporcionar un control secuencial, ser adecuada para un flujo de aire pequeño, asequible, tener dimensiones más pequeñas y tener un funcionamiento lineal. Debido a esto, hemos elegido la familia de válvulas lineales VSO Low Flow del fabricante Parker, que se ve en la imagen 2. La válvula puede regular secuencialmente el flujo de aire hasta [0.01-10] l/h, tiene dimensiones w/h/d-2x3x2cm y su el rango de trabajo es 0-2Bar.



**IMAGEN 2: VÁLVULA PROPORCIONAL.**

Para controlar la válvula con un microcontrolador, necesitamos construir el circuito de control adaptativo. La válvula será controlada por la señal PWM del microcontrolador. Para el diseño ecológico, presentaremos múltiples iteraciones del desarrollo del circuito de control. Los principales criterios son pequeñas dimensiones, bajo peso, simplicidad y consumo de energía

### 12.2.3. Microcontrolador

Para fines de control, hemos elegido un microcontrolador que es capaz de ejecutar todas las funciones de algoritmo regulador, recopilación de datos y comunicación con dispositivos externos. Al elegir un controlador, debemos considerar varios factores, como la frecuencia de operación de la unidad de procesamiento y una cantidad de conectores de entrada y salida. Hemos buscado un controlador con aproximadamente el mismo número de conectores que necesitábamos, bajo consumo de energía y precio asequible. Para el conjunto de criterios para determinar la adecuación del microcontrolador, hemos agregado el requisito de una capacidad de procesamiento de datos adecuada (conversiones AD, temporizadores, etc.). Para la producción del prototipo de regulador de flujo de aire bajo, hemos elegido el microcontrolador ARM de 32 bits por el fabricante STMicroelectronics de la familia F1xx, y el modelo es STM32F103C8T6. La familia de productos ARM STM32F1xx es el equilibrio entre la



eficiencia y el ahorro de energía. El módulo de desarrollo con STM32F103C8T6 se muestra en la imagen 3.



**IMAGEN 3: MICROCONTROLADOR.**

El microcontrolador STM32F103C8T6 tiene 48 pines y cumple con los módulos de comunicación: 4xUSART, 2xI2C, 3xSPI. Se utilizará un módulo de comunicación USART para la comunicación industrial a través de RS485 y el segundo se utilizará para la conexión entre la computadora personal a través de la interfaz USB o Bluetooth. El sensor de flujo WBI se conectará a la interfaz I2C. Para el control de la válvula, utilizaremos una salida digital con modulación PWM. Algunas salidas digitales se usarán para el estado y las luces de la pantalla. También agregaremos algunas teclas al dispositivo, como el inicio del dispositivo físico, la elección del modo de operación y el apagado del dispositivo. El dispositivo también se puede iniciar a través de la aplicación de recopilación de datos.

#### 12.2.4. Modo de control de flujo

En el modo de control de flujo, nos hemos decidido por el control de circuito cerrado de la imagen 4. El control de circuito cerrado permite una mayor fiabilidad, una mejor eliminación de perturbaciones y precisión. El control de circuito cerrado utiliza el principio de medir valores de salida y transferencia inversa de información al sistema donde se calcula el error de control. El error de control se calcula según el valor deseado y la medición del sensor de corriente. Este valor puede ser administrado por el regulador. El regulador calcula el valor de salida necesario con el cual influye en el sistema. Para el sistema dado, hemos utilizado la estructura del regulador PID clásico. El regulador PID es una estructura reguladora altamente establecida en un entorno industrial. Se distingue por una fiabilidad de funcionamiento simple y relativamente alta. El algoritmo PID se ejecuta en el microcontrolador.



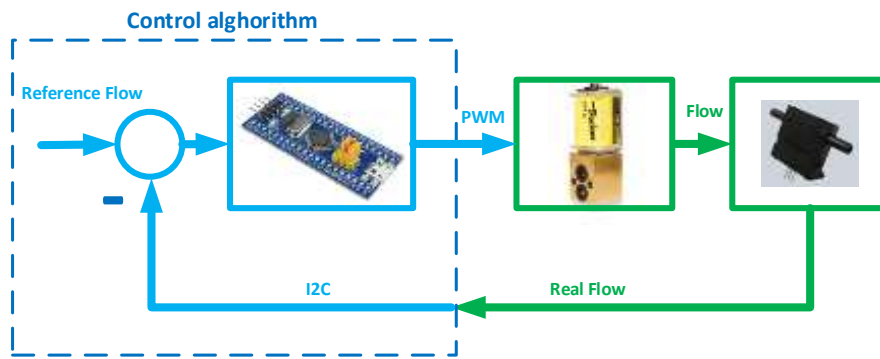


IMAGEN 4: CONTROL DE CIRCUITO CERRADO.

El control de bucle cerrado es más complejo y requiere más potencia de cálculo en comparación con el control de bucle abierto. El control de circuito abierto es más simple pero también menos fiable porque no usa información inversa de la salida, imagen 5. En nuestro caso, el control de circuito abierto sería significativamente más económico porque no necesitaríamos un sensor de flujo que es el componente más caro en el sistema de control.

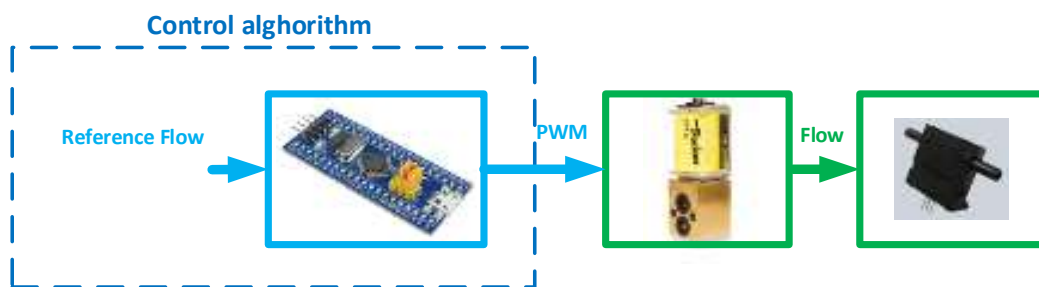


IMAGEN 5: CONTROL EN CIRCUITO ABIERTO.

La estructura del regulador PID se presenta en la siguiente expresión:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

A partir de la ecuación, podemos ver que el algoritmo PID consta de tres partes (P, I y D). La parte P es proporcional, lo que significa que el error del regulador se puede multiplicar por constante. P parte mejora las características dinámicas de lazo cerrado. En parte, eliminé los errores de control, lo cual es importante para la precisión, pero, por otro lado, disminuye la dinámica del sistema. La dinámica del sistema significa que el regulador necesita más tiempo para alcanzar el valor de referencia. D parte aumenta la dinámica del sistema y amplifica el ruido del sensor. La configuración correcta de PID es un equilibrio entre precisión y velocidad.



### 12.3. Producción de prototipo de materia impresa

La producción y el diseño del regulador de flujo constan de varios pasos. Los primeros prototipos no dieron resultados satisfactorios. Hubo problemas con el tamaño del dispositivo, la alta temperatura de trabajo de la electrónica de control y se utilizaron demasiados componentes. Debido a esto, hemos realizado varios prototipos en los que hemos trabajado principalmente en electrónica de control de válvulas.

#### 12.3.1. Primer prototipo

Para el primer prototipo, hemos utilizado el esquema de control de válvulas del fabricante Parker. Para el funcionamiento del microcontrolador, hemos agregado un estabilizador de voltaje y abrazaderas de conexión para la fuente de alimentación externa de la válvula. El voltaje de suministro prescrito fue de 9V. La Imagen 6 presenta la primera versión de la electrónica de control de la válvula. Como se mencionó anteriormente, la válvula se controlará mediante una señal PWM con una frecuencia de 10 kHz. Los componentes electrónicos de control usan el amplificador operacional LM358 que proporciona corriente estable a través de la bobina. Para el elemento de conmutación, utilizamos el transistor TIP120 que es la conexión Darlington de dos transistores BJT.

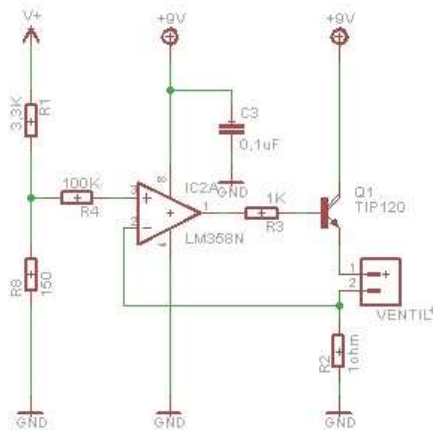


IMAGEN 6: CIRCUITO DE CONTROL DE VÁLVULAS.

En las imágenes 7 y 8 se presenta un diseño impreso en el programa Altium con conectores de fuente de alimentación y sustrato para el microcontrolador.





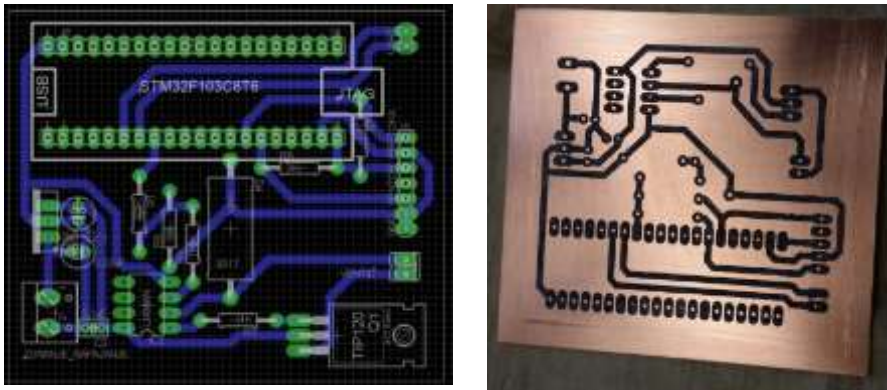


IMAGEN 7: APARIENCIA DE MATERIA IMPRESA.

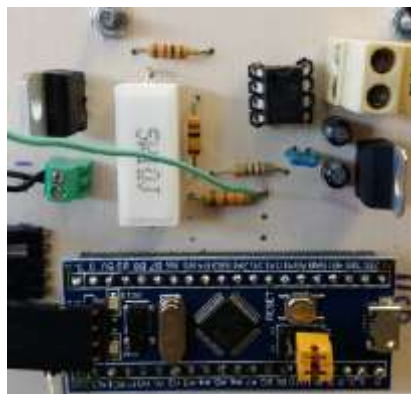


IMAGEN 8: PROTOTIPO FINAL.

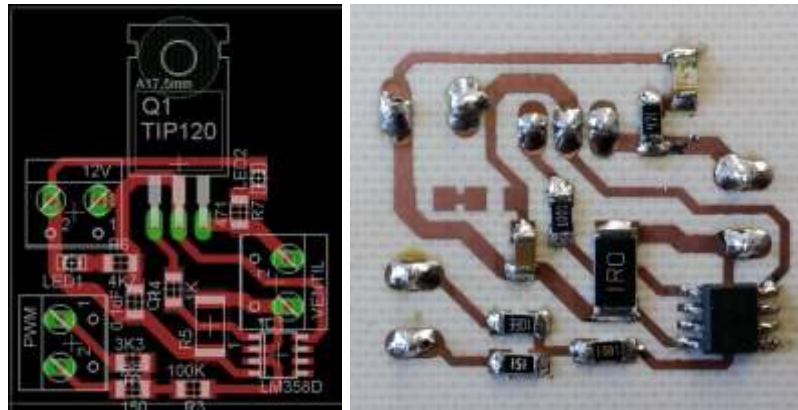
La primera versión del prototipo fue un dispositivo totalmente funcional. El mayor problema fue el sobrecalentamiento del elemento de conmutación TIP120. La temperatura medida fue cercana a  $70^{\circ}\text{C}$ . Para el funcionamiento a largo plazo y para la instalación en la carcasa necesitábamos agregar un elemento de enfriamiento. Las dimensiones del circuito eran 5x5cm

### 12.3.2. Segundo prototipo

El segundo prototipo se basó en el mismo circuito, pero el circuito de control se redimensionó y redujo. Todos los elementos excepto el elemento de conmutación TIP120 fueron reemplazados con elementos basados en tecnología SMD. Esta tecnología permite la producción de elementos más pequeños con las mismas características. Desde el aspecto del diseño ecológico, esto significa que hemos reemplazado los elementos con elementos que son más ligeros y están hechos de menos materiales. Los prototipos del segundo circuito se presentan en la imagen 9





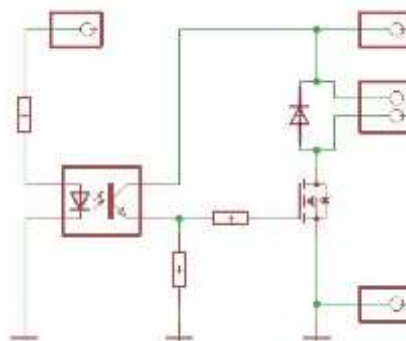


**IMAGEN 9: SEGUNDO PROTOTIPO DEL CIRCUITO.**

En el segundo prototipo, hemos reducido el circuito a la mitad. La dimensión del circuito ahora era de 2.3x2.2cm. Pero el problema principal, el sobrecalentamiento del transistor de conmutación, permaneció igual.

### 12.3.3. Tercer prototipo

En el tercer prototipo, hemos decidido diseñar un circuito autónomo en el que utilizaremos un elemento de conmutación capaz de conmutar sin pérdidas. Hemos decidido diseñar un circuito con elemento de conmutación MOSFET. Debido a que el control de flujo se realiza en un circuito cerrado, los componentes electrónicos de control de válvula no necesitan estabilización de flujo a través de la válvula como en el prototipo anterior. Hemos eliminado el amplificador operacional del circuito. El esquema de controles de válvula se muestra en la imagen 10.



**IMAGEN 10: TERCER PROTOTIPO DE CIRCUITO DE CONTROL CON EL TRANSISTOR DEL MOSFET.**

El elemento de conmutación MOSFET en tecnología SMD es cinco veces más pequeño que un transistor TIP120. El último prototipo funcionaba sin exceso de calefacción. La temperatura del MOSFET a temperatura ambiente no fue superior a 35 °



C, lo que significa que tuvimos pérdidas menores que en versiones anteriores. La dimensión del circuito era de 1.2x1.5cm, por lo que utilizamos materiales menos costosos y menos costosos. Para el transistor de comparación, TIP120 era tres veces más caro que la versión SMD de MOSFET. En la última versión, hemos agregado un contactor óptico que se utiliza para aislamiento galvánico y protección de microcontroladores. La apariencia del circuito de control final se muestra en la imagen 11.

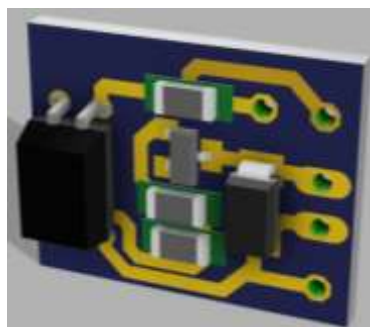


IMAGEN 11: ASPECTO DEL CIRCUITO FINAL.

El último prototipo fue también la última versión con la intención de producir el dispositivo completo. Una breve comparación de los tres prototipos se presenta en la tabla 1.

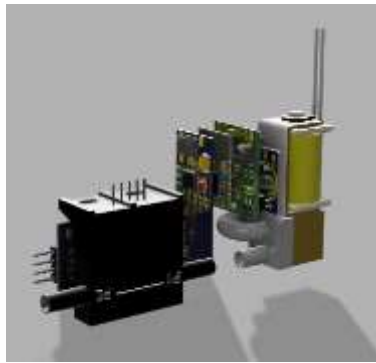
Características	Ver. 1 (TIP120)	Ver. 2 (TIP120)	Ver. 3 (MOSFET)
<b>Dimensiones</b>	5x5cm	2.3x2.2cm	1.2x1.5cm
<b>Número de elementos</b>	8	8 (SMD)	5 (SMD)
<b>Temperatura del conmutador</b>	70°C	70°C	35°C
<b>Peso</b>	16g	11g	3g
<b>Precio medio</b>	17€	13€	8€

TABLA 1: COMPARACIÓN DE LOS TRES PROTOTIPOS DE CIRCUITOS.

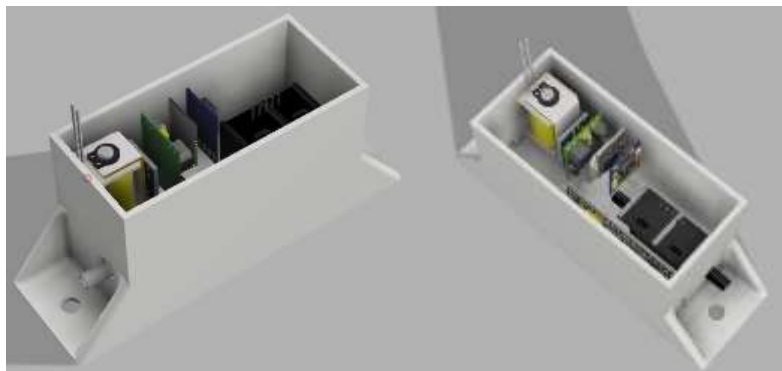
#### 12.4. Modelado del sistema y prueba de rendimiento

La apariencia final del dispositivo completo se diseñó utilizando modelado 3D. De esta forma, presentamos la apariencia completa del dispositivo y su composición interna. Las imágenes 12 y 13 presentan el dispositivo final y sus componentes.



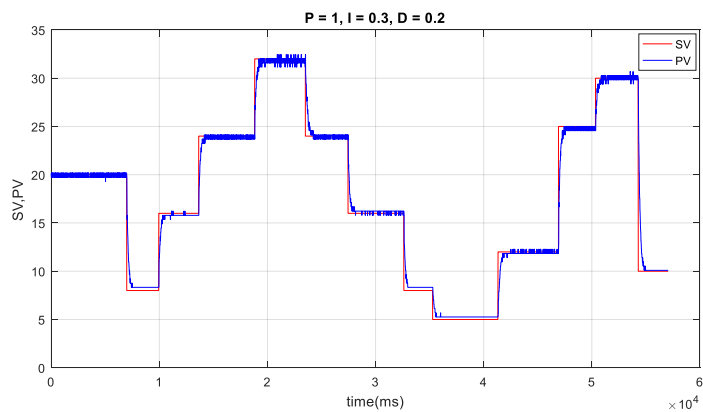


**IMAGEN 12: ELEMENTOS SIN CARCASA.**



**IMAGEN 13: ELEMENTOS CON CARCASA.**

La eficacia del dispositivo se probó después de 240 horas de funcionamiento. La imagen 14 presenta control de flujo y monitoreo del flujo de referencia.



**IMAGEN 14: CONTROL DE FLUJO. COLOR ROJO – VALOR DE REFERENCIA, COLOR AZUL – VALOR REAL DE FLUJO**

## 12.5. Aplicación para recopilar y controlar datos del dispositivo

A los efectos de la visualización continua y la supervisión de los datos actuales se creó la aplicación de Windows, que se muestra en la imagen 15. La aplicación está



diseñada para mostrar los resultados medidos y guardarlos en un archivo. En caso de falla de la computadora, se crea un nuevo archivo para guardar datos cada hora.

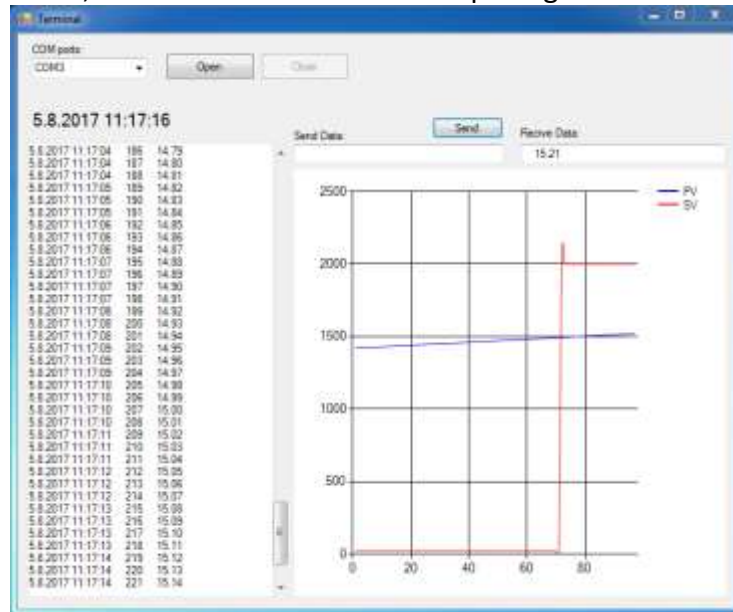


IMAGEN 15: APLICACIÓN PARA PANTALLA Y AHORRO DE DATOS.

Después de que se realizó una versión piloto final del dispositivo, también hicimos una comparación con una versión industrial del regulador de flujo. La versión actual es fiable, tiene la precisión de 0.1l/h y usa una cantidad mínima de elementos. El precio del regulador completo es de aproximadamente 150 €, que en comparación con la versión industrial más económica que tiene una precisión de 0.8l/h es cinco veces menor.

