

REALIZACIÓN DE UNA APLICACIÓN DE ELECTRÓNICA ANALÓGICO-DIGITAL PARA LA ENSEÑANZA DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS BASADAS EN FIBRA ÓPTICA DE PLÁSTICO

Pedro M^a Aiestaran Matxinandiarena¹, Mikel Alberro Astarbe²

¹ Escuela Universitaria Politécnica de Donostia-San Sebastián (UPV-EHU). jtpaymap@sp.ehu.es

² Escuela Universitaria Politécnica de Donostia-San Sebastián (UPV-EHU). jtpalasm@sp.ehu.es

RESUMEN

Muchas de las aplicaciones de sensores que pueden ver los alumnos en la asignatura de Instrumentación Electrónica están basadas en tecnologías convencionales. El diseño de esta práctica tiene como objetivo fundamental, el que los alumnos utilizando los conocimientos adquiridos en electrónica analógica y digital, puedan integrarlos con las nuevas tecnologías surgidas en torno a la fibra óptica de plástico (FOP). Hay varias razones que hacen interesante el uso de la fibra óptica de plástico para la realización de sensores. Entre ellas, podemos citar: la facilidad de manipulación, el bajo coste y las ventajas inherentes a la FOP como pueden ser, la flexibilidad, el pequeño tamaño y la ausencia de interferencias electromagnéticas.

En este documento, se realiza el diseño de un montaje práctico para que los alumnos puedan utilizar las ventajas que aporta la fibra óptica de plástico como medio de transmisión de señales junto con un montaje electrónico donde se integran componentes analógicos y digitales. El objetivo es poder medir el caudal de un fluido de poca viscosidad al pasar por una tubería. Además, para poder contrastar las medidas de caudal obtenidas, se realiza un estudio comparativo con un medidor de caudal comercial. Se exponen los resultados y conclusiones más relevantes de los ensayos realizados.

1 INTRODUCCIÓN

Con la realización de esta aplicación, se va a demostrar que con los conocimientos de electrónica analógica adquiridos por el alumno y con unos conocimientos básicos referentes al funcionamiento de la fibra óptica de plástico, es posible desarrollar diferentes tipos de sensores que van a permitirnos el poder medir diversos parámetros físicos. Debido a que en el presente documento se va a desarrollar un sensor que nos va a permitir la medida del caudal de fluido que circula por una tubería, comencemos a repasar los conceptos básicos que intervienen en el proceso.

El concepto de **caudal** se define como el volumen por unidad de tiempo de fluido que circula por un conducto o tubería, o también como el producto de la velocidad del fluido multiplicado por la sección del tubo por el que circula. Las unidades más comúnmente empleadas para expresar el caudal son litros/minuto y m³/hora.

Las mediciones del caudal pueden determinarse utilizando dos tipos de tecnologías [1]:

- tecnología convencional : térmicos, de presión, de desplazamiento positivo, de turbina y de sección variable.
- nuevas tecnologías: coriolis, magnéticos, ópticos y ultrasónicos.

Entre los principales medidores podemos citar: los medidores de presión diferencial, los medidores de desplazamiento positivo, los medidores de tipo turbina, los medidores de tipo electromagnético y los medidores de tipo ultrasónico.

El sistema medidor de caudal que se ha diseñado detecta el caudal ó volumen de fluido por unidad de tiempo que atraviesa una tubería y visualiza dicha información en una pantalla LCD. Básicamente, el sistema diseñado está compuesto de dos partes claramente diferenciadas:

- **Elemento sensor**, formado por una paleta rotativa que gira al ser impulsada por el fluido a su paso por el conducto o tubería. Este movimiento giratorio se desarrolla en el seno de un conductor óptico de FOP (Fibra Optica de Plástico), de forma que en función de la posición relativa de la paleta respecto del haz de luz que incide sobre ella, se genera un tren de pulsos óptico que será enviado a través de la FOP al sistema optoelectrónico.
- **Sistema optoelectrónico**, que tras convertir la información óptica en eléctrica, acondicionará la señal convenientemente para ser visualizada en una pantalla LCD.

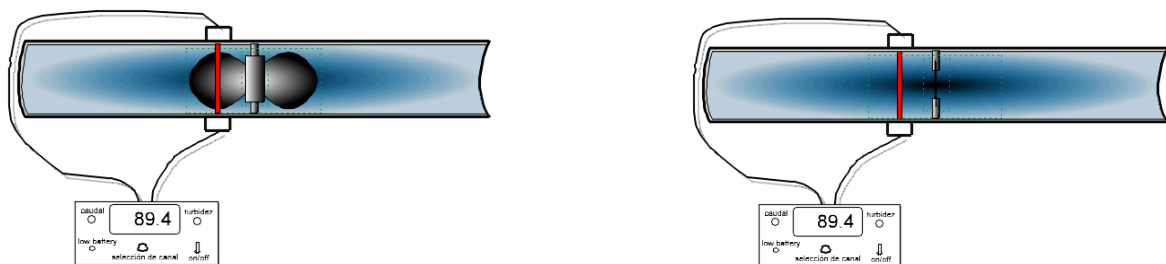


Figura 1

La frecuencia del tren de pulsos generado está íntimamente relacionada con la velocidad del fluido que circula por la tubería, que multiplicada por su sección nos indicará el volumen por unidad de tiempo ó caudal de fluido.

2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Una vez introducidos los conceptos de caudal y turbidez, y de haber presentado su relación con el sistema diseñado, se describe el sistema diseñado según el siguiente esquema:

- Estructura del sistema
 - Subsistema óptico
 - Subsistema electrónico
- Principios básicos de mecánica de fluidos

2.1 Estructura del sistema

Desde el punto de vista funcional, el estudio del sistema diseñado se va a dividir en dos partes: **subsistema óptico** donde se analizan las características de la célula fotoeléctrica comercial utilizada y el **subsistema electrónico** donde se presenta la electrónica diseñada para la obtención de los parámetros de caudal y turbidez.

2.1.1 Subsistema óptico

Como transductor óptico-eléctrico se ha utilizado la célula de reflexión directa LFK-3034-303, de la casa comercial Contrinex [2] cuyas características más relevantes son:

Histéresis	: 10%
Tensión de alimentación	: 10..36VDC
Máximo rizado	: 20%
Corriente de salida	: 200mA
Var. tensión salida	: <2V
Frecuencia de trabajo	: <1000Hz

2.1.2 Subsistema electrónico

El sistema que se ha diseñado contempla en una segunda fase la posibilidad de realizar ensayos de turbidez. Por tanto, dado que el sistema va a realizar las funciones de medición de caudal y de turbidez, se hace necesario diseñar dos circuitos independientes: uno para la medición del caudal que será función de la frecuencia del tren de pulsos generado y otro para la medición de la turbidez que será función de la amplitud de dichos pulsos. Para ello se diseñara un circuito sensible a las variaciones de frecuencia y un detector de pico respectivamente. En ambos casos, la señal de salida será continua y se atacará a un display de tipo LCD para minimizar el consumo. El rango de señal será ajustable, a fin de poder visualizar la información en las unidades de medida correspondientes, pudiéndose reajustar en caso de necesidad. Debido a que se han de visualizar dos magnitudes totalmente independientes en un mismo display LCD, se hace necesario un circuito electrónico para la gestión del canal de información correspondiente.

- **Medición del caudal**

El sensor de forma de paleta de hélices se instala en el tubo por donde va a circular el fluido cuyo caudal se quiere medir. Al girar la paleta de hélices, ésta interrumpe a intervalos el haz de luz que incide sobre ella, generando pulsos intermitentes. Asimismo, girará a mayor o menor velocidad según el caudal de fluido que circule por dicho tubo.

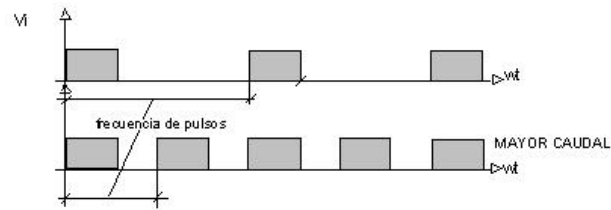


Figura 2

Conociendo la frecuencia de la señal generada, se calcula el caudal de fluido que circula por el tubo. Se observa que la anchura de todos los pulsos para un régimen de funcionamiento determinado no es constante.

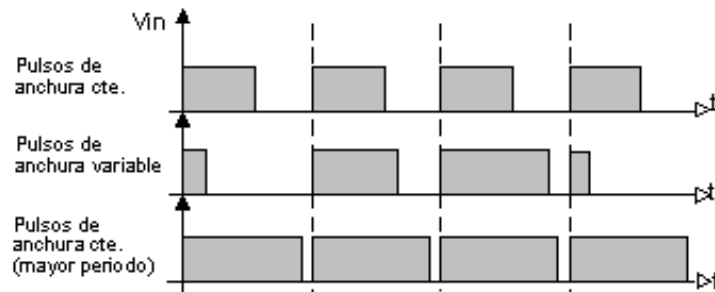


Figura 3

Para solventar este comportamiento y poder realizar una medida precisa y fiable, se ha diseñado un circuito de control de disparo activado mediante flanco descendente con el integrado NE555 a la entrada del circuito medidor. Esto permite obtener un tren de pulsos de anchura constante que se inyectará al circuito de medida.

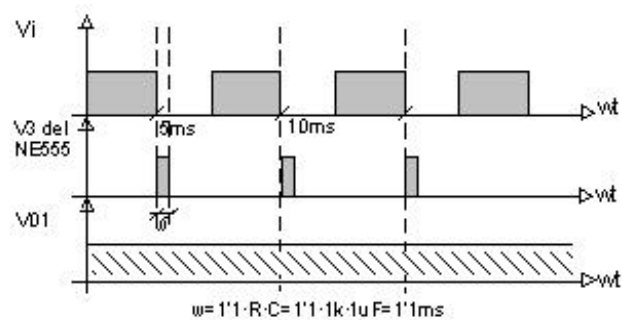


Figura 4

Una vez obtenido este tren de pulsos de anchura constante, se integra con un simple integrador RC, consiguiendo un valor continuo de tensión que refleja en tiempo real el comportamiento frecuencial de la señal.

Por último, se acondiciona la señal colocando un circuito amplificador de tensión de ganancia ajustable mediante un potenciómetro para poder calibrar la señal que se desea obtener una vez integrada y a su vez aislarlo del circuito anterior.

El esquema del circuito completo del medidor de caudal se aprecia en la figura 5.

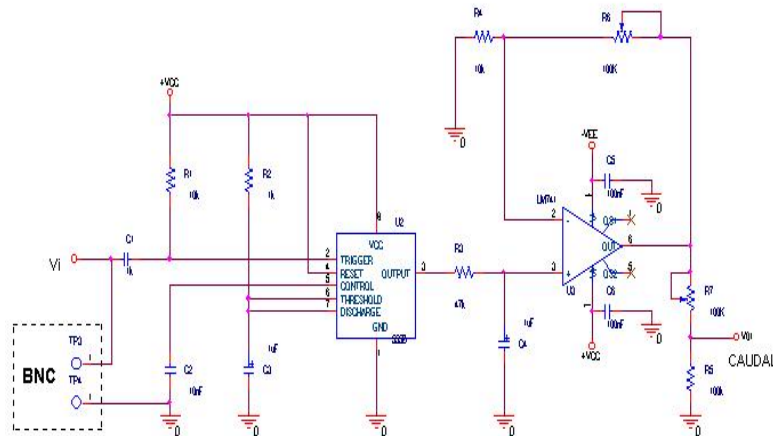


Figura 5

- **Medición de la turbidez**

Aunque en el presente documento no se han realizado ensayos de turbidez, el hardware diseñado si lo contempla para realizarlos en una segunda fase. El haz de luz del sensor que atraviesa la tubería es sensible al medio en el que se transmite. Esto hace que cuanto más turbio sea el fluido en el que se propaga, más débil será la señal recibida por el receptor, por lo que la amplitud de la señal generada estará atenuada como se aprecia en la figura 6.

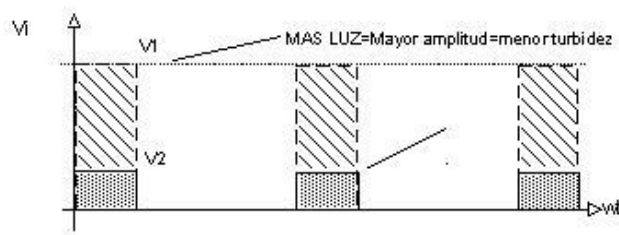


Figura 6

Para captar dicha atenuación, se diseña un circuito de detección de pico como el de la figura 7. Para acondicionar la señal se utiliza un amplificador seguidor para aislar la salida del circuito. Además, se coloca un divisor de tensión variable mediante un potenciómetro para poder ajustar la salida según los valores requeridos por el display y poder calibrarlo posteriormente a los valores necesarios.

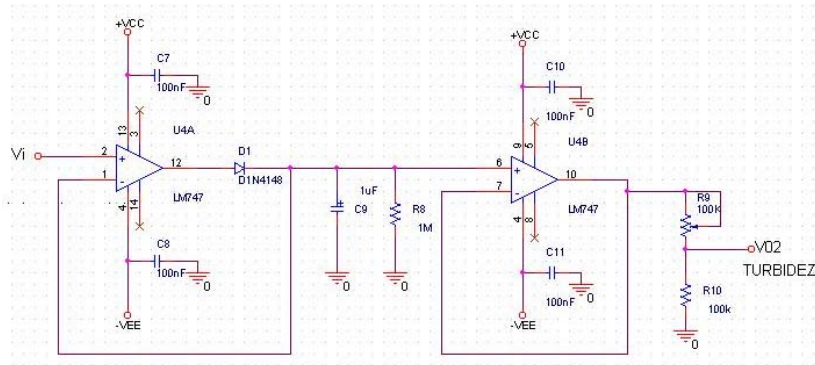


Figura 7

- **Gestión del canal de visualización**

Para evitar la utilización de dos displays para visualizar la salida de cada circuito se ha recurrido a un circuito de gestión de canal. Mediante un pulsador, se realiza la visualización de una u otra señal en un único display.

Para el diseño de dicho sistema de gestión se ha utilizado un multiplexor analógico al que se conectan las salidas de los circuitos de medición de caudal y turbidez respectivamente. Mediante la señal de control generada por un pulsador conectado a un biestable RS y posteriormente a través de un Latch J-K, se canaliza la señal a visualizar hacia el circuito del display LCD (Ver figura 8) .

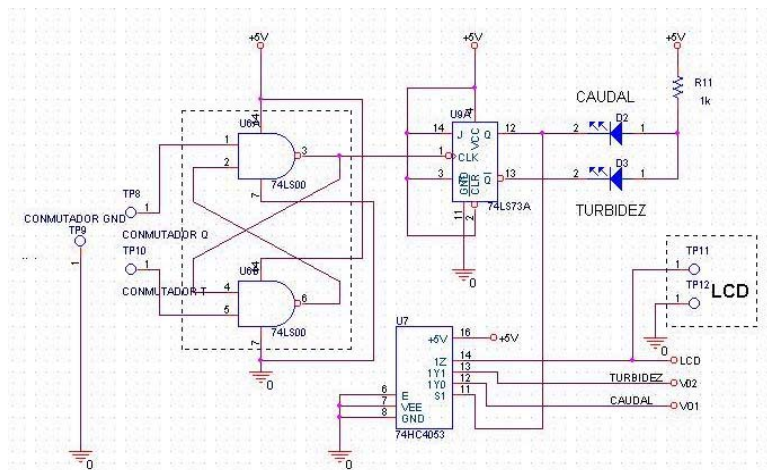


Figura 8

- **Display LCD**

El display LCD comercial utilizado es el DG-31 de la casa comercial Demestres [3], de formato digital, bajo consumo y que cumple los requisitos necesarios para el diseño que se ha

realizado El rango de las señales a visualizar es de 0 a 20Voltios. Inicialmente viene configurado para visualizar señales en un rango entre los 0 y los 199,9mV.

En las hojas características se incluye la posibilidad de cambiar los valores de dos resistencias internas R1 y R2 de su circuito para que éste tenga otro rango de lectura.

- **Circuito de alimentación**

Para alimentar los circuitos electrónicos, se ha diseñado una fuente de alimentación lineal regulada de $\pm 15V$ en un módulo de independiente. Para poder alimentar los integrados tecnología TTL, como son los biestables y el multiplexor analógico, se utiliza el regulador de tensión LM 7805.

2.2 Principios básicos de mecánica de fluidos

Para poder medir con precisión el caudal que circula por un tubo, es necesario que el fluido circule en condiciones de régimen permanente, sin perturbaciones y con un perfil de régimen turbulento. Cualquier tipo de perturbación en la velocidad del fluido, afectará a la precisión del elemento medidor.

Los caudalímetros se calibran en fábrica con una tolerancia de $\pm 2\%$ del rango total de lectura. Cuando se mide el flujo total de fluido en un tiempo determinado, el error total acumulado debe ser considerado. La precisión está basada en las pruebas realizadas en el laboratorio con tubos de dimensiones estándar [4].

Un fluido al circular por un conducto o tubo, lo puede hacer atendiendo a dos tipos básicos de régimen: turbulento y laminar. Un fluido circula en régimen **turbulento** cuando la velocidad a lo largo de toda la sección del tubo es prácticamente constante. Este régimen es típico en fluidos de baja viscosidad, como el agua, fluyendo a alta velocidad. Un fluido circula en régimen **laminar** cuando la velocidad del fluido en el centro del tubo es mayor que la velocidad del fluido en los extremos, es decir, en la pared del tubo. Este tipo de régimen es típico en fluidos de alta viscosidad fluyendo a baja velocidad. Debido a que la mayoría de los caudalímetros convencionales miden la velocidad en las paredes del tubo, es preciso que el fluido circule en régimen turbulento.

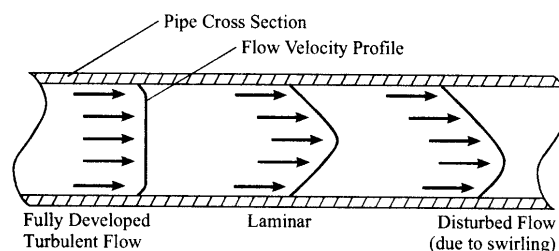


Figura 9

Para determinar el tipo de régimen con el que circula un fluido por un tubo, se utiliza el NUMERO DE REYNOLDS. Este concepto expresa la relación entre la viscosidad y la velocidad del fluido. Para ello, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{NÚMERO DE REYNOLDS} = \frac{D \times V \times \rho}{\mu}$$

D: Diámetro del tubo;
 ρ: Densidad del fluido;

V: Velocidad del fluido
 μ: Viscosidad del fluido

Si el Número de Reynolds es mayor que 4000 significa que estamos ante un fluido en régimen turbulento. Si es inferior a 2000, significa que estamos ante un fluido en régimen laminar. Para poder medir la velocidad de un fluido con precisión, es necesario que el caudalímetro trabaje con un fluido en régimen turbulento.

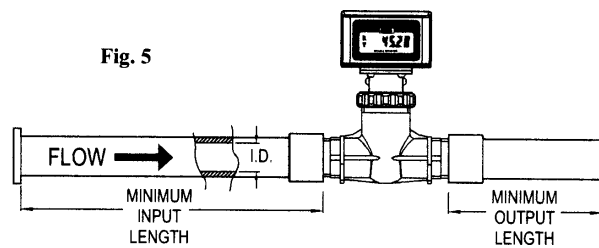


Fig. 5

Figura 10

3 ENSAYOS REALIZADOS

Se han realizado una serie de experiencias con el objetivo de realizar un estudio comparativo entre el diseño realizado y el caudalímetro comercial GPI de la serie A1.

3.1 Ensayos de medidas de caudal

Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla 1:

N° min.	Llave abierta (f = 40Hz)		Llave semiabierta I (f = 32Hz)		Llave semiabierta II (f = 23Hz)		Llave semicerrada I (f = 14Hz)		Llave semicerrada II (f = 11Hz)	
	C. GPI (l/m)	C.F.Optica (l/m)	C. GPI (l/m)	C.F.Optica (l/m)	C. GPI (l/m)	C.F.Optica (l/m)	C. GPI (l/m)	C.F.Optica (l/m)	C. GPI (l/m)	C.F.Optica (l/m)
1	3,75	3,70-3,80	3,00	2,95-3,05	2,17	2,10-2,20	1,21	1,20-1,28	0,84	0,90- 0,93
2	7,47 (3,72)	3,70-3,80	6,02 (3,02)	2,95-3,05	4,34 (2,17)	2,10-2,20	2,43 (1,22)	1,20-1,28	1,68 (0,84)	0,90- 0,93
3	11,22 (3,75)	3,70-3,80	9,04 (3,02)	2,95-3,05	6,47 (2,13)	2,10-2,20	3,64 (1,21)	1,20-1,28	2,53 (0,85)	0,90- 0,93
4	14,94 (3,72)	3,70-3,80	12,00 (2,96)	2,95-3,05	8,60 (2,13)	2,10-2,20	4,85 (1,21)	1,20-1,28	3,37 (0,84)	0,90- 0,93
5	18,65 (3,71)	3,70-3,80	15,00 (3,00)	2,95-3,05	10,75 (2,15)	2,10-2,20	6,09 (1,24)	1,20-1,28	4,21 (0,84)	0,90- 0,93

Tabla 1

El caudalímetro GPI A1 03 no es sensible a caudales inferiores a 1 l/m. Las mediciones se han realizado durante periodos de 1 minuto y durante un tiempo total de 5 minutos. Además, se han realizado ensayos con cinco caudales diferentes y en la columna de cada caudal aparece la medición realizada con el caudalímetro comercial y la realizada con el sistema diseñado.

Los datos referentes a las mediciones realizadas con el caudalímetro de fibra óptica, se expresan en márgenes de valores, debido a que la sensibilidad del hardware diseñado refleja variaciones en la lectura del caudal a nivel del segundo decimal.

En las gráficas que se ilustran a continuación, figuras 11, 12, 13, 14 y 15, se reflejan las señales que se corresponden con los cinco casos ensayados, y cuyos valores numéricos aparecen en la tabla anterior. En cada gráfica, se presentan dos señales: el tren de pulsos generado, y su correspondiente valor analógico después de haber ser integrado.

Las gráficas han sido obtenidas con el osciloscopio analógico-digital HAMEG HM1507 y con el software SP107 V1.61.

4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El sistema diseñado desarrolla un correcto funcionamiento según los requisitos exigidos. Esto implica una correcta medición del caudal, una vez ajustado y calibrado con un medidor de caudal comercial. Se vislumbra una enorme cantidad de aplicaciones donde pueden integrarse los conocimientos adquiridos por los alumnos en electrónica analógica y digital, y las ventajas que aporta la FOP como medio de transmisión de señales. Con ello, pueden diseñarse nuevas prácticas de laboratorio para ser montadas y analizadas convenientemente en el campo de los sensores [5] para poder medir otros tantos parámetros como pueden ser: el pH de una substancia, humedad, temperatura, concentraciones de gases, desplazamientos lineales, nivel de líquidos, toxicidad, etc.

5 REFERENCIAS

[1] J. Yolder “A course in flowmeters ” July 11, 2003

[2] Contrinex, “Photoelectric proximity switch serie 3031”, Contrinex Data Sheet

[3] Demestres, “DG-31. Owner’s Manual”, Demestres Data Sheet

[4] GPI, “Electronic Digital Meter. Owner’s Manual”, Great Plant Industries Data Sheet

[5] J. Zubia, J. Azkue “POFs: An introduction to their technological process and applications”

GRÁFICAS REFERENTES A DIFERENTES CAUDALES DE FLUIDO

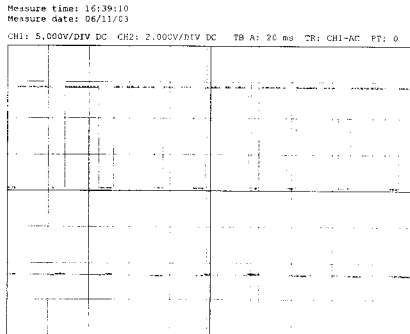


Fig 11 : Frecuencia 39,063 Hz.; Volt. : 3,75V

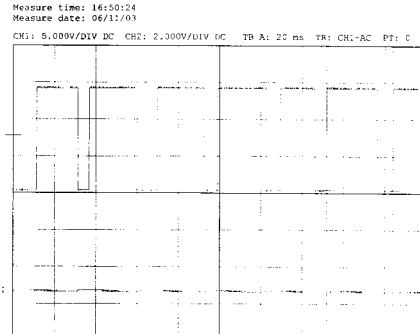


Fig 12 : Frecuencia 31,250 Hz.; Volt. : 3V

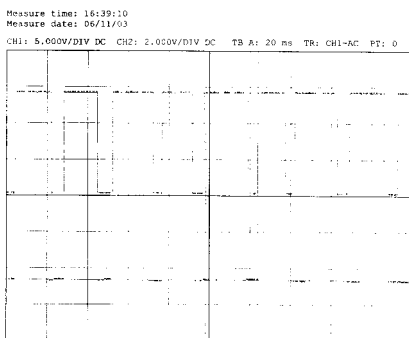


Fig 13 : Frecuencia 22,727 Hz.; Volt. : 2,15V

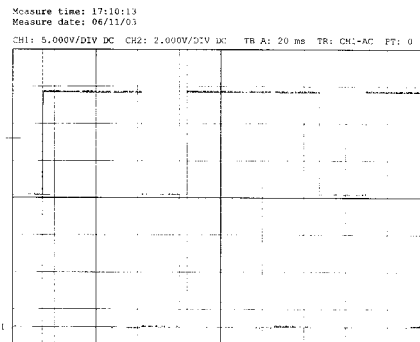


Fig 14 : Frecuencia 14,388 Hz.; Volt. : 1,25V

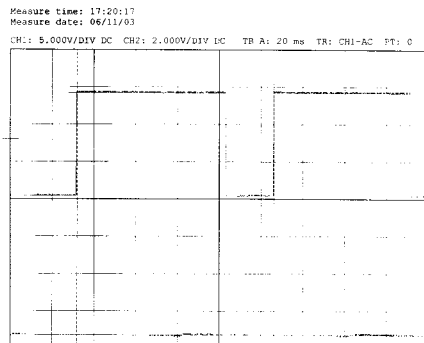


Fig 15 : Frecuencia 10,604 Hz.; Volt. : 0,90V