



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E
IMPLEMENTACIÓN DE UN FRECUENCÍMETRO
MICROCONTROLADO"**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO ELECTRÓNICO PRESENTA**

SALVADOR RODRÍGUEZ LOZANO

**DIRECTOR DE TESIS: M.I. MIGUEL ANGEL
BAÑUELOS SAUCEDO**



**LABORATORIO DE ELECTRÓNICA
CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO
TECNOLÓGICO**

México, D.F.

2007

Orígenes

Para comunicarse, el hombre se enfrentó con las distancias que apagaban su voz, ensordecían su oído y oscurecían su vista.

Entonces fabricó instrumentos con los materiales que le ofrecía la naturaleza y los empleó para extender el alcance de sus sentidos.

Tomado de la Revista Información científica y Tecnológica, Enero de 1987.

Vol. 7, Núm. 100

CONACYT.

Agradecimientos

A la Universidad por darme la oportunidad de formar parte de su comunidad y por todo lo aprendido en sus aulas y recintos.

A la Facultad de Ingeniería por toda la formación para llegar a ser ingeniero.

A mi tutor M.I.Miguel Angel Bañuelos, por su valiosa disposición para dirigir mi tesis y por su dirección laboral durante estos años en el laboratorio de Electrónica.

A mis compañeros M.I.Sergio Quintana, M.I.José Castillo y M.I.Ricardo Damián por sus enseñanzas, comentarios y ayuda como “segundos tutores” en la realización de esta tesis.

A mis Sinodales M.I.Luis Arturo Haro, M.I.Roberto Tovar e Ing.Alejandro Sosa por su disposición al trabajo de revisión y por sus correcciones.

A todos mis profesores de la Facultad de Ingeniería por su tiempo, enseñanzas y esfuerzo.

A mi compañero Ing.Genaro Torres por sus sugerencias y por su diaria amistad.

A mi compañera Rosa María García por sus sugerencias y colaboración para la fabricación de circuitos impresos.

A mis compañeros Juan García y Alejandro Pérez del Taller mecánico por su colaboración en la fabricación de dispositivos que se utilizaron en la tesis.

Dedicatorias

A mis padres Salvador y Julieta por su apoyo durante todos los momentos de mi vida y en especial en estos años de formación profesional. Siempre les estaré agradecido.

A mi hermana Iliana. Gracias por tu compañía y apoyo incondicional.

A todos los miembros de mi familia por su impulso a terminar la carrera y la tesis.

A Vanessa por todo su cariño, compañía, ejemplo y comprensión. Mi niña gracias por tu apoyo en éste y en todo momento.

A Nayeli, Mauricio y Pedro por su amistad sincera e incondicional. Aunque a veces nos distanciamos nuestra amistad durará por siempre.

A mis amigos del Poli Mercurio y Olivia. Donde quiera que me encuentre siempre los llevaré conmigo.

A mis compañeros de la FI por todos los inolvidables momentos que pasamos en clases, exámenes, laboratorios, fiestas, huelgas y demás.

A mis compañeros del Afro. Con ustedes aprendí a convivir con todo tipo de personas y a disfrutar de todo lo que hago.

Al equipo Re-Generación por enseñarme a trabajar en equipo y que los cambios más profundos se producen desde el interior.

ÍNDICE

Página

Prefacio	1
Introducción	3
Antecedentes	3
Señales Periódicas	5
Resistencia de aislamiento	7
Rigidez dieléctrica	8
Norma NOM-001-SCFI-1993	9
Planteamiento del problema	11
Frecuencímetros disponibles en el mercado	12
Propuesta de solución al problema	14
Objetivo	15
Capítulo 1. Diseño e implementación del frecuencímetro	16
1.1 Descripción general	19
1.2 Diseño del acondicionador de señal	18
1.3 Diseño de la fuente de alimentación	26
1.4 Ambiente de desarrollo MPLAB IDE	27
1.5 Desarrollo del programa del microcontrolador PIC16F628 para medir y desplegar frecuencia	28
1.5.1 Programa principal	28
1.5.2 Rutinas de las bases de tiempo	33
1.5.3 Rutina de atención de las interrupciones	36
1.5.4 Rutina de conversión BCD a 7 segmentos	39
1.5.5 Rutina de envío al display	41
1.6 Diseño del display	42
1.7 Integración de etapas	43
1.8 Montaje en gabinete	43

Capítulo 2. Pruebas y Resultados 46

2.1. Pruebas de medición con frecuencia variable	47
2.2. Determinación del error de exactitud del equipo	48
2.3. Pruebas de medición con amplitud variable	50
2.4. Análisis de observación de la norma NOM-001-SCFI-1993	51
2.4.1. Métodos de prueba	51
2.4.2. Marcado	52
2.4.3. Calentamiento bajo condiciones normales de operación	56
2.4.4. Calentamiento a temperaturas ambiente elevadas	57
2.4.5. Peligro de choque eléctrico bajo condiciones normales de operación	57
2.4.6. Requisitos de aislamiento	58
2.4.7. Robustez mecánica	61
2.4.8. Dispositivos terminales	62
2.4.9. Cables y cordones flexibles exteriores	62
2.5. Análisis del costo de fabricación del equipo	62

Conclusiones y recomendaciones 64

Interpretación de los resultados obtenidos	64
Alcance del objetivo planteado	66
Conclusiones	67
Recomendaciones	67
Recomendaciones adicionales	68

Apéndices

Apéndice A. Resumen de la Norma NOM-001-SCFI-1993	69
Apéndice B. Microcontrolador PIC16F628	79
Apéndice C. Listado de programa	80
Apéndice D. Datos de caracterización del frecuencímetro	84
Apéndice E. Manual de usuario	92

Glosario 104

Bibliografía 106

Directorio de figuras e imágenes

	Página
Figura 1. Ejemplo de señal continua en tiempo y amplitud_____	3
Figura 2. Ejemplo de señal discreta_____	4
Figura 3. Ejemplo de señal digital_____	4
Figura 4. Ejemplo de señal cuantizada_____	5
Figura 5. Señal periódica analógica. Señal periódica digital_____	6
Figura 6. Periodo de la señal $x(t)$ _____	7
Figura 7. Gráfica de voltaje contra corriente de conducción en un material dieléctrico_____	8
Figura 8. Diagrama a bloques del frecuencímetro_____	16
Figura 9. Acondicionador de señales_____	19
Figura 10. Subcircuito de entrada_____	20
Figura 11. Filtro de entrada_____	20
Figura 12. Simulación del filtro de entrada_____	22
Figura 13. Ventana de histéresis en la salida_____	24
Figura 14. Ventana de histéresis del C.I. 74LS14_____	25
Figura 15. Fuente de alimentación simétrica de 5 V_____	26
Figura 16. Diagrama de flujo del programa principal_____	29
Figura 17. Diagrama de flujo de la base de tiempo de 1 segundo_____	34
Figura 18. Diagrama de flujo de la rutina de atención de interrupciones_____	36
Figura 19. Diagrama de flujo de la rutina de conversión de BCD a 7 segmentos_____	39
Figura 20. Diagrama de flujo de la rutina de envío serial al display_____	41
Figura 21. Fotografía de la tarjeta principal montada en el gabinete_____	44
Figura 22. Fotografía de la tarjeta del display_____	45
Figura 23. Fotografía de la conexión para obtención del error del frecuencímetro_____	49
Figura 24. Detalle frontal, escalas de medida_____	53
Figura 25. Fotografía frontal, no aparece modelo o nombre comercial_____	54
Figura 26. Detalle posterior, logotipo CCADET_____	54
Figura 27. Detalle posterior, marcado de alimentación_____	55
Figura 28. Diagrama de conexiones para prueba de peligro de choque eléctrico_____	58
Figura 29. Diagrama de conexiones para prueba de resistencia de aislamiento_____	59
Figura 30. Diagrama de conexiones para prueba de rigidez dieléctrica_____	60
Figura A1. Plano del dedo de prueba rígido_____	74
Figura A2. Plano del dedo de prueba articulado_____	75
Figura A3. Fotografía del dedo de prueba rígido_____	76
Figura A4. Fotografía del dedo de prueba articulado_____	76
Figura A5. Curvas de tensiones de prueba de la NOM-001-SCFI-1993_____	78
Figura D1. Curva de caracterización lineal_____	87
Figura D2. Curva de caracterización logarítmica_____	91

Directorio de tablas

Tabla 2.1.	Escalas de diseño_____	46
Tabla 2.2.	Pruebas de medición de amplitud_____	50
Tabla 2.3.	Condiciones ambientales durante las pruebas_____	51
Tabla 2.4.	Resultados de la prueba de identificación_____	53
Tabla 2.5.	Resultados de la prueba de marcado de alimentación_____	55
Tabla 2.6.	Resultados de la prueba de calentamiento bajo condiciones normales de operación_____	56
Tabla 2.7.	Costo de fabricación del frecuencímetro_____	63
	Resultados del control de calidad_____	64
	Resumen del alcance del objetivo_____	66
Tabla A1.	Tabla 3 de la NOM-001-SCFI-1993_____	77
Tabla D1.	Datos de la caracterización lineal del frecuencímetro_____	84
Tabla D2.	Datos de la caracterización logarítmica del frecuencímetro_____	88

Figuras y tablas contenidas en el Manual de usuario

Tabla del contenido de la caja_____	93
Figura del panel frontal del frecuencímetro_____	94
Diagrama a bloques del frecuencímetro_____	94
Figura del circuito acondicionador de señales_____	96
Tabla de solución de problemas y mantenimiento_____	97
Tabla de especificaciones_____	97
Diagrama esquemático del display_____	98
Diagrama esquemático del frecuencímetro_____	99
Circuitos impresos del frecuencímetro_____	100
Mascarilla de componentes del frecuencímetro_____	102
Circuito impreso del display_____	102
Mascarilla de componentes del display_____	103

Prefacio

El objetivo del presente trabajo de tesis es diseñar, construir e implementar un sistema de medición de frecuencia. Las características y especificaciones de diseño del sistema de medición de frecuencia, o mejor dicho frecuencímetro se encuentran en el capítulo 1, donde se da una amplia explicación del objetivo de la tesis.

Una de las líneas de investigación del Laboratorio de Electrónica del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de la UNAM es el desarrollo de equipo de instrumentación electrónica; el desarrollo de un frecuencímetro forma parte de esta línea de investigación. En particular la intención de desarrollar un frecuencímetro, es que tal equipo pueda ser utilizado en laboratorios de instituciones de enseñanza media superior y superior.

Con el equipo de laboratorio disponible, se realizarán las pruebas que sean posibles y se podrá decir si el equipo tiene la orientación de cumplimiento de las normas oficiales mexicanas vigentes, aunque no se puede afirmar que las cumple totalmente, ya que no se cuenta con la certificación necesaria ni con la totalidad del equipo de prueba.

El trabajo de tesis se estructuró en 4 capítulos. Los capítulos contienen lo siguiente:

Introducción. Contiene la definición de conceptos relacionados con la variable que se va a medir, tales como señales continuas, señales periódicas, periodo de una señal y frecuencia. Contiene también las definiciones de otros conceptos como resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica. Se realiza el planteamiento del problema, se analizan aspectos de la norma oficial mexicana que se refieren a equipo electrónico, información sobre frecuencímetros comerciales disponibles en el mercado, se plantea la propuesta de solución al problema y se da una explicación del objetivo de tesis.

Capítulo 1. Diseño e implementación del frecuencímetro. Este capítulo contiene toda la información referente al diseño, simulación e implementación de todas y cada una de las partes que integran el frecuencímetro, tanto en la parte de software como en la parte de hardware. La información la integran las especificaciones del frecuencímetro, los diagramas de flujo del programa y de algunas de las rutinas que lo integran, diagramas de los circuitos electrónicos e información de la elaboración del Manual de usuario. La simulación de circuitos contenidos en este capítulo se realizó en el programa PSpice y las simulaciones de programa se realizaron en el ambiente de desarrollo MPLAB IDE versión 7.3 de

Microchip. Se incluyen también fotografías del equipo terminado y de los circuitos impresos.

Capítulo 2. Pruebas y resultados. En este capítulo se evalúa el desempeño del frecuencímetro ya terminado. Se reportan los resultados de las pruebas de operación realizadas a frecuencia variable y amplitud variable. Aquí también se analizan detalladamente los resultados obtenidos y se determina el error de exactitud del equipo. Se analiza el cumplimiento de la norma oficial mexicana NOM-001-SCFI-1993 mediante las pruebas de aprobación de tipo. Se analiza el costo de fabricación que tendría el equipo. Se incluyen fotografías del equipo y de algunos dispositivos de prueba que fueron diseñados.

Conclusiones y recomendaciones. Se dan las conclusiones finales, se analiza si se alcanzó el objetivo inicialmente planteado y se dan recomendaciones para trabajos futuros.

En los **Apéndices** se incluye un resumen de la NOM-001-SCFI-1993, las principales características del microcontrolador utilizado, el listado de programa, la caracterización del equipo desarrollado así como el Manual de usuario que incluye diagramas esquemáticos y diagramas de circuitos impresos.

En el **Glosario** se definen términos que son necesarios para el desarrollo del tema.

En la **Bibliografía** se enlistan todas las fuentes de información utilizadas, tanto datos de libros como direcciones de Internet.

Introducción

Antecedentes

Una señal es una función de una o más variables que contiene información acerca del comportamiento o naturaleza de algún fenómeno físico, químico, matemático, social, etc.

De acuerdo a sus características, existen varias clasificaciones de las señales, se pueden clasificar en continuas o discretas, de una o de varias variables, periódicas o no periódicas, etc.

La continuidad de una señal se puede presentar en la variable independiente, en la dependiente o en ambas.

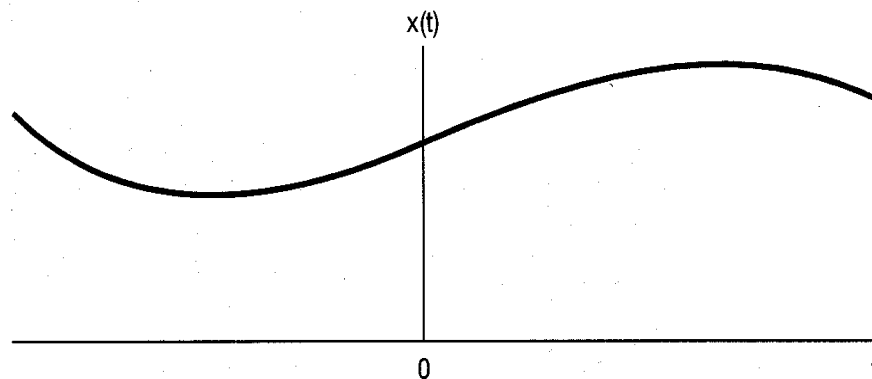


Figura 1. Ejemplo de señal continua en tiempo y amplitud

Una señal con variable independiente continua es aquella que puede tomar cualquier valor de la variable independiente; si nos referimos al tiempo como la variable independiente, una señal $x(t)$ es una señal continua si está definida para todo el tiempo t , esto quiere decir que para cualquier punto en el eje del tiempo, la señal tiene un valor definido. La figura 1.1 es un ejemplo de este tipo de señales.

Una señal con variable independiente no continua recibe el nombre de señal discreta y es una secuencia de números, denotada comúnmente como $x[n]$, donde n es un número entero. Las señales discretas no están definidas para todo tiempo y la forma más común de obtenerlas es muestreando una señal de variable independiente continua. La figura 1.2 es un ejemplo de señal discreta.

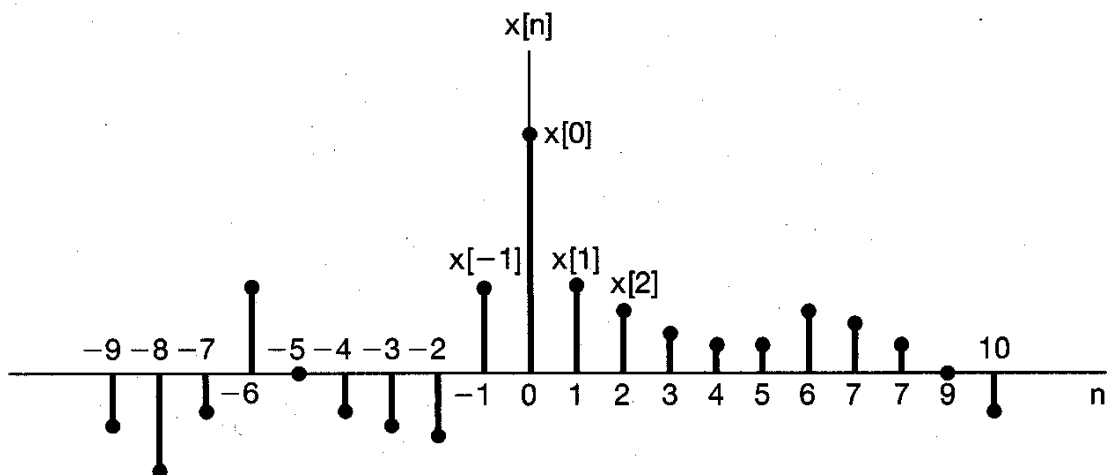


Figura 2. Ejemplo de señal discreta

Por el lado de la continuidad con respecto a la variable dependiente, una señal es continua si está definida para cualquier valor; si nuevamente nos referimos al tiempo como variable independiente, una señal es continua si puede tomar cualquier valor de amplitud.

Una señal con variable dependiente no continua recibe el nombre de señal digital y es aquella en la que la amplitud de la señal toma solo niveles de amplitud definidos, entre un nivel de amplitud y otro existe un intervalo que no se encuentra definido. La figura 1.3 es una representación de una señal digital.

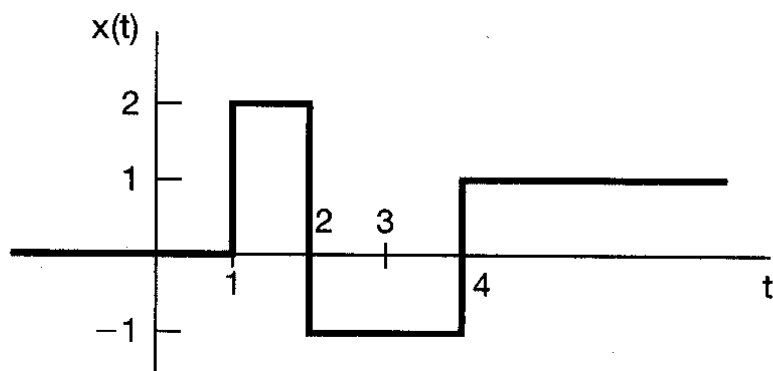


Figura 3. Ejemplo de señal digital

Otro tipo importante de señales son las señales no continuas en tiempo y no continuas en amplitud. Este tipo de señal recibe el nombre de señal cuantizada, un ejemplo de ellas se muestra en la figura 1.4.

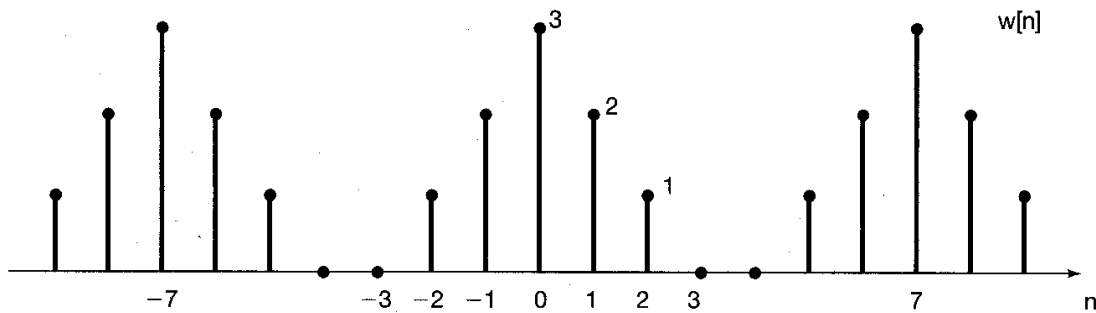


Figura 4. Ejemplo de señal cuantizada

Cabe mencionar que una señal puede ser continua en tiempo y amplitud o continua en el tiempo y digital en amplitud o discreta en el tiempo y continua en amplitud. La continuidad en el tiempo no implica continuidad en amplitud ni viceversa.

Las señales que nos interesan en esta tesis son las señales continuas en el tiempo, pudiendo ser continuas en amplitud o digitales. De acuerdo con otras de sus características, las señales continuas en el tiempo se pueden a su vez subdividir en varios tipos, una clasificación es señales periódicas y no periódicas.

Señales periódicas

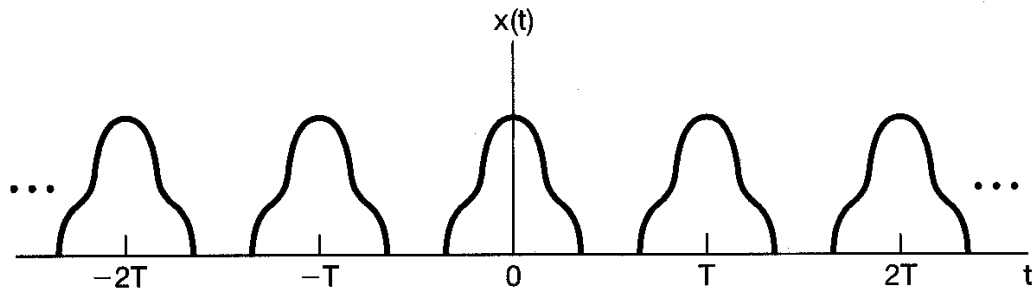
Una señal continua en el tiempo $x(t)$ es periódica si tiene la propiedad de que existe un valor T para el cuál:

$$x(t) = x(t + T) \quad \text{para todos los valores de } t$$

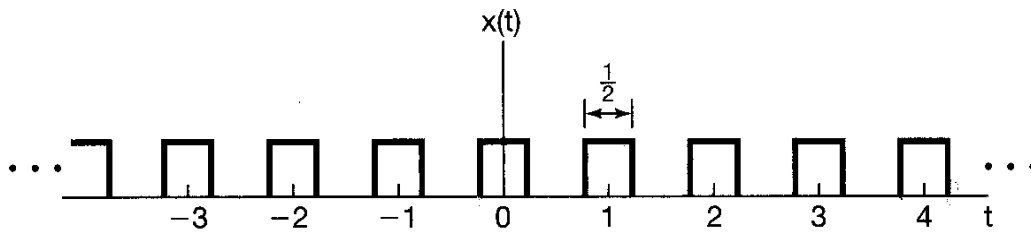
Esto quiere decir que una señal periódica tiene la propiedad de tomar los mismos valores, o dicho de otra forma, repetirse después de un tiempo llamado T . Si esto se cumple decimos que $x(t)$ es una **señal periódica** y llamamos **periodo** al intervalo de tiempo T .

Las señales periódicas están definidas también para el tiempo discreto. Sin embargo para la presente tesis nos ocuparemos únicamente de señales en el dominio de tiempo continuo.

En los incisos a) y b) de la figura 1.5 se muestran ejemplos de señales periódica analógica y periódica digital respectivamente.



(a)



(b)

**Figura 5. (a) Señal periódica analógica
(b) Señal periódica digital**

Calculando el inverso multiplicativo del periodo de una señal periódica continua en el tiempo, obtendremos el número de veces que dicha señal se repite en un segundo y llamaremos a esta característica **frecuencia** de la señal.

$$\frac{1}{f} = T$$

La frecuencia angular está dada por:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \Rightarrow T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

La frecuencia es inversamente proporcional al periodo y con un análisis dimensional vemos que sus unidades son $[1 / s]$, unidad llamada [Hz].

$$[f] = \left[\frac{1}{s} \right] = [Hz]$$

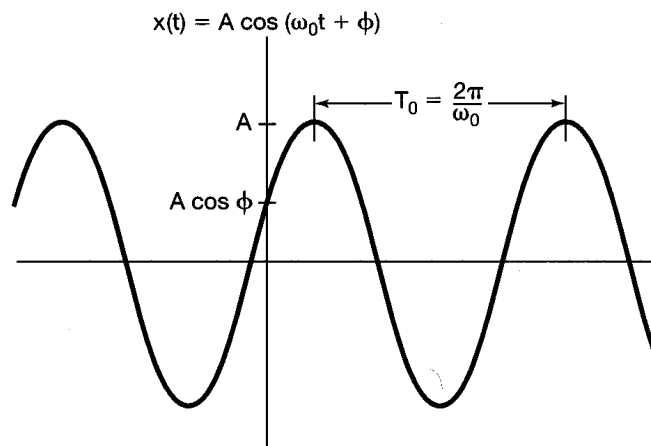


Figura 6. Periodo de la señal $x(t)$

Conocer la frecuencia de una señal periódica es de suma importancia, ya que es una de sus principales características. La figura 1.6 nos muestra el periodo de una señal analógica, tomando como referencias los máximos de una señal senoidal.

Resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento es una característica de los materiales aislantes, es el valor de la resistencia eléctrica entre dos puntos del material aislante. La medición de la resistencia de aislamiento es un procedimiento directo. Consiste en seleccionar dos puntos entre los cuáles hay aislamiento, conectar un probador de aislamiento y realizar la medición. El valor medido representa la resistencia de todo el aislamiento entre los puntos seleccionados.

Una prueba de aislamiento, es hecha aplicando un nivel de voltaje de c.d. (normalmente menos de 1000 V) a través de los puntos de conexión, esto causará el flujo de una pequeña corriente a través del material aislante. Aplicando la Ley de Ohm, se obtiene la resistencia de aislamiento.

$$R_a = \frac{E}{I} \quad \text{donde: } R_a = \text{resistencia de aislamiento}$$

E = voltaje de prueba aplicado

I = corriente de conducción

La aplicación de un escalón de tensión sobre un aislamiento origina una conducción de corriente que tiene 3 componentes:

1. **corriente de carga capacitiva:** al principio es muy alta y decae rápidamente, es función de la capacidad geométrica del aislamiento
2. **corriente de absorción:** inicialmente es alta, decae de forma más lenta. Es representativa de la cantidad de impurezas presentes en el interior del dieléctrico
3. **corriente de conducción:** prácticamente constante y fundamentalmente consecuencia de factores externos como son grado de humedad, contaminación, etc.

La corriente capacitiva y la de absorción son valores transitorios. El valor más representativo y de mayor interés es la corriente de conducción ya que es la única componente en estado estable.

La medición de la resistencia de aislamiento, es un parámetro para medir la calidad del aislamiento eléctrico de un producto, así como verificar que la corriente de conducción no excede un límite de seguridad.

Rigidez dieléctrica

Los conceptos de resistencia de aislamiento, corriente de conducción y rigidez dieléctrica están íntimamente ligados y conviene tratarlos en conjunto. El comportamiento de la corriente de conducción con respecto al voltaje aplicado en un material aislante esta descrito gráficamente en la figura 1.7.



Figura 7. Gráfica de voltaje contra corriente de conducción en un material dieléctrico

Analizando el comportamiento, podemos ver que no es de tipo lineal; para valores pequeños de voltaje (V), la corriente de conducción (I) tiende a cero, por lo que la resistencia de aislamiento R_a es muy grande.

Para un valor mayor de V , I es pequeña y el valor de R_a es grande. Conforme V aumenta, I aumenta en una mayor proporción y la R_a disminuye.

Si V continúa aumentando, I aumenta en una mayor proporción, por lo que la R_a disminuye hasta un cierto límite en el que se produce una descarga eléctrica. Este punto es llamado punto de rompimiento. El rompimiento es la falla de capacidad del material aislante de proveer una barrera eléctrica al flujo de corriente. En el punto de rompimiento, la corriente de conducción se vuelve infinita (corto circuito) y la resistencia de aislamiento vale 0.

Cada rompimiento produce daño al material aislante, por lo tanto la prueba puede llegar a ser destructiva. La capacidad aislante puede ser autoregenerativa (aislantes en aire y aceite) o no regenerativa cuando se produce un daño permanente, como puede ser la perforación del material.

El límite de tensión que un material determinado puede soportar se denomina rigidez dieléctrica. Cada material tiene su propia rigidez dieléctrica, su valor depende de las dimensiones de los electrodos de ensayo, de las condiciones ambientales en las cuales se realiza la prueba y de la duración de aplicación de la tensión.

Durante una prueba de rigidez dieléctrica para aprobación de tipo, el objetivo no es determinar la rigidez dieléctrica de un equipo, el objetivo es verificar que no se encuentre por debajo de un límite de tensión establecido en alguna norma.

Norma NOM-001-SCFI-1993

La norma oficial mexicana NOM-001-SCFI-1993 es un esfuerzo del gobierno federal para garantizar que los productos y servicios que se comercialicen sean seguros y no representen peligro al usuario y consumidores. Se aplica a aparatos electrónicos, aparatos electrónicos de uso doméstico, etc. y enumera los requisitos de seguridad y métodos de prueba para la aprobación de tipo.

La dirección electrónica donde puede consultarse el contenido completo de la norma mencionada se encuentra en la Bibliografía. A continuación se mencionarán aspectos que son de relevancia para esta tesis y en el Apéndice A se encuentra un resumen de dicha norma. La NOM-001-SCFI-1993 está compuesta de 20 puntos. A continuación se enlistan los puntos que afectan al trabajo de tesis:

- Punto 1. Objetivo
- Punto 2. Campo de aplicación
- Punto 3. Definiciones
- Punto 5. Especificaciones
- Punto 6. Métodos de prueba
- Punto 7. Marcado
- Punto 8. Calentamiento bajo condiciones normales de operación
- Punto 9. Calentamiento a temperaturas ambiente elevadas
- Punto 10. Peligro de choque eléctrico bajo condiciones normales de operación
- Punto 11. Requisitos de aislamiento
- Punto 12. Robustez mecánica
- Punto 14. Dispositivos terminales
- Punto 15. Cables y cordones flexibles exteriores

OBJETIVO DE LA NOM-001-SCFI-1993

Establecer los requisitos de seguridad que deben cumplir los aparatos electrónicos que utilizan para su alimentación tanto la energía eléctrica del servicio público como otras fuentes de energía (pilas, baterías, acumuladores, etc.), con el propósito de prevenir y eliminar riesgos para la integridad corporal de los usuarios y para la conservación de sus bienes.

CAMPO DE APLICACIÓN

La norma se aplica hasta donde es posible a equipos profesionales, científicos e industriales mientras no exista una norma específica de seguridad para éstos. Ya que el frecuencímetro es un equipo utilizado en laboratorios de investigación, diseño, desarrollo, así como en procesos industriales y ya que no existe una norma específica que regule sus aspectos de seguridad, es sujeto de cumplir con la norma NOM-001-SCFI-1993.

ESPECIFICACIONES

Los aparatos incluidos en el campo de aplicación de la norma, deben diseñarse y fabricarse de forma que no causen daño alguno a los usuarios al funcionar tanto bajo condiciones normales de operación, como bajo condiciones anormales, particularmente en lo que se refiere a:

- Protección personal contra choques eléctricos
- Protección personal contra los efectos de la temperatura excesiva
- Protección personal contra los efectos de la inestabilidad mecánica de los aparatos y de sus partes en movimiento

Los tres primeros puntos de la norma ya fueron abordados en este capítulo. Los siguientes puntos se analizarán posteriormente en el Capítulo 3 (Pruebas y Resultados), ya que todos ellos incluyen pruebas para realizar al equipo. Se mencionará la prueba realizada y el resultado de la misma.

Para algunas de las pruebas fue necesario diseñar algunos instrumentos, como es el caso del dedo de prueba rígido y el dedo de prueba articulado cuyos planos se encuentran en el Anexo A.

Planteamiento del problema

El *frecuencímetro* es un equipo electrónico utilizado para la medición de frecuencia de señales periódicas y es un instrumento de mucha utilidad en la mayoría de los laboratorios donde se trabaja en las áreas de filtrado, modulación, generación de señales, procesamiento de señales, diseño electrónico, telecomunicaciones, control, etc.

Actualmente los equipos de medición de frecuencia que podemos encontrar en el mercado son mayoritariamente equipo de importación y son pocos los productos nacionales que se han desarrollado. El costo de los equipos de importación es alto y la labor de mantenimiento se vuelve muy compleja por la falta de información del mismo equipo y/o de sus componentes, lo que justifica el diseño de un equipo que cuente con un intervalo amplio de lectura de frecuencia, así como un intervalo amplio de voltaje de entrada, opere con dispositivos de fácil adquisición en el mercado nacional y cuya información se consiga fácilmente.

La utilización de cualquier tipo de equipo debe ser lo más sencilla posible y requerir la mínima participación del usuario para simplificar su uso y a la vez minimizar las fuentes de error. Mientras un equipo sea más fácil de usar, requiera menos conexiones y el usuario requiera configurar menos opciones, sin que esto signifique reducir la calidad de su funcionamiento, habrá menos posibilidades de una utilización incorrecta y será más probable que sea preferido por el usuario sobre otro equipo de difícil manejo.

Cualquier equipo que tiene como objetivo entrar al mercado y competir con equipos similares debe cumplir con las normas establecidas para el tipo de equipo que se trate. En el caso de un frecuencímetro, la norma que lo regula es la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SCFI-1993.

Frecuencímetros disponibles en el mercado

Actualmente, en el mercado podemos encontrar una gran variedad de frecuencímetros. Las diferencias entre ellos radican principalmente en el intervalo de frecuencia, operación manual o automática, interfase para PC, resolución, desviación de frecuencia (error de exactitud), intervalo de amplitud y en las normas nacionales y/o internacionales que cumplen. El costo de los equipos varía en función de dichas características.

Algunos equipos que se encuentran disponibles en el mercado son los siguientes:

♦ Frecuencímetro Universal marca PKT, modelo 2860

Precio aproximado: 360 Euros

Principales características técnicas.

3 entradas diferentes, entrada A (10 Hz a 10 MHz), entrada B (10 MHz a 500 MHz), entrada C (500 MHz a 2.7 GHz).

Intervalo de frecuencia: 10 Hz a 2.7 GHz

Amplitud máxima: Entrada A = 15 V_{eff}, Entrada B = 4 V_{eff}

Resolución: Depende de la entrada y la escala, varía desde 1 nHz hasta 10 Hz

Sensibilidad: Entrada A = 15 mV_{eff}, Entrada B = 30 mV_{eff}, Entrada C = 50 mV

Desviación de frecuencia: 2 p.p.m. + 1 posición

de dígitos: 8

Normatividad: norma IEC-1010-1; CAT II¹

Características adicionales: Interfase RS-232, software para Win 95/98/2000, medición de periodo, memoria de valor medio, máximo y mínimo. El usuario debe seleccionar manualmente canal de entrada, escala de medición e incluso la resolución del equipo. Requiere eliminador de baterías de 9 V ó pilas AAA.

País de origen: España.

♦ Frecuencímetro de bolsillo marca PKT, modelo FC-2600

Precio aproximado: 235 Euros

Principales características técnicas.

Intervalo de frecuencia: por escalas, Canal A de 10Hz a 10 MHz, Canal B de 10 MHz a 500 MHz y Canal C de 50 MHz a 2500 MHz

Amplitud máxima: canales A y B 5 V_{eff}, canal C 250 V_{eff}

Resolución: variable, según la escala, desde 0.1 Hz hasta 1 kHz

Sensibilidad: 50 mV_{eff}

Desviación de frecuencia: 4 p.p.m. + 1 posición

de dígitos: 8

¹ IEC-1010-1. Especificación internacional de seguridad diseñada para guiar a los usuarios sobre los diferentes niveles de protección específicos para equipos de prueba.

Normatividad: IEC-1010-1, CAT II

Características adicionales: tamaño de la mano, medición de periodo, mantenimiento de valores (hold), memoria de valores (máximo, mínimo y medio). El usuario debe seleccionar manualmente canal de entrada, escala de medición e incluso resolución del equipo. Requiere de pilas AAA.

País de origen: España

♦ **Contador de frecuencia marca BK Precision, modelo 1803D**

Precio aproximado: 199 Dólares

Principales características técnicas.

Intervalo de frecuencia: Entrada HF de 10 Hz a 20 MHz, Entrada VHF de 20 MHz a 200 MHz

Amplitud máxima: niveles TTL

Resolución: variable con la escala, en mínima escala la resolución es de 1 Hz

Sensibilidad: 25 mV rms para entrada HF y 50 mV rms para Entrada VHF

Desviación de frecuencia: 10 p.p.m. + 1 posición

de dígitos: 7

Normatividad: ninguna.

Características adicionales: Requiere eliminador de baterías de 9 V.

País de origen: E.U.A.

♦ **Contador de frecuencia marca BK Precision, modelo 1823A**

Precio aproximado: 435 Dólares

Principales características técnicas.

Intervalo de frecuencia: Canales A y B de 5 Hz a 100 MHz, Canal C de 80 MHz a 2.4 GHz

Amplitud máxima: niveles TTL

Resolución: variable de acuerdo a la lectura, desde 0.1 Hz hasta 100 kHz

Sensibilidad: Canales A y B 30 mV, Canal C 150 mV rms

Desviación de frecuencia: 1 p.p.m. + 1 posición

de dígitos: 9

Normatividad: IEC-529²

Características adicionales: medición de periodo, medición de intervalos, interfase RS-232. El usuario selecciona manualmente canal de entrada y escala.

País de origen: E.U.A.

² IEC 529 Sistema europeo de especificaciones estándares de prueba para clasificar los grados de protección provistos por el encapsulado de equipo eléctrico

Propuesta de solución al problema

La propuesta de tesis para solucionar la problemática anteriormente descrita, fue desarrollar un frecuencímetro orientado al cumplimiento de la normatividad vigente en cuestión de seguridad y con las características necesarias para colocarse en el mercado.

Se propuso desarrollar un frecuencímetro microcontrolado por la flexibilidad, confiabilidad, practicidad y economía que los microcontroladores ofrecen. Son dispositivos que se adaptan a la mayoría de los sistemas, los recursos con que cuentan permiten realizar gran variedad de tareas, requieren de pocos elementos adicionales y permiten desarrollar sistemas compactos.

El frecuencímetro que se desarrollará deberá ser auto-intervalo, no requerir del usuario para seleccionar el intervalo de frecuencia de la señal a medir. Deberá ajustar automáticamente la escala para que a partir de que el usuario lo conecte comience a trabajar en la más adecuada.

Los componentes deberán ser de fácil adquisición en el mercado nacional y de bajo costo. Dar al usuario toda la información necesaria para operar el equipo y para fabricar el equipo para el caso de una posible transferencia tecnológica.

Para el rango de frecuencias que se desea medir, se considera que 5 dígitos son suficientes. El display deberá ser claro y poder leerse desde cualquier ángulo de visión, ya que en los laboratorios, en muchas ocasiones el equipo de medición no se encuentra frente al usuario.

El frecuencímetro deberá tener un intervalo amplio de amplitud; los equipos comerciales tienen intervalos muy limitados, la mayoría de ellos están limitados a niveles TTL, solo unos cuantos pueden medir amplitudes mayores. Aquellos que pueden medir amplitudes mayores a TTL lo hacen por medio de un canal adicional al principal; el usuario debe seleccionar el canal a utilizar de acuerdo a la amplitud y verificar el ancho de banda del canal.

La capacidad de medir hasta 127 V, dará al frecuencímetro una ventaja sobre la mayoría de equipos comerciales, ya que no es un intervalo común y ampliará el tipo de aplicaciones donde podrá ser utilizado el equipo.

Objetivo

Objetivo General:

- ❖ **Diseñar, construir e implementar un frecuencímetro para uso en instituciones de enseñanza media superior y superior.**

Objetivos particulares:

- **Operado por microcontrolador**
- **Bajo costo de fabricación**
- **Componentes de fácil adquisición e información disponible**
- **Intervalo automático**
- **Colaborar en la elaboración de los manuales de usuario y de fabricación**
- **Competitivo con los equipos comerciales en exactitud y precisión**
- **Intervalo de frecuencia de 0.1 Hz a 2.0 MHz**
- **Intervalo de amplitud de 0.5 V a 127 V**
- **Orientado al cumplimiento de la norma oficial mexicana NOM-001-SCFI-1993**
- **Despliegue en display de 5 dígitos de buena legibilidad**

Capítulo 1. Diseño e implementación del frecuencímetro

1.1. Descripción General

El frecuencímetro tiene dos partes principales que lo componen: el hardware, que son todos los circuitos que lo integran; y el software, consistente en el programa que se encuentra grabado en el microcontrolador (MCU).

El hardware se subdivide a su vez en Fuente de alimentación, Acondicionador de señal, Microcontrolador y Despliegue.

Mediante el diagrama de bloques de la figura 2.1, podemos representar los elementos que conforman al frecuencímetro.

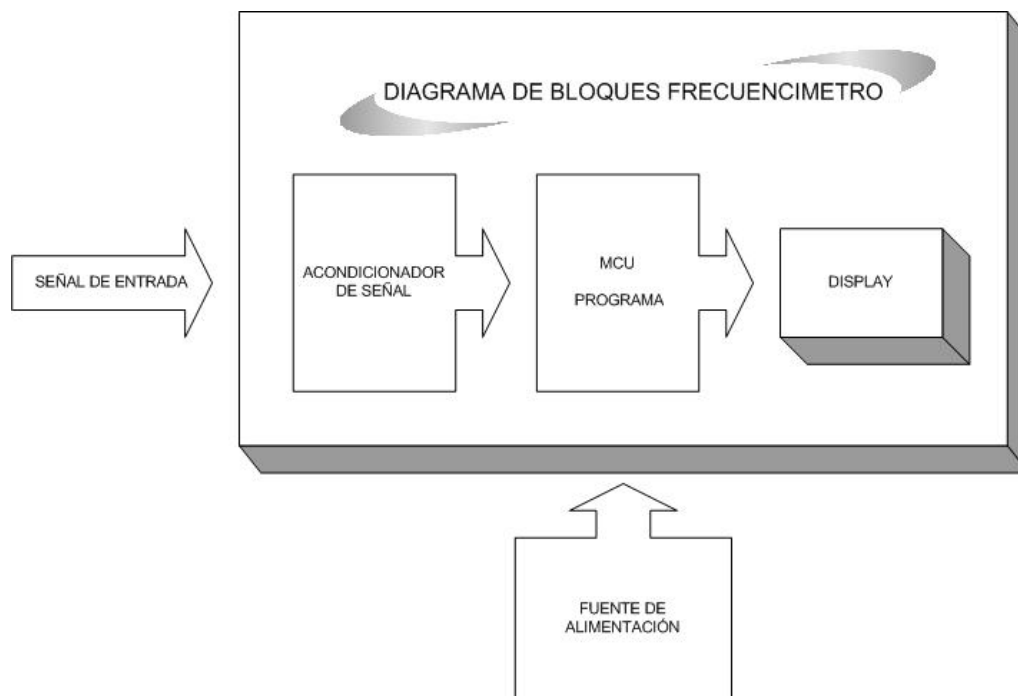


Figura 8. Diagrama a bloques del frecuencímetro

El software se subdivide en un programa principal y diferentes rutinas que realizan tareas específicas, además de la rutina de atención de las interrupciones.

Del objetivo de tesis planteado en el capítulo 1, se desprenden algunas de las especificaciones de diseño para el frecuencímetro que son las siguientes:

⇒ *Intervalo de frecuencia*: 0.1 Hz a 2.0 MHz

⇒ *Intervalo de amplitud*: 0.5 V a 127 V

La propuesta de solución al problema, planteó que el diseño de un frecuencímetro con un despliegue de 5 dígitos es suficiente para dar solución a la problemática planteada.

Estos datos son importantes porque nos limitan la resolución del equipo. En la frecuencia mínima de diseño (0.1 Hz) es más que suficiente contar con una resolución de 0.01 Hz, así que no hay limitante por tener 5 dígitos, la lectura inmediata superior es de 0.11 Hz. En la frecuencia máxima de diseño (2.0 MHz), la lectura inmediata inferior que podemos desplegar con 5 dígitos es 1.9999 MHz, resultando una resolución de 0.0001 MHz = 0.1 kHz = 100 Hz.

⇒ *Resolución en mínima escala*: 0.01 Hz

⇒ *Resolución en máxima escala*: 100 Hz

En el Laboratorio de Electrónica del CCADET, se cuenta con la experiencia y el equipo necesario para trabajar y desarrollar sistemas que contengan con microcontroladores de la marca Microchip. Los microcontroladores de Microchip, tienen ventajas sobre los microcontroladores de otros fabricantes, entre las principales se cuentan:

- bajo costo
- set de instrucciones reducido (RISC)
- circuito básico simple (solo requieren de alimentación, polarización del reset y señal de reloj)
- amplia disponibilidad en el mercado

Se eligió trabajar con un microcontrolador de la familia PIC16FXXX. Esta familia de microcontroladores considerados de gama media, tienen como características principales:

- ALU de 8 bits
- tecnología CMOS
- memoria FLASH
- amplio intervalo de voltaje de alimentación (2.0 a 5.5 V)
- disponibles en presentación tipo DIP

Inicialmente, para familiarizarse con el uso del ambiente de desarrollo y con la programación de esta familia de microcontroladores, se comenzó a trabajar con el microcontrolador PIC16F877. Este microcontrolador está disponible en encapsulado DIP de 40 pines; cuenta (entre otros recursos) con dos timers de 8 bits y uno de 16 bits, ciclo de instrucción de 200 nano segundos, 5 puertos de propósito general, conversor A/D de 10 canales, módulo PWM, 14 fuentes de interrupción, etc.

Los recursos de este microcontrolador son muy amplios y superan por mucho lo que se requiere para un frecuencímetro. Por ello se decidió buscar un microcontrolador más pequeño con los recursos suficientes y de menor costo.

Se escogió trabajar con el microcontrolador PIC16F628. Este microcontrolador tiene todas las características de la familia 16FXXX que se comentaron anteriormente. Al igual que el 16F877, tiene dos timers de 8 bits y uno de 16 bits, ciclo de instrucción de 200 nano segundos y módulo PWM. Como características particulares tiene puertos 2 puertos de propósito general (un total de 15 pines bidireccionales), 10 fuentes de interrupción, etc. Algunas características adicionales se enlistan en el Apéndice B.

El costo de un PIC16F628 es de aproximadamente \$50, es un costo económico y muy aceptable para el sistema que se diseñará. Este microcontrolador se consigue con la mayoría de los proveedores nacionales y aparece en sus catálogos en estado activo.

1.2. Diseño del acondicionador de señal

La primera parte del diseño del frecuencímetro consiste en acondicionar la señal de entrada para que el MCU pueda medir la frecuencia, el acondicionamiento consiste en digitalizar la señal de entrada y adecuar la amplitud a un nivel que no dañe al MCU y a la vez sea detectable.

Las características del circuito acondicionador de señales son que debe cubrir el intervalo de frecuencia de operación del frecuencímetro (0.1 Hz a 2.0 MHz), tener alta impedancia de entrada y acondicionar señales con amplitud desde 0.5 V hasta 127 V.

Se propone el circuito acondicionador de señales de la figura 2.2.

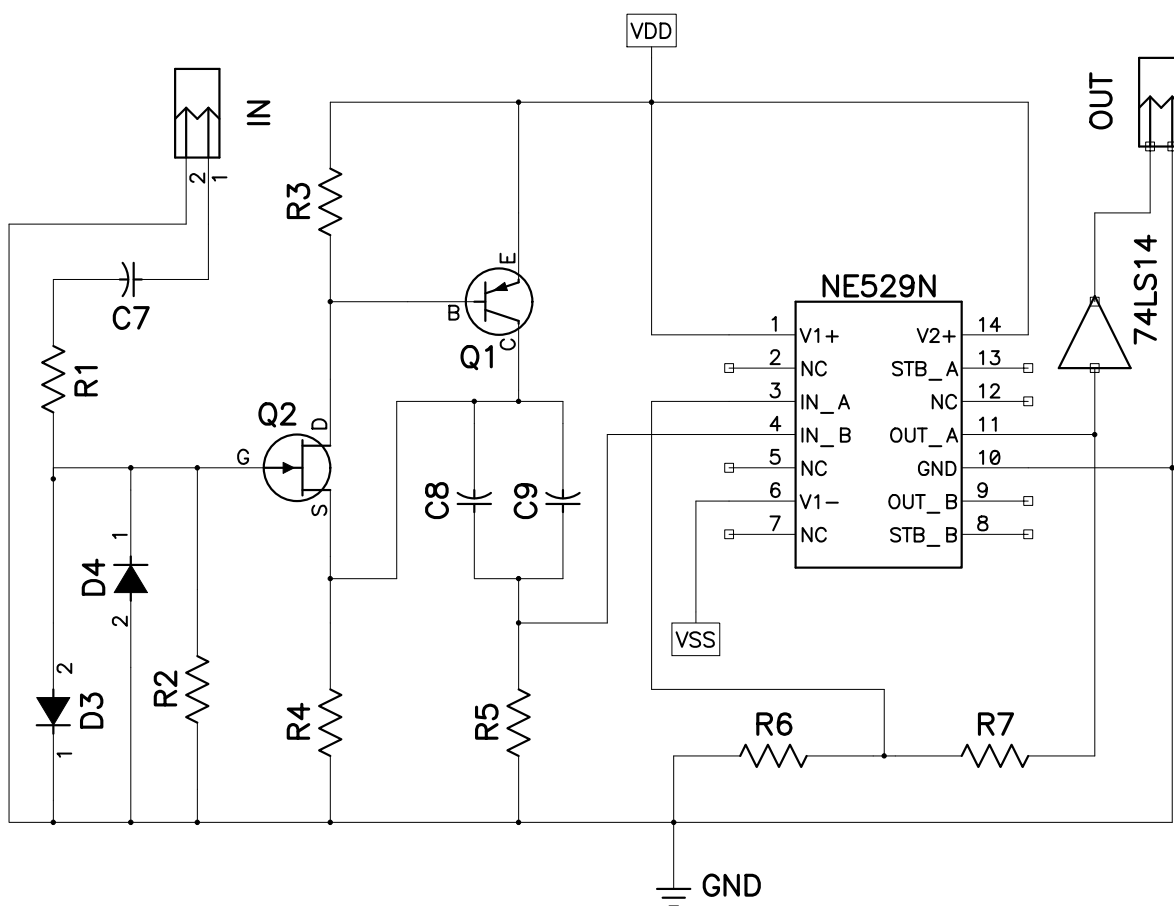


Figura 9. Acondicionador de señales

Este circuito acondicionador se obtuvo de una versión previa de frecuencímetro desarrollado en el Laboratorio de Electrónica del CCADET. Un análisis del circuito nos permitirá determinar si es adecuado para el frecuencímetro que se desea diseñar.

Primeramente determinamos la impedancia de entrada del circuito. Q2 es un transistor de efecto de campo (FET). Una característica de los FET's es su alta impedancia de entrada en la terminal de gate; en la práctica se considera que, como consecuencia de la alta impedancia de entrada, la corriente que circula por la terminal de gate es cero. Esto nos permite seccionar el circuito para su análisis en el subcircuito de la figura 2.3.

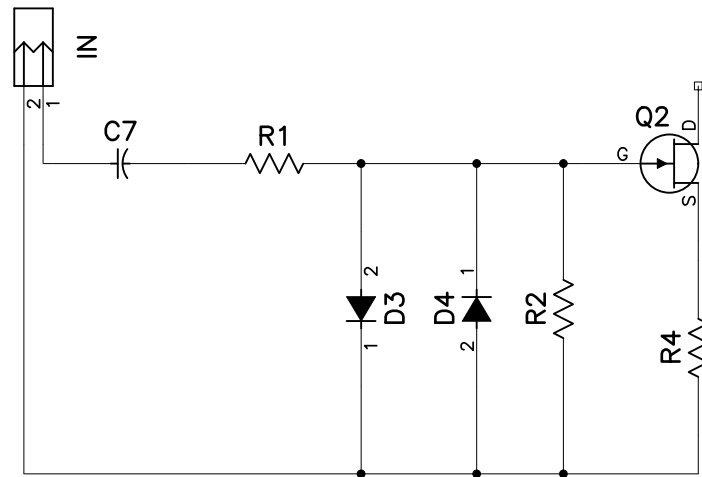


Figura 10. Subcircuito de entrada

R1 y R2 forman un divisor de voltaje, R1 es de 1 k Ω y R2 es de 1 M Ω . R1 es 1000 veces menor que R2, por lo que consideramos que prácticamente todo el voltaje se cae en R2. Por tanto, se deduce que la impedancia de entrada está fijada por R2 = 1 M Ω . La principal función de esta etapa es servir de protección a las etapas siguientes.

Si el voltaje de entrada V_i es menor al voltaje de encendido de los diodos D3 y D4, el circuito se reduce al de la figura 2.4.

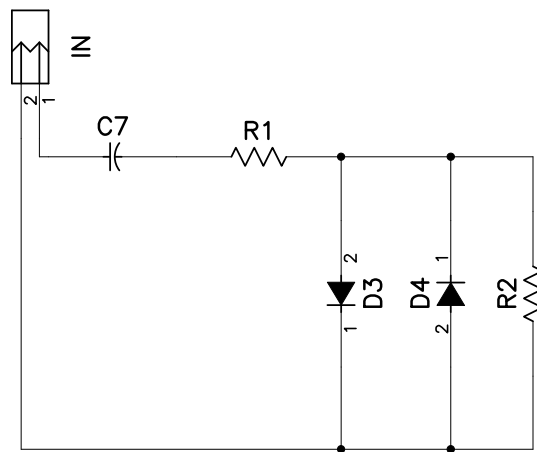


Figura 11. Filtro de entrada

El capacitor C7 forma un filtro paso altas con R1 y R2. La función de transferencia del filtro está dada por:

$$V_0 = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} V_i$$

$$Z_1 = Z_{C7} + Z_{R1} = \frac{1}{Cj\omega} + R1 \quad Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow \frac{V_0}{V_i} = \frac{R_2}{\frac{1}{Cj\omega} + R_1 + R_2} \quad \textbf{Función de transferencia}$$

$$\text{cuando } \omega \rightarrow 0 \quad \left. \frac{V_0}{V_i} \right|_{\omega \rightarrow 0} = \frac{R_2}{\frac{1}{0} + R_1 + R_2} = \frac{R_2}{\infty} \quad \text{tiende a cero}$$

$$\text{cuando } \omega \rightarrow \infty \quad \left. \frac{V_0}{V_i} \right|_{\omega \rightarrow \infty} = \frac{R_2}{\frac{1}{\infty} + R_1 + R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{tiende a 1 dado que } R_1 \ll R_2$$

Se trata de un filtro paso-altas de primer orden

La ganancia del filtro está definida por:

$$G = \frac{|V_0|}{|V_i|}, \quad |V| = \sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2}$$

En la frecuencia de corte ω_c , el módulo de la amplitud vale 0.7071 o $\frac{1}{\sqrt{2}}$

$$\Rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{R_2}{\sqrt{\left(\frac{1}{Cj\omega}\right)^2 + (R_1 + R_2)^2}}$$

$$2(R_2)^2 = \left(\frac{1}{C\omega_c}\right)^2 + (R_1 + R_2)^2$$

$$\frac{1}{C\omega_c} = \sqrt{2(R_2)^2 - (R_1 + R_2)^2}$$

$$\Rightarrow \omega_c = \frac{1}{C \sqrt{2(R_2)^2 - (R_1 + R_2)^2}}$$

Sustituyendo valores de los componentes utilizados:

$$C_7 = 0.1 \mu f, = 0.1 \times 10^{-6}, \quad R_1 = 1 k \Omega = 1 \times 10^3, \quad R_2 = 1 M \Omega = 1 \times 10^6$$

$$\omega_c = \frac{1}{0.1 \times 10^{-6} \sqrt{2(1 \times 10^6)^2 - (1 \times 10^3 + 1 \times 10^6)^2}}$$

$$\Rightarrow \omega_c = 10.01 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

$$f_c = \omega_c / 2\pi$$

$$\Rightarrow f_c = 10.01 / 2\pi$$

$$\therefore f_c = 1.59 \text{ [Hz]}$$

Por medio de una simulación del filtro, representada en la figura 2.5, observamos su amplitud en función de la frecuencia y corroboramos el comportamiento obtenido de manera teórica.

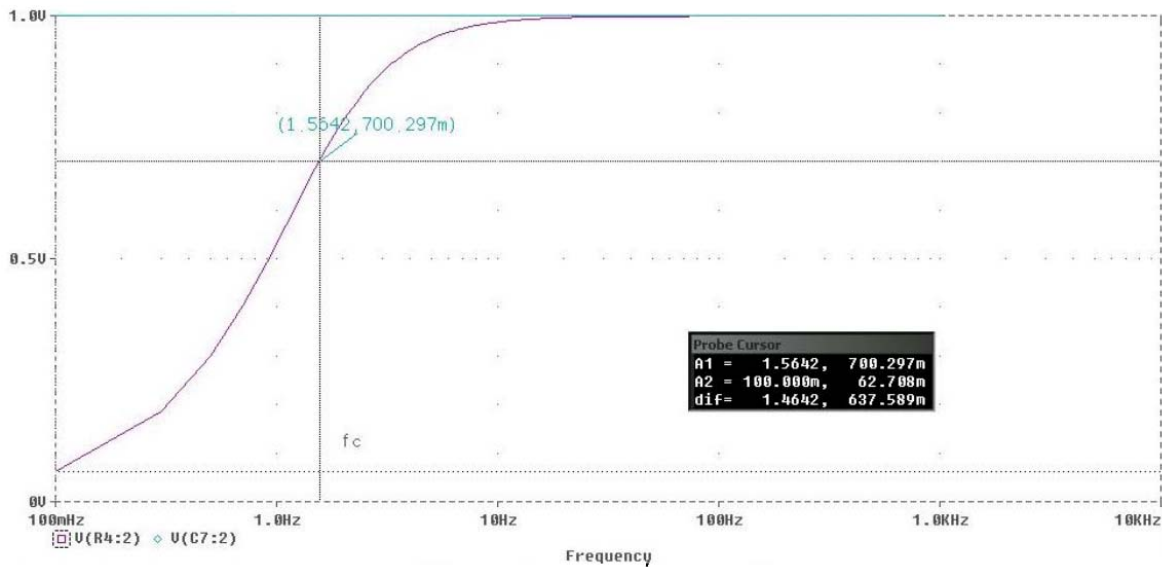


Figura 12. Simulación del filtro de entrada

La frecuencia de corte del filtro (1.59 Hz) es mayor que la frecuencia mínima que leerá el frecuencímetro (0.1 Hz), sin embargo no representa un gran problema debido a que, como se trata de un filtro de primer orden, la curva es muy suave y no atenúa totalmente nuestra señal.

Regresando al circuito del acondicionador de señales, se observa la función de cada uno de los elementos.

C7 elimina el offset de la señal de entrada y permite solo el paso de las componentes de alterna; es necesario eliminar el offset ya que no contiene información referente a la frecuencia y su nivel no es de utilidad en esta aplicación, por otro lado, el offset afecta la operación de algunos circuitos como es el caso de circuitos comparadores de voltaje.

D3 y D4 son diodos rectificadores de alta velocidad. De acuerdo a la hoja de datos, su velocidad máxima de conmutación es de 4 nano segundos; esta alta velocidad de conmutación nos permite acondicionar señales con una frecuencia mayor que con un diodo común.

Si la señal de entrada no alcanza el voltaje de encendido del diodo V_T , los diodos permanecen apagados. En caso que la amplitud de V_i sea mayor que el voltaje de encendido del diodo (V_T), D3 y D4 protegen al FET conmutando y recortando la señal; la conmutación de D3 y D4 produce una señal cuadrada con amplitud $V_T \approx 0.7$ [V]. Aparte de que D3 y D4 fijan la amplitud que pasa al FET, lo protegen contra sobre-corriente ya que prácticamente toda la corriente de entrada es drenada a través de ellos.

R1 limita la corriente de entrada al circuito, variando R1 controlamos la corriente que pasa a los diodos.

La excursión en el punto de operación del FET Q2 se produce por la conmutación de los diodos.

Al variar la corriente de drain en el FET, se varía también la corriente que circula por la terminal de base del transistor Q1 que es un transistor TBJ de tipo pnp. Q1 adapta la señal para mantenerla en el intervalo de operación de un comparador de voltaje.

Los capacitores C8 y C9 sirven para limpiar la señal antes de entrar al comparador. El circuito LM529N es un comparador de voltaje de alta velocidad con ciclo de histéresis y salida compatible con TTL.

La ventana de histéresis es fijada por las resistencias R6 y R7 de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$U_H = V_{CC} \left(\frac{R1}{R1 + R2} \right) + Va \left(\frac{R2}{R1 + R2} \right)$$

$$U_L = -V_{CC} \left(\frac{R1}{R1 + R2} \right) + Va \left(\frac{R2}{R1 + R2} \right)$$

$$V_H = U_H - U_L$$

$$V_H = 2 V_{CC} \left(\frac{R1}{R1 + R2} \right)$$

$$V_M = \frac{Va}{2} \left(\frac{R1}{R1 + R2} \right)$$

Sustituyendo los valores de

$$R6=47 \text{ k}\Omega, R7=560 \text{ k}\Omega, V_{CC}=5 \text{ V}, V_{EE}= -V_{CC} = -5 \text{ V}, Va = 0 \text{ V}$$

Obtenemos el ancho de la ventana de histéresis, su valor medio y los umbrales superior e inferior. Gráficamente, podemos ver el comportamiento de la ventana de histéresis en la figura 2.6.

$$V_H = 0.774 \text{ V}, \quad V_M = 0 \text{ V}, \quad U_H = 0.387 \text{ V}, \quad U_L = -0.387 \text{ V}$$

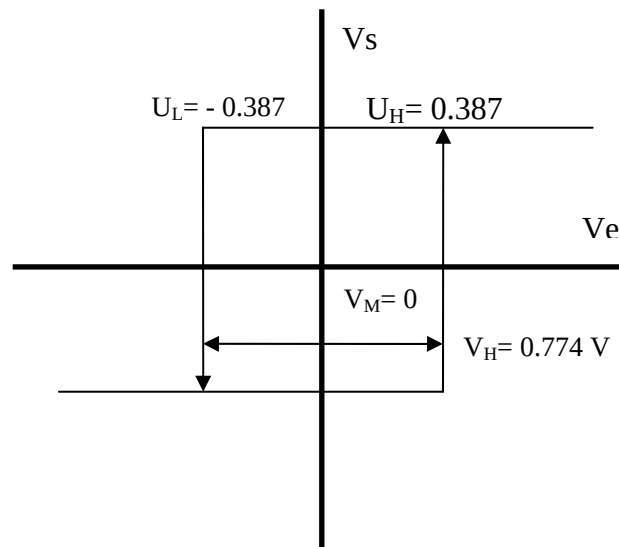


Figura 13. Ventana de histéresis en la salida

Finalmente un inversor se usa como buffer de salida. El C.I. 74LS14 es un inversor schmitt trigger. El ciclo de histéresis que nos agrega este circuito es para garantizar niveles de salida adecuados y no afecta al ciclo de histéresis del LM529.

En las hojas de datos del 74LS14 nos describe el comportamiento de V_e contra V_s como podemos apreciarlo en la figura 2.7, que es una representación gráfica del ciclo de histéresis.

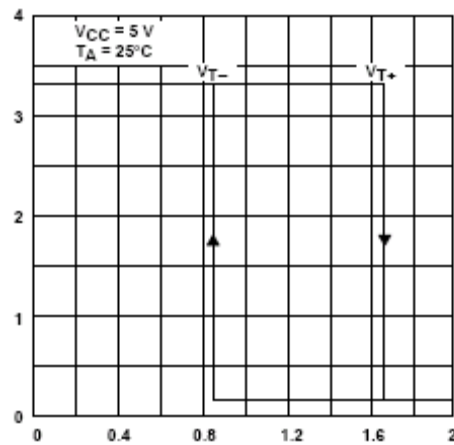


Figura 14. Ventana de histéresis del C.I. 74LS14

La salida del buffer que se muestra en las hojas de datos es adecuada para la etapa siguiente que es la del microcontrolador.

1.3. Diseño de la fuente de alimentación

Para diseñar la etapa de la fuente de alimentación se tomaron en cuenta las necesidades de voltaje de las etapas subsecuentes.

El circuito acondicionador de señal requiere de una alimentación de $\pm 5 \text{ Volts}$, por lo que requerimos de una fuente simétrica de 5 Volts. El microcontrolador PIC16F628 y la etapa de despliegue se alimentan también con 5 Volts de DC, así que se pueden alimentar de la misma fuente simétrica.

Se propuso utilizar una fuente simétrica que utiliza como elementos principales un puente de diodos rectificadores, capacitores para eliminar voltajes de rizo y reguladores de las familias 78XX y 79XX. Estas familias de reguladores son circuitos muy prácticos de tres terminales (entrada, tierra y salida) que tienen como características: entregar a la salida un voltaje fijo, ser exactos, capacidad de corriente de 1 Ampere, protección térmica interna y protección interna de límite de corriente. En el caso del regulador 7805, el voltaje de salida es de $V_{out} = 5 \pm 0.2 \text{ V}$.

El circuito de la fuente de alimentación simétrica es el de la figura 2.8.

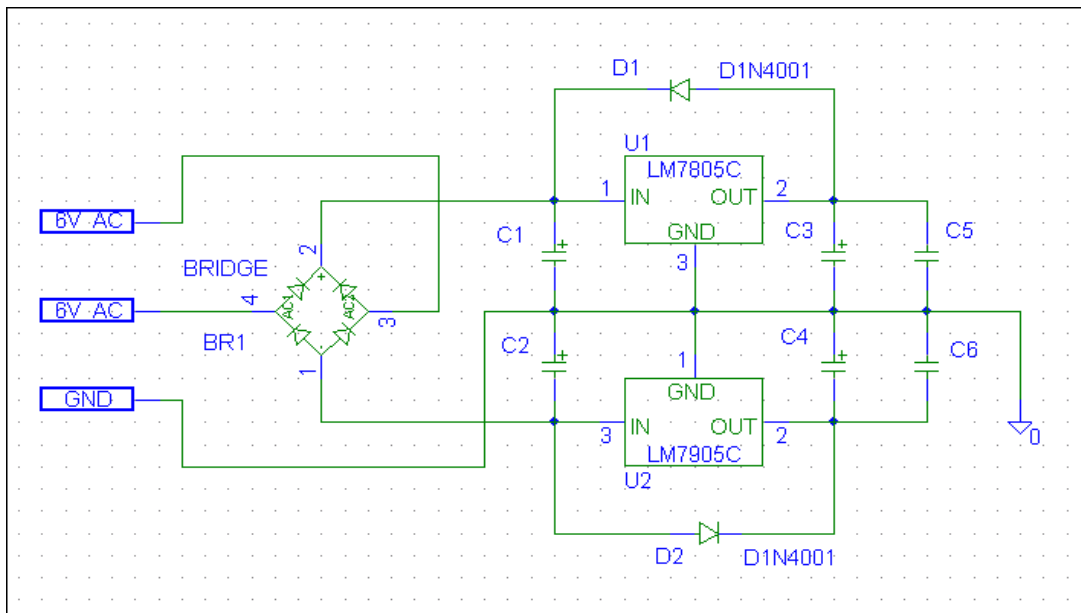


Figura 15. Fuente de alimentación simétrica de 5 V

Para reducir la elevación de temperatura en los reguladores se les colocaron disipadores de aluminio comerciales y se verificó manualmente que no hubiera exceso de calentamiento.

1.4. Ambiente de desarrollo MPLAB IDE

Como se mencionó anteriormente, por sus capacidades, recursos, costo y disponibilidad de herramientas, se seleccionó al microcontrolador PIC16F628 como elemento principal para desarrollo del frecuencímetro.

El ambiente MPLAB IDE es el software adecuado para trabajar con el MCU PIC16F628 y es proporcionado gratuitamente por Microchip.

MPLAB nos permite las siguientes funciones:

- programar en lenguaje ensamblador, o en algún lenguaje de alto nivel si contamos con el compilador
- realizar simulaciones de programas vigilando el estado de registros internos (timers, banderas de interrupción, convertidores AD/DA, direcciones de salto y retorno, direcciones de paginación, etc.) y localidades de memoria
- ensamblar programas
- programar el microcontrolador

Durante el periodo de programación se realizaron múltiples simulaciones para depuración de errores en el programa principal y en las diferentes rutinas y subrutinas que forman parte del programa. Algunas partes se simularon por bloques y otras paso a paso. Se simuló la inicialización del microcontrolador, posteriormente se produjeron cambios de nivel en los registros de los puertos de entrada para simular una señal digital, se simuló su captura, el funcionamiento de las interrupciones y la lectura de frecuencia de la señal. Se simuló también el envío al puerto de salida.

Para grabar el programa, se utilizó el programador de desarrollo PicStart PLUS, el cual nos permite trabajar con una amplia variedad de microcontroladores PIC. Actualmente se cuenta con el compilador de lenguaje C. Al momento en que se desarrollo el programa del frecuencímetro, no se contaba con el compilador, por lo que se usó lenguaje ensamblador. Programar en lenguaje ensamblador nos da la ventaja de necesitar menor cantidad de memoria y optimizar los recursos del MCU pero tiene como desventajas un lenguaje complicado y requerir un mayor conocimiento del funcionamiento del MCU.

1.5. Desarrollo del programa del microcontrolador PIC16F628 para medir y desplegar frecuencia

Las características del MCU que son de importancia para el diseño y la operación del frecuencímetro son las siguientes:

- Oscilador de cristal de 20 MHz
- Ciclo de instrucción de 200 ns
- Tecnología CMOS
- TMR0 de 8 bits que puede configurarse en modo contador y en modo temporizador, con preescalador de 8 bits y capacidad de interrupción del programa principal al momento de desborde
- TMR1 de 16 bits que puede operar en modo temporizador o en modo contador de pulsos externos con capacidad de interrupción al desborde

Existen dos métodos de medir frecuencia, el primero de ellos consiste en contar el número de pulsos que se presentan durante un lapso determinado (medición directa) llamado *base de tiempo*, estos lapsos preferentemente son potencias de 10 (1 segundo, 100 milisegundos y 10 milisegundos) para simplicidad en el manejo algebraico. Este método es adecuado cuando durante el lapso se presentan varios pulsos, ya que nos permite una buena resolución y es una manera rápida de medir la frecuencia.

El segundo método consiste en medir el periodo de la señal (medición indirecta) y calcular la frecuencia. Este método es conveniente si el periodo de nuestra señal es largo, ya que si se trata de una señal de baja frecuencia, durante un lapso pueden presentarse pocos ciclos o incluso fragmentos de ciclos que afectan nuestra exactitud.

1.5.1. Programa principal

El programa se estructuró en un programa principal que contiene la mayor parte del programa y algunas subrutinas que lo auxilian en tareas específicas.

La decisión de qué intervalo de frecuencia se midió directamente y qué intervalo por medición de periodo se tomó en base a los recursos del microcontrolador, principalmente de los contadores de pulsos y sus desbordamientos. El timer1 (TMR1) se configuró como contador de pulsos externos; es un contador de 16 bits compuesto de una parte alta (TMR1HI) y una parte baja (TMR1LO) de 8 bits cada una.

$$\begin{matrix} TMR1 & = & TMR1HI & TMR1LO \\ 16bits & & 8bits & 8bits \end{matrix}$$

La base de tiempo inicial es de un segundo; por simplicidad en la operación de comparación, se tomó como criterio considerar que una lectura en la que el TMR1HI es cero es una frecuencia baja. Esto significa que frecuencias menores de $2^8 = 256$ Hz se consideran bajas y se medirá el periodo y para frecuencias mayores de 256 Hz se consideran altas y se medirá directamente la frecuencia en una base de tiempo.

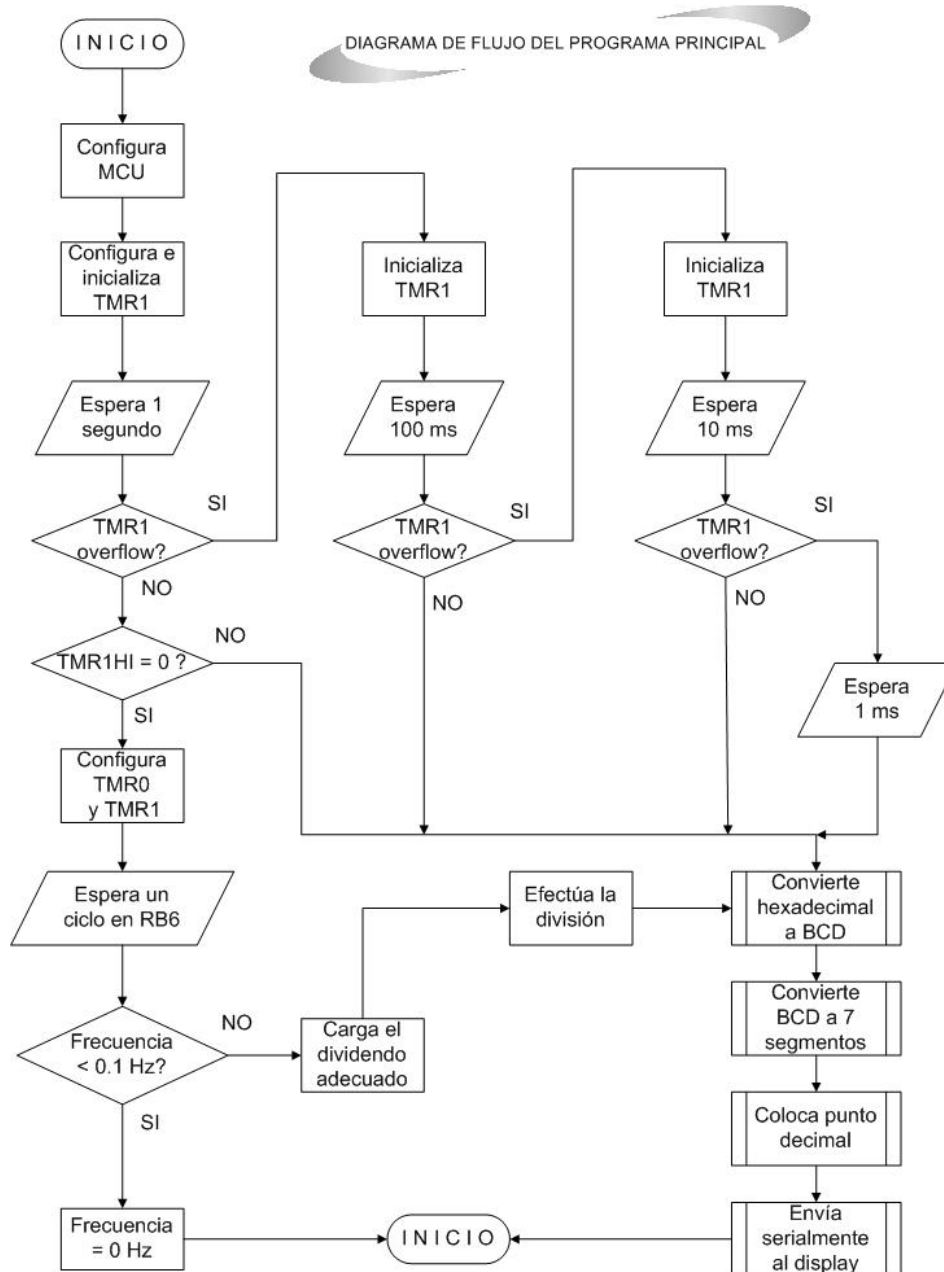


Figura 16. Diagrama de flujo del programa principal

Como se observa en el diagrama de flujo de la figura 2.9, la primer tarea del programa (INICIO) es inicializar al microcontrolador, o sea definir el tipo de microcontrolador junto con sus librerías de cabecera, definir las localidades de memoria que se van a usar como registros con etiquetas, definir la localidad de inicio de programa y el vector de interrupción.

La segunda parte, es un bloque de proceso que se encarga de configurar los periféricos del microcontrolador; configura al puerto B como salida digital y desactiva las interrupciones.

El siguiente bloque configura el TMR1 como contador de pulsos externos sin preescalador, limpia el registro del TMR1 y llama una rutina de retardo de 1 segundo.

```

org      0x00      ;
goto     START     ;
org      0x04      ;
goto     INTERRUP;

; START
START    bcf        STATUS,RP1;
          bsf        STATUS,RP0; pagina 1
          clrf       TRISB    ; configura puerto B como salida
          bsf        TRISB,6  ;
          bcf        STATUS,RP1;
          bcf        STATUS,RP0; pagina 0
          clrf       PORTB    ;

INICIO   movlw      0x06      ; configura el TMR1
          ; preescalador; 1:1,
          movwf      T1CON    ; osc. interno off, no sinc. modo
          ; contador
          clrf       PIR1     ; reestablece banderas de
          ; interrupcion

          movlw      0x01      ;
          movwf      PCLATH   ;
          goto       SEGUNDO1;

```

La base de tiempo de un segundo junto con su diagrama de flujo, se explica en el punto 2.5.2, aquí se continuará explicando el programa principal.

El siguiente bloque verifica si la base de tiempo es adecuada, esto se realiza verificando el estado de la bandera de interrupción del TMR1. Aunque la interrupción del TMR1 está desactivada, su bandera nos sirve para saber si se presentó desborde en el registro de 16 bits.

En caso afirmativo, se actualiza el registro ESCALA y se reduce la base de tiempo; este proceso se repite hasta encontrar la base de tiempo más adecuada. La base de tiempo puede reducirse hasta 1 milisegundo.

En caso de no haberse producido desborde, se pasa a otro bloque de decisión que prueba si TMR1HI es diferente de cero. Si el TMR1HI = 0, nos encontramos con una frecuencia menor de 256 Hz y el programa salta para calcular el periodo de la señal.

```

btfsc    PIR1,TMR1IF; prueba si
          ; hubo overflow de timer1
goto     MILIS100; si hubo overflow
          ; aumenta base de tiempo
movf     TMR1H,F; prueba si
          ; TMRH=0
btfsc    STATUS,Z;
goto     PERIODO; si TMRH=0,
          ; cambia a medicion del periodo
bcf      STATUS,C;
movlw    0x04      ;
subwf    TMR1H,W;
btfss    STATUS,C;
goto     CONVIERTE;
movlw    b'00000100';
movwf    ESCALA   ;
goto     CONVIERTE;

```

Para mediciones de frecuencia en un rango de 255.99 Hz a 0.1 Hz, un grupo de bloques realizan la medición del periodo de la señal y posteriormente obtienen el inverso.

El primero de estos bloques de proceso, activa dos interrupciones, que son la del TRM0 y la del TMR1.

El TMR1 junto con el valor de su preescalador (PREESC1) y un registro auxiliar llamado POST2 son los registros que almacenan la medición del periodo.

El siguiente bloque espera que transcurra un ciclo completo en el bit 6 del puerto B (RB6).

Cuando se detecta un cambio de estado en RB6, se activa el TMR1 y al detectar 2 cambios de estado más (ha transcurrido un periodo completo) se apaga el TMR1.

En el momento que el programa está en un loop esperando un ciclo completo en el bit 6 del puerto B, la interrupción del TMR0 y la del TMR1 se encuentran activadas simultáneamente.

```

PERIODO movlw 0x04      ; configura tmr1, preescalador
          ;1:1,
          movwf T1CON    ; modo timer, no sinc, desactiva
          ; osc. int.
          clrf PREESC1;\
          movlw b'00000001'; |
          movwf ESCALA  ; |
          btfsf BANDERA,0; |
          bsf PORTB,0;/
          clrf PIR1; limpia las banderas de interrupcion
          bcf STATUS,RP1;
          bsf STATUS,RP0; pagina 1
          movlw 0x01      ;
          movwf PIE1      ; activa interrupcion del TMR1
          bcf OPTION_REG,T0CS; TMR0 en modo
          ; contador
          bcf OPTION_REG,PSA; preescalador
          ; asignado al TMR0
          bsf OPTION_REG,PS2;\
          bsf OPTION_REG,PS1; > configura
          ; preescalador del TMR0
          bsf OPTION_REG,PS0;/
          movlw b'11000000'; activa interrupciones globales
          movwf INTCON    ; y de perifericos
MUESTREA bcf STATUS,RP1;
          bcf STATUS,RP0; pagina 0
          clrf POST2      ;
          movlw 0xFF      ;
          movwf POST0L    ;
          movlw 0x02      ;
          movwf POST0H    ;
          clrf TMR1H      ;
          clrf TMR1L      ;
          clrf INT        ; limpia registro de interrupcion
          clrf TMR0       ; limpia TMR0
          bsf INTCON,T0IE; activa la interrupcion del
          ; TMR0
          btfsf PORTB,6;
          goto BAJO1      ;

ALTO1 btfsf PORTB,6;
          goto ALTO1      ; espera un cambio a nivel bajo
          bcf INTCON,T0IE; desactiva Inter. del TMR0
          bsf T1CON,TMR1ON; enciende el TMR1
ALTO2 btfsf PORTB,6; espera cambio a nivel alto
          goto ALTO2      ;
ALTO3 btfsf PORTB,6; espera cambio a nivel bajo
          goto ALTO3      ;
          bcf T1CON,TMR1ON ; apaga el TMR1
          btfsf INT,0      ;
          goto MUESTREA; verifica interrupción
          goto PRESCALADOR;
BAJO1 btfsf PORTB,6;
          goto BAJO1      ; espera un cambio a nivel alto
          bcf INTCON,T0IE; desactiva Inter..del TMR0
          bsf T1CON,TMR1ON; enciende el TMR1
BAJO2 btfsf PORTB,6; espera cambio a nivel bajo
          goto BAJO2      ;
BAJO3 btfsf PORTB,6; espera cambio a nivel alto
          goto BAJO3      ;
          bcf T1CON,TMR1ON; apaga TMR1

```

El diagrama de flujo de la rutina de atención de interrupciones y su explicación detallada se encuentran en el punto 2.5.3

Después de transcurrido un periodo completo de la señal, se pasa a otro bloque que apaga el TMR0 y el TMR1, verifica el valor del registros PREESC1 para cargar el valor del dividendo que se utilizará en el siguiente bloque.

Con el valor almacenado en PREESC1, se calcula un salto a otros bloques del programa. Esto se realiza por medio del salto sobre una tabla. El valor del PREESC1 se añade al PCLATH para brincar al conjunto de instrucciones que preparen la división. La división es necesaria para invertir el periodo medido y obtener la frecuencia de la señal.

El valor medido del periodo se encuentra en el TMR1 y tiene un tamaño de 16 bits. Dependiendo del valor del pre-escalador del TMR1, se carga el dividendo. El pre-escalador puede haberse incrementado desde 1 a 1, 1 a 2, 1 a 4 y hasta 1 a 8. En caso de que aún con el pre-escalador configurado en conteo 1 a 8 se hayan presentado desbordes, la cantidad de estos quedaron registrados en la localidad POST2; este es un truco para incrementar el post escalador del TMR1 hasta 1 a 16.

En caso de que la frecuencia de la señal sea demasiado baja (por debajo de 0.1 Hz) la rutina de interrupción se encarga de devolver un cero para ser enviado al display.

Los bloques CARGA1AX son similares; la única diferencia radica en los valores que cargan a las localidades AARGX y BARGX que serán dividendo y divisor respectivamente.

```

    btfsc    INT,0      ;
    goto     MUESTREA;
    goto     PRESCALADOR ; verifica si se
                        ; presento interrupción

PRESCALADOR
    clrf     INTCON ;
    movlw   0x02    ;
    movwf   PCLATH
    movf    PREESC1,W; calcula salto para
                        ; cargar el dividendo
    addwf   PCL,F    ; y el divisor y realizar la
                        ; división
    goto     CARGA1A1;
    goto     CARGA1A2;
    goto     CARGA1A4;
    goto     CARGA1A8;
    goto     CARGAPOST;
    goto     CARGACERO;

CARGA1A1 movlw 0x1D    ;\
    movwf   AARGB0 ; |
    movlw   0xCD      ; |
    movwf   AARGB1 ; |
    movlw   0x65      ; > Carga valor del
                        ; dividendo
    movwf   AARGB2 ; | = 1D CD 65 00
    movlw   0x00      ; |
    movwf   AARGB3 ; /
    clrf    BARGB0 ;\
    movf    TMR1H,W ; |
    movwf   BARGB1 ; > Carga el valor del
    movf    TMR1L,W ; | TMR1 en el divisor
    movwf   BARGB2 ; /
    goto    DIVISION;

CARGA1A2 movlw 0x0E    ;\
    movwf   AARGB0 ; |
    movlw   0xE6      ; |
    movwf   AARGB1 ; |
    movlw   0xB2      ; > Carga valor del
    movwf   AARGB2 ; | dividendo = 0E E6 B2 80
    movlw   0x80      ; |
    movwf   AARGB3 ; /
    clrf    BARGB0 ;\
    movf    TMR1H,W ; |
    movwf   BARGB1 ; > Carga el valor
    movf    TMR1L,W ; | del TMR1 en el divisor
    movwf   BARGB2 ; /
    goto    DIVISION;

```

El siguiente bloque contiene la subrutina FX3224U que es una división no signada de 32/24 bits, realiza divisiones por restas sucesivas y está disponible en el sitio oficial de Microchip, es la que se encarga de invertir el periodo y arrojar la lectura de frecuencia de la señal.

El resultado de la división es nuevamente cargado en el registro TMR1. El dato de frecuencia obtenido durante las bases de tiempo o durante la medición de periodo se encuentra en base hexadecimal, tiene una longitud de 16 bits y se encuentra en los registros TMR1H y TMR1L, un bloque del programa se encarga de convertirlo a un formato decimal y almacenarlo en 5 registros llamados DISPX.

```

CARGACERO
    movlw    b'00111111';
            ; frecuencia igual a 0
    movwf    DISP1 ;
    movwf    DISP2 ;
    movwf    DISP3 ;
    movwf    DISP4 ;
    movwf    DISP5 ;
    goto     SERIE ;

DIVISION call    FXD3224U
            ; llama rutina de división
    movf     AARGB2,W;\
    movwf    TMR1H ; | mueve el
            ; cociente de la
    movf     AARGB3,W; | división al
            ; TMR1
    movwf    TMR1L ;/
    goto     CONVIERTE; salta para
            ; convertir a decimal

```

Posteriormente el siguiente bloque convierte los datos en código decimal binario BCD (contenidos en los registros DISPX), a su equivalente en código de 7 segmentos. El diagrama de bloques y la explicación de la rutina se encuentra en el punto 2.5.4

El penúltimo bloque coloca el punto decimal en el lugar correcto (DISP1 a DISP5) y enciende el led adecuado (Hertz, kiloHertz o MegaHertz). Por último el programa se encarga de acomodar el contenido de los 5 registros DISPX para enviarlos en forma serial hacia el display. El diagrama de bloques y la explicación de la rutina se encuentra en el punto 2.5.5

Una vez que se terminó el programa se observó que, con pocas modificaciones y añadiendo unas líneas más de código podía expandirse el intervalo de frecuencia hasta teóricamente $2^{16} / 1 \text{ ms} = 65 \text{ MHz}$. Se hicieron las añadiduras y modificaciones que básicamente consistieron en añadir base de tiempo de 1 milisegundo, agregar punto decimal en el orden de décadas de MegaHertz y considerar modificaciones al registro ESCALA.

La limitación en frecuencia máxima está dada por la capacidad de captura del TMR1, su reloj es independiente del cristal de cuarzo y algunas referencias mencionan que puede capturar frecuencias de hasta 50 MHz.

1.5.2 Rutinas de las bases de tiempo

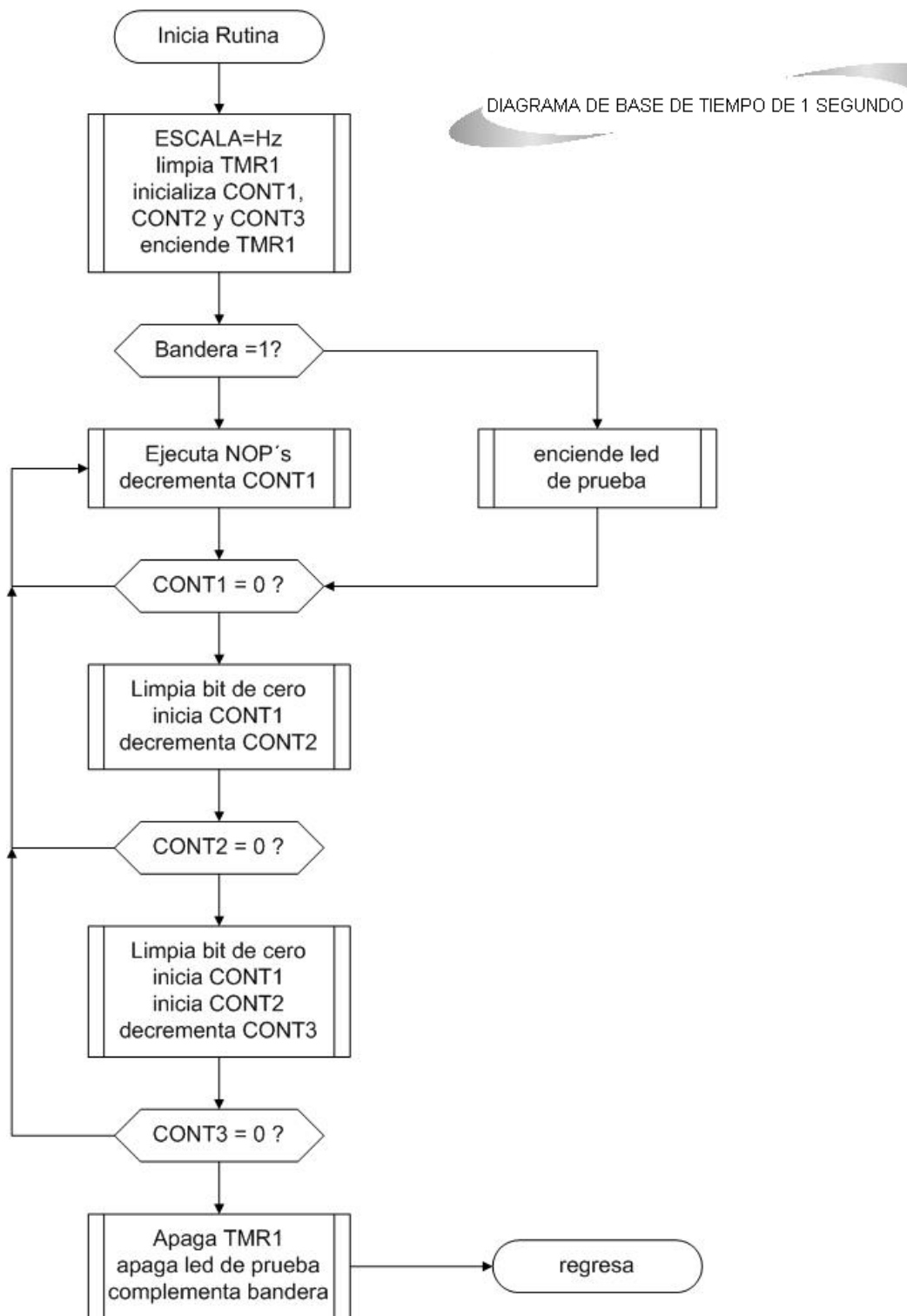


Figura 17. Diagrama de flujo de la base de tiempo de 1 segundo

La rutina de retardo de 1 segundo realiza las siguientes tareas:

1. Asigna el valor de hertz al registro ESCALA. El arreglo de 5 displays de 7 segmentos requiere de leds auxiliares para indicar el orden de la frecuencia leída (Hertz, kiloHertz ó MegaHertz). El registro ESCALA almacena un valor de acuerdo a la base de tiempo que se ocupe, se utiliza para encender el led adecuado y para ubicar el punto decimal en el display
2. Inicializa a cero el TMR1 y carga valores a 3 contadores (CONTX) que auxilian en la base de tiempo. Limpia el registro etiquetado como BANDERA. El registro BANDERA sirve para cambiar el estado del bit 0 del puerto B que esta conectado a un led; cuando el led parpadea nos sirve como testigo para corroborar que el programa está corriendo
3. Enciende el TMR1 y comienza el conteo de flancos. Entra en un ciclo de instrucciones NOP que dura 1 segundo. Apaga TMR1 terminando con el conteo de flancos, cambia el estado de BANDERA
4. Verifica el estado del TMR1, si hubo desborde cambia la base de tiempo, si la parte alta del TMR1 es cero, cambia a medición de periodo

```

SEGUNDO1 clrf PIR1 ;
movlw b'00000010';
movwf ESCALA ; escala de hertz
clrf TMR1H ;
clrf TMR1L ;
movlw 0xFA ;
movwf CONT1 ; valor inicial de CONT1=FA
; (base de tiempo)

movlw 0xF9 ;
movwf CONT2 ; valor inicial de CONT2=F9
; (base de tiempo)

movlw 0x0A ;
movwf CONT3 ; valor inicial de CONT3=0A
; (base de tiempo)

btfss BANDERA,0; prueba BANDERA
bsf PORTB,0; RB0=1 *** activa pulso
bsf T1CON,TMR1ON; enciende TMR1
; comienza conteo de flancos

BASE1S nop ;
nop ;
bcf STATUS,Z;
bcf STATUS,RP1;
bcf STATUS,RP0; pagina 0
decfsz CONT1,F; decrementa CONT1
goto BASE1S ; salta si no es cero
nop ;
nop ;
nop ;
bcf STATUS,Z; limpia Z
movlw 0xFA ;
movwf CONT1 ; reinicializa CONT1=F9
decfsz CONT2,F; decrementa CONT2
goto BASE1S ;
nop ;
nop ;
nop ;
bcf STATUS,Z;
movlw 0xF9 ;
movwf CONT2 ; reinicializa CONT2=F9
decfsz CONT3,F; decrementa CONT3
goto BASE1S ;
nop ;
nop ;
bcf T1CON,TMR1ON ; apaga TMR1 termina
; conteo de flancos
bcf PORTB,0; RB0=0 *** termina pulso
comf BANDERA,F;
btfsc PIR1,TMR1IF; prueba si hubo overflow de
; timer1
goto MILIS100; si hubo overflow aumenta base
; de tiempo
movf TMR1H,F; prueba si TMRH=0
btfsc STATUS,Z;
goto PERIODO; si TMRH=0, cambia a medicion
; del periodo
bcf STATUS,C;
movlw 0x04 ;
subwf TMR1H,W;
btfss STATUS,C;
goto CONVIERTE;
movlw b'00000100';
movwf ESCALA ;
goto CONVIERTE;

```

Las demás rutinas de base de retardo realizan la misma función, la diferencia radica en el número de ciclos NOP que contienen y el retraso que esto produce.

1.5.3 Rutina de atención de las interrupciones

Con el objeto de tener una mayor precisión en la lectura final, el valor del preescalador del TMR1 es un valor dinámico que se incrementa cada que se produce un desborde y reconfigura al TMR1 de acuerdo con la magnitud del periodo de la señal. Si el preescalador alcanza su valor máximo, el registró POST2 almacena el número de desbordes que se presentan en el TMR1, es una forma de aumentar 8 bits más el tamaño del registro. La figura 2.11 es el diagrama de flujo de la rutina.

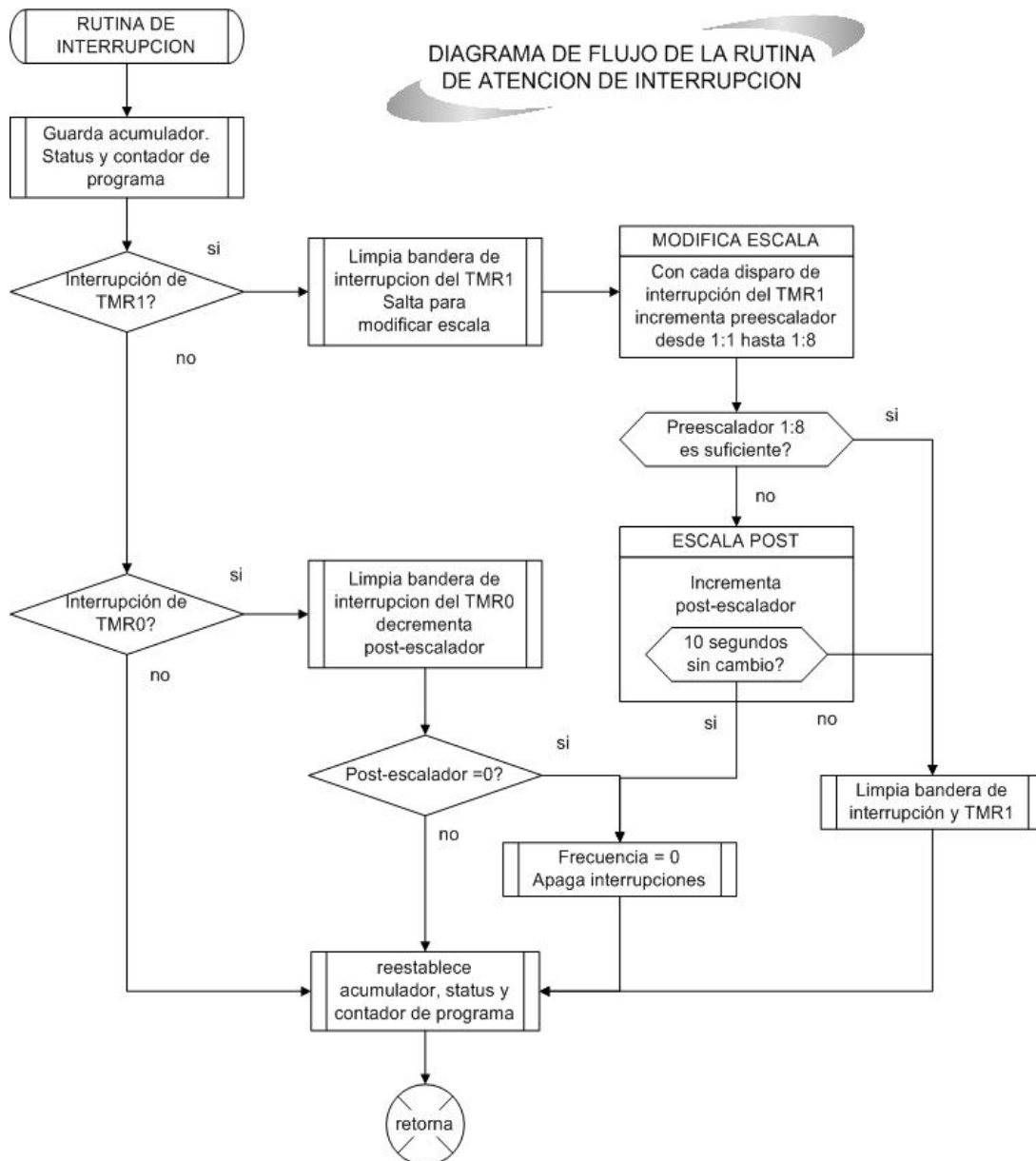


Figura 18. Diagrama de flujo de la rutina de atención de interrupciones

La interrupción del TMR0 es un límite de tiempo para evitar que el programa se quede indefinidamente esperando un cambio de estado en RB6. El TMR0 está configurado para que, si no se presenta un cambio de estado en la señal de entrada en un periodo de 10 segundos, interrumpa al programa y mande una lectura de frecuencia cero al display, para después reinicializar el programa. El TMR0 no tiene el tamaño suficiente para producir un retraso de 10 segundos, así que se auxilia de un par de registros (POST0HI y POST0LO) que conforman un post-escalador de 16 bits.

La primera acción de la rutina es guardar el acumulador (W), el registro de estado del microcontrolador (STATUS) y la parte alta del contador de programa (PCLATH) para guardar la página de retorno, en registros temporales que al final serán devueltos.

A diferencia de otros microcontroladores, el PIC16F628 sólo cuenta con un vector de interrupción alojado en la dirección 0x04 del mapa de memoria. Al sólo tener un vector de interrupción, la rutina debe determinar el origen de la interrupción.

El segundo bloque determina si la interrupción tuvo su origen en el TMR1 o en el TMR0.

Si la interrupción es del TMR1, se realizan las siguientes acciones:

- primero se reestablece la bandera de interrupción TMR1IF. El registro PREESC1 contiene el valor del pre-escalador del timer, su contenido se suma al contador de programa para realizar un salto sobre una tabla
- la tabla contiene a su vez saltos a diferentes etiquetas que nos llevarán a incrementar el pre-escalador hasta el máximo de 1:8

```

INTERRUP movwf W_TEMP; guarda el
          ; acumulador W
swapf STATUS,W;
clrf STATUS;
movwf STATUS_TEMP; guarda el
          ; registro status
movf PCLATH,W;
movwf PCLATH_TEMP; guarda el
          ; registro pclath
clrf PCLATH;
movlw 0x02;
movwf PCLATH;
btfsc PIR1,TMR1IF; prueba si es
          ; interrupcion del TMR1
goto TMR1_INT;
btfsc INTCON,T0IF; prueba si es
          ; interrupcion del TMR0
goto TMR0_INT;
clrf PIR1;
goto REGRESA; interrupción
          ; desconocida

```

```

TMR1_INT bcf PIR1,TMR1IF; reestablece interrupción
          ; del TMR1
movf PREESC1,W;
addwf PCL,F; calcula salto para modificar el
goto ESCALA1; preescalador del TMR1
goto ESCALA2;
goto ESCALA3;
goto ESCALA4;
goto ESCALAPOST;
ESCALA1 bcf T1CON,T1CKPS1;
bsf T1CON,T1CKPS0; preescalador timer1 1:2
incf PREESC1,F;
goto ESCAL_TIMER;
ESCALA2 bcf T1CON,T1CKPS1;
bsf T1CON,T1CKPS0; preescalador timer1 1:4
incf PREESC1,F;
goto ESCAL_TIMER;
ESCALA3 bcf T1CON,T1CKPS1;
bsf T1CON,T1CKPS0; preescalador timer1 1:8
incf PREESC1,F;
goto ESCAL_TIMER;
ESCALA4 incf PREESC1,F;
goto ESCAL_TIMER;

```

- se verifica si el pre-escalador cargado es el adecuado, principalmente si se alcanzó el pre-escalador máximo. Una vez con el pre-escalador adecuado se limpian las banderas de interrupción y el TMR1 y se procede ejecutar el retorno
- el registro POST2, tiene un valor inicial y se va decrementando con cada desborde del TMR1. Si POST2 alcanza el valor de 0, se deduce que la señal tiene una frecuencia demasiado baja, fuera de las especificaciones del frecuencímetro y se procede a desplegar frecuencia cero en el display

```

ESCALAPOST incf POST2,F      ; incrementa el
post-escalador2
movlw 0x80                  ;
subwf POST2,W              ; post-escalador2
= 128 ??
btfss STATUS,Z             ;
goto REGRESA               ;
CERO incf PREESC1,F         ;
clrf ESCALA                ;
clrf T1CON                  ; si se cumple,
entonces frecuencia = cero
clrf INTCON                 ; reestablece e
inhabilita interrupciones
goto REGRESA               ;
ESCAL_TIMER bsf INT,0       ;
clrf TMR1H                 ;
clrf TMR1L                 ;
goto REGRESA               ;

```

Si la interrupción es de TMR0, las acciones que se realizan son las siguientes:

- Limpiar la bandera TMR0IF. Decrementar post-escalador 0 y verificar si es igual a cero.
- Si es cero, despliega cero en el display
- Si es diferente de cero, retorna

```

TMR0_INT bcf INTCON,T0IF    ;
decsz POST0L,F             ; decrementa parte baja
de post-                   ; escalador 0
goto REGRESA;
movlw 0xFF                 ; reinicializa parte baja de
post-                      ; escalador 0
movwf POST0L;
decsz POST0H;             ; decrementa parte alta de
post-                     ; escalador 0
goto REGRESA;
clrf INTCON                ; deshabilita
interrupciones,           ; limpia
T0IF
bcf PIR1,TMR1IF; limpia bandera del
TMR1
goto CARGACERO;

```

El ultimo bloque de la rutina de interrupción reestablece los valores del acumulador, registro de estado y contador de programa antes de ejecutar la instrucción de retorno de interrupción.

```

REGRESA movf PCLATH_TEMP,W ;
movwf PCLATH;
swapf STATUS_TEMP,W;
movwf STATUS;
swapf W_TEMP,F;
swapf W_TEMP,W;
retfie ; regresa al programa principal

```

1.5.4 Rutina de conversión de BCD a 7 segmentos

El siguiente diagrama de flujo (figura 2.12) corresponde a la rutina de conversión de BCD a 7 segmentos.

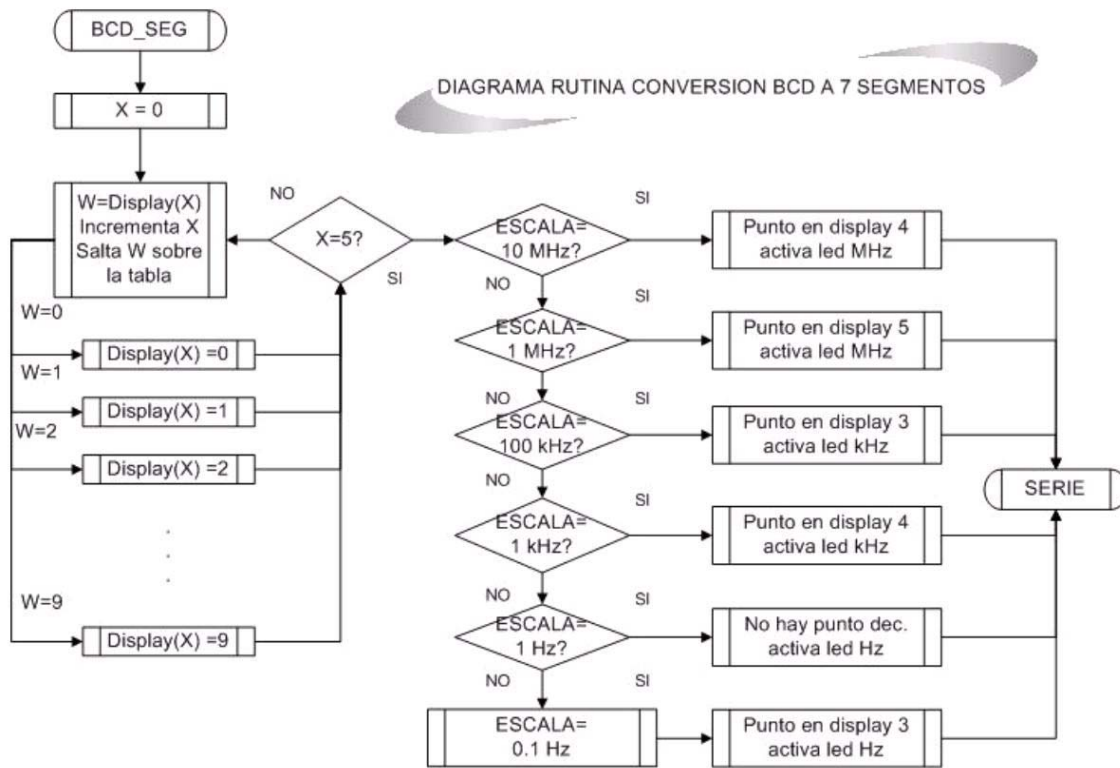


Figura 19. Diagrama de flujo de la rutina de conversión de BCD a 7 segmentos

La rutina para convertir de BCD a 7 segmentos es llamada en 5 ocasiones, una para cada dígito en el display.

Cada que se llama la rutina, se carga el contenido de uno de los registros DISPLAY(X) en el acumulador y posteriormente se suma el acumulador al contador de programa para realizar un desplazamiento sobre una tabla.

```

BCD_SEG movlw 0x01 ;
movwf PCLATH ;
movf DISP1,W ;
call SEGMENT;
movwf DISP1 ; guarda display 1
movf DISP2,W ;
call SEGMENT;
movwf DISP2 ; guarda display 2
movf DISP3,W ;

```

El salto sobre la tabla nos lleva a una instrucción de retorno de rutina con carga al acumulador.

Al regreso de la subrutina, en el acumulador ya se encuentra cargado el equivalente de código de 7 segmentos, que sustituye al BCD en el mismo registro DISPLAY(X).

Una vez que se han cargado los 5 dígitos en código de 7 segmentos, el programa se encarga de colocar el punto decimal en el display.

Utilizando el valor almacenado en el registro ESCALA, el programa entra en una serie de bloques de comparación y determina si el orden de la frecuencia se encuentra en décadas de MHz, unidades de MHz, Centenas de kHz, unidades de kHz, unidades de Hz ó en décimas de Hz.

En función de la escala que el programa determine adecuada, se enciende el punto decimal del dígito adecuado y se enciende el led del display.

Para el led de MHz, se enciende el bit PB3, para kHz se enciende el bit PB2 y para el led de Hz se enciende el bit PB1.

Posteriormente la rutina hace un llamado a otra rutina llamada SERIE para mandar los datos al display.

```

SEGMENT addwf PCL,F ;
; desplazamiento sobre la tabla
retlw b'00111111' ; 0
retlw b'00000110' ; 1
retlw b'01011011' ; 2
retlw b'01001111' ; 3
retlw b'01100110' ; 4
retlw b'01101101' ; 5
retlw b'01111101' ; 6
retlw b'00000111' ; 7
retlw b'01111111' ; 8
retlw b'01100111' ; 9

```

```

PUNTO movlw b'11110001';
andwf PORTB,F;
DECA_MEGA btfss ESCALA,5; deca-megahertz
goto MEGA ;
bsf DISP4,7 ; activa el punto decimal
del display 4
bsf PORTB,3; activa led de MHz
goto SERIE ;
MEGA btfss ESCALA,4; megahertz
goto CENTA_KILO;
bsf DISP5,7 ; activa el punto decimal
del display 5
bsf PORTB,3; activa led de MHz
goto SERIE ;
CENTA_KILO btfss ESCALA,3; kilohertz
goto KILO ;
bsf DISP3,7 ; activa el punto decimal
del display 3
bsf PORTB,2; activa led de kHz
goto SERIE ;
KILO btfss ESCALA,2; kilohertz
goto HERTZ ;
bsf DISP4,7 ; activa el punto decimal
del display 4
bsf PORTB,2; activa led de kHz
goto SERIE ;
HERTZ btfss ESCALA,F; hertz
goto DECIHERTZ; hertz enteros no hay
punto decimal
bsf PORTB,1; activa led de Hz
goto SERIE ;
DECIHERTZ btfsc ESCALA,0;
bsf DISP3,7 ; activa el punto decimal
del display 3
bsf PORTB,1; activa led de Hz
goto SERIE ;

```

1.5.5 Rutina de envío al display

Existen 3 formas de enviar la frecuencia almacenada en código de 7 segmentos al display: envío serial, paralelo y multiplexado. Se seleccionó el envío serial ya que requiere de menor número de líneas de comunicación, por tanto conectores más delgados y prácticos.

El diagrama de flujo de la rutina de envío serial al display es el siguiente (figura 2.13):

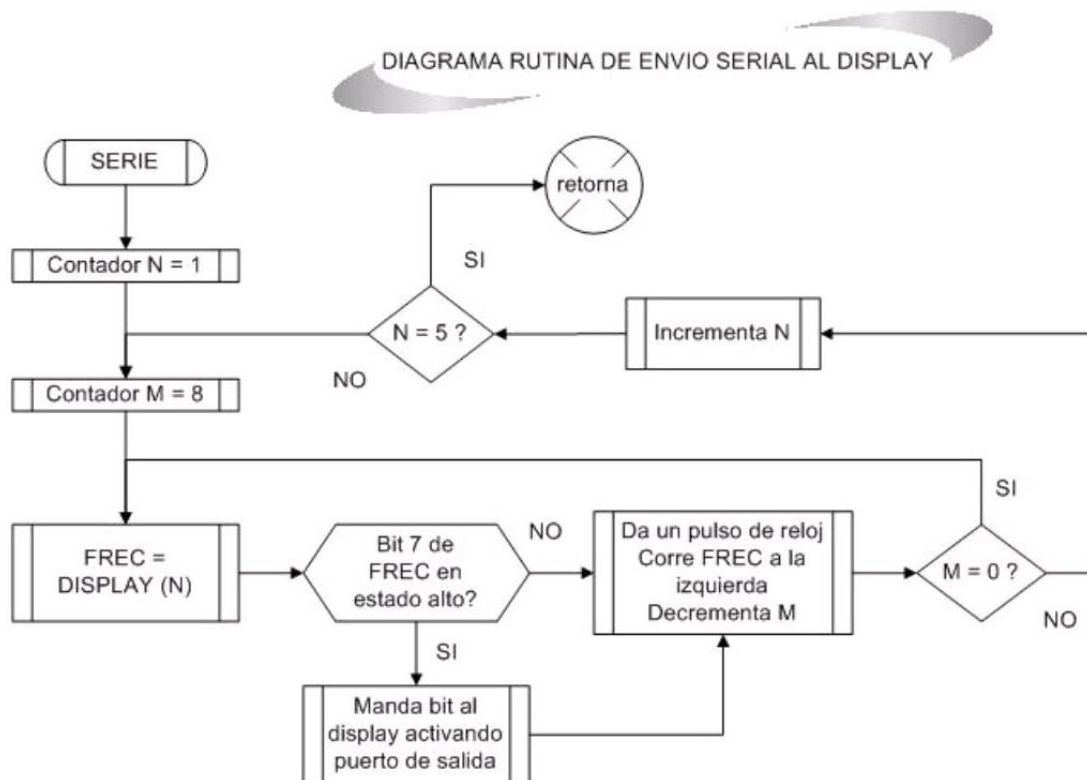


Figura 20. Diagrama de flujo de la rutina de envío serial al display

Esta rutina se auxilia de 2 contadores, el primero de ellos llamado N alcanza valores desde 1 hasta 5 y controla el número de dígito enviado. El segundo contador se llama M y sus valores van de 0 a 7, controla el número de bit enviado. Una vez terminado el envío de datos al display el programa vuelve a comenzar. La primer acción de la rutina es inicializar los contadores.

La rutina se compone de 2 ciclos anidados, el primer ciclo trabaja con el contador N y se encarga de leer uno a uno al contenido de los 5 registros DISPLAY(X) y copiarlo en el registro FREC.

El segundo ciclo se encarga de verificar el estado del bit 7 del registro `FREC` (`FREC,7`), que es el dato que se requiere enviar al display. El bit `PB7` está conectado al display y se encuentra generalmente en estado alto.

Si el bit `FREC,7` se encuentra en estado alto, se manda un pulso de reloj a través del bit `PB5` aprovechando que `PB7` ya está en estado alto. En caso contrario, se desactiva `PB7` y se envía el mismo pulso de reloj por `PB5`; posteriormente `PB7` regresa a estado alto.

```

SERIE    movlw    0x05    ;
movwf    N; valor inicial del N
SALTO3   bcf      STATUS,RP1    ;
        ; (contador de display)
        bcf      STATUS,RP0; pagina 0
        call     DISPLAY1; \
        call     DISPLAY2; |
        call     DISPLAY3; > saltos a
        ;subrutinas para mandar
        call     DISPLAY4; | cada uno de
        ; los displays al
        call     DISPLAY5; /puerto B
        clrf     PCLATH;
        goto     INICIO    ; vuelve a empezar

```

Para enviar el siguiente bit del registro `FREC`, se usa una instrucción de corrimiento y esto se repite hasta que se ha enviado todo el byte.

1.6. Diseño del display

El display recibe los bits serialmente junto con la señal de reloj y los va almacenando en 5 registros de corrimiento que están conectados a los 5 displays de 7 segmentos donde finalmente se visualiza la lectura de frecuencia. La frecuencia presentada puede estar en Hertz (Hz), kiloHertz (kHz) o MegaHertz (MHz) y esto se indica mediante los tres leds frontales del frecuencímetro.

Los registros de corrimiento que se utilizaron son circuitos integrados 74LS164, son registros de entrada serial y salida paralela de alta velocidad; mantienen el byte recibido en ausencia de señal de reloj.

La entrada del registro es a través de una compuerta AND de 2 terminales. Para esta aplicación cortocircuitamos las entradas de la compuerta AND.

1.7. Integración de etapas

Una característica de los microcontroladores PIC es la simplicidad del circuito de operación básico. Para poder comenzar a funcionar solo requieren de estar alimentados, polarización en el reset, un cristal de cuarzo y un par de capacitores para sintonizar el cristal.

Este circuito se acopló con las demás etapas (fuente de alimentación, acoplamiento de señal y display) para tener el circuito completo del frecuencímetro. Se realizaron pruebas en los puntos de unión entre etapas para verificar que la operación en conjunto fuera adecuada.

Las etapas se integraron en el circuito final del frecuencímetro; sus diagramas esquemático y de circuitos impresos se muestran en el Manual de usuario. En el Manual de usuario se encuentran el Diagrama esquemático del display (página 98), Diagrama esquemático del frecuencímetro (página 99), Circuitos impresos del frecuencímetro (página 101), Circuito impreso del display (página 103), Mascarilla de componentes del frecuencímetro (página 103) y mascarilla de componentes del display (página 104).

Los diagramas esquemáticos, así como los diagramas de circuitos impresos se realizaron en el programa PCAD.

El circuito impreso final se compone de dos tarjetas, una de ellas contiene la toda la circuitería y la otra tarjeta solo el display. Ambas se conectan por medio de cable plano y sus respectivos conectores.

1.8. Montaje en gabinete

Para montar el frecuencímetro se utilizó un gabinete que se diseñó para los diferentes equipos que integran el Sistema Prolab, en la Sección de Prototipos del CCADET.

El gabinete tiene el tamaño suficiente para alojar todos los componentes y rigidez mecánica. El material del que se encuentra fabricado es lámina de cold-roll pintada.

El gabinete cuenta con espacios destinados para colocar un display, un switch de encendido y un tomacorriente. Algunas adaptaciones especiales se realizaron en el gabinete para colocar los leds que indican la escala y el botón de reset.

Tanto los circuitos impresos como la serigrafía del gabinete se realizaron en la Sección de Dibujo del CCADET.

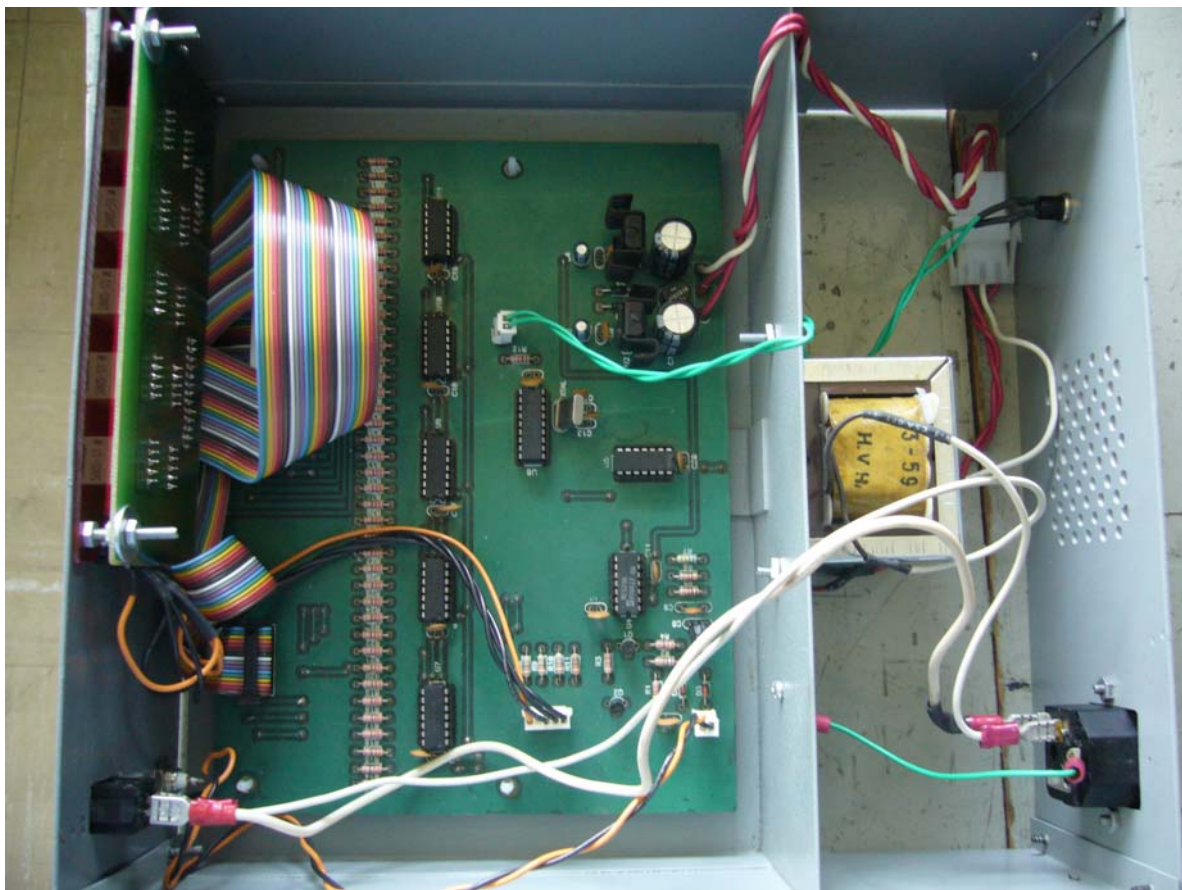


Figura 21. Fotografía de la tarjeta principal montada en el gabinete

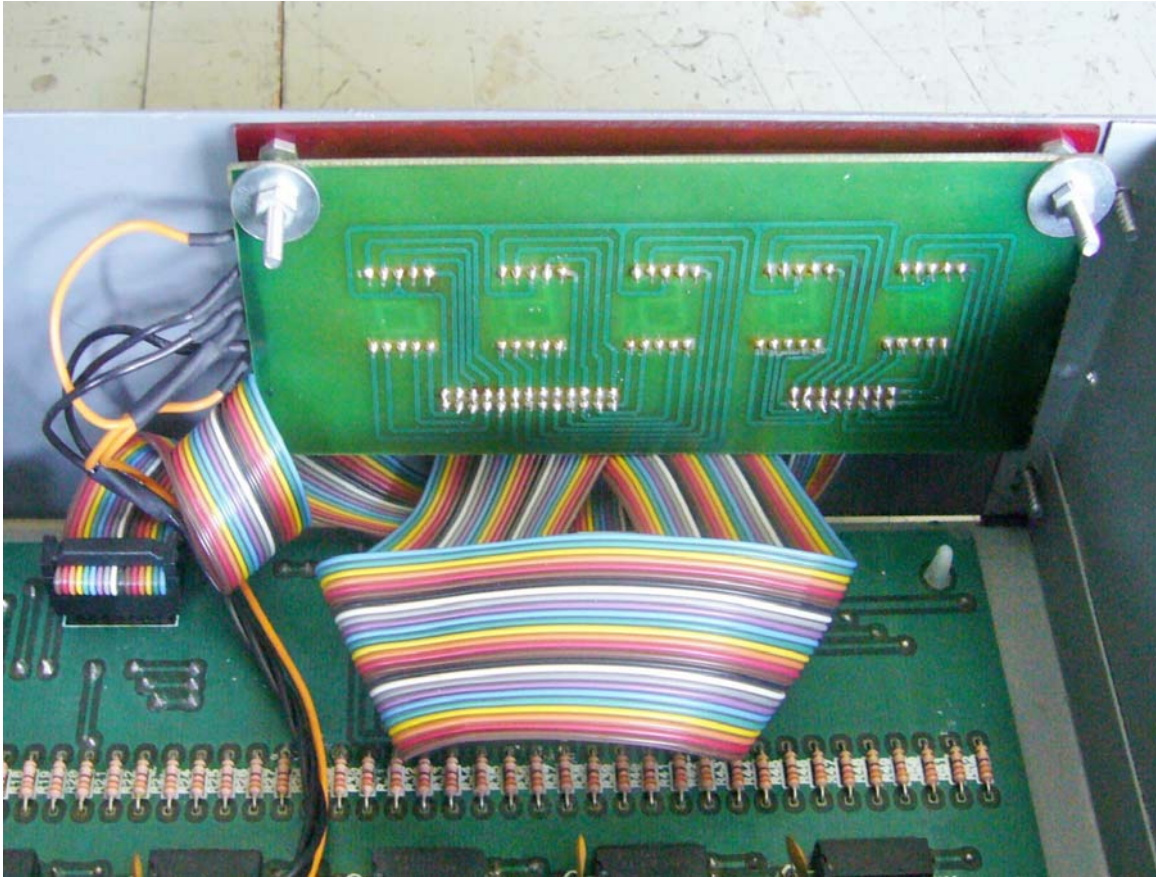


Figura 22. **Fotografía de la tarjeta del display**

Capítulo 2. Pruebas y resultados

Aquí se muestran las pruebas de funcionamiento del equipo dentro de los intervalos de operación, tanto el intervalo de frecuencia como el intervalo de amplitud; se analizarán y presentarán los resultados en forma concisa para una eficiente y rápida interpretación.

Las especificaciones de diseño nos indican qué es lo que nos interesa probar de la operación del frecuencímetro. Una de las especificaciones de diseño nos marca el intervalo de frecuencia de 0.1 Hz a 2.0 MHz. Como se explicó en el capítulo 2, el diseño del equipo, permite medir frecuencias en un intervalo más amplio, las pruebas se realizaron en el intervalo que va de 0.1 Hz a 15 MHz; este intervalo surge debido a que es la frecuencia máxima que podemos alcanzar con los generadores de señales disponibles.

Para realizar las pruebas de frecuencia, comparamos las lecturas de nuestro equipo con las lecturas de un equipo llamado equipo patrón. El equipo que se utilizó como patrón es un generador de señales marca Hewlett Packard modelo 33120A. Para probar el intervalo lo más conveniente fue hacer 2 barridos a lo largo del intervalo con una amplitud y forma de onda constante; la señal que se tomó como entrada es de forma de onda cuadrada y con una amplitud de 5 Volts.

El primer barrido es un barrido lineal equi-espaciado sobre todo el intervalo que nos dará una visión general del funcionamiento del equipo. El segundo barrido es con una escala tipo logarítmica. Las escalas logarítmicas se emplean cuando se quieren representar datos que varían entre sí varios órdenes de magnitud. En una escala lineal sólo se aprecian bien los datos correspondientes a las frecuencias mayores.

El equipo trabaja internamente con 5 escalas. Para tener un número de muestras representativas y suficientes dentro de todo el intervalo de frecuencia, lo más adecuado es tomar como mínimo 20 lecturas por escala. Esto nos indica que al menos deben tomarse 100 lecturas en el barrido de frecuencia.

ESCALA	Frecuencia mínima	Unidad	Frecuencia máxima	Unidad
1	000.10	Hz	255.59	Hz
2	00256	Hz	65.535	kHz
3	065.53	kHz	655.35	kHz
4	0.6535	MHz	6.5535	MHz
5	06.553	MHz	15.000	MHz

Tabla 2.1. Escalas de diseño

Otra de las especificaciones de diseño nos indica que el intervalo de amplitud es de 0.5 V a 127 V; en este caso no es necesario realizar un barrido sobre todo el intervalo, es suficiente con realizar pruebas en los puntos extremos y verificar que el equipo opera correctamente. Concretamente se verificará la correcta operación en el umbral inferior de amplitud y lo más cercano posible al umbral superior (debido a las limitaciones de amplitud que tiene el generador de señales usado como equipo patrón).

Una forma en la que sí es posible verificar la operación del equipo con una señal de entrada de amplitud máxima es conectando el equipo directamente a la línea de alimentación. Esta prueba, básicamente permitirá probar si la etapa de acondicionamiento de entrada opera con una señal de 127 V de amplitud y entrega al microcontrolador una señal que no le provoque un daño y a la vez sea detectable.

2.1. Pruebas de medición con frecuencia variable

El intervalo de operación en frecuencia del equipo es de 0.1 Hz a 15.0 MHz. Para realizar la prueba de operación con barrido lineal y con la intención de que los puntos de lectura sean cifras cerradas, se tomo un intervalo de lectura de 100 kHz.

$$\text{Intervalo de lectura} = \frac{F \text{ máx} - F \text{ mín}}{N}$$

Donde: $F \text{ máx}$ = frecuencia máxima de diseño = 15 MHz
 $F \text{ mín}$ = frecuencia mínima de diseño = 0.1 Hz $\approx$ 0 Hz
 N = número de lecturas = 150

Por lo tanto:

$$N = \frac{F \text{ máx} - F \text{ mín}}{\text{Intervalo de lectura}} = \frac{15 \text{ MHz}}{100 \text{ kHz}} = 150$$

Este intervalo de lectura de 100 kHz además de producir puntos de lectura en cifras cerradas, tiene la ventaja de que el número de lecturas que se tomaron (150) es mayor que el número mínimo de lecturas necesario.

El conjunto completo de las lecturas realizadas con el barrido lineal se encuentra en el Apéndice D, "Datos de caracterización del frecuencímetro". El formato en que se presentan los resultados es en grupos de seis columnas; la primer columna contiene el número de la lectura; la segunda columna tiene el valor de frecuencia del instrumento patrón, la tercer columna contiene el valor leído con el instrumento bajo prueba.

La columna número cuatro tiene la diferencia entre el valor patrón y el valor leído, la quinta columna la proporción de la diferencia respecto del valor real y la última columna la proporción expresada en porcentaje; los valores contenidos en la última columna es el porcentaje de error de exactitud para cada lectura realizada.

Para representar la curva de sensibilidad en el barrido de escala logarítmica, se tomaron 18 puntos por década. En el intervalo de 0.1 Hz a 15.0 MHz se tienen 8 décadas completas más 2 puntos de la novena década, lo que nos da un total de 146 puntos de muestreo. La toma de 18 puntos por década nos permite tener una representación más exacta de la curva de sensibilidad del equipo que si se toman sólo los típicos 9 puntos. El conjunto de lecturas se encuentran en el Apéndice D. Al igual que el barrido lineal, los datos se encuentran ordenados en 6 columnas que contienen las diferencias y el error porcentual de las lecturas.

2.2. Determinación del error de exactitud del equipo

Una característica muy importante de un equipo de medición es su exactitud. La exactitud de un instrumento indica la diferencia entre una lectura y una entrada conocida. Para determinar el grado de exactitud de un equipo de medición se compara contra un equipo patrón, del cual se conoce el error. El error de exactitud esta dado por la proporción de la diferencia del valor patrón y el valor leído con respecto al valor patrón. Generalmente se expresa también en forma de porcentaje.

$$E = \frac{V_{\text{patrón}} - V_{\text{leído}}}{V_{\text{patrón}}} \quad \% \quad E = E * 100$$

Donde:

- E = error de exactitud
- % E = porcentaje del error de exactitud
- V_{real} = valor real o patrón
- $V_{\text{leído}}$ = valor leído con el instrumento de prueba

El equipo patrón tiene a su vez un error de exactitud con respecto a la magnitud real, dicho error es proporcionado por el fabricante del equipo como parte de sus especificaciones. Para el caso de nuestro equipo patrón (generador de señales marca HP modelo 33120A) el fabricante nos dice que el error de exactitud es de 20 p.p.m. más un error por envejecimiento de 10 p.p.m. por año.

Considerando una antigüedad del equipo patrón de aproximadamente 10 años, su error de exactitud es de:

$$E_{\text{patrón}} = 20 \text{ p.p.m.} + (10 \text{ años}) * \left(\frac{10 \text{ p.p.m.}}{\text{año}} \right)$$

$$E_{\text{patrón}} = 120 \text{ p.p.m.} \quad \% \quad E_{\text{patrón}} = 0.012 \%$$

Este error de exactitud del patrón debe adicionarse al error obtenido de nuestro equipo. La fotografía de la figura 3.1 fue tomada durante la caracterización.

En la caracterización lineal del equipo se encontró que el error de exactitud máximo se presentó en la muestra # 67 que corresponde a una frecuencia patrón de 6.7 MHz. El error de exactitud para esta lectura es de 0.015%. En el caso de la caracterización logarítmica, el error máximo se presentó a la frecuencia patrón de 350 Hz, en la muestra número 60 y fue de 0.29%.

Al error máximo obtenido (0.29%) le adicionamos el error porcentual del patrón:

$$\% E = \% Error_{\text{equipo}} + \% Error_{\text{patrón}}$$

$$\Rightarrow \% Error = 0.29 \% + 0.012 \% = 0.302 \%$$

$$\therefore \% Error \text{ de exactitud} = 0.302 \%$$



Figura 23. Fotografía de la conexión para obtención del error del frecuencímetro

2.3.Pruebas de medición con amplitud variable

Como se mencionó anteriormente, no es necesario realizar un barrido sobre todo el intervalo de amplitud, es suficiente con probar los puntos máximo y mínimo. Tomando una señal de forma cuadrada con una frecuencia de 1 kHz (frecuencia arbitraria) se aplicó un voltaje de 0.5 Volts para probar la amplitud mínima y una señal senoidal de 60 Hz con un voltaje de 127 Volts para probar la amplitud máxima.

Amplitud	Volts [V]	Frecuencia [Hz]	Forma de onda	Frecuencia leída [Hz]	Funcionamiento
Mínima	0.5	1000	cuadrada	1000	Correcto
Máxima	127	60	senoidal	060.04	Correcto

Tabla 2.2. Pruebas de medición de amplitud

Las lecturas obtenidas en los puntos extremos se encuentran dentro de lo esperado, el error en estos puntos no rebasa el error de exactitud calculado y las lecturas son estables; por lo anterior, podemos afirmar que el equipo opera adecuadamente dentro del intervalo de amplitud para el cual fue diseñado.

2.4. Análisis de observación de la norma NOM-001-SCFI-1993

Como se explicó en el Capítulo 1, no se cuenta con la totalidad de los equipos necesarios para analizar el total cumplimiento de la NOM-001-1993. Con los equipos que se dispone se realizaron las pruebas contenidas en la norma que fueron posibles y a continuación se presentan los resultados.

Nota: A continuación se reporta el resultado de las pruebas realizadas respetando la numeración con que aparecen en la norma.

2.4.1. Métodos de prueba.

(Punto 6 de la NOM-001-SCFI-1993)

Todas las pruebas se llevaron a cabo en el orden especificado y sobre un mismo aparato como lo establece la norma en el punto 6.1.2

De acuerdo con la estación Tezontle operada por el Servicio Meteorológico Nacional, el día 30 de Agosto de 2006, de las 12:00 a las 22:00 hrs, día y horas en que se realizaron las pruebas, las condiciones ambientales en el Distrito Federal fueron las siguientes:

Condiciones ambientales	Magnitud	Unidad
♦ Temperatura ambiental inicial:	14.58	° C
♦ Temperatura ambiental final:	19.62	° C
♦ Temperatura máxima:	22.22	° C
❖ Humedad relativa inicial:	73.33	%
❖ Humedad relativa final:	63.67	%
❖ Humedad relativa máxima:	74.50	%
o Presión atmosférica:	779.60	mbar
o Presión atmosférica final:	778.50	mbar
o Presión atmosférica máxima:	781.40	mbar

Tabla 2.3. Condiciones ambientales durante las pruebas

Las pruebas se continuaron los días 31 de Agosto y 1 de Septiembre de las 16:00 a las 22:00 hrs, con condiciones ambientales dentro de la norma. Por lo cual se realizaron de acuerdo con las condiciones especificadas en el punto 6.1.3 de la norma.

De acuerdo con los puntos 6.2.1, 6.2.2, 6.2.4 y 6.2.5 se realizó la siguiente prueba:

Se colocó el frecuencímetro apagado sobre la superficie de un banco de trabajo cuidando no obstruir la ventilación del mismo, con terminal de conexión a tierra en el cable de alimentación, sin conectar ninguna señal externa en la terminal de entrada. Se encendió el frecuencímetro alimentado por una tensión de 127 V a 60 Hz. Se cambió la orientación del frecuencímetro sobre el banco de trabajo, la posición normal de operación es sobre su base, por lo que solo puede variarse la orientación del mismo.

Con la ayuda de un variac de la marca Powerstat modelo 116CU, se varió la tensión de alimentación en el intervalo de 114.3 V hasta 139.7 V. Se conectó el generador de señales marca Hewlett Packard modelo 33120A a la terminal de entrada del frecuencímetro con señal arbitraria.

El equipo operó adecuadamente y no se presentó ningún problema, terminada la prueba ninguna parte del equipo representa peligro alguno para el usuario en cuanto a choques eléctricos, efectos de temperatura excesiva ni efectos de la inestabilidad mecánica del aparato y de sus partes. **Por lo tanto podemos decir que cumple con los puntos 6.2.1, 6.2.2, 6.2.4 y 6.2.5 de la norma.**

2.4.2. Marcado

(Punto 7 de la NOM-001-SCFI-1993)

Siguiendo el punto 7.1, se verificó por inspección visual que el marcado del equipo presente en la tapa frontal y tapa posterior es discernible y legible. Se aplicó gasolina blanca en un pedazo de tela y se frotó el marcado del equipo, éste no se vio afectado.

La información del equipo se encuentra en la tapa frontal y en la tapa posterior y las unidades de medida son Hz, kHz y MHz, de acuerdo con la norma NOM-008-SCFI. La figura 3.2 es una fotografía que muestra las unidades de medida del display del frecuencímetro.



Figura 24. Detalle frontal, escalas de medida

Por lo tanto podemos concluir que el equipo sí cumple con el punto 7.1 de la norma.

➤ **Identificación**

(Punto 7.2 de la NOM-001-SCFI-1993)

De acuerdo con el punto 7.2 se verificó por examen visual (como puede apreciarse en las fotografías de la figura 3.3 y figura 3.4) si el marcado del equipo contiene la siguiente información:

Información	Contenido
Nombre del fabricante o marca registrada	SI (nombre y logo CCADET)
Número del modelo o nombre comercial	NO
Marca o contraseña de aprobación de venta y uso	NO

Tabla 2.4. Resultados de la prueba de identificación



Figura 25. *Fotografía frontal, no aparece modelo o nombre comercial*



Figura 26. *Detalle posterior, logotipo CCADET*

Se puede concluir que el equipo no cumple con el punto 7.2 de la norma.

➤ **Marcado de alimentación**

(Punto 7.3 NOM-001-SCFI-1993)

De acuerdo con el punto 7.3 de la norma, por medio de examen visual se verificó si el marcado de alimentación contiene la siguiente información:

Información	Contenido
Naturaleza de alimentación	SI (marcado CA)
Tensión nominal de alimentación	SI (marcado 127 V)
Frecuencias de señal de entrada	SI (marcado 60 Hz)

Tabla 2.5. Resultados de la prueba de marcado de alimentación



Figura 27. Detalle posterior, marcado de alimentación

Esta información se encuentra en la tapa posterior del frecuencímetro, la figura 3.5 nos muestra el detalle del marcado de alimentación.

Por lo tanto se concluye que el frecuencímetro sí cumple con el punto 7.3 de la norma.

2.4.3. Calentamiento bajo condiciones normales de operación

(Punto 8 de la NOM-001-SCFI-1993)

Como lo indica la norma, para verificar el cumplimiento del punto 8 se realizó la siguiente prueba:

Se tomó la temperatura inicial de diversas partes del frecuencímetro con un termómetro marca Fluke modelo 51 II, posteriormente se operó de manera normal el equipo durante un lapso de 4 horas.

Después se midió la temperatura final. Los resultados se muestran en la *Tabla 3.6*.

Punto	Temp. Inicial		Temp. Final		Incremento	
	Ambiente	Equipo	Ambiente	Equipo	Ambiente	Equipo
Gabinete (tapa frontal)	23.3 ° C	25.1 ° C	25.4 ° C	26.5 ° C	2.1 ° C	1.4 ° C
Gabinete (cubierta lateral)		25.2 ° C		26.7 ° C		1.5 ° C
Gabinete (cubierta posterior)		24.8 ° C		26.6 ° C		1.8 ° C
Terminal BNC de entrada		25.4 ° C		27.8 ° C		2.4 ° C

Tabla 2.6. Resultados de la prueba de calentamiento bajo condiciones normales de operación

Tales incrementos se encuentran por debajo de los límites máximos contemplados en la norma.

Por lo que podemos decir que el frecuencímetro cumple con lo especificado en el punto 8 de la norma.

2.4.4. Calentamiento a temperaturas ambiente elevadas

(Punto 9 de la NOM-001-SCFI-1993)

Para analizar este punto se requiere de un cuarto o gabinete para pruebas de calor seco. Ya que no se cuenta con él, pasaremos a la siguiente prueba.

2.4.5. Peligro de choque eléctrico bajo condiciones normales de operación

(Punto 10 de la NOM-001-SCFI-1993)

El equipo no cuenta con ninguna parte viva que sea accesible al usuario. Por un lado, el gabinete no es una parte viva y por otro, la única terminal accesible es el conector BNC frontal.

Esta terminal no es una parte viva por lo que se concluye que el frecuencímetro cumple con el punto 10.1.1 de la norma.

Lo anterior se determinó mediante la siguiente prueba:

Se conectó la terminal eléctrica del dedo de prueba rígido a una de las puntas de un multímetro y la otra punta del multímetro a uno de los polos del conector de alimentación. El multímetro utilizado fue de la marca Fluke modelo 45, en modo de operación de probador de continuidad.

Se verificó la no existencia de continuidad entre uno de los polos de alimentación y todas las partes accesibles del frecuencímetro. Posteriormente se repitió la prueba con el otro polo de la fuente de alimentación.

La misma prueba se repitió con el dedo de prueba articulado para cada uno de los polos de la fuente de alimentación.

El diagrama de la prueba realizada es el de la figura 3.5.

En cuestión del acceso a partes vivas a través de los orificios de ventilación el equipo también cumple con la norma, ya que la totalidad de las perforaciones para ventilación son círculos con diámetro menor de 4 mm, por lo que el perno de prueba no puede hacer contacto con ninguna parte viva.

Se concluye que el equipo cumple con el punto 10.1.3 de la norma.

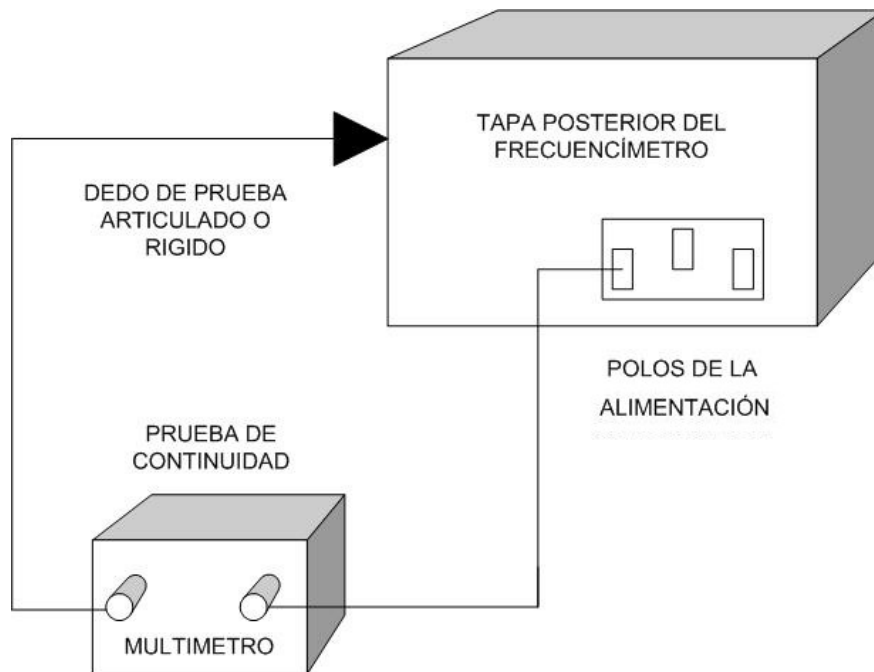


Figura 28. Diagrama de conexiones para prueba de peligro de choque eléctrico

Las partes vivas en el frecuencímetro son las tarjetas que componen el circuito impreso, tales tarjetas se encuentran aisladas del gabinete mediante postes comerciales de plástico que es un material no higroscópico, **por lo que el material de aislamiento cumple con lo especificado en el punto 10.2.1**

2.4.6. Requisitos de aislamiento

(Punto 11 de la NOM-001-SCFI-1993)

La prueba de aislamiento se compone de 2 partes. En la primera de ellas, se verifica que las condiciones de seguridad del equipo no se afecten por las condiciones de humedad de la atmósfera. En la segunda se verifica que la resistencia de aislamiento y la rigidez dieléctrica del dispositivo sean adecuadas.

La primera parte se verifica mediante un tratamiento de humedad especificado en la prueba y requiere de un cuarto o cámara de humedad. La segunda parte debe realizarse, como lo indica la norma, inmediatamente después de la primera y requiere de un equipo de prueba de alto voltaje, conocidos como “Hipot”.

Dado que en el laboratorio no se cuenta con una cámara de humedad, se realizaron únicamente las pruebas de resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica, cuyos resultados se presentan a continuación. El equipo utilizado para las pruebas es un “Hipot Tester” de muy reciente adquisición, de la marca Quad Tech, modelo Sentry 30 Plus.

De acuerdo con la norma, la prueba de resistencia de aislamiento se realizó con una tensión de 500 V c.c., el diagrama de conexión del probador Hipot y el dispositivo bajo prueba es el siguiente (figura 3.6):

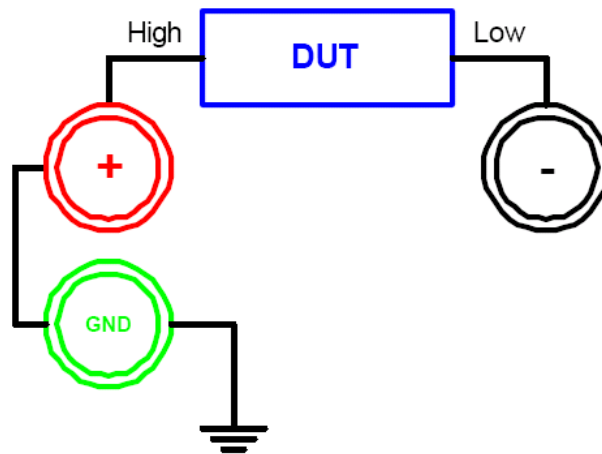


Figura 29. Diagrama de conexiones para prueba de resistencia de aislamiento

donde

- DUT = dispositivo bajo prueba
- High = Terminal de fase del DUT
- Low = Terminal de neutro del DUT
- GND = Terminal de tierra física del probador Hipot
- (+) = Terminal de fase del probador Hipot
- (-) = Terminal de neutro del probador Hipot
- GRD = Terminal no disponible en el Hipot Sentry 30 Plus

Para facilitar la conexión del probador Hipot con el equipo bajo prueba, se diseñó y construyó una caja de conexiones con características similares a las que comercializa el fabricante del probador Hipot.

Se aplicó el voltaje de 500 V c.c. a la caja de conexiones y después de un minuto, la lectura de la resistencia de aislamiento sobrepasó el límite máximo de lectura del equipo que es de 50 GΩ. El límite mínimo que indica la norma es de 2 MΩ, por lo que se considera que la caja de conexiones cumple con el inciso a) del punto 11.2 de la norma.

Posteriormente, utilizando el probador Hipot y la caja de conexiones, se aplicó el mismo procedimiento al equipo bajo prueba, aplicando voltaje de 500 V c.c. durante un minuto. La lectura de la resistencia de aislamiento fue de 16.39 GΩ, valor muy superior al límite mínimo de 2 MΩ, **por lo que se considera que el equipo cumple con el inciso a) de la prueba 11.2.**

Siguiendo la norma, para realizar la prueba de rigidez dieléctrica, se calculó el voltaje de prueba:

$$\text{Voltaje de prueba} = 2U + 1410 \text{ V}$$

dado que el voltaje U es el voltaje de alimentación (127 V)

$$\Rightarrow \text{Voltaje de prueba} = 1664 \text{ V}$$

El diagrama de conexiones para realizar la prueba de rigidez dieléctrica es el siguiente (figura 3.7):

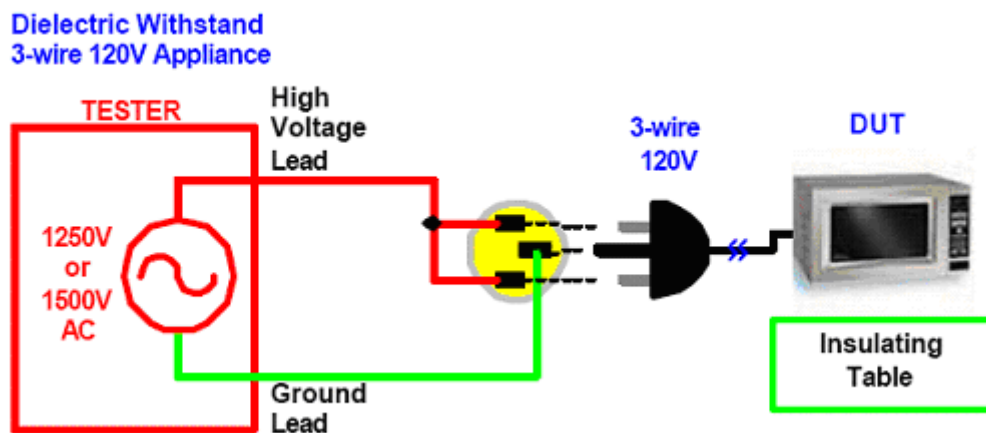


Figura 30. Diagrama de conexiones para prueba de rigidez dieléctrica

Para esta prueba, también se utilizó la caja de conexiones, y al igual que la prueba anterior, primero se probó solamente la caja. Con el probador Hipot, se aplicó un voltaje de 1664 V c.a. La norma no especifica el límite máximo de corriente de conducción, se tomó el límite que indica la guía de usuario “Electrical Safety Testing Reference Guide” en la tabla número 4, que para los equipos Clase I es de 3.5 mA. Después de un minuto no se presentaron descargas disruptivas, por lo que se considera que la caja de conexiones cumple con el inciso b) de la norma 11.2.

Posteriormente, utilizando el probador Hipot y la caja de conexiones, se aplicó el mismo procedimiento al equipo bajo prueba, aplicando voltaje de 1664 V c.a. durante un minuto. No se presentaron cargas disruptivas, **por lo que se considera que el equipo cumple con el inciso b) de la prueba 11.2.**

Se concluye que el equipo cumple con el punto 11.2 de la norma.

2.4.7. Robustez mecánica

(Punto 12 de la NOM-001-SCFI-1993)

Para probar la robustez mecánica del frecuencímetro y comprobar que soporta el manejo del uso normal, de acuerdo con el punto 12.1, se realizó la prueba de golpeteo. Se dejó caer el equipo sobre una mesa de madera 50 veces desde una altura de 5 cm. Después de la prueba, por inspección visual se verificó que no se presentaron alteraciones en las condiciones de seguridad. Se verificó también que además el equipo continuó operando adecuadamente. **Se concluye que el equipo cumple con el punto 12.1.**

En cuanto a los dispositivos de control del frecuencímetro, el único presente es el botón de reset. Para probar esta tecla de presión se aplicó la prueba contemplada en el punto 12.2.2 consistente en aplicar un peso de 5.1 kg al propio botón con la tapa frontal del equipo apuntando hacia el suelo. Durante la prueba, se desprendió la parte central del botón. En el cuerpo del botón que permaneció en el chasis del equipo se alcanzan a observar dos placas conductoras.

Con los dedos de prueba rígido y articulado, se realizó prueba de continuidad entre las placas conductoras del interior del reset y las terminales de conexión del botón de reset para probar si las placas se habían convertido en puntos accesibles. No se presentó continuidad por lo que podemos a pesar del daño sufrido por el botón durante la prueba, ninguna parte conductora se volvió accesible.

En caso de haberse desprendido el cuerpo del botón y no su parte central tampoco habría motivo para preocuparse, ya que las terminales del botón de reset se encuentran polarizadas con 5 Volts de C.C. y no constituyen parte viva que represente un riesgo para el usuario. Adicionalmente a esto, la conexión en las terminales se encuentra protegida por termofit que cumple la función de aislante eléctrico.

El resultado de la prueba es que el equipo cumple con el punto 12.2

2.4.8. Dispositivos terminales

(Punto 14 de la NOM-001-SCFI-1993)

El punto 14 de la norma se refiere a dispositivos terminales (clavijas, tomacorrientes y contactos). Antes de realizar prueba alguna, se observó que el tomacorriente utilizado muestra grabada la certificación CSA, que es válida en Estados Unidos y Canadá. **Por tanto el frecuencímetro cumple con lo estipulado en el punto 14 de la norma.**

2.4.9. Cables y cordones flexibles exteriores

(Punto 15 de la NOM-001-SCFI-1993)

El punto 15 se refiere a cables y cordones flexibles exteriores. El equipo utiliza un cable de alimentación tipo “línea francesa” que en el cuerpo contiene grabada la certificación CSA válida en E.U. y Canadá, así como la certificación UL.

En cuanto al cable con el que se conecta a la fuente de la señal a medir, es un cable BNC-caimán comercial hecho de cable coaxial tipo RG-59U que cuenta en un extremo con un conector tipo BNC y en el otro extremo un par de caimanes. Este tipo de cable es ampliamente usado en los laboratorios de electrónica y durante las pruebas de operación en condiciones normales no percibió calentamiento anormal. **Por lo tanto cumple con el punto 15 de la norma.**

2.5. Análisis del costo de fabricación del equipo

Para determinar el costo aproximado del frecuencímetro, hay que considerar varios aspectos como son: costo del diseño del equipo, costo de componentes electrónicos, costo de mano de obra y materiales para la elaboración de circuitos impresos, costo de mano de obra para armado y ensamblado del equipo y finalmente costo del gabinete (material y mano de obra).

El costo del diseño del equipo impacta si se trata de fabricar solamente un equipo o de una producción muy pequeña y vuelve sumamente caro al equipo. En el caso del frecuencímetro, dado que la idea es producirlo en serie y en cantidades importantes, el costo por diseño pasa a segundo plano y en términos prácticos se disuelve frente al costo de componentes y mano de obra que siempre estarán presentes.

Se consultó el costo de los principales componentes con uno de los principales proveedores de componentes electrónicos. El proveedor consultado fue la página electrónica de A.G. Electrónica S.A. de C.V.

Después de sumar el costo de cada uno de los componentes, se obtiene una cantidad cercana a \$500 que consideramos como costo de los componentes electrónicos. Este costo fue calculado con los precios disponibles por pieza, para el caso de una producción en serie estos costos se abaten dependiendo del número de piezas. La variación puede ir desde un 30% para un volumen de 100 piezas hasta casi 50 % para una producción de más de 500 piezas.

El costo por mano de obra y materiales para la elaboración de circuitos impresos es de aproximadamente \$200. La mano de obra para el armado y ensamblado del equipo tiene un costo aproximado de \$100. El costo de mano de obra y materiales para la elaboración del gabinete es de aproximadamente \$400.

Los costos aproximados por elaboración de circuitos impresos, ensamblado y gabinete también disminuyen en caso de una producción en serie. Sin embargo no se cuenta con datos precisos para calcular la variación del costo.

Concepto (material y mano de obra)	Costo
Componentes	\$500
Circuitos impresos	\$300
Gabinete	\$400
Total	\$1200

Tabla 2.7. Costo de fabricación del frecuencímetro

Conclusiones y recomendaciones

Interpretación de los resultados obtenidos

El primer resultado que se analizará de los obtenidos en el capítulo 3, será el error de exactitud del equipo. El error de exactitud del equipo es de 0.3 %. Esto lo convierte en un equipo aceptable en cuestión de exactitud, no es comparable a los equipos comerciales, sin embargo considerando que el equipo va dirigido al mercado del sector educativo, es competitivo con los que se encuentran disponibles en el mercado.

En cuanto al cumplimiento de la NOM-001-1993, el análisis realizado no es una acreditación que apruebe el cumplimiento total o parcial de la norma, ya que no se cuenta con la certificación que permite emitir un juicio en tal sentido. Se trata de un control de calidad que se realizó en las instalaciones del laboratorio.

La tabla 4.1 es un resumen del control de calidad realizado en el Capítulo 3. Resultado de este control de calidad, podemos afirmar que el equipo:

<i>1. Se encuentra listo para ser sometido a las pruebas de aprobación de tipo en cualquier laboratorio o institución debidamente acreditada en lo que se refiere a:</i>
➤ Métodos de prueba (punto 6) ➤ Calentamiento bajo condiciones normales de operación (punto 8) ➤ Peligro de choque eléctrico bajo condiciones normales de operación (punto 10) ➤ Rigidez mecánica (punto 12) ➤ Dispositivos terminales (punto 14) ➤ Cables y cordones flexibles exteriores (punto 15) ➤ Requisitos de aislamiento (punto 11)
<i>2. Cumple parcialmente las pruebas de:</i>
➤ Marcado (punto 7), ya que no contiene información suficiente sobre la identificación del equipo

Resultados del control de calidad

3. <i>Requiere analizarse en las pruebas de:</i>
➤ Calentamiento a temperaturas ambiente elevadas (punto 9)
4. Debido a su naturaleza no requiere ser analizado en las pruebas de :
➤ Componentes involucrados en la seguridad (punto 13), ya que no contiene baterías ➤ Conexiones eléctricas y fijaciones mecánicas (punto 16), ya que no contiene conexiones de tornillo o terminales que queden expuestos a ser aflojados y apretados varias veces ➤ Estabilidad mecánica (punto 17), el peso del equipo es menor a 20 kg ➤ Radiación ionizante (punto 18), el equipo opera con una tensión inferior a 16 kV

Continuación de los resultados del control de calidad

El costo de los recursos y materiales que se requieren para la fabricación de un solo frecuencímetro es de aproximadamente \$1200.

En el caso de una producción de 500 piezas, este costo (componentes, circuitos impresos, mano de obra y gabinete) se reduce en aproximadamente un 25%.

Los precios de los frecuencímetros comerciales se encuentran muy por encima de esta cantidad, a más del doble de precio.

Además, debido a que el frecuencímetro diseñado tiene varias ventajas con respecto a los comerciales de bajo costo, se cuenta con un amplio margen económico para ser utilizado por concepto de diseño, y utilidad generada de la producción.

Alcance del objetivo planteado

Analizando el alcance del objetivo planteado en el Capítulo número 1 podemos observar lo siguiente:

OBJETIVO	DESARROLLO REALIZADO
Operado por microcontrolador	✓
Bajo costo de fabricación	✓
Componentes de fácil adquisición e información disponible	✓
Intervalo automático	✓
Colaboración en la elaboración de Manuales de usuario y fabricación	✓
Competitivo con los equipos comerciales en exactitud y precisión	✓
Intervalo de frecuencia de 0.1 Hz a 2.0 MHz	✓ Intervalo probado de 0.1 Hz a 15.0 MHz
Intervalo de amplitud de 0.5 V a 127 V	✓
Orientado al cumplimiento de la NOM-001-SCFI-1993	✓
Despliegue en display de 5 dígitos de buena legibilidad	✓

Resumen de alcance del objetivo

Conclusiones

El frecuencímetro desarrollado se ha integrado como un elemento del sistema PROLAB del CCADET.

Concluimos que el objetivo de la tesis se alcanzó satisfactoriamente e incluso fue superado en lo que se refiere al intervalo de frecuencia.

El frecuencímetro tiene la orientación al cumplimiento de la NOM-001-SCFI-1993 aunque requiere complementarse en cuanto al “marcado” del equipo (punto 7 de la norma) y analizarse en el aspecto de “calentamiento a temperaturas ambiente elevadas” (punto 9).

En términos generales el equipo se encuentra listo para poder ser utilizado en escuelas de enseñanza media superior.

Recomendaciones

Las recomendaciones consisten en sugerencias para futuros diseños que puedan perfeccionar el funcionamiento del frecuencímetro.

Se observan las siguientes características que pueden perfeccionarse:

1. *Periodo demasiado largo de adquisición para frecuencias bajas.* El tiempo de adquisición para frecuencias menores a 256 Hz varía de forma inversamente proporcional a la magnitud de la frecuencia. Para una frecuencia de 0.1 Hz (frecuencia mínima) el tiempo de adquisición es de aproximadamente 32 segundos. Este problema se debe a que al iniciar el programa, se supone una frecuencia de entrada superior a 256 Hz y para ubicarse en la escala adecuada deben correr varias rutinas que involucran bases de tiempo.
 - ♦ *Solución:* Es normal que para la frecuencia mínima transcurra al menos un periodo completo de la señal (10 segundos), y contando el lapso en que se espera cambio de nivel se esperen en total 15 segundos, sin embargo, actualmente el tiempo de adquisición es del doble de lo deseado. Se recomienda modificar el algoritmo a fin de reducir al mínimo el tiempo de adquisición. Una forma posible es comenzar suponiendo una señal de entrada de frecuencia mínima y recorrer las escalas de tiempo cada que se presenten desbordes en los contadores habilitados.

2. Desventaja en cantidad de funciones comparado con los equipos comerciales. La mayoría de los equipos comerciales además de medir frecuencia realizan algunas otras funciones tales como medición de periodo, conteo de pulsos, relación entre dos señales, etc.
 - ♦ *Solución:* Con algunas modificaciones al programa y aprovechando parte de las funciones que se tienen implementadas, se pueden añadir las funciones de conteo de pulsos y medición de periodo. Añadiendo otra entrada de señal, y nuevamente modificando rutinas que ya se tienen, se puede implementar la relación entre frecuencias.
3. Resolución baja. Comparado con los equipos comerciales, el equipo se encuentra en desventaja en cuestión de resolución.
 - ♦ *Solución:* Se recomienda por un lado, aumentar el número de dígitos con el necesario aumento de ciclos en el programa; por otro lado se recomienda modificar el algoritmo del programa; actualmente las lecturas desplegadas son mediciones instantáneas, la resolución aumentará si se despliegan lecturas promediadas.

Recomendaciones adicionales

- Se recomienda también la reducción del tamaño de los circuitos impresos a fin de reducir el costo de los materiales. El tamaño de los circuitos impresos, gabinete y del equipo en general, puede reducirse en un 50 %.
- Otra recomendación, que involucraría modificaciones importantes al diseño original, pero que daría mayor competitividad al equipo, es añadir un puerto de comunicación serie al frecuencímetro.
- Actualmente en el Lab. de Electrónica del CCADET, se tiene el compilador de lenguaje C, por lo que se recomienda actualizar el programa que se tiene en lenguaje ensamblador.
- Las especificaciones de diseño marcaron desde el principio el uso de displays de 7 segmentos, se recomienda cambiar el display por una pantalla de cristal líquido y valorar las ventajas del cambio.

Apéndices

Apéndice A. Resumen de la Norma NOM-001-SCFI-1993

La norma oficial mexicana NOM-001-SCFI-1993 fue publicada el día 08 de Octubre de 1993 en el Diario Oficial de la Federación por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Es un esfuerzo del gobierno federal para garantizar que los productos y servicios que se comercialicen en territorio nacional sean seguros y no representen peligro al usuario y consumidores respecto a su integridad personal.

La NOM-001-SCFI-1993 se aplica a aparatos electrónicos, aparatos electrónicos de uso doméstico y enumera los requisitos de seguridad y métodos de prueba para la aprobación de tipo.

1. OBJETIVO

Establece los requisitos de seguridad que deben cumplir por diseño y construcción los aparatos electrónicos que utilizan para su alimentación tanto la energía eléctrica del servicio público como otras fuentes de energía (pilas, baterías, acumuladores, etc.), con el propósito de prevenir y eliminar riesgos para la integridad corporal de los usuarios y para la conservación de sus bienes. Trata exclusivamente de la seguridad de los aparatos, no cubre características o especificaciones de funcionamiento.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

La norma se aplica hasta donde es posible a equipos profesionales, científicos e industriales mientras no exista una norma específica de seguridad para éstos.

5. ESPECIFICACIONES

Los aparatos incluidos en el campo de aplicación de la norma, deben diseñarse y fabricarse de forma que no causen daño alguno a los usuarios al funcionar tanto bajo condiciones normales de operación, como bajo condiciones anormales, particularmente en lo que se refiere a:

- Protección personal contra choques eléctricos.
- Protección personal contra los efectos de la temperatura excesiva.
- Protección personal contra los efectos de la inestabilidad mecánica de los aparatos y de sus partes en movimiento.

6. METODOS DE PRUEBA

El cumplimiento con lo indicado en el punto 5, se verifica llevando a cabo las pruebas especificadas en 6.2 de conformidad con las reglas generales que se proporcionan a continuación:

- Todas las pruebas se llevan a cabo en el mismo orden especificado por esta norma sobre un mismo aparato, tanto como sea posible, a menos que se indique otra cosa en la norma particular.
- A menos que se especifique otra condición en la norma particular, las pruebas se llevan a cabo, bajo las siguientes condiciones ambientales normalizadas.

Temperatura ambiente: de 15 a 35° C

Humedad relativa ambiente: de 45 a 75 %

Presión atmosférica ambiente: 733 a 1 060 mbar

6.2.1 Cualquier posición de uso normal del aparato bajo prueba sin que se impida la ventilación normal. Esta posición se obtiene colocando el aparato sobre un soporte horizontal cuyas dimensiones no sean más pequeñas que las de la base del aparato, dejando un espacio libre de no menos de 5 cm de profundidad detrás del mismo.

6.2.2 Aplicar una tensión de alimentación de 90% y 110% de cualquier tensión de alimentación especificada como nominal a la cual el aparato puede ser conectado. La frecuencia de la tensión de alimentación debe ser de 60 Hz.

6.2.4 Cualquier terminal de tierra siendo conectado o no a tierra y cualquier polo de la fuente de alimentación aislada, utilizada durante la prueba, siendo aterrizada.

6.2.5 Con o sin otros aparatos conectados que formen parte del conjunto o sistema.

7. MARCADO

El marcado debe ser: discernible, legible e indeleble, de tal manera que no provoque confusiones o malas interpretaciones. El cumplimiento a lo arriba especificado debe comprobarse por examen visual y por la siguiente prueba: el marcado no debe borrarse cuando se frota ligeramente con una pieza de tela o algodón impregnada con gasolina blanca o agua.

La simbología para las unidades de medida y cantidades deben estar de acuerdo con lo establecido por la NOM-008-SCFI. Los símbolos gráficos utilizados, deben estar de acuerdo con la NMX-I-19. El cumplimiento a lo arriba indicado, debe comprobarse por examen visual.

7.2. Identificación. Los aparatos deben identificarse por:

- 7.2.1 Nombre del fabricante, marca registrada o ambos.
- 7.2.2 Número del modelo, nombre comercial o ambos.
- 7.2.3 Marca o contraseña de aprobación de venta y uso correspondiente a productos que utilizan, generan o transforman la energía eléctrica de conformidad con la legislación vigente. El cumplimiento a lo antes indicado se comprueba por examen visual.

7.3 Marcado de alimentación. Los aparatos deben marcarse con la siguiente información:

- 7.3.1 Naturaleza de alimentación. Corriente alterna: ca o el símbolo.
- 7.3.2 Tensión nominal de alimentación o margen de tensiones de alimentación que pueden utilizarse para el funcionamiento del aparato, sin que se necesite ajustar un conmutador o cambiador de tensión.
- 7.3.6 Frecuencia de alimentación nominal o margen de frecuencias en Hertz, si la seguridad del aparato depende del valor de la frecuencia de alimentación.

7.4 Dispositivos y/o terminales que sean partes accesibles y en las cuales la tensión excede 34 V (cresta) bajo condiciones normales de operación, excepto las terminales para la fuente principal y los tomacorrientes conforme a lo indicado en 7.3:

8. CALENTAMIENTO BAJO CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN

8.1 Al operarse bajo condiciones normales ninguna parte del aparato debe alcanzar temperaturas que afecten las condiciones de seguridad.

8.1.1 El cumplimiento a lo especificado debe comprobarse mediante la medición de la temperatura bajo condiciones normales de operación, cuando se ha obtenido en el aparato la condición de estabilidad térmica.

Nota.- En general, se considera que un aparato alcanza su estabilidad térmica después de 4 h de operación continua.

8.1.4 Los incrementos de temperatura no deben exceder los valores dados en la columna 1 de la tabla 2.

8.1.5 Durante esta prueba los fusibles no deben abrirse.

Los valores de los incrementos de temperatura se refieren a una temperatura ambiente máxima de 45°C para climas tropicales, pero las mediciones pueden realizarse bajo las condiciones ambientales normalizadas indicadas en 6.1.3.

TABLA 2: Incrementos máximos de temperatura - Partes metálicas:

Perillas, asas, etc.:	20 ° C
Gabinetes	30 ° C
-Partes no metálicas:	
Perillas, asas, etc.	40 ° C
Gabinetes	50 ° C

10. PELIGRO DE CHOQUE ELECTRICO BAJO CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN

Las partes accesibles no deben ser partes vivas. Los siguientes dispositivos terminales (conectores), no deben ser partes vivas aún cuando sean inaccesibles:

- Dispositivos terminales para antena y para tierra.
- Cualquier dispositivo terminal colocado en el aparato para la conexión de una carga y transductores de entrada, ya sea directamente o a través de un amplificador.

Este requisito no se aplica a dispositivos terminales destinados a conectar el aparato con una fuente de alimentación o a tomacorrientes destinados a proporcionar tensión a otros aparatos.

Con objeto de determinar si una parte viva es accesible se aplican en cada posición posible tanto el dedo de prueba articulado, como el dedo de prueba rígido. La prueba se lleva a cabo en todas las superficies externas incluyendo la base.

Se recomienda utilizar un indicador de contacto eléctrico con una tensión de aproximadamente 40 V para señalar contacto con partes conductoras.

Con objeto de verificar que no son vivas las partes o contactos terminales, se llevan a cabo las siguientes mediciones entre dos partes cualesquiera o contactos, después entre cualquier parte o contacto y uno u otro polo de la fuente de alimentación utilizada durante la prueba. Las descargas deben medirse respecto a la tierra, inmediatamente después de la interrupción de la alimentación, asegurándose que el método de interrupción de la alimentación no abra la conexión a tierra de uno de los polos de la fuente de alimentación.

10.1.3 Perforaciones para ventilación.

Los orificios de ventilación y otras perforaciones que se encuentran en coincidencia con partes vivas, deben diseñarse y colocarse de forma tal que un cuerpo extraño suspendido libremente (por ejemplo un collar), al introducirse en el aparato no pueda entrar en contacto con una parte viva.

El cumplimiento a lo anterior se verifica por medio de un perno de prueba metálico de 4 mm de diámetro y de 100 mm de longitud (véase figura 6). Este perno se suspende libremente por una de sus extremidades por medio de un hilo y se deja penetrar en todos los orificios y perforaciones del aparato hasta su máxima longitud, encontrándose el aparato colocado en su posición normal de operación. El perno de prueba no debe entrar en contacto con ninguna parte viva.

11. REQUISITOS DE AISLAMIENTO

11.1 Tratamiento de humedad. La seguridad del aparato no debe quedar afectada por las condiciones de humedad de la atmósfera. El cumplimiento a lo anterior se verifica mediante el tratamiento a la humedad descrito en este inciso, seguido inmediatamente por las pruebas de 11.2.

Los aparatos se someten al siguiente tratamiento de humedad:

- 5 días (120 h) ($40 \pm 2^\circ\text{C}$ y una humedad relativa del 90 al 95 %).

11.2 Resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica. El aislamiento debe ser adecuado al dispositivo. El cumplimiento a lo anterior, se verifica por medio de las siguientes pruebas y a menos que se establezca otra cosa,

inmediatamente después del tratamiento de humedad de acuerdo a 11.1.

Se llevan a cabo las siguientes pruebas con los aislamientos enlistados en la tabla 3.

a) Para resistencia de aislamiento con 500 V c.c.

b) Para rigidez dieléctrica como se indica enseguida:

Los aislamientos sometidos a tensiones de corriente continua (además de cualquier rizo) son probados con una tensión de corriente continua. Los aislamientos sometidos a tensión de corriente alterna, son probados con una tensión de corriente alterna, a la frecuencia de la red de alimentación para la cual fueron diseñados. Cuando ocurran efectos corona, de carga, ionización o similares, se recomienda una tensión de prueba de corriente continua, las tensiones de prueba se aplican durante 1 minuto.

Las mediciones durante las pruebas de resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica se realizan en la cámara de humedad o en el cuarto en donde se llevaron los aparatos a la temperatura prescrita, una vez que se haya vuelto a colocar las partes que se hubieran retirado. Se considera que el aparato cumple con los requisitos, si la resistencia de aislamiento medida después de 1 minuto no es menor que los valores dados en la tabla 3 y si no ocurren descargas disruptivas por efectos dieléctricos o perforaciones, durante la prueba de rigidez dieléctrica. La prueba no se lleva a cabo con aislamientos que al cortocircuitarse no provocan ningún peligro de choque eléctrico, por ejemplo en el caso de que una terminal de un devanado secundario de un transformador de alimentación se conecte a una parte metálica accesible, la otra terminal no necesita cumplir ningún requisito de aislamiento especial, con respecto a la misma parte metálica accesible. Las partes metálicas accesibles se pueden interconectar durante la prueba de rigidez dieléctrica. Los resistores, capacitores y cualquier otro elemento reactivo que cumplan con los incisos indicados en esta norma conectados en paralelo con los aislamientos que se van a probar, deben desconectarse.

Los tomacorrientes que suministran alimentación de la red eléctrica a otros aparatos y terminales marcados con el símbolo de acuerdo con el inciso 7.4 b), no se someten a las pruebas mencionadas en los renglones 2 y 3 de la tabla 3.

12. ROBUSTEZ MECANICA

Los aparatos deben tener robustez mecánica adecuada, deben diseñarse y construirse de tal manera que puedan soportar el manejo que se espera en el uso normal, sin que su seguridad quede comprometida.

12.1 Prueba de golpeteo. El aparato se coloca sobre un soporte horizontal de madera cuyo propósito es prevenir impactos directos del gabinete y se deja caer 50 veces desde una altura de 5 cm sobre una mesa de madera. Después de esta prueba no debe manifestar alteraciones de las condiciones de seguridad establecida por esta norma en el sentido de que pueden haber fallado en cuanto a sus características operativas, pero no deben quedar afectadas sus condiciones de seguridad.

12.2 Fijación de dispositivos de control. Perillas, asas, teclas de presión y dispositivos de control similares deben construirse y fijarse de tal manera que su uso no perjudique la protección contra choque eléctrico. El cumplimiento a lo indicado se comprueba mediante las pruebas descritas a continuación:

12.2.1 Los dispositivos de control deben sujetarse entonces, durante 1 min, al par correspondiente a una fuerza de 100 N (10.2 kgf) aplicada en la periferia, pero no mayor de 1 Nm (10.2 kgf.cm); también debe aplicársele durante 1 min una tracción axial de 100 N (10.2 kgf). Si la masa del aparato es menor que 10 kg, la fuerza de tracción debe limitarse al valor correspondiente a la masa del aparato mismo, pero no debe ser menor que 25 N (2.55 kgf).

12.2.2 Para dispositivos de control tales como teclas de presión y similares sobre las cuales solamente se ejerce una presión durante su uso normal y que no sobresalen más de 15 mm de la superficie del aparato, la fuerza de tracción se reduce 50 N (5.1 kgf).

12.2.3 Después de estas pruebas, el aparato no debe mostrar alteraciones de las condiciones de seguridad establecidas por esta norma, y en particular ninguna parte viva debe volverse accesible al retirarse con la fuerza de tracción establecida una perilla, manija, asa, tecla de presión y dispositivo de control.

14. DISPOSITIVOS TERMINALES

14.1 Clavijas, tomacorrientes y contactos.

14.1.1 Las clavijas y dispositivos conectores para la conexión del aparato a la red y los tomacorrientes para proporcionar tensión de red a otros aparatos, deben cumplir con las especificaciones dadas para tomacorrientes fijos y dispositivos conectores para uso en aparatos domésticos. El cumplimiento a lo anterior se comprueba de acuerdo a la especificación existente o por inspección visual.

15. CABLES Y CORDONES FLEXIBLES EXTERIORES

15.1 En general, los cables y cordones de alimentación de los aparatos deben satisfacer los siguientes requisitos:

La superficie de sección transversal de cada uno de los conductores no debe ser inferior a 0.75 mm².

15.2 Conductores de cordones flexibles utilizados como conexión entre el aparato y otros aparatos usados en combinación con él, deben tener una sección recta transversal tal que la elevación de temperatura del aislamiento bajo condiciones normales de operación y bajo condiciones de falla sea despreciable.

El cumplimiento con lo antes indicado se verifica por medio de inspección visual, en caso de duda, las elevaciones de temperaturas del aislamiento se determinan bajo condiciones normales de operación, así como bajo condiciones de falla; las elevaciones de temperatura no deben exceder los valores dados en la columna correspondiente de la tabla 2.

16. CONEXIONES ELECTRICAS Y FIJACIONES MECANICAS

16.1 Las conexiones de tornillo o terminales que se utilicen como contacto eléctrico y las terminales y contactos de tornillos que durante la vida del aparato queden expuestos a ser aflojados y apretados varias veces, deben tener robustez mecánica adecuada. Los tornillos que ejercen contacto por presión y los tornillos con un diámetro menor a 3 mm y que forman parte de las fijaciones de tornillos mencionados anteriormente, deben atornillarse en una tuerca metálica o en un inserto metálico. Quedan excluidos los tornillos con diámetro inferior a 3 mm que no ejercen

contacto por presión, no requieren de un inserto metálico pero deben soportar el par torsional especificado en la tabla 4 relativa a tornillos de 3 mm.

Algunos ejemplos de tornillos que durante la vida del aparato se aflojan y aprietan varias veces son los tornillos terminales, los tornillos de fijación para tapas (solamente cuando éstas deban aflojarse para abrir el aparato), los tornillos y prisioneros para fijar asas, perillas y similares.

El cumplimiento con lo antes indicado se verifica por la siguiente prueba:

Los tornillos son aflojados y apretados con un par torsional de acuerdo con la tabla 4:

- cinco veces en el caso de tornillos que operan en un machueleado hecho en metal.
- diez veces en el caso de tornillos que operan en un machueleado hecho en madera o cualquier otro material aislante.

En el último caso, los tornillos deben completamente quitarse y reinsertarse en cada ocasión. Los tornillos no deben apretarse con movimientos bruscos. Después de la prueba, no debe haber daños que disminuyan la seguridad del aparato. El material en el cual se insertan los tornillos se verifica por examen visual.

16.2 Deben proporcionarse los medios necesarios para asegurar la introducción correcta de tornillos en machueleados hechos en materiales no metálicos, si los tornillos van a ser aflojados y apretados varias veces durante la vida del aparato, pudiendo afectar la seguridad del mismo. El cumplimiento con lo antes indicado se comprueba por examen visual y prueba manual.

Nota.- Este requisito se cumple si se impide una introducción de manera inclinada, por ejemplo, guiando el tornillo en la parte a fijarse.

16.3 Las conexiones eléctricas en partes que están conectadas directamente a la red (véase 4.9), deben diseñarse de tal manera que la presión de contacto no se transmita a través de materiales aislantes que no sean cerámicos, a menos que haya suficiente elasticidad en las partes metálicas que compense cualquier contracción del material aislante. El cumplimiento con lo antes indicado se comprueba por examen visual.

16.4 Otros dispositivos fijadores de cubiertas que no sean tornillos, que pueden operarse durante la vida útil del aparato, deben tener rigidez mecánica adecuada, si la falla de tales dispositivos

deterioran la seguridad del aparato. Las posiciones de trabar y destrabar de estos dispositivos no deben ser ambiguas, y no debe ser posible que inadvertidamente, el dispositivo se destrabe. El cumplimiento a lo indicado se verifica por examen visual, por operación del dispositivo y por una de las siguientes pruebas:

- En el caso de dispositivos cuya operación se efectúa por una combinación de movimientos lineales y de rotación que lo traban y lo destraban, se miden los pares torsionales o fuerzas necesarias para esta operación. Con el dispositivo en la posición de trabado se aplica en el sentido para trabar un par o fuerza del doble del valor necesario para trabar el dispositivo, con un mínimo de 1 Nm (10 kgf.cm) ó 10 N (1 kgf), excepto que éste se destrabe por un pequeño par o fuerza en la misma dirección de trabado. Esta operación se ejecuta diez veces. El par o fuerza necesaria para destrabar el dispositivo debe ser por lo menos de 0.1 Nm (1.02 kgf.cm) ó 1 N (0.102 kgf).

- En el caso de cubiertas fijadas con sujetadores a presión, la cubierta se remueve y se reemplaza diez veces, en la forma como se encuentra diseñada.

Después de esta prueba, la cubierta debe cumplir con las pruebas de dedo rígido y gancho de prueba especificadas en 10.2.

16.6 Las patas desmontables o pedestales proporcionados por el fabricante, deben entregarse con los tornillos de fijación correspondientes a menos que vengan ensambladas con el aparato. El cumplimiento con lo antes indicado se verifica por inspección visual.

Material: metal, excepto donde otro sea especificado

Dimensiones lineales en mm

Tolerancia en dimensiones sin tolerancia específica

en ángulo: 0° - 10°

En dimensiones lineales:

Hasta 25 mm: $0/-0,05$

superior a 25 mm: $\pm 0,2$

Ambas uniones deben permitir movimiento en el mismo plano y la misma dirección a través de un ángulo de 90° con una tolerancia de 0 a $\pm 10^{\circ}$

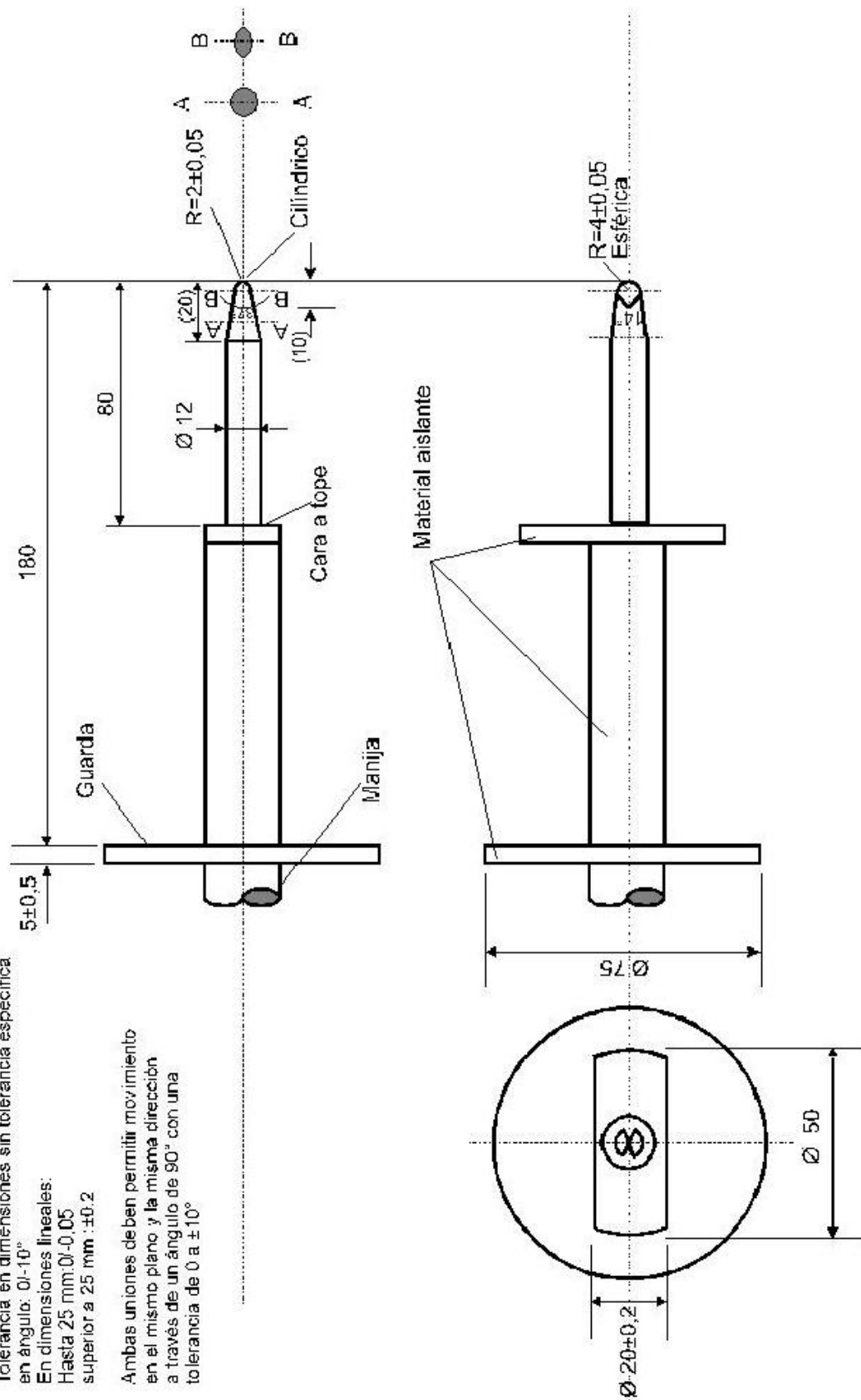


Figura A1. Plano del dedo de prueba rígido

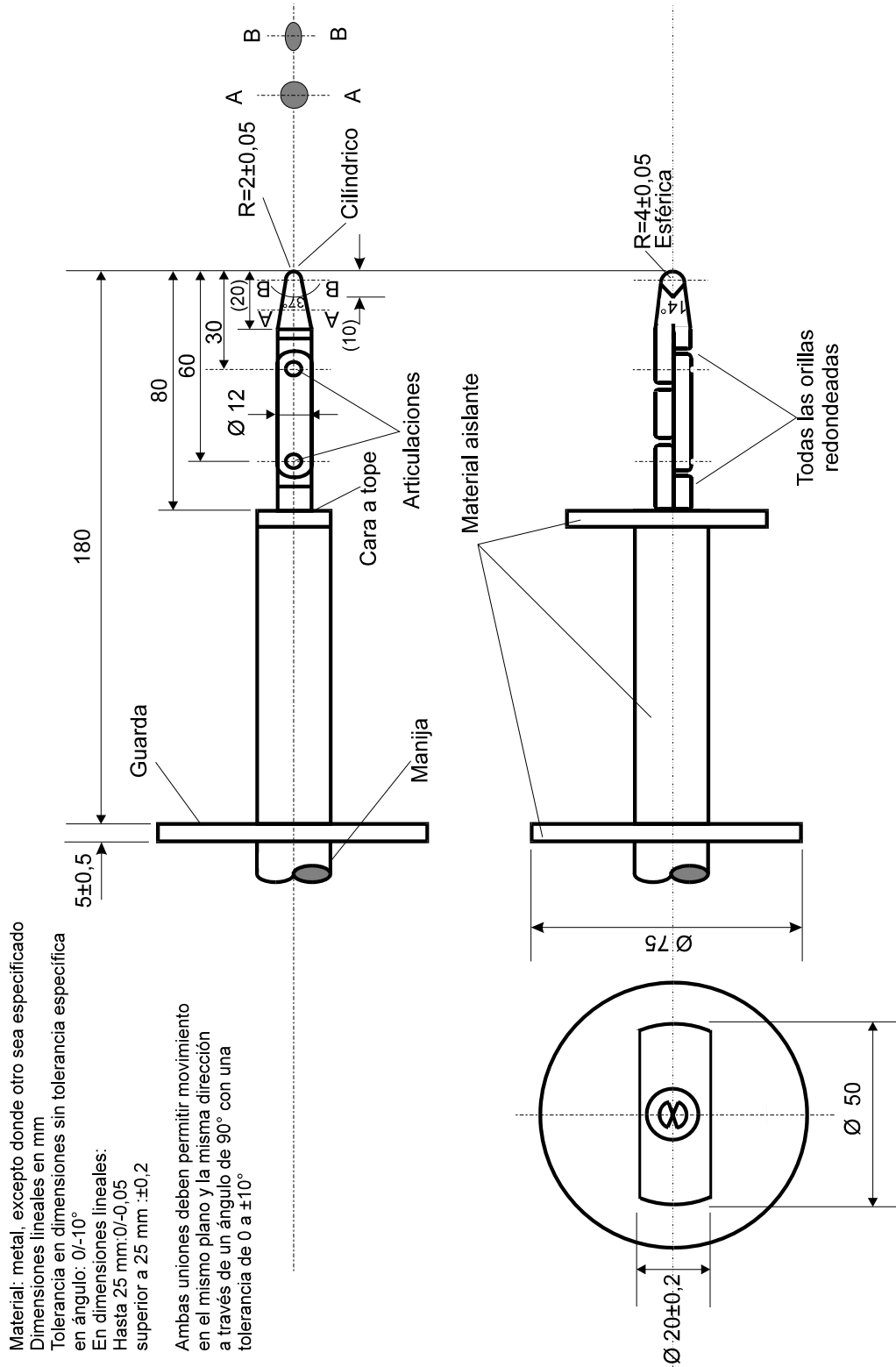


Figura A2. Plano del dedo de prueba articulado

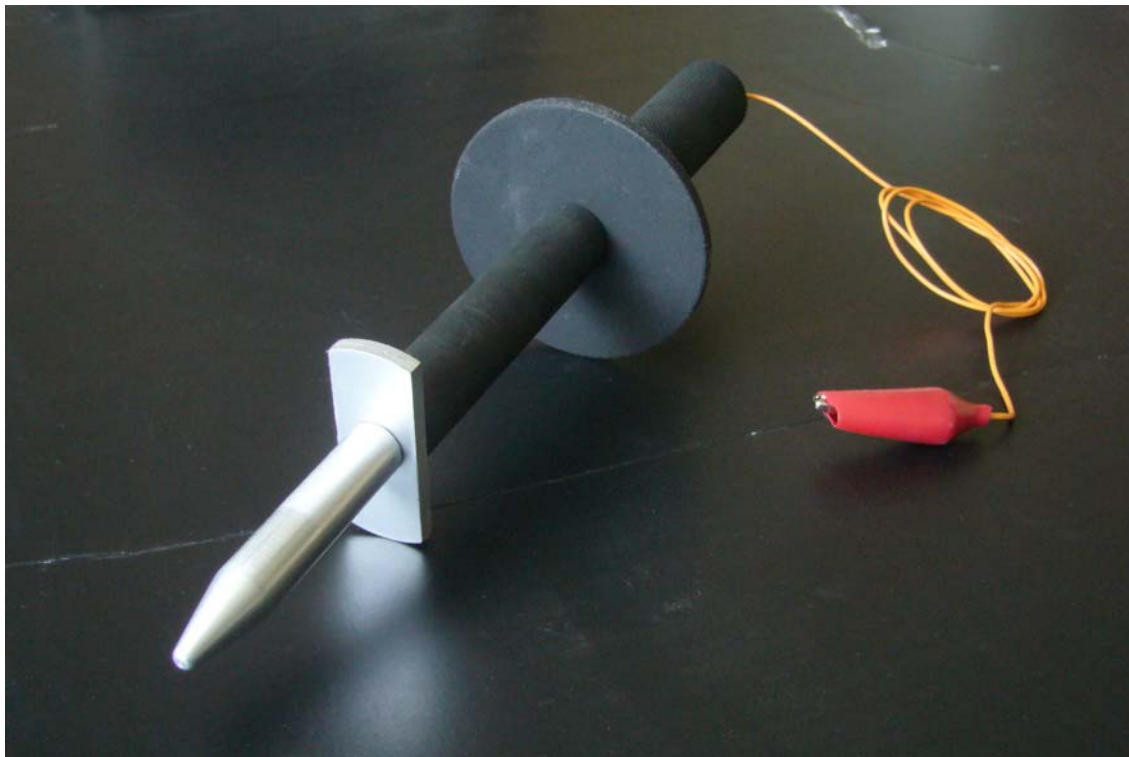


Figura A3. Fotografía del dedo de prueba rígido



Figura A4. Fotografía del dedo de prueba articulado

Aislamientos	Resistencia de aislamiento (mínima)	Tensión de prueba (cresta)
Entre los polos del circuito conectado directamente a la red de alimentación	2 MΩ	2 U + 1410 V
Entre los polos separados por aislamientos básico o por aislamiento suplementario	2 MΩ	Curva A (véase gráfica 3)
Entre partes separadas por aislamiento reforzado	Ilegible	Curva B (véase gráfica 3)

La tensión U es el valor cresta más alto que ocurre a través del aislamiento bajo condiciones normales y de fallo al quedar conectado el aparato a la tensión de alimentación nominal. La tensión a través del aislamiento básico se determina con el aislamiento suplementario cortocircuitado y viceversa.

Con respecto a tensiones de la red de alimentación en el margen de 220 a 250 V r.c.m., las tensiones de prueba son 2120 V cresta para aislamiento básico y suplementario y 4240 V cresta para aislamiento reforzado. Las curvas A y B de la gráfica se ejemplifican por los puntos especificados a continuación:

Ejemplos de tensiones de prueba.

Tensión de operación (cresta)	Tensión de prueba (cresta)	
	Curva A	Curva B
34 V	707 V	1410 V
354 V		4240 V
1410 V	3880 V	
10 kV	15 kV	15 kV
50 kV	175 kV	

Entre pistas o trayectorias de un circuito impreso, la tensión de prueba de corriente alterna es de 3 U, con un mínimo de 707 V valor cresta.

Tabla A1. Tabla 3 de la NOM-001-SCFI-1993

CURVAS "A" Y "B" DE TENSIONES DE PRUEBA

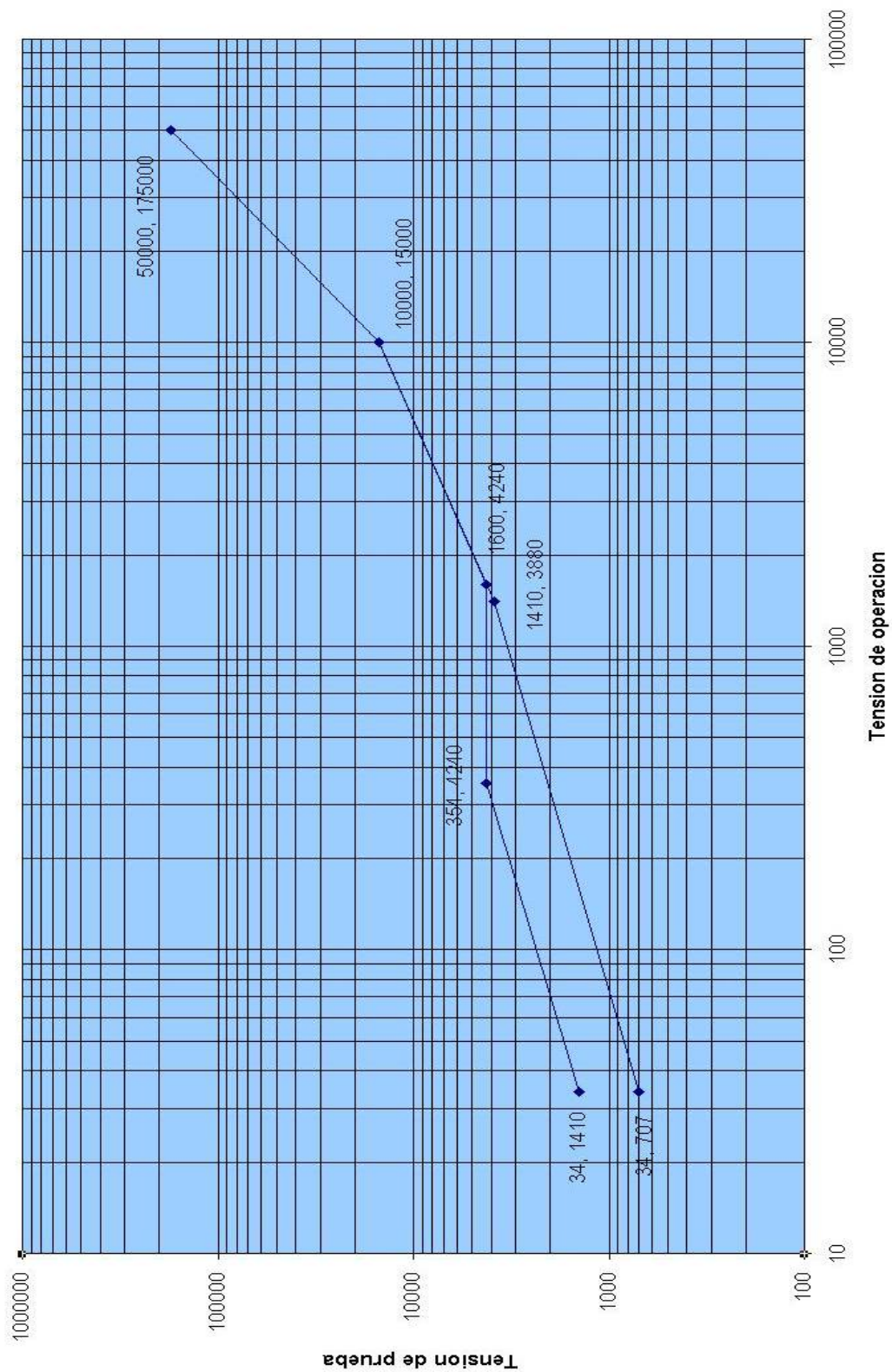


Figura A5. Curvas de tensiones de prueba de la NOM-001-SCFI-1993

Apéndice B. Microcontrolador PIC16F628

El microcontrolador PIC16F628 es un dispositivo fabricado por Microchip y pertenece, como su nombre lo indica a la familia 16FXXX. Es un microcontrolador de gama media de 8 bits. Se encuentra disponible en encapsulado tipo DIP y SOIC de 18 pines, así como encapsulado SSOP de 20 pines.

Sus características contenidas en la hoja de especificaciones son las siguientes:

- ✓ Set de 35 instrucciones
- ✓ Memoria de programa tipo FLASH de 2 kbytes con longitud de palabra de 14 bits
- ✓ Pila de Stack por hardware de 8 niveles de profundidad
- ✓ 3 modos de direccionamiento: directo, indirecto y relativo
- ✓ Capacidad de configuración de oscilador con velocidad máxima de 20 MHz
- ✓ Ciclo de instrucción de hasta 200 ns

Cuenta con los siguientes periféricos:

- o 15 pines de entrada/salida con control de dirección individual
- o Salidas con capacidad de manejo de corriente para conexión directa de LED's
- o Módulo comparador análogo
- o Timer 0 (TMR0) de 8 bits. Opera en modos contador y temporizador con preescalador programable de 8 bits
- o Timer 1 (TMR1) de 16 bits. Opera en modos contador y temporizador con capacidad de operar con un cristal externo.
- o Timer 2 (TMR2) de 8 bits. Opera como temporizador o contador con registro preescalador/postescalador de 8 bits.
- o Módulo comparador, de captura y PWM con resolución máxima de 10 bits (CCP)
- o Módulo Universal de Recepción/Tranmisión Síncrona/Asíncrona (USART)
- o Diferentes fuentes de reset: Power-on, MCLR durante operación normal y durante modo de espera, Watch dog en operación normal y en modo de espera, detección de Brown-out
- o 10 fuentes diferentes de interrupción: interrupción externa, desborde del TMR0, desborde del TMR1, desborde del TMR2, por cambio de nivel en algunos pines del puerto B, interrupción del comparador, interrupción de la USART e interrupción del módulo CCP.

Tecnología CMOS que le permite:

- Contar con tecnología flash, bajo consumo de potencia y alta velocidad
- Amplio intervalo de voltaje de operación (3.0 a 5.5 V)
- Intervalos comercial, industrial y extendido de la temperatura de operación
- Bajo consumo de corriente, menos de 2.0 mA a 5.0 V y reloj y 4.0 MHz

Apéndice C. Listado de programa

Nota: algunos ciclos que son repetitivos se han omitido en el siguiente listado de programa; la versión completa se encuentra en el “Manual de fabricación”.

```

;*****
;PROGRAMA EN LENGUAJE ENSAMBLADOR PARA IMPLEMENTAR UN
;FRECUENCÍMETRO UTILIZANDO EL MICROCONTROLADOR PIC
;16F628, REGISTROS DE CORRIMIENTO Y UN DISPLAY FORMADO
;POR 5 DISPLAYS DE 7 SEGMENTOS. EL RANGO DE FRECUENCIAS
;PROBADO ES DE 0.1 Hz A 15 MHz
;*****

;***** INICIO DEL PROGRAMA *****
;LA PRIMERA PARTE DEL PROGRAMA CONFIGURA EL PUERTO B,
;COMO SALIDA DIGITAL, DESACTIVA LAS INTERRUPCIONES, LIMPIA
;LA BANDERA PARA EL LED DE LA BASE DE TIEMPO, CONFIGURA EL
;TIMER1 Y LLAMA A LA SUBROUTINA SEGUNDO1 PARA TOMAR UNA
;PRIMERA LECTURA
;*****

org 0x00 ;
goto START ;
org 0x04 ;
goto INTERRUPT ;

START bcf STATUS,RP1;
bsf STATUS,RP0; pagina 1
clrf TRISB ; configura puerto B como salida
bsf TRISB,6 ;
bcf STATUS,RP1;
bcf STATUS,RP0; pagina 0
clrf PORTB ;

INICIO movlw 0x06 ; configura el TMR1, preescalador
; 1:1
movwf T1CON ; osc. interno off, no sinc. modo
; contador
clrf PIR1 ; reestablece banderasde
; interrupcion

movlw 0x01 ;
movwf PCLATH ;
goto SEGUNDO1 ;

;*****
;ESTA PARTE DEL PROGRAMA ES PARA CONVERTIR UN NUMERO DE
;16 BITS LOCALIZADO EN LOS REGISTROS TMR1H Y TMR1L A SU
;EQUIVALENTE EN BCD. SE UTILIZAN RESTAS DE MULTIPLOS DE 10
;PARA IR CONVIRTIENDO EL NUMERO, EL RESULTADO SE MUESTRA
;EN LOS REGISTROS DISP5 A DISP1
;*****
CONVIERTE bcf STATUS,RP1;
bcf STATUS,RP0; pagina 0
clrf DISP1 ; \
clrf DISP2 ; |
clrf DISP3 ; > inicializa displays
clrf DISP4 ; |
clrf DISP5 ; /
clrf RESTAL ; inicializa resta del tmrh
clrf RESTAH ; inicializa resta del tmrL

ETIQUETA1 movlw 0x27 ;
subwf TMR1H,W ;
movwf RESTAH ; restah=tmrh-27
btss STATUS,C ;
goto ETIQUETA2 ; salta si restah<0
btsc STATUS,Z ;
goto ETIQUETA2 ; salta si restah=0
incf DISP5,F ; incrementa display 5
movf RESTAH,W ;
movwf TMR1H ; tmrh=restah
movlw 0x10 ;
subwf TMR1L,W ;
movwf RESTAL ; restaL=tmrL-10
btss STATUS,C ; salta si restaL>0
decf TMR1H,F ; decrementa TMR1H
movf RESTAL,W ;
movwf TMR1L ; tmr1L=restaL

ETIQUETA2 goto ETIQUETA1 ;
movf RESTAH,F ;
btss STATUS,Z ; salta si RESTAH no=0
goto ETIQUETA3 ;
movlw 0x10 ;
subwf TMR1L,W ;
movwf RESTAL ; restaL=tmrL-10
btsc STATUS,Z ; f=10 000
goto DIEZMIL ;
btss STATUS,C ; salta si restaL<0
goto ETIQUETA3 ;
incf DISP5,F ; incrementa display 5

DIEZMIL movf RESTAH,W ;
movwf TMR1H ; tmrh=restah
movf RESTAL,W ;
movwf TMR1L ; tmrL=restaL
ETIQUETA3 movlw 0x03 ;
subwf TMR1H,W ;

movwf RESTAH ; restah=tmrh-03
btss STATUS,C ;
goto ETIQUETA4 ; salta si restah<0
btsc STATUS,Z ;
goto ETIQUETA4 ; salta si resta=0
incf DISP4,F ; incrementa display 4
movf RESTAH,W ;
movwf TMR1H ; tmrh=restah
movlw 0xE8 ;
subwf TMR1L,W ;
movwf RESTAL ; restaL=tmrL-E8
btss STATUS,C ; salta si restaL>0
decf TMR1H,F ; decrementa TMR1H
movf RESTAL,W ;
movwf TMR1L ; tmr1L=restaL
goto ETIQUETA3 ;
ETIQUETA4 movf RESTAH,F ;
btss STATUS,Z ; salta si RESTAH no=0
goto ETIQUETA5 ;
movlw 0xE8 ;
subwf TMR1L,W ;
movwf RESTAL ; restaL=tmrL-E8
btsc STATUS,Z ;
goto MIL ; f=1000
btss STATUS,C ;
goto ETIQUETA5 ;
incf DISP4,F ; incrementa display 4
movf RESTAH,W ;
movwf TMR1H ; tmrh=restah
movf RESTAL,W ;
movwf TMR1L ; tmrL=restaL
ETIQUETA5 btss TMR1H,1 ; tmr1 > 0 = 2??
goto UNO ;
btss TMR1H,0 ; tmr1=2?
goto DOS ;
movlw d'7' ;
movwf DISP3 ; display 3 = 7
movlw d'6' ;
movwf DISP2 ; display 2 = 6
movlw d'8' ;
movwf DISP1 ; display 1 = 8
goto ETIQUETA7 ;
DOS movlw d'5' ;
movwf DISP3 ; display 3 = 5
movlw d'1' ;
movwf DISP2 ; display 2 = 1
movlw d'2' ;
movwf DISP1 ; display 1 = 2
goto ETIQUETA7 ;
UNO btss TMR1H,0 ; tmrh=1 ??
goto ETIQUETA7 ;
movlw d'2' ;
movwf DISP3 ; display 3 = 2
movlw d'5' ;
movwf DISP2 ; display 2 = 5
movlw d'6' ;
movwf DISP1 ; display 1 = 6
ETIQUETA7 movlw 0x64 ;
subwf TMR1L,W ;
movwf RESTAL ; restaL=tmrL-64
btss STATUS,C ;
goto ETIQUETA8 ; salta si restaL<0
btsc STATUS,Z ;
goto ETIQUETA8 ; salta si resta=0
incf DISP3,F ; incrementa display 3
movf RESTAL,W ;
movwf TMR1L ; tmr1L=restaL
goto ETIQUETA7 ;
ETIQUETA8 movf RESTAL,F ;
btss STATUS,Z ; salta si RESTAL no=0
goto ETIQUETA9 ;
incf DISP3,F ; incrementa display 3
clrf TMR1L ;
ETIQUETA9 movlw 0x0A ;
subwf TMR1L,W ;
movwf RESTAL ; restaL=tmrL-A
btss STATUS,C ;
goto ETIQUETA10 ; salta si restaL<0
incf DISP2,F ; incrementa display 2
movf RESTAL,W ;
movwf TMR1L ; tmr1L=restaL
goto ETIQUETA9 ;
ETIQUETA10 movf RESTAL,F ;
btsc STATUS,Z ; salta si restaL no=0
incf DISP2,F ; incrementa display 2
movf TMR1L,W ;
addwf DISP1,F ; display 1 = trmL+disp1

```

```

movlw 0x0A ;
subwf DISP1,W ;
movwf PRUEBA ; prueba = display1 - A
btfs STATUS,C ;
goto ETIQUETA11; salta si prueba > 0 = 0
goto ETIQUETA12; salta si prueba < 0
ETIQUETA11 incf DISP2,F ; incrementa display 2
movf PRUEBA,W ;
movwf DISP1 ; display1 = prueba
ETIQUETA12 movlw 0x0A ;
subwf DISP2,W ;
movwf PRUEBA ; prueba = display2 - A
btfs STATUS,C ;
goto ETIQUETA13; salta si prueba > 0 = 0
goto ETIQUETA14; salta si prueba < 0
ETIQUETA13 incf DISP3,F ; incrementa display 3
movf PRUEBA,W ;
movwf DISP2 ; display2 = prueba
ETIQUETA14 movlw 0x0A ;
subwf DISP3,W ;
movwf PRUEBA ; prueba = display3 - A
btfs STATUS,C ;
goto ETIQUETA15; salta si prueba > 0 = 0
goto ETIQUETA16; salta si prueba < 0
ETIQUETA15 incf DISP4,F ; incrementa display 4
movf PRUEBA,W ;
movwf DISP3 ; display3 = prueba
ETIQUETA16 movlw 0x0A ;
subwf DISP4,W ;
movwf PRUEBA ; prueba = display4 - A
btfs STATUS,C ;
goto ETIQUETA17; salta si prueba > 0 = 0
goto ETIQUETA18; salta si prueba < 0
ETIQUETA17 incf DISP4,F ; incrementa display 4
movf PRUEBA,W ;
movwf DISP4 ; display4 = prueba
ETIQUETA18 goto BCD_SEG ;
;CONVERSION DE BCD A 7 SEGMENTOS, SE CONVIERTE POR MEDIO
;DE LA SUBROUTINA SEGMENT DESPUES DE CADA REGRESO DE LA
;SUBROUTINA, EL DATO SE GUARDA EN EL REGISTRO DISP(N)
;*****
org 0xC0 ;
BCD_SEG movlw 0x01 ;
movwf PCLATH ;
movf DISP1,W ;
call SEGMENT ;
movwf DISP1 ; guarda display 1
movf DISP2,W ;
call SEGMENT ;
movwf DISP2 ; guarda display 2
;*****
;ROUTINA PARA ENVIAR LOS DATOS EN FORMA SERIE A TRAVES DEL
;BIT 7 DEL PUERTO B (RB7) POR MEDIO DE CORRIMIENTOS, EL BIT 1
;DEL PUERTO E (RE1)
;FUNCIONA COMO SEÑAL DE RELOJ SE ACTIVA PRIMERO EL PUNTO
;DECIMAL DE ACUERDO CON LA ESCALA CORRESPONDIENTE.
;*****
PUNTO movlw b'11110001' ;
andwf PORTB,F ;
DECA_MEGA btfs ESCALA,5 ; deca-megahertz
goto MEGA ;
bsf DISP4,7 ; activa el punto decimal del display
;4
bsf PORTB,3 ; activa led de MHz
MEGA goto SERIE ;
btfs ESCALA,4 ; megahertz
goto CENTA_KILO;
bsf DISP5,7 ; activa el punto decimal del display
;5
bsf PORTB,3 ; activa led de MHz
CENTA_KILO btfs ESCALA,3 ; kilohertz
goto KILO ;
bsf DISP3,7 ; activa el punto decimal del display
;3
bsf PORTB,2 ; activa led de kHz
KILO goto SERIE ;
btfs ESCALA,2 ; kilohertz
goto HERTZ ;
bsf DISP4,7 ; activa el punto decimal del display
;4
bsf PORTB,2 ; activa led de kHz
HERTZ goto SERIE ;
btfs ESCALA,F ; hertz
goto DECIHERTZ; hertz enteros no hay punto
;decimal
bsf PORTB,1 ; activa led de Hz
DECIHERTZ goto SERIE ;
btfs ESCALA,0 ;
bsf DISP3,7 ; decimas de hertz
bsf PORTB,1 ; activa led de Hz
goto SERIE ;

```

```

SERIE movlw 0x05 ;
movwf N ; valor inicial del contador N
SALTO3 bcf STATUS,RP1 ; (contador de display)
bcf STATUS,RP0; pagina 0
call DISPLAY1 ; \
call DISPLAY2 ; |
call DISPLAY3 ; > saltos a subrutinas para
; mandar
call DISPLAY4 ; | cada uno de los displays al
call DISPLAY5 ; / puerto B
clrf PCLATH ;
goto INICIO ; vuelve a empezar
;*****
; Subrutina para convertir de BCD a 7 segmentos
;*****
SEGMENT org 0x100 ;
addwf PCL,F ; desplazamiento sobre la tabla
retlw b'00111111' ; 0
retlw b'00000110' ; 1
retlw b'01011011' ; 2
retlw b'01001111' ; 3
retlw b'01100110' ; 4
retlw b'01101101' ; 5
retlw b'01111101' ; 6
retlw b'00000111' ; 7
retlw b'01111111' ; 8
retlw b'01100111' ; 9
;*****
;SUBROUTINA QUE CARGA CADA VALOR DE LOS REGISTROS DISPX
;EN EL REGISTRO FREC Y LLAMA A LA SUBROUTINA CORRE PARA
;ENVIARLOS EN FORMA SERIAL
;*****
DISPLAY5 movf DISP5,0 ;
movwf FREC ; frec=disp5
call CORRE ; salta a la etiqueta CORRE
return ;
DISPLAY4 movf DISP4,0 ;
movwf FREC ; frec=disp4
call CORRE ;
return ;
;*****
;SUBROUTINA PARA IR CORRIENDO EL CONTENIDO DEL REGISTRO
;FREC E IR ENVIANDOLO AL BIT 7 DEL PUERTO B, EL BIT 5 DEL
;PUERTO B ES LA SEÑAL DE RELOJ
;*****
CORRE movlw 0x08 ; valor inicial de contador M
movwf M ; (contador de bits)
SALTO1 btfs STATUS,Z ; prueba si m > 0
goto SALTO2 ;
btfs FREC,7 ;
bcf PORTB,4 ;
call RELOJ ; da un pulso al reloj
bsf PORTB,4 ;
rlf FREC,F ; corre frec a la izquierda
decf M,F ; M=M-1
SALTO2 goto SALTO1 ;
decf N,F ; N=N-1
return ;
;
RELOJ bsf PORTB,5 ; enciende pulso de reloj
nop ;
nop ;
nop ;
nop ;
bcf PORTB,5 ; apaga pulso de reloj
return ; regresa
;*****
;LA SIGUIENTE PARTE DEL PROGRAMA INCLUYE BASES DE TIEMPO
;PARA MEDICION DIRECTA DE FRECUENCIAS MEDIAS Y ALTAS, ASI
;COMO ALGORITMOS PARA MEDICION INDIRECTA DE FRECUENCIAS
;BAJAS
;*****
MILIS1 clrf PIR1 ;
movlw b'00100000' ;
movwf ESCALA ; escala de MegaHertz
clrf TMR1L ;
clrf TMR1H ;
movlw 0xF9 ;
movwf CONT1 ; valor inicial CONT1=F9
movlw 0x05 ;
movwf CONT2 ;
btfs BANDERA,0 ; prueba BANDERA
bsf PORTB,0 ; RB0=1 * activa pulso
bsf T1CON,TMR1ON; enciende TMR1, comienza
; conteo de flancos
BASE1MILIS nop ;
decfsz CONT1,F ; decrementa CONT1
goto BASE1MILIS; salta si no es cero
movlw 0xF9 ;
movwf CONT1 ; reinicializa CONT1
decfsz CONT2,F ; decrementa CONT2
goto BASE1MILIS;
nop ;

```

```

bcf      T1CON,TMR1ON ; apaga TMR1 termina conteo
                        ;de flancos
bcf      PORTB,0      ; RB0=0 *** termina pulso
comf     BANDERA,F;
clrf     PCLATH;
goto     CONVIERTE;

;*****
;EN ESTA PARTE DEL PROGRAMA SE MIDE EL PERIODO DE LA
;SEÑAL POR MEDIO DEL ESTADO DEL BIT 6 DEL PUERTO B, SE
;HABILITAN LAS INTERRUPTONES DEL TMR0 Y DEL TMR1. SE LEE EL
;ESTADO DE LA ENTRADA, SI ES ALTO SE CONFIGURA LA CAPTURA
;DE SEMICICLO POSITIVO Y SI ESTA EN ESTADO BAJO SE
;CONFIGURA LA CAPTURA DE SEMICICLO NEGATIVO
;*****
PERIODO   movlw 0x04 ; configura tmr1, preescalador 1:1,
movwf     T1CON ; modo timer, no sinc, desactiva osc.
                        ; interno
clrf      PREESC1 ; \
movlw     b'00000001' ; |
movwf     ESCALA ; |
btfss     BANDERA,0 ; |
bsf       PORTB,0 ; /
clrf      PIR1 ; limpia las banderas de interrupcion
bcf       STATUS,RP1;
bsf       STATUS,RP0; pagina 1
movlw     0x01 ;
movwf     PIE1 ; activa interrupcion del TMR1
bcf       OPTION_REG,T0CS; TMR0 en modo contador
bcf       OPTION_REG,PSA ; preescalador asignado al
                        ;TMR0
bsf       OPTION_REG,PS2;\
bsf       OPTION_REG,PS1; > configura preescalador del
                        ;TMR0

MUESTREA  bsf     OPTION_REG,PS0;/
movlw     b'11000000' ; activa interrupciones globales y
movwf     INTCON ; de perifericos
bcf       STATUS,RP1;
bcf       STATUS,RP0; pagina 0
clrf      POST2 ;
movlw     0xFF ;
movwf     POST0L ;
movlw     0x02 ;
movwf     POST0H ;
clrf      TMR1H ;
clrf      TMR1L ;
clrf      INT ; limpia registro de interrupcion
clrf      TMR0 ; limpia TMR0
bsf       INTCON,TOIE; activa la interrupcion del TMR0
btfss     PORTB,6 ;
goto      BAJ01 ;
btfsc     PORTB,6 ;
goto      ALTO1 ;
ALTO1     goto ALTO1 ; espera un cambio a nivel bajo
bcf       INTCON,TOIE; desactiva la interrupcion del
                        ;TMR0
ALTO2     bsf     T1CON,TMR1ON; enciende el TMR1
btfss     PORTB,6 ; espera cambio a nivel alto
goto      ALTO2 ;
ALTO3     btfsc     PORTB,6 ; espera cambio a nivel bajo
goto      ALTO3 ;
bcf       T1CON,TMR1ON; apaga el TMR1
btfsc     INT,0 ;
goto      MUESTREA ; verifica si se presento interrupción
goto      PRESCALADOR;
BAJO1     btfss     PORTB,6 ;
goto      BAJ01 ; espera un cambio a nivel alto
bcf       INTCON,TOIE; desactiva la interrupción del
                        ;TMR0
BAJO2     bsf     T1CON,TMR1ON; enciende el TMR1
btfsc     PORTB,6 ; espera cambio a nivel bajo
goto      BAJ02 ;
BAJO3     btfss     PORTB,6 ; espera cambio a nivel alto
goto      BAJ03 ;
bcf       T1CON,TMR1ON; apaga el TMR1
btfsc     INT,0 ;
goto      MUESTREA ;
goto      PRESCALADOR; verifica si se presento
                        ;interrupción
;*****
;EN ESTA PARTE SE OBTIENE EL INVERSO DEL PERIODO POR MEDIO
;DE DIVISIONES SE LLAMA A LA RUTINA D_DIVS, SE ENCUENTRA EN
;LOS ARCHIVOS CON EXTENSION .INC
;*****
PRESCALADOR clrf INTCON ;
movlw     0x02 ;
movwf     PCLATH ;
movf      PREESC1,W ; calcula salto para cargar el
                        ;dividendo
addwf     PCL,F ; y el divisor y realizar la división
goto      CARGA1A1 ;
goto      CARGA1A2 ;
goto      CARGA1A4 ;
goto      CARGA1A8 ;
goto      CARGAPOST;

CARGA1A1  goto     CARGACERO;
movlw     0x1D ; \
movwf     AARGB0 ; |
movlw     0xCD ; |
movwf     AARGB1 ; |
movlw     0x65 ; > Carga valor del dividendo
movwf     AARGB2 ; | = 1D CD 65 00
movlw     0x00 ; |
movwf     AARGB3 ; /
clrf      BARGB0 ; \
movf      TMR1H,W ; |
movwf     BARGB1 ; > Carga el valor del
movf      TMR1L,W ; | TMR1 en el divisor
movwf     BARGB2 ; /
goto      DIVISION ;

CARGAPOST movlw 0x03 ; \
movwf     AARGB0 ; |
movlw     0xB9 ; |
movwf     AARGB1 ; |
movlw     0xAC ; > Carga valor del
movwf     AARGB2 ; | dividendo = 07 73 59 40
movlw     0xA0 ; |
movwf     AARGB3 ; /
movf      POST2,W ;
movwf     BARGB0 ; \
movf      TMR1H,W ; |
movwf     BARGB1 ; > Carga el valor del
movf      TMR1L,W ; | TMR1 en el divisor
movwf     BARGB2 ; /
goto      DIVISION ;
org       0x270 ;

CARGACERO movlw b'00111111' ; frecuencia igual a 0
movwf     DISP1 ;
movwf     DISP2 ;
movwf     DISP3 ;
movwf     DISP4 ;
movwf     DISP5 ;
goto      SERIE ;
DIVISION  call     FXD3224U ; llama rutina de división
movf      AARGB2,W ; \
movwf     TMR1H ; | mueve el cociente de la
movf      AARGB3,W ; | division al timer 1
movwf     TMR1L ; /
goto      CONVIERTE; salta para convertir a decimal
;*****
;RUTINA DE INTERRUPTON. PUEDEN PRESENTARSE DOS TIPOS DE
;INTERRUPCIONES, LA INTERRUPTON DE DESBORDE DEL TMR1 Y
;LA INTERRUPTON DE DESBORDE DEL TMR0
;*****
INTERRUP  movwf     W_TEMP ; guarda el acumulador W
swapf     STATUS,W ;
clrf      STATUS ;
movwf     STATUS_TEMP; guarda el registro status
movf      PCLATH,W ;
movwf     PCLATH_TEMP; guarda el registro pclath
clrf      PCLATH ;
movlw     0x02 ;
movwf     PCLATH ;
btfsc     PIR1,TMR1IF; prueba si es interrupción del
                        ;TMR1
goto      TMR1_INT ;
btfsc     INTCON,T0IF; prueba si es interrupción del
                        ;TMR0
goto      TMR0_INT ;
clrf      PIR1 ;
goto      REGRESA ; interrupción desconocida
TMR1_INT  bcf      PIR1,TMR1IF; reestablece interrupción del TMR1
movf      PREESC1,W;
addwf     PCL,F ; calcula salto para modificar el
goto      ESCALA1 ; preescalador del TMR1
goto      ESCALA2 ;
goto      ESCALA3 ;
goto      ESCALA4 ;
goto      ESCALAPOST;
ESCALA1   bcf      T1CON,T1CKPS1;
bsf       T1CON,T1CKPS0; preescalador del timer1 en
                        ; 1:2
incf      PREESC1,F;
goto      ESCAL_TIMER;

ESCALAPOST incf     POST2,F ; incrementa el post-escalador2
movlw     0x80 ;
subwf     POST2,W ; post-escalador2 = 128 ??
btfss     STATUS,Z ;
goto      REGRESA ;
CERO      incf      PREESC1,F;
clrf      ESCALA ;
clrf      T1CON ; si se cumple, entonces frecuencia

```

```

        clrf      INTCON      ; = cero
                                ; reestablece e inhabilita
                                ; interrupciones
        goto     REGRESA      ;
ESCAL_TIMER bsf      INT,0      ;
        clrf      TMR1H      ;
        clrf      TMR1L      ;
        goto     REGRESA      ;
TMR0_INT  bcf      INTCON,T0IF;
        decfsz    POST0L,F      ; decrementa parte baja de post-
                                ; escalador 0
        goto     REGRESA      ;
        movlw     0xFF          ; reinicializa parte baja de post-
                                ; escalador 0
        movwf     POST0L      ;
        decfsz    POST0H      ; decrementa parte alta de post-
                                ; escalador 0
        goto     REGRESA      ;
        clrf      INTCON      ; deshabilita interrupciones, limpia
                                ; T0IF
        bcf      PIR1,TMR1IF; limpia bandera del TMR1
        goto     CARGACERO;
REGRESA  movf      PCLATH_TEMP,W;
        movwf     PCLATH      ;
        swapf     STATUS_TEMP,W;
        movwf     STATUS      ;
        swapf     W_TEMP,F      ;
        swapf     W_TEMP,W      ;
        retfie    ; regresa al programa principal
        end        ; fin de programa

```

Apéndice D. Datos de caracterización del Frecuencímetro

Caracterización Lineal Frecuencímetro						
Intervalo de caracterización (0.1 Hz – 15.0 MHz)						
Intervalo equiespaciado de 100 kHz			Número de muestras 150			
Todas las unidades están en MHz, a menos que se indique otra cosa						
	Frecuencia Real [MHz]	Frecuencia Leída [MHz]	Diferencia [MHz]	Proporción	Porcentaje	Fecha de medición: 04-Oct-05 Se utilizó como señal de entrada una señal cuadrada con amplitud de 5 Volts Las mediciones se realizaron tomando como frecuencia patrón la lectura de un generador de señales marca Hewlett Packard Modelo 33120A
1	0.100	0.10000	0.00000	0.00000	0.000%	
2	0.200	0.19999	0.00001	0.00005	0.005%	
3	0.300	0.30000	0.00000	0.00000	0.000%	
4	0.400	0.40000	0.00000	0.00000	0.000%	
5	0.500	0.50000	0.00000	0.00000	0.000%	
6	0.600	0.60000	0.00000	0.00000	0.000%	
7	0.700	0.6999	0.00010	0.00014	0.014%	
8	0.800	0.8000	0.00000	0.00000	0.000%	
9	0.900	0.9000	0.00000	0.00000	0.000%	
10	1.000	0.9999	0.00010	0.00010	0.010%	
11	1.100	1.1000	0.00000	0.00000	0.000%	
12	1.200	1.2000	0.00000	0.00000	0.000%	
13	1.300	1.3000	0.00000	0.00000	0.000%	
14	1.400	1.4000	0.00000	0.00000	0.000%	
15	1.500	1.5000	0.00000	0.00000	0.000%	
16	1.600	1.6000	0.00000	0.00000	0.000%	
17	1.700	1.7000	0.00000	0.00000	0.000%	
18	1.800	1.8000	0.00000	0.00000	0.000%	
19	1.900	1.9001	0.00010	0.00005	0.005%	
20	2.000	2.0000	0.00000	0.00000	0.000%	
21	2.100	2.1001	0.00010	0.00005	0.005%	
22	2.200	2.2000	0.00000	0.00000	0.000%	
23	2.300	2.3000	0.00000	0.00000	0.000%	
24	2.400	2.4001	0.00010	0.00004	0.004%	
25	2.500	2.5000	0.00000	0.00000	0.000%	
26	2.600	2.6001	0.00010	0.00004	0.004%	
27	2.700	2.7000	0.00000	0.00000	0.000%	
28	2.800	2.8001	0.00010	0.00004	0.004%	
29	2.900	2.9000	0.00000	0.00000	0.000%	
30	3.000	3.0001	0.00010	0.00003	0.003%	
31	3.100	3.1000	0.00000	0.00000	0.000%	
32	3.200	3.2000	0.00000	0.00000	0.000%	
33	3.300	3.3001	0.00010	0.00003	0.003%	
34	3.400	3.4000	0.00000	0.00000	0.000%	
35	3.500	3.5001	0.00010	0.00003	0.003%	
36	3.600	3.6000	0.00000	0.00000	0.000%	
37	3.700	3.7001	0.00010	0.00003	0.003%	
38	3.800	3.8001	0.00010	0.00003	0.003%	
39	3.900	3.9001	0.00010	0.00003	0.003%	
40	4.000	4.0001	0.00010	0.00002	0.002%	
41	4.100	4.1001	0.00010	0.00002	0.002%	
42	4.200	4.2001	0.00010	0.00002	0.002%	

Fecha de medición:
04-Oct-05

Se utilizó como señal de entrada una señal cuadrada con amplitud de 5 Volts

Las mediciones se realizaron tomando la lectura de un generador de señales marca Hewlett Packard Modelo 33120A

Tabla D1. Datos de la caracterización lineal del frecuencímetro

	Frecuencia Real [MHz]	Frecuencia Leída [MHz]	Diferencia [MHz]	Propor- ción	Porcentaje	
43	4.300	4.3001	0.00010	0.00002	0.002%	
44	4.400	4.4001	0.00010	0.00002	0.002%	
45	4.500	4.5001	0.00010	0.00002	0.002%	
46	4.600	4.6001	0.00010	0.00002	0.002%	
47	4.700	4.7001	0.00010	0.00002	0.002%	
48	4.800	4.8001	0.00010	0.00002	0.002%	
49	4.900	4.9001	0.00010	0.00002	0.002%	
50	5.000	5.0001	0.00010	0.00002	0.002%	
51	5.100	5.1001	0.0001	0.00002	0.002%	
52	5.200	5.2001	0.0001	0.00002	0.002%	
53	5.300	5.3001	0.0001	0.00002	0.002%	
54	5.400	5.4001	0.0001	0.00002	0.002%	
55	5.500	5.5001	0.0001	0.00002	0.002%	
56	5.600	5.6001	0.0001	0.00002	0.002%	
57	5.700	5.7001	0.0001	0.00002	0.002%	
58	5.800	5.8002	0.0002	0.00003	0.003%	
59	5.900	5.9002	0.0002	0.00003	0.003%	
60	6.000	6.0002	0.0002	0.00003	0.003%	
61	6.100	6.1001	0.0001	0.00002	0.002%	
62	6.200	6.2002	0.0002	0.00003	0.003%	
63	6.300	6.3002	0.0002	0.00003	0.003%	
64	6.400	6.4002	0.0002	0.00003	0.003%	
65	6.500	6.5001	0.0001	0.00002	0.002%	
66	6.600	6.600	0.0000	0.00000	0.000%	
67	6.700	6.699	0.0010	0.00015	0.015%	ERROR MAXIMO
68	6.800	6.800	0.0000	0.00000	0.000%	
69	6.900	6.899	0.0010	0.00014	0.014%	
70	7.000	7.000	0.0000	0.00000	0.000%	
71	7.100	7.099	0.0010	0.00014	0.014%	
72	7.200	7.200	0.0000	0.00000	0.000%	
73	7.300	7.299	0.0010	0.00014	0.014%	
74	7.400	7.399	0.0010	0.00014	0.014%	
75	7.500	7.500	0.0000	0.00000	0.000%	
76	7.600	7.600	0.0000	0.00000	0.000%	
77	7.700	7.700	0.0000	0.00000	0.000%	
78	7.800	7.799	0.0010	0.00013	0.013%	
79	7.900	7.900	0.0000	0.00000	0.000%	
80	8.000	8.000	0.0000	0.00000	0.000%	
81	8.100	8.099	0.0010	0.00012	0.012%	
82	8.200	8.200	0.0000	0.00000	0.000%	
83	8.300	8.299	0.0010	0.00012	0.012%	
84	8.400	8.400	0.0000	0.00000	0.000%	
85	8.500	8.499	0.0010	0.00012	0.012%	
86	8.600	8.599	0.0010	0.00012	0.012%	
87	8.700	8.700	0.0000	0.00000	0.000%	
88	8.800	8.799	0.0010	0.00011	0.011%	
89	8.900	8.899	0.0010	0.00011	0.011%	
90	9.000	8.999	0.0010	0.00011	0.011%	
91	9.100	9.100	0.0000	0.00000	0.000%	
92	9.200	9.199	0.0010	0.00011	0.011%	
93	9.300	9.299	0.0010	0.00011	0.011%	
94	9.400	9.400	0.0000	0.00000	0.000%	
95	9.500	9.500	0.0000	0.00000	0.000%	
96	9.600	9.600	0.0000	0.00000	0.000%	

Continuación tabla D1

	Frecuencia Real [MHz]	Frecuencia Leída [MHz]	Diferencia [MHz]	Propor- ción	Porcentaje
97	9.700	9.699	0.0010	0.00010	0.010%
98	9.800	9.799	0.0010	0.00010	0.010%
99	9.900	9.900	0.0000	0.00000	0.000%
100	10.000	10.000	0.0000	0.00000	0.000%
101	10.100	10.099	0.001	0.00010	0.010%
102	10.200	10.200	0.000	0.00000	0.000%
103	10.300	10.300	0.000	0.00000	0.000%
104	10.400	10.400	0.000	0.00000	0.000%
105	10.500	10.500	0.000	0.00000	0.000%
106	10.600	10.599	0.001	0.00009	0.009%
107	10.700	10.700	0.000	0.00000	0.000%
108	10.800	10.799	0.001	0.00009	0.009%
109	10.900	10.899	0.001	0.00009	0.009%
110	11.000	10.999	0.001	0.00009	0.009%
111	11.100	11.100	0.000	0.00000	0.000%
112	11.200	11.200	0.000	0.00000	0.000%
113	11.300	11.299	0.001	0.00009	0.009%
114	11.400	11.400	0.000	0.00000	0.000%
115	11.500	11.499	0.001	0.00009	0.009%
116	11.600	11.600	0.000	0.00000	0.000%
117	11.700	11.699	0.001	0.00009	0.009%
118	11.800	11.800	0.000	0.00000	0.000%
119	11.900	11.900	0.000	0.00000	0.000%
120	12.000	12.000	0.000	0.00000	0.000%
121	12.100	12.100	0.000	0.00000	0.000%
122	12.200	12.199	0.001	0.00008	0.008%
123	12.300	12.299	0.001	0.00008	0.008%
124	12.400	12.399	0.001	0.00008	0.008%
125	12.500	12.499	0.001	0.00008	0.008%
126	12.600	12.599	0.001	0.00008	0.008%
127	12.700	12.700	0.000	0.00000	0.000%
128	12.800	12.799	0.001	0.00008	0.008%
129	12.900	12.899	0.001	0.00008	0.008%
130	13.000	12.999	0.001	0.00008	0.008%
131	13.100	13.099	0.001	0.00008	0.008%
132	13.200	13.200	0.000	0.00000	0.000%
133	13.300	13.299	0.001	0.00008	0.008%
134	13.400	13.400	0.000	0.00000	0.000%
135	13.500	13.500	0.000	0.00000	0.000%
136	13.600	13.599	0.001	0.00007	0.007%
137	13.700	13.699	0.001	0.00007	0.007%
138	13.800	13.800	0.000	0.00000	0.000%
139	13.900	13.899	0.001	0.00007	0.007%
140	14.000	13.999	0.001	0.00007	0.007%
141	14.100	14.099	0.001	0.00007	0.007%
142	14.200	14.200	0.000	0.00000	0.000%
143	14.300	14.300	0.000	0.00000	0.000%
144	14.400	14.400	0.000	0.00000	0.000%
145	14.500	14.500	0.000	0.00000	0.000%
146	14.600	14.599	0.001	0.00007	0.007%
147	14.700	14.699	0.001	0.00007	0.007%
148	14.800	14.800	0.000	0.00000	0.000%
149	14.900	14.899	0.001	0.00007	0.007%
150	15.000	14.999	0.001	0.00007	0.007%

Continuación tabla D1

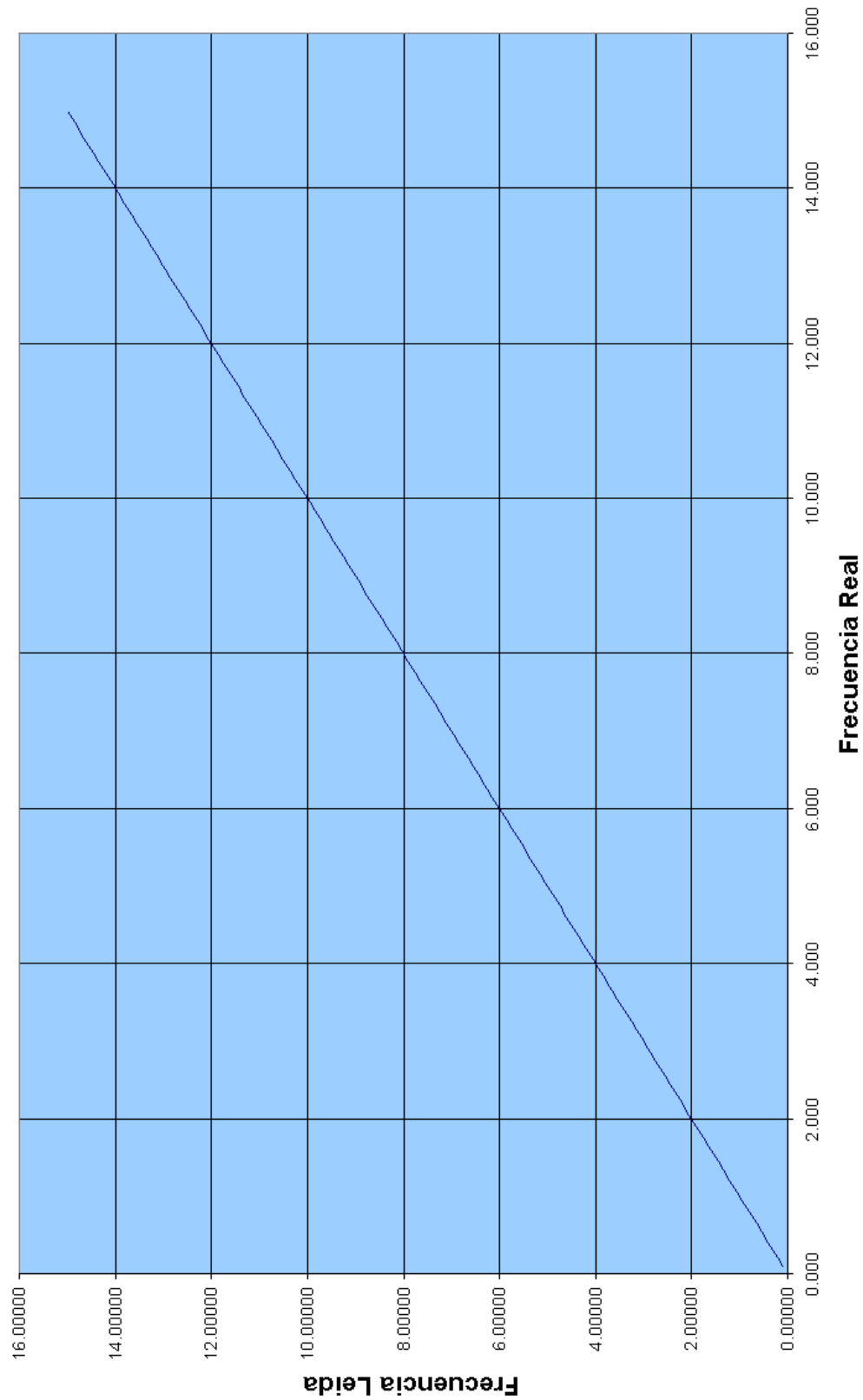


Figura D1. Curva de caracterización lineal

Caracterización Logarítmica Frecuencímetro					
Intervalo de caracterización (0.1 Hz – 15.0 MHz)					
Numero de muestras: 150					
	Frecuencia Real [Hz]	Frecuencia Leída [Hz]	Diferencia [Hz]	Propor- ción	Porcentaje
1	0.10	0.10	0.00	0.0000	0.00%
2	0.15	0.15	0.00	0.0000	0.00%
3	0.20	0.20	0.00	0.0000	0.00%
4	0.25	0.25	0.00	0.0000	0.00%
5	0.30	0.30	0.00	0.0000	0.00%
6	0.35	0.35	0.00	0.0000	0.00%
7	0.40	0.40	0.00	0.0000	0.00%
8	0.45	0.45	0.00	0.0000	0.00%
9	0.50	0.50	0.00	0.0000	0.00%
10	0.55	0.55	0.00	0.0000	0.00%
11	0.60	0.60	0.00	0.0000	0.00%
12	0.65	0.65	0.00	0.0000	0.00%
13	0.70	0.70	0.00	0.0000	0.00%
14	0.75	0.75	0.00	0.0000	0.00%
15	0.80	0.80	0.00	0.0000	0.00%
16	0.85	0.85	0.00	0.0000	0.00%
17	0.90	0.90	0.00	0.0000	0.00%
18	0.95	0.95	0.00	0.0000	0.00%
19	1.00	1.00	0.00	0.0000	0.00%
20	1.50	1.50	0.00	0.0000	0.00%
21	2.00	2.00	0.00	0.0000	0.00%
22	2.50	2.50	0.00	0.0000	0.00%
23	3.00	3.00	0.00	0.0000	0.00%
24	3.50	3.50	0.00	0.0000	0.00%
25	4.00	4.00	0.00	0.0000	0.00%
26	4.50	4.50	0.00	0.0000	0.00%
27	5.00	5.00	0.00	0.0000	0.00%
28	5.50	5.50	0.00	0.0000	0.00%
29	6.00	6.00	0.00	0.0000	0.00%
30	6.50	6.50	0.00	0.0000	0.00%
31	7.00	7.00	0.00	0.0000	0.00%
32	7.50	7.50	0.00	0.0000	0.00%
33	8.00	8.00	0.00	0.0000	0.00%
34	8.50	8.50	0.00	0.0000	0.00%
35	9.00	9.00	0.00	0.0000	0.00%
36	9.50	9.50	0.00	0.0000	0.00%
37	10.00	10.00	0.00	0.0000	0.00%
38	15.00	15.00	0.00	0.0000	0.00%
39	20.00	20.00	0.00	0.0000	0.00%
40	25.00	25.00	0.00	0.0000	0.00%
41	30.00	30.00	0.00	0.0000	0.00%
42	35.00	35.00	0.00	0.0000	0.00%
43	40.00	40.00	0.00	0.0000	0.00%
44	45.00	45.00	0.00	0.0000	0.00%
45	50.00	50.00	0.00	0.0000	0.00%
46	55.00	55.00	0.00	0.0000	0.00%

Fecha de medición:
04-Oct-05

Se utilizo como señal de entrada una señal cuadrada con amplitud de 5 Volts

Las mediciones se realizaron tomando como frecuencia patrón la lectura de un generador de señales marca Hewlett Packard Modelo 33120A

Tabla D2. Datos de la caracterización logarítmica del frecuencímetro

	Frecuencia Real [Hz]	Frecuencia Leída [Hz]	Diferencia [Hz]	Propor- ción	Porcentaje	ERROR MAXIMO
47	60.00	60.00	0.00	0.0000	0.00%	
48	65.00	65.00	0.00	0.0000	0.00%	
49	70.00	70.00	0.00	0.0000	0.00%	
50	75.00	75.00	0.00	0.0000	0.00%	
51	80.00	80.00	0.00	0.00000	0.00%	
52	85.00	85.00	0.00	0.00000	0.00%	
53	90.00	90.00	0.00	0.00000	0.00%	
54	95.00	95.00	0.00	0.00000	0.00%	
55	100.00	100.00	0.00	0.00000	0.00%	
56	150.00	149.99	0.01	0.00007	0.01%	
57	200.00	200.01	0.01	0.00005	0.00%	
58	250.00	250.02	0.02	0.00008	0.01%	
59	300	300	0.00	0.00000	0.00%	
60	350	349	1.00	0.00286	0.29%	
61	400	399	1.00	0.00250	0.25%	
62	450	449	1.00	0.00222	0.22%	
63	500	500	0.00	0.00000	0.00%	
64	550	549	1.00	0.00182	0.18%	
65	600	599	1.00	0.00167	0.17%	
66	650	649	1.00	0.00154	0.15%	
67	700	699	1.00	0.00143	0.14%	
68	750	749	1.00	0.00133	0.13%	
69	800	799	1.00	0.00125	0.13%	
70	850	849	1.00	0.00118	0.12%	
71	900	899	1.00	0.00111	0.11%	
72	950	949	1.00	0.00105	0.11%	
73	1,000	999	1.00	0.00100	0.10%	
74	1,500	1,499	1.00	0.00067	0.07%	
75	2,000	1,999	1.00	0.00050	0.05%	
76	2,500	2,499	1.00	0.00040	0.04%	
77	3,000	3,000	0.00	0.00000	0.00%	
78	3,500	3,499	1.00	0.00029	0.03%	
79	4,000	4,000	0.00	0.00000	0.00%	
80	4,500	4,499	1.00	0.00022	0.02%	
81	5,000	5,000	0.00	0.00000	0.00%	
82	5,500	5,499	1.00	0.00018	0.02%	
83	6,000	5,999	1.00	0.00017	0.02%	
84	6,500	6,499	1.00	0.00015	0.02%	
85	7,000	6,999	1.00	0.00014	0.01%	
86	7,500	7,500	0.00	0.00000	0.00%	
87	8,000	8,000	0.00	0.00000	0.00%	
88	8,500	8,500	0.00	0.00000	0.00%	
89	9,000	9,000	0.00	0.00000	0.00%	
90	9,500	9,499	1.00	0.00011	0.01%	
91	10,000	9,999	1.00	0.00010	0.01%	
92	15,000	14,999	1.00	0.00007	0.01%	
93	20,000	20,000	0.00	0.00000	0.00%	
94	25,000	25,000	0.00	0.00000	0.00%	
95	30,000	30,000	0.00	0.00000	0.00%	
96	35,000	35,000	0.00	0.00000	0.00%	
97	40,000	40,000	0.00	0.00000	0.00%	
98	45,000	45,000	0.00	0.00000	0.00%	
99	50,000	50,001	1.00	0.00002	0.00%	
100	55,000	55,000	0.00	0.00000	0.00%	

Continuación tabla D2

	Frecuencia Real [Hz]	Frecuencia Leida [Hz]	Diferencia [Hz]	Propor- ción	Porcentaje	
101	60,000	60,001	1	0.00002	0.00%	
102	65,000	65,001	1	0.00002	0.00%	
103	70,000	69,990	10	0.00014	0.01%	
104	75,000	74,990	10	0.00013	0.01%	
105	80,000	79,990	10	0.00013	0.01%	
106	85,000	85,000	0	0.00000	0.00%	
107	90,000	90,000	0	0.00000	0.00%	
108	95,000	94,990	10	0.00011	0.01%	
109	100,000	100,000	0	0.00000	0.00%	Fecha de medición: 14-Nov-05
110	150,000	150,000	0	0.00000	0.00%	
111	200,000	199,990	10	0.00005	0.01%	
112	250,000	249,990	10	0.00004	0.00%	
113	300,000	299,990	10	0.00003	0.00%	
114	350,000	350,000	0	0.00000	0.00%	Se utilizo como señal de entrada una señal cuadrada con amplitud de 5 Volts
115	400,000	400,000	0	0.00000	0.00%	
116	450,000	450,000	0	0.00000	0.00%	
117	500,000	500,000	0	0.00000	0.00%	
118	550,000	550,000	0	0.00000	0.00%	
119	600,000	600,000	0	0.00000	0.00%	
120	650,000	650,000	0	0.00000	0.00%	
121	700,000	700,000	0	0.00000	0.00%	Las mediciones se realizaron tomando como frecuencia patrón la lectura de un generador de señales marca HewlettPackard Modelo 33120A cuyo error de exactitud es de 20 ppm mas un error de envejecimiento de 10 p.p.m.
122	750,000	749,900	100	0.00013	0.01%	
123	800,000	800,000	0	0.00000	0.00%	
124	850,000	850,000	0	0.00000	0.00%	
125	900,000	900,000	0	0.00000	0.00%	
126	950,000	950,000	0	0.00000	0.00%	
127	1,000,000	1,000,000	0	0.00000	0.00%	
128	1,500,000	1,500,000	0	0.00000	0.00%	
129	2,000,000	2,000,000	0	0.00000	0.00%	
130	2,500,000	2,500,100	100	0.00004	0.00%	
131	3,000,000	3,000,100	100	0.00003	0.00%	
132	3,500,000	3,500,000	0	0.00000	0.00%	
133	4,000,000	4,000,100	100	0.00003	0.00%	
134	4,500,000	4,500,100	100	0.00002	0.00%	
135	5,000,000	5,000,100	100	0.00002	0.00%	Contabilizando 10 años de antigüedad del equipo patrón:
136	5,500,000	5,500,100	100	0.00002	0.00%	
137	6,000,000	6,000,200	200	0.00003	0.00%	
138	6,500,000	6,500,200	200	0.00003	0.00%	
139	7,000,000	7,000,000	0	0.00000	0.00%	Error del patrón:
140	7,500,000	7,500,000	0	0.00000	0.00%	
141	8,000,000	7,999,000	1000	0.00013	0.01%	20 ppm + (10) (10) ppm = 120 ppm
142	8,500,000	8,499,000	1000	0.00012	0.01%	
143	9,000,000	8,999,000	1000	0.00011	0.01%	
144	9,500,000	9,500,000	0	0.00000	0.00%	% E patron = 0.012 %
145	10,000,000	9,999,000	1000	0.00010	0.01%	
146	15,000,000	15,000,000	0	0.00000	0.00%	

Continuación tabla D2

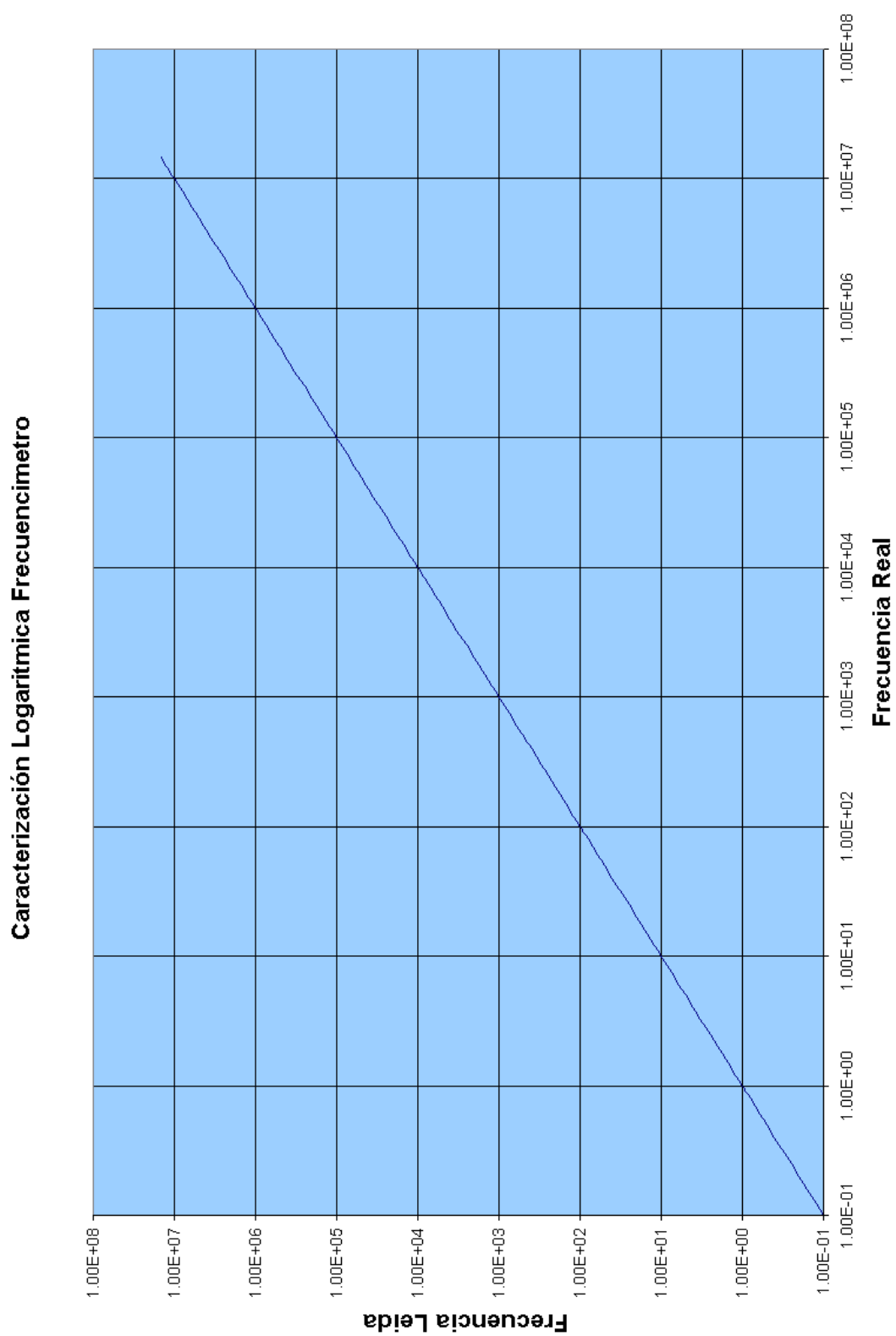


Figura D2. Curva de caracterización logarítmica

Apéndice E. Manual de usuario

Nota: la lista de partes del frecuencímetro no se incluye en esta tesis, se encuentra en los ejemplares del “Manual de usuario” y “Manual de fabricación”.

Para proteger la propiedad intelectual del proyecto, no se incluye en la tesis el “Manual de fabricación”.

Elaborado por:

M.I. Sergio Quintana Thierry

Salvador Rodríguez Lozano

FRECUENCÍMETRO

<i>ÍNDICE</i>	<i>Página</i>
1. INTRODUCCIÓN	2
2. INSTALACIÓN	2
3. OPERACIÓN	3
4. TEORÍA DE FUNCIONAMIENTO	3
5. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y MANTENIMIENTO	6
6. ESPECIFICACIONES	6
7. DIAGRAMAS	7

1. INTRODUCCIÓN

El frecuencímetro es un equipo electrónico de medición de frecuencia de señales periódicas ya sean analógicas o digitales en el rango de 0.1 Hz a 15 MHz y es un instrumento de mucha utilidad en la gran mayoría de los laboratorios donde se lleva a cabo procesamiento de señales, diseño electrónico, telecomunicaciones y control entre otros. El frecuencímetro es un sistema de medición de frecuencia de bajo costo implementado con dispositivos de fácil adquisición en el mercado nacional lo que permite un fácil mantenimiento y reparación, enfocado a su posible utilización en instituciones de enseñanza media superior.

Tabla del contenido de la caja

1	Frecuencímetro
1	Cable de alimentación
1	Cable BNC-Caiman
1	Manual de usuario

2. INSTALACIÓN

El equipo viene con un cable de alimentación polarizado, el cual se debe conectar a la parte posterior del frecuencímetro y después a la toma corriente.

El cable BNC-Caiman deberá conectarse al conector BNC que se encuentran en la parte frontal derecha del equipo.

Una vez hecho lo anterior se procederá a encender el equipo mediante el interruptor localizado en la parte delantera derecha del equipo.

Precauciones

El equipo está diseñado para conectarse a una línea de alimentación de 127 VCA 60 Hz. Conectarlo a un voltaje diferente puede ocasionar un funcionamiento inadecuado, o falla.

Reemplace el fusible únicamente por uno de las mismas características (ver lista de partes).

Conserve el equipo en un lugar con ventilación adecuada y evite derramar líquidos sobre él.

No intente remover las cubiertas y paneles. El servicio de mantenimiento deberá realizarse exclusivamente por personal calificado.

No opere el equipo en atmósferas explosivas.

No opere el equipo en ambientes con humedad relativa superior al 85%.

3. OPERACIÓN

Para medir la frecuencia de una señal, conectar el equipo a través del cable BNC-Caiman a la fuente de la señal.

El display indica las 5 cifras más significativas de la lectura, los leds que se encuentran a la derecha del display indican el orden de la lectura de manera automática, que puede estar en Hz, KHz o MHz.

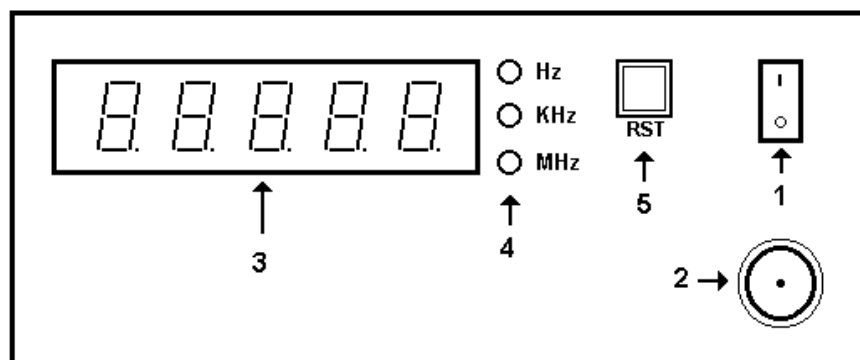


Figura del panel frontal del frecuencímetro

- 1) Interruptor de encendido.
- 2) Entrada de la fuente de señal.
- 3) Despliegue de 5 dígitos.
- 4) Indicadores de unidades
- 5) Reinicia el sistema

4. TEORÍA DE FUNCIONAMIENTO

El frecuencímetro tiene dos partes principales que lo componen: la parte del hardware formada por el microcontrolador como elemento principal, los circuitos que integran el frente de entrada que acondiciona la señal y los circuitos que integran el display donde se lee la frecuencia medida; por otro lado tenemos la parte del software consistente en el programa que se encuentra grabado en el microcontrolador (MCU).

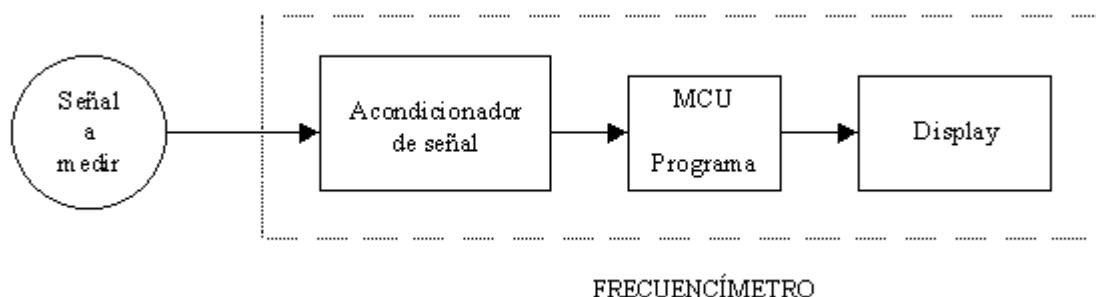


Diagrama a bloques del frecuencímetro

- 3 -

Las características del MCU que son de importancia para la operación del frecuencímetro son las siguientes:

- Oscilador de cristal de 20 MHz.
- Ciclo de instrucción de 200 ns.
- Tecnología CMOS.
- TMR0 de 8 bits que puede configurarse en modo contador y en modo temporizador, con preescalador de 8 bits y capacidad de interrupción del programa principal al momento de desborde.
- TMR1 de 16 bits que puede operar en modo de temporizador o en modo contador de pulsos externos con capacidad de interrupción al desborde.

El frecuencímetro digital auto-escala opera de dos maneras diferentes en la parte de medición de frecuencia, dependiendo de la frecuencia que se está midiendo.

1. Para realizar mediciones en el rango de frecuencias de 15 MHz a 256 Hz, se configura el TMR1 en modo contador de pulsos externos, durante un instante llamado base de tiempo. La base de tiempo es variable de acuerdo con la magnitud de la frecuencia de la señal que este midiéndose. Por simplicidad para el manejo algebraico, las bases de tiempo son instantes en potencias de 10, (1 segundo, 100 milisegundos, 10 milisegundos y 1 milisegundo). La base de tiempo es el instante durante el cual el TMR1 en modo contador de pulsos esta encendido y capturando el número de pulsos de la señal que se presenta. Después que ha pasado la base de tiempo, el TMR1 se apaga y comienza a procesarse el dato de frecuencia obtenido. La primera parte del proceso es verificar si la base de tiempo es adecuada, esto se realiza verificando el estado del registro TMR1 y el de su bandera de interrupción. Aunque la interrupción del TMR1 está desactivada, su bandera de interrupción nos sirve para saber si se presento desborde en el registro de 16 bits. Si es el caso que se presenta desborde en el TMR1, es necesario cambiar la base de tiempo por una más pequeña y repetir el proceso hasta encontrar la base de tiempo adecuada.
2. Para realizar mediciones de frecuencia en un rango de 255.99 Hz a 0.1 Hz, se utiliza un procedimiento diferente, se realiza la medición del periodo de la señal y posteriormente se obtiene el inverso del número obtenido. Para la medición del periodo de la señal se activan dos interrupciones, que son la del TRM0 y la del TMR1. El TMR1 junto con el valor de su preescalador (PREESC1) y un registro auxiliar llamado POST2 son los registros que almacenan la medición del periodo, cuando se detecta un cambio de estado en el bit 6 del puerto B, se activa el TMR1 y cuando se detectan 2 cambios de estado más (ha transcurrido un periodo completo) se apaga el TMR1. Con el objeto de tener una mayor precisión en la lectura final, el valor del PREESC1 es un valor dinámico que va incrementándose y reconfigurando al TMR1 de acuerdo con la magnitud del periodo de la señal. El registro POST2 almacena el numero de desbordes que se presentan en el TMR1. El TMR0 esta configurado para que si no se presenta un cambio de estado en la señal de entrada en un periodo de 10 segundos, interrumpa al programa y manda una lectura de frecuencia cero al display, para después reinicializar el programa. Cuando ha pasado un periodo completo de la señal, se apagan el TMR0 y el TMR1, posteriormente se procede a verificar el valor de los registros PREESC1 y POST2 para cargar el valor del dividendo que será utilizado en la operación que se ejecuta en la subrutina FX3224U.

La subrutina FX3224U es una división no signada de 32/24 bits, está disponible en el sitio oficial de Microchip y es la que se encarga de realizar la división que invierte el periodo y nos arroja la lectura de frecuencia de la señal.

El dato de frecuencia obtenido se encuentra en base hexadecimal, tiene una longitud de 16 bits y se encuentra en los registros TMR1H y TMR1L, una rutina del programa se encarga de convertirlo a un formato decimal y almacenarlo en 5 registros llamados DISPX. Posteriormente se convierten los datos en BCD contenidos en los registros DISPX a su equivalente en código de 7 segmentos.

Por último el microcontrolador se encarga de acomodar los 5 registros para enviarlos bit a bit por medio de instrucciones de corrimiento hacia el display por medio de uno de los pines del puerto B, así como generar una señal que sirve como señal de reloj para el display.

El display recibe los bits uno por uno junto con la señal de reloj y los va almacenando en 5 registros de corrimiento que están conectados a los 5 displays de 7 segmentos donde finalmente se visualiza la lectura de frecuencia. La frecuencia presentada puede estar en Hertz (Hz), kiloHertz (kHz) o megaHertz (MHz) y esto se indica mediante los tres leds frontales del frecuencímetro.

Ahora bien, debido a que las señales de entrada del circuito contador deben ser señales digitales, es necesario contar con un circuito acondicionador de señales analógicas figura 3. Para la etapa de entrada, la impedancia de entrada es fijada por R2 gracias al transistor de efecto de campo Q2. La protección contra las tensiones de entrada elevadas es asegurada por R1 y los diodos D3 y D4. Q1 se ocupa de la adaptación de la señal para mantenerla en los rangos de operación de un comparador de voltaje de alta velocidad tipo LM529N, el cual tiene salida compatible con TTL, finalmente un inversor schmitt trigger se usa como buffer de salida.

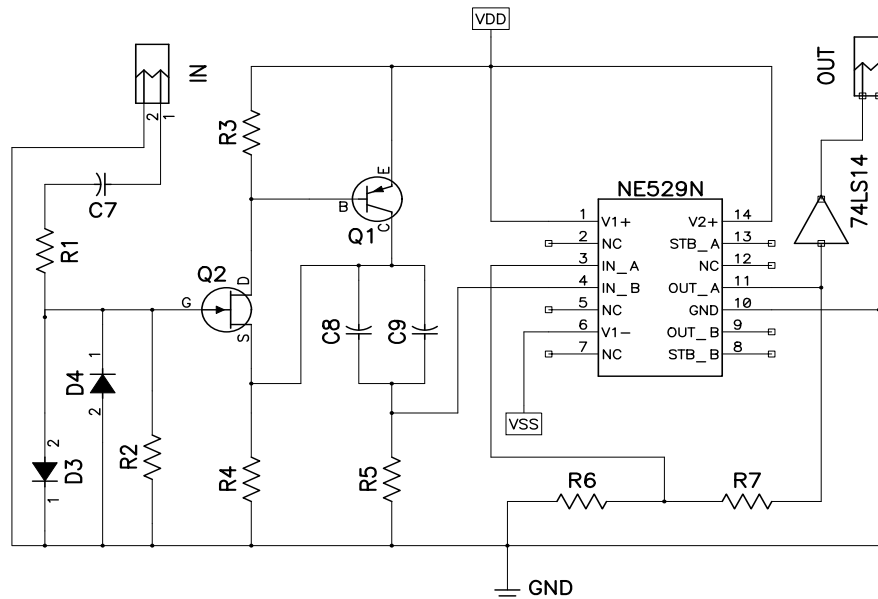


Figura del circuito acondicionador de señales

- 5 -

5. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y MANTENIMIENTO

PROBLEMA	SOLUCIÓN
<i>El equipo no enciende</i>	• Revise que el cable de alimentación este bien conectado en la parte posterior del equipo. • Revise que el fusible este en buen estado.
El equipo enciende pero no mide.	• Revise que el conector BNC-Caimán esté bien conectado en la parte frontal del equipo. • Presione el botón de reset.
El equipo tarda demasiado en dar lectura.	• Cuando la señal de entrada es inferior a 1 Hz, es normal que el tiempo de puerta sea alto, pudiendo llegar hasta 30 segundos para una frecuencia de 0.1 Hz.

Tabla de solución de problemas y mantenimiento

MANTENIMIENTO

Evite que se acumule el polvo sobre el aparato, ya que se pueden deteriorar los controles.

Evite la entrada de polvo al aparato debido a que puede ocasionar sobrecalentamiento de algunos componentes.

Para limpiar los paneles y cubiertas hágalo con un paño suave mojado con una ligera solución jabonosa. No utilice alcohol u otros solventes.

6. ESPECIFICACIONES

Característica	
Impedancia de entrada	1 M Ω
Frecuencia mínima de entrada	0.1 Hz
Frecuencia máxima de entrada	15 MHz
Amplitud mínima de la señal de entrada	0.5 Vpp
Amplitud máxima de la señal de entrada	127 Vpp
Alimentación	127 VCA a 60 Hz
Dimensiones	28x14x36 cm. Ancho, alto, profundo
Peso	

Tabla de especificaciones

7. DIAGRAMAS Y LISTA DE PARTES

Diagrama esquemático del Display

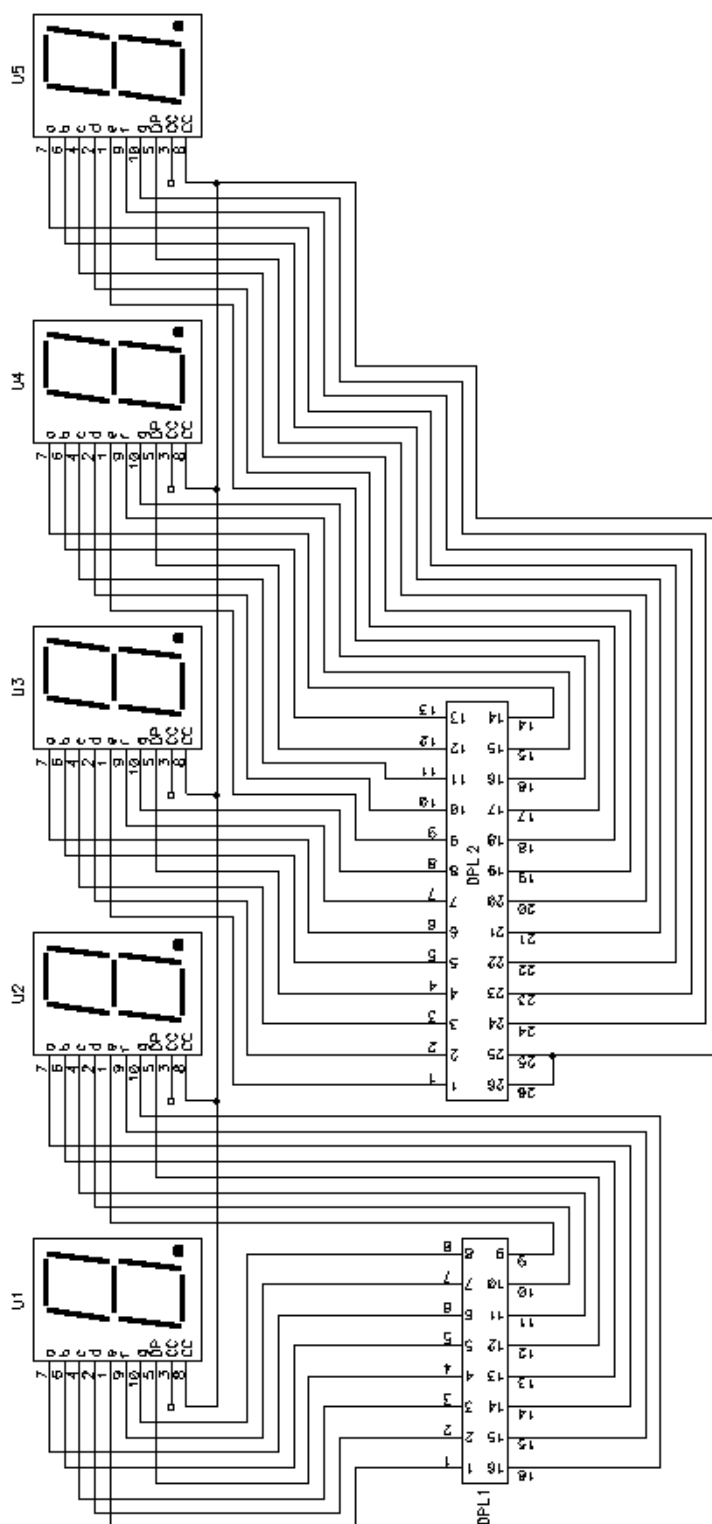
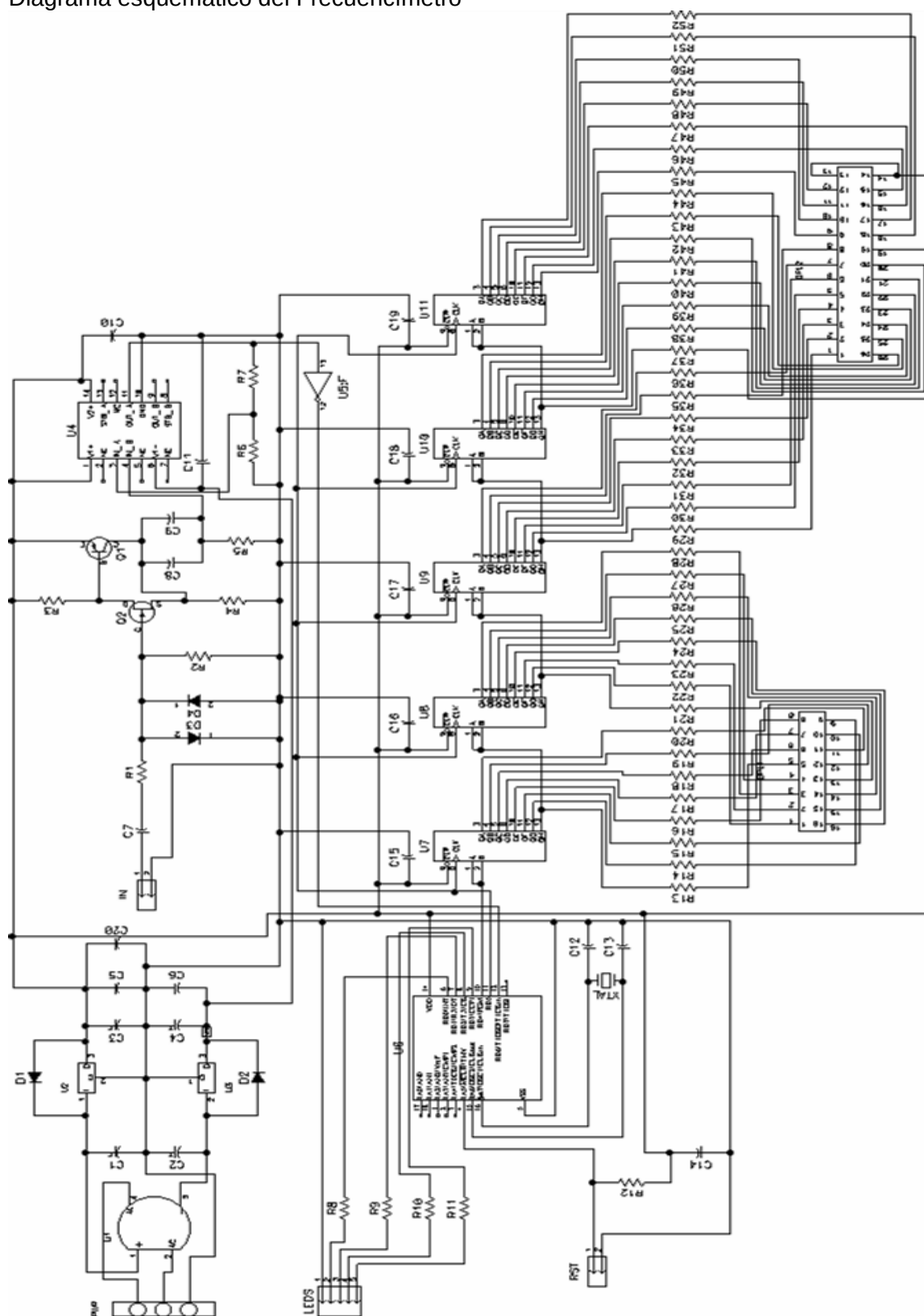
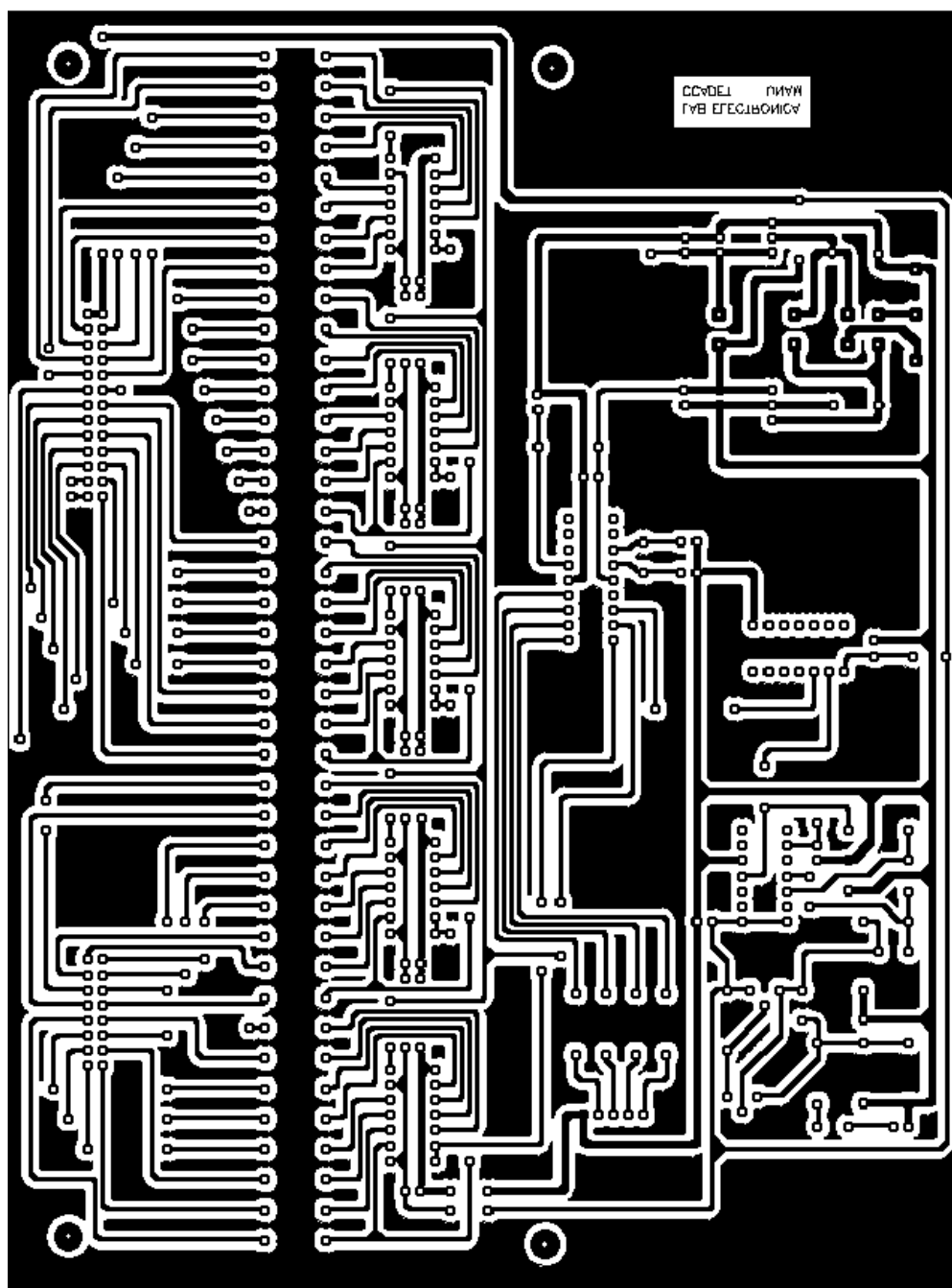


Diagrama esquemático del Frecuencímetro

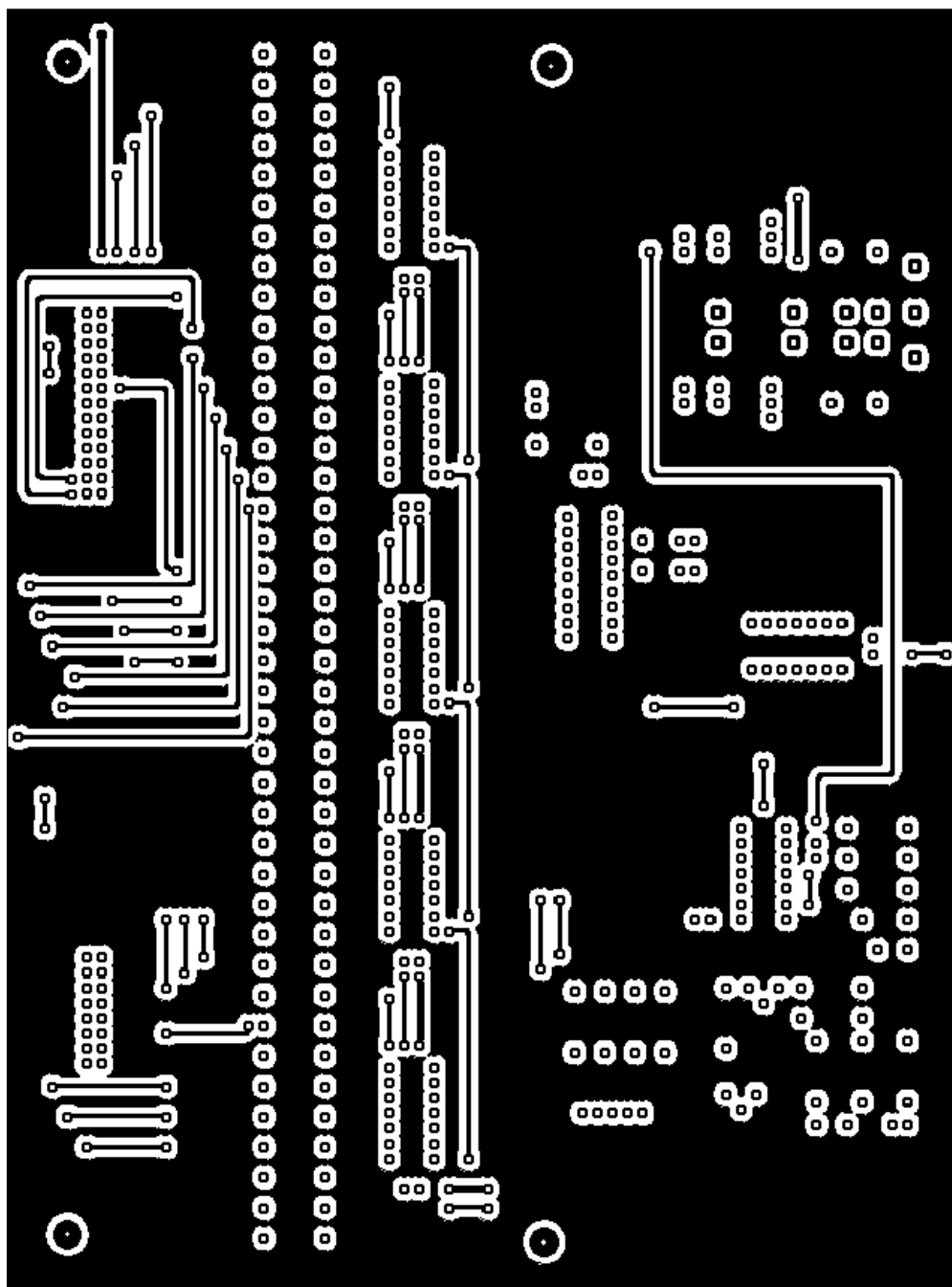


Circuitos impresos del frecuencímetro

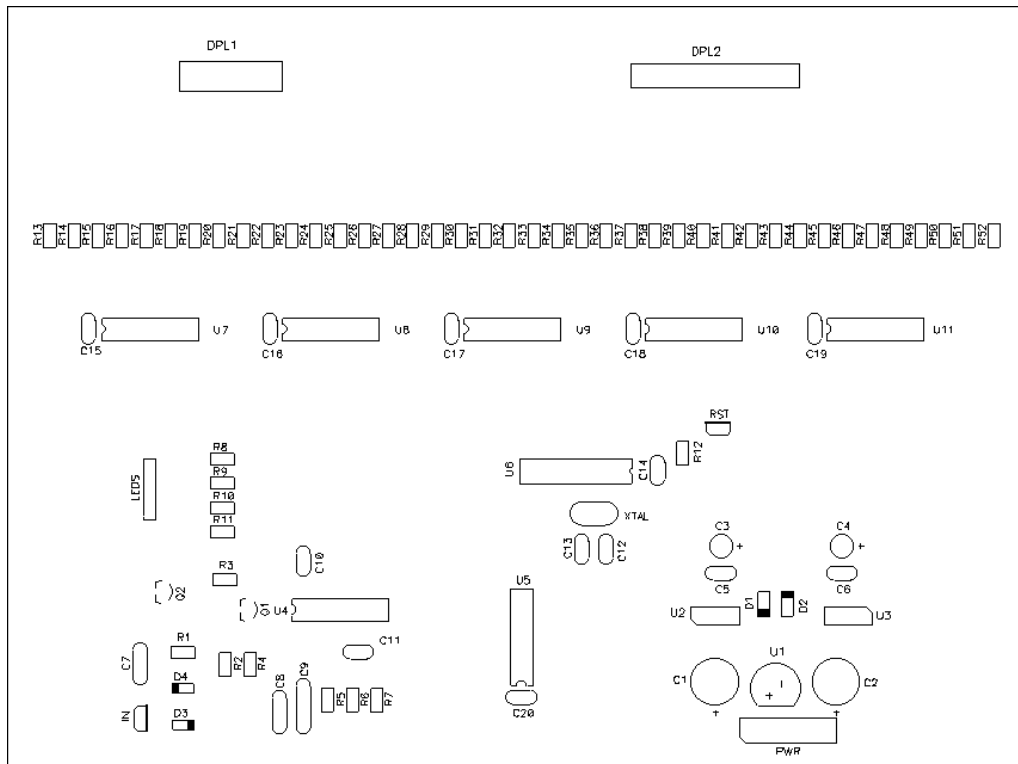
Cara superior



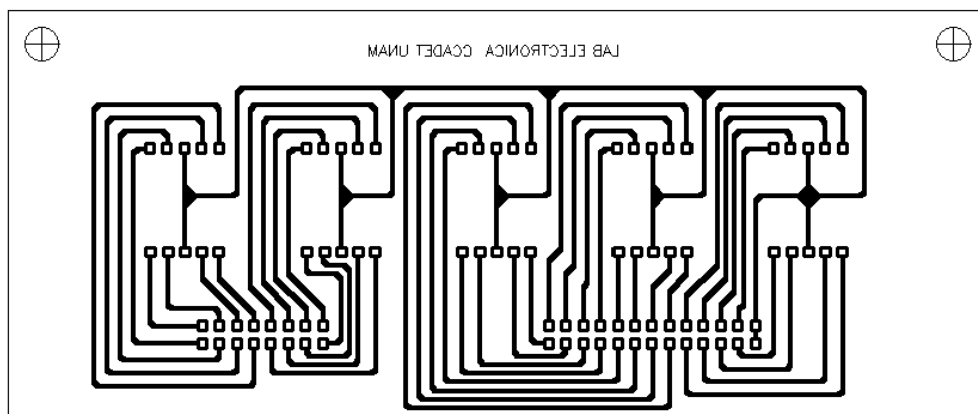
Cara inferior



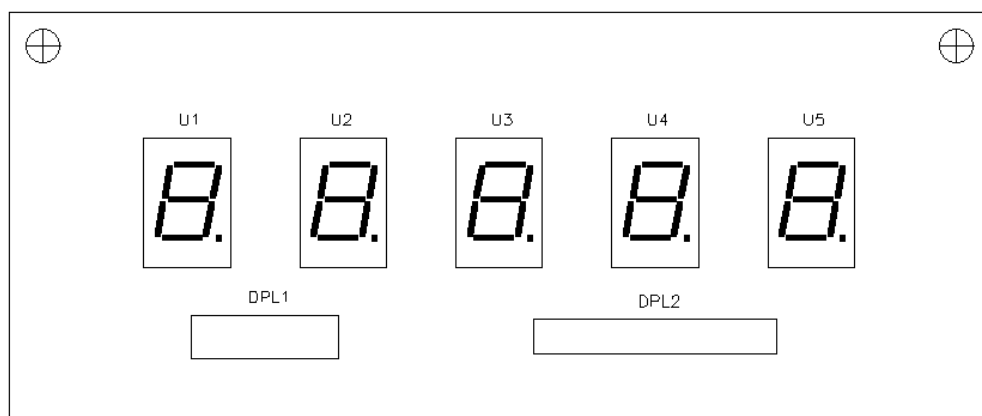
Mascarilla de componentes del Frecuencímetro



Circuito impreso del Display



Mascarilla de componentes del Display



Glosario

- o Aislamiento básico: Aislamiento que se aplica a las partes vivas para proporcionar una protección básica contra la descarga eléctrica.
- o Aparato clase I: Aparato en el cual la protección contra choque eléctrico no se limita exclusivamente a un aislamiento básico, sino que se incluye una medida de seguridad adicional que consiste en una conexión a tierra de todas las partes conductoras accesibles del aparato mismo, por medio de un conductor que forma parte del cordón de alimentación y que se conecta a la instalación eléctrica doméstica, la cual incluye a un tercer conductor y dispositivo de contacto de tierra; de esta manera, las partes conductoras accesibles nunca pueden volverse peligrosas en caso de existir falla del aislamiento básico ya que están permanentemente aterrizadas y un cortocircuito eventual entre la fase de la red y partes accesibles provocan la interrupción de un fusible y la consecuente separación entre la red eléctrica y el aparato.
- o Aparato clase II: Producto que confía no solo en aislamiento básico, sino en un nivel adicional de seguridad por aislamiento suplementario o aislamiento reforzado. Los productos clase II típicamente tienen cordones de alimentación de 2 terminales.
- o Circuito impreso: Placa de material base que incluye todas las perforaciones destinadas a la colocación de componentes y que contiene por lo menos una pista conductora.
- o Corriente de conducción: Corriente en estado constante que circula a través de un material aislante que es sujeto a un alto voltaje.
- o Parte accesible: Es cualquier parte de un aparato que pueda ser tocada con el dedo de prueba.
- o Parte conectada directamente a la red: Es aquella parte de un aparato que está conectada eléctricamente a la red eléctrica de alimentación de tal manera que una conexión entre esa parte y cualquier otro polo, fase o neutro de la red; origina una corriente igual o mayor que 9 A , valor medio de la raíz cuadrática (rcm) o valor eficaz.
- o Parte viva: Es cualquier parte conductora de un aparato, la cual al establecer contacto con el cuerpo humano puede provocar choques o descargas eléctricas.
- o Pista conductora: Configuración de materiales eléctricamente conductores que componen un circuito eléctrico.

- o Prueba de hipot: Mide la capacidad de un producto para soportar la aplicación de alto voltaje aplicado entre el circuito del equipo y tierra.
- o Prueba de resistencia de aislamiento: Mide la calidad del aislamiento eléctrico utilizado en un producto.
- o Prueba de corriente de conduccion: Verifica que la que fluye entre la fuente de CA de un equipo y tierra, no exceda un limite de seguridad.
- o Prueba de continuidad de tierra: Verifica que exista una ruta entre todas las superficies metálicas conductivas expuestas y el sistema de tierra física.
- o Prueba de tipo de un producto: Es la serie completa de pruebas que se llevan a cabo sobre un número de especímenes representativos de un determinado tipo de producto, con el objeto de determinar si este producto, cumple con los requisitos de esta norma y por lo tanto se le puede considerar como seguro para el usuario.
- o Red eléctrica: Es cualquier línea de suministro de energía eléctrica con una tensión de operación superior a 34 V (cresta), la cual se usa también para alimentar aparatos.
- o Resistencia de aislamiento: Es una característica de los materiales aislantes que siendo sujetos a un voltaje, indica una resistencia tal que, el valor de la corriente de salida que fluye a través de ellos, permanece dentro de límites aceptables.
- o Rompimiento: Falla del aislamiento eléctrico de proveer una barrera eléctrica al flujo de corriente.
- o Tensión nominal de alimentación: Es el valor de la tensión o intervalo de tensiones de la red eléctrica.
- o Terminal: Dispositivo parte de un aparato por medio del cual se efectúa una conexión a conductores externos u otros aparatos. Puede contener varios contactos terminales, tales como tomacorrientes, clavijas, receptáculos y similares.

Bibliografía

"Signals & Systems"

Oppenheim, Alan. Willsky, Alan.

Segunda edición. Edit. Prentice-Hall. EUA, 1997.

"Fundamentals of Physics"

Halliday, David. Resnick, Robert.

Revised Printing. John Wiley & Sons, Inc. EUA, 1974

"Norma Oficial Mexicana NOM-001-SCFI-1993, aparatos electrónicos. Aparatos electrónicos de uso doméstico alimentados por diferentes fuentes de energía eléctrica - Requisitos de seguridad y métodos de prueba para la aprobación de tipo"

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), México, 1993.

Disponible en la dirección electrónica:

<http://www.economia.gob.mx/work/normas/noms/1993/001scfi.pdf#search='NOM001SCFI1993'>

"Electrical Safety Testing Reference Guide"

Cuarta edición. Quad Tech Inc. E.U.A., 2002.

"Verification Hipot. Application Note"

Quad Tech Inc. E.U.A., 2005.

"PIC16F62X Datasheet. FLASH-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers"

Microchip Technology Inc. EUA, 1999.

"Página electrónica de la estación Tezontle del Sistema Meteorológico Nacional"

<http://smn.cna.gob.mx/productos/emas/var/df04hr.html>

"Página electrónica de Microchip"

Microchip Technology Inc. EUA, 1999.

http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=64

"Ero-Pic. Microcontroladores PIC"

Página electrónica elaborada por Luis Rueda. Argentina, 2007.

http://perso.wanadoo.es/luis_ju/pic/pic01.html

"Ensayos de aislamiento con los AVO MEGGER"

Página electrónica de AVO Internacional. UNITRONICS. Madrid, España.

<http://www.unitronics.es/Documentos/Megger-5Kv.pdf>