

## MONITOR DE FRECUENCIA CARDIACA CON MEMORIA

Escandón Martínez A. B.      García Agundis J. L.

Brust Carmona H.

Depto. de Señales Biológicas - Dir. Sistemas y Proc. Med. Apoyo  
Dir. Gral. de Investigación y Desarrollo Tecnológico - SSA.

## Resumen

En este trabajo se presenta un programa que detecta, calcula y grafica en tiempo real la frecuencia cardiaca latido a latido hasta por un periodo de 25 minutos. Trabaja con frecuencias en un rango de 10 a 250 latidos por minuto, cuenta con alarmas de alta y baja frecuencia, provee funciones de reinicio de captura, congelamiento y descongelamiento de la señal, cambio de alarmas, almacenamiento en disco, terminación e impresión. El archivo generado puede ser analizado y procesado por paquetes comerciales como el SAS y LOTUS.

## INTRODUCCION.

El ritmo cardiaco es un indicador del funcionamiento del corazón, y sus variaciones dan pautas a seguir en la prevención de anomalías inminentes: la pronta detección de una taquicardia paroxística puede ser esencial en el control de una fibrilación ventricular por presentarse, o en pruebas de ejercicio ser un parámetro de control en la aplicación de trabajo al individuo.

Además, un registro de la frecuencia cardiaca durante un período prolongado es el punto de partida de diversos estudios, como la detección de arritmias o extrasístoles, el monitoreo del cambio de frecuencia cardiaca en atletas, la respuesta barorefleja al cambio de posición en pacientes anginosos o la evaluación de acondicionamiento físico por espirometría.

## OBJETIVO.

En base a la señal analógica proporcionada por el electrocardiotacómetro (EKT) desarrollado por el CEDAT, realizar un programa que detecte, calcule y grafique en tiempo real la frecuencia cardiaca latido a latido dentro de un rango entre 10 y 250 latidos por minuto (lpm) con un máximo error de 0.02%. Cuente con manejo de alarmas y presente numericamente la frec. actual, la frec. máxima y la frec. mínima a alarma alta y la alarma baja. Sea de fácil manejo, almacene en disco la información obtenida, imprima la gráfica y haga posible el análisis estadístico de los resultados.

## DESARROLLO.

## Consideraciones preliminares:

El electrocardiotacómetro cuenta con una salida representativa de la onda R, es decir, por cada una de ellas que se presenta se genera un pulso cuadrado de aproximadamente 8 volts de amplitud y 200 ms. de duración. El programa digitaliza esta señal, detecta dos pulsos contiguos, determina el tiempo transcurrido entre ellos y calcula la frec. cardiaca en latidos por minuto. La señal se digitaliza utilizando un convertidor comercial 'Lab Master'.

Considerando que la frecuencia máxima a ser detectada es de 250 lpm y el error máximo debe ser de 0.02%, se calculo que una frecuencia de conversión de 250 Hz. produciría un error máximo teórico de 0.017%.

Ya que se grafica en tiempo real y se toma una muestra cada 4 ms., cualquier procedimiento efectuado deberá ser ejecutado en el menor tiempo posible, por estas razones el programa contiene multiples procedimientos en lenguaje ensamblador y utiliza las utilerias de 'Turbo Graphix'.

## Organización del programa:

El programa principal, como se puede ver en la figura 1, se encuentra formado por 4 procedimientos:

- Directorio de archivos (DIR).
- Graficación de una señal capturada (GRAFICA).
- Captura de una señal (CAPTURA).
- Preparación para análisis estadístico (ESTADISTICA).

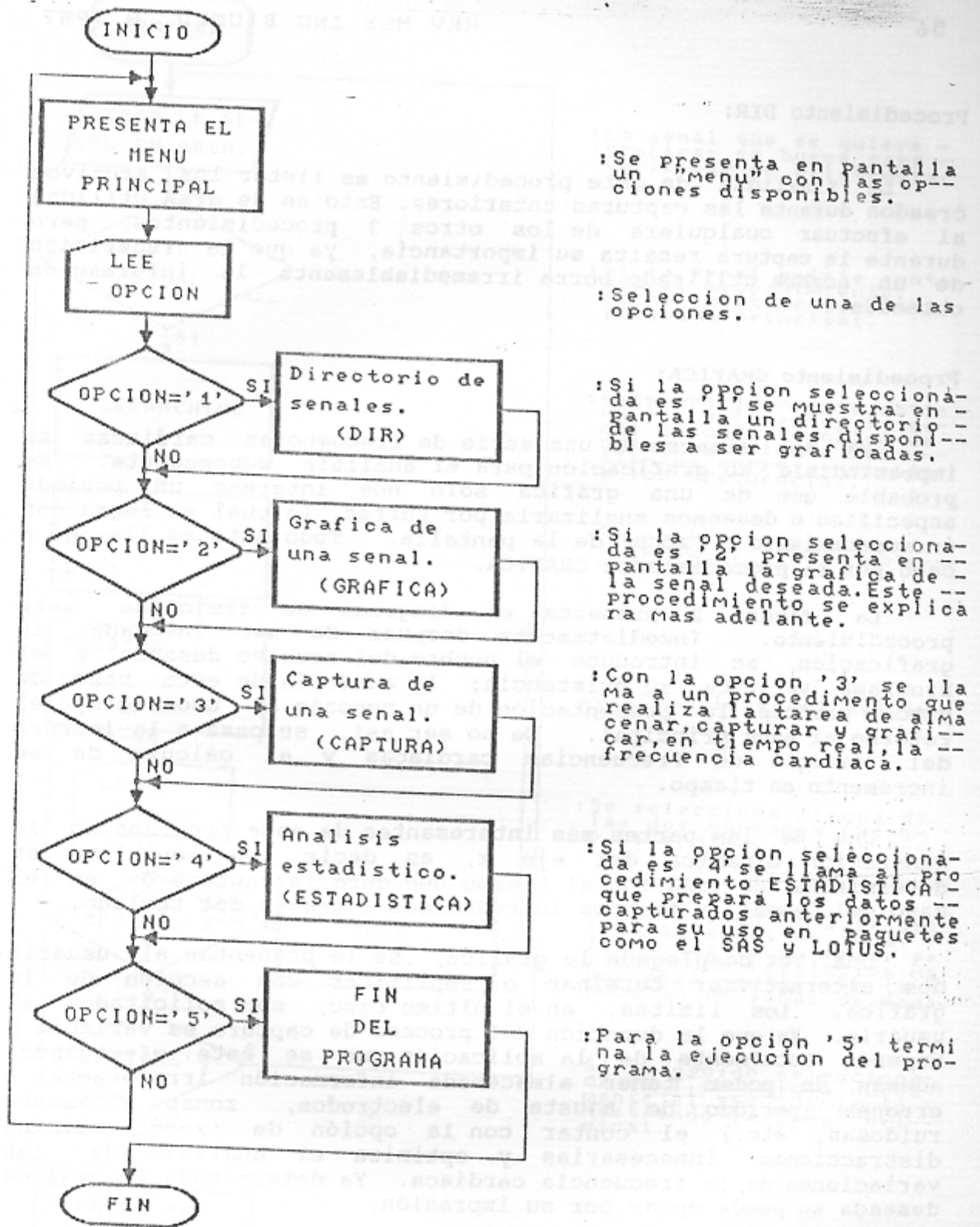


FIG.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PRINCIPAL.

#### Procedimiento DIR:

La finalidad de este procedimiento es listar los archivos creados durante las capturas anteriores. Esto es de gran utilidad al efectuar cualquiera de los otros 3 procedimientos, pero durante la captura resalta su importancia, ya que la repetición de un nombre utilizado borra irremediablemente la información obtenida.

#### Procedimiento GRAFICA:

Una vez almacenada una serie de frecuencias cardiacas es imprescindible su graficación para el análisis subsecuente. Es probable que de una gráfica solo nos interese un periodo específico o deseemos analizarla por partes, lo cual se logra con un acercamiento o 'zoom' de la pantalla. Todo esto es llevado a cabo por el procedimiento GRAFICA.

La figura 2 presenta el diagrama de flujo de este procedimiento. Inmediatamente después de ser invocada la graficación, se introduce el nombre del archivo deseado y el programa verifica su existencia; la ausencia de esta base de datos produce la presentación de un mensaje al usuario y el retorno al menu principal. De no ser así, se pasa a la lectura del arreglo de frecuencias cardiacas y al cálculo de su incremento en tiempo.

Una de las partes más interesantes de este programa es la generación dinámica del eje x, es decir, su longitud es determinada de acuerdo al tiempo que dura la captura o, en el caso del 'zoom', a tiempos introducidos a través del teclado.

Una vez desplegada la gráfica, se le presentan al usuario dos alternativas: terminar o amplificar una sección de la gráfica. Los límites, en el último caso, son solicitados al usuario. Ya que la duración del proceso de captura es variable y depende totalmente de la aplicación que se este efectuando, además de poder tener almacenada información irrelevante o errónea (período de ajuste de electrodos, zonas altamente ruidosas, etc.) el contar con la opción de 'zoom' elimina distracciones innecesarias y optimiza el análisis de las variaciones de la frecuencia cardiaca. Ya determinada la gráfica deseada se puede optar por su impresión.

#### Procedimiento CAPTURA:

Si lo que se desea es graficar la frecuencia cardiaca en tiempo real, se opta por el procedimiento CAPTURA. La descripción general de sus actividades se encuentra en la figura 3. Activado este procedimiento se introduce el nombre del

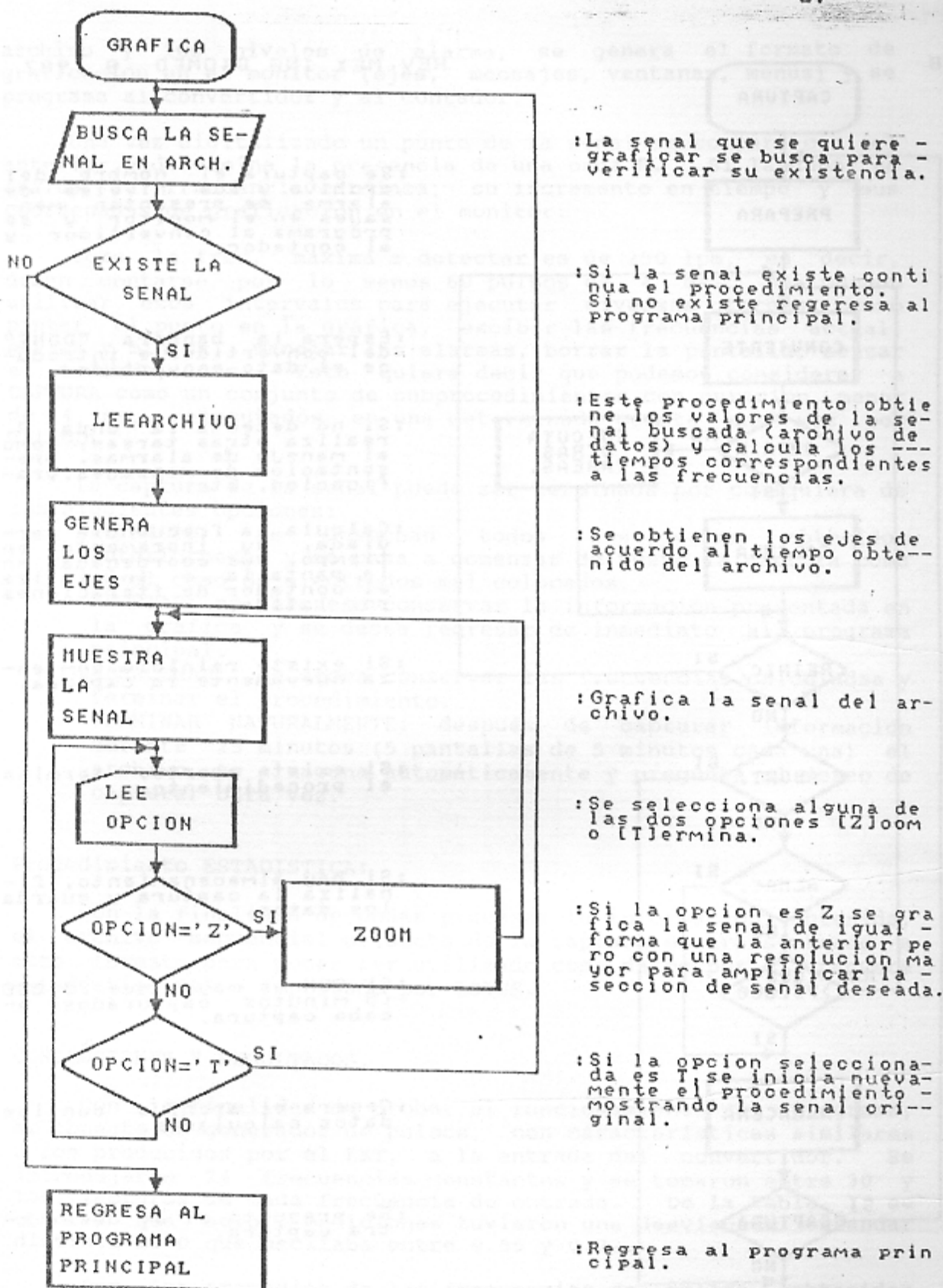
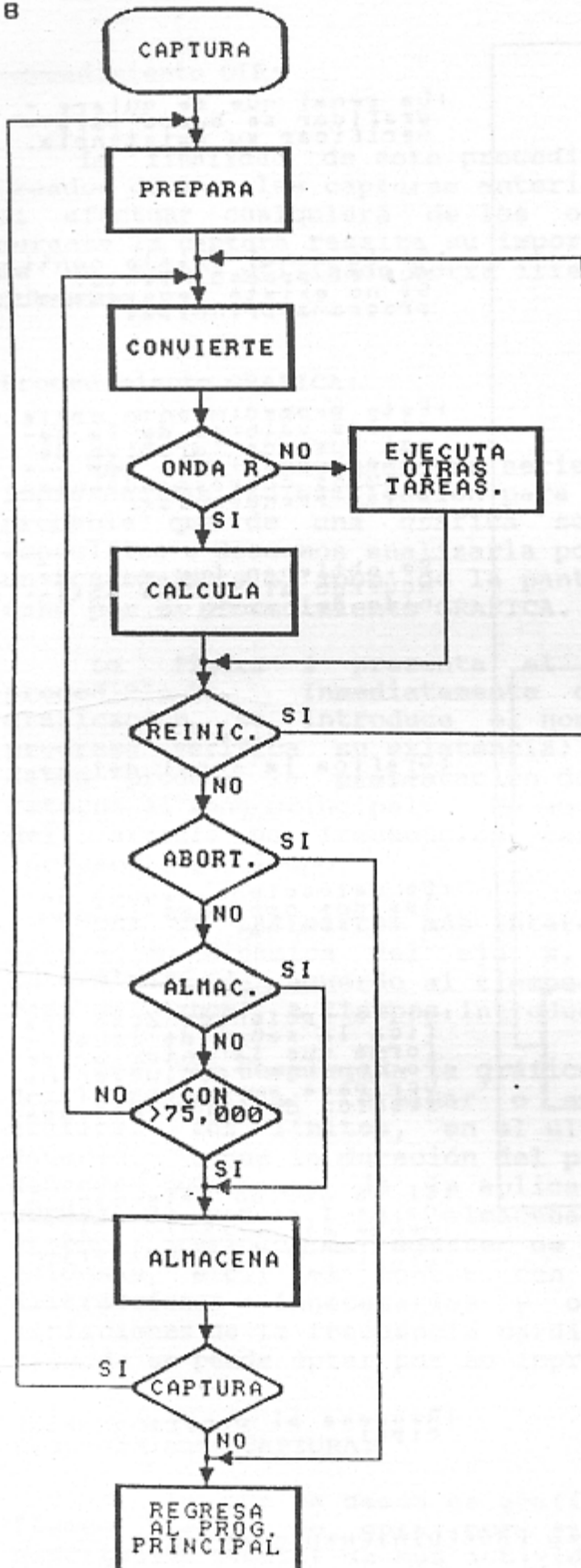


FIG.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO GRAFICA.



: Se captura el nombre del archivo y los niveles de alarma, se presentan mensajes en el monitor y se programa al convertidor y al contador.

: Espera la bandera "DONE" del convertidor e introduce el dato convertido.

: Si no detecta la onda R, realiza otras tareas, como al manejo de alarmas, presentación de mensajes, graficación, etc.

: Calcula la frecuencia cardiaca, su incremento en tiempo, sus coordenadas en la pantalla e inicializa el contador de iteraciones por latido.

: Si existe reinicio, comienza nuevamente la captura.

: Si existe aborto, termina el procedimiento.

: Si hay almacenamiento, finaliza la captura y guarda los datos.

: Si CON es mayor que 75,000 (5 minutos capturados) acaba captura.

: Genera el archivo con los datos calculados.

: Se pregunta si se desea otra captura.

FIG.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO CAPTURA.

archivo y los niveles de alarma, se genera el formato de graficación en el monitor (ejes, mensajes, ventanas, menus) y se programa al convertidor y al contador.

Una vez digitalizado un punto de la señal se compara con el anterior y determina la presencia de una onda R. Si la hubo, se evalúa la frecuencia cardiaca, su incremento en tiempo y sus coordenadas de graficación en el monitor.

Como la frec. máxima a detectar es de 250 lpm, es decir, deben contarse por lo menos 60 pulsos de 4 ms., se pueden utilizar esos intervalos para ejecutar diversas tareas, como pintar el punto en la gráfica, escribir las frecuencias actual, máxima y mínima, manejar las alarmas, borrar la pantalla, sensar el teclado, etc. Esto quiere decir que podemos considerar a CAPTURA como un conjunto de subprocedimientos con duración menor de 4 ms., ejecutados en una determinada cuenta una vez por latido.

La captura de la señal puede ser terminada por cualquiera de las siguientes opciones:

- REINICIO: se desechan todos los datos obtenidos anteriormente y se pasa a comenzar de nuevo la captura como en el caso de electrodos mal colocados.
- ABORTAR: no interesa conservar la información presentada en la gráfica y se desea regresar de inmediato al programa principal.
- ALMACENAR: se desea conservar las frecuencias calculadas y terminar el procedimiento.
- TERMINAR NATURALMENTE: después de capturar información durante 25 minutos (5 pantallas de 5 minutos cada una) el archivo se almacena automáticamente y pregunta el deseo de capturar otra vez.

#### Procedimiento ESTADISTICA:

Con la finalidad de poder procesar la información obtenida, el archivo secuencial producto de la captura es transformado a otro formato para poder ser utilizado como datos por el paquete estadístico SAS o importado por LOTUS.

#### CONCLUSIONES Y RESULTADOS.

Con la finalidad de probar el funcionamiento del programa, se conecto un generador de pulsos, con características similares a los producidos por el EKT, a la entrada del convertidor. Se introdujeron 24 frecuencias constantes y se tomaron entre 30 y 100 lecturas de cada frecuencia de entrada. De la tabla 1 se observa que solo 7 mediciones tuvieron una desviación estandar distinta de 0 que oscilaba entre 0.55 y 0.72.

Con los promedios de las frecuencias de salida obtenidos del análisis anterior se efectuó un análisis de regresión lineal,

## Análisis estadístico básico:

Frec. entrada	Frc.sal. prom.	Desv. estand.
30.00	30.00	0.00
40.00	40.00	0.00
50.00	50.00	0.00
60.00	60.00	0.00
70.00	69.00	0.00
80.00	79.48	0.63
90.00	89.00	0.00
100.00	100.00	0.00
111.00	111.00	0.00
120.00	120.00	0.00
130.00	130.00	0.00
140.00	138.90	0.72
150.00	150.00	0.00
158.00	157.00	0.00
171.00	170.97	0.58
182.00	180.98	0.55
188.00	187.00	0.00
200.00	200.00	0.00
207.00	206.49	0.72
214.00	214.00	0.00
222.00	221.53	0.68
231.00	230.00	0.00
240.00	239.49	0.62
250.00	250.00	0.00

## Análisis de Regresión:

Constante	. . . . .	-0.18669
Err Std de Y Est	. . . . .	0.455726
R al Cuadrado	. . . . .	0.999956
N. de Observaciones	. . . . .	24
Grados de Libertad	. . . . .	22
Coficiente(s) X	. . . . .	0.998637
Err Std de Coef.	. . . . .	0.001396

TABLA 1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS



resultando una correlación de 0.9999. La gráfica de la recta ideal y los valores calculados puede observarse en la figura 4.

En base a estos resultados se concluye la obtención de un programa, que a partir de un pulso cuadrado por onda R, determina la frecuencia cardiaca latido a latido en tiempo real con menos de 0.02% de error.

Actualmente funciona solo con el EKT, pero en teoría debiera funcionar con cualquier sistema que emita una señal con las características mencionadas anteriormente. Sería conveniente efectuar algunas pruebas al respecto.

La limitación a una onda cuadrada esta determinada simplemente por el algoritmo de detección de ésta, pero cualquier otro que tarde menos de 4 ms. podría ser utilizado. Esto significa que si se desarrolla un procedimiento de detección de onda R en tiempo real, podría utilizarse solamente con un amplificador de instrumentación con filtrado, haciendo mucho más versátil este proyecto.

Actualmente se esta utilizando junto con el EKT en el monitoreo del cambio de frecuencia cardiaca en atletas y se tiene pensada su aplicación en pruebas de evaluación de condición física por espirometría y en el estudio de la respuesta barorefleja al cambio de posición en pacientes anginosos.

#### AGRADECIMIENTO:

Al Act. Miguel A. Barrientos M. y a la Act. María A. Elvira por su infinita paciencia y asesoría.

FIG. 4.- VALORES CALCULADOS E IDEALES.

