

**CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y
DESARROLLO TECNOLÓGICO, U.N.A.M.**

INFORME TÉCNICO INTERNO

**SISTEMA DE MEDICIÓN DEL CAMPO CRÍTICO DE
PROPAGACIÓN Y TEMPERATURA DE CURIE EN
MATERIALES FERROMAGNÉTICOS**

Proyecto ICyTDF: PIFUT08-123

Ma. Herlinda Montiel Sánchez
Benjamín Valera Orozco
Ma. Esther Mata Zamora
Rogelio López Cruz

**Ciudad Universitaria, México D. F.
Enero 2011**



ÍNDICE

<u>INTRODUCCIÓN.</u>	<u>1</u>
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.	1
Entorno actual.	2
Descripción del problema a resolver.	4
Relevancia y limitaciones.	5
Relación con otras áreas.	5
MÉTODO.	6
OBJETIVOS Y RESULTADOS ESPERADOS.	7
ORGANIZACIÓN DEL INFORME.	8
<u>CAPÍTULO 1 SISTEMA DE MEDICIÓN.</u>	<u>9</u>
1.1. ESQUEMA GENERAL.	9
1.2. SISTEMA ELECTRÓNICO.	11
1.2.1. Tarjeta de adquisición de datos.	11
1.2.2. Impulsor CA.	16
1.2.3. Etapa de potencia CA.	16
1.2.4. Acondicionador de señal para termopar.	18
1.2.5. Fuentes de alimentación.	19
1.3. ALGORITMO DE MEDICIÓN.	20
1.3.1. Campo crítico de propagación.	21
1.3.2. Temperatura de Curie.	21
<u>CAPÍTULO 2 SOFTWARE DE OPERACIÓN.</u>	<u>23</u>
2.1. DESCRIPCIÓN EN EL ÁMBITO DEL USUARIO.	23
2.1.1. Campo crítico de propagación.	23
2.1.2. Temperatura de Curie.	25

2.2. DESCRIPCIÓN EN EL ÁMBITO DEL PROGRAMADOR.	27
2.2.1. Campo crítico de propagación.	28
2.2.2. Temperatura de Curie.	35
2.3. PROCEDIMIENTO TÍPICO PARA REALIZAR UNA MEDICIÓN	43
2.3.1. Campo crítico de propagación.	43
2.3.2. Temperatura de Curie.	45
<u>CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y CONCLUSIONES.</u>	<u>47</u>
3.1. RESULTADOS.	47
3.1.1. Campo crítico de propagación.	49
3.1.2. Temperatura de Curie.	50
3.1.3. Discusión.	51
3.2. CONCLUSIONES.	52
<u>BIBLIOGRAFÍA.</u>	<u>53</u>
<u>ANEXO DIAGRAMAS.</u>	<u>55</u>
A.1. Dibujo esquemático.	55
A.2. Circuito impreso.	58
A.3. Lista de material.	61

Resumen

Los materiales magnéticos son de gran interés por sus aplicaciones tecnológicas, generando un área importante en investigación básica. Donde la caracterización de sus propiedades magnéticas es una parte fundamental para el desarrollo de nuevas tecnologías. En particular la caracterización magnética de materiales magnéticos suaves es indispensable para aplicaciones en función de la frecuencia. De los parámetros importantes por caracterizar de estos materiales se encuentran: el campo crítico de propagación (H_{CP}) y la temperatura de Curie (T_C). El primer parámetro establece el campo magnético máximo donde el material presenta un comportamiento lineal con respecto a la inducción magnética; el segundo parámetro establece la temperatura de transición en la cual el material transita del estado ferromagnético al estado paramagnético.

Actualmente existen equipos comerciales que permiten determinar el H_{CP} , o la T_C pero no ambos parámetros al mismo tiempo. Considerando que estos sistemas son sumamente costosos se requiere de una importante inversión para obtener estos parámetros.

En este trabajo se propone un desarrollo instrumental con el cual se puedan determinar ambos parámetros (el H_{CP} y la T_C) en materiales magnéticos suaves. Por lo que se presenta el desarrollo electrónico y software de operación para PC con base en la utilización de una tarjeta de adquisición de datos comercial. El sistema de control incrementa automáticamente el voltaje de excitación (~campo magnético externo) y la temperatura los cuales son aplicados al material por caracterizar hasta un valor fijo previamente establecido por el operador. En el proceso de medición se obtienen datos desde la tarjeta de adquisición para posteriormente ser analizados y presentados en forma gráfica, además de tener la opción de exportar éstos datos para su procesamiento en cualquier otro software comercial. El desarrollo de este sistema contribuye a la caracterización de materiales ferromagnéticos suaves con un equipo compacto, facilidad de uso y una inversión económica de muy bajo costo en comparación con los que existen en el mercado.

INTRODUCCIÓN.

El interés por el estudio de materiales magnéticos se debe a la gran variedad de aplicaciones tecnológicas, motivo por el cual los materiales magnéticos han sido y seguirán siendo punto clave para el desarrollo de innovaciones en la industria. Una parte importante en la investigación de materiales magnéticos es el diseño y desarrollo de sistemas de medición que permitan caracterizar y estudiar las propiedades magnéticas a un bajo costo, con resultados confiables y reproducibles.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Existen diferentes tipos de materiales magnéticos de acuerdo a sus propiedades intrínsecas originadas a nivel electrónico, que determinan su comportamiento frente a un campo magnético externo, así se pueden clasificar los materiales magnéticos en suaves y duros. Los materiales magnéticos suaves se emplean principalmente para el diseño de sensores (de campo o corriente) y dispositivos electrónicos (filtros, osciladores entre otros). Estas aplicaciones son posibles a las propiedades magnéticas en función de la frecuencia que presentan estos materiales, las cuales se refieren a los procesos de magnetización dinámicos, que dependen de la frecuencia e intensidad de campo de excitación, relacionados directamente con los voltajes de operación. En particular dos parámetros importantes que definen los voltajes de operación son el campo crítico de propagación (H_{CP}) y la temperatura de Curie (T_C). El primero establece hasta que valor de campo magnético se presenta un comportamiento lineal en el material con respecto a la inducción magnética ($\mu=B/H$); el segundo permite determinar la temperatura de transición en la cual el material transita del orden ferromagnético al estado paramagnético, (transición orden-desorden).

Durante el desarrollo de este trabajo se considerarán válidas las relaciones que existen entre el voltaje de excitación con el campo H y el voltaje de respuesta con la inducción magnética B , por lo que para evaluar la región del comportamiento lineal sólo se considerarán los voltajes de entrada y salida.

Comercialmente se cuenta con equipos que permiten medir el H_{CP} , pero no la T_C o viceversa, considerando que estos sistemas son sumamente costosos, lo cual implica una importante inversión económica para quien desea obtener estos parámetros.

Entorno actual.

Actualmente se dispone de un sistema para medir la T_C cuyo principio básico consiste en excitar un material magnético con una corriente alterna mediante un embobinado primario para obtener la respuesta del flujo magnético a través de un embobinado secundario. El arreglo experimental está conformado de dos embobinados (primario y secundario) sobre un toroide del material magnético, el cual se coloca en el interior de un horno. El sistema actual solo permite fijar el voltaje y la frecuencia del embobinado primario, recolectando la respuesta de inducción en el embobinado secundario. El voltaje obtenido se envía al canal Y de una graficadora XY, mientras que en el canal X de la graficadora se captura el voltaje de salida del termopar que se coloca en el centro del toroide, el cual está colocado dentro de un horno. El horno se programa en forma independiente y la temperatura se obtiene mediante un transductor tipo termopar. El algoritmo de medición consiste en el cálculo de la permeabilidad en función de los voltajes de salida para las diferentes temperaturas (Herrera, 2005), ver Figura 1. La desventaja principal de dicho dispositivo es que no cuenta con una captura de datos automática, además que instrumentalmente el circuito electrónico está diseñado exclusivamente para ferritas suaves.

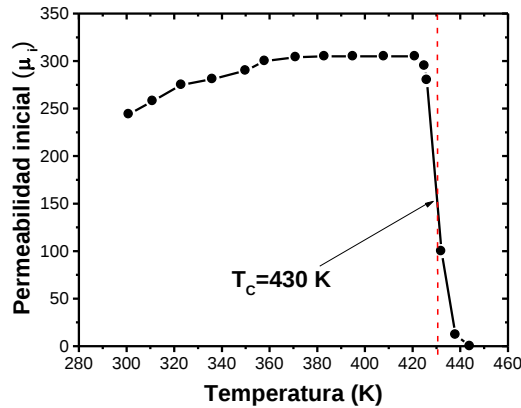


Figura 1. Determinación de la temperatura de Curie de la ferrita de níquel zinc.

Otro parámetro que se desea medir es el H_{CP} . La determinación de este parámetro se apoya en el mismo principio básico de inducción de Faraday que en el anterior dispositivo. En este caso la señal de los embobinados primario y secundario se captura en los canales A y B de un osciloscopio. La respuesta de los ciclos es delimitada por elipses cuya magnitud de los ejes mayor y menor dependen del voltaje y frecuencia del primario y su respuesta en el material a través de la corriente inducida en el secundario, que permiten evaluar de forma indirecta el campo crítico de propagación (Herrera, 2005). Este campo H_{CP} , delimita la región en donde los procesos de magnetización son reversibles y se caracteriza por la respuesta lineal de la inducción magnética del material contra el campo aplicado, como se observa en la Figura 2. En esta región, la permeabilidad es constante y se le conoce como permeabilidad inicial (μ_i). El punto donde cambia la pendiente se le conoce como H_{CP} . En la práctica, la curva de la Figura 2 se construye tomando el valor de los voltajes del secundario contra el voltaje del primario que se varía en un intervalo de voltajes. La captura de estos valores se realiza de forma discreta sobre la imagen de las elipses formadas en la pantalla del osciloscopio.

La determinación del H_{CP} es de suma importancia para el diseño de sensores magnéticos excitados con campos magnéticos alternos, debido a que se establece la región donde los proceso de magnetización son lineales reversibles.

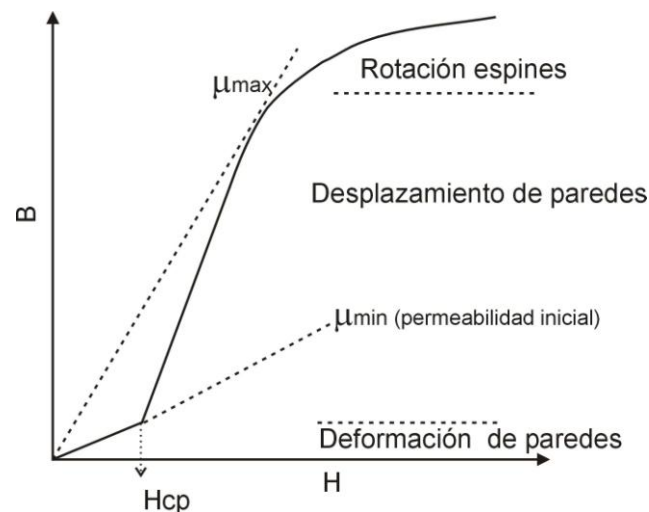


Figura 2. Procesos de magnetización.

Cabe señalar que a pesar de la existencia de equipos especializados en determinar estas propiedades, estos equipos son muy costosos y poco accesibles. Además, si se considera que en materiales magnéticos suaves el campo crítico de propagación es muy pequeño, y su determinación con equipos comerciales grandes presenta un error de medición del orden del H_{CP} , de tal forma, se requiere el desarrollo de equipos que permitan medir estas propiedades a bajo costo y con buena precisión.

Descripción del problema a resolver.

En el presente trabajo se propone desarrollar un sistema de medición más compacto en tamaño y que prescindiera completamente del equipo comercial descrito anteriormente, además de integrar en un mismo equipo los dos sistemas de medición descritos. Tomando en cuenta la experiencia de los investigadores que han utilizado los sistemas de medición descritos, se plantea satisfacer la necesidad de mejorar los sistemas de medición, logrando la captura automática de

los datos, además de tener la posibilidad de variar amplitud y frecuencia en el voltaje de entrada del primario para lograr la caracterización de materiales magnéticos tanto duros como suaves.

Relevancia y limitaciones.

La relevancia del presente proyecto radica en el apoyo a la creación de infraestructura de desarrollo propio, y que puede ser utilizada en la prestación de servicios o bien puede ser ofrecida como una transferencia tecnológica. Adicionalmente, el proyecto apoya el desarrollo de un proyecto en donde se pretende construir un instrumento de medición de alta exactitud y gran capacidad de automatización. En el proyecto participan alumnos y académicos realizando labores de investigación aplicada. Cabe señalar que no se ha diseñado anteriormente un sistema de medición que permita medir tanto el H_{CP} como la T_C en un solo equipo, lo cual da originalidad a este trabajo.

Con el sistema propuesto se podrán elegir intervalos de operación en voltaje de 1-10 V_{CA} para rangos de frecuencias entre 0.1 y 50 kHz, con lo cual se podrá medir una amplia gama de materiales magnéticos suaves como las ferritas de NiZn hasta ferritas semi-duras como la ferrita de cobalto. En este sentido el ancho de banda del instrumento estará limitado a la velocidad de muestreo máxima restringido por la tarjeta de adquisición de datos disponible.

Relación con otras áreas.

Existe una gran relación con las áreas de electrónica analógica, procesamiento digital de señales, programación de computadoras, sistemas electrónicos digitales, medición e instrumentación y ciencia e ingeniería de materiales.

MÉTODO.

El sistema de medición tiene como base el arreglo experimental de Rowland mostrado en la Figura 3 (Halliday D. et al, 2004).

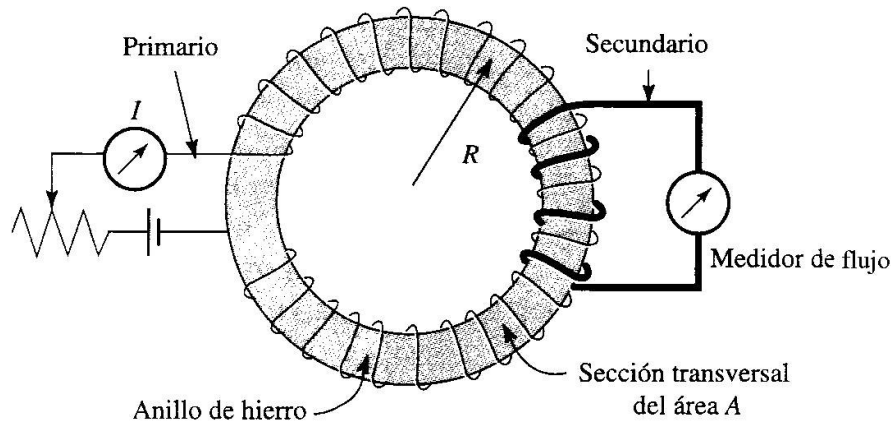


Figura 3. Toroide de Rowland.

En este arreglo experimental el toroide es un material magnético envuelto de un embobinado primario que permite magnetizarlo y un embobinado secundario que permite determinar la inducción de flujo magnético. La corriente eléctrica en el embobinado primario determina la intensidad de campo magnético de excitación, H , en el material. El embobinado secundario produce un voltaje proporcional a la tasa de variación del campo magnético, B , debida a la presencia del campo de excitación. La curva de magnetización del material, similar a la Figura 2, se obtiene al medir la integral del voltaje en el embobinado secundario y la corriente en el primario.

En el presente proyecto el arreglo experimental de Rowland se implementa al integrar un sistema de medición empleando técnicas de procesamiento digital de señales sobre la base de una PC y la tarjeta de adquisición NI USB-6211 con interfaz USB. La Figura 4 muestra el esquema propuesto, donde se observa la

tarjeta de adquisición NI USB-6211, la cual genera una señal analógica senoidal, v_i , que es el voltaje de entrada en el embobinado primario de la ferrita toroidal. La misma señal es digitalizada en la entrada analógica AI0. El voltaje senoidal en el embobinado secundario, v_o , es digitalizado en la entrada analógica AI1. La temperatura del horno es determinada mediante un termopar y su voltaje v_t es digitalizado en la entrada analógica AI2.

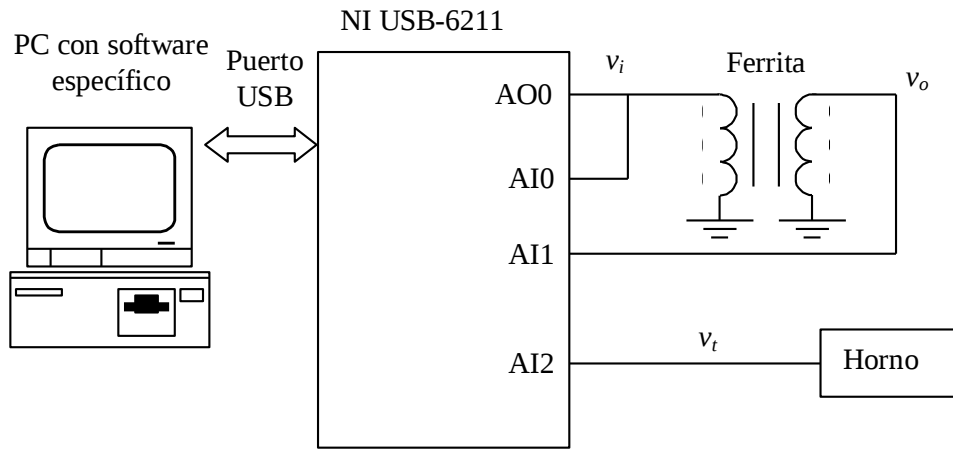


Figura 4. Esquema del sistema para la medición de propiedades ferromagnéticas.

Para la obtención del campo crítico de propagación (H_{CP}) se propone un algoritmo de medición que primero deberá disminuir la contribución del ruido en las señales, para obtener el valor promedio o el valor RMS de los voltajes v_o , v_i . La variación en la amplitud del voltaje v_i deberá ser completamente automatizada para valores típicos de ferritas duras y suaves. El software específico en la PC implementará el algoritmo de medición así como la interfaz con el usuario y operaciones comunes como graficación, almacenamiento de archivos, entre otros.

OBJETIVOS Y RESULTADOS ESPERADOS.

Desarrollar un sistema hardware y software para la medición del H_{CP} y la T_C en ferritas toroidales con una exactitud aproximada a los sistemas comerciales. El sistema deberá ser compacto en tamaño. En forma adicional, el software

específico de medición deberá contar con un alto grado de automatización, así como una interfaz amigable con el usuario.

ORGANIZACIÓN DEL INFORME.

El capítulo 1 muestra el hardware que implementa lo descrito con base en la Figura 4. Se muestran los detalles de la implementación electrónica y los fundamentos del algoritmo de medición. El capítulo 2 muestra la descripción del software desarrollado en Visual C que soporta el hardware y realiza las mediciones de los parámetros de interés. Además, se presenta el procedimiento típico para realizar una medición con el sistema desarrollado. Finalmente el capítulo 3 contiene los resultados y conclusiones.

CAPÍTULO 1

SISTEMA DE MEDICIÓN.

En este capítulo se presenta el sistema hardware propuesto para la medición del H_{CP} y la T_C . El sistema consta de un hardware, con operación en tiempo real, desarrollado a partir de herramientas básicas para la adquisición y generación de señales. El esquema incluye un sistema electrónico sobre la base de una tarjeta de adquisición de datos comercial y componentes electrónicos desarrollados de forma específica para adecuar las señales a los niveles de voltaje y potencia requeridos.

1.1. ESQUEMA GENERAL.

En el presente trabajo se desarrolla un sistema de medición compacto en tamaño y que prescinde de equipo de medición comercial costoso, además de integrar en un mismo equipo la medición de los dos parámetros magnéticos H_{CP} y la T_C . Considerando la experiencia de los investigadores que han utilizado los sistemas de medición descritos, se plantea satisfacer la necesidad de mejorar los sistemas de medición, logrando la captura automática de los datos, además de tener la posibilidad de variar amplitud y frecuencia en la señal de entrada del primario para lograr la caracterización de materiales magnéticos tanto duros como suaves.

El método para determinar las propiedades magnéticas H_{CP} y T_C consiste en integrar un sistema de medición empleando técnicas de procesamiento digital de señales sobre la base de una PC y la tarjeta de adquisición NI USB-6211 con interfaz USB. La Figura 1.1 muestra el esquema propuesto, donde la tarjeta de adquisición NI USB-6211 genera una señal analógica senoidal en su terminal AO1 que es entrada a un impulsor de corriente alterna (CA) para ser adecuada a los requerimientos de potencia del solenoide primario del material (ferrita toroidal). La señal aplicada al primario, $v_i(t)$, es digitalizada en la entrada analógica AI1. El

voltaje senoidal en el solenoide secundario, $v_o(t)$, es digitalizado en la entrada analógica AI9. La temperatura del horno es medida con un termopar tipo K y su voltaje, después del acondicionador de señal, v_t , es digitalizado en la entrada analógica AI8. El sistema contempla el control de la temperatura del horno mediante las señales de control de fase de onda completa, PFI4 y PFI5, que son aplicadas a la etapa de potencia de corriente alterna. Estas señales de control de fase dosifican la potencia que es aplicada a la resistencia del horno a través de la línea de corriente alterna y un puente rectificador de onda completa con dispositivos SCR. El control de fase requiere una señal de referencia de la línea de alimentación que es entrada en la conexión PFI3.

Para la obtención del H_{CP} se propone un algoritmo de medición que extrae la componente fundamental de las señales $v_o(t)$ y $v_i(t)$ para obtener el valor medio o el valor RMS como se describe en 1.3. La variación en la amplitud y frecuencia del voltaje $v_i(t)$ es completamente automatizada para valores típicos de ferritas suaves.

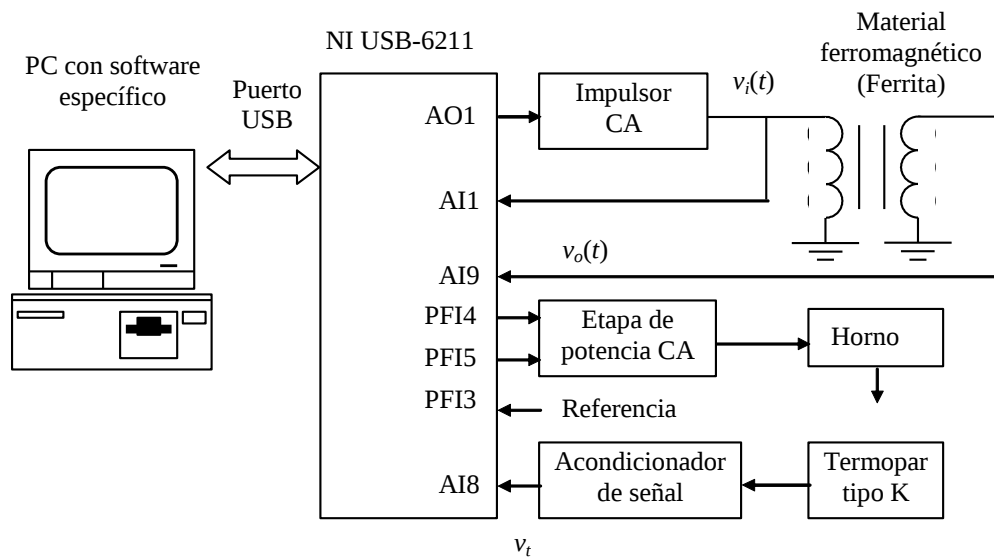


Figura 1.1. Esquema del sistema para la medición de propiedades ferromagnéticas.

Para la medición de la T_C se propone determinar $v_o(t)/v_i(t)$ del método anterior para diferentes temperaturas en el horno.

El software específico en la PC implementa el algoritmo de medición así como la interfaz con el usuario y operaciones comunes como graficación, almacenamiento de archivos y modificación de parámetros. En particular el software presenta las gráficas v_i vs v_o y T vs v_o/v_i , similares a las Figuras 1 y 2.

1.2. SISTEMA ELECTRÓNICO.

El sistema electrónico es la base hardware para la generación y adquisición de las señales involucradas en el proceso de medición. El sistema electrónico se observa en la Figura 1.1 y se describe a continuación. Los detalles de su implementación se presentan en el anexo A.

1.2.1. Tarjeta de adquisición de datos.

Las especificaciones para determinar cual tarjeta de adquisición se emplea son las siguientes:

- Tasa de muestreo de 200 kHz, para abarcar desde ferritas suaves (100 Hz) hasta ferritas semiduras (50 kHz).
- Número de entradas analógicas 3, de más de 8 bits ya que se prefiere aritmética de más de 8 bits para proporcionar exactitud a los algoritmos de procesamiento de señales.
- Número de salidas analógicas 1, de más de 8 bits ya que se prefiere aritmética de más de 8 bits para proporcionar exactitud a los algoritmos de procesamiento de señales.
- Número de salidas digitales 1, que soporte generación de pulsos con sincronía de disparo externa y tiempo de retardo programable para generar el control de fase en la etapa de potencia.

Con estas especificaciones se ingresa en el sitio de National Instruments para seleccionar la tarjeta de adquisición que mejor cubra las especificaciones mencionadas (National Instruments, On Line).

La tarjeta utilizada es de National Instruments modelo USB-6211 [8], la cual proporciona el siguiente desempeño.

- 16 entradas analógicas de 16 bits a 250 ks/s.
- 2 salidas analógicas de 16 bits a 250 ks/s.
- Memoria integrada de 4,095 muestras.
- 2 contadores de 32 bits con generación de pulsos programable y diversos modos de sincronía y disparo.
- Software manejador para su programación en Visual C y LabView.

En la Figura 1.2 se muestra el diagrama de conexiones utilizado en la tarjeta USB-6211.

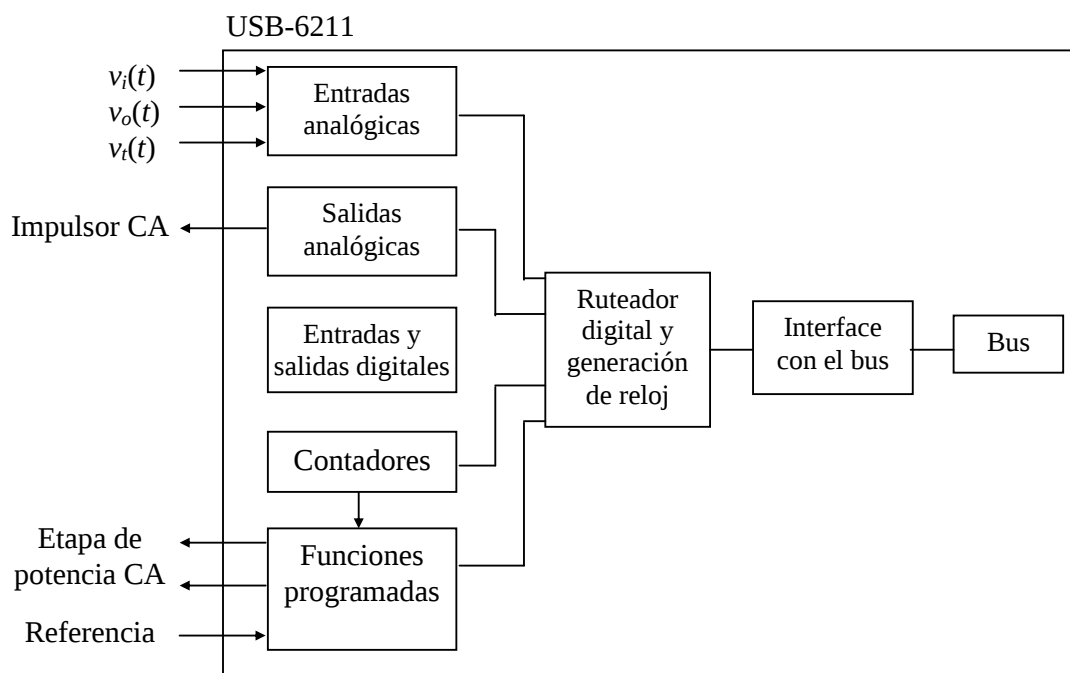


Figura 1.2. Conexiones de la tarjeta USB-6211.

Entradas analógicas

Las señales continuas en el tiempo correspondientes a los voltajes del solenoide primario $v_i(t)$, solenoide secundario $v_o(t)$ y acondicionador de señal para el termopar $v_t(t)$ son conectadas a la tarjeta USB-6211 utilizando la configuración *Referente Single Ended, RSE* en donde el voltaje es medido de la terminal de entrada AI relativa a la terminal de tierra analógica AI GND, como se muestra en la Figura 1.3. La configuración RSE es apropiada para múltiples señales que comparten una tierra de referencia en donde el cable de conexión no excede 3m y los niveles de voltaje son del orden de unos cuantos mili-volts hasta algunos volts.

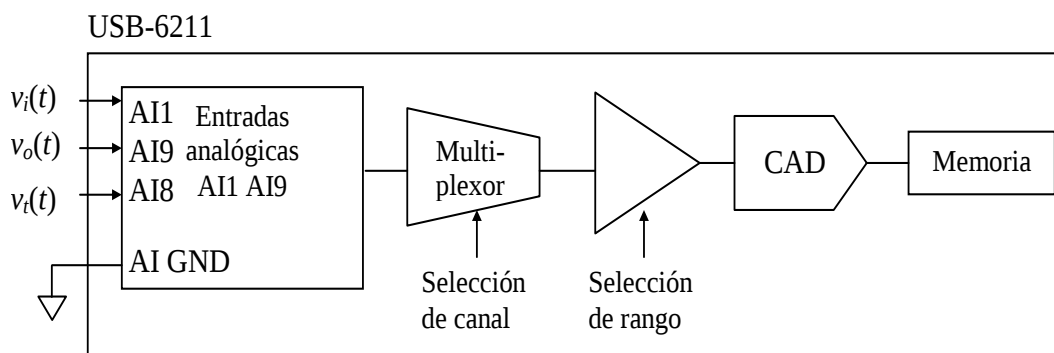


Figura 1.3. Entradas analógicas.

La digitalización de las tres señales se lleva a cabo una a la vez mediante la selección del canal en el multiplexor. El algoritmo de medición controla la tasa de muestreo al enviar un comando que inicia cada nueva digitalización y selecciona el rango de voltaje adecuado a la amplitud de las señales que se esperan recibir. El modo de adquisición consiste en la conversión analógica a digital, CAD, de un número finito de muestras que son transportadas vía USB desde la memoria de la tarjeta a la memoria de la aplicación mediante un comando de programación propio del manejador.

Salidas analógicas

Se utiliza una salida analógica para generar la señal senoidal que es entrada al solenoide del primario después de ser acondicionada por el impulsor CA. El voltaje de salida es referenciado a la terminal AO GND, como se muestra en la Figura 1.4.

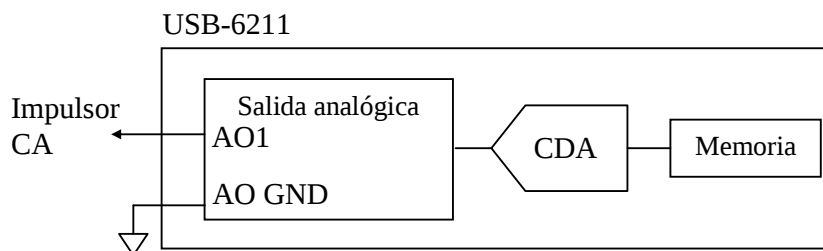


Figura 1.4. Salida analógica.

La generación de la señal se lleva a cabo al escribir continuamente un periodo de la función senoidal que es generado por la aplicación y enviado a la memoria de la tarjeta vía USB. El comando de programación propio de la tarjeta además de enviar el bloque de datos de la señal, especifica la tasa de muestreo y el número de muestras a generar. El bloque de datos digitales en la memoria de la tarjeta USB-6211 se usa como convertidor de digital a analógico, CDA. La generación de la señal es controlada por el algoritmo de medición en la aplicación.

Contadores y funciones programadas

El contador utilizado genera un pulso en respuesta a cada pulso de disparo en la señal de referencia, como se muestra en la Figura 1.5.

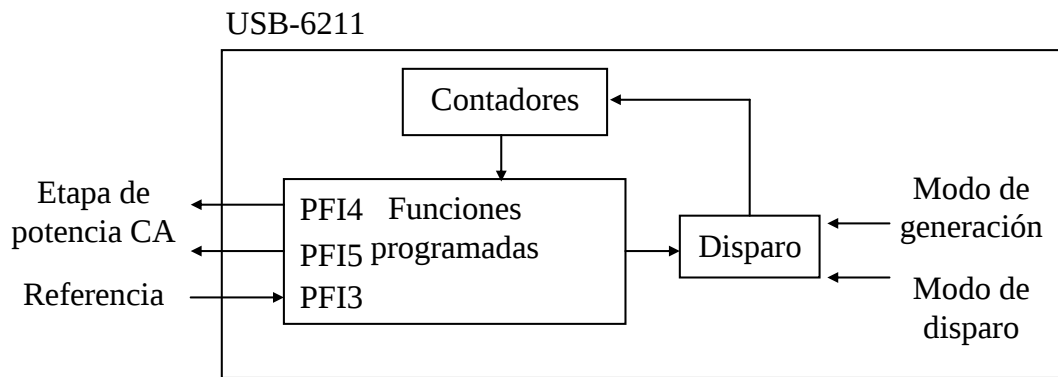


Figura 1.5. Contadores y funciones programadas.

La configuración consiste en especificar el modo de generación a un solo pulso, el modo de disparo a cada vez que ocurra la referencia externa y el retardo programable de acuerdo al nivel de potencia CA requerido. El modo de operación anterior se envía mediante el comando de programación propio de la tarjeta desde la aplicación. Además, el comando debe especificar el flanco de disparo (positivo o negativo), el estado activo del pulso (pulso alto o bajo) y la duración del pulso en el estado activo. En este esquema las señales involucradas se muestran en la Figura 1.6.

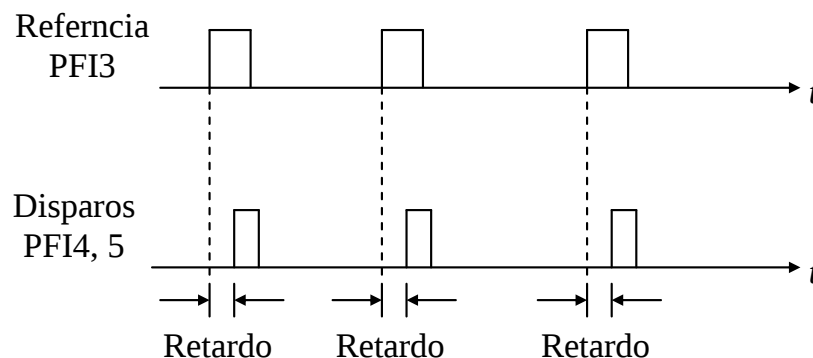


Figura 1.6. Generación de pulsos para la etapa de potencia CA.

Las señales PFI4 y PFI5 son utilizadas para la implementación de un control de ángulo de fase descrito en el subtema 1.2.3 por lo que PFI4 se dispara por bordes positivos y PFI5 se dispara por bordes negativos.

1.2.2. Impulsor CA.

El impulsor CA es un amplificador de potencia LM3875 [10] que tiene como objetivo proporcionar una ganancia de amplitud aproximada de 3 y una ganancia de potencia de hasta 56 W para impulsar con una corriente alterna sinusoidal al solenoide primario de la ferrita. La configuración utilizada se muestra en la Figura

1.7 y proporciona la siguiente ganancia $\frac{v_o}{v_i} = \frac{R_1}{R_2} + 1$.

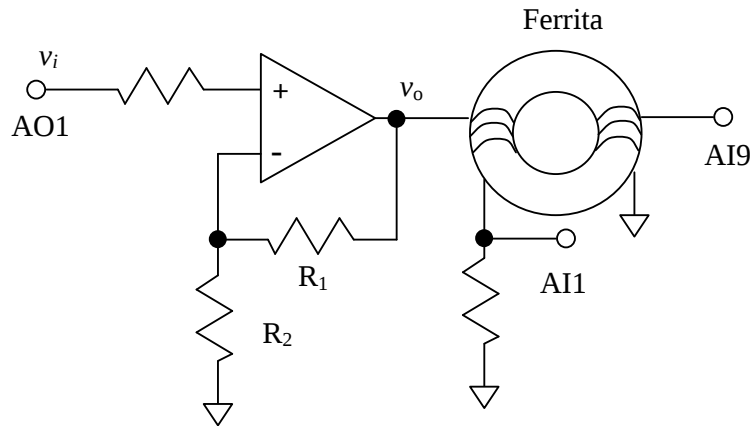


Figura 1.7. Impulsor CA (Para los detalles de los componentes ver anexo A.1).

1.2.3. Etapa de potencia CA.

La etapa de potencia CA es un rectificador controlado de onda completa utilizando la configuración que se observa en la Figura 1.8. El objetivo de la etapa de potencia CA es adecuar las señales de disparo para conmutar los dispositivos SCR en el suministro de potencia CA a la carga representada por el horno (Motorola, 1989).

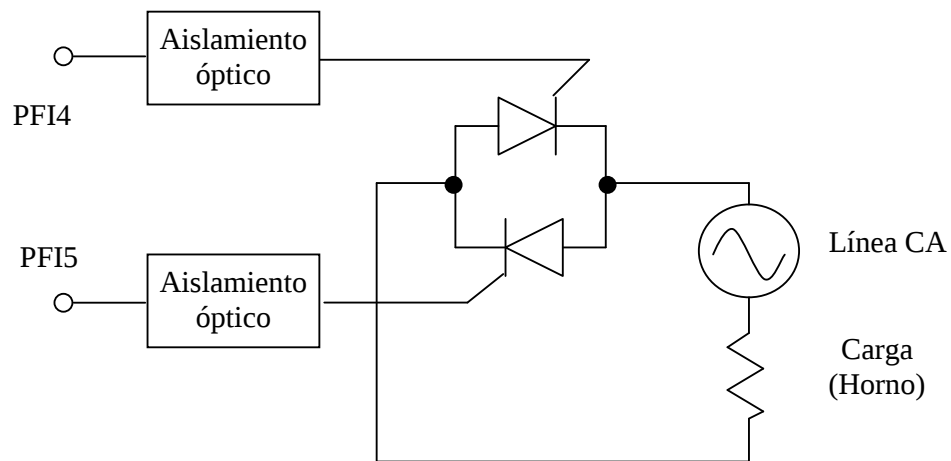


Figura 1.8. Etapa de potencia CA (Para los detalles de los componentes ver anexo A.1).

Las señales disparan los SCR en sincronía con la fase de la línea de alimentación, mediante la técnica conocida como control del ángulo de fase (Dewang y Straughen, 1975) como se muestra en la Figura 1.9.

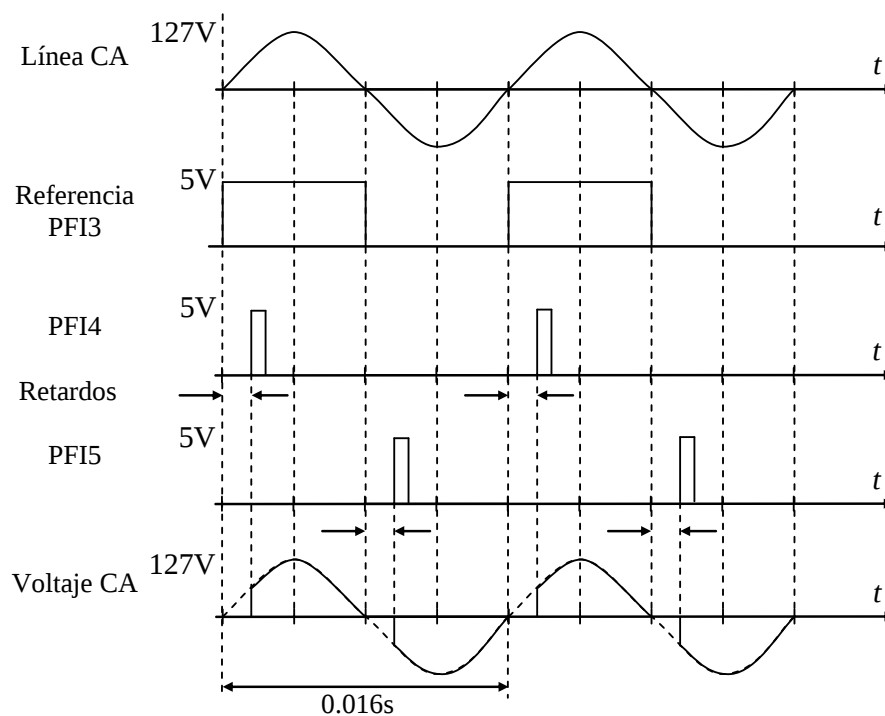


Figura 1.9. Control de fase.

El valor RMS del voltaje CA aplicado a la carga entonces depende directamente del retardo programado, lo que proporciona el control de la potencia sobre la carga y el nivel de temperatura en el horno.

La señal de referencia es generada a partir de la señal de la línea CA mediante el circuito comparador, ver Figura 1.10.

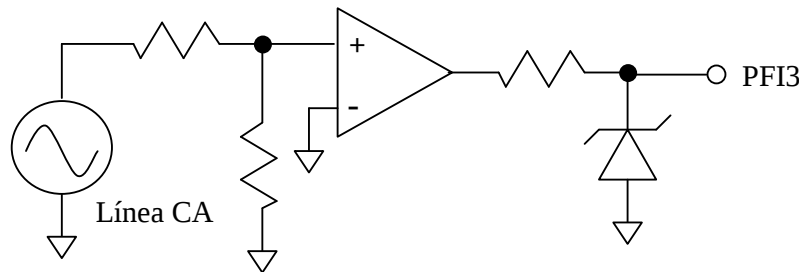


Figura 1.10. Circuito comparador (Para los detalles de los componentes ver anexo A.1).

1.2.4. Acondicionador de señal para termopar.

Debido a que el termopar es sensible a la diferencia de temperaturas, la temperatura en la unión entre los conductores del termopar y la electrónica del sistema de medición se debe conocer. A esta temperatura se le conoce como *temperatura de la unión de referencia*. La forma de implementar el circuito acondicionador para el termopar es conocida como *compensación por unión fría*. Esta compensación consiste en añadir un voltaje de compensación a la salida del termopar de manera que la unión de referencia aparente estar a 0°C independientemente de la temperatura actual.

El circuito implementado, Figura 1.11, constituye un termómetro electrónico con 10mV/°C de voltaje de salida y rango de operación de 0° (aparente) hasta 1300°C. El circuito integrado LM335 y su respectivo divisor de voltaje proporcionan un voltaje acoplado a la constante de proporcionalidad del termopar (Maida, 1991). La referencia de voltaje que proporciona el circuito LM329 con su respectivo divisor de voltaje permiten bloquear la salida a 0°C del LM335. El amplificador LM308

proporciona la ganancia que se requiere para poder procesar la señal en la tarjeta de adquisición de datos.

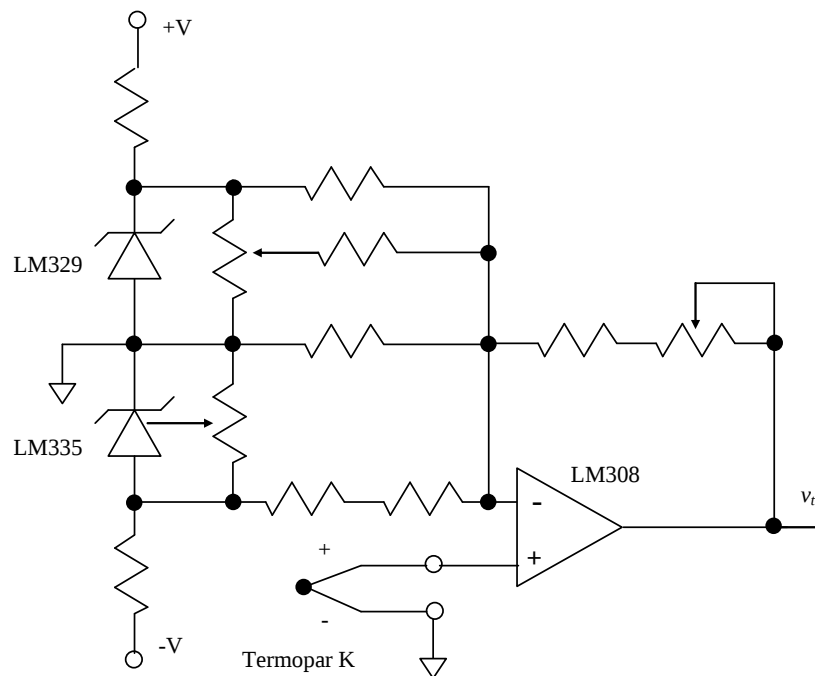


Figura 1.11. Circuito acondicionador de señal para termopar (Para los detalles de los componentes ver anexo A.1).

1.2.5. Fuentes de alimentación.

Se utilizaron cuatro voltajes de polarización $\pm 20V_{DC}$ a 5A no regulados y $\pm 15V_{DC}$ a 1A regulados. Los circuitos electrónicos que proporcionan estos niveles de voltaje como se muestra en la Figura 1.12.

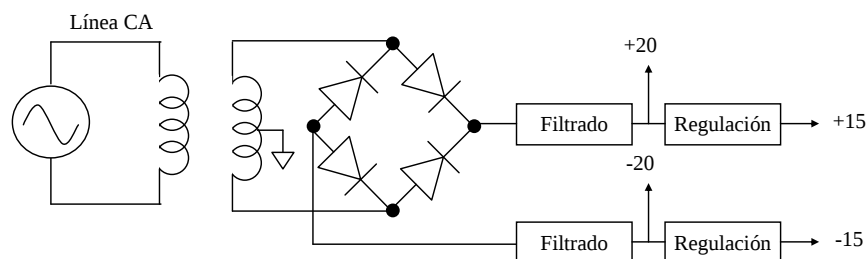


Figura 1.12. Fuentes de alimentación (Para los detalles de los componentes ver anexo A.1).

1.3. ALGORITMO DE MEDICIÓN.

Se desarrollaron dos algoritmos de medición para evaluar independientemente la H_{CP} y T_C . En los dos algoritmos se debe extraer el valor medio o RMS de la componente fundamental de la forma de onda senoidal debido a que las impedancias de los solenoides primario y secundario introducen distorsiones y atenuaciones. La fórmula utilizada es la siguiente

$$|V| = \text{abs}\left(\text{DFT}\left\{v(nt)\right\}_{f=f_0}\right) \quad (1.1)$$

en donde DFT es la Transformada Discreta de Fourier (del inglés Discrete Fourier Transform) y f_0 es la frecuencia fundamental (Proakis y Manolakis, 1996). Los valores $|V_i|$ y $|V_o|$ son utilizados para obtener las gráficas de magnetización y temperatura de Curie, que presentan el comportamiento mostrado en las Figuras 1 y 2. La variación en la amplitud y frecuencia del voltaje $v_i(t)$ es completamente automatizada para valores típicos de ferritas suaves. La Figura 1.13 muestra una forma de onda de aproximadamente 8kHz obtenida del sistema de medición y su transformada de Fourier.

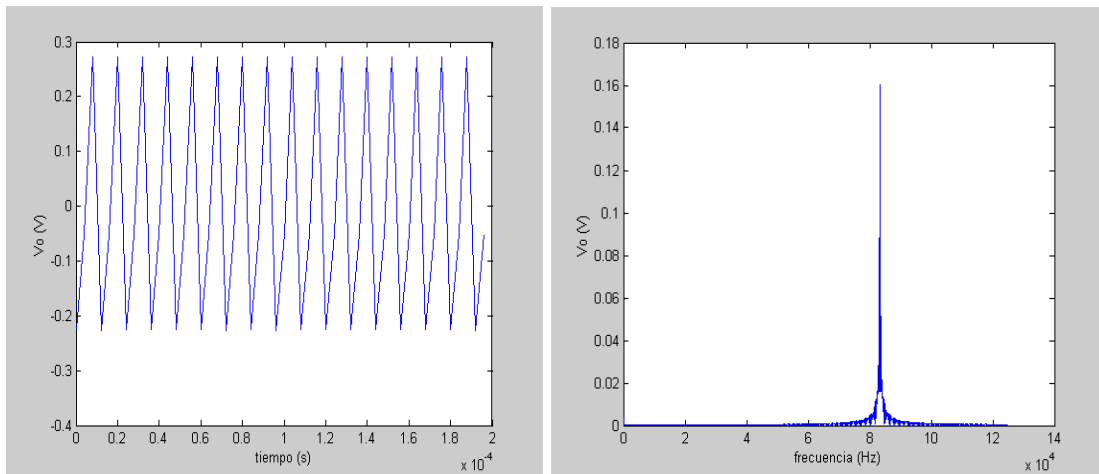


Figura 1.13. Forma de onda y transformada de Fourier.

Los algoritmos de medición completos, se describen a continuación.

1.3.1. Campo crítico de propagación.

Para la medición del H_{CP} se utiliza la arquitectura hardware descrita en 1.2 y tiene como objetivo obtener la curva $|V_i|$ vs $|V_o|$ que proporciona el mismo comportamiento de la curva de magnetización, ver Figura 2. El algoritmo desarrollado se muestra en la Figura 1.14.

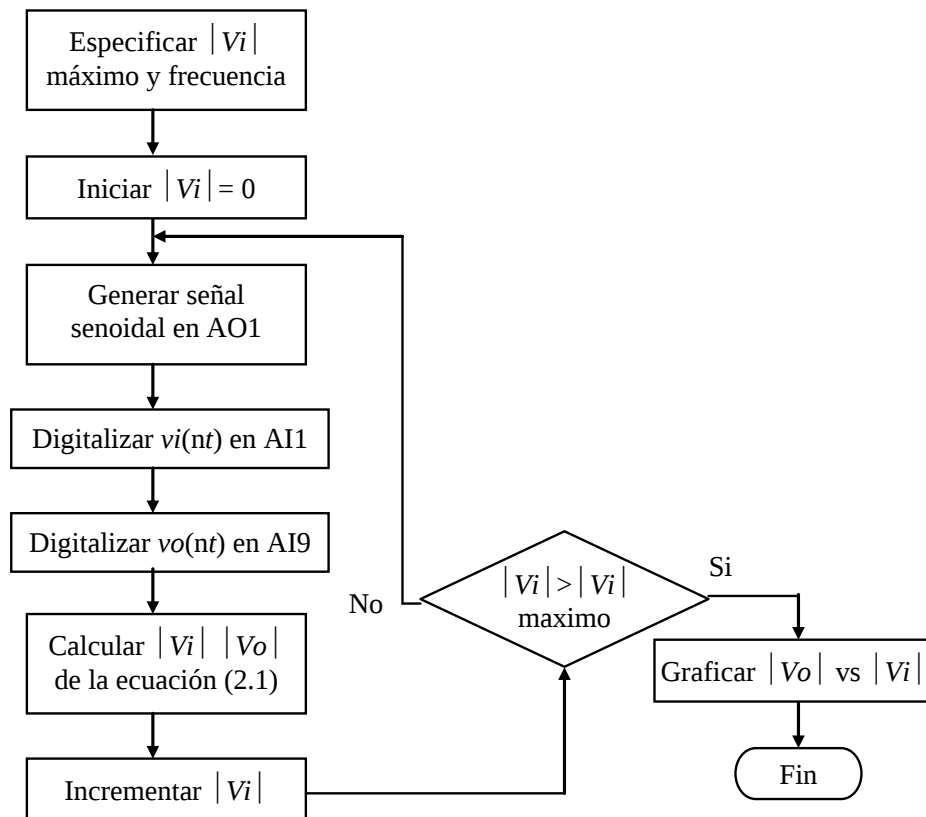


Figura 1.14. Algoritmo de medición para el campo crítico de propagación.

1.3.2 Temperatura de Curie.

Para la medición de la T_C se utiliza la arquitectura hardware descrita en 1.2 y tiene como objetivo obtener la curva temperatura vs $|V_o|/|V_i|$ que proporciona el

comportamiento de la curva de temperatura contra campo, ver Figura 1. El algoritmo desarrollado se muestra en la Figura 1.15.

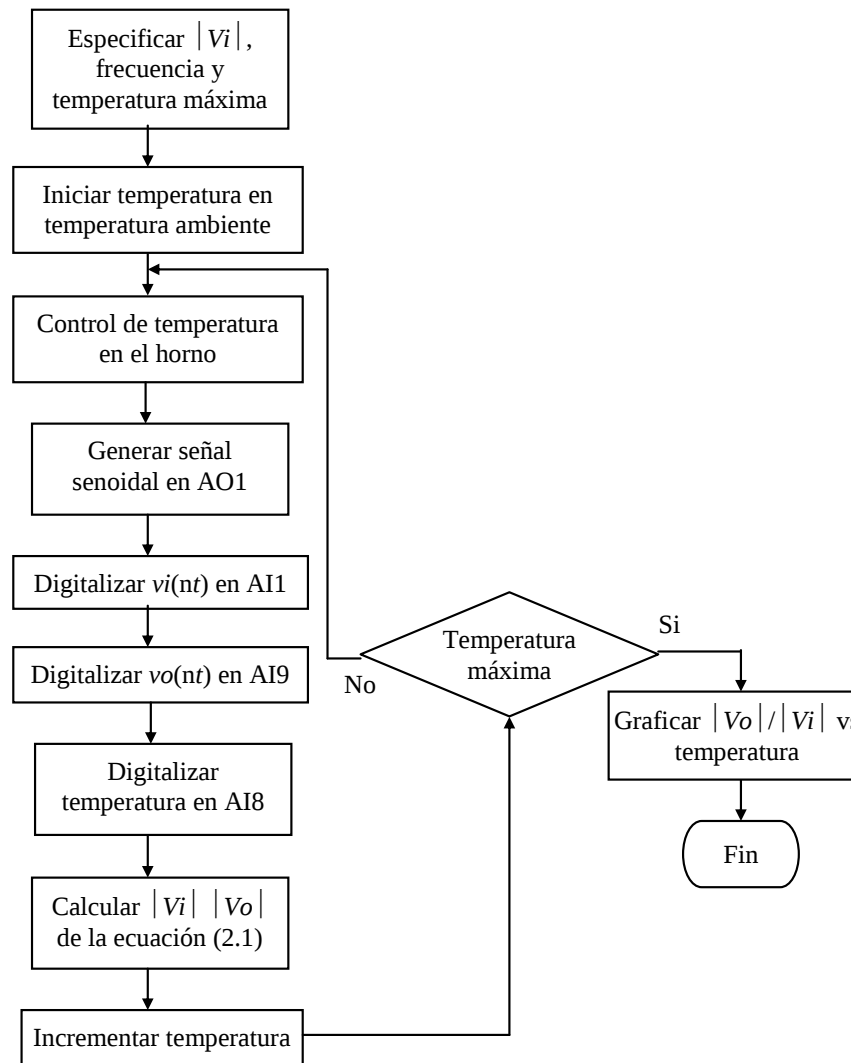


Figura 1.15. Algoritmo de medición para la temperatura de Curie.

El control de temperatura se lleva a cabo mediante un algoritmo PID que genera niveles de potencia CA variables en que garantiza rápida y correcta estabilización (Ang *et al*, 2005) La sintonización se lleva a cabo al variar las constantes de proporcionalidad, integral y derivativa de manera empírica (Williams, on line).

CAPÍTULO 2

SOFTWARE DE OPERACIÓN.

El sistema de medición tiene como interfaz de operación dos programas para PC que controlan completamente el hardware e implementan los algoritmos de medición descritos en 1.3. El software fue desarrollado en Visual C++ 6 y es ejecutable desde Windows XP.

2.1 DESCRIPCIÓN EN EL ÁMBITO DE USUARIO.

Se desarrollaron dos programas independientes para la medición del H_{CP} y la T_C . Ambos programas comparten el mismo hardware aunque la posición física del material debe ser diferente. Para la medición del H_{CP} se requiere que el material este a temperatura ambiente. En cambio, para la medición de la T_C es necesario variar la temperatura del material mediante un horno de resistencia.

2.1.1 Campo crítico de propagación.

La pantalla de operación del programa desarrollado para la medición del H_{CP} se muestra en la Figura 2.1.

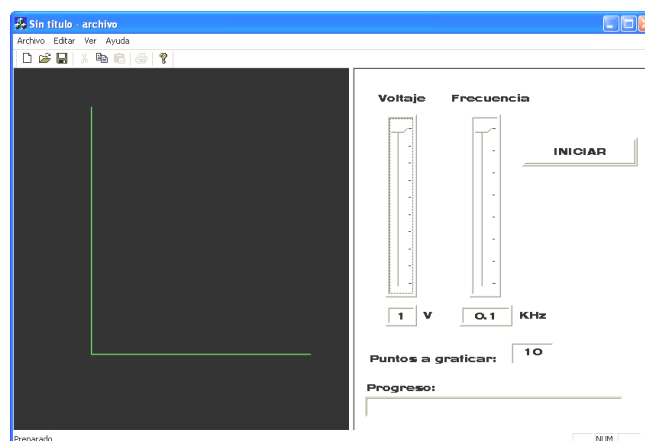


Figura 2.1. Pantalla de medición para el H_{CP} .

La pantalla de la Figura 2.1 muestra dos áreas principales:

- Un área de despliegue gráfico x-y para visualizar la gráfica obtenida de $|v_i|$ vs $|v_o|$
- Un área de control en donde el operador ingresa: la amplitud máxima del voltaje senoidal aplicado al solenoide primario, $|v_i|_{\max}$, la frecuencia a la cual se realizará toda la prueba y el número de puntos a graficar. Además se cuenta con el botón “INICIAR” para comenzar la prueba y la barra de “progreso” en donde se visualiza el avance del proceso.

El programa cuenta con el menú de opciones que se muestra en la Figura 2.2.



Figura 2.2. Menú de opciones para el H_{CP} .

Las opciones del menú se describen a continuación.

Archivo

Nuevo: Esta opción descarta la medición actual para iniciar una nueva medición.

Abrir: Abre un documento de medición almacenado en archivo binario.

Guardar: Guarda la medición actual en archivo binario.

Guardar como: Guarda la medición actual en un archivo binario con nombre alternativo.

Imprimir: Imprime la vista actual, despliegue o controles.

Presentación preliminar: Imprime el despliegue gráfico en vista preliminar.

Configurar impresora: Permite configurar las opciones de impresión para Windows.

Archivos recientes: Muestra una lista de los 4 archivos más recientes que se abrieron.

Salir: Finaliza la ejecución del programa.

Editar

Copiar: Copia los pares de datos graficados más un encabezado al portapapeles. Esta opción permite trasladar las mediciones a otros programas como Excel.

Ver

Barra de herramientas: Habilita o deshabilita la barra de herramientas.

Barra de estado: Habilita o deshabilita la barra de estado.

Ayuda

Acerca de: Despliega el dialogo “Acerca de...” que presenta la información de derechos de autor.

2.1.2 Temperatura de Curie.

La pantalla de operación del programa desarrollado para la medición la T_C se muestra en la Figura 2.3.

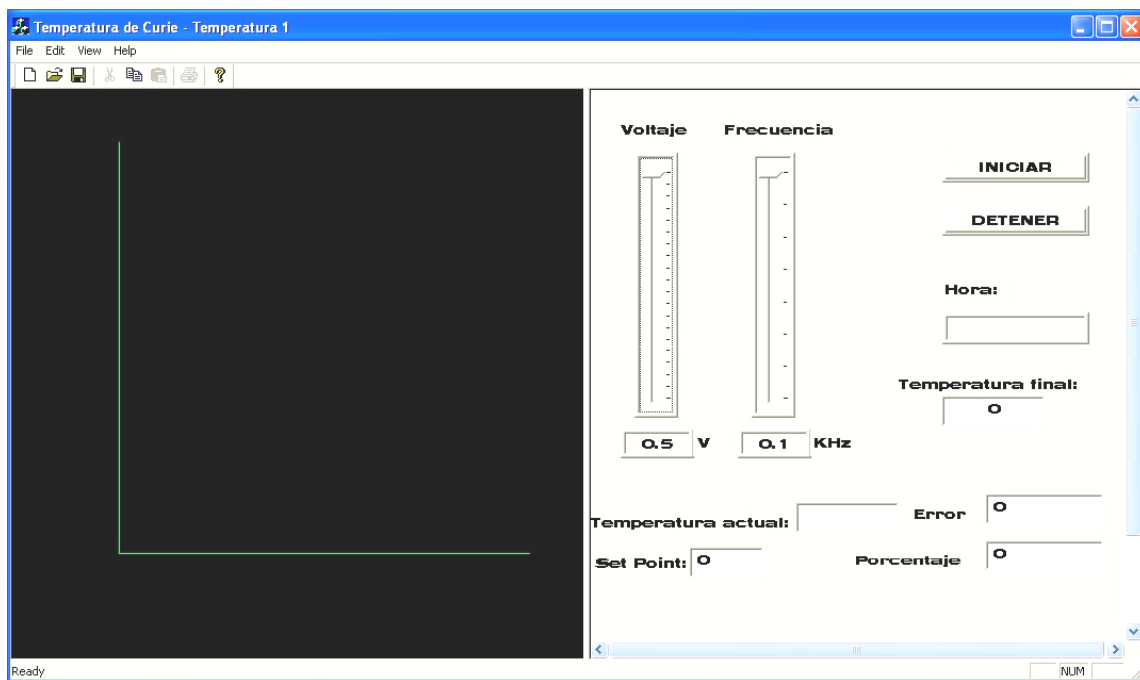


Figura 2.3. Pantalla de medición para la T_C .

La pantalla de la Figura 2.3 muestra dos áreas principales:

- Un área de despliegue gráfico x-y para visualizar la gráfica obtenida de $|v_o|$ vs $|v_i|$.
- Un área de controles en donde el operador ingresa: la amplitud del voltaje senoidal aplicado al solenoide primario, $|v_i|$, la frecuencia a la cual se realizará toda la prueba y la temperatura final a la cual se realizará la medición. Además se cuenta con los botones “INICIAR” para iniciar la prueba y “DETENER” para cancelar la prueba. También se cuenta con las siguientes cajas de texto: “Hora” que indica la hora actual, “Temperatura actual” que indica la temperatura actual durante el proceso, “Error” en donde se aprecia la temperatura que falta para alcanzar la temperatura objetivo, “Set Point” en donde se despliega la temperatura objetivo y “Porcentaje” en donde se despliega el nivel de potencia aplicado a la carga.

El programa cuenta con el menú de opciones que se muestra en la Figura 2.4.

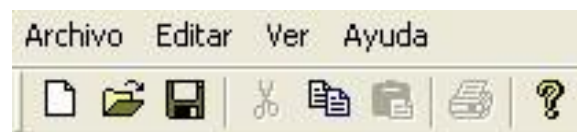


Figura 2.4. Menú de opciones para la T_C .

Las opciones del menú se describen a continuación.

Archivo

Nuevo: Esta opción descarta la medición actual para iniciar una nueva medición.

Abrir: Abre un documento de medición almacenado en archivo binario.

Guardar: Guarda la medición actual en archivo binario.

Guardar como: Guarda la medición actual en un archivo binario con nombre alternativo.

Imprimir: Imprime la vista actual, despliegue o controles.

Presentación preliminar: Imprime el despliegue gráfico en vista preliminar.

Configurar impresora: Permite configurar las opciones de impresión para Windows.

Archivos recientes: Muestra una lista de los 4 archivos más recientes que se abrieron.

Salir: Finaliza la ejecución del programa.

Editar

Copiar: Copia los pares de datos graficados más un encabezado al portapapeles. Esta opción permite trasladar las mediciones a otros programas como Excel.

Ver

Barra de herramientas: Habilita o deshabilita la barra de herramientas.

Barra de estado: Habilita o deshabilita la barra de estado.

Ayuda

Acerca de: Despliega el dialogo “Acerca de...” que presenta la información de derechos de autor.

2.2 DESCRIPCIÓN EN EL ÁMBITO DE PROGRAMADOR.

Los dos programas para la medición de H_{CP} y la T_C fueron desarrollados utilizando Visual C++ 6 (Kruglinski *et al*, 1998) y la librería de programación NI-DAQmx C incluida en la compra de la tarjeta NI USB-6211 (National Instruments, 2007).

Por lo tanto, los requisitos mínimos para compilar las aplicaciones son:

- Visual C++ 6.
- Librería NI-DAQmx C.

Además, es altamente recomendable tener instalados los ejemplos del directorio DAQmx ANSI C y la aplicación Measurement & Automation ambos distribuidos por

National Instruments en la compra de sus productos, aunque estos no son necesarios para la compilación o ejecución de los programas desarrollados.

A continuación la descripción de las clases y métodos de los proyectos de programación.

2.2.1 Campo crítico de propagación

Se desarrollo una aplicación para determinar el H_{CP} en forma independiente. La aplicación soporta el hardware descrito en 1.2 y el algoritmo de medición descrito en 1.3.1.

Organización del proyecto

El proyecto esta organizado en seis clases, ver Figura 2.5. El proyecto fue especificado como aplicación MFC de documento sencillo, con soporte documento-vista y con dos paneles divisibles: el primero para albergar la vista y el segundo alberga un conjunto de controles.



Figura 2.5. Clases para el programa de medición del H_{CP} .

Las clases contienen métodos y variables que implementan el algoritmo de medición descrito en 1.3.1. A continuación se explican los métodos de cada clase.

Clase CAboutDlg

La clase CAboutDlg se muestra en la Figura 2.6 y se utiliza para desplegar la caja de diálogo “Acerca de...”

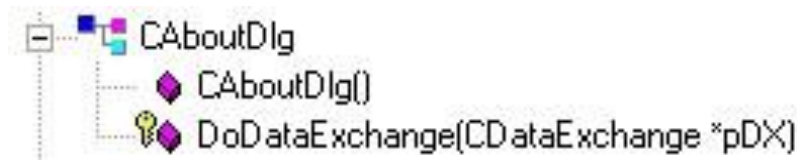


Figura 2.6. Clase CAboutDlg.

CAboutDlg(); Es el constructor por omisión de la clase. No implementa código alguno.

virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); Permite el intercambio DDX/DDV de variables con otras clases. Insertado por omisión por el ambiente de desarrollo.

Clase CControles

La clase CControles se muestra en la Figura 2.7 y se utiliza para manejar los eventos de la sección de controles en el programa e implementar el algoritmo de medición descrito en 1.3.1.

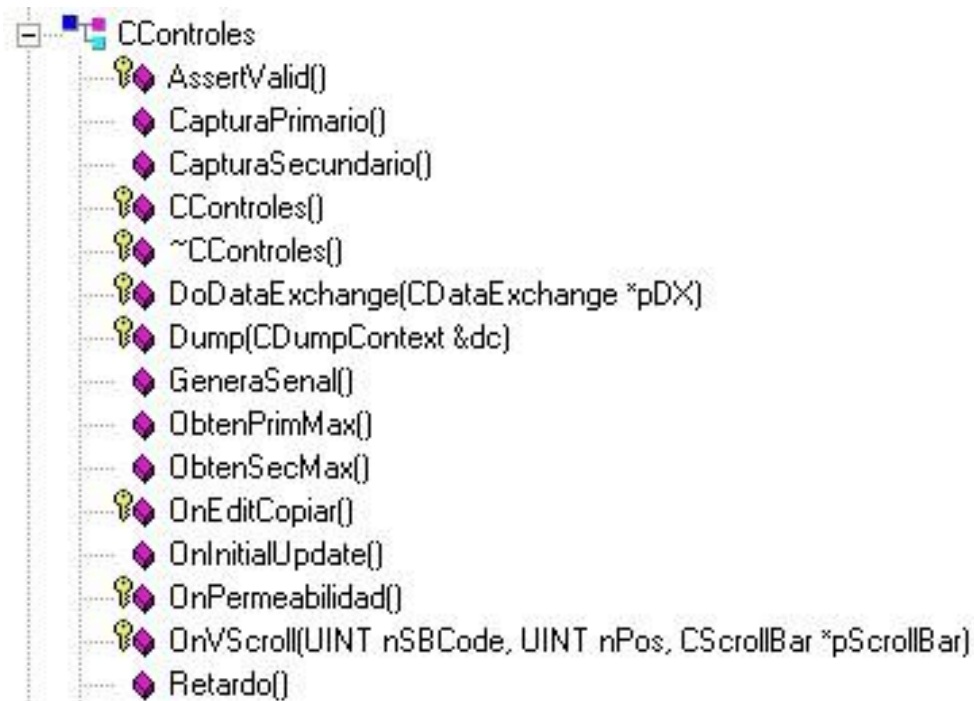


Figura 2.7. Clase CControles.

virtual void AssertValid(); Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

void CapturaPrimario(); Envía el conjunto de comandos para que la tarjeta USB-6211 inicie la captura de señal en el embobinado primario de la ferrita.

void CapturaSecundario(); Envía el conjunto de comandos para que la tarjeta USB-6211 inicie la captura de señal en el embobinado secundario de la ferrita.

CControles(); Constructor en donde se inicializan variables.

virtual ~CControles(); Destructor insertado por omisión por el ambiente de desarrollo.

virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); Permite el intercambio DDX/DDV de variables con otras clases. Insertado por omisión por el ambiente de desarrollo.

virtual void Dump(CDumpContext& dc); Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

void GeneraSenal(); Crea las muestras para la señal senoidal y envía éste conjunto de datos a la tarjeta USB-6211 para generar la salida al solenoide primario.

float64 ObtenPrimMax(); Calcula la DFT de las muestras capturas del primario y obtiene el valor de la amplitud máxima.

float64 ObtenSecMax(); Calcula la DFT de las muestras capturas del secundario y obtiene el valor de la amplitud máxima.

afx_msg void OnEditCopiar(); Copia los pares de datos de la gráfica, voltajes primario y secundario, en el portapapeles.

virtual void OnInitialUpdate(); Inicia los controles de la aplicación.

afx_msg void OnPermeabilidad(); Atiende el evento por pulsar el botón "permeabilidad". Se desarrolla la secuencia principal del algoritmo de medición.

afx_msg void OnVScroll(UINT nSBCode, UINT nPos, CScrollBar* pScrollBar);
Controla los eventos por deslizar las barras de control “Voltaje” y “Frecuencia”.

void Retardo(); Implementa un retardo de 1s para controlar la multicanalización de las señales en la tarjeta USB-6211.

Clase CMainFrame

La clase CMainFrame de la Figura 2.8 se utiliza para crear la apariencia principal de la aplicación.

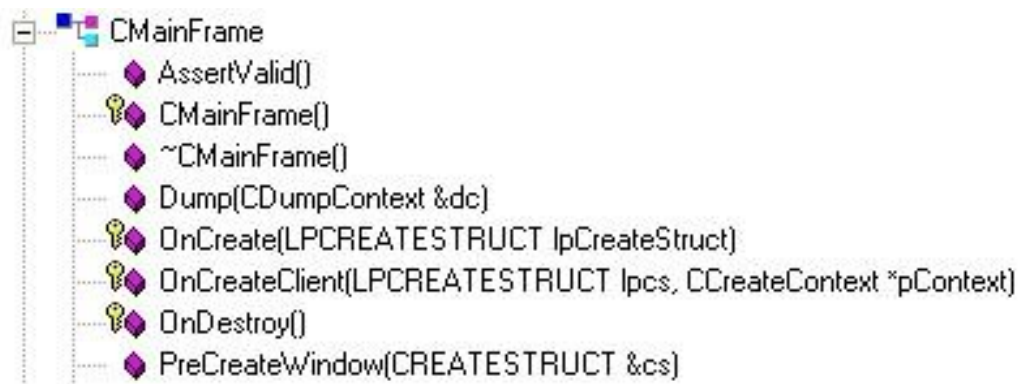


Figura 2.8. Clase CMainFrame.

virtual void AssertValid(); Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

CMainFrame(); Es el constructor por omisión de la clase. No implementa código alguno.

virtual ~CMainFrame(); Destructor insertado por omisión por el ambiente de desarrollo.

virtual void Dump(CDumpContext& dc); Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

afx_msg int OnCreate(LPCREATESTRUCT lpCreateStruct); Crea y habilita las barras de estado y de herramientas.

virtual BOOL OnCreateClient(LPCREATESTRUCT lpcs, CCreateContext* pContext); Crea una ventana divisible en dos paneles para desplegar la vista y los controles respectivamente.

afx_msg void OnDestroy(); Se establecen los niveles de señal en la tarjeta USB-6211 para que el sistema electrónico pueda ser apagado.

virtual BOOL PreCreateWindow(CREATESTRUCT& cs); Insertada por omisión por el ambiente de desarrollo.

CNuevoApp

La clase CNuevoApp de la Figura 2.9 se encarga de realizar la inicialización estándar de la aplicación.



Figura 2.9. Clase CNuevoApp.

CNuevoApp(); Insertada por omisión por el ambiente de desarrollo.

virtual BOOL InitInstance(); Realiza la inicialización estándar para una aplicación de documento sencillo. Asigna las clases a los paneles divisibles.

afx_msg void OnAppAbout(); Despliega la caja de diálogo “Acerca de..”.

CNuevoDoc

La clase CNuevoDoc de la Figura 2.10 se encarga de la administración de documentos como guardar o abrir.



Figura 2.10. Clase `CNuevoDoc`.

`virtual void AssertValid() const;` Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

`CNuevoDoc();` No implementa código alguno. Insertada por el ambiente de desarrollo.

`virtual ~CNuevoDoc();` No implementa código alguno. Insertada por el ambiente de desarrollo.

`virtual void Dump(CDumpContext& dc);` Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

`virtual BOOL OnNewDocument();` Insertada por omisión por el ambiente de desarrollo.

`virtual void Serialize(CArchive& ar);` Lee y escribe los datos para los archivos de medición.

CNuevoView

La clase `CNuevoView` de la figura 2.11 se utiliza para actualizar el área gráfica de la pantalla con los datos de medición.



Figura 2.11. Clase CNuevoView.

virtual void AssertValid(); Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

CNuevoView(); No implementa código alguno. Insertada por el ambiente de desarrollo.

virtual ~CNuevoView(); No implementa código alguno. Insertada por el ambiente de desarrollo.

virtual void Dump(CDumpContext& dc); Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

CNuevoDoc* GetDocument(); Habilita la transferencia de datos del documento hacia la vista.

double MaximoPrim(); Función utilizada para extraer el valor máximo de un grupo de muestras en el cálculo de los límites de los ejes de la gráfica.

double MaximoSec(); Función utilizada para extraer el valor máximo de un grupo de muestras en el cálculo de los límites de los ejes de la gráfica.

virtual void OnBeginPrinting(CDC* pDC, CPrintInfo* pInfo); No implementa código alguno. Insertada por el ambiente de desarrollo.

virtual void OnDraw(CDC* pDC); Permite la graficación de los datos de medición en la vista. Realiza las siguientes funciones principales: Calcula las coordenadas de la pantalla, Dibuja los ejes coordenados, presenta los datos en el área de despliegue y dibuja una cuadrícula de referencia.

virtual void OnEndPrinting(CDC* pDC, CPrintInfo* pInfo); No implementa código alguno. Insertada por el ambiente de desarrollo.

afx_msg BOOL OnEraseBkgnd(CDC* pDC); Permite establecer un nuevo color de fondo para la vista.

virtual BOOL OnPreparePrinting(CPrintInfo* pInfo); Insertada por omisión por el ambiente de desarrollo.

virtual BOOL PreCreateWindow(CREATESTRUCT& cs); Insertada por omisión por el ambiente de desarrollo.

2.2.2 Temperatura de Curie.

Se desarrollo una aplicación para determinar la T_C en forma independiente. La aplicación soporta el hardware descrito en 1.2 y el algoritmo de medición descrito en 1.3.2.

Organización del proyecto

El proyecto esta organizado en las seis clases que muestra la Figura 2.12. El proyecto fue especificado como aplicación MFC de documento sencillo, con soporte documento-vista y con dos paneles divisibles: el primero para albergar la vista y el segundo alberga un conjunto de controles.

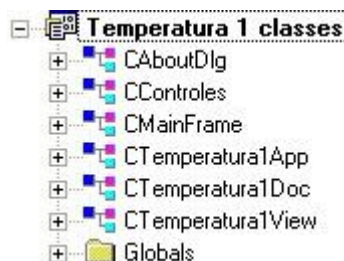


Figura 2.12. Clases para el programa de medición de la T_C .

Las clases contienen métodos y variables que implementan el algoritmo de medición descrito en 1.3.2. A continuación se explican los métodos de cada clase.

Clase CAboutDlg

La clase CAboutDlg se muestra en la Figura 2.13 y se utiliza para desplegar la caja de diálogo “Acerca de...”

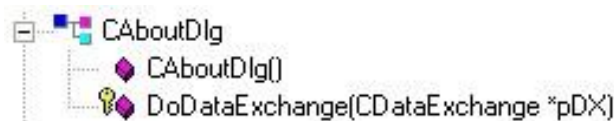


Figura 2.13. Clase CAboutDlg.

CAboutDlg(); Es el constructor por omisión de la clase. No implementa código alguno.

virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); Permite el intercambio DDX/DDV de variables con otras clases. Insertado por omisión por el ambiente de desarrollo.

Clase CControles

La clase CControles se muestra en la Figura 2.14 y se utiliza para manejar los eventos de la sección de controles en el programa e implementar el algoritmo de medición descrito en 1.3.2.

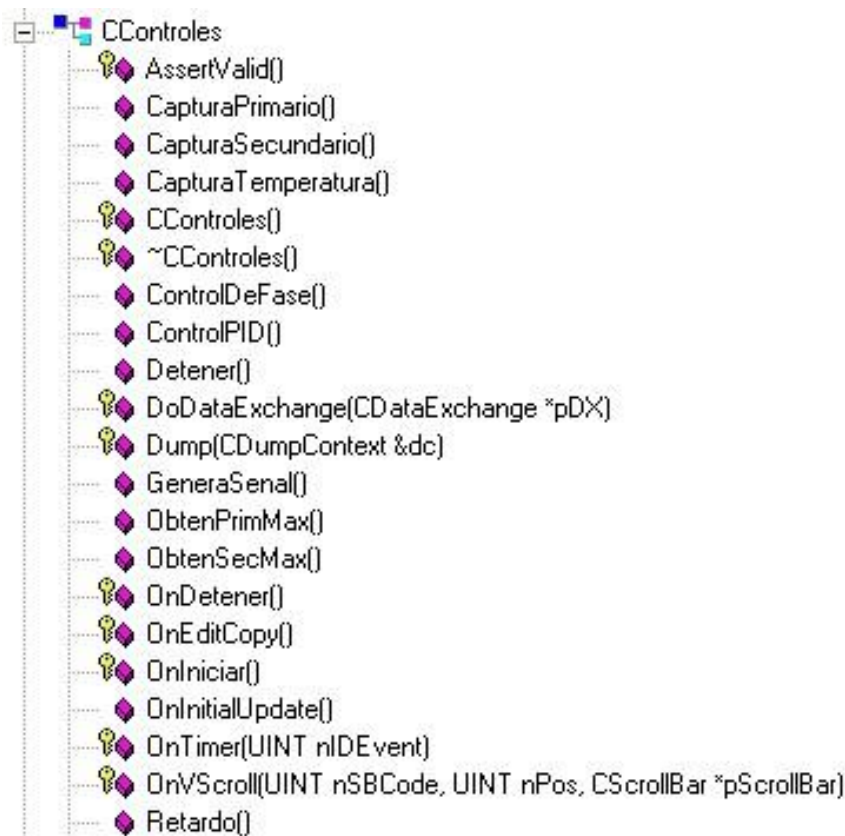


Figura 2.14. Clase CControles.

virtual void AssertValid(); Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

void CapturaPrimario(); Envía el conjunto de comandos para que la tarjeta USB-6211 inicie la captura de señal en el embobinado primario de la ferrita.

void CapturaSecundario(); Envía el conjunto de comandos para que la tarjeta USB-6211 inicie la captura de señal en el embobinado secundario de la ferrita.

void CapturaTemperatura(); Envía el conjunto de comandos para que la tarjeta USB-6211 inicie la captura de señal de temperatura. Captura la temperatura en dos modos distintos: Para desplegar la temperatura ambiente y para desplegar la gráfica voltaje vs temperatura.

CControles(); Constructor en donde se inicializan variables.

virtual ~CControles(); Destructor insertado por omisión por el ambiente de desarrollo.

void ControlDeFase(); Calcula el retardo con base al porcentaje de potencia en el horno y envía el comando específico de la USB-6211 para generar el control de fase.

void ControlPID(); Calcula la ecuación en diferencia del controlador PID para determinar la potencia en el horno.

void Detener(); Detiene el proceso y restablece las salidas de la USB-6211 para desenergizar el sistema electrónico.

virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); Permite el intercambio DDX/DDV de variables con otras clases. Insertado por omisión por el ambiente de desarrollo.

virtual void Dump(CDumpContext& dc); Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

void GeneraSenal(); Crea las muestras para la señal senoidal y envía éste conjunto de datos a la tarjeta USB-6211 para generar la salida al solenoide primario.

float64 ObtenPrimMax(); Calcula la DFT de las muestras capturas del primario y obtiene el valor de la amplitud máxima.

float64 ObtenSecMax(); Calcula la DFT de las muestras capturas del secundario y obtiene el valor de la amplitud máxima.

afx_msg void OnDetener(); Atiende el mensaje por pulsar el botón “detener”.

afx_msg void OnEditCopy(); Copia los pares de datos de la gráfica, voltajes primario y secundario, en el portapapeles.

afx_msg void OnIniciar(); Atiende el mensaje por pulsar el botón “iniciar”. Inicia variables y habilita los timers que controlan el proceso.

virtual void OnInitialUpdate(); Inicia los controles de la aplicación.

`afx_msg void OnTimer(UINT nIDEvent);` Atiende los eventos que generan los cinco timers que controlan el proceso de medición: 1 s para visualizar la temperatura y hora actuales, 1 min para capturar la temperatura, 1 hr para controlar la potencia aplicada al horno, 2 s para actualizar el controlador PID, y 5 segundos para estabilizar la temperatura y capturar voltajes y temperatura.

`afx_msg void OnVScroll(UINT nSBCode, UINT nPos, CScrollBar* pScrollBar);` Controla los eventos por deslizar las barras de control “Voltaje” y “Frecuencia”.

`void Retardo();` Implementa un retardo de 1s para controlar la multicanalización de las señales en la tarjeta USB-6211.

Clase CMainFrame

La clase CMainFrame de la Figura 2.15 se utiliza para crear la apariencia principal de la aplicación.

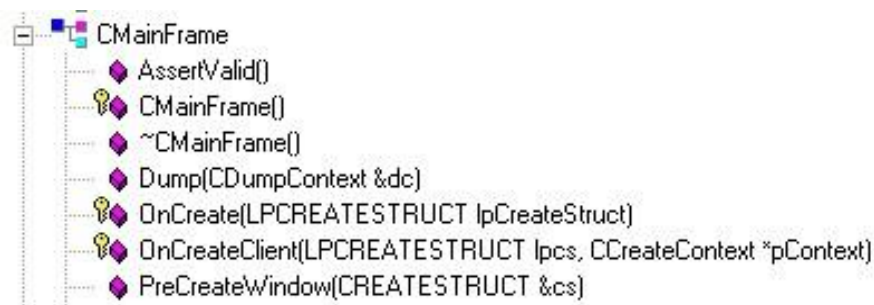


Figura 2.15. Clase CMainFrame.

`virtual void AssertValid();` Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

`CMainFrame();` Es el constructor por omisión de la clase. No implementa código alguno.

`virtual ~CMainFrame();` Destructor insertado por omisión por el ambiente de desarrollo.

`virtual void Dump(CDumpContext& dc);` Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

afx_msg int OnCreate(LPCREATESTRUCT lpCreateStruct); Crea y habilita las barras de estado y de herramientas.

virtual BOOL OnCreateClient(LPCREATESTRUCT lpcs, CCreateContext* pContext); Crea una ventana divisible en dos paneles para desplegar la vista y los controles respectivamente.

virtual BOOL PreCreateWindow(CREATESTRUCT& cs); Insertada por omisión por el ambiente de desarrollo.

Clase CTemperatura1App

La clase CTemperatura1App de la Figura 2.16 se encarga de realizar la inicialización estándar de la aplicación.



Figura 2.16. Clase CTemperatura1App.

CTemperatura1App(); Insertada por omisión por el ambiente de desarrollo.

virtual BOOL InitInstance(); Realiza la inicialización estándar para una aplicación de documento sencillo. Asigna las clases a los paneles divisibles.

afx_msg void OnAppAbout(); Despliega la caja de diálogo “Acerca de..”.

Clase CTemperatura1Doc

La clase CTemperatura1Doc de la Figura 2.17 se encarga de la administración de documentos como guardar o abrir.



Figura 2.17. Clase CTemperatura1Doc.

virtual void AssertValid() const; Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

CTemperatura1Doc(); No implementa código alguno. Insertada por el ambiente de desarrollo.

virtual ~CTemperatura1Doc(); No implementa código alguno. Insertada por el ambiente de desarrollo.

virtual void Dump(CDumpContext& dc); Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

virtual BOOL OnNewDocument(); Insertada por omisión por el ambiente de desarrollo.

virtual void Serialize(CArchive& ar); Lee y escribe los datos para los archivos de medición.

Clase CTemperatura1View

La clase CTemperatura1View de la Figura 2.18 se utiliza para actualizar el área gráfica de la pantalla con los datos de medición.

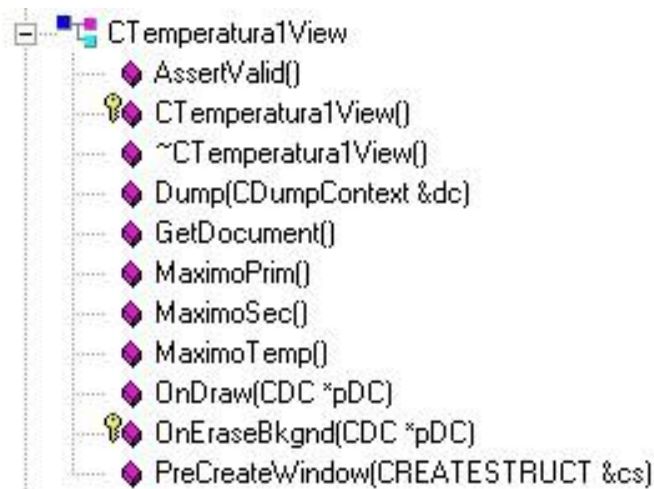


Figura 2.18. Clase CTemperatura1View.

virtual void AssertValid(); Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

CTemperatura1View(); No implementa código alguno. Insertada por el ambiente de desarrollo.

virtual ~CTemperatura1View(); No implementa código alguno. Insertada por el ambiente de desarrollo.

virtual void Dump(CDumpContext& dc); Utilizada con fines de depuración. Creada por omisión por el ambiente de desarrollo.

CNuevoDoc* GetDocument(); Habilita la transferencia de datos del documento hacia la vista.

double MaximoPrim(); Función utilizada para extraer el valor máximo de un grupo de muestras en el cálculo de los límites de los ejes de la gráfica.

double MaximoSec(); Función utilizada para extraer el valor máximo de un grupo de muestras en el cálculo de los límites de los ejes de la gráfica.

double MaximoTemp(); Función utilizada para extraer el valor máximo de un grupo de muestras en el cálculo de los límites de los ejes de la gráfica.

virtual void OnBeginPrinting(CDC* pDC, CPrintInfo* pInfo); No implementa código alguno. Insertada por el ambiente de desarrollo.

virtual void OnDraw(CDC* pDC); Permite la graficación de los datos de medición en la vista. Realiza las siguientes funciones principales: Calcula las coordenadas de la pantalla, Dibuja los ejes coordenados, presenta los datos en el área de despliegue y dibuja una cuadrícula de referencia.

afx_msg BOOL OnEraseBkgnd(CDC* pDC); Permite establecer un nuevo color de fondo para la vista.

virtual BOOL PreCreateWindow(CREATESTRUCT& cs); Insertada por omisión por el ambiente de desarrollo.

2.3 PROCEDIMIENTO TÍPICO PARA HACER UNA MEDICIÓN.

La operación del sistema de medición puede realizarse de manera sencilla, pero requiere de cierto nivel de conocimiento para obtener los resultados esperados. En forma típica, las propiedades magnéticas H_{CP} y T_C tienen un comportamiento conocido como se observa en las Figuras 2 y 1, respectivamente. Por lo que se deben establecer los valores de operación apropiados (amplitud y frecuencia) para que en un experimento específico se aproximen los resultados a las curvas esperadas.

2.3.1 Campo crítico de propagación.

El objetivo en este experimento es observar las tres regiones denotadas como deformación de paredes, desplazamiento de paredes y rotación de espines de la Figura 2. El procedimiento se puede llevar a cabo como se describe a continuación.

1. Verificar las conexiones del sistema como se muestra en la Figura 2.19

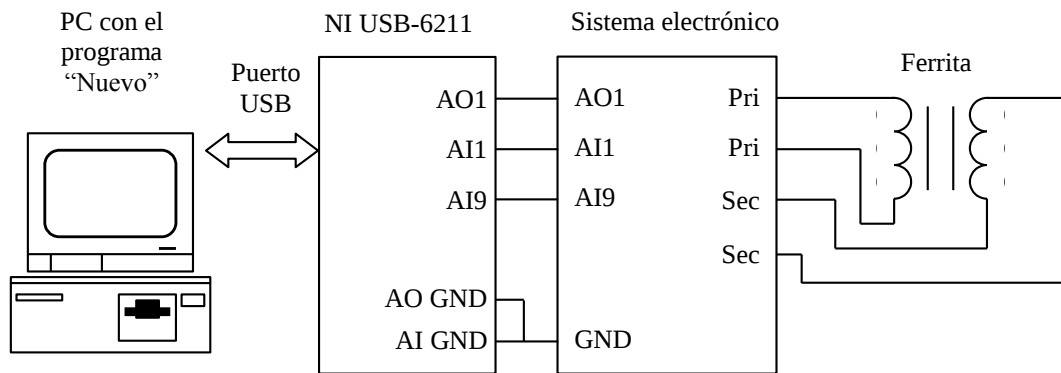


Figura 2.19. Conexiones del sistema para la medición del H_{CP} .

2. Ejecutar el programa "Nuevo" y energizar el sistema electrónico.
3. En el programa, establecer la amplitud en el control "Voltaje" a un valor alto para ferritas duras y un valor medianamente alto para ferritas suaves. Los valores altos de voltaje nos permitirán observar la excursión de la gráfica hasta la zona de rotación de espines.
4. En el programa, establecer el valor del control "Frecuencia" en aproximadamente 100Hz para ferritas suaves y 50kHz para ferritas duras.
5. En el programa, establecer el número de lecturas deseadas en el control "Puntos a graficar".
6. Presionar el botón "INICIAR" para comenzar el proceso de medición. El avance del proceso será mostrado en el control "progreso".
7. Observar la forma de la gráfica para identificar las tres regiones de la gráfica.
8. En caso de no obtener el desempeño deseado, repetir los pasos 3 a 7 con diferentes valores de voltaje, frecuencia y puntos a graficar hasta que se distingan las tres regiones de la gráfica.
9. Anotar el valor del voltaje de entrada para el H_{CP} y la frecuencia que serán de utilidad en la medición de la T_C .
10. Guardar las mediciones en archivo y finalizar la aplicación.

2.3.2 Temperatura de Curie.

El objetivo en este experimento es observar la transición de orden desorden (de ferromagnético a paramagnético) que ocurre a cierta temperatura denotada como T_C en la Figura 1. El procedimiento se describe a continuación.

1. Verificar las conexiones como se muestra en la Figura 2.20.

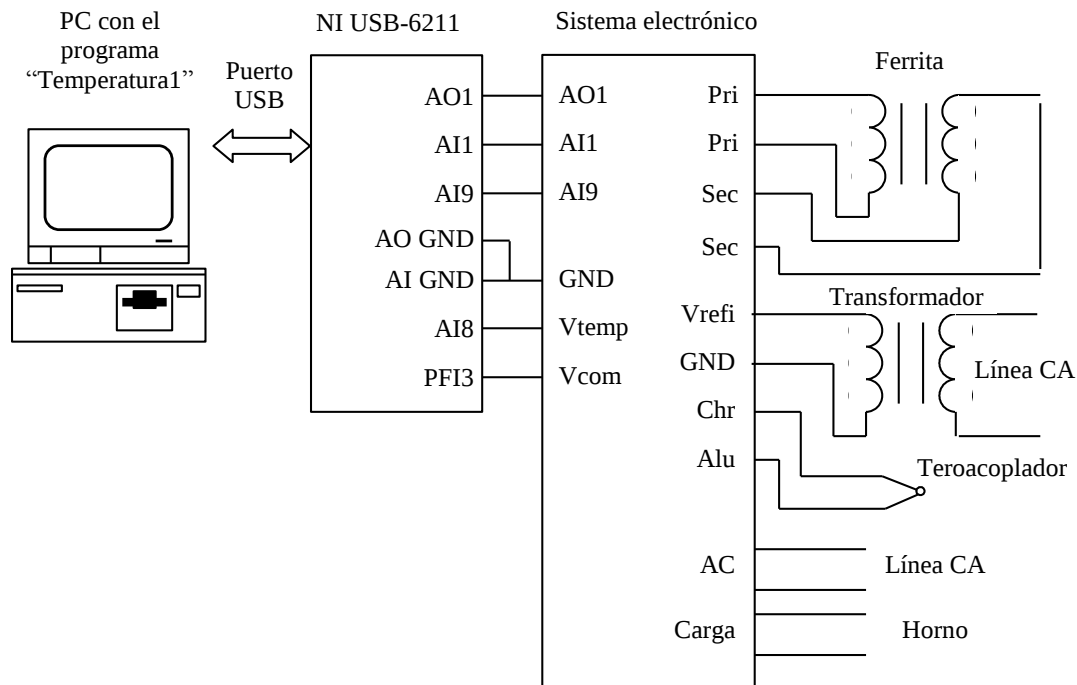


Figura 2.20. Conexiones del sistema para la medición de la T_C .

2. Introducir la ferrita en el horno.
3. Ejecutar el programa "Temperatura1" y energizar el sistema electrónico.
4. En el programa, establecer el valor obtenido anteriormente de voltaje para el H_{CP} en el control "voltaje", la frecuencia obtenida anteriormente en el control del mismo nombre y la temperatura final en el control del mismo nombre.
5. Presionar el botón "Iniciar" para comenzar el proceso.
6. Observar la forma de la gráfica para determinar si se distingue el cambio abrupto que define la T_C .

7. En caso de no obtener la T_C , incrementar la temperatura final hasta que ésta se pueda definir completamente. Tomar en cuenta que el incremento en la temperatura puede dañar los recubrimientos de la ferrita.
8. Guardar las mediciones en archivo y finalizar la aplicación.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

En el presente capítulo se muestra el sistema desarrollado y algunos experimentos realizados para verificar su desempeño.

3.1 RESULTADOS.

El prototipo desarrollado se muestra en la Figura 3.1 y el software de operación en las Figuras 3.2 y 3.3. Para comprobar el desempeño del equipo se realizaron dos experimentos: La medición del campo crítico de propagación y la determinación de la temperatura de Curie.

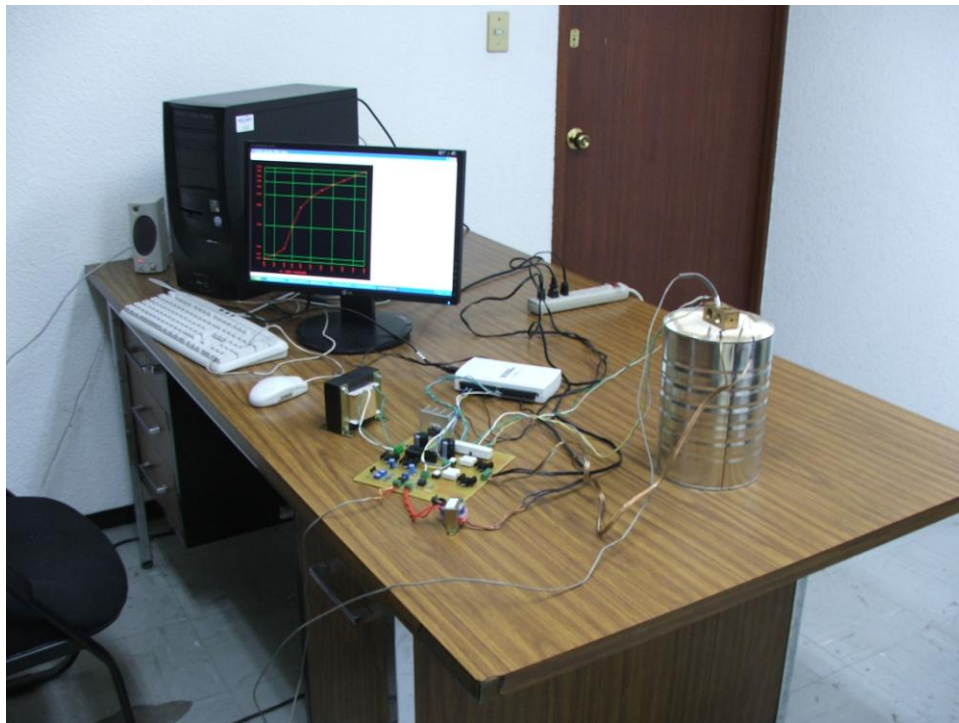


Figura 3.1. Sistema desarrollado.

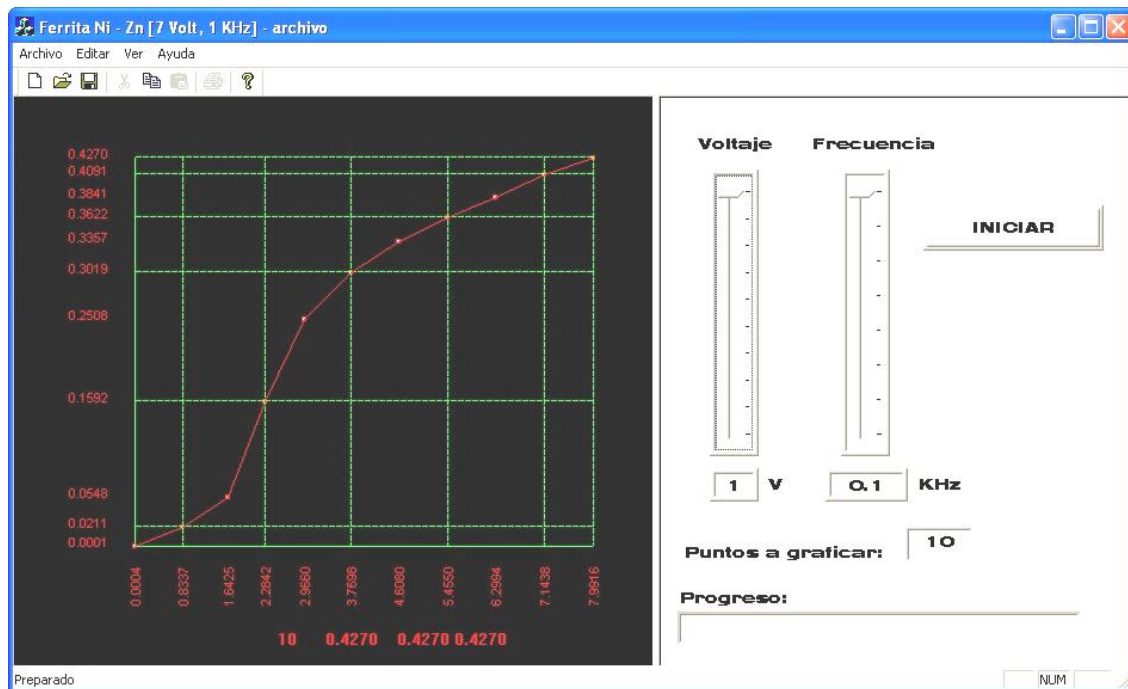


Figura 3.2. Software de operación para la medición del H_{CP} .

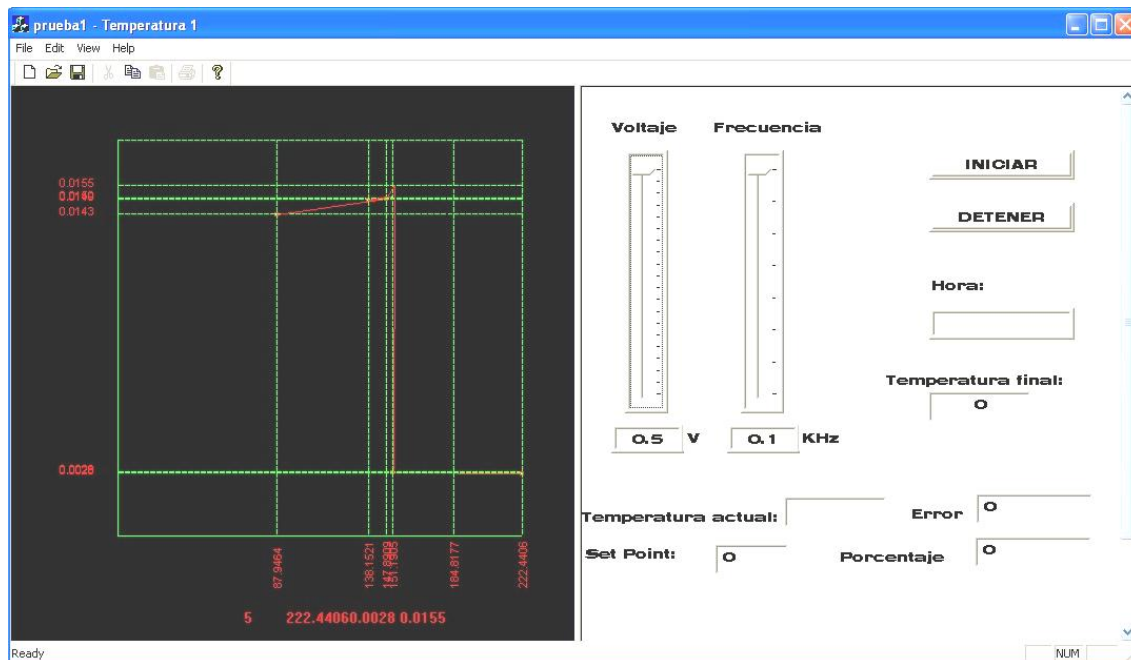


Figura 3.3. Software de operación para la medición de la T_C .

3.1.1 Campo crítico de propagación.

Para observar el proceso de magnetización de un material ferromagnético se utilizó una ferrita de níquel-zinc y se obtuvo su gráfica $|V_i|$ vs $|V_o|$ mediante el sistema desarrollado en este trabajo y el procedimiento descrito 2.3.1. En el primer experimento se especificó una amplitud máxima en $v_i = 7V$ y frecuencia fundamental de 1kHz. De la gráfica obtenida, Figura 3.4, se aprecian claramente las regiones de deformación de paredes, desplazamiento de paredes y rotación de espines, en concordancia con lo reportado en la literatura y en la Figura 2. También se aprecia que el H_{CP} se aproxima a 1V.

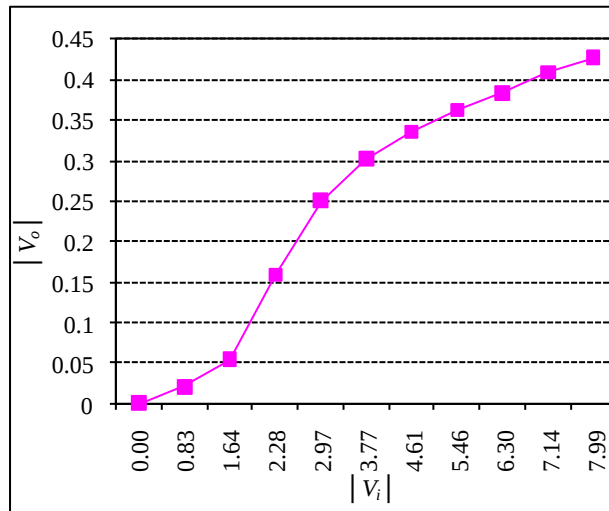


Figura 3.4. Proceso de magnetización para campo de excitación con $v_{imax} = 7V$.

Para el segundo experimento, Figura 3.5, se especifica la amplitud máxima de $v_i = 1V$ con el objeto de apreciar con mejor resolución la región de deformación de paredes.

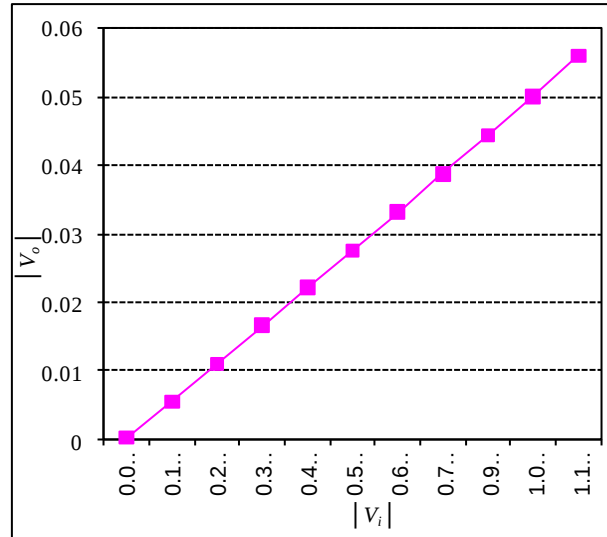


Figura 3.5. Proceso de magnetización para campo de excitación con $v_{imax} = 1V$.

3.1.2 Temperatura de Curie.

Para medir la temperatura de Curie en la ferrita de níquel-zinc se obtuvo la gráfica temperatura contra $|V_o|/|V_i|$ mediante el sistema desarrollado en este trabajo y el procedimiento descrito 2.3.2. La Figura 3.6 muestra la gráfica obtenida en donde se puede apreciar que la T_C es aproximadamente de $150^{\circ}C$, lo cual concuerda con lo reportado en la literatura (Figura 1), $430\text{ K} = 156.85^{\circ}C$.

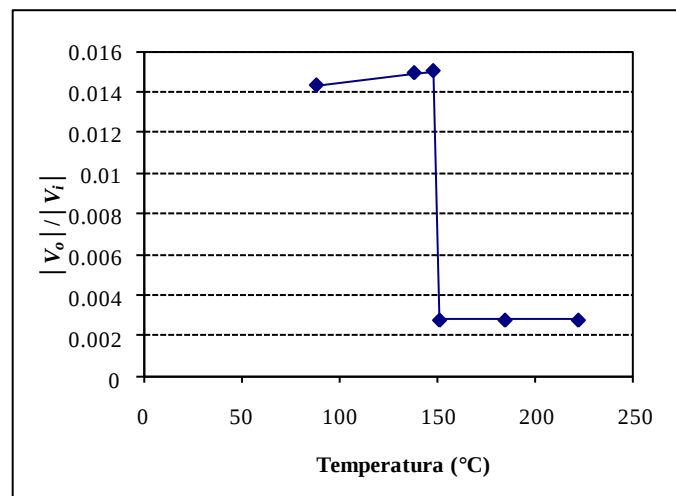


Figura 3.6. Medición de la T_C .

3.1.3 Discusión.

Con el sistema desarrollado se obtienen las gráficas de $|V_i|$ vs $|V_o|$ y T vs $|V_o|/|V_i|$ para el campo de propagación (H_{CP}) y temperatura de Curie (T_C), respectivamente. Actualmente existen contados métodos a nivel laboratorio y comerciales con los cuales se puedan determinar ambas propiedades, a pesar de que el principio básico es casi el mismo. Considerando que para determinar correctamente la T_C se requiere de asegurar que la permeabilidad asociada sea la inicial, la cual esta acotada por el campo de propagación. Esta condición es la que se emplea para proponer un sistema de medición que detecte ambas propiedades. El comportamiento lineal, $\mu=B/H$, es originado por procesos de magnetización reversibles. El sistema desarrollado tiene la capacidad de determinar el voltaje de inducción asociado a estos procesos de magnetización, sin embargo la transformación de voltajes a inducción magnética aun no se obtiene debido a las dificultades de correlacionar la forma de procesamiento de datos con la inducción magnética del material. En particular, el método que empleamos para determinar el H_{CP} origina una autoinducción debida al propio material magnético, que aun no hemos logrado resolver completamente, de tal forma que la transformación de voltajes a campo e inducción magnética solo es una aproximación. En otros trabajos [Cedillo *et al*, 1980; Globus *et al*, 1976] se ignora esta contribución debido a que el método que emplean para determinar el H_{CP} , presenta muchos errores estadísticos. Por otro lado, el sistema desarrollado mejora la capacidad de adquisición de datos, sin embargo hace evidente la contribución de la autoinducción. Cabe mencionar que dentro de los objetivos originales de este trabajo no se encuentra el desarrollo matemático para la correlación entre voltajes de entrada y salida con el campo magnético y la inducción, respectivamente. Con respecto a la determinación de la T_C , es claro que el cambio en $|V_o|/|V_i|$ en función de la temperatura es suficiente para poder observar la transición del orden magnético al estado paramagnético de la ferrita bajo prueba.

3.2 CONCLUSIONES.

En este trabajo se desarrolló un sistema hardware y software para la medición del campo crítico de propagación y temperatura de Curie.

El sistema desarrollado contribuye a la creación de infraestructura de desarrollo propio que puede ser utilizada en la prestación de servicios o que puede ser ofrecida como una transferencia tecnológica. Adicionalmente, el sistema presenta gran capacidad de automatización y facilidad de operación. Cabe señalar que no se ha diseñado anteriormente un sistema de medición que permita medir tanto el campo crítico de propagación como la temperatura de Curie en un solo equipo, lo cual le proporciona originalidad a este proyecto.

Con el sistema desarrollado se podrá elegir intervalos de operación en voltaje de 1-10 V_{AC} y rangos de frecuencias entre 100Hz y 50kHz, permitiendo medir una amplia gama de materiales magnéticos suaves como las ferritas de NiZn hasta ferritas semi-duras como la ferrita de cobalto.

Realizando una comparación de precios el sistema desarrollado es de bajo costo, \$11700.00 MN considerando solo el material, mientras que los sistemas comerciales tienen un valor de alrededor de 1500 USD. Lo cual es una ventaja adicional del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Ang, KH, Chong G & Li 2005, Y, 'PID Control Systems Analysis, Design and Technology', *IEEE Trans. Control Systems Technology*, vol. 13, no. 4, pp. 559-576.
- [2]. Cedillo E, Ocampo J, Rivera V & Valenzuela R 1980, 'An apparatus for the measurement of initial magnetic permeability as a function of temperature ', *J. of Phys. E. Sci. Instr.*, vol. 13, pp. 383-386.
- [3]. Dewang SB & Straughen A 1975, *Power semiconductor circuits*, John Wiley.
- [4]. Globus A, Pascard H & Cagan V 1976, 'Distance between magnetic ions and fundamental properties in ferrites', *J. Phys. (Paris) Colloq (C-1)*, vol. 15, pp. c1. 1-c1.
- [5]. Halliday D, Resnick R & Walter J 2004, *Fundamentals of Physics*, John Wiley & Sons.
- [6]. Herrera PGM 2005, 'Estudio y modelado de las propiedades magnetodinámicas de las ferritas de Ni-Zn dopadas', Tesis de Maestría, UNAM, México.
- [7]. Kruglinski DJ, Shepherd G & Wingo S 1998, *Programming Microsoft Visual C++*, Microsoft Press.
- [8]. Maida, MX 1991, 'IC temperature sensor provides thermocouple cold-junction compensation, Application Note 225', *Linear applications handbook*, National Semiconductor, Santa Clara USA, pp. 522-527.
- [9]. Motorola 1989, *Thyristor device data*, Motorola Inc.

- [10]. National Instruments 2007, *NI USB-621x User Manual*, National Instruments.
- [11]. National Instruments 2007, *Data Acquisition (DAQ) Hardware*, Productos para adquisición de datos, National Instruments, viewed 18 de marzo de 2007, <http://www.ni.com/dataacquisition/>
- [12]. National Semiconductors 2000, *LM3875 Overture™ Audio Power Amplifier Series, High-Performance 56W Audio Power Amplifier*, National Semiconductors, USA.
- [13]. Proakis JG & Manolakis DG 1996, *Digital Signal processing*, Prentice Hall, USA.

Williams CDH 2007, *Tuning a PID Temperature Controller*, Controlador electronic, University of Exeter, viewed 8 de enero de 2007, <http://newton.ex.ac.uk/teaching/CDHW/Feedback>

ANEXO

DIAGRAMAS Y CÓDIGO.

El presente anexo muestra los diagramas electrónicos que permiten replicar el sistema de medición propuesto en el proyecto.

A.1 Dibujo esquemático.

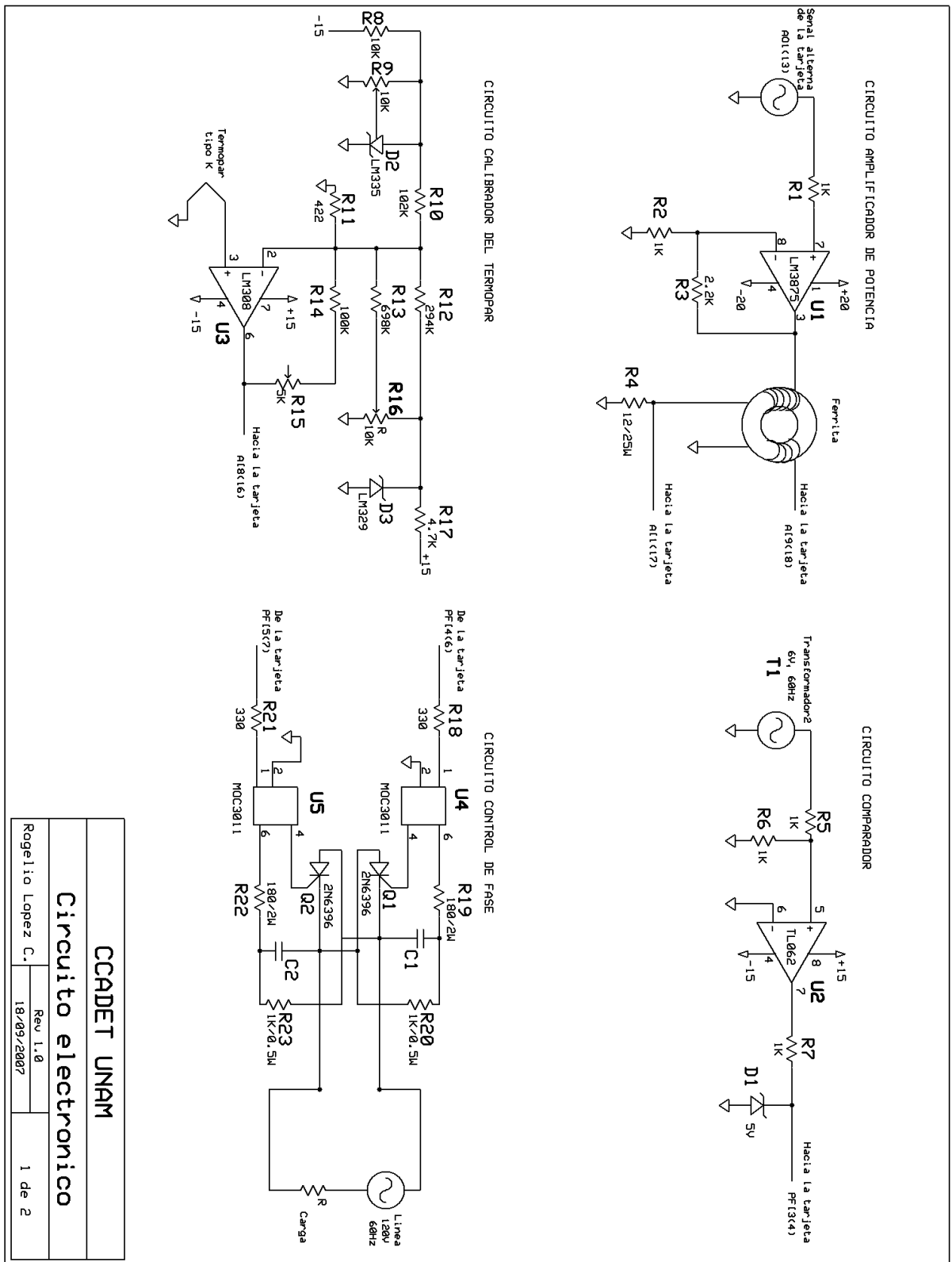


Figura A.1. Circuito esquemático (parte 1).

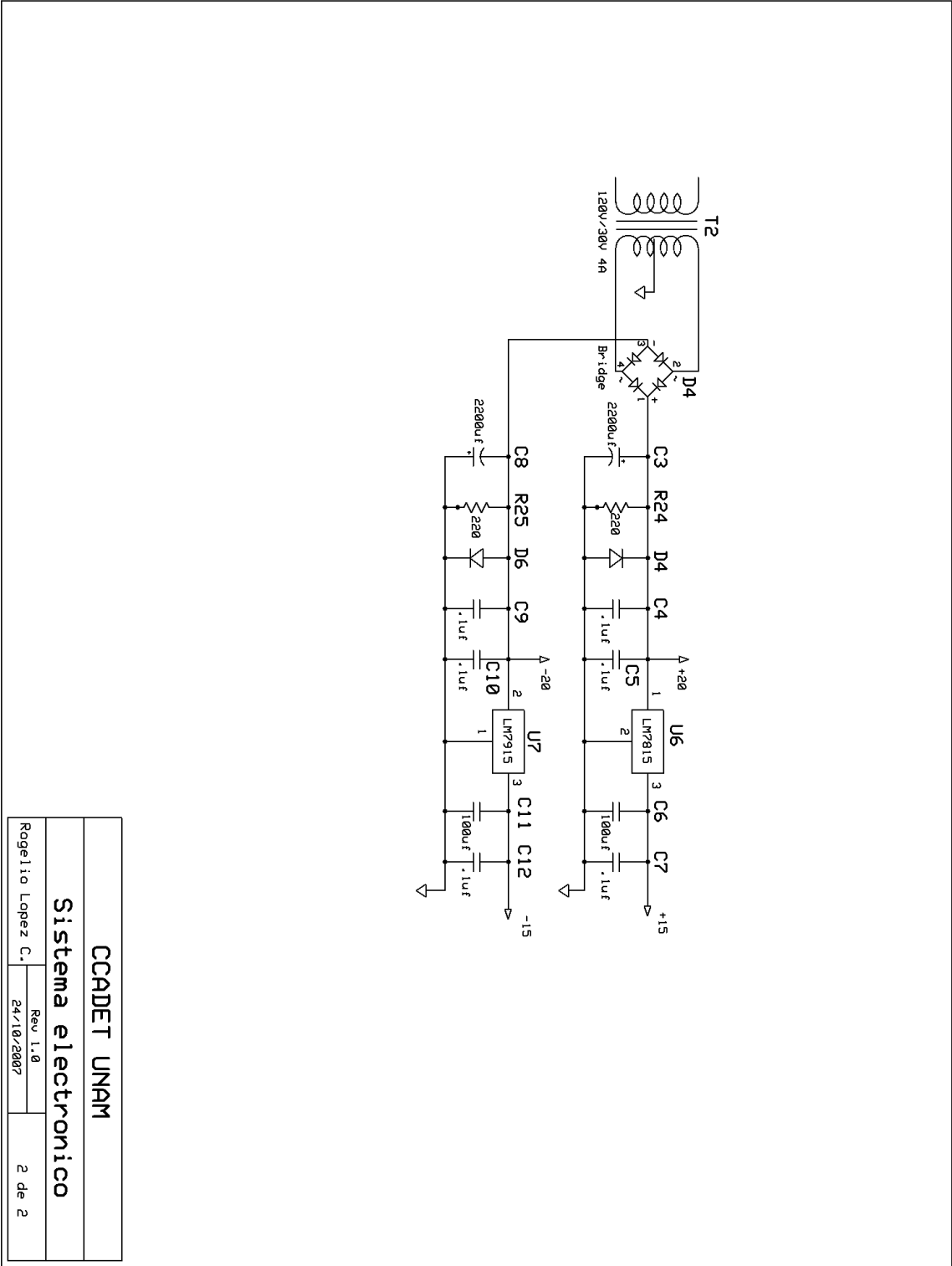


Figura A.2. Circuito esquemático (parte 2).

A.2 Circuito impreso.

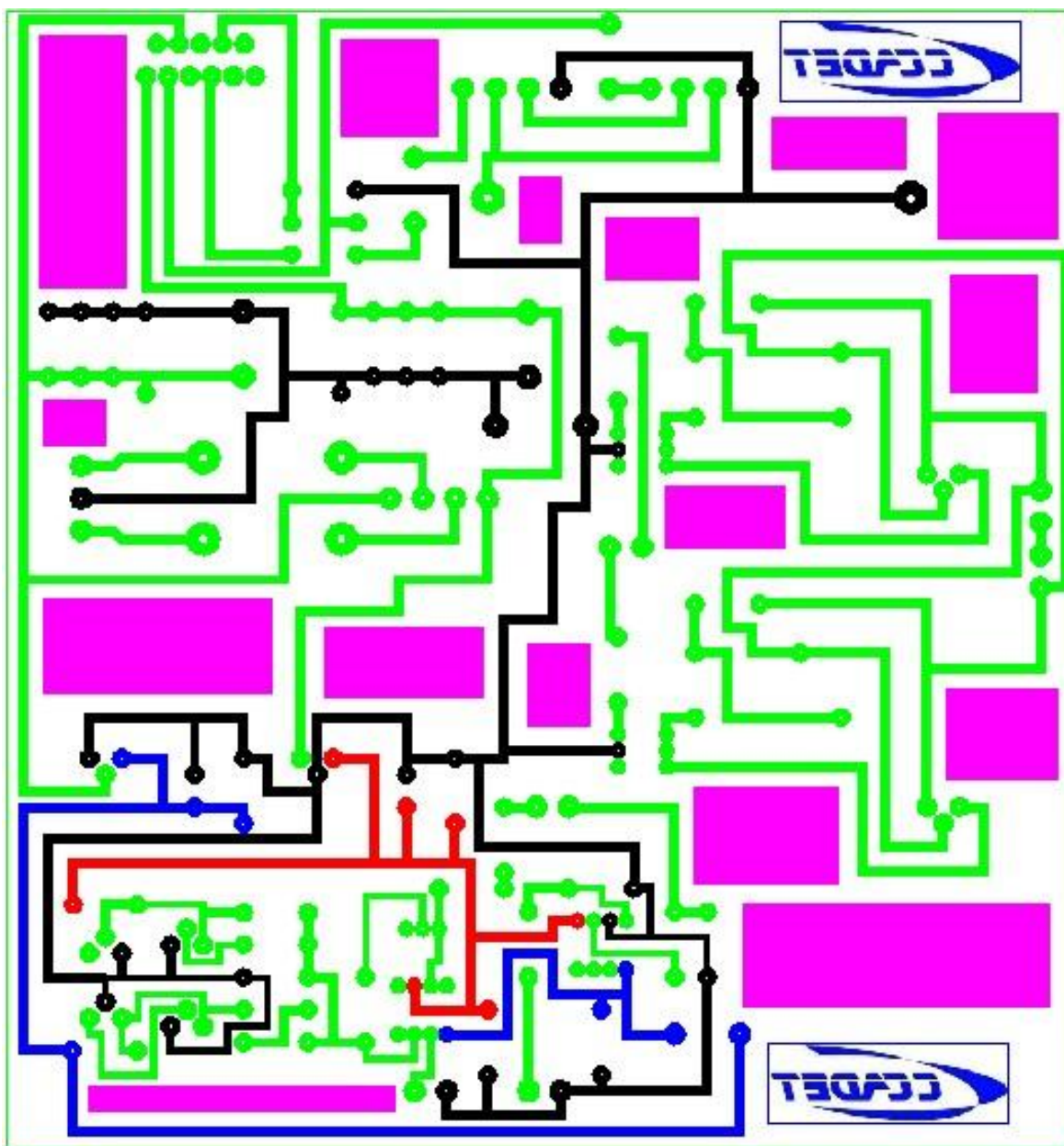


Figura A.3. Circuito impreso (soldadura).

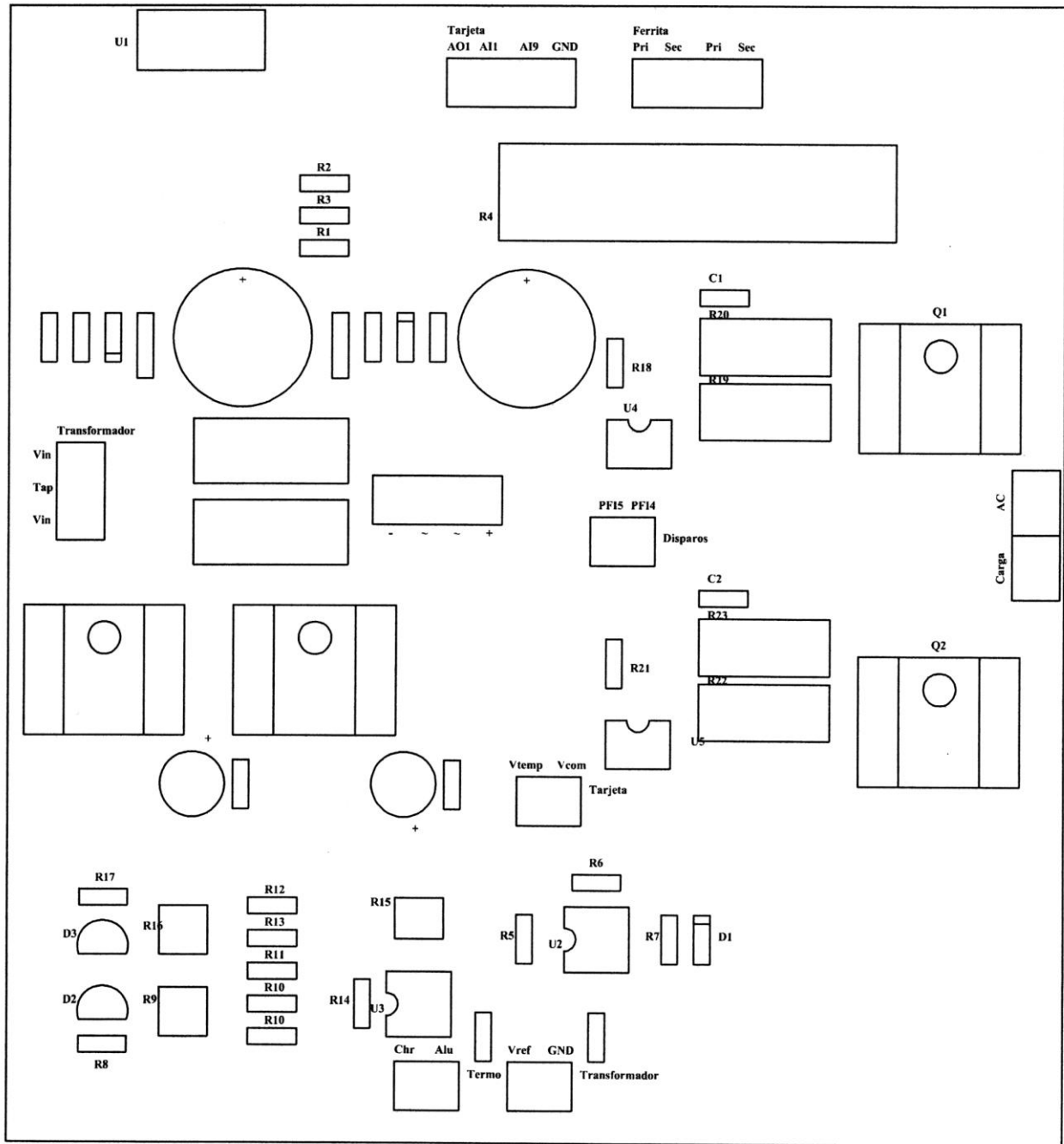


Figura A.4. Circuito impreso (componentes)



Figura A.5. Definición de los colores.

A.3 Lista de material.

Compo- nente	Descripción	Proveedor	Costo aprox. Pesos
R1	Resistencia de carbón 1k Ω 1/2W	AG Electrónica	1
R2	Resistencia de carbón 1k Ω 1/2W	AG Electrónica	1
R3	Resistencia de carbón 2.2k Ω 1/2W	AG Electrónica	1
R4	Resistencia de alambre RA-.12E/25W	AG Electrónica	9
R5	Resistencia de carbón 1k Ω 1/2W	AG Electrónica	1
R6	Resistencia de carbón 1k Ω 1/2W	AG Electrónica	1
R7	Resistencia de carbón 1k Ω 1/2W	AG Electrónica	1
R8	Resistencia de precisión 10k Ω 1/4W	AG Electrónica	2
R9	Trim pot 3386P-1-103	AG Electrónica	15
R10a	Resistencia de precisión 100k Ω 1/4W	AG Electrónica	2
R10b	Resistencia de precisión 2.7k Ω 1/4W	AG Electrónica	2
R11	Resistencia de precisión 422 Ω 1/4W	AG Electrónica	2
R12	Resistencia de precisión 294k Ω 1/4W	AG Electrónica	2
R13	Resistencia de precisión 698k Ω 1/4W	AG Electrónica	2
R14	Resistencia de precisión 100k Ω 1/4W	AG Electrónica	2
R15	Trim pot 3386P-1-502	AG Electrónica	14
R16	Trim pot 3386P-1-103	AG Electrónica	15
R17	Resistencia de precisión 4.7k Ω 1/4W	AG Electrónica	2
R18	Resistencia de carbón 330 Ω 1/2W	AG Electrónica	1
R19	Resistencia de carbón 180 Ω 2W	AG Electrónica	5
R20	Resistencia de carbón 1k Ω 1W	AG Electrónica	2
R21	Resistencia de carbón 330 Ω 1/2W	AG Electrónica	1
R22	Resistencia de carbón 180 Ω 2W	AG Electrónica	5
R23	Resistencia de carbón 1k Ω 1W	AG Electrónica	2
R24	Resistencia de carbón 220 Ω 1W	AG Electrónica	2
R25	Resistencia de carbón 220 Ω 1W	AG Electrónica	2
U1	Circuito integrado LM3875T	AG Electrónica	82
U2	Circuito integrado TL062CP	AG Electrónica	5
U3	Circuito integrado LM308N	AG Electrónica	14
U4	Circuito integrado MOC3011M	AG Electrónica	7

U5	Circuito integrado MOC3011M	AG Electrónica	7
U6	Regulador de voltaje L7815CV	AG Electrónica	6
U7	Regulador de voltaje L7915CV	AG Electrónica	8
D1	Diodo zener 1N5231B	AG Electrónica	3
D2	Sensor de temperatura LM335Z	AG Electrónica	15
D3	Referencia de precisión LM329DZ	AG Electrónica	13
D4	Puente rectificador RS402L	AG Electrónica	12
Q1	Tiristor 2N6396	AG Electrónica	14
Q2	Tiristor 2N6396	AG Electrónica	14
C1	Capacitor cerámico monolítico CM-.33/50V	AG Electrónica	3
C2	Capacitor cerámico monolítico CM-.33/50V	AG Electrónica	3
C3	Capacitor electrolítico CE-2200/63V	AG Electrónica	18
C4	Capacitor cerámico monolítico CM-.1/50V	AG Electrónica	5
C5	Capacitor de tantalio CT-.1/50V	AG Electrónica	5
C6	Capacitor electrolítico CE-100/100V	AG Electrónica	9
C7	Capacitor cerámico monolítico CM-.1/50V	AG Electrónica	5
C8	Capacitor electrolítico CE-2200/63V	AG Electrónica	18
C9	Capacitor cerámico monolítico CM-.1/50V	AG Electrónica	5
C10	Capacitor de tantalio CT-.1/50V	AG Electrónica	5
C11	Capacitor electrolítico CE-100/100V	AG Electrónica	9
C12	Capacitor cerámico monolítico CM-.1/50V	AG Electrónica	5
T1	Transformador 30 V 4 A	Varios	150
T2	Transformador 6V TR06-500	Steren	73
J1-J10	Terminal con 2 tornillos TRT-02	Steren	7
Q1-2, U6-7	Disipador de calor TO-22	Steren	11
U2,3,4,5	Base para circuito impreso IC8P	Steren	2
F1, F2	Portafusible europeo para circuito impreso	Varios	5
Tarjeta	Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6211	National Instruments	11,000

Costo aproximado total, considerando solo el material: \$11700.00 MN.