

## ESTIMACION DE PARAMETROS DE LA CIRCULACION PULMONAR A PARTIR DE LAS OSCILACIONES CARDIACAS DEL AIRE INTRABRONQUIAL

Dr C González Beltrán\* y M en C A Zarzosa Pérez. Laboratorio de Biofísica, Facultad de Ciencias, UNAM. \* También División de Informática, Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez".

### Introducción

El corazón es un órgano muscular cuyas propiedades anatómicas y fisiológicas le permiten comportarse como una doble bomba. Por contracciones rítmicas impusa el flujo sanguíneo a los dos sistemas circulatorios: el pulmonar y el sistémico. En los vertebrados de respiración exclusivamente pulmonar, el corazón está situado dentro de la cavidad torácica, detrás del esternón y entre los pulmones.

El aparato respiratorio puede dividirse en una parte extratorácica y otra intratorácica. Dentro del tórax, la parte inferior de la tráquea se divide en dos bronquios que se bifurcan en forma sistemática e irregular en conductos más pequeños hasta llegar a la superficie de los alvéolos en los pulmones. Esta división en "ramas" de las vías respiratorias se conoce como árbol respiratorio.

En los pulmones se verifica el intercambio básico de gases y el oxígeno del aire inspirado es movilizado hacia los alvéolos. Los vasos sanguíneos de la circulación pulmonar tienen la misma morfología que las vías respiratorias, y se dividen una y otra vez hasta llegar a la superficie respiratoria, donde la sangre y el aire están en contacto, separadas tan sólo por dos capas muy delgadas de células.

### Circulación y respiración

La circulación está muy relacionada con la respiración: enlaza el transporte entre los pulmones y los tejidos, los dos sitios de intercambio gaseoso. En cuanto a la relación entre corazón y pulmones, se debe tomar en cuenta que, siendo el tórax una cavidad rígida, los movimientos del corazón repercuten en cambios en la presión del aire de las vías respiratorias. De aquí que en el árbol respiratorio se consideren dos tipos de perturbaciones: una debida concretamente a la mecánica respiratoria cuyos orígenes son los músculos del tórax y los movimientos del diafragma, y otra de origen cardiaco, que involucra a la arteria pulmonar y ramas capilares, las arterias bronquiales, la torsión del corazón y el contacto entre la aorta y los bronquios (Fig 1).

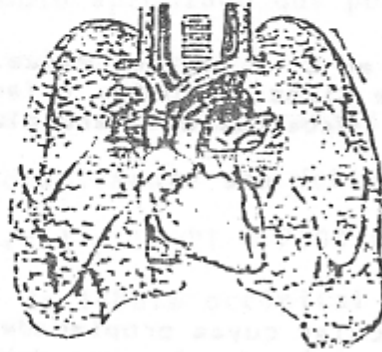


Fig 1. Viste frontal del corazón y los pulmones.

Son precisamente estas perturbaciones de origen cardíaco las que se piden, pueden proveer información de la función del corazón mismo, o bien permitir la adecuada caracterización de sus parámetros, inscribiéndose así dentro de los métodos de estudio del corazón. De la necesidad de medir la presión sanguínea no invasivamente, se han derivado varios métodos, indirectos y con inexactitudes, pero de utilidad en la clínica. En un intento de obtener información acerca de la función cardiopulmonar por medios no invasores, conociendo el método de la esfigmomanometría y la relación que hay entre el corazón y los pulmones, surge la idea de que se podría considerar a los pulmones como el mango por el que se obtiene información de las presiones en las estructuras internas al tórax, específicamente las del árbol arterial pulmonar.

#### Métodos de estudio

Las actividades mecánica y eléctrica del corazón no obstante su complejidad, han sido estudiadas ampliamente. En cuanto a la primera se consideran el carácter de bomba del corazón, los cambios de presión, el papel de las válvulas, etc, y con respecto a la segunda, una serie de eventos que ocurren durante lo que se conoce como ciclo cardíaco han sido caracterizados. Un número considerable de procedimientos para el estudio del corazón, se efectúan exclusivamente por medios físicos y caen dentro de dos categorías: estudios por medios naturales, y estudios por medios artificiales. En los primeros se emplean las señales de diferente naturaleza producidas por la actividad del corazón; en los segundos se recurre a señales externas. El neumocardiograma se inscribe dentro de los primeros, como puede verse de la siguiente tabla:

ESTUDIOS	ESTUDIOS
Por medios naturales	Por medios artificiales
Presiones Estigmometría Cateterismo	Rayos X Radiografía Cineangiografía Tomografía axial
Vibraciones de la pared torácica Estetoscopia Fonocardiografía Auscultografía	Ultrasonido Ecodardiografía
Movimiento corporal Balistocardiografía	Radiotelemedicina Sismografía
Potenciales eléctricos Electrocardiografía	Corriente AC Pletismografía de impedancia
Campos magnéticos Magnetocardiografía	Resonancia magnética nuclear Tomografía
Oscilaciones del aire en vías respiratorias Neumocardiografía	

Tabla 1. Relación de métodos de estudio del corazón.

El estudio de la acción del corazón sobre el flujo respiratorio se inició desde hace más de un siglo. Primeramente se encontró en estudios en apnea, que el aire oscilaba a la misma frecuencia que el pulso y estas oscilaciones se asociaron a la actividad cardíaca, por lo que se les dió el nombre de cardioneumáticas. Enseguida se obtuvieron los primeros trazos de estas perturbaciones y se conocen como neumocardiogramas. La figura 2 muestra un registro poligráfico de la presión en vías respiratorias en ciertas condiciones; puede observarse que mientras la presión promedio tiene una amplitud de 15 mm Hg, la amplitud del rizo que contiene la señal neumocardiográfica es aproximadamente de 1.0 mm Hg.

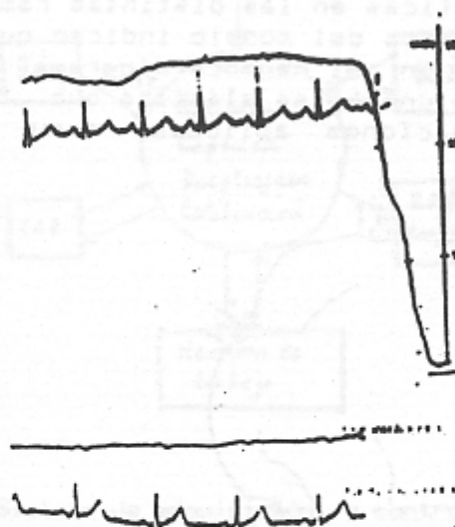


Fig 2. Registro de presión intratorácica en apnea.

Los neumocardiogramas han sido objeto de preocupación y sus principales componentes se han caracterizado para entenderlos más a fondo sin embargo, el estudio de estos registros es muy incompleto quizá porque no es fácil de abordar desde un punto de vista médico; una visión física del problema podría esclarecer muchas dudas.

Estudios recientes intentan establecer su aplicación en la clínica en función de la forma, amplitud y periodo de sus varias componentes. Particularmente, en lo que se refiere al problema que aquí se presenta, se tiene que el objetivo final del estudio del fenómeno es determinar la utilidad clínica del neumocardiograma. Si bien es cierto que el conocimiento de las presiones en la arteria pulmonar tiene un valor clínico bien establecido, en la actualidad sólo puede obtenerse con precisión por medio de cateterismo cardiaco. De aquí la necesidad de resolver lo siguiente:

- establecer cómo es que se originan y se transmiten las oscilaciones del aire en las vías respiratorias
- desarrollar un sistema de registro

En una tesis desarrollada en este Laboratorio (Puente Leos, 1985), se hace un análisis basado en los principios de la física clásica para poder llegar a un modelo del fenómeno y después, con apoyo de la computación, ampliar el conocimiento del mismo. En base al conocimiento de la morfología del árbol respiratorio se presenta el arreglo geométrico de éste y se exponen algunas de sus consecuencias funcionales. Se caracteriza la transmisión de ondas en el árbol bronquial, tras considerar a éste como un sistema de tubos que se bifurcan, con la cual van disminuyendo su diámetro.

Se formula un modelo físico para el que se determinan los valores de las impedancias acústicas en las distintas ramas del árbol respiratorio. Los resultados del modelo indican que para las bajas frecuencias presentes en el neumocardiograma, el árbol respiratorio se comporta como una bolsa elástica que transmite a la boca todas las perturbaciones aplicadas a su superficie (Fig 3).

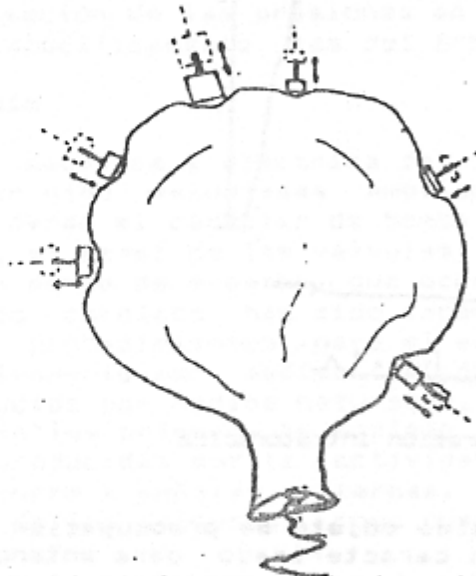


Fig 3. Modelo de la generación de perturbaciones en el árbol respiratorio.

### Procedimiento experimental

El registro del neumocardiograma implica el registro de la presión en la boca o en la nariz, resultando una señal ac de baja frecuencia ( $<20\text{Hz}$ ), e intensidad, con la periodicidad del latido cardíaco. La señal se registra en dos partes: una alterna y una directa. La primera contiene el neumocardiograma y la segunda proporciona el valor de la presión intratorácica a la que se hace el registro. La captura de neumocardiogramas se acompaña del registro de otras señales: electrocardiograma, pulso carotídeo, apexcardiograma, fonocardiograma y volumen torácico.

El manejo simultáneo de señales requiere entonces de un sistema de adquisición y control que sea interactivo y adecuado a las facilidades que se dan en microcomputadoras (Fig 4). La captura se hace en tiempo real, con control de los parámetros tanto de captura como de procesamiento. De hecho, la captura de las diferentes señales se hace a diferentes velocidades. La información debe estar estructurada de forma que se facilite su análisis. Los archivos correspondientes se almacenan para ser procesados posteriormente.

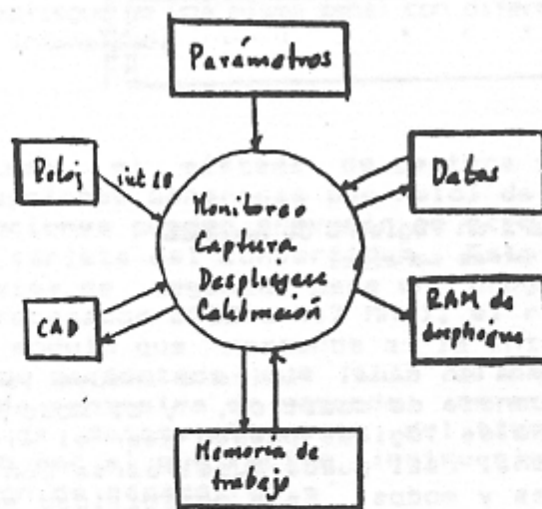
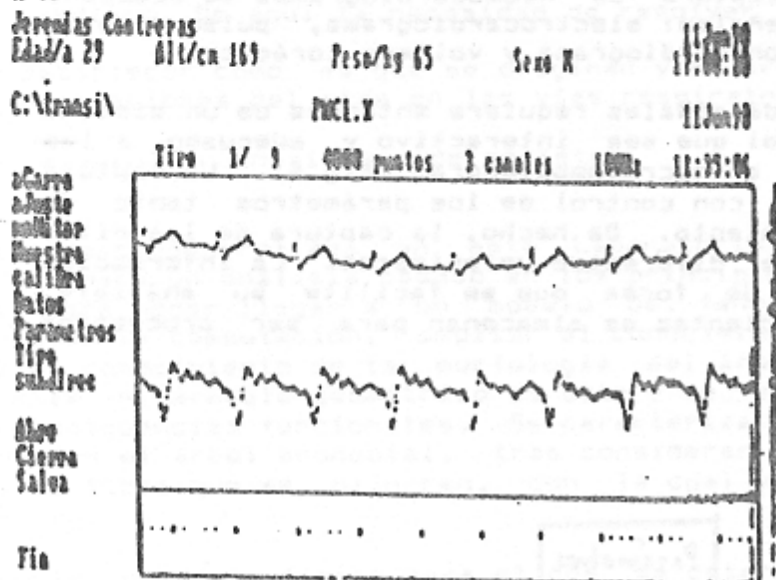


Fig 4. Sistema de adquisición y control para el manejo simultáneo de señales.

Se cuenta con una ventana gráfica, en la que los trazos de las señales se desplazan como en un sistema de monitoreo. La Fig 5 muestra la carátula que se da en pantalla para un registro. El menú muestra que se puede tener control sobre la captura de los datos del paciente "D", sobre la entrada y salida de datos desde disco: subdirectorios "I", abre "A", cierra "C", salva "S" (archivos). El control de captura de las señales cambia automáticamente el número de evento (tiro "T") aunque se puede llamar cualquier evento del que se tenga registro. Permite además de la

captura "G" propiamente dicha, el ajuste "J", monitoreo "N", calibración "B" y parámetros "P" de las señales. También es posible pasar del estado de monitoreo a mostrar la señal "M" desde que se inició su captura, como también de señales grabadas con anterioridad. En cuanto a los parámetros "P", el sistema considera un número de canales físicos de adquisición de datos, canales lógicos y ventana de despliegue de la información.



(F) para detener el despliegue

Fig. 5. Carátula para un registro de neumocardiograma y otras señales.

Un canal lógico se refiere a un canal físico e incluye la amplificación de la señal, frecuencia de muestreo, y el modo (AC o DC) de captura. Dos o más canales lógicos pueden usar el mismo canal físico. Así, la misma señal real puede muestrearse con diferentes amplitudes, frecuencias y modos. Esta posibilidad se facilita empleando una tarjeta de adquisición de señales de diseño y construcción propios.

Cada ventana de despliegue puede incluir a su vez, uno o más canales lógicos; es posible que un canal aparezca en más de una ventana. Cada ventana tiene un tamaño y una frecuencia propia de despliegue de información. En cuanto a la aplicación en neumocardiograma, se usa solo una ventana. En la figura 6 se muestran dos impresiones de pantalla en las que la misma señal se despliega con diferente densidad. En esta ventana se muestra, de arriba hacia abajo, el electrocardiograma, la parte alterna de la señal de presión, y la señal de presión DC.

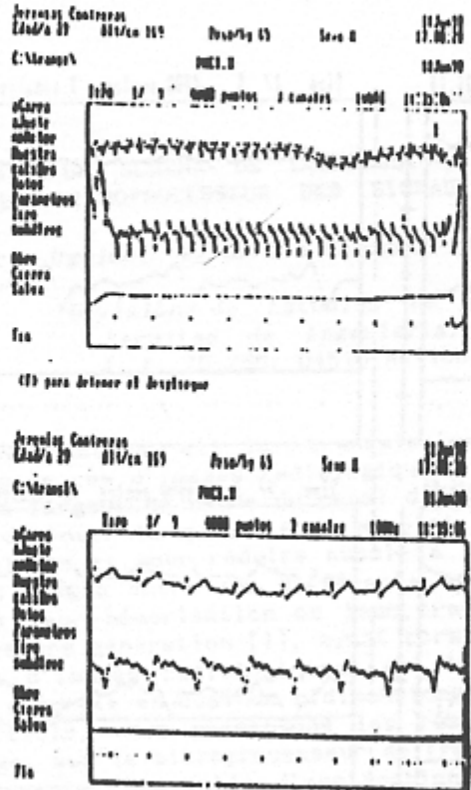


Fig 6. Despliegue de una misma señal con diferente intensidad.

En la versión actual, el sistema de captura y despliegue está regido por interrupciones generadas por reloj de la microcomputadora. Las interrupciones pueden provenir de otro reloj, por ejemplo a bordo de la tarjeta del convertidor. Esto es, cada cierto tiempo (una centésima de segundo para un programa que funciona en una PC con coprocesador 8088 a 4.7 MHz), el reloj genera interrupciones y el módulo que responde a la interrupción efectúa una función con los parámetros que fija el programa principal; de esta forma, cada centésima de segundo, se actualiza la pantalla y la captura de datos. El resto del tiempo, el programa atiende el teclado por el que recibe instrucciones de cambio de modo o de variación de parámetros.

### Resultados

En la figura 7 se muestran los registros de neumocardiograma obtenidos a diferentes presiones intratorácicas. Puede apreciarse el cambio en la morfología de la señal en distintas condiciones.

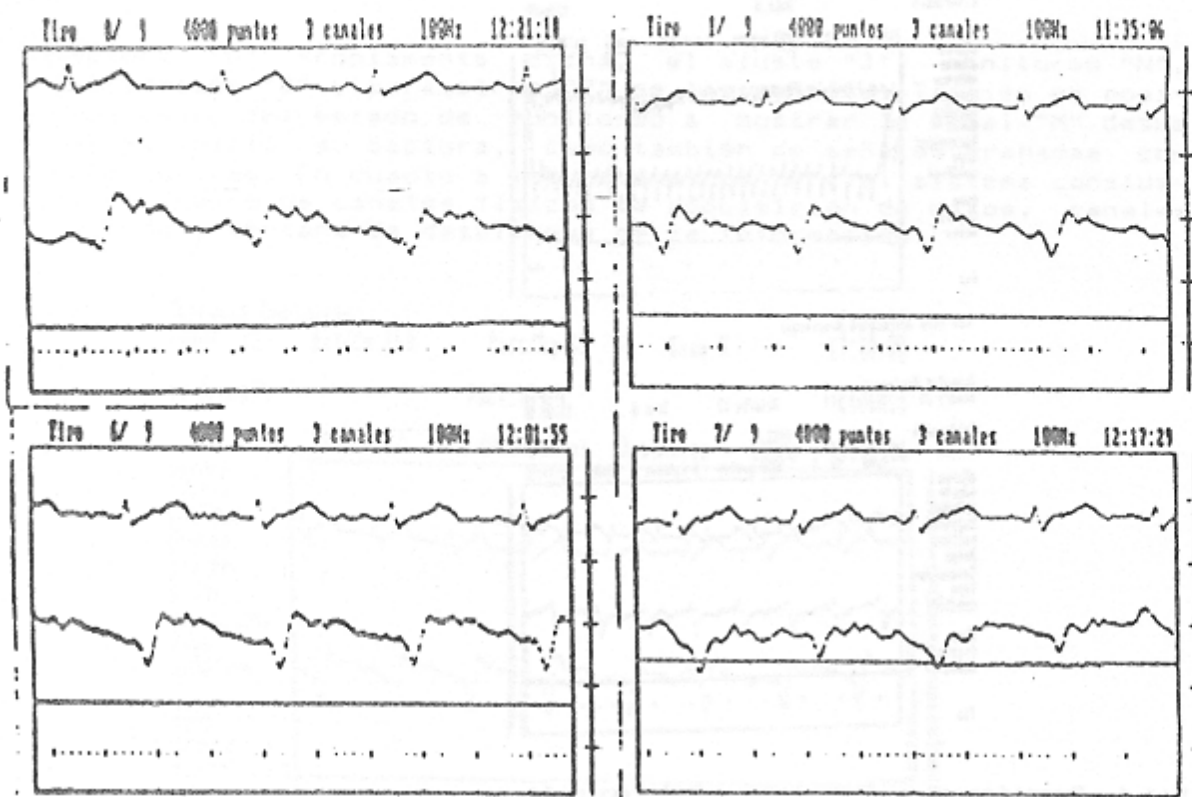


Fig 7. Registros de neumocardiograma a diferentes presiones intratorácicas.

El trabajo actual está dirigido a identificar el origen de cada una de las ondas que constituyen el neumocardiograma, con el fin de identificar aquellas que puedan estar relacionadas con las presiones en el árbol pulmonar. Para su integración se están usando técnicas usuales de filtrado y clasificación de señales.

En la fase actual del proyecto se están recogiendo resultados de individuos normales.

#### Bibliografía

González Beltrán C, Ridaura Sáenz R, García Moreira C, Marín JA, Gil M. Memorias del XXIII Congreso Nacional de Investigación en Física, Nov de 1980, pg 116.

Puente Leos ME. Tesis Profesional de Física. Facultad de Ciencias, UNAM, 1985.