

**SISTEMA COMPUTARIZADO DE BAJO COSTO PARA EL ANALISIS  
HEMODINAMICO CENTRAL.**

---

**Delgado Vallejo A., Gil Moreno M., Mondragón Solís J.,  
\*González Beltrán C., García Moreira C., Sosa Cassani J..**

Departamentos de Informática y Hemodinámica  
Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez  
\*Departamento de Biofísica, UNAM

**RESUMEN**

---

Se describe un sistema de bajo costo para el análisis en tiempo real de datos de cateterismo cardiaco y el análisis en tiempo diferido de volúmenes ventriculares implementado ahora en una microcomputadora compatible con IBM PC. El costo es solo el 10% de cualquier sistema comercial con el mismo propósito. Los programas fueron escritos en Pascal por su caracter modular y autodocumentado. El sistema ha estado operando rutinariamente en una de las salas de cateterismo del departamento de Hemodinámica durante los últimos 4 años. Las medidas obtenidas con la computadora han sido validadas comparándolas con las

- 1.-Usar una micro-computadora de propósito general y fabricación nacional.
- 2.-Usar circuitos de fácil adquisición en el medio.
- 3.-Aplicar criterios fisiológicos y biofísicos seleccionados, por los propios hemodinamistas.
- 4.-Utilizar un lenguaje estructurado.
- 5.-Admitir fácilmente la incorporación de nuevos criterios de medida, o de nuevos modelos físicos y matemáticos.
- 6.-Permitir la introducción en forma sencilla y accesible de cambios en los despliegues de video e informes impresos.

En 1981, la computadora Apple II era la única con las características deseadas, y por lo tanto el sistema fue desarrollado originalmente en esa máquina en "Pascal para Apple". Más tarde los programas fueron traducidos a Turbo Pascal para correr en una microcomputadora compatible con IBM PC bajo el sistema operativo MS-DOS.

Actualmente, el sistema consta de dos componentes: Subsistema de Cateterismo y Subsistema de Angiocardiografía. El primero de éstos se utiliza en "tiempo real", es decir, mientras se realiza la exploración hemodinámico-angiográfica. El segundo se utiliza en "tiempo diferido", luego de terminada aquélla.

#### MATERIAL

Las señales de Presión (P) y Electrocardiograma (ECG) se obtienen de un polígrafo convencional marca "Electronics for Medicine" modelo "VR-12", con amplitud cercana a 1 volt.

El proceso computacional está ahora implementado en una computadora personal compatible con IBM-PC, memoria central con capacidad de 512 mil caracteres (512 K) y equipada con dos unidades de disco flexible intercambiables de 12 cm. (5 1/4 ") de diámetro, con capacidad para almacenar 360 mil caracteres cada una.

Para los despliegues gráficos transitorios (textos, señales o gráficas) se utiliza la pantalla de video de la micro-computadora que tiene una resolución de 200 líneas horizontales con 640 puntos cada una.

Para la impresión de informes, gráficas o registros permanentes sobre papel común se utiliza una impresora gráfica marca "Ati Jr." la cual tiene una resolución de 3 puntos por milímetro.

La captura de las señales de Presión (P) y

Electrocardiograma (ECG) se efectúa mediante conversión de analógico a digital en un circuito comercial incorporado como tableta adicional dentro de la micro-computadora. Se toma una muestra de la señal cada 5 milisegundos (200 muestras por segundo), cuyo valor digital tiene una resolución de 1/1024.

Para la captura de perfiles ventriculares se utiliza una tableta digitalizadora marca "Houston Instrument" modelo "Hipad".

### SUBSISTEMA CATEETERISMO

Este subsistema captura, procesa y guarda curvas de presión, acepta datos de paciente, datos de oximetría y resultados de coronariografía y ventriculografía y los combina para calcular una serie de parámetros que se almacenan en el archivo de paciente y para generar varios reportes incorporando gráficas que pueden ser desplegadas en video o bien mandadas a una impresora de punteo. La operación del subsistema es manejada en base a menús y es iniciada por el usuario al introducir el minidisco correspondiente en la unidad maestra (rotulada así) o llamando al programa central HEMO. El control se puede pasar a otro programa mediante instrucciones adecuadas, pero finalizada la ejecución de su tarea, el programa regresa automáticamente a desplegar el menú maestro de modo que resulte bien claro el nivel de actividad en que se halle el Subsistema en todo instante.

La estructura principal del Subsistema Cateterismo es la siguiente:

- Captura de Señales
  - (menú de cavidades y vasos)
- Análisis de las Curvas de Presión
- Captura manual de datos:
  - Datos de Paciente
  - Datos de Oximetría
  - Datos sobre coronarias
  - Datos sobre ventriculograma izquierdo
  - Texto
- Revisión de Señales y Parámetros
- Generación de Informes:
  - Hemodinámico
  - Curvas de Presión
  - Diagrama del Corazón
  - Texto
  - Curvas de Función Ventricular
  - Gradiente de Presiones
  - Coronarias
  - Ventriculograma Izquierdo.

### CAPTURA DE SEÑALES DE PRESION Y ECG

Es esta la tarea principal del Subsistema de Cateterismo. La señal de ECG y hasta dos señales de presión se digitalizan durante 10 segundos para la cavidad o vaso elegido. Es posible registrar y guardar los datos mas de una vez para una cavidad o vaso dado. La señal de ECG es después procesada por un algoritmo

Electrocardiograma (ECG) se efectúa mediante conversión de analógico a digital en un circuito comercial incorporado como tableta adicional dentro de la micro-computadora. Se toma una muestra de la señal cada 5 milisegundos (200 muestras por segundo), cuyo valor digital tiene una resolución de 1/1024.

Para la captura de perfiles ventriculares se utiliza una tableta digitalizadora marca "Houston Instrument" modelo "Hípad".

#### SUBSISTEMA CATETERISMO

Este subsistema captura, procesa y guarda curvas de presión, acepta datos de paciente, datos de oximetría y resultados de coronariografía y ventriculografía y los combina para calcular una serie de parámetros que se almacenan en el archivo de paciente y para generar varios reportes incorporando gráficas que pueden ser desplegadas en video o bien mandadas a una impresora de punteo. La operación del subsistema es manejada en base a menús y es iniciada por el usuario al introducir el minidisco correspondiente en la unidad maestra (rotulada así) o llamando al programa central HEMO. El control se puede pasar a otro programa mediante instrucciones adecuadas, pero finalizada la ejecución de su tarea, el programa regresa automáticamente a desplegar el menú maestro de modo que resulte bien claro el nivel de actividad en que se halle el Subsistema en todo instante.

La estructura principal del Subsistema Cateterismo es la siguiente:

- Captura de Señales
  - (menú de cavidades y vasos)
- Análisis de las Curvas de Presión
- Captura manual de datos:
  - Datos de Paciente
  - Datos de Oximetría
  - Datos sobre coronarias
  - Datos sobre ventriculograma izquierdo
  - Texto
- Revisión de Señales y Parámetros
- Generación de Informes:
  - Hemodinámico
  - Curvas de Presión
  - Diagrama del Corazón
  - Texto
  - Curvas de Función Ventricular
  - Gradiente de Presiones
  - Coronarias
  - Ventriculograma Izquierdo.

#### CAPTURE DE SEÑALES DE PRESION Y ECG

Es esta la tarea principal del Subsistema de Cateterismo. La señal de ECG y hasta dos señales de presión se digitalizan durante 10 segundos para la cavidad o vaso elegido. Es posible registrar y guardar los datos mas de una vez para una cavidad o vaso dado. La señal de ECG es después procesada por un algoritmo

"Análisis de las Curvas de Presión" en el menú maestro (o de control) e inmediatamente se despliegan en pantalla las curvas de presión con sus accidentes más importantes marcados. Las medidas tomadas se almacenan en el archivo de paciente.

#### CAPTURA MANUAL DE DATOS

Seleccionando la opción "Datos de Paciente" en el menú principal, el programa solicita sucesivamente los siguientes datos: número de registro, sexo, edad, peso, talla, y concentración sanguínea de la hemoglobina.

Los datos de oximetría capturados equivalen a la presión parcial de oxígeno de las muestras de sangre obtenidas en los diferentes vasos y cavidades, así como las condiciones en que se hizo el análisis (reposo o ejercicio, con o sin la administración de drogas). Con esta información, se realiza automáticamente el cálculo de volúmenes por 100 ml de sangre y el porcentaje de saturación de la hemoglobina en cada sitio explorado.

Los datos de coronariografía y ventriculografía son capturados en una manera consistente con el Sistema de Reportes de la Asociación Americana de Cardiología (A.H.A.).

Seleccionando la opción "textos" en el menú principal, el especialista puede escribir en formato libre (como de máquina de escribir), los resultados del estudio y cualquier información deseada.

#### REVISIÓN DE PARÁMETROS Y SEÑALES

Esta opción permite el procesamiento de señales registradas en cualquier sitio, y el despliegue de parámetros calculados durante el estudio. Dichos parámetros son:

Superficie corporal [7], frecuencia cardíaca, consumo teórico de oxígeno [8], gasto sistémico [9], gasto pulmonar total [9], gasto pulmonar efectivo [9], gasto pulmonar / gasto sistémico [9], corto-circuito arterio-venoso (A-V) [9], corto-circuito veno-arterioso (V-A) [9], índice cardíaco [9], gasto por latido [9], resistencia pulmonar total [9], resistencia arteriolar pulmonar [9], resistencia sistémica [9], periodo de llenado diastólico [9], periodo de expulsión sistólica [9], gradientes pico a pico [9], gradiente medio [9], áreas valvulares [9], máxima velocidad de contracción del ventrículo izquierdo [10], constante de relajación durante la fase isovolúmica [11].

Todos los datos capturados, así como los cálculos efectuados y curvas analizadas quedan guardados en un archivo en disco magnético flexible de doce centímetros de diámetro. Los discos utilizados permiten el almacenamiento de datos hasta de ocho pacientes.

## GENERACION DE INFORMES

El sistema es capaz de editar diversos informes para revisión de datos del estudio de cateterismo. Estos se generan después del estudio. Estos son:

**INFORME HEMODINAMICO**- incluye filiación, medidas de presión y gases, así como los valores paramétricos calculados a partir de aquéllos.

**CURVAS DE PRESION**.- que contiene las curvas promedio de cada una de las cavidades y vasos explorados con sus accidentes más importantes marcados (Fig 1).

**DIAGRAMA DEL CORAZON**.-sobre un diagrama del corazón se presentan los datos de presiones y oximetría distribuidos topográficamente. (Fig 2)

**TEXTO**.-el cual incluye las recomendaciones, resultados finales, métodos utilizados y demás información escrita por el especialista en formato libre.

**CURVAS DE FUNCION VENTRICULAR**.- que contiene la curva estimada velocidad-carga del componente contráctil del miocardio, y la curva de relajación ventricular durante la fase isovolúmica.

**INFORME CORONARIOGRAFICO**.- presenta el árbol coronario con el diagnóstico para cada una de sus ramas.

**INFORME SOBRE VENTRICULOGRAFIA**.- presenta al ventrículo izquierdo en su posiciones oblicua anterior derecha e izquierda y el diagnóstico para cada segmento.

## SUBSISTEMA DE ANGIOCARDIOGRAFIA

El subsistema de angiocardiografia consta en la actualidad de las siguientes partes: cálculo de la fracción de expulsión y determinación del patrón de contracción. En cada una de las partes, la información morfológica se alimenta a la computadora por medio de una tableta digitalizadora controlada por programas realizados para el propósito.

Los resultados del procesamiento de la información se presentan por pantalla como tablas y en diversas formas gráficas que, según la decisión del usuario, pueden ser vertidas a papel por medio de una impresora de punteo.

Los perfiles a digitalizar se encuentran delineados en hojas de papel que se fijan sobre la tableta digitalizadora. El espesor de la pared puede marcarse en uno de los contornos. Una vez que se arranca el programa que requiere los datos, éste dirige la captura de los perfiles por medio de mensajes en la pantalla.



INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGIA "IGNACIO CHAVEZ"  
DEPARTAMENTO DE HEMODINAMICA

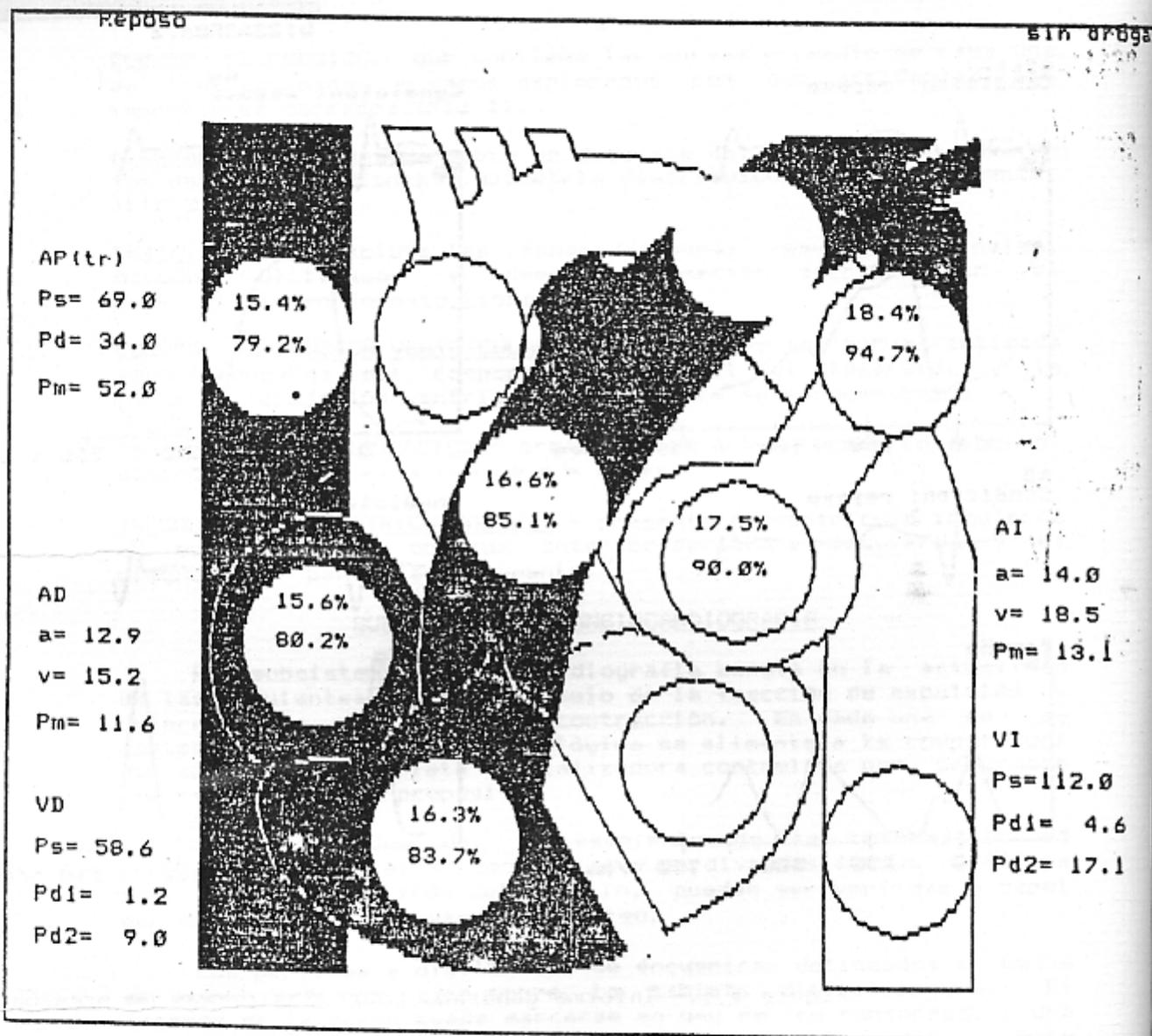


Figura # 2.- Diagrama del corazón con los datos de presión y oximetría distribuidos topográficamente.

### CALCULO DE LA FRACCION DE EXPULSION

El cálculo de los volúmenes correspondientes a perfiles ventriculares izquierdos se realiza con el procedimiento elipsoidal [12,13]. El cálculo de la masa ventricular puede efectuarse por el mismo método si el espesor de la pared fue digitalizado.

### DETERMINACION DEL PATRON DE CONTRACCION

En nuestra implementación se utiliza un sistema de cuantificación de la movilidad basado fundamentalmente en aspectos de la anatomía cardíaca. Este es el esquema de LEIGHTON [14] y divide el perfil cardíaco en regiones que corresponden de manera aproximada a zonas de irrigación por ramas de la coronaria. En dicho esquema, se parte de los perfiles diastólico y sistólico dibujados en la posición relativa que guardan en la película.

La presentación de los resultados se extendió de manera que no sólo se proporcionarán cinco números para describir aproximadamente el patrón de contracción, sino que se utilizan tres presentaciones gráficas nuevas, según se puede ver en la Fig 3.

La primera muestra los perfiles diastólico y sistólico dividido en segmentos por líneas pasando a través del centro de contracción. La segunda muestra es una gráfica de radio vs ángulo de los perfiles diastólico y sistólico. El ángulo se mide desde el segmento que une al centro de contracción con el apex. Las otras dos curvas representan el porcentaje de acortamiento de la pared. La tercera es una gráfica de radio vs. ángulo y la cuarta es una gráfica polar. En estas gráficas el porcentaje promedio de acortamiento está marcado con las líneas marcadas con la letra 'P'.

### CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un sistema para análisis de datos de cateterismo cardíaco en una microcomputadora de propósito general a un precio reducido. El sistema representa una opción para clínicas de cateterismo pequeñas y países en desarrollo.

La traducción de los programas de la computadora Apple a la IBM PC fue relativamente rápido por la portabilidad y flexibilidad del lenguaje Pascal.

El sistema está listo para nuevos desarrollos técnicos que puedan aumentar su capacidad o reducir su costo como puede ser el uso de cintas para respaldo de información. Se está planeando ahora incorporar una base de datos.

INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGIA "IGNACIO CHAVEZ"  
DEPARTAMENTO DE HEMODINAMICA

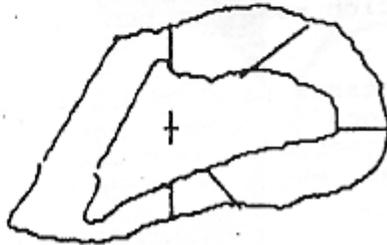
PATRON DE CONTRACCION

██████████  
██████████  
17 ABR 86

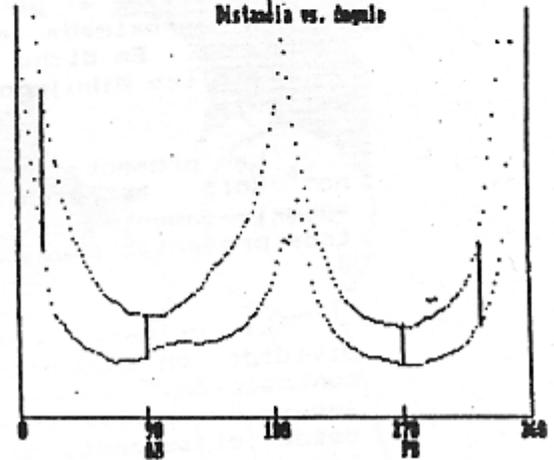
Distancias al Centro de Contracción

Area	Acortamiento %
Apical	22.8
Anterolateral	47.3
Anterobasal	41.9
Posterobasal	41.6
Diafragmatica	48.9

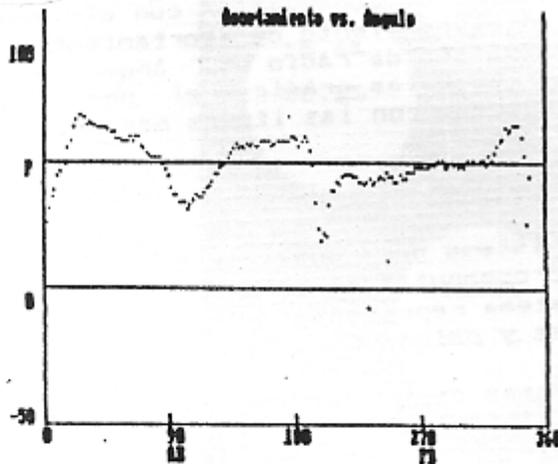
Patron de Contraccion



Distancia vs. Angulo



Acortamiento vs. Angulo



Distribucion Angular

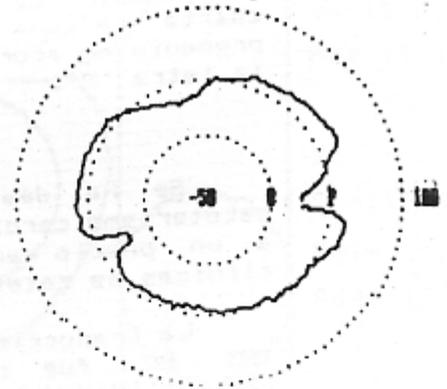


Figura # 3.- Informe sobre el patrón de contracción del ventrículo izquierdo

## REFERENCIAS

1. Harrison DC, Ridges JD, Sanders WJ; et al: Real time analysis of cardiac catheterization data using a dedicated computer system. *Circulation* 44:709, 1971.
2. Convey H, Olley P, Wagle E: A Review of Commercial Computer-Based Systems in the Cardiac Catheterization Laboratory. *Cathet. and Cardiovasc. Diagn.* 4:434-474, 1978.
3. Meddars Series 300. Software Handbook. Honeywell Medical Electronics.
4. Dimitry Zisserman, Eugene M. Strand, Lloyd R. Smith: Cardiac Catheterization and Angiographic Analysis Computer Applications. *Progress in Cardiovascular Diseases*, Vol XXV No 5 (March/April), 1983.
5. Meyer J: Computer Applications in the Catheterization Laboratory. *Computers in Cardiology (IEEE)* 3: 53-58, 1978.
6. Lagler R., Hierb R, Krone R, Oliver G: Left Ventricular Pressure Analysis: Design and Validation of a Computer Algorithm with an Investigation of Inter-Physician Variability. *Computers and Biomed. Res.* 11:229-141, 1978.
7. Du Bois E: *Basal Metabolism in Health and Disease*. Philadelphia, Lea Febiger, ED., 1936.
8. La Farge C, Miettinen O: The Estimation of Oxygen Consumption. *Cardiovasc. Res.* 4:23, 1970
9. Yang S, Bentivoglio L, Maranhio V, Goldberg H: *From Cardiac Catheterization Data to Hemodynamic Parameters*. Philadelphia, F.A. Davis Comp, Ed., 1979.
10. Pollack G: Maximum Velocity as an Index of Contractility in Cardiac Muscle. A Critical Evaluation. *Circulation Res.* 26: 111-119, 1970.
11. Weiss S, Frederiksen S, Weisfeld M: Hemodynamic Determinants of the Time-Course of Fall in Canine Left Ventricular Pressure. *J. of Clinical Invest.* 58:751, 1976.
12. Samndler H, Dodge H.T: The use of single plain angiocardiograms for calculation of left ventricular volume in man. *Am Heart J.* 75:325, 1968.
13. Gil M, Martínez Ríos M, Arriaga A., Cisneros S., Soni J., Gutierrez E.: Determinación del Valor Real del Volumen Ventricular por Métodos Angiográficos. *Arch. Inst. Cardiol. Mex.* 46:30, 1976.
14. Leighton R.S, Wilt S.M, Louis K.P.: Detection of Hypokinesia by a Quantitative Analysis of Left Ventricular Cineangiograms. *Circulation* 50:121, 1974.