

# Electrocardiógrafo de Bajo Costo basado en Procesamiento Digital

Guillermo Cutini, Juan Pablo González y Claudio Delrieux  
Departamento de Ing. Eléctrica y Computadoras – Universidad Nacional del Sur  
Alem 1253 – Bahía Blanca – e-mail:claudio@acm.org

## 1. Introducción

El corazón es un órgano musculoso que se encarga de impulsar la sangre a través de las arterias hacia todo el cuerpo. Posee la propiedad de la contracción rítmica automática, de esta manera se producen pequeñas corrientes eléctricas que pueden ser registradas por un electrocardiógrafo (ECG) por medio de electrodos colocados en diversas posiciones del cuerpo. La electrocardiografía es una disciplina que se basa en el conocimiento de modelos fisiológicos y matemáticos para la correcta interpretación del registro gráfico de las corrientes eléctricas que se producen en el corazón. Un electrocardiógrafo es un equipo que se encarga de registrar las diferencias de potencial producidas entre varios puntos de la superficie del organismo por los fenómenos eléctricos que acompañan al latido cardíaco.

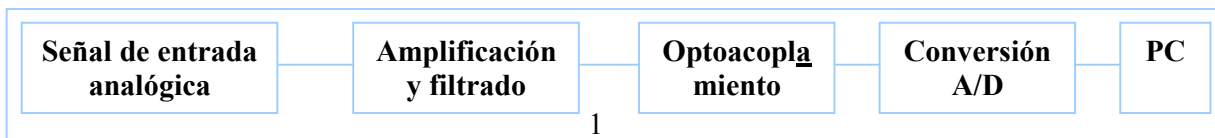
Nuestro interés principal en el desarrollo de un electrocardiógrafo surgió de haber detectado la oportunidad de crear un medidor cardíaco para ser utilizado en una computadora, fabricado con la mínima cantidad de componentes en el hardware y enfatizando su desarrollo en el software que acompaña al producto. De esa manera, suponiendo la disponibilidad de computadoras de tipo PC, se ofrece al mercado un EEG de muy bajo costo y de muy altas prestaciones. El objetivo general del proyecto es la fabricación y venta de electrocardiógrafos inteligentes, de alta precisión y bajo costo en la construcción, para ser comercializados en principio en el mercado nacional y una vez posicionada la marca evaluar la posibilidad de incursionar en el mercado internacional.

## 2. Descripción del Desarrollo

El prototipo desarrollado es un electrocardiógrafo concebido para su uso en ordenadores tipo PC, que permite a un hospital, centro médico o consultorio privado disponer (en una red local o en una computadora portátil) de las exploraciones de electrocardiografía y prueba de esfuerzo, junto al diagnóstico automático y/o supervisado por el equipo médico. Este modelo adquiere y procesa computacionalmente la señal eléctrica del corazón para que pueda ser almacenada, visualizada a través de la pantalla, e impresa en una impresora standard. El software, especialmente desarrollado, decide si los datos de la captura son valores que se encuentran en un rango aceptable, y en el caso que no lo sea, lo sugiere emitiendo un diagnóstico.

Previo a la captura de los datos, la interfase de inicio permite el ingreso de los datos personales del paciente como nombre, sexo, edad, historia clínica, los cuales brindarán al médico la posibilidad de crear una base de datos del paciente para una posterior consulta, transmisión, archivo y minería de datos.

Los electrocardiógrafos en general utilizan formas similares para la adquisición y acondicionamiento de las señales de entrada. En nuestro caso, se requiere de una digitalización para que estas señales puedan ser interpretadas por una PC. Un esquema detallado es el que muestra a continuación:

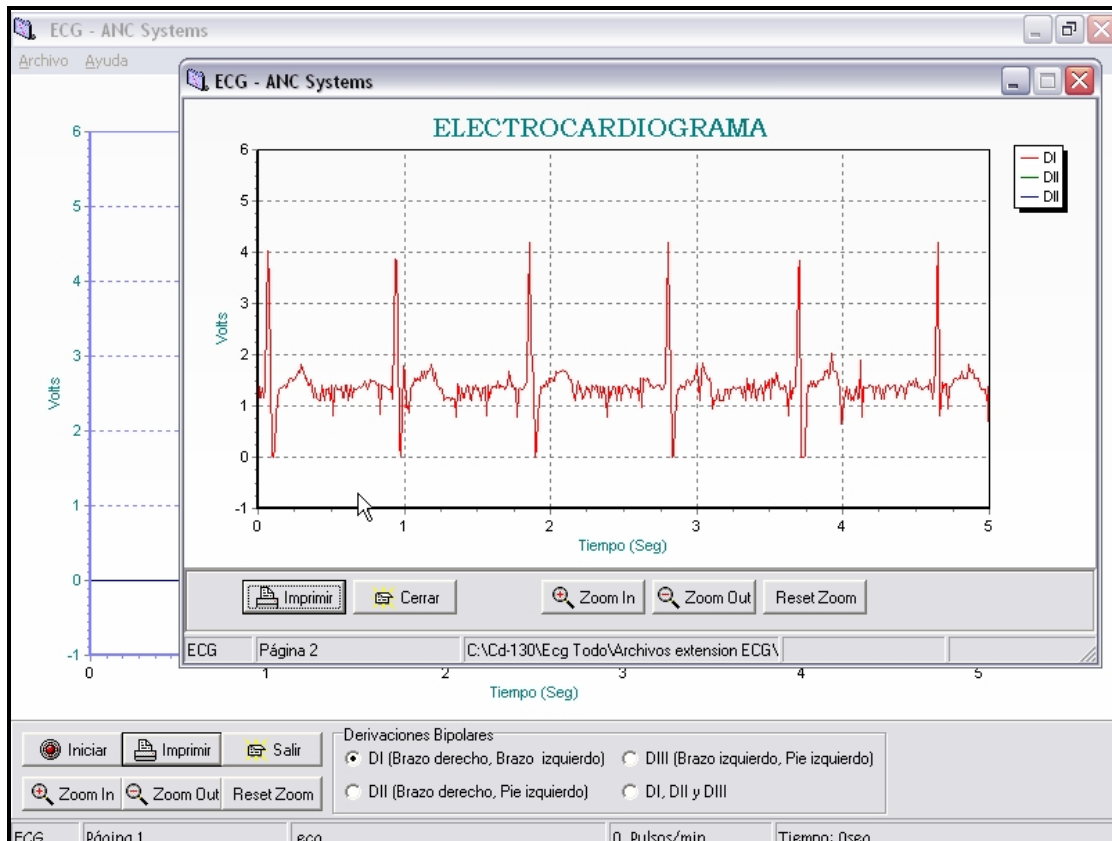


La señal de entrada analógica es capturada mediante la conexión de sensores específicamente distribuidos en el cuerpo del paciente. Posteriormente, dicha señal se acondiciona mediante el uso de amplificadores de instrumentación, los cuales proveen al circuito de una alta relación señal-ruido. Una vez amplificada la señal, se utiliza un filtro pasabanda para eliminar las frecuencias no deseadas y un filtro notch de 50 Hz que elimina posibles interferencias de la red de alimentación. La etapa de optoacoplamiento es la encargada de aislar los potenciales bioeléctricos de los circuitos alimentados por la línea eléctrica, para evitar riesgos. Por último, la señal es muestreada por medio de un conversor A/D, para que una vez digitalizada pueda ser interpretada por la PC. Este electrocardiógrafo cuenta con un microcontrolador 8031 y una memoria EEPROM de 64Kbytes que le permite al usuario la captura de datos para una posterior manipulación en la PC.

El prototipo implementado es un modelo de tres canales que permite visualizar en simultáneo cada una de las derivaciones bipolares del triángulo de Eithoven en el monitor de la PC. Otras características que posee son, el cálculo de los pulsos por minuto del paciente, almacenaje de los datos en un archivo, acercamiento de la captura (Zoom), impresión de la captura, y ofrece al usuario un menú de ayuda sobre el manejo del aparato y posibles patologías. Seguidamente se puede observar al prototipo, una vez colocados los electrodos al paciente y conectado el cable a la PC, ya estará listo para la captura de los datos.



A continuación se muestra una medición realizada a un paciente que no presenta ningún cuadro clínico, comúnmente llamado “electrocardiograma normal”, se trata de la primer derivación del triángulo de Eithoven.



La imagen que aparece delante con el trazado en color rojo pertenece a una captura realizada con anterioridad y guardada en un archivo, mientras que la imagen que aparece en segundo plano corresponde al panel principal del programa. El botón “Zoom Out” permite volver al acercamiento que se tenía antes de presionar “Zoom In”, mientras que utilizando “Reset Zoom” podremos retornar a la gráfica original. Por último, clickeando en la barra superior sobre el comando “Ayuda” se mostrarán dos menús, “Ejecutar Ayuda” y “Créditos”, el primero permite obtener datos acerca de “Ayuda e Introducción” y “Manual del Usuario”, y el otro mostrará los datos de los diseñadores de este proyecto.

El centro del programa es la unidad que se muestra a continuación, ya que representa la interface entre el operador y el hardware. Para un buen entendimiento de esta unidad, en vez de explicar su funcionamiento, es preferible ir siguiendo el programa e ir leyendo los comentarios adjuntos.

```

Var
  Capturador: TCapturador;
  nuevo1: TVentana;
  derivacion,x1,contador,segundos,nroserie:integer;
  mayor,menor,maximo,maxant:integer;
  Tiempo:real;
  canal:byte=7;
  arreglo,arreglo1: array[0..500] of integer;
  matriz,matriz1:array[0..500,0..2] of integer;
  datfile:textfile;
  vpromedio:integer;

```

```

Implementation
{SR *.DFM}

```

```

Function leervalorto : byte;
//Esta función lee los 4 bits más significativos
Var
  bvaloralto:byte;

Begin
  asm
    mov dx,$379; //Leemos el puerto
    in al,dx;
    mov bvaloralto,al; //Almacenamos en valoralto
    rol bvaloralto,1; //Rotamos a la izquierda parte alta
    mov al,bvaloralto;
    and al,$f0; //Solo interesan los bits más significativos
    mov bvaloralto,al;
  End;
  result:=bvaloralto;
End;

```

```

Function leervalorbajo : byte;
//Esta función lee los 4 bits menos significativos
var
bvalorbajo:byte;
Begin
asm
mov dx,$379;           //Leemos el puerto
in al,dx;              //Almacenamos en el acumulador
mov bvalorbajo,al;    //Transferimos a valorbajo
ror bvalorbajo,1;
ror bvalorbajo,1;
ror bvalorbajo,1;     //Rotamos 3 veces a la derecha
mov al,bvalorbajo;
and al,$0f;           //Solo interesan los bits menos significativos
mov bvalorbajo,al;
End;
result:=bvalorbajo;
End;

Function valorpromedio : integer;
//Esta función es la encargada de enviar al conversor el bit de Start y
//de hacer un promedio con los valores que levanta del conversor.
Var
valoralto,valorbajo,valor.valoralto1,valorbajo1,valor1:Byte;
valoralto2,valorbajo2,valor2,valoralto3,valorbajo3,valor3:Byte;
valoralto4,valorbajo4,valor4,valoralto5,valorbajo5,valor5:Byte;
valoralto6,valorbajo6,valor6,valoralto7,valorbajo7,valor7:Byte;
valoralto8,valorbajo8,valor8,valoralto9,valorbajo9,valor9:Byte;
Begin
asm {Write port LPT1}
mov al,canal;
mov dx,$378;
out dx,al;           //Selecciona el canal 4 (Ic3), ALE=1, START=1
mov al,16;
out dx,al;           //Habilita CD4066 con los 4 Bits msb,
End;

valoralto:=leervalto;valoralto1:=leervalto;valoralto2:=leervalto;

valoralto3:=leervalto;valoralto4:=leervalto;valoralto5:=leervalto

valoralto6:=leervalto;valoralto7:=leervalto;valoralto8:=leervalto

valoralto9:=leervalto;
asm
mov al,6;
mov dx,$378;
out dx,al;           //Habilita CD4066 con los 4 Bits lsb
End;

valorbajo:=leervalbajo;valorbajo1:=leervalbajo;valorbajo2:=leervalbajo;

valorbajo3:=leervalbajo;valorbajo4:=leervalbajo;valorbajo5:=leervalbajo;

valorbajo6:=leervalbajo;valorbajo7:=leervalbajo;valorbajo8:=leervalbajo;

valorbajo9:=leervalbajo;

valor:= valoralto or valorbajo; //Obtiene el valor de 8 bits
valor1:= valoralto1 or valorbajo1;
valor2:= valoralto2 or valorbajo2;
valor3:= valoralto3 or valorbajo3;
valor4:= valoralto4 or valorbajo4;
valor5:= valoralto5 or valorbajo5;
valor6:= valoralto6 or valorbajo6;
valor7:= valoralto7 or valorbajo7;
valor8:= valoralto8 or valorbajo8;
valor9:= valoralto9 or valorbajo9;

result:=(valor+valor1+valor2+valor3+valor4+valor5+valor6+valor7+valor8+valor9)div 10;
End;

```

```

Procedure TCapturador.TimerEx1Timer(SEnder: TObject);
Var
i:integer;
Begin
If radiobutton4.Checked=False then
//Si se da la condición de 'False', se trata de una sola derivación, si es
'True' estamos adquiriendo las tres derivaciones en simultáneamente.
Begin
vpromedio:=valorpromedio;
arreglo1[x1]:= vpromedio;
With Chart1 do
Begin
Delete(x1);
AddXY(x1,(vpromedio*5/255),"cTeeColor);
XValues.Multiplier:=0.01;
End;
End;
Else
Begin
canal:=7;
nroserie:=2;
For i:=0 to 2 do
Begin
vpromedio:=valorpromedio;
With chart1.Series[nroserie] do
Begin
Delete(x1);
AddXY(x1,(vpromedio*5/255),"cTeeColor);
XValues.Multiplier:=0.01;
matriz1[x1,i]:=vpromedio;
End;
inc(nroserie);
If nroserie=3 then
nroserie:=0;
canal:=canal-2;
End;
x1:=0;
End;
End;
If (vpromedio>200) and (mayor=0) then
Begin
maximo:=x1;
Tiempo:=((maximo-maxant)*10)/1000; //Tiempo entre pulsos
If Tiempo<0 then
Tiempo:= ((maximo+500-maxant)*10)/1000;

statusbar1.Panels[3].text:=FloatToStrF((1/Tiempo)*60,ffFixed,3,0)+'pulsos
/min';
mayor:=1;
menor:=0;
End;
If (vpromedio<200) and (menor=0) then
Begin
maxant:=maximo;
mayor:=0;
menor:=1;
End;
inc(x1);
inc(contador);

//Muestra del tiempo de adquisición.
If contador=100 then
Begin
contador:=0;
inc(segundos);
statusbar1.Panels[4].text:="Tiempo: "+inttostr(segundos)+'seg';
End;

If x1>500 then
Begin
arreglo:=arreglo1; //Después de completada una pantalla
matriz:=matriz1; //guardamos los datos en un arreglo y
x1:=0; // en una matriz (Para tres canales).
End;
End;
End;

```

### 3. Análisis de la Rentabilidad y Conclusiones

El prototipo cumple adecuadamente con todas las especificaciones técnicas requeridas para la función específica del diseño, tanto desde un punto de vista eléctrico como médico. Para ello se contó con el asesoramiento de expertos cardiólogos y electrofisiólogos que avalaron el correcto funcionamiento del equipo. También se realizó un análisis económico de la rentabilidad, paso indispensable para poder entrevistarse con inversores o instituciones interesadas en financiar un proyecto de inversión a largo plazo. En el mercado nacional, el producto se podrá comercializar en forma directa a hospitales públicos y privados, clínicas médicas y cualquier organización de la salud, así como también a los médicos en forma particular. La venta mayorista se realizará a distribuidores y representantes.

Entre las fortalezas específicas del proyecto podemos citar que requiere una mínima cantidad de componentes en el hardware y desarrollo propio del software, permite el almacenamiento de los datos capturados en archivos, lo que posibilita la posterior comparación de los registros, esto además permite la creación de una base de datos de los pacientes atendidos y la ulterior minería de datos. También se puede obtener la visualización de los registros directamente en la pantalla de la PC y uso de una impresora estándar para la obtención de los resultados en papel.

La evaluación de inversiones de capital implica el análisis y aceptación de un proyecto considerando los beneficios que se esperan recibir en un período mayor a un año, evaluados en función de que prometan a sus inversores un rendimiento por lo menos igual al deseado. El análisis requiere de la estimación de los flujos de fondo del proyecto, diferencia entre los ingresos y egresos durante su vida útil, expresados sobre la base de caja, de lo percibido. El enfoque de flujos de fondos computados es operativo, es decir, se atribuyen al proyecto con excepción de las fuentes de financiamiento, su costo y pago de la deuda. Los criterios utilizados para evaluar el proyecto fueron la tasa interna de rentabilidad (TIR), el valor actual neto (VAN), y el período de recupero descontado.

Aplicando los distintos criterios de aceptación de los métodos de valuación propuestos surge que el VAN del proyecto es mayor a cero, la TIR es mayor a la rentabilidad exigida por los inversionistas, y el período de recupero no supera los 5 años. De esta forma se demuestra que la actividad es rentable.

**Agradecimiento:** Deseamos agradecer a la Lic. Natalia García por su invaluable ayuda con el análisis financiero y de rentabilidad del prototipo.

### Bibliografía

1. Norma IRAM 4220-2-17, "Aparatos para electromedicina. Electrocardiógrafos. Exigencias particulares de seguridad." Instituto Argentino de racionalización de materiales. Diciembre 1992.
2. Armstrong Michael L., "Los electrocardiogramas. Método sistemático para su lectura", Editorial El Ateneo, Buenos Aires, 1988.
3. Behrens y Hawranek, "Manual para la preparación de estudios de viabilidad industrial", Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial, Viena, 1994.
4. Guillermo Cutini y Juan Pablo González. "Medidor Inteligente de Señales Cardíacas". Proyecto final de carrera. Departamento de Ing. Eléctrica y Computadoras, UNS, 2004.