

 "Inventing Companies"	<p align="center">CORPORACIÓN BUCARAMANGA EMPRENDEDORA Incubadora de Empresas</p>	
	<p align="center">DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CAPNOGRAFO PORTATIL</p>	

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CAPNOGRAFO PORTATIL

P03 DISEÑO Y ELABORACIÓN DEL CIRCUITO ADECUADOR Y FILTRADO DE LA SEÑAL

Actividades

A03-1: Diseño, montaje y pruebas del circuito electrónico para la adquisición de la señal de CO₂ proveniente del sensor.

A03-2: Diseño, montaje y pruebas del circuito electrónico para el control de la bomba y la toma de la lectura de Presión Atmosférica, Temperatura y Flujo.

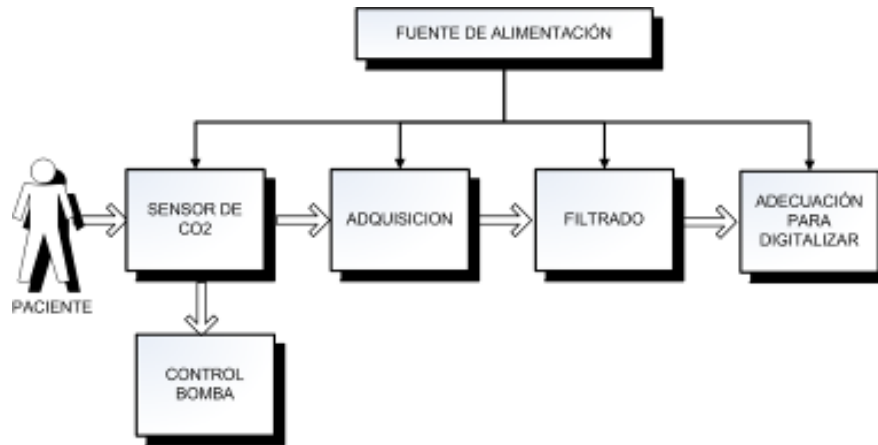
A03-3: Diseño, montaje y pruebas del filtrado analógico de la señal de CO₂.

A03-4: Diseño, montaje y pruebas del circuito electrónico para adecuar la señal de CO₂ para su posterior digitalización.

	CORPORACIÓN BUCARAMANGA EMPRENDEDORA Incubadora de Empresas	
	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CAPNOGRAFO PORTATIL	

METODOLOGIA DE DISEÑO

La metodología a seguir basa su funcionamiento en la división del sistema por etapas. Cada etapa se encarga de mejorar el rendimiento del equipo para la lectura de la concentración de CO₂. La siguiente figura muestra el diagrama de bloques para el circuito adecuador y filtrado de la señal.



El diseño en general se realiza para obtener una herramienta portátil, confiable y con gran autonomía. Como se observa se muestran cinco etapas claramente diferenciadas, las cuales se explican a continuación.

SENSOR

El sensor que se utilizó para el prototipo de Capnógrafo es de marca COMET. La selección del sensor viene dada por una serie de características de la fisiología del cuerpo en el cual se va a utilizar pensando siempre en el objetivo último de lograr la medición en seres humanos.



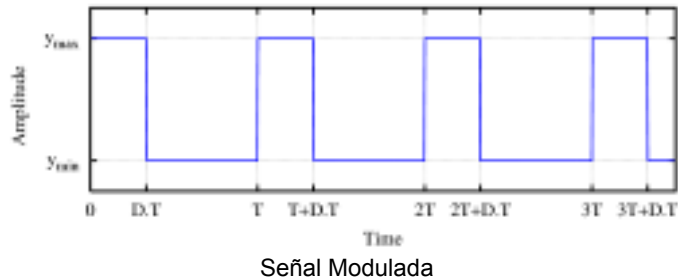
Sensor para Capnógrafo

Esta marca desarrolló un sensor que combina tubos de carbono, dióxido de carbono y la detección de polímeros de silicio para monitorear la respiración humana. El dispositivo puede determinar las concentraciones de dióxido de carbono en aire exhalado. Se puede utilizar para vigilar la respiración de los pacientes durante la cirugía. El sensor entrega los valores de la concentración de CO₂, temperatura, humedad y presión atmosférica en un rango de voltaje de 0 hasta 2,5 Voltios.

CONTROL BOMBA

La bomba tiene como función mantener un flujo de muestreo sobre la línea de paciente dentro del rango establecido como un estándar del Capnógrafo tipo Sidestream con un flujo constante de litros por minuto 60 lpm 150 lpm y 250 lpm. El objetivo de esta etapa es la realización de un modulador de ancho de pulso para variar la intensidad de corriente para la bomba de succión del prototipo de Capnógrafo, utilizando un microcontrolador de la familia 18F PIC.

 <p>"Inventing Companies"</p>	<p>CORPORACIÓN BUCARAMANGA EMPRENDEDORA Incubadora de Empresas</p>	
	<p>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CAPNOGRAFO PORTATIL</p>	



En relación a los motores

La Modulación por ancho de pulsos (MAP en castellano, PWM o Pulse Width Modulation en inglés) es una técnica utilizada para regular la velocidad de giro de los motores eléctricos de inducción o asíncronos. Mantiene el par motor constante y no supone un desaprovechamiento de la energía eléctrica. Se utiliza tanto en corriente continua como en alterna, como su nombre lo indica, al controlar: un momento alto (encendido o alimentado) y un momento bajo (apagado o desconectado), controlado normalmente por relevadores (baja frecuencia) o MOSFET o tiristores (alta frecuencia).

Otros sistemas para regular la velocidad modifican la tensión eléctrica, con lo que disminuye el par motor; o interponen una resistencia eléctrica, con lo que se pierde energía en forma de calor en esta resistencia.

Otra forma de regular el giro del motor es variando el tiempo entre pulsos modulación por frecuencia de pulsos de duración constante.

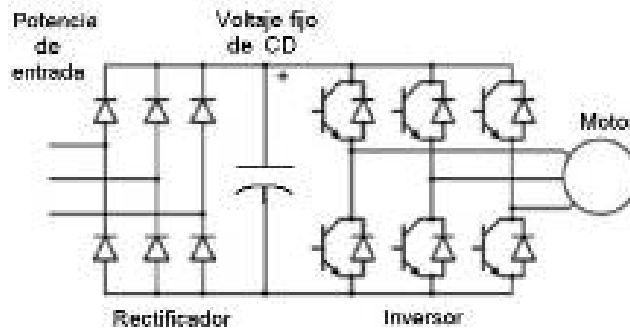


Diagrama de ejemplo de la utilización de la Modulación de Ancho de Pulso (PWM) en un variador de frecuencia

La señal modulada será conectada a la bomba de manera que la intensidad de corriente aumente y disminuya. Y las tensiones serán adaptadas mediante un amplificador operacional.

La modulación de ancho de pulso es una técnica utilizada para controlar dispositivos, o para proveer un voltaje variable de corriente continua. Algunas aplicaciones en las que se utiliza MAP son controles de motores, de iluminación y de temperatura.

La señal generada tendrá frecuencia fija y tiempos de encendido y apagado variables. En otras palabras, el período de la señal se mantendrá constante, pero la cantidad de tiempo que se mantiene en alto y bajo dentro de un período puede variar. La frecuencia del reloj externo es de 4.000.000 Hz. La frecuencia interna es la mitad de la frecuencia externa, o sea unos 2.000.000 Hz. De esta frecuencia interna realizamos un ciclo de procesamiento cada 1024 ciclos del reloj interno. Con lo que obtenemos una frecuencia de procesamiento interno de 1953,125 Hz. O lo que es lo mismo, un ciclo de procesamiento interno cada 0,512 ms.

Un ciclo del modulador consumirá 10 ciclos de procesamiento interno. Por lo que el modular tendrá una frecuencia aproximada de 195 Hz.

	CORPORACIÓN BUCARAMANGA EMPRENDEDORA Incubadora de Empresas	
	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CAPNOGRAFO PORTATIL	

El parámetro “T” el tiempo de un ciclo completo de la modulación. Y “To” es el tiempo de una modulación positiva. Y “T1” es el tiempo de una modulación negativa. $T = T_o + T1$

Diseño:

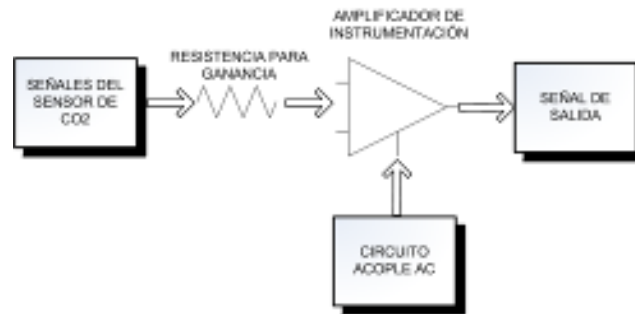
El ciclo de trabajo será variable, inicializado en un 50%, y podrá ser aumentado o disminuido mediante ciclos controlador por programas establecidos al interior del microcontrolador.

Un contador establecido en el programa del microcontrolador tendrá un rango de 0 a 10, incrementándose siempre de a 1. Tendrá un total de 10 incrementos, dados cada 0,5 mseg. (aprox.), dando un período total aproximado de 5 mseg. Para obtener una frecuencia de salida aproximada de 200Hz.

ETAPA DE ADQUISICIÓN

Las funciones de esta etapa son: llevar el voltaje recibido por el sensor a un nivel aceptable, proteger la señal de interferencia y de señales de modo común. Además, dada la aplicación, se considera conveniente mover el cero de referencia para diferenciar un nivel de señal cero y un cero provocado por malfuncionamiento del equipo.

A continuación se presenta el diagrama de bloques para la etapa de adquisición:

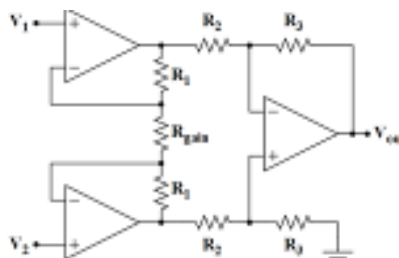


Una vez la señal es enviada por el sensor es recibida por el amplificador de instrumentación quien amplifica esta señal. Adicional a esto, se adiciona un circuito de acople AC, para la eliminación del offset de la línea de 120V - 60Hz.

Las anteriores implicaciones llevan a la selección del uso de amplificadores de instrumentación encapsulados. Un amplificador de instrumentación es un dispositivo creado a partir de amplificadores operacionales. Está diseñado para tener una alta impedancia de entrada y un alto rechazo al modo común (CMRR). Se puede construir a base de componentes discretos o se puede encontrar encapsulado.

Estructura:

En la siguiente figura se muestra la estructura de un amplificador de instrumentación:



Esquemático de un amplificador de instrumentación

	CORPORACIÓN BUCARAMANGA EMPRENDEDORA Incubadora de Empresas	
	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CAPNOGRAFO PORTATIL	

Es muy utilizado para amplificar señales débiles en hospitales y centros de urgencia, ejemplo: electrocardiograma y en muchas aplicaciones industriales. Al existir realimentación negativa se puede considerar un cortocircuito virtual entre las entradas inversora y no inversora (símbolos - y + respectivamente) de los dos operacionales. Por ello se tendrán las tensiones en dichos terminales y por lo tanto en los extremos de la resistencia R_g .

Así que por ella circulará una corriente $I_g = (V_2 - V_1) \left(\frac{1}{R_g} \right)$

Y debido a la alta impedancia de entrada del Amplificador Operacional, esa corriente será la misma que atraviesa las resistencias R_1 . Por lo tanto la tensión que cae en toda la rama formada por R_g , R_1 y R_1 , será:

$$V_{intermedia} = \frac{(V_2 - V_1)}{R_g} (R_g + 2R_1) = (V_2 - V_1) \left(\frac{R_g}{R_g} + \frac{2R_1}{R_g} \right)$$

Simplificando:

$$V_{intermedia} = (V_2 - V_1) \left(1 + \frac{2R_1}{R_g} \right)$$

Que será la diferencia de tensión entre la salida inmediata de los dos Amplificadores Operacional (justo antes de las R_2). Puesto que el resto del circuito es un restador de ganancia la unidad ($R_2=R_3$) su salida será exactamente la diferencia de tensión de su entrada (sin añadir ganancia), la cual se acaba de definir.

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \left(1 + \frac{2R_1}{R_g} \right)$$

Se ha simplificado la expresión dando valores iguales a las resistencias. En caso de que las resistencias no sean iguales, la ganancia total del amplificador de instrumentación será:

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \left(1 + \frac{2R_1}{R_g} \right) \frac{R_3}{R_2}$$

En circuitos integrados suele encapsularse todo excepto la resistencia R_g para poder controlar la ganancia. También puede sustituirse la conexión a tierra por otra a una tensión dada.

Aplicaciones:

- Para acondicionar la salida de un puente de Wheatstone.
- Para amplificar señales eléctricas biológicas (por ejemplo en electrocardiogramas).
- Como parte de circuitos para proporcionar alimentación a corriente constante.
- En fuentes de alimentación.

La operación que realiza es la resta de sus dos entradas multiplicada por un factor.

Con estos amplificadores se logra las siguientes ventajas de funcionamiento: alta linealidad y precisión en la ganancia, alto factor de rechazo en modo común CMRR, alto factor de rechazo a variaciones de la Fuente (PSRR), y finalmente bajo consumo de potencia.

Todas estas características unidas contribuyen a los criterios generales de diseño expuestos anteriormente. La configuración seleccionada expresa su ganancia por medio de la siguiente ecuación:

$$A_v = 5 + \frac{200K\Omega}{R_g}$$

En el equipo, el valor de ganancia se fija en 105 V/V, con la que es posible llevar la señal a niveles de decenas de mV. Si bien este valor puede parecer bajo, es necesario tener en mente que ajustar un valor más grande de ganancia amplifica tanto la señal como el ruido, por ende puede verse comprometida la integridad de la señal.

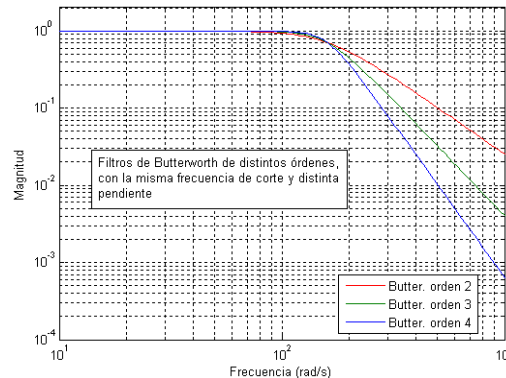
Finalmente se decide ajustar el offset a un valor que permita un amplio rango de excursión a la señal proveniente del sensor. Este valor se fija en 1.47 V, permitiendo la máxima excursión de señal posible gracias a que el amplificador seleccionado permite variaciones hasta niveles cercanos al valor de alimentación.

	CORPORACIÓN BUCARAMANGA EMPRENDEDORA Incubadora de Empresas	
	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CAPNOGRAFO PORTATIL	

ETAPA DE FILTRADO

Una vez se lleva a cabo la recepción de la señal en la etapa anterior es necesario liberarla al máximo de posibles interferencias externas y ruido presente. Como la señal proveniente del sensor trabaja en el rango de bajas frecuencias se decide implementar un filtro pasabajas tipo Butterworth.

El filtro de Butterworth es uno de los filtros electrónicos más básicos, diseñado para producir la respuesta más plana que sea posible hasta la frecuencia de corte. En otras palabras, la salida se mantiene constante casi hasta la frecuencia de corte, luego disminuye a razón de $20n$ dB por década (ó $\sim 6n$ dB por octava), donde n es el número de polos del filtro.



Filtros de Butterworth de varios órdenes

Descripción:

El filtro de Butterworth más básico es el típico filtro paso bajo de primer orden, el cual puede ser modificado a un filtro pasa alto o añadir en serie otros formando un filtro pasa banda o elimina banda y filtros de mayores órdenes.

Según lo mencionado antes, la respuesta en frecuencia del filtro es máximamente plana (con las mínimas ondulaciones) en la banda pasante. Visto en un diagrama de Bode con escala logarítmica, la respuesta decae linealmente desde la frecuencia de corte hacia menos infinito. Para un filtro de primer orden son -20 dB por década (aprox. -6 dB por octava).

El filtro de Butterworth es el único filtro que mantiene su forma para órdenes mayores (sólo con una caída de más pendiente a partir de la frecuencia de corte).

Este tipo de filtros necesita un mayor orden para los mismos requerimientos en comparación con otros, como los de Chebyshev o el elíptico.

Diseño

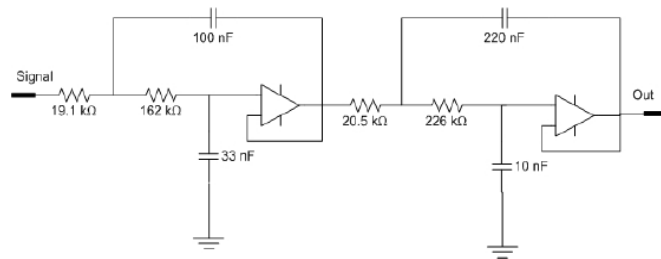
Si llamamos H a la respuesta en frecuencia, se debe cumplir que las $2N-1$ primeras derivadas de $|H(\Omega)|^2$ sean cero para $\Omega = 0$ y $\Omega = \infty$. Únicamente posee polos y la función de transferencia es:

$$|H(\Omega)|^2 = \frac{1}{1 + (\Omega/\Omega_c)^{2N}}$$

Donde N es el orden del filtro, Ω_c es la frecuencia de corte (en la que la respuesta cae 3 dB por debajo de la banda pasante) y Ω es la frecuencia analógica compleja ($\Omega = j\omega$). El diseño es independiente de la implementación, que puede ser por ejemplo mediante células de Sallen-Kay o Rauch, componentes discretos, etc.

El parámetro de frecuencia de corte se definió de tal forma que permita el paso de la señal de interés, que se encuentra en la banda de 0 a 10 Hz, y a su vez atenuar el ruido de 60 Hz, presente en cualquier dispositivo electrónico.

 <p>Inventing Companies</p>	<p>CORPORACIÓN BUCARAMANGA EMPRENDEDORA Incubadora de Empresas</p>	
	<p>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CAPNOGRAFO PORTATIL</p>	

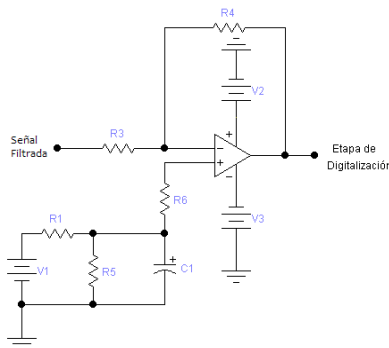


Filtro pasabajas

Las pruebas de laboratorio arrojan los resultados de la relación salida/entrada cuando se varía la frecuencia de la señal de entrada. Estos resultados muestran una frecuencia de corte 52 Hz, acorde con los criterios de diseño planteados.

ETAPA ADECUACIÓN PARA DIGITALIZAR

Debido a las condiciones de fabricación de los conversores Análogos Digitales (TTL), debe adecuarse la señal de CO₂ con un offset de desplazamiento que garantice un comportamiento entre 0 y 5 Voltios; rango de voltaje óptimo para la digitalización de la señal.



El circuito adecuador de señal es un modelo simple de “summing amplifier” al cual se le suministra un voltaje de referencia de 1.5 Voltios, que desplaza las señales captadas por el sensor a un nivel mayor de voltaje sin afectarla ni en sus componentes de frecuencia y amplitud.

Circuito Adecuador para la Conversión Análoga Digital

A continuación se muestra el circuito en Protoboard de las etapas mencionadas anteriormente:



	<p align="center">CORPORACIÓN BUCARAMANGA EMPRENDEDORA Incubadora de Empresas</p>	
	<p align="center">DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CAPNOGRAFO PORTATIL</p>	

CONCLUSIONES

Con las etapas mencionadas anteriormente, las señales emitidas por el sensor de CO₂ están listas para ser digitalizadas para su posterior tratamiento y registro.

Se utiliza una etapa de eliminación de ruido de 60Hz que en algún momento puede llegar a alterar las señales emitidas por el sensor de CO₂.

Atentamente,

Jaime Andrés Rincón

JAIMES ANDRÉS RINCÓN
Emprendedor