

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA



**Diseño y construcción de un prototipo de
laboratorio del flickermeter IEC 61000-4-15**

PRESENTADO POR:

JULIO CESAR RODRIGUEZ HERRERA

LUIS ALFONSO VALDIVIESO HIDALGO

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ

SECRETARIO GENERAL :

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHAVEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO :

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DIRECTOR :

ING. JOSÉ WILBER CALDERON URRUTIA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título :

**Diseño y construcción de un prototipo de
laboratorio del flickermeter IEC 61000-4-15**

Presentado por :

JULIO CESAR RODRÍGUEZ HERRERA

LUIS ALFONSO VALDIVIESO HIDALGO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS LÓPEZ

San Salvador, Diciembre de 2008

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS LÓPEZ.

ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, 10 de Diciembre de 2008, en la Sala de Lectura , a las diecisiete horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. José Wilber Calderón Urrutia
Director
2. Ing. Salvador de Jesús German
Secretario



Firma:

Wilber Calderón

Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

1. Ing. Marvin Mauricio Flores García
2. Dr. Carlos Eugenio Martínez Cruz

Firma:

Marvin Flores García

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

“Diseño y construcción de un prototipo de laboratorio del flickermeter IEC 61000-4-15”

A cargo de los Bachilleres:

Rodríguez Herrera, Julio César
Valdivieso Hidalgo, Luis Alfonso

Habiendo obtenido el presente Trabajo una nota final, global de: 10.0

(DIEZ PUNTO CERO)

AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso por brindarme salud, seguridad, sabiduría y por derramar muchas bendiciones en mi vida y en mis seres queridos.

A mis padres y hermanos por brindarme protección, cariño, crear en mí una cultura de superación constante y brindarme un apoyo incondicionalmente.

A mi tía Mirna por ser mi segunda madre, brindarme un hogar, alimentación y seguridad.

A mis primos Leonel, Oscar y Mauricio por su hermandad, amistad y apoyo en todo momento.

A mi novia Alba Maria por brindarme su preciosa amistad, paciencia y su apoyo incondicional.

A mis profesores, compañeros y al personal de la EIE por su ayuda.

A mis amigos por su comprensión, paciencia y consejos.

A todos, GRACIAS.

Julio Rodríguez.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiar mis caminos, fortalecer mi espíritu, reprender mis malos actos, enseñarme a amar, sostenerme en pie, bendecirme, confiar en mí y agradecerle por mi vida ya que nunca estuve solo.

Agradezco a Dios por haber iluminado mi vida de seres especiales los cuales estuvieron y compartieron cada segundo, minuto, hora, días y años de mi existencia.

Agradezco a Dios por haberme dado la oportunidad de haber culminado con éxito mi estudio universitario en la carrera de ingeniería eléctrica.

Agradezco a mis padres y hermana ya que sin su comprensión, paciencia, confianza, tolerancia, cariño y amor que me brindaron durante este arduo camino nada de lo que es hoy sería realidad.

Agradezco a todos mis amados familiares que me dieron su apoyo, sabiduría, consejos, recuerdos de gratas alegrías, amor y comprensión los cuales guardare con gran aprecio dentro de mi corazón.

Agradezco a todos mis profesores los cuales me brindaron su enseñanza, tolerancia, paciencia, amistad y confianza. Los cuales agregaron en mí el espíritu de lucha para que cada día tratara de superarme y convertirme así en una persona con preparación, determinación y principios morales.

Agradezco a todos mis queridos amigos que me brindaron su amistad sincera, cariño, confianza, tolerancia, palabras de apoyo. Con los cuales gracias a Dios pude compartir y disfrutar dejando de tras de nuestros caminos las huellas imborrables de los recuerdos perdurables que llevaremos dentro de nosotros por siempre.

Agradezco también a todo aquel desconocido que cruzo sus caminos con los míos y agrego a mí ser sabiduría.

Agradezco de forma especial a todos los que hoy no se encuentran en presencia terrenal conmigo y de los cuales guardo en mi corazón por su ayuda emocional y espiritual la cual me concedieron con sus enseñanzas y actitudes de humildad que reflejaron en sus vidas.

Agradecimientos finales a todos por haber formado parte de mi vida y convertirse en las luces de mi camino las cuales me guiaron a momentos de inimaginable felicidad.

Luis Valdivieso.

I. TABLA DE CONTENIDO

II. LISTADO DE FIGURAS.....	5
III. LISTADO DE TABLAS	9
IV. INTRODUCCIÓN	10
1. MARCO TEORICO.....	12
1.1 ¿QUÉ ES EL FENÓMENO DE FLICKER?.....	12
1.2 RAZONES POR LAS QUE PUEDE OCURRIR FLICKER.....	12
1.3 LAS FLUCTUACIONES DE VOLTAJE EN EL ORIGEN DEL FLICKER	12
1.4 DESCRIPCIÓN DE LAS FLUCTUACIONES DE VOLTAJE EN EL ORIGEN DEL FLICKER.....	12
1.5 OTROS ORÍGENES DEL FLICKER	13
1.5.1 MAL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	13
1.5.2 ELEMENTOS PERTURBADORES.....	13
1.5.2.1 El horno de arco.....	13
1.5.2.2 Máquinas con cargas fluctuantes	13
1.5.2.3 Reguladores de potencia con tiristores	14
1.5.2.4 Los equipos de soldadura.....	14
1.6 DEFINICIÓN TEÓRICA DE LA MOLESTIA, CUANTIFICACIÓN Y MEDIDA DEL FLICKER	14
1.7 EXPLICACIÓN MATEMÁTICA DEL ORIGEN DEL FLICKER.....	14
1.8 MÉTODO ESTADÍSTICO PARA LA MEDICION DE P_{ST} Y P_{LT}	16
1.8.1 ÍNDICES DE EVALUACION DEL FLICKER	16
1.8.1.1 Índice de severidad de Flicker de corta duración – P_{st}	16
1.8.1.2 Índice de severidad de Flicker de larga duración – P_{lt}	17
1.9 MODELO MATEMÁTICO DE FLICKER.....	17
1.10 CURVA DE PERCEPTIBILIDAD DE FLICKER SEGÚN LA NORMA IEC 61000-4-15	19
1.11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
2. EL FLICKERMETER BASADO EN LA NORMA IEC 61000-4-15....	22
2.1 INTRODUCCIÓN DE LA NORMA IEC 61000-4-15	22
2.2 DESCRIPCION DE CADA ETAPA DEL FLICKERMETER	24
2.2.1 BLOQUE #1: EL ADAPTADOR DE VOLTAJE Y VERIFICACION DE CALIBRACION.....	24
2.2.1.1 Detector y control de Ganancia	24
2.2.1.2 Generador de señal para la calibración	26
2.2.2 BLOQUE #2: APLICACIÓN DE LA LEY DE DEMODULACIÓN CUADRADA	28
2.2.3 BLOQUE #3: FILTROS DE PONDERACIÓN	28
2.2.3.1 Filtro Pasa Banda:	28
2.2.3.2 Filtro de Ponderación:.....	29
2.2.3 BLOQUE #4: MULTIPLICADOR CUADRATICO Y ALISAMIENTO LA SEÑAL.....	40
2.2.4 BLOQUE #5: LINEA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	43

2.2.6 ANÁLISIS TEÓRICO DEL PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL DE LOS BLOQUES 2,3 Y 4.....	45
2.2.6.1 Señal Modulada a la Entrada del Demodulador Cuadrático.....	45
2.2.6.2 Señal Demodulada a la Salida del Bloque 2 (Demodulador Cuadrático)	45
2.2.6.3 Entrada al Primer Filtro del Bloque 3	46
2.2.6.4 Salida del Primer Filtro del Bloque 3.....	46
2.2.6.5 Salida del Filtro de Ponderación	46
2.2.6.6 Entrada al Bloque 4	46
2.2.6.7 Salida de la Etapa “Multiplicador Cuadrático” en el Bloque 4.....	46
2.2.6.8 Salida de la “Etapa de Filtrado” en el Bloque 4.....	47
2.2.6.9 Factor K de ajuste.....	47
2.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
3 DISEÑO DEL FLICKERMETER EN LABVIEW BASADO EN LA NORMA IEC 61000-4-15	51
3.1 INTERFASE UTILIZADA PARA LA RECOLECCIÓN DE LA SEÑAL DE VOLTAJE HACIA LA PC	51
3.1.1 BLOQUE #1: EL ADAPTADOR DE VOLTAJE Y VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN.....	51
3.1.1.1 Sistema de Acondicionamiento de la Señal.....	52
3.1.1.2 Detector y Control de Ganancia.....	62
3.1.1.3 Código Labview para el Generador de Señales en la etapa de Calibración del Instrumento.....	62
3.1.2 BLOQUE #2: DEMODULACIÓN CUADRADATICA.....	63
3.1.3 BLOQUE #3: FILTROS DE PONDERACIÓN.....	64
3.1.4 BLOQUE #4: MULTIPLICADOR CUADRATICO Y ALISAMIENTO DE LA SEÑAL.....	65
3.1.5 BLOQUE #5: ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN TIEMPO REAL.....	65
3.1.6.1 Salida del bloque 2.....	67
3.1.6.2 Salida del filtro pasa banda en el bloque 3	67
3.1.6.3 Salida del bloque 4.....	69
3.1.7 CONTROL DEL TIEMPO PARA LA EVALUACIÓN DEL P_{st} Y P_{lt}	69
3.1.8 ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS	70
3.2 PANELES FRONTALES DEL FLICKERMETER.....	72
3.2.1 PANEL PRINCIPAL: Señal de calibración del instrumento.....	72
3.2.2 PANEL PRINCIPAL : Control de tiempo	73
3.2.3 PANEL PRINCIPAL: Señal de voltaje externa	74
3.2.4 ENVOLVENTE DE LA SEÑAL Y NIVEL INSTANTANEO DE FLICKER.....	75
3.2.4.1 Envolverte de la señal.....	75
3.2.4.2 Nivel Instantáneo de Flicker (IFL).....	75
3.2.5 VALORES DE P_{st} Y P_{lt}	76
3.2.5.1 Valor de P_{st} y gráficas de todos los valores calculados	76
3.2.5.2 Valor de P_{lt} y gráficas de todos los valores calculados.....	77
3.2.6 GRÁFICAS DE $\Delta V/V$ V_{rs} FRECUENCIA, FFT y SAG, SWELL E INTERRUPCIONES.....	78
3.2.6.1 GRÁFICA DE $\Delta V/V$ Y FRECUENCIA	78
3.2.6.2 FFT.....	78
3.2.6.3 SAG & SWELL E INTERRUPCIONES	79
3.2.7 TABLAS DE DATOS.....	80
3.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

4	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MEDIDOR DE FLICKER	82
4.1	MODELOS DE FLICKER PARA EL ENSAYO DE LA MEDIDA DE FLICKER.....	82
4.2	ESPECIFICACIONES DE ENSAYO PARA EL BLOQUE 5 DEL FLICKERMETER.....	82
4.3	ESPECIFICACIONES DE ENSAYO PARA LA SALIDA DEL BLOQUE 4	82
4.3.1	<i>TABLAS PARA LOS ENSAYOS A LA SALIDA DEL BLOQUE 4 PARA EL MEDIDOR DE FLICKER.</i>	82
4.4	DETECCIÓN O REGISTRO DE BANDERAS (FLAGGING).....	85
4.4.1	<i>CONCEPTO DE BANDERAS (FLAGGING)</i>	85
4.4.2	DETECTOR DE SAG O DIG, SWELL E INTERUPCIÓN	85
4.4.2.1	SAGS (DIPS).....	85
4.4.2.2	SWELL.....	86
4.4.2.3	INTERRUPCIONES.....	87
4.5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
5	ENSAYOS DE CALIBRACIÓN PARA EL MEDIDOR DE FLICKER.	89
5.1	RESULTADOS DE LA PRUEBA PARA LA SALIDA DEL CLASIFICADOR (BLOQUE 5).....	89
5.2	PRUEBAS DEL MARGEN DE MAGNITUD DEL INSTRUMENTO	90
5.3	PRUEBA PARA COMPROBAR LA LINEALIZACIÓN DEL INSTRUMENTO.....	92
5.4	PRUEBAS PARA LA SALIDA DEL BLOQUE 4 (IFL)	94
5.5	RESULTADOS OBTENIDOS CON OTRAS PRUEBAS PARA EL CLASIFICADOR (BLOQUE 5).....	96
5.6	CIRCUITO VIRTUAL ELABORADO EN LABVIEW PARA EL CÁLCULO DE SAG, SWELL E INTERRUPCIÓN.....	98
5.7	CURVAS DE PERCEPTIBILIDAD DEL INSTRUMENTO CONSTRUIDO EN LABVIEW	99
5.7.1	<i>CURVA DE PERCEPTIBILIDAD BASADA EN VARIACIONES DE VOLTAJE SINUSOIDALES.</i>	99
5.7.2	<i>CURVA DE PERCEPTIBILIDAD BASADA EN VARIACIONES DE VOLTAJE RECTANGULARES.</i>	101
5.8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
6	RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DEL INSTRUMENTO	106
6.1	PRIMERA MEDICIÓN: REALIZADA DEL 26/09/2008 HASTA 03/10/2008.....	106
6.2	SEGUNDA MEDICIÓN: REALIZADA DEL 09/10/2008 HASTA 16/10/2008.....	110
6.3	TERCERA MEDICIÓN: REALIZADA DEL 07/11/2008 HASTA 21/11/2008.....	114
7.	CONCLUSIONES.....	118

ANEXOS	121
A.1 SIGNIFICADO DE $\frac{\Delta V}{V}$ Y NÚMERO DE CAMBIOS POR MINUTO	122
A.2 INSTRUMENTOS VIRTUALES UTILIZADOS:	124
A.3 FLIKERMETER PARA UN SISTEMA DE 230 V	130
A.4 ANALIZADOR DE DATOS EN LABVIEW.	133
<i>A.4.1 PORTADA.</i>	<i>133</i>
<i>A.4.2 CARGAR DATOS DE ORIGEN.</i>	<i>133</i>
<i>A.4.3 VERIFICACION DE CADA P_{st} Y SU ESPECTRO DE FRECUENCIA.</i>	<i>134</i>
<i>A.4.4 TABLA RESUMEN.</i>	<i>135</i>
<i>A.4.5 CURVA DE PERCEPTIBILIDAD.</i>	<i>137</i>
A.5 MEDICIONES PRELIMINARES.	143
A.6 DAQ 6008	149

II. LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1.1 Variaciones del voltaje y origen del flicker este se debe a variaciones de corrientes I que recorren la impedancia de la red.	15
FIGURA 1.2 Representación del Flicker Sinusoidal $w_m = 2\pi \cdot 8.8$ rad/s	18
FIGURA 1.3 Representación del Flicker Rectangular $w_f = 2\pi \cdot 8.8$ rad/s.....	19
FIGURA 1.4 Curva de Perceptibilidad del Flicker.	19
FIGURA 2.1 Cadena lámpara – Ojo – Cerebro.....	22
FIGURA 2.2 Diagrama funcional del medidor de flicker IEC 61000-4-15.....	23
FIGURA 2.3 Diagrama en detalle del bloque 1	24
FIGURA 2.4 Normalización del voltaje.....	24
FIGURA 2.5 Esquema de normalización.....	25
FIGURA 2.6 Señal proveniente de la red eléctrica.	25
FIGURA 2.7 Señal de la red eléctrica normalizada.	26
FIGURA 2.8 Variación de voltaje sinusoidal $\Delta V/V=40\%$, 8.8Hz a la entrada.	26
FIGURA 2.9 Variación de voltaje sinusoidal $\Delta V/V=40\%$, 8.8Hz normalizada.	27
FIGURA 2.10 Variación de voltaje rectangular $\Delta V/V=40\%$, 8.8Hz a la entrada.....	27
FIGURA 2.11 Variación de voltaje rectangular $\Delta V/V=40\%$, 8.8Hz normalizada.	27
FIGURA 2.12 Esquema en detalle del bloque 2.	28
FIGURA 2.13 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud expresada en V/V para el filtro pasa banda de la cascada del filtro de ponderación.	31
FIGURA 2.14 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud expresada en dB para el filtro pasa banda de la cascada del filtro de ponderación.	31
FIGURA 2.15 Diagrama de bode de la respuesta en fase expresada en grados para el filtro pasa banda de la cascada del filtro de ponderación.	32
FIGURA 2.16 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud expresada en V/V para el filtro general de la cascada del filtro de ponderación.	33
FIGURA 2.17 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud expresada en dB para el filtro general de la cascada del filtro de ponderación.	34
FIGURA 2.18 Diagrama de bode de la respuesta en fase para el filtro general de la cascada del filtro de ponderación.	34
FIGURA 2.19 Diagrama de bode en magnitud expresada en V/V para el filtro paso bajo de la cascada del filtro de ponderación.....	36
FIGURA 2.20 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud expresada en dB para el filtro paso bajo de la cascada del filtro de ponderación.....	36
FIGURA 2.21 Diagrama de bode de la respuesta en fase expresada en grados para el filtro paso bajo de la cascada del filtro de ponderación.....	37
FIGURA 2.22 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud expresada en V/V del filtro de ponderación.....	38
FIGURA 2.23 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud expresada en dB del filtro de ponderación.....	38
FIGURA 2.24 Diagrama de bode de la respuesta de fase expresada en grados del filtro de ponderación.....	39
FIGURA 2.25 Diagrama esquemático del bloque 3.....	39
FIGURA 2.26 Diagrama esquemático del bloque 4.....	40
FIGURA 2.27 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud, expresada en V/V, del filtro de desplazamiento.....	41

FIGURA 2.28 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud, expresada en dB, del filtro de desplazamiento.....	41
FIGURA 2.29 Diagrama de bode de la respuesta en fase, expresada en grados, del filtro de desplazamiento.....	42
FIGURA 2.30 Diagrama esquemático del bloque 5.....	44
FIGURA 3.1 Diagrama de conexión para recolección de datos.....	51
FIGURA 3.2 Diagrama esquemático para recolección de datos a la PC.....	51
FIGURA 3.3 Diagrama de conexión a la red eléctrica.....	52
FIGURA 3.4 Diagrama eléctrico del Sistema de Acondicionamiento de la Señal.....	53
FIGURA 3.5 Voltaje RMS que se espera en el circuito eléctrico y a la entrada de la DAQ ...	54
FIGURA 3.6 Señal a la entrada de la DAQ, mostrada desde Labview.....	55
FIGURA 3.7 Diagrama de componentes físicos más las pistas de cobre del circuito de acondicionamiento de señales.....	55
FIGURA 3.8 Diagrama de componentes del circuito de acondicionamiento de señales.....	56
FIGURA 3.9 Diagrama de pistas del circuito de acondicionamiento de señales.....	56
FIGURA 3.10 Panel de calibración de la DAQ.....	57
FIGURA 3.11 Selección de la magnitud física a medir.....	58
FIGURA 3.12 Selección de la DAQ y del puerto analógico.....	58
FIGURA 3.13 DAQ assistant.....	59
FIGURA 3.14 Diagrama de conexión físico de la DAQ.....	60
FIGURA 3.15 Diagrama de bloques en LABVIEW para el DAQ ASSISTANT.....	60
FIGURA 3.16 Código en Labview del bloque DAQ ASSISTANT.....	61
FIGURA 3.17 Código Labview del bloque DAQ ASSISTANT con sobre escritura “Overwrite”.....	61
FIGURA 3.18 Código Labview para adquisición de la señal en el Flickermeter.....	61
FIGURA 3.19 Código Labview para el detector y control de ganancia.....	62
FIGURA 3.20 Código Labview para la etapa de calibración.....	62
FIGURA 3.21 Código Labview para el bloque 1 del Flickermeter.....	63
FIGURA 3.22 Código Labview para el bloque 2 del Flickermeter.....	63
FIGURA 3.23 Código Labview del bloque 3 del Flickermeter.....	64
FIGURA 3.24 Código Labview del bloque 4 del Flickermeter.....	65
FIGURA 3.25 Diagrama del bloque 5 implementado en Labview.....	66
FIGURA 3.26 Forma de onda a la salida del demodulador cuadrático.....	67
FIGURA 3.27 Forma de onda a la salida del pasa banda del bloque 3.....	67
FIGURA 3.28 Forma de onda a la salida del filtro de ponderación.....	68
FIGURA 3.29 Forma de onda a la salida del bloque 4 para $\Delta V/V= 0.321\%$, 8.8Hz.....	69
FIGURA 3.30 Código en LabView para la sincronización de tiempo con LabView y la PC.....	70
FIGURA 3.31 Flujoograma de recolección de datos.....	71
FIGURA 3.32 Panel de calibración del Flickermeter.....	73
FIGURA 3.33 Panel de control de parámetros de tiempo y datos de recolección y almacenamiento.....	74
FIGURA 3.34 Panel graficador de señales.....	74
FIGURA 3.35 Panel donde muestra la señal envolvente.....	75
FIGURA 3.36 Panel de graficador del nivel instantáneo de flicker (IFL).....	76
FIGURA 3.37 Presentación del P_{st}	77
FIGURA 3.38 Presentación del P_{lt}	77
FIGURA 3.39 Panel de $\Delta V/V$ Vrs. Frecuencia.....	78

FIGURA 3.40 Panel de la grafica de FFT.....	79
FIGURA 3.41 Panel de fenómenos en el voltaje.....	79
FIGURA 3.42 Panel gráfico de resultados.....	80
FIGURA 4.1 Representación de un SAG O DIP.....	86
FIGURA 4.2 Representación de un SWELL.....	86
FIGURA 4.3 Representación de una interrupción.....	87
FIGURA 5.1 Representación lineal de los resultados realizados al clasificador.....	89
FIGURA 5.2 Representación en barras de los resultados realizados al clasificador.....	90
FIGURA 5.3 Resultados obtenidos del ensayo para el margen de la magnitud.....	91
FIGURA 5.4 Resultados obtenidos del ensayo para el margen de la magnitud.....	91
FIGURA 5.5 GRÁFICO de linealidad.....	93
FIGURA 5.6 Gráfico del error Vrs. $\Delta V/V$ del ensayo de linealidad.....	93
FIGURA 5.7 Resultados obtenidos de la tabla 5.6.....	97
FIGURA 5.8 Resultados obtenidos de la tabla 5.6.....	97
FIGURA 5.9 Diagrama de bloques correspondiente del detector de SAG &SWELL o interrupciones.....	98
FIGURA 5.10 Gráfico ilustrativo de un fenómeno captado durante una medición del medidor de flicker.....	98
FIGURA 5.11 Curva de perceptibilidad para variaciones sinusoidales.....	100
FIGURA 5.12 P_{st} conforme a la curva de perceptibilidad para variaciones sinusoidales....	100
FIGURA 5.13 Curva de perceptibilidad para variaciones rectangulares.....	102
FIGURA 5.14 P_{st} conforme a la curva de perceptibilidad para variaciones rectangulares....	102
FIGURA 5.15 Curvas de perceptibilidad para variaciones sinusoidales y rectangulares.....	103
FIGURA 5.16 P_{st} para las dos curvas de perceptibilidad.....	104
FIGURA 5.17 P_{st} para las dos curvas de perceptibilidad.....	104
FIGURA 6.1 P_{st} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008, con bandera.....	106
FIGURA 6.2 P_{st} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008, sin bandera.....	107
FIGURA 6.3 P_{lt} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008, con bandera.....	107
FIGURA 6.4 P_{lt} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008, sin bandera.....	108
FIGURA 6.5 Valores máximos de $\Delta V/V$ y frecuencia en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008, con bandera.....	108
FIGURA 6.6 Valores máximos de $\Delta V/V$ y frecuencia en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008, sin bandera.....	109
FIGURA 6.7 Fenómenos capturados para el período de medición de 26/09/2008 hasta 03/10/2008.....	109
FIGURA 6.8 P_{st} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 09/10/2008 hasta 16/10/2008, con bandera.....	110
FIGURA 6.9 P_{st} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 09/10/2008 hasta 16/10/2008, sin bandera.....	111
FIGURA 6.10 P_{lt} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 09/10/2008 hasta 16/10/2008, con bandera.....	111
FIGURA 6.11 P_{lt} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 09/10/2008 hasta 16/10/2008, sin bandera.....	112

FIGURA 6.12 Valores máximos de $\Delta V/V$ y frecuencia en el período comprendido del 09/10/2008 hasta 16/10/2008, con bandera.	112
FIGURA 6.13 Valores máximos de $\Delta V/V$ y frecuencia en el período comprendido del 09/10/2008 hasta 16/10/2008, sin bandera.	113
FIGURA 6.14 Fenómeno capturado para el período comprendido del 09/10/2008 hasta 16/10/2008.	113
FIGURA 6.15 P_{st} calculados en el período de medición comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008, con bandera.	114
FIGURA 6.16 P_{st} calculados en el período de medición comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008, sin bandera.	115
FIGURA 6.17 P_{lt} calculados en el período de medición comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008, con bandera.	115
FIGURA 6.18 P_{lt} calculados en el período de medición comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008, sin bandera.	116
FIGURA 6.19 Valores máximos de $\Delta V/V$ y frecuencia en el período comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008, sin bandera.	116
FIGURA 6.20 Valores máximos de $\Delta V/V$ y frecuencia en el período comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008, sin bandera.	117
FIGURA 6.21 Fenómenos capturados para el período comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008.	117
FIGURA A.1.a Variación de voltaje rectangular.	123
FIGURA A.1.b Diagrama que muestra cada cambio de voltaje el cual es de 17.6 por segundo.	123
FIGURA A.3.a Diagrama de bode en magnitud para el filtro de ponderación a 230V, 50Hz.	130
FIGURA A.3.b Diagrama de bode en dB para el filtro de ponderación a 230V, 50Hz.	131
FIGURA A.3.c Diagrama de bloques de la etapa 3.	132
FIGURA A.4.a Panel donde se muestra la portada del analizador de datos del instrumento.	133
FIGURA A.4.b Panel para buscar la ubicación de los archivos que contengan los datos.	134
FIGURA A.4.c Panel analizador de cada valor de P_{st}	134
FIGURA A.4.d Panel que muestra los datos y gráfico de la medición de P_{st} sin banderas.	135
FIGURA A.4.e Panel que muestra los datos y gráfico de la medición de P_{st} con banderas.	135
FIGURA A.4.f Panel que muestra los datos y gráfico de la medición de P_{lt} sin banderas.	136
FIGURA A.4.g Panel que muestra los datos y gráfico de la medición de P_{lt} con banderas.	136
FIGURA A.4.h Panel que muestra el espectro de todos los $\Delta V/V$ y frecuencia de cada período de medición de 10 minutos. (a) sin Banderas y (b) con banderas.	137
FIGURA A.4.i Panel en el cual se pueden ver los fenómenos de voltaje ocurridos durante la medición.	138
FIGURA A.4.j Panel en el cual se pueden ver los fenómenos de voltaje ocurridos durante la medición.	139
FIGURA A.5.a Gráfico comparativo de las curvas de P_{st} de datos extraídos del TOPAS e instrumento en LABVIEW para la fecha de 30/06/2008.	144
FIGURA A.5.b Gráfico comparativo de las curvas de P_{st} de datos extraídos del TOPAS e instrumento en LABVIEW en el periodo de medición de 03/07/2008.	146
FIGURA A.5.c Gráfico comparativo de las curvas de P_{st} extraídas del TOPAS e instrumento en LABVIEW para la fecha de 08/07/2008.	148

III. LISTADO DE TABLAS

TABLA. 2.1 Método de los quince puntos para el cálculo de P_{st}	43
TABLA 4.1 Especificaciones de ensayo para el clasificador del medidor de flicker.	82
TABLA 4.2 Respuesta del flickermeter normalizado para fluctuaciones de voltaje rectangulares	83
TABLA 4.3 Respuesta del flickermeter normalizado para fluctuaciones de voltaje sinusoidales.....	84
TABLA 4.4 Clasificación y características típicas de fenómenos electromagnéticos.	87
TABLA 5.1 Resultados de las pruebas realizadas al clasificador (bloque 5).....	89
TABLA 5.2 Resultados de la calibración para el margen de magnitud bloque 5.	90
TABLA 5.3 Resultados de la linealidad del instrumento.....	92
TABLA 5.4 Resultados de la salida del bloque 4 con variaciones rectangulares de voltaje....	94
TABLA 5.5 Resultados de la salida del bloque 4 con variaciones sinusoidales de voltaje.	95
TABLA 5.6 Resultados obtenidos de la prueba a la salida del clasificador basado en valores de variaciones rectangulares tomados de [3].....	96
TABLA 5.7 Valores y resultados para la Curva de perceptibilidad basada en variaciones de voltaje sinusoidales.....	99
TABLA 5.8 Valores y resultados para la Curva de perceptibilidad basada en variaciones de voltaje rectangulares.....	101
TABLA 6.1 Resultados de P_{st} para el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008.....	106
TABLA 6.2 Resultados de P_{It} para el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008.....	107
TABLA 6.3 Resultados de P_{st} para el período comprendido del 09/10/2008 hasta 16/10/2008.....	110
TABLA 6.4 Resultados de P_{It} para el período comprendido del 09/10/2008 hasta 16/10/2008.....	111
TABLA 6.5 Resultados de P_{st} para el período comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008.....	114
TABLA 6.6 Resultados de P_{It} para el período comprendido del 07/11/2008 hasta 24/11/2008.....	115
TABLA. A.2.a Componentes virtuales utilizados para la programación.....	124
TABLA A.5.a Resultados de la comparación de medición del topas vrs diseño del presente trabajo realizada el 30/06/2008.....	143
TABLA A.5.b Resultados de la comparación de medición del topas vrs diseño del presente trabajo realizada el 03/07/2008.....	145
TABLA A.5.c Resultados de la comparación de medición del topas vrs diseño del presente trabajo realizada el 08/07/2008.....	146

IV. INTRODUCCIÓN

El parpadeo de las luminarias eléctricas fue el primer problema de Power Quality observado y analizado. La iluminación fue la primera aplicación en gran escala de la electricidad. A finales de los años treinta, las distribuidoras ya habían elaborado curvas de percepción e irritación del ojo humano al parpadeo provocado por las fluctuaciones de voltaje.

Siendo estrictos, el flicker no es un fenómeno electromagnético; sino la consecuencia (en luminarias eléctricas) de fluctuaciones de voltaje que ocurren generalmente en el rango de 0.5 a 25 Hz. Esto provoca un fenómeno de modulación en amplitud de la onda 60Hz, en donde las fluctuaciones de voltaje constituyen la envolvente. Estas frecuencias coinciden con el rango de frecuencia en donde la sensibilidad del ojo humano es mayor (6-10 variaciones por segundo). Las fluctuaciones de voltaje son producidas por cargas con variaciones rápidas de la demanda de potencia reactiva.

El presente proyecto de graduación se basa en la realización de un instrumento que sea capaz de medir las variaciones de voltaje y frecuencia también llamadas parpadeos o efecto flicker que se producen en la red de alimentación y que en algunos casos son muy visibles para el ojo humano en dispositivos como lámparas, monitores, etc..

Las variaciones de voltaje son uno de los peores eventos de calidad de energía debido a sus efectos perjudiciales sobre sistemas de control y electrónicos sensibles a la calidad de la onda de voltaje. Otra molestia importante que causa este efecto es en la visión ya que provoca cansancio prematuro de la vista e irritabilidad de las pupilas por estar en continua dilatación y contracción ajustando al nivel de luz que se este presente en determinado tiempo.

La frecuencia de parpadeo es apreciable por el sistema lámpara- ojo-cerebro, cuando está comprendida en un rango de frecuencias que se extiende desde 0,05 Hz hasta 42 Hz en redes de 60 Hz y voltaje nominal de 120 V.

Estadísticamente la sensibilidad máxima del ojo se produce a una fluctuación de 8,8 Hz, tal que la variación periódica de voltaje en 0,321% para 120V 60 Hz lo cual se percibe como parpadeo.

Todo lo anterior es importante para dar una idea más clara del efecto que causa este fenómeno en los sistemas y salud, la importancia de este estudio es llevar a cabo la

elaboración del instrumento con todos los requerimientos que se especifican para su construcción y sus diferentes etapas.

El diseño del software se basará en la medición de los voltajes a través del paso de las etapas que simulan ojo y cerebro humano así como también habrá una etapa que simulará la respuesta de una lámpara hasta llegar a la etapa de evaluación estadística la cual nos proporcionará los valores de severidad del flicker conocidos como P_{st} y P_{lt} .

La norma IEC 61000-4-15 define los requerimientos de los medidores de flicker (FLICKERMETER). Es deseable que dos diferentes medidores diseñados de acuerdo a la IEC 61000-4-15, bajo condiciones de prueba similares, produzcan el mismo resultado. Estos medidores se usan tanto para verificar el cumplimiento de normas de calidad de la energía nacionales o internacionales; como para analizar problemas causados por cargas instaladas por los consumidores. Los flickermeter producen dos resultados: P_{st} y P_{lt} , es decir el flicker de corta duración y larga duración. La medición base es el P_{st} , un valor de 1.0 indica que el 50% de los observadores en una habitación perciben el parpadeo. Las normas de calidad de la energía usualmente establecen un límite abajo de 1.0 para el P_{st} .

Para la implementación del circuito virtual se utilizara LABVIEW, este programa ofrece las herramientas necesarias de cálculo y procesamiento de las señales requeridas en el presente proyecto.

1. MARCO TEORICO

1.1 ¿QUÉ ES EL FENÓMENO DE FLICKER?

Es el nivel de molestia que percibe un observador medio como consecuencia de la variación en la luminosidad de una lámpara, ocasionada por fluctuaciones rápidas del voltaje, que causan variaciones en la iluminación, que pueden causar fenómenos visualmente perceptibles, en adelante se llamará severidad de Flicker ó simplemente Flicker, esta perturbación aumenta rápidamente con la amplitud y la frecuencia de las fluctuaciones. El índice de severidad de Flicker de corta duración (P_{st}) se calcula según [1] en períodos de 10 minutos; " P_{st} " significa (short time). El índice de severidad de Flicker de larga duración P_{lt} se calcula, tomando el promedio cúbico de 12 valores P_{st} continuos (12 intervalos de 10 minutos = 1 intervalo P_{lt} de 2 h). La intensidad de la fluctuación no debe exceder un valor de $P_{lt}= 1.00$ durante 95% de una semana. Este índice sin embargo ha sido establecido por la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) con un método subjetivo: Cuando el 50% de 100 personas en una sala apenas notan variaciones en una lámpara de 230V / 60W o su equivalente 120V/60W representa un índice de severidad de Flicker con $P_{st}= 1.00$

1.2 RAZONES POR LAS QUE PUEDE OCURRIR FLICKER

1.2.1 Por la variación fluctuante de potencia que absorben diversos receptores: hornos de arco, máquinas de soldar, motores, etc.

1.2.2 Por la puesta en marcha ó desenergizar cargas importantes tales como: arranque de motores, maniobras de bancos de capacitores en escalones, etc.

El flicker es especialmente estudiado para las lámparas de incandescencia, el flicker es importante según el tipo de fuente luminosa. Durante 50 años, el flicker ha sido objeto de numerosas publicaciones. Ahora es un fenómeno bien definido según [1], [2] y [3].

1.3 LAS FLUCTUACIONES DE VOLTAJE EN EL ORIGEN DEL FLICKER

En todos los países industriales, los distribuidores de energía, así como los explotadores de instalaciones eléctricas, han de respetar unas tolerancias de variaciones de amplitud y de frecuencia en las redes, de lo contrario no estaría garantizado el buen funcionamiento de los equipos.

1.4 DESCRIPCIÓN DE LAS FLUCTUACIONES DE VOLTAJE EN EL ORIGEN DEL FLICKER

Las variaciones de voltaje periódicas o erráticas permanentes tienen una descomposición espectral en una banda de frecuencias desde 0.5 Hz hasta 30 Hz.

Se deben principalmente a cargas (o conjunto de cargas) cuya utilización se caracteriza por una constante variación de su demanda de potencia (por ejemplo: hornos de arco,

equipos de soldadura). Estas variaciones se deben a puestas en marcha de cargas importantes (por ejemplo arranque de motores, maniobra de batería de compensación.).

1.5 OTROS ORÍGENES DEL FLICKER

1.5.1 MAL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Una fluctuación del flujo luminoso puede ser también debida a un mal funcionamiento del sistema de iluminación. ¡Esta es la primera hipótesis a comprobar en caso de problema!, por ejemplo: las lámparas fluorescentes incorporan un balastro. Los tubos con balastro ferro magnético tradicional, además del parpadeo que se observa al final de su vida, pueden generar flicker cuando están asociados a un regulador.

En efecto la ionización del gas no se asegura cuando el mando de ángulo de fase amputa una parte de la senoide, los tubos con balastro electrónico son generalmente insensibles a las variaciones de su voltaje de alimentación. Existen balastos que pueden utilizar reguladores con mando por ángulo de fase, en este caso se han observado parpadeos en presencia de armónicos o corrientes portadoras (detección insegura del paso por cero del voltaje).

Flicker es provocado por los subarmónicos e interarmónicas (ver referencia [14], [15] y [20]), se ha demostrado y constatado que, en ciertas condiciones la presencia de interarmónicas en el voltaje de alimentación también es una fuente del flicker. En particular, las lámparas de incandescencia son sensibles en la banda de frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 80 Hz, mientras que los fluorescentes lo son a frecuencias superiores a 100 Hz. Las lámparas de balastro electromecánico parecen más sensibles a este fenómeno que las que llevan balastro electrónico.

1.5.2 ELEMENTOS PERTURBADORES

1.5.2.1 El horno de arco

El horno de arco es el principal generador de flicker. Su funcionamiento normal provoca unas fluctuaciones de voltaje, que se sienten cuando más elevada es la potencia de los hornos, en particular en relación a la potencia de cortocircuito de la red: habitualmente su valor es del orden de decenas de MVA (ver referencia [10] y [11]).

1.5.2.2 Máquinas con cargas fluctuantes

Los motores potentes, o grupos de motores, con arranques y paros frecuentes, o con carga variable, (como los trenes de laminación), así como las máquinas con par resistente alterno (compresores), pueden producir flicker.

1.5.2.3 Reguladores de potencia con tiristores

Para huir de los inconvenientes del «mando por ángulo de fase» (armónicos y parásitos en alta frecuencia), los reguladores con tiristores (a veces llamados también «convertidores») funcionan en «mando sincopado» cuando su carga lo permite.

Los tiristores de mando sincopado se encienden durante períodos enteros (regulación por tren de ondas enteras), pero los tiempos de conducción son muy breves, repetidos a frecuencias de algunos Hz. Por tanto son generadores de flicker. Por ejemplo, para evitar este fenómeno en el campo del calentamiento eléctrico, las normas imponen a los constructores unos sistemas de regulación tales que la potencia no se conmute más de una vez en 20 segundos.

1.5.2.4 Los equipos de soldadura

Los soldadores de arco de potencia relativamente débil no son muy molestos (salvo utilización intensiva en casa de un abonado en BT). Por enfrente los ciclos repetitivos de soldadores por resistencia, a frecuencias comprendidas entre 0.1 y 1 Hz, están en el origen de perturbaciones en forma de oscilaciones bruscas del voltaje.

1.5.2.5 Generadores eólicos

Los sistemas de conversión de energía de viento (Wind energy conversión system ó WECS) producen fluctuaciones en la potencia de salida, la cual causa fluctuaciones de voltaje y flicker ver referencia [12].

1.6 DEFINICIÓN TEÓRICA DE LA MOLESTIA, CUANTIFICACIÓN Y MEDIDA DEL FLICKER

La cuantificación y la medida del fenómeno del flicker resultan bastante complejas, puesto que al mismo tiempo hacen intervenir factores técnicos, fisiológicos y psicológicos. ¿Cómo cuantificar y medir la sensación de molestia experimentada por el hombre? Se han llevado a cabo muchos estudios profundos sobre el análisis y la cuantificación del flicker en diversos países. La CEI en conjunto con la IEC trabajarán en las norma [1], [2] y [3] en la cual se muestra el modelo del Flickermeter para un voltaje de 230V en [1] y para 230V y 120V en [2].

1.7 EXPLICACIÓN MATEMÁTICA DEL ORIGEN DEL FLICKER

Las fuentes de estas fluctuaciones son equipos eléctricos cuyo funcionamiento necesita importantes variaciones cíclicas de corriente. Éstas, al recorrer la impedancia de la red (R, X), provocan variaciones de tensión ΔU .

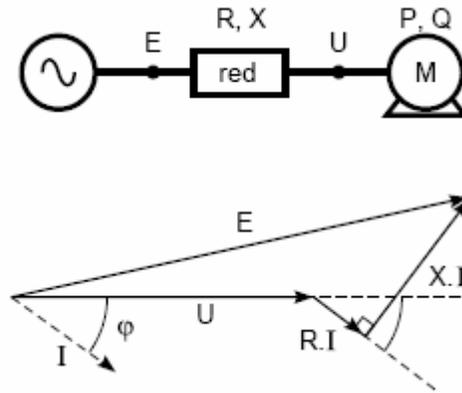


FIGURA 1.1 Variaciones del voltaje y origen del flicker este se debe a variaciones de corrientes I que recorren la impedancia de la red.

Si se considera que el ángulo entre E y U es pequeño:

$$\Delta U = E - U \approx R.I \cos \varphi + X.I \sin \varphi, \quad (1)$$

Se puede escribir:

$$P = U.I \cos \varphi \text{ y } Q = U.I \sin \varphi \quad (2)$$

De donde resulta:

$$\Delta U = \frac{R.P + X.Q}{U} \quad (3)$$

Y en valor relativo:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{R.P + X.Q}{U^2} \quad (4)$$

En donde:

U = Voltaje nominal de la red (de funcionamiento),

E = Voltaje en vacío de la red,

$\Delta U = (E - U)$; Caída de voltaje ó diferencia de potencial

P = Potencia activa de la carga bajo el voltaje nominal U,

Q = Potencia reactiva de la carga bajo el voltaje nominal U,

$\cos \varphi$ = Factor de potencia de la carga,

I = Corriente nominal de la carga,

Scc = Potencia de cortocircuito de la red aguas arriba,

R = Resistencia total de la red aguas arriba,

X = Reactancia de la red aguas arriba.

1.8 MÉTODO ESTADÍSTICO PARA LA MEDICION DE P_{st} Y P_{lt}

Se hará mediciones de la siguiente manera, se tomara datos estadísticos en la salida del filtrado de los cuales se tomara el valor $P(i)$ correspondiente al intervalo de tiempo estipulado por la norma.

1.8.1 ÍNDICES DE EVALUACION DEL FLICKER

1.8.1.1 Índice de severidad de Flicker de corta duración – P_{st}

El lapso debe ser suficientemente largo para permitir que un observador perciba el flicker, advirtiéndolo su persistencia, y para poder caracterizar el comportamiento de aparatos generadores de disturbio con ciclo de funcionamiento prolongado.

Se ha elegido un lapso base de 10 minutos que es el mismo utilizado en la norma de calidad europea [4] y la evaluación del flicker efectuada en este lapso es llamado short-term (Corta duración). Como la corriente de sensación provocada por el flicker no depende solo de su nivel, sino también de su persistencia, se hace referencia a la curva de frecuencias acumuladas [6], que indica el porcentaje de tiempo de observación el cual el nivel de flicker ha superado un valor asignado.

Esta curva sirve como base para obtener el índice de severidad del flicker, indicado como P_{st} . En este punto es necesario relacionar el valor de severidad del flicker con una curva límite para las fluctuaciones de voltaje mas allá de la cual ellas deben considerarse intolerables según [6], [7], [8] y [9].

En el estado actual existe una curva publicada en [9] valida para fluctuaciones de voltaje en forma rectangular. Las curvas de perceptibilidad indican que el 50 % de los sujetos sometidos a experimentos advierten como perceptible el nivel de flicker correspondiente a tales curvas.

La curva limite de tolerabilidad implica que los sujetos sometidos a experimentos (con niveles de flicker superiores a la perceptibilidad) indican que el disturbio es tan fastidioso de ser insoportable por aproximadamente el 80% de los interesados. Debe precisarse que la curva [9] en la parte constante a la izquierda no responde más a la severidad del flicker, pero muestra la exigencia de limitar el valor del voltaje.

Dada la curva de probabilidad acumulada que caracteriza una manifestación del flicker, la severidad del disturbio es calculada mediante la formula:

$$P_{st} = \sqrt{K_i * P} \quad (5)$$

Donde P son los percentiles de distribución acumulada correspondientes a los porcentajes 0.1, 1, 2, 10, 50 % y los coeficientes K_i han sido determinados en modo de obtener prácticamente $P_{st} = 1$ (según se describe en [1], [2] y [3]) para todos los puntos

limites de la curva [9], salvo para la parte horizontal a izquierda (la curva de severidad $P_{st}=1$ resulta en efecto muy practico a la curva [9].

La metodología para la elección de los percentiles y los valores de los coeficientes K_i son indicados en las referencias: [1], [2] y [3]. En los casos en los que el funcionamiento del aparato que genera los disturbios sea persistente y regular y la fluctuación de voltaje producida puede ser reconducida a un tipo rectangular a frecuencia constante, su amplitud puede ser directamente comparada con aquella limite suministrada por la curva $P_{st} = 1$ para la frecuencia considerada.

1.8.1.2 Índice de severidad de Flicker de larga duración – P_{lt}

Hay aparatos que generan disturbio y tienen un ciclo de funcionamiento prolongado, para los cuales la evaluación de la severidad del flicker de corta duración no es suficiente (por ejemplo: hornos de arco, referencia [10] y [11]). Para estos casos es necesario definir una metodología de evaluación del flicker de larga duración, y es posible adoptar una táctica de elaboración estadística en los datos para ser utilizada en la determinación del P_{st} , en modo de caracterizar el fenómeno con un solo indicador de la severidad.

Aun el parecido mas practico es subdividir el período de observación en muchos lapsos de 10 minutos y obtener para cada uno de ellos el P_{st} correspondientes. Obtenida así una serie de valores de P_{st} que podría construir una curva de duración de probabilidades acumuladas como se describe en [1] y [2] y [6]) y caracterizarla a través de percentiles oportunamente elegidos, pero se ha preferido utilizar un método de media que ha demostrado producir buenos resultados.

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{st}^3}{N}} \quad (6)$$

Las ventajas del método son el contenido de información de los PST singulares, a lo largo de todo el ciclo de funcionamiento del aparato o instalación del examen, y se reducen mucho las necesidades de memoria para la elaboración estadística, que puede ser incluido en el flickermeter en modo de obtener directamente la evaluación de la severidad de flicker. Teniendo en cuenta el ciclo medio de operación de las distintas cargas que producen disturbios un tiempo de observación de 2 horas parece razonable para la evaluación del flicker de larga duración.

1.9 MODELO MATEMÁTICO DE FLICKER

La variación de flujo luminoso periódico debido a fluctuaciones de voltaje de la misma naturaleza puede representarse matemáticamente mediante ecuaciones que permitan modular la amplitud del voltaje como también la representación en serie de ínter armónicos tal como lo indican en [16], [17] y [18].

$$v(t) = \left[1 + \frac{\Delta V}{V} \% \times \frac{1}{2} \times \text{sen}(w_m t) \right] \quad (7)$$

Donde: $\frac{\Delta V}{V}$ es el porcentaje de cambio de la amplitud máxima del voltaje.

Las modulaciones sinusoidales y rectangulares del voltaje, son las utilizadas y requeridas por las normas [1], [2] y [3]; para hacer las respectivas pruebas al flickermeter. Las ecuaciones siguientes expresan ambos casos, siendo w_m la pulsación modulante en la amplitud. Esto se puede ver en [13]

$$v(t) = A_c \sin(2\pi * w_c t) x \left\{ 1 + \frac{\Delta V}{V} \% * \frac{1}{2} [\sin(2\pi * w_m t)] \right\} \quad (8)$$

Donde:

A_c = Magnitud del voltaje de la alimentación sinusoidal.

w_c = Frecuencia (rad/s) del voltaje sinusoidal de la alimentación sinusoidal.

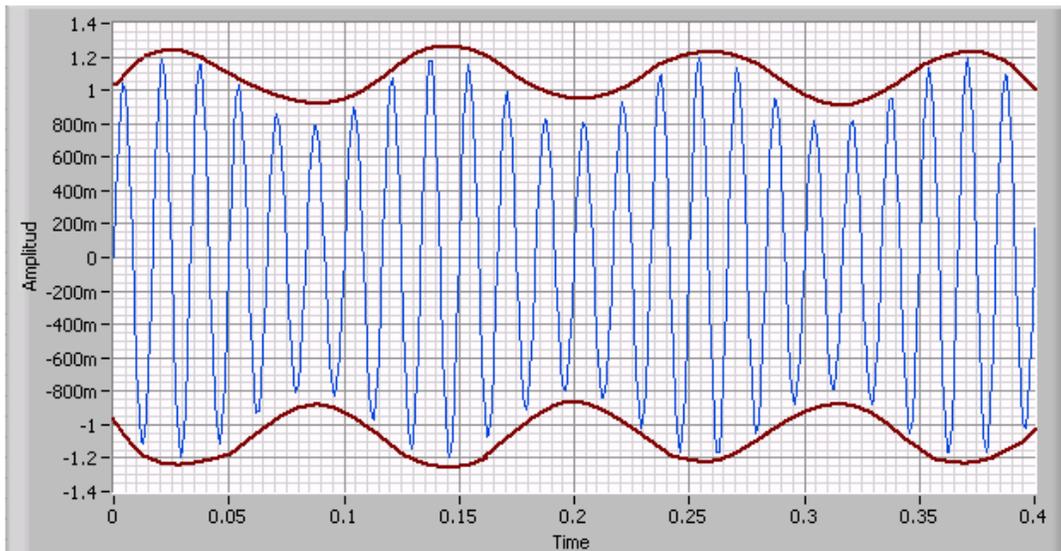


FIGURA 1.2 Representación del Flicker Sinusoidal $w_m = 2.\pi.8.8$ rad/s

$$v(t) = A_c \sin(2\pi * w_c t) x \left\{ 1 + \frac{\Delta V}{V} \% * \frac{1}{2} x \text{signum} [\sin(2\pi * w_m t)] \right\}$$

Donde:

A_c = Magnitud del voltaje de la alimentación sinusoidal.

w_c = Frecuencia (rad/s) del voltaje sinusoidal de la alimentación sinusoidal.

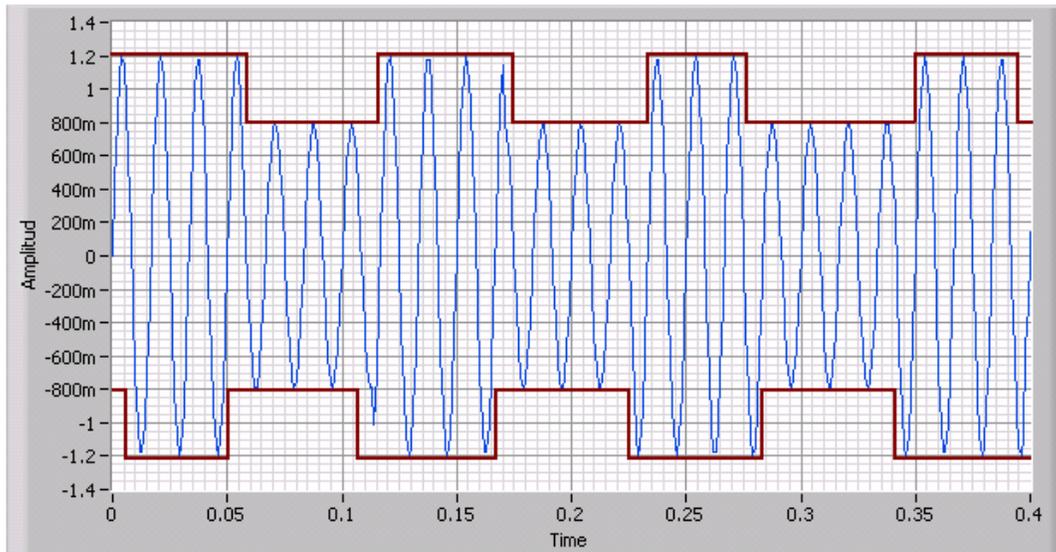


FIGURA 1.3 Representación del Flicker Rectangular $\omega_f = 2\pi \cdot 8.8 \text{ rad/s}$

1.10 CURVA DE PERCEPTIBILIDAD DE FLICKER SEGÚN LA NORMA IEC 61000-4-15

La siguiente curva muestra los puntos que corresponden al valor de $P_{st} = 1$ para pruebas del flickermeter con variaciones rectangulares de voltaje, se puede ver que hay tres curvas existentes en el gráfico las cuales corresponden a voltajes de 230, 120, 100 voltios respectivamente, de las cuales nos interesa la curva de 120 voltios ya que esta es el estándar monofásico en El Salvador según [5].

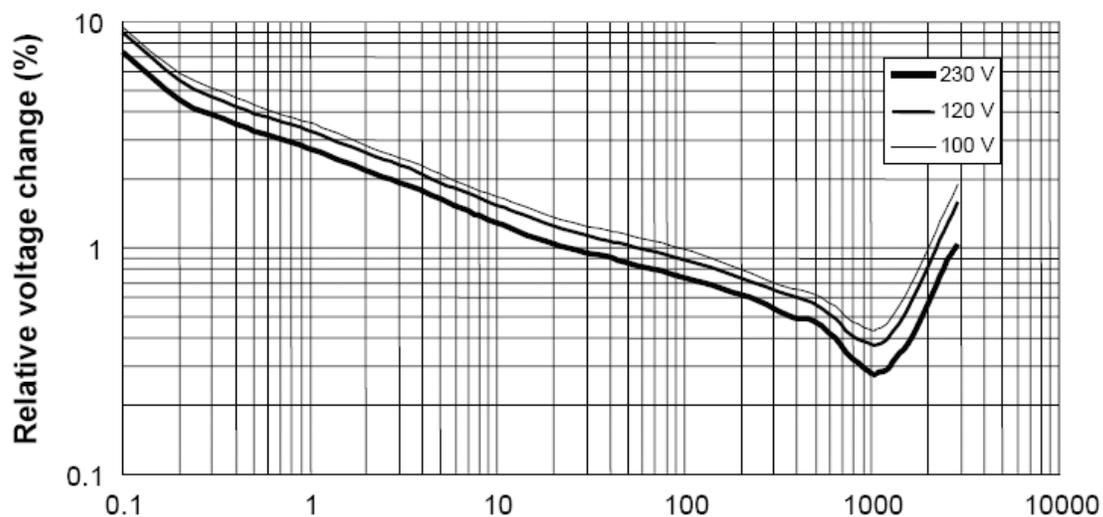


FIGURA 1.4 Curva de Perceptibilidad del Flicker.

1.11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Estándares y Normas:

- [1] International Electrotechnical Commission (IEC), Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 4: Testing and Measurement Techniques—Section 15: *Flickermeter—Functional and Design Specification*, CEI IEC 61000-4-15 NOVIEMBRE 1997.
- [2] International Electrotechnical Commission (IEC), Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 4: Testing and Measurement Techniques—Section 15: *Flickermeter—Functional and Design Specification*, IEC Stand.61000-4-15, Ed. 1.1 + Addendum, ENERO 2003.
- [3] IEC publication 868, - flickermeter, functional and design specifications-1986.
- [4] European Standard EN50160.
- [5] Norma de Calidad SIGET en vigencia 192-E-2004.

Documentos Técnicos:

- [6] J. Jatskevich, Student Member, O. Wasynczuk, Senior Member School of Electrical and Computer Engineering Purdue University West Lafayette, Indiana, “A Method of Evaluating and Flicker- Reduction Strategies in Power Systems”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 13, NO. 4, OCTOBER 1998.
- [7] Chau-Shing Wang, *Member, IEEE*, and Michael J. Devaney, *Member, IEEE*, “Incandescent Lamp Flicker Mitigation and Measurement”, IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 53, NO. 4, AUGUST 2004.
- [8] IEC publications 555-3, Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electrical equipment Part 3 Voltage fluctuations 1982.
- [9] C.Pierre - WG Chairman 1986, UIE Internacional Unit or Electroheat WG Disturbances, “Flicker Measurement and Evaluation, Decomposition of the IEC Flickermeter Weighting Curves”, IMTC 2001 Insimmulation and Measurement Technology Conference Cornu, Italy, 18-20 May 211114.
- [10] Araceli Hernández, Julio G. Mayordomo, *Member, IEEE*, Rafael Asensi, and Luis F. Beites, “A New Frequency Domain Approach for Flicker Evaluation of Arc Furnaces”
- [11] Omer Ozgun and Ali Abur, “Flicker Study Using a Novel Arc Furnace Model”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 17, NO. 4, OCTOBER 2002.
- [12] Carolina Vilar Moreno, *Member, IEEE*, Hortensia Amaris Duarte, *Member, IEEE*, and Julio Usaola Garcia, *Member, IEEE*, “Propagation of Flicker in Electric Power Networks Due to Wind Energy Conversions Systems”, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 17, NO. 17, JUNE 2002.
- [13] Marcin Piekarz, Marcin Szlosek, Zbigniew Hanzelka (*IEEE Member*), Andrzej Bien (*IEEE Member*), Antoni Stankiewicz, Marek Hartman, “Comparative Tests of Flickermeters”
- [14] S. Mark Halpin, *Fellow, IEEE*, and Vikas Singhvi, *Member, IEEE*, “Limits for Interharmonics in the 1–100-Hz Range Based on Lamp Flicker Considerations”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 22, NO. 1, JANUARY 2007.

- [15] Thavatchai Tayjasanant, Student Member, IEEE, Wencong Wang, Chu Li, Member, IEEE, and Wilsun Xu, Senior Member, IEEE, "Interharmonic-Flicker Curves", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 20, NO. 2, APRIL 2005.
- [16] S. Mark Halpin, Senior Member, IEEE and Roger Bergeron, "Voltage and Lamp Flicker Issues: Should the IEEE Adopt the IEC Approach?", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 18, NO. 3, JULY 2003.
- [17] B. Novo Ramos, J. L. de Castro Parga, "An EMTP Study of Flicker Generation and Transmition in Power Systems due to the Operation o fan AC Electric Arc Furnace", Department of Electrical Engineering University of Vigo Spain.
- [18] J. Jatskevich, Student Member, O. Wasynczuk, Senior Member, School of Electrical and Computer Engineering, Purdue University West Lafayette, India, "A Method of Evaluating Flicker and Flicker-Reduction Strategies in Power Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 4, October 1998.

Documentos Presentados en conferencias (Publicados):

- [19] Chau-Shing Wang, Department of Electrical Engineering, National Changhua University of Education, Chang-hua, "Decomposition of the IEC Flickermeter Weighting Curves", IMTC 2004- Instrumentation and Measurement Technology Conference Como, Italy, 18-20 My 2004.
- [20] Daniele Gallo Member, IEEE, Carmine Landi Member, IEEE, Roberto Langella Member, IEEE, and Alfredo Testa Senior Member, IEEE, "IEC Flickermeter Response to Interharmonic Pollution", 2004 11th International Conference on Harmonic and Quality of Power.

2. EL FLICKERMETER BASADO EN LA NORMA IEC 61000-4-15

2.1 INTRODUCCIÓN DE LA NORMA IEC 61000-4-15

El ‘Flicker’ se define como el nivel de molestia que percibe un observador medio como consecuencia de la variación de la luminosidad de una lámpara, ocasionada por fluctuaciones de voltaje en la red de alimentación eléctrica. El ‘Flicker’ depende fundamentalmente de la amplitud y la frecuencia de las fluctuaciones de voltaje que lo causan.

El instrumento esta basado en las normas [1], [2] y [3], la cual toma como base el umbral de perceptibilidad de la cadena “lámpara ojo y cerebro”, ver figura 2.1, en la cual constituyen los bloques 2, 3 y 4 del diagrama de bloques del FLICKERMETER.

Transformador de entrada: se emplea para adaptar y aislar los niveles de voltaje (red eléctrica) a los admisibles por la circuitería del flickermeter, ver figura 2.2.

Bloque 1: Este es el encargado de calibrar y controlar la ganancia de voltaje a la entrada, los mencionados anteriormente son realizados de forma separada los cuales deben ser activados por un selector de acuerdo a lo que se desee hacer, ver figura 2.2.

Bloque 2: Este bloque es el encargado de obtener la señal correspondiente a las fluctuaciones lumínicas de la red de voltaje. Este simula el comportamiento de una lámpara de incandescencia sometida a fluctuaciones en el voltaje, ver figura 2.2.

Bloque 3: En este bloque se disponen de dos filtros en cascada que simulan un bulbo con núcleo enrollado de 60 W y el comportamiento del ojo ante fluctuaciones en la iluminación.

Bloque 4: La salida de este bloque representa la sensación de flicker instantánea a la cual esta sometido un observador medio, ver figura 2.2.

Bloque 5: Se encarga de realizar el análisis estadístico en tiempo real de los datos muestreados para proporcionar los índices de severidad de flicker, ver figura 2.2.

La captura del fenómeno de flicker se basa en la cadena de perceptibilidad “Lámpara-Ojo-Cerebro” (ver referencia [5]) tal como se puede observar en la figura. 2.1.



FIGURA 2.1 Cadena lámpara – Ojo – Cerebro

FLICKERMETER NORMA IEC 61000-4-15

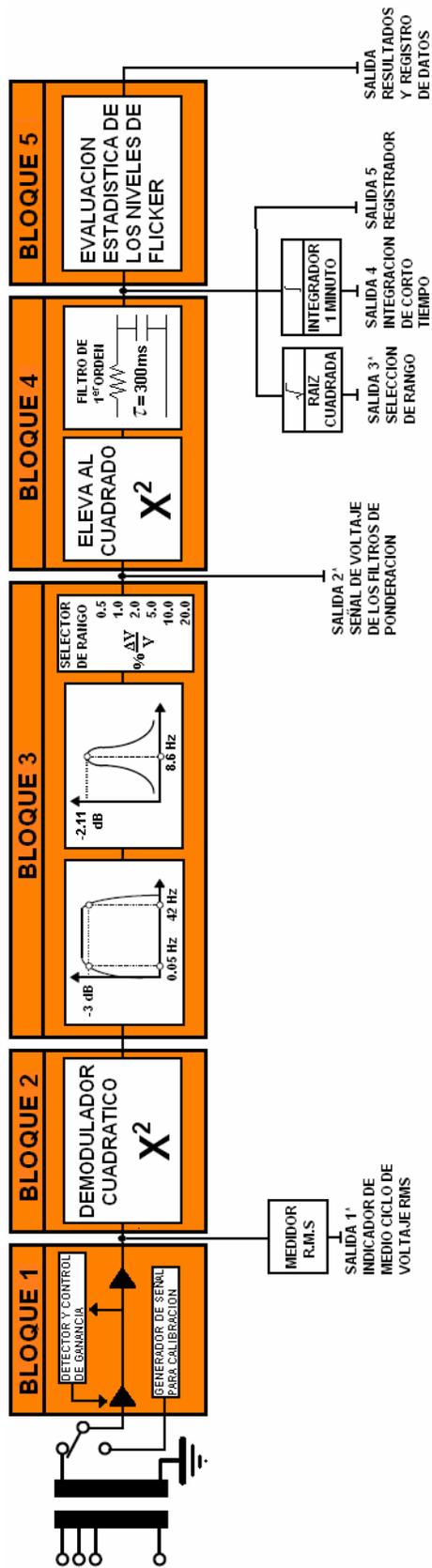


FIGURA 2.2 Diagrama funcional del medidor de flicker IEC 61000-4-15

2.2 DESCRIPCION DE CADA ETAPA DEL FLICKERMETER

2.2.1 BLOQUE #1: EL ADAPTADOR DE VOLTAJE Y VERIFICACION DE CALIBRACION

Este bloque contiene a la entrada un transformador utilizado para el aislamiento de la señal proveniente de la red y también para bajar el nivel de tensión dentro del rango aceptable para la circuitería del instrumento; seguido de un circuito para normalizar el valor medio RMS de las fluctuaciones de voltaje, para que de esta manera las medidas de flicker puedan hacerse independientemente del nivel real del voltaje y así expresarse en por unidad (ver referencia [5], [6], [7], [8] y [9] ; y también contiene un generador de señal para comprobar la calibración del medidor en servicio (ver referencia [9]).

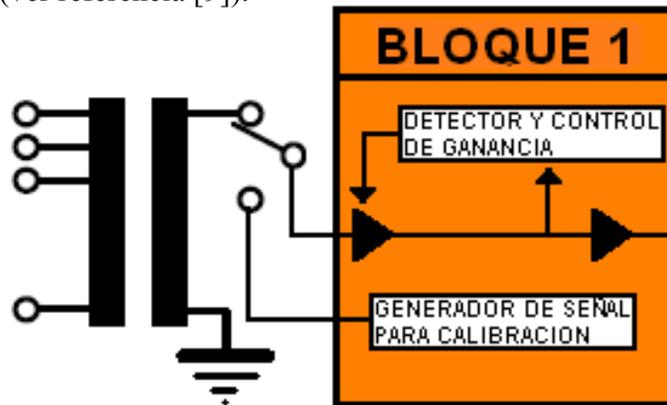


FIGURA 2.3 Diagrama en detalle del bloque 1

2.2.1.1 Detector y control de Ganancia

Se encarga de medir el voltaje a la entrada y normalizarlo en por unidad para que la medición sea independiente del valor que se introduce al instrumento, este bloque hace lo siguiente: calcula el valor RMS de la señal entrante y lo multiplica por raíz de dos y después es dividido por la misma señal a la (ver referencia [5], [6], [7], [8] y [9]), tal como se muestra en la figura 2.4.

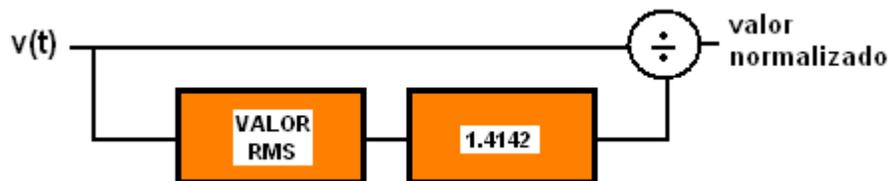


FIGURA 2.4 Normalización del voltaje.

Como ejemplo de la normalización y relación porcentual de voltaje mostramos en forma simbólica lo que ocurre al realizar el proceso de normalizar la señal:

$$v(t) = V \sin w_c t \quad \text{Sin desviación de voltaje} \quad (10)$$

$$v(t) = (V + \Delta V) \sin w_c t \quad \text{Con desviación de voltaje} \quad (11)$$

$$\frac{v(t)}{A} = \frac{(V + \Delta V) \sin w_c t}{A} \quad \text{Normalizando la señal} \quad (12)$$

si: $A = V$

$$\frac{v(t)}{V} = \frac{(V + \Delta V) \sin w_c t}{V} \Rightarrow \left(1 + \frac{\Delta V}{V}\right) \sin w_c t \quad (13)$$

$$\frac{\Delta V}{V} = 2 \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\max} + V_{\min}} \quad (14)$$

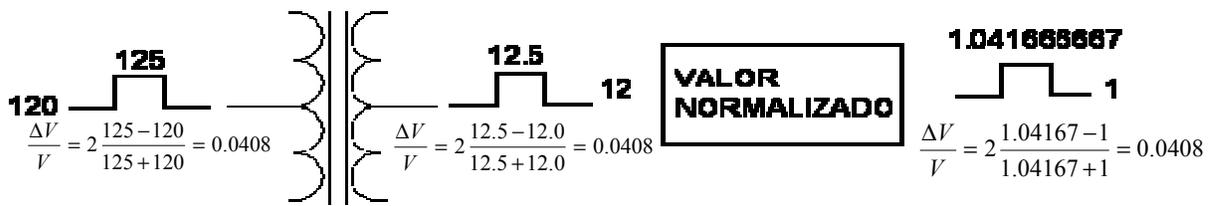


FIGURA 2.5 Esquema de normalización.

- Señal de entrada sinusoidal 120V/60Hz

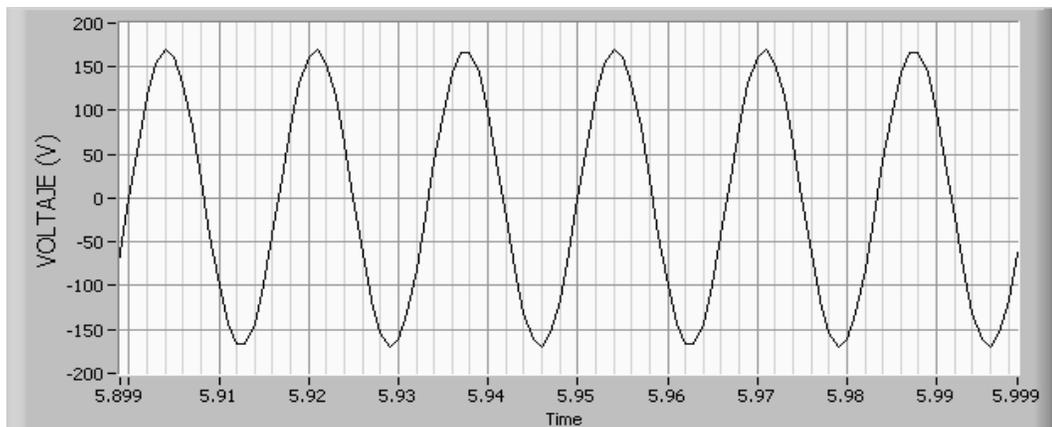


FIGURA 2.6 Señal proveniente de la red eléctrica.

- **Valor a la salida del bloque de normalización.**

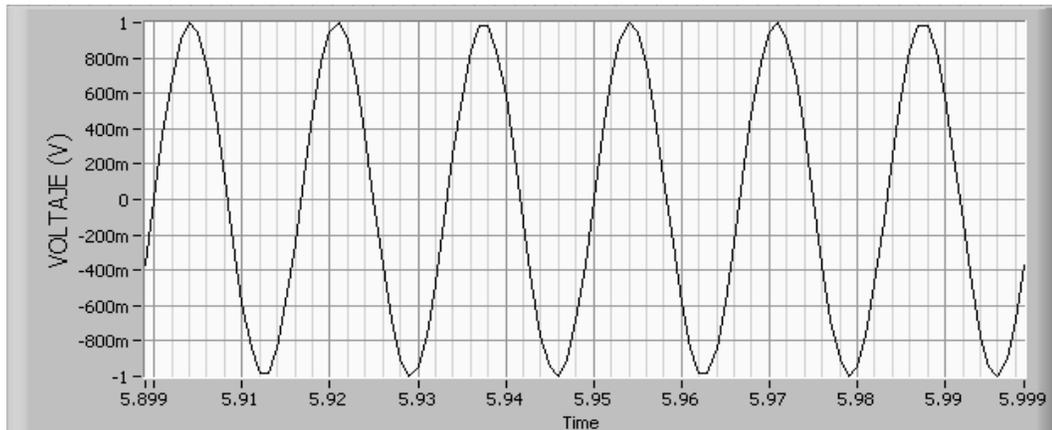


FIGURA 2.7 Señal de la red eléctrica normalizada.

2.2.1.2 Generador de señal para la calibración

Este realiza el trabajo de calibración en tiempo real, para esto es necesario recrear las señales o modelos de flicker ya sean sinusoidal o rectangular y a la vez también poder tener control del índice de modulación ($\Delta V/V$) y frecuencia de la señal modulante lo cual se hace por medio de instrumentación virtual con LABVIEW como se muestra a continuación con los ejemplos siguientes:

Ejemplos: para una modulación de 40% a una frecuencia de 8.8Hz

- **Modulación de onda sinusoidal sin normalizar a la entrada del transformador en lado primario:**

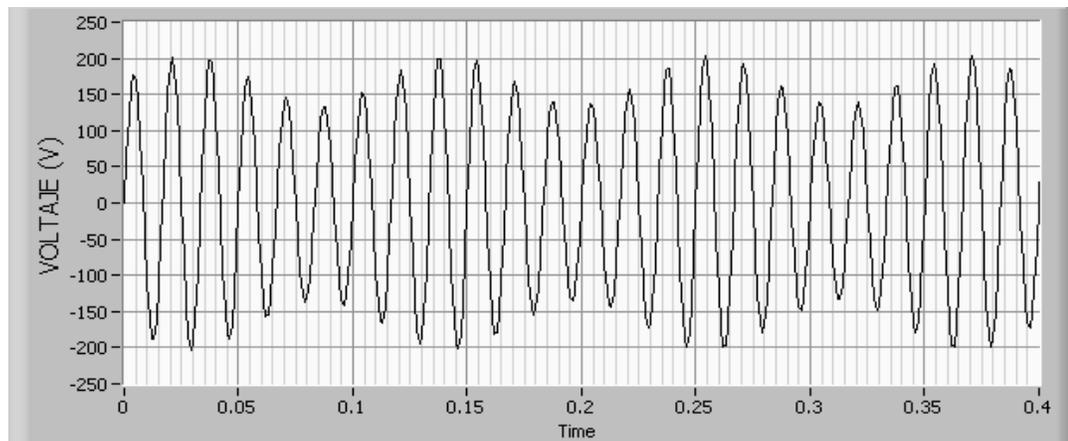


FIGURA 2.8 Variación de voltaje sinusoidal $\Delta V/V=40\%$, 8.8Hz a la entrada.

- **Modulación de onda sinusoidal normalizada:**

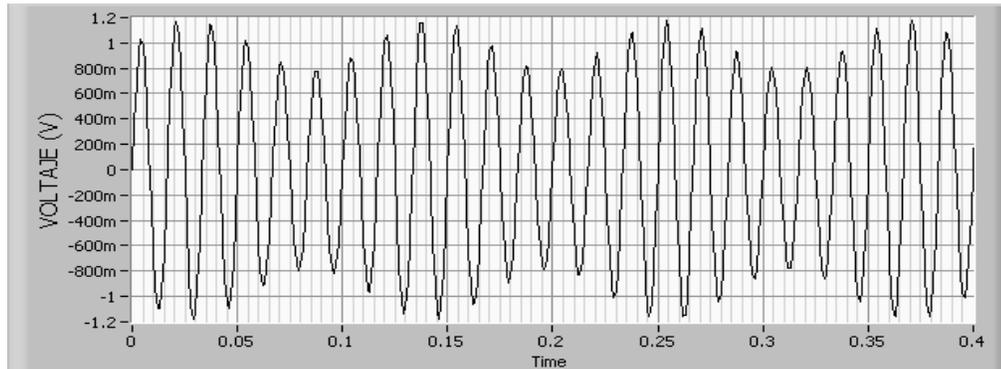


FIGURA 2.9 Variación de voltaje sinusoidal $\Delta V/V=40\%$, 8.8Hz normalizada.

- **Modulación de onda rectangular sin normalizar a la entrada del transformador al lado primario:**

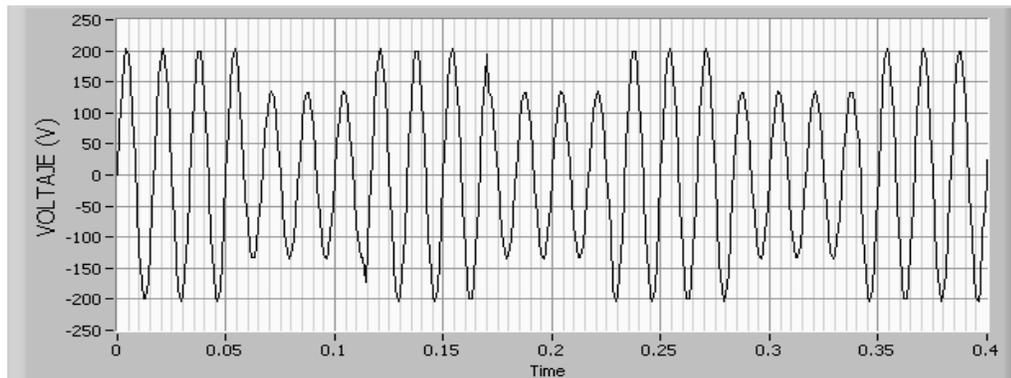


FIGURA 2.10 Variación de voltaje rectangular $\Delta V/V=40\%$, 8.8Hz a la entrada.

- **Modulación de onda rectangular normalizada:**

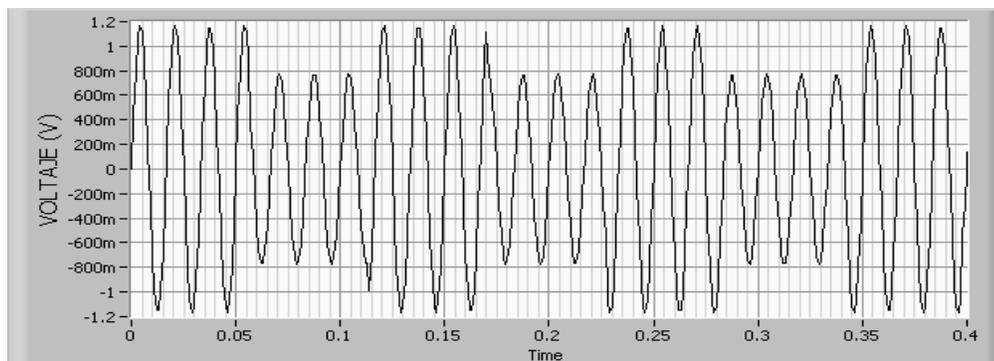


FIGURA 2.11 Variación de voltaje rectangular $\Delta V/V=40\%$, 8.8Hz normalizada.

2.2.2 BLOQUE #2: APLICACIÓN DE LA LEY DE DEMODULACIÓN CUADRADADA

El objetivo que se busca en problemas de flicker es obtener la envolvente o señal que modula la amplitud del voltaje para su posterior clasificación y medición de intensidad de flicker. El método más utilizado es mediante el cuadrado de la señal y posterior filtrado.

El estándar ha propuesto este método basado en la recuperación de la señal modulada de la portadora por medio de la demodulación cuadrada, ver figura 2.12.

El proceso de demodulación elegido es el cuadrado de la señal (figura 2.2) el cual simula el comportamiento de una lámpara.

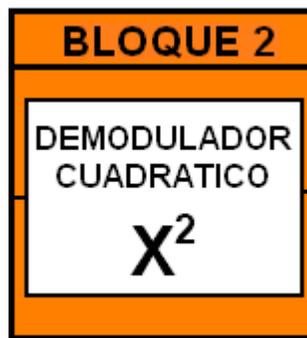


FIGURA 2.12 Esquema en detalle del bloque 2.

2.2.3 BLOQUE #3: FILTROS DE PONDERACIÓN

Está esencialmente compuesto de dos filtros en cascada los cuales son:

- **Un filtro pasa banda.**
- **Un filtro de ponderación.**

2.2.3.1 Filtro Pasa Banda:

Este elimina el componente continuo (Voltaje DC) y la onda residual de rizado de doble frecuencia proveniente del paso por el demodulador cuadrático. Este filtro lo componen:

i. **Un filtro paso bajo de primer orden:**

El cual se realizó como un filtro pasó alto butterworth de primer orden con una frecuencia de corte de 0.05Hz. Que sirve para remover la componente constante (Voltaje DC).

ii. **filtro pasa bajo de sexto orden:**

El cual se construyó como un filtro butteworth de sexto orden con una frecuencia de corte de 42 Hz (120V, ver referencia ver referencia [2]) que

representa la propiedad dinámica de un bulbo y elimina la componente de la red así como también las componentes de doble frecuencia. Este último puede ser mayor de décimo orden para aplicaciones digitales o virtuales como se presenta en nuestro caso.

2.2.3.2 Filtro de Ponderación:

Este filtro constituye el corazón del flickermeter, el cual simula la respuesta en frecuencia a las fluctuaciones sinusoidales de voltaje de una lámpara de gas con filamento enrollado (120V – 60W) en combinación con el sistema de visión humano. La función respuesta está basada en el umbral de perceptibilidad encontrado a cada frecuencia por el 50% de las personas sometidas a prueba. La función de transferencia se muestra a continuación, Ver referencia [1], [2] y [3]:

$$F(s)_T = \frac{k w_1 s}{s^2 + 2 \lambda s + w_1^2} \frac{\left(1 + \frac{s}{w_2}\right)}{\left(1 + \frac{s}{w_3}\right) \left(1 + \frac{s}{w_4}\right)} \quad (15)$$

Donde:

$$k = 1.6357$$

$$\lambda = 2\pi * 4.167375$$

$$w_1 = 2\pi * 9.077169$$

$$w_2 = 2\pi * 2.939902$$

$$w_3 = 2\pi * 1.394468$$

$$w_4 = 2\pi * 17.31512$$

Como se puede observar en la ecuación 15, el filtro de ponderación esta compuesto por tres filtros en cascada, para efectos de implementación de este instrumento virtual realizamos cada filtro por separado y luego los colocamos en cascada, tal como se muestra a continuación:

$$F(s)_T = F(s)_1 * F(s)_2 * F(s)_3 \quad (16)$$

Donde:

1. $F(s)_T$: Respuesta total de los tres filtros en cascada
2. $F(s)_1$: Filtro pasa banda
3. $F(s)_2$: Filtro general
4. $F(s)_3$: Filtro paso bajo.

✓ **Filtro pasa banda:**

A continuación se muestra las características del filtro pasa banda que pertenece al filtro de ponderación.

$$F(s)_1 = \frac{k w_1 s}{s^2 + 2 \lambda s + w_1^2} \quad (17)$$

Donde:

$$k = 1.6357$$

$$\lambda = 2\pi * 4.167375$$

$$w_1 = 2\pi * 9.077169$$

De lo cual se determino lo siguiente:

$$F(s)_1 = \frac{93.2898 s}{s^2 + 52.3688 s + 3252.82} \quad (18)$$

- Diagrama de bode para la respuesta en magnitud del filtro pasa banda para la etapa en cascada del filtro de ponderación.

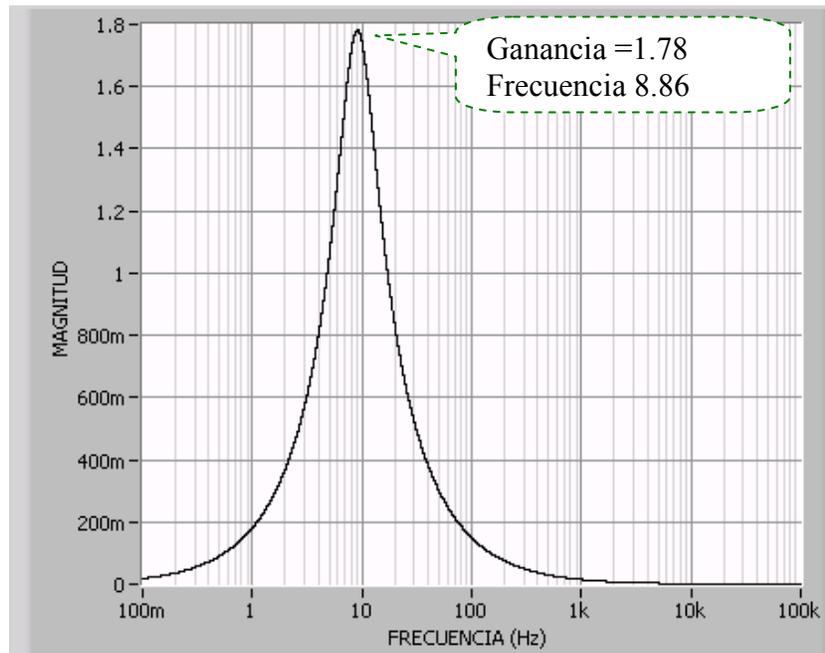


FIGURA 2.13 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud expresada en V/V para el filtro pasa banda de la cascada del filtro de ponderación.

- Diagrama de bode para la respuesta de magnitud en dB del filtro pasa banda para la etapa en cascada del filtro de ponderación.

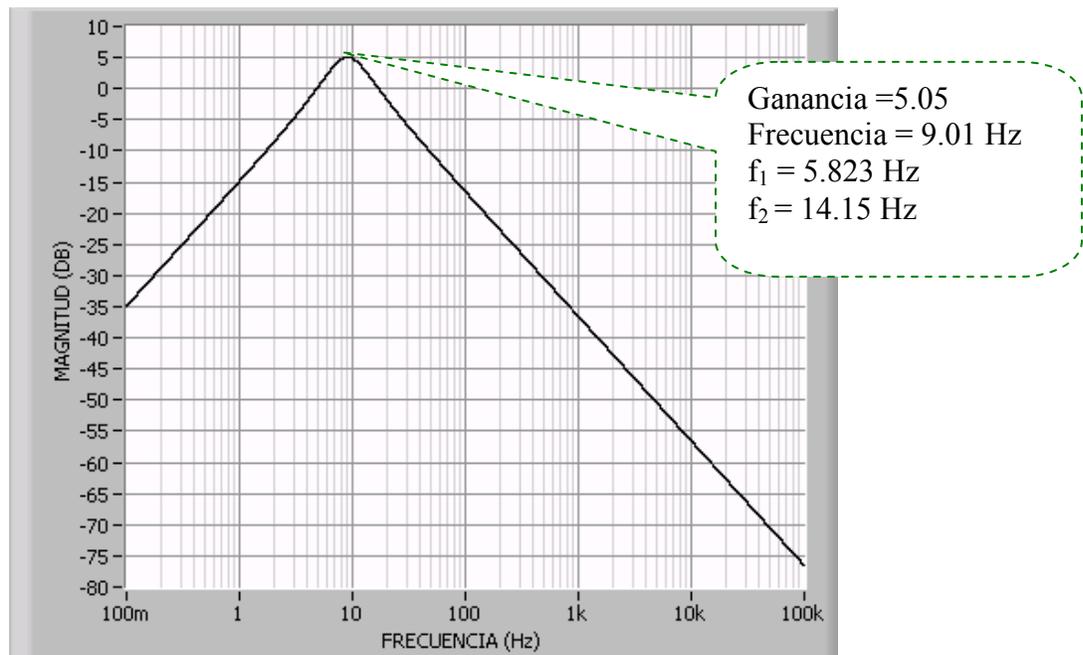


FIGURA 2.14 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud expresada en dB para el filtro pasa banda de la cascada del filtro de ponderación.

- Diagrama de la respuesta de fase del filtro pasa banda para la etapa en cascada del filtro de ponderación.

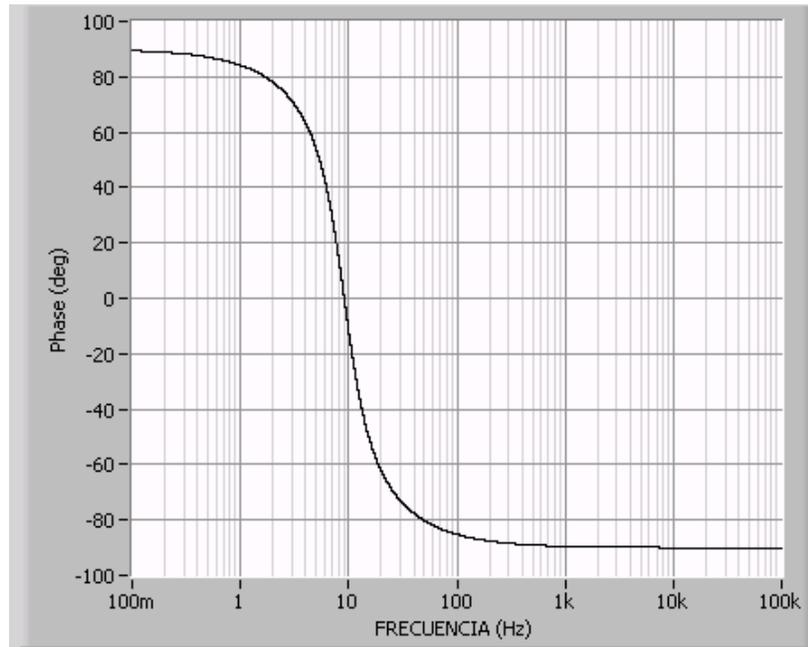


FIGURA 2.15 Diagrama de bode de la respuesta en fase expresada en grados para el filtro pasa banda de la cascada del filtro de ponderación.

A continuación se aprovecha una de las herramientas y ventajas que tiene LABVIEW para diseño de filtros, de la cual fue necesario pasar al dominio de z inversa la ecuación 18 del filtro con la siguiente ecuación:

$$s = 2f_s \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (19)$$

Donde: f_s es la frecuencia de muestreo del sistema:

$$f_s = 1000 \text{ muestras/segundo}$$

Resolviendo y simplificando la ecuación 18 del filtro al pasarla al dominio de z inversa se encontró que su equivalente era:

$$F(Z^{-1})_1 = \frac{186579.50604 - 186579.50604Z^{-2}}{4107990.3815 - 7993494.35182Z^{-1} + 3898515.2666Z^{-2}} \quad (20)$$

✓ **Filtro general:**

A continuación se muestran las características del filtro general, este es un filtro especial ya que como se verá en las gráficas llega a un punto donde la transmisión es cero:

$$F(s)_2 = \frac{\left(1 + \frac{s}{w_2}\right)}{\left(1 + \frac{s}{w_3}\right)} \quad (21)$$

Donde:

$$w_2 = 2\pi * 2.939902$$

$$w_3 = 2\pi * 1.394468$$

De lo cual se determinó lo siguiente:

$$F(s)_2 = \frac{(1 + 0541361s)}{(1 + 0.114133s)} \quad (22)$$

- Diagrama de bode en magnitud del filtro general para la etapa en cascada del filtro de ponderación.

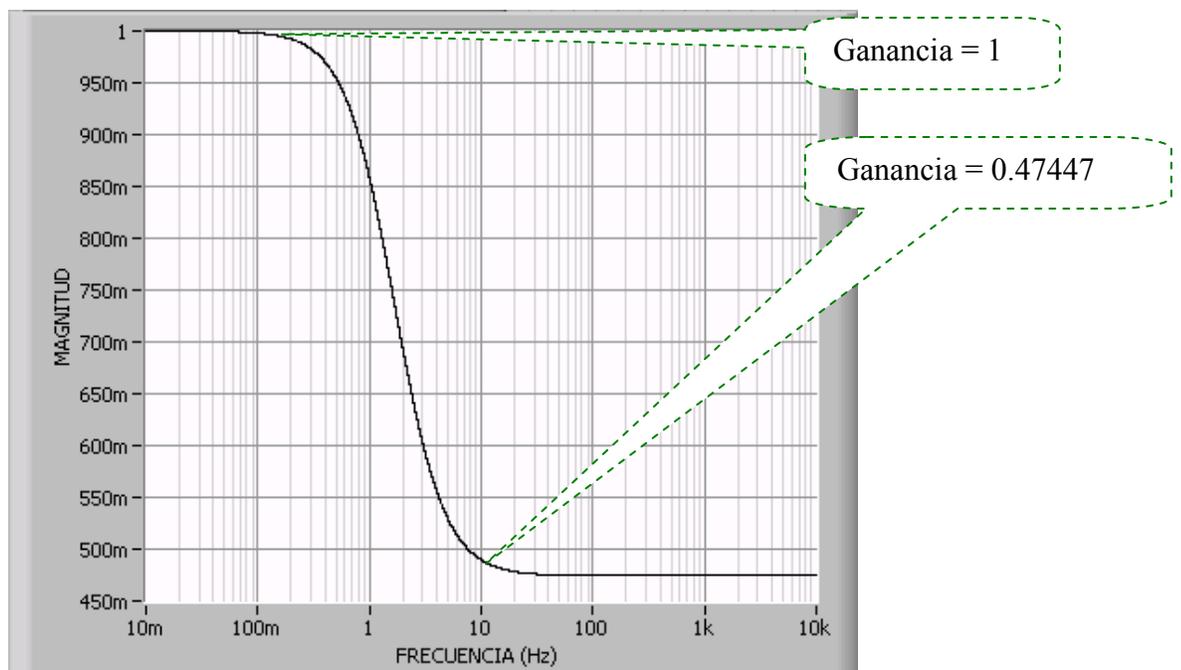


FIGURA 2.16 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud expresada en V/V para el filtro general de la cascada del filtro de ponderación.

- Diagrama de bode en dB del filtro general para la etapa en cascada del filtro de ponderación.

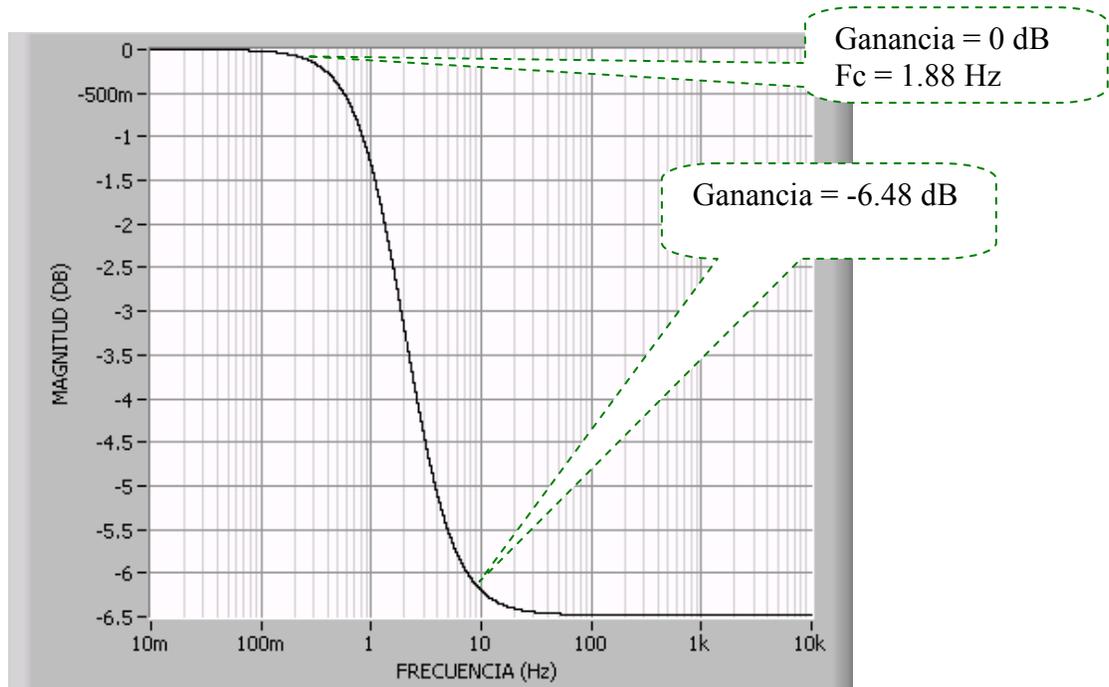


FIGURA 2.17 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud expresada en dB para el filtro general de la cascada del filtro de ponderación.

- Diagrama de fase del filtro general para la etapa en cascada del filtro de ponderación.

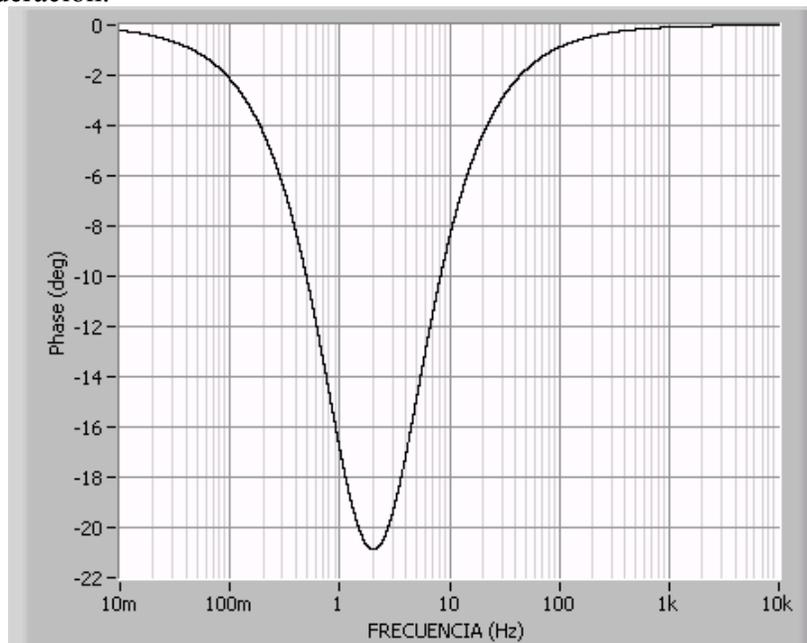


FIGURA 2.18 Diagrama de bode de la respuesta en fase para el filtro general de la cascada del filtro de ponderación.

Ahora siguiendo el procedimiento como en el caso del filtro pasa banda visto anteriormente pasaremos al dominio de z inversa la ecuación 22 con la siguiente formula:

$$S = 2f_s \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (23)$$

Donde: f_s es la frecuencia de muestreo del sistema:

$$f_s = 1000 \text{muestras/segundo}$$

Resolviendo y simplificando la ecuación 22 al pasarla al dominio de z inversa se encontró que su equivalente era:

$$F(Z^{-1})_2 = \frac{109.27227784 - 107.27227784 Z^{-2}}{229.26618193 - 227.26618193 Z^{-2}} \quad (24)$$

✓ **Filtro paso bajo:**

A continuación se muestra las características del filtro paso bajo el cual es el más sencillo que los anteriores para su manipulación matemática y grafica:

$$F(s)_3 = \frac{1}{\left(1 + \frac{s}{w_4}\right)} \quad (25)$$

Donde:

$$w_4 = 2\pi * 17.31512$$

De lo cual se determino lo siguiente:

$$F(s)_3 = \frac{1}{(1 + 0.00919167s)} \quad (26)$$

- Diagrama de bode en magnitud del filtro pasó bajo para la etapa en cascada del filtro de ponderación.

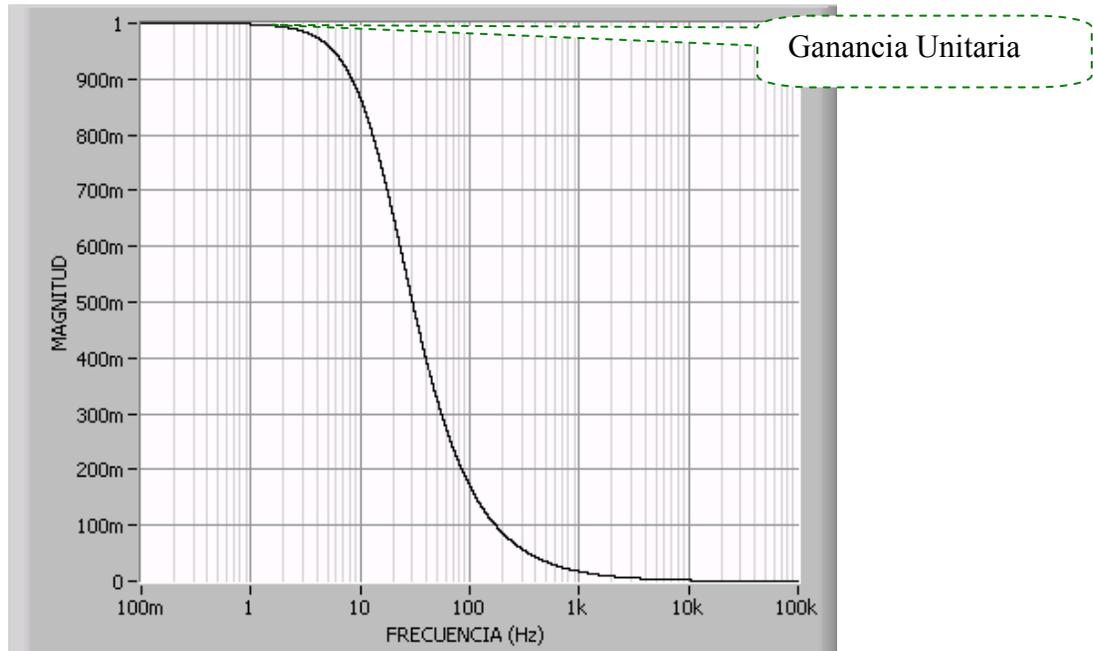


FIGURA 2.19 Diagrama de bode en magnitud expresada en V/V para el filtro paso bajo de la cascada del filtro de ponderación.

- Diagrama de bode en dB del filtro pasó bajo para la etapa en cascada del filtro de ponderación.

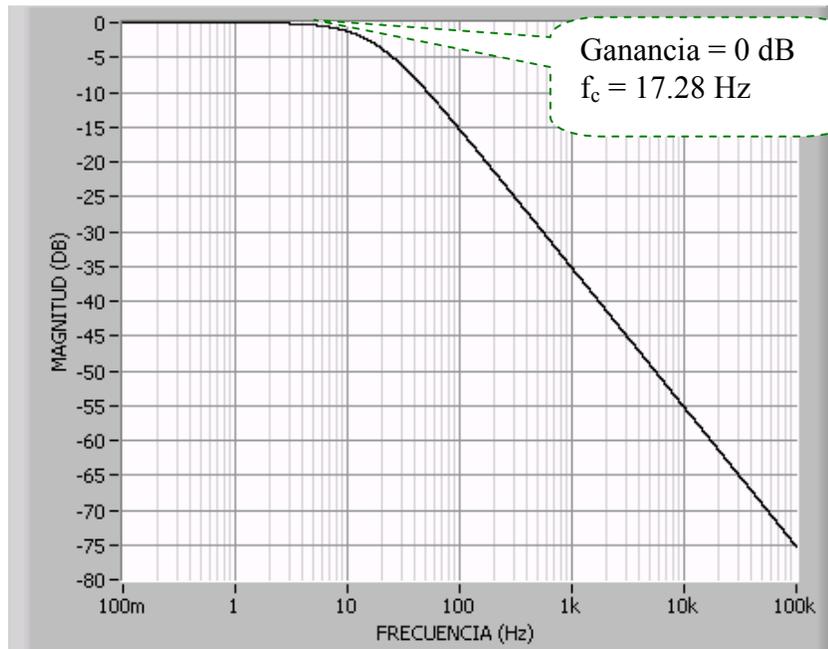


FIGURA 2.20 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud expresada en dB para el filtro paso bajo de la cascada del filtro de ponderación.

- Diagrama de fase en magnitud del filtro pasó bajo para la etapa en cascada del filtro de ponderación.

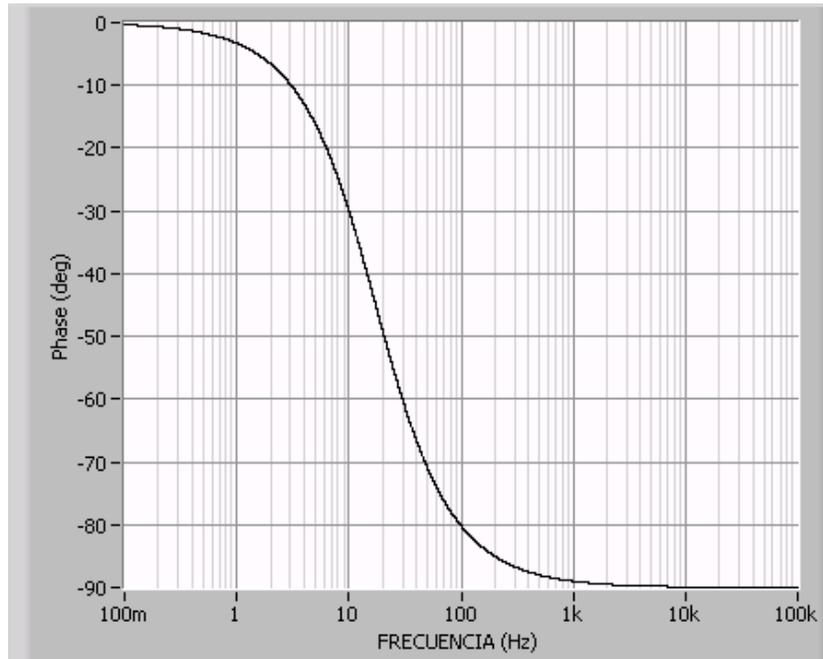


FIGURA 2.21 Diagrama de bode de la respuesta en fase expresada en grados para el filtro paso bajo de la cascada del filtro de ponderación.

Siguiendo el procedimiento como en los casos anteriores pasaremos al dominio de z inversa la ecuación 26 con la formula siguiente:

$$s = 2f_s \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (27)$$

Donde f_s es la frecuencia de muestreo del sistema:

$$f_s = 1000 \text{muestras/segundo}$$

Resolviendo y simplificando la ecuación 26 en el dominio de z inversa se encontró que su equivalente era:

$$F(Z^{-1})_3 = \frac{1 + Z^{-1}}{19.38334855 - 17.38334855 Z^{-1}} \quad (28)$$

- Diagrama de bode de la respuesta en magnitud del filtro de ponderación total (las tres etapas anteriores en cascada “Weighting Filter”).

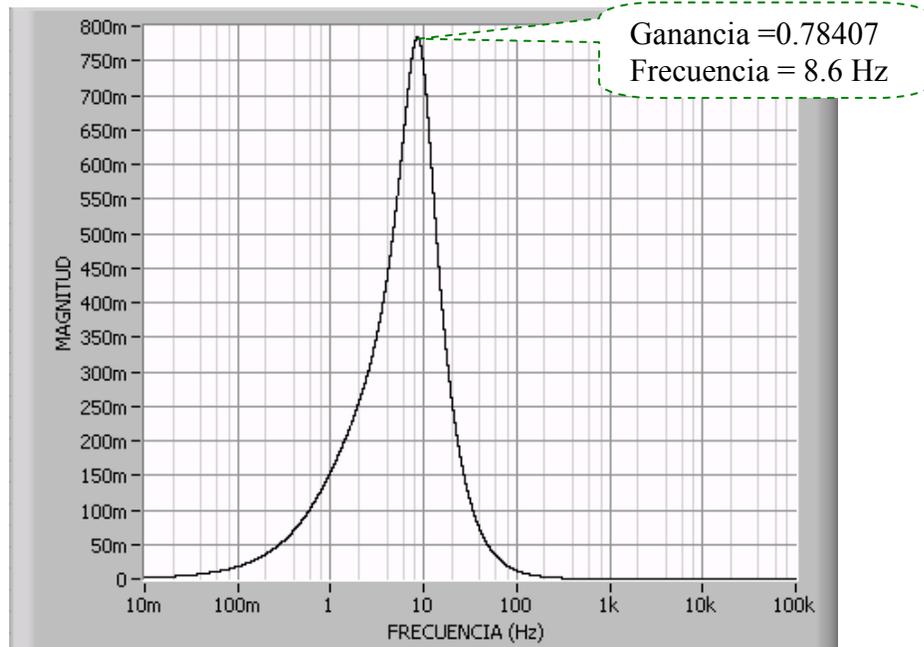


FIGURA 2.22 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud expresada en V/V del filtro de ponderación.

- Diagrama de bode de la respuesta en magnitud expresado en dB del filtro de ponderación total (las tres etapas anteriores en cascada “Weighting Filter”).

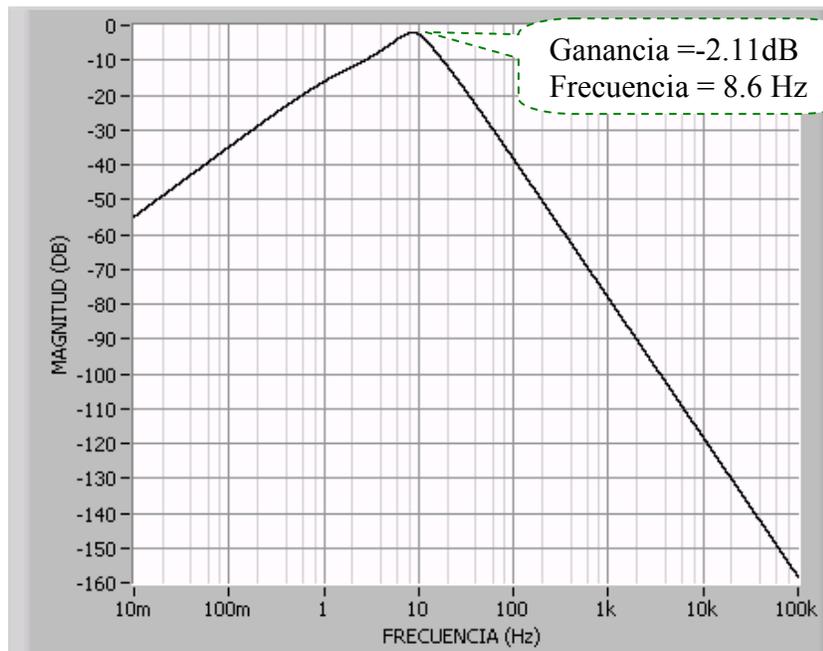


FIGURA 2.23 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud expresada en dB del filtro de ponderación.

- Diagrama de bode de la respuesta de Fase del filtro de ponderación total (las tres etapas anteriores en cascada “Weighting Filter”).

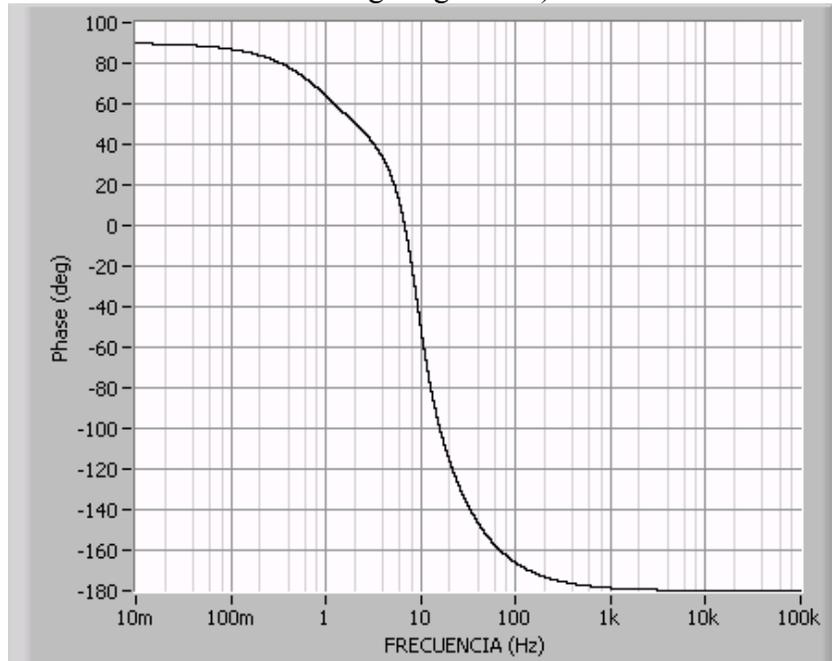


FIGURA 2.24 Diagrama de bode de la respuesta de fase expresada en grados del filtro de ponderación.

El diagrama en detalle del bloque # 3 se puede ver a continuación:

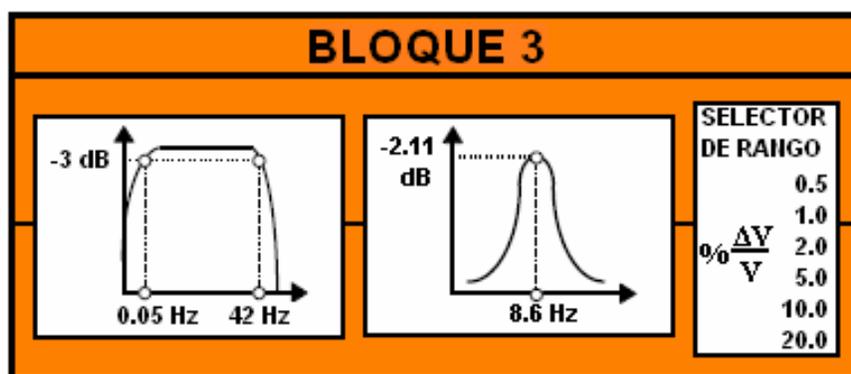


FIGURA 2.25 Diagrama esquemático del bloque 3.

2.2.3 BLOQUE #4: MULTIPLICADOR CUADRÁTICO Y ALISAMIENTO LA SEÑAL

Este bloque esta compuesto por un multiplicador cuadrático y un filtro de primer orden paso bajo. El cual simula la respuesta a la sensación humana del cerebro sobre el fenómeno de flicker. A continuación se muestra la figura representativa de este bloque seguida por las formulas y cálculos que fueron necesarios aplicar para llevar a cabo el diseño del filtro en LABVIEW:

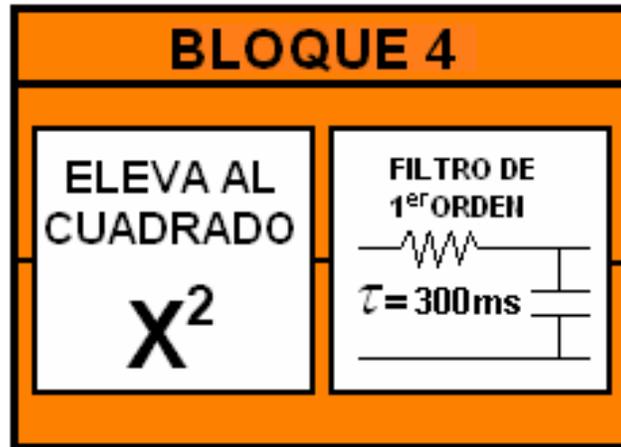


FIGURA 2.26 Diagrama esquemático del bloque 4.

Filtro de Primer orden.

Este es un filtro de desplazamiento con un constante de tiempo de 300ms. Este es el tiempo necesario para que la información que recolecte el ojo humano sea llevada al cerebro

$$H_b = \frac{k_b}{1 + s \times T_b} \quad (29)$$

Donde:

$$T_b = 0.3s$$

$$f = 0.53Hz$$

$$k_b = 1$$

De lo cual se obtiene:

$$F(s)_3 = \frac{1}{(1 + 0.3s)} \quad (30)$$

- Diagrama de bode en magnitud del filtro paso bajo.

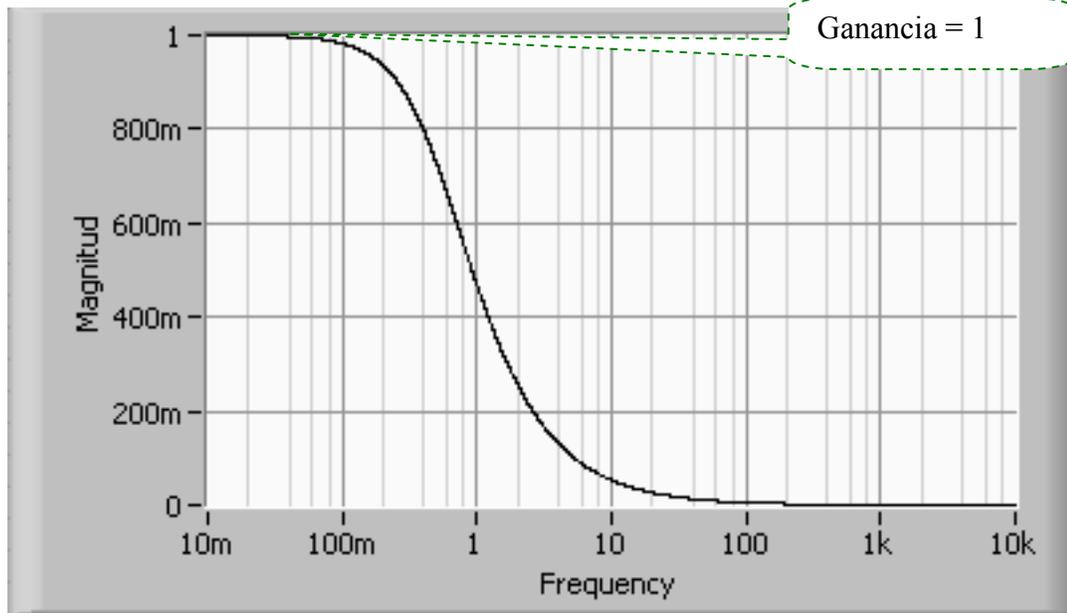


FIGURA 2.27 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud, expresada en V/V, del filtro de desplazamiento.

- Diagrama de bode en dB del filtro paso bajo.

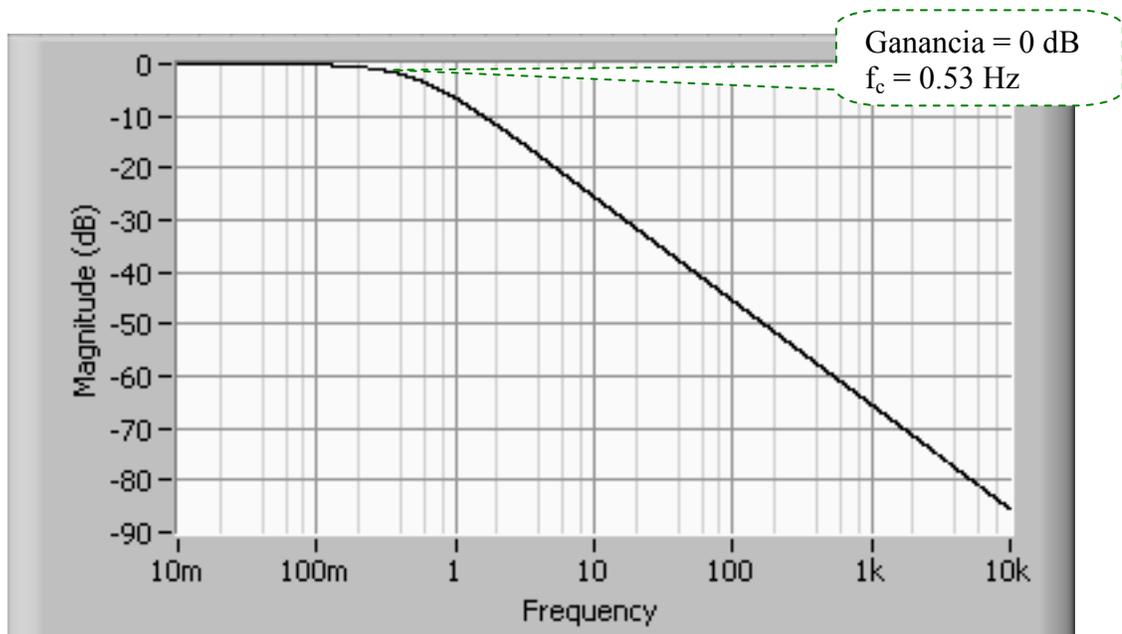


FIGURA 2.28 Diagrama de bode de la respuesta en magnitud, expresada en dB, del filtro de desplazamiento.

- Diagrama de fase en magnitud del filtro paso bajo.

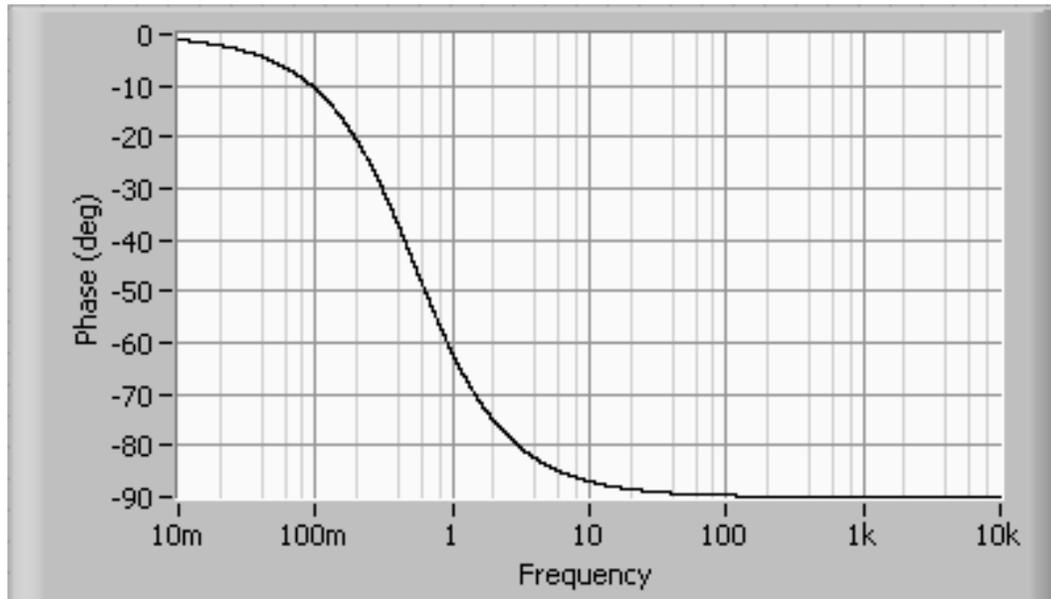


FIGURA 2.29 Diagrama de bode de la respuesta en fase, expresada en grados, del filtro de desplazamiento.

Como se observo anteriormente para el filtro de ponderación; para la realización de este filtro se procedió a sustituir de la misma forma la ecuación 30 con la formula que se presenta a continuación:

$$s = 2f_s \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (31)$$

Donde: f_s es la frecuencia de muestreo del sistema
 $f_s = 1000$ muestras/segundo

Resolviendo y simplificando la ecuación 30 en el dominio de z inversa se encontró su equivalente siguiente:

$$F(Z^{-1}) = \frac{1 + Z^{-1}}{601 - 599Z^{-1}} \quad (32)$$

2.2.4 BLOQUE #5: LINEA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Este bloque analiza los niveles instantáneos de flicker para el cálculo directo y así permitir encontrar los valores de los parámetros de la evaluación en el fenómeno de flicker.

Para el análisis estadístico se hará uso de los parámetros y formulas según la IEC 61000-4-15 que son las correspondientes:

Se utilizará la siguiente formula para calcular el P_{st} :

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_{1S} + 0.0657P_{3S} + 0.28P_{10S} + 0.08P_{50S}} \quad (33)$$

Donde: $P_{0.1}$, P_{1S} , P_{2S} , P_{3S} , P_{10S} , P_{50S} .

Son los percentiles correspondientes a la distribución de las mediciones de fluctuación de voltaje y s significan los valores alisados los cuales son dados para una mejor aproximación en el cálculo de la severidad de flicker, del cual se deriva el método de quince puntos que se muestran en la siguiente tabla:

Nota: se pueden utilizar si se quiere solo los cinco puntos de los percentiles correspondiente a la formula; pero con un valor menos exacto.

TABLA. 2.1 Método de los quince puntos para el cálculo de P_{st} .

PUNTOS	PORCENTAJE
P₁	0.1%
P₂	0.7%
P₃	1.0%
P₄	1.5%
P₅	2.2%
P₆	3%
P₇	4%
P₈	6%
P₉	8%
P₁₀	10%
P₁₁	13%
P₁₂	17%
P₁₃	30%
P₁₄	50%
P₁₅	80%

Para este cálculo se hace lo siguiente se muestrean los datos, se calculan los quince puntos y se introducen en la formulas siguientes.

$$P_{1S} = (P_{0.7} + P_1 + P_{1.5}) / 3 \quad (34)$$

$$P_{3S} = (P_{2.2} + P_3 + P_4) / 3 \quad (35)$$

$$P_{10S} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}) / 5 \quad (36)$$

$$P_{50S} = (P_{30} + P_{50} + P_{80}) / 3 \quad (37)$$

Por ejemplo para el instante, $P_{0.1}$ corresponde al nivel excedido por el 0.1% del muestreo el cual no sufre un cambio muy abrupto; por lo que no es necesario alisarlo como los anteriores. Este nivel es mas conveniente si lo referimos como el 99.9% del percentil.

Para el cálculo del Plt se hará de acuerdo a la siguiente formula:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{st}^3}{N}} \quad (37)$$

Donde:

$N=12$

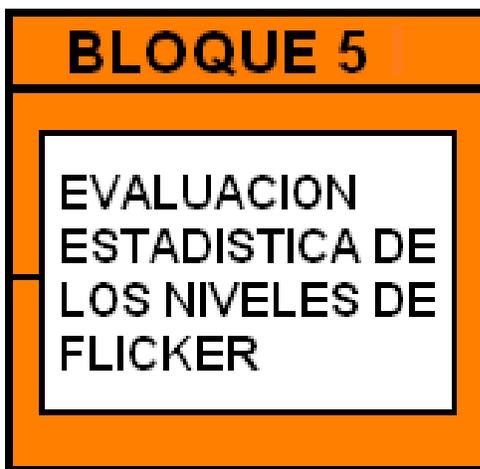


FIGURA 2.30 Diagrama esquemático del bloque 5.

2.2.6 ANÁLISIS TEÓRICO DEL PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL DE LOS BLOQUES 2,3 Y 4

Para este análisis se toma que la alimentación es una red sinusoidal a una frecuencia de 60 Hz y que la señal modulante o flicker que contamina es de origen sinusoidal como se muestra en las siguientes ecuaciones.

$$v(t) = A_c \sin w_c t \Rightarrow A_c = 1 \quad (38)$$

$$v(t) = \sin w_c t \quad (39)$$

2.2.6.1 Señal Modulada a la Entrada del Demodulador Cuadrático

Para esta explicación matemática hacemos uso de la modulación AM, como se puede ver en las siguientes ecuaciones, donde $v(t)_{\text{mod}}$ equivale a la función modulada de la red con la señal de flicker sinusoidal:

$$v(t)_{\text{mod}} = [1 + M \times \text{sen}(w_m t)] \sin(w_c t) \Rightarrow M = \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{V} \quad (39)$$

$$v(t)_{\text{mod}} = \sin(w_c t) + \sin(w_c t) \times M \times \text{sen}(w_m t) \quad (40)$$

$$v(t)_{\text{mod}} = \sin(w_c t) + \frac{M}{2} \cos[(w_c - w_m)t] - \frac{M}{2} \cos[(w_c + w_m)t] \quad (41)$$

Donde :

$w_c =$ frecuencia de la red

$w_m =$ frecuencia modulante

2.2.6.2 Señal Demodulada a la Salida del Bloque 2 (Demodulador Cuadrático)

$$\begin{aligned} v^2(t)_{\text{mod}} = & \sin^2(w_c t) + M \times \sin(w_m t) - M \times \cos 2w_c t \times \sin(w_m t) + \frac{M^2}{8} \\ & + \frac{M^2}{8} \cos[2(w_c - w_m)t] + \frac{M^2}{8} + \frac{M^2}{8} \cos[2(w_c + w_m)t] \\ & + \frac{M^2}{4} \cos 2w_m t + \frac{M^2}{4} \cos 2w_c t \end{aligned} \quad (42)$$

2.2.6.3 Entrada al Primer Filtro del Bloque 3

$$\begin{aligned}
 v^2(t)_{\text{mod}} = & \sin^2(w_c t) + M \times \sin(w_m t) - M \times \cos(2w_c t) \times \sin(w_m t) + \frac{M^2}{8} \\
 & + \frac{M^2}{8} \cos[2(w_c - w_m)t] + \frac{M^2}{8} + \frac{M^2}{8} \cos[2(w_c + w_m)t] \\
 & + \frac{M^2}{4} \cos(2w_m t) + \frac{M^2}{4} \cos(2w_c t)
 \end{aligned} \quad (43)$$

2.2.6.4 Salida del Primer Filtro del Bloque 3

$$v(t) = \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{V} \sin w_m t \quad (44)$$

Como se puede ver las frecuencias dobles y componentes continuas son despreciadas y dan como resultado a la salida una señal correspondiente a la componente en frecuencia de la señal modulante.

2.2.6.5 Salida del Filtro de Ponderación

El valor de 0.784070 se toma de la respuesta en frecuencia del filtro de ponderación total, como se puede observar en la figura 2.22 para una frecuencia de 8.8 Hz

$$v(t) = 0.784070 * \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{V} \sin w_m t \quad (45)$$

2.2.6.6 Entrada al Bloque 4

$$v(t) = 0.784070 * \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{V} \sin w_m t \quad (46)$$

2.2.6.7 Salida de la Etapa “Multiplicador Cuadrático” en el Bloque 4

$$v(t) = \left(0.784070 * \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{V} \right)^2 \sin^2 w_m t \quad (47)$$

Trabajando un poco más la Ecuación anterior tenemos:

$$v(t) = \left(0.78407 * \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{V} \right)^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{\cos 2 w_m t}{2} \right) \quad (48)$$

2.2.6.8 Salida de la “Etapa de Filtrado” en el Bloque 4

Es un Filtro Paso Bajo a una Frecuencia de corte de 0.53 Hz y Tomando en cuenta que la frecuencia de la función de voltaje es de 8.8 Hz.

$$v(t) = \left(\frac{1}{2} \right) \left(0.78407 * \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{V} \right)^2 \quad (49)$$

Tomando un $\frac{\Delta V}{V} = 0.321$ obtenemos a la salida del bloque 4 lo siguiente:

$$v(t) = 7.836268050 \times 10^{-7} \quad (50)$$

NOTA: El valor $\Delta V/V$ y frecuencia fueron tomados de la norma IEC 61000-4-15 la cual dicta lo siguiente:

“La respuesta global desde la entrada del instrumento a la salida del bloque numero 4 viene dada en las tablas 1 y 2 para fluctuaciones de tensión rectangulares y sinusoidales. La obtención del valor de 1 a partir del bloque 4 corresponde al umbral de perceptibilidad humana flicker de referencia. La frecuencia central en 8.8 Hz para la modulación sinusoidal.”

2.2.6.9 Factor K de ajuste

Para ajustar el valor de esta salida se aplica un factor K para obtener uno en la salida del Bloque 4.

Donde:

$$v(t) = K * 7.836268050 \times 10^{-7} = 1 \quad (51)$$

Entonces:

$$\mathbf{K=1262903.7350}$$

De lo cual se obtiene: $v(t) = 1$

2.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Estándares y Normas:

- [1] International Electrotechnical Commission (IEC), Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 4: Testing and Measurement Techniques—Section 15: Flickermeter—Functional and Design Specification, CEI IEC 61000-4-15 NOVIEMBRE 1997.
- [2] International Electrotechnical Commission (IEC), Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 4: Testing and Measurement Techniques—Section 15: *Flickermeter—Functional and Design Specification*, IEC Stand.61000-4-15, Ed. 1.1 + Addendum, ENERO 2003.
- [3] European Standard EN50160.
- [4] IEC 61000-4-30.

Reportes Técnicos:

- [5] S. Mark Halpin, Senior Member, IEEE and Roger Bergeron, “Voltage and Lamp Flicker Issues: Should the IEEE Adopt the IEC Approach?”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 18, NO. 3, JULY 2003.
- [6] B. Novo Ramos, J. L. de Castro Parga, “An EMTP Study of Flicker Generation and Transmission in Power Systems due to the Operation of fan AC Electric Arc Furnace”, Department of Electrical Engineering University of Vigo Spain.
- [7] J. Jatskevich, Student Member, O. Wasynczuk, Senior Member, School of Electrical and Computer Engineering, Purdue University West Lafayette, India, “A Method of Evaluating Flicker and Flicker-Reduction Strategies in Power Systems”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 4, October 1998.
- [8] Mahmoud.Mazadi, S.H.Hosseinian Amir Kabir University of Technology, Tehran-Iran, “Flickermeter Simulation to Use in Power System Analysis Software”
- [9] Daniele Gallo, *Member, IEEE*, Carmine Landi, *Member, IEEE*, and Nicola Pasquino, *Member, IEEE*, “Design and Calibration of an Objective Flickermeter”, IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 55, NO. 6, DECEMBER 2006.
- [10] Daniele Gallo, *Member, IEEE*, Carmine Landi, *Member, IEEE*, Roberto Langella, *Member, IEEE*, and Alfredo Testa, *Senior Member, IEEE*, “Implementation of a Test System for Advanced Calibration and Performance Analysis of Flickermeters”, IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 53, NO. 4, AUGUST 2004.
- [11] S. Caldara S. Nuccio C. Spataro, Dipartimento di Ingegneria Elettrica -Universita degli Studi di Palermo, “Digital Techniques for Flicker Measurement: Algorithms and Implementations Analysis”.
- [12] J. Ruiz, *Member, IEEE*, J. J. Gutierrez, *Member, IEEE*, and U. Irusta, “Power Engineering Letters”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 22, NO. 2, APRIL 2007.
- [13] Lassi Toivonen and Jorma Morsky, Helsinki University of Technology, Dept. of Electrical Engineering, Otakaari 5 A, FIN-02150 Espoo, Finland, “Digital Multirate Algorithms for Measurement of Voltage, Current, Power and Flicker”.

- [14] Araceli Hernández, Julio G. Mayordomo, Member, IEEE, Rafael Asensi, and Luis F. Beites, “A New Frequency Domain Approach for Flicker Evaluation of Arc Furnaces”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 18, NO. 2, APRIL 2003.
- [15] A. Bertola, G. C. Lazaroiu, *Student Member, IEEE*, M. Roscia, and D. Zaninelli, *Senior Member, IEEE*, “A Matlab-Simulink Flickermeter Model for Power Quality Studies”, 2004 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power.
- [16] Thomas Keppler, Neville Watson, *Member, IEEE*, and Jos Arrillaga, *Fellow, IEEE*, “Computation of the Short-Term Flicker Severity Index”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 15, NO. 4, OCTOBER 2000.
- [17] *J.P. de Sousa Rocha and S. M. Deckmann*, DSCE - FEE - UNICAMP P.O. BOX 6101 CEP 13081-970 Campinas, SP – Brazil, “DIGITAL FLICKERMETER IMPLEMENTATION”
- [18] Daniele Gallo, Student member, IEEE, Roberto Langella, member, IEEE, and Alfredo Testa, member IEEE, “Toward a New Flickermeter Based on Voltage Spectral Analysis”.
- [19] S. Mark Halpin, *Fellow, IEEE*, and Vikas Singhvi, *Member, IEEE*, “Limits for Interharmonics in the 1–100-Hz Range Based on Lamp Flicker Considerations”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 22, NO. 1, JANUARY 2007.
- [20] Chau-Shing Wang, *Member, IEEE*, and Michael J. Devaney, *Member, IEEE*, “Incandescent Lamp Flicker Mitigation and Measurement”, IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 53, NO. 4, AUGUST 2004.
- [21] Omer Ozgun and Ali Abur, “Flicker Study Using a Novel Arc Furnace Model”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 17, NO. 4, OCTOBER 2002.
- [22] D. Stade, Technical University Umenau, “ERROR ANALYSIS OF ANALOGUE/DIGITAL FLICKERMETER”
- [23] Christopher M. Fallon (Member) Duke Power Company Bulk Power Delivery Charlotte, NC 28201 USA, “Development and Testing of a Real-Time Digital Voltage Flickermeter”.
- [24] Marcin Piekarz, Marcin Szlosek, Zbigniew Hanzelka (*IEEE Member*), Andrzej Bien (*IEEE Member*), Antoni Stankiewicz, Marek Hartman, “Comparative Tests of Flickermeters”
- [25] Salvatore Caldara, Salvatore Nuccio, and Ciro Spataro, “A Virtual Instrument for Measurement of Flicker”, IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 47, NO. 5, OCTOBER 1998.
- [26] Araceli Hernández, Julio G. Mayordomo, *Member, IEEE*, Rafael Asensi, and Luis F. Beites, “A New Frequency Domain Approach for Flicker Evaluation of Arc Furnaces”
- [27] G. Neri, G. D. Cain, T. Salmon, and A. Yardim, *Member, IEEE*, “A Microprocessor-Based Digital Flickermeter”, IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 40, NO. 6, DECEMBER 1991
- [28] Thomas Keppler, Neville Watson, *Member, IEEE*, and Jos Arrillaga, *Fellow, IEEE*, “Computation of the Short-Term Flicker Severity Index”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 15, NO. 4, OCTOBER 2000
- [29] J.C. Gomez, M.M. Morcos, “Flicker Measurement and Light Effect”, *IEEE Power Engineering Review*, November 2002

Documentos Presentados en conferencias (Publicados):

- [30] Daniele Gallo, Carmine Landi, Roberto Langella and Alfredo Testa, “Implementation of a Test System for Advanced Calibration and Performance Analyses of Flickermeters”, IMTC 2003- Instrumentation and Measurement Technology Conference Vail, Co, USA, 20-22 May 2003.
- [31] Chau-Shing Wang, Department of Electrical Engineering, National Changhua University of Education, Chang-hua, “Decomposition of the IEC Flickerometer Weighting Curves”, IMTC 2004- Instrumentation and Measurement Technology Conference Como, Italy, 18-20 My 2004.
- [32] C. A. G. Medeiros, *PhD*, F. N. Belchior, MSc and J. C. de Oliveira, *PhD*, “A Proposal for UIE/IEC Flicker Measurement Using Digital Filters: Equipment Prototype and Validation”, 2004 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power
- [33] A. Bertola, G. C. Lazaroiu, *Student Member, IEEE*, M. Roscia, and D. Zaninelli, *Senior Member, IEEE*, “A Matlab-Simulink Flickerometer Model for Power Quality Studies”, 2004 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power.
- [34] S. Nuccio, Dipartimento di Ingegneria Elettrica – Università degli Studi di Palermo Viale delle Scienze, 90128 – Palermo, Italy, “A DIGITAL INSTRUMENT FOR MEASUREMENT OF VOLTAGE FLICKER”, IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Ottawa, Canada, May 19-21, 1997

3 DISEÑO DEL FLICKERMETER EN LABVIEW BASADO EN LA NORMA IEC 61000-4-15

3.1 INTERFASE UTILIZADA PARA LA RECOLECCIÓN DE LA SEÑAL DE VOLTAJE HACIA LA PC



FIGURA 3.1 Diagrama de conexión para recolección de datos.

NOTA: Todos los esquemas que se muestran a continuación son tomados del diagrama de bloques de LABVIEW del instrumento:

3.1.1 BLOQUE #1: EL ADAPTADOR DE VOLTAJE Y VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN

a) El proceso de adquirir datos a la PC está compuesto a grosso modo de dos etapas, tal como se describen a continuación en el siguiente diagrama de bloques.

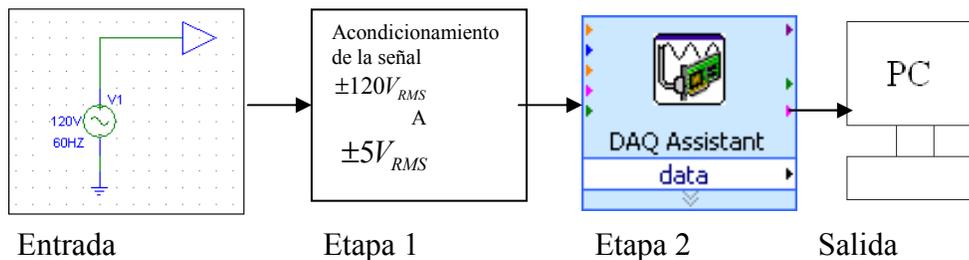


FIGURA 3.2 Diagrama esquemático para recolección de datos a la PC.

3.1.1.1 Sistema de Acondicionamiento de la Señal

El sistema de acondicionamiento de la señal es una etapa vital para la realización de nuestro proyecto, en este se pretende llevar a un nivel aceptable de voltaje desde la red de distribución (120V) hasta la tarjeta de adquisición que a su vez la llevara a la PC. A continuación se muestra un diagrama de bloques global de toda la operación antes mencionada, y posteriormente se describe cada bloque.

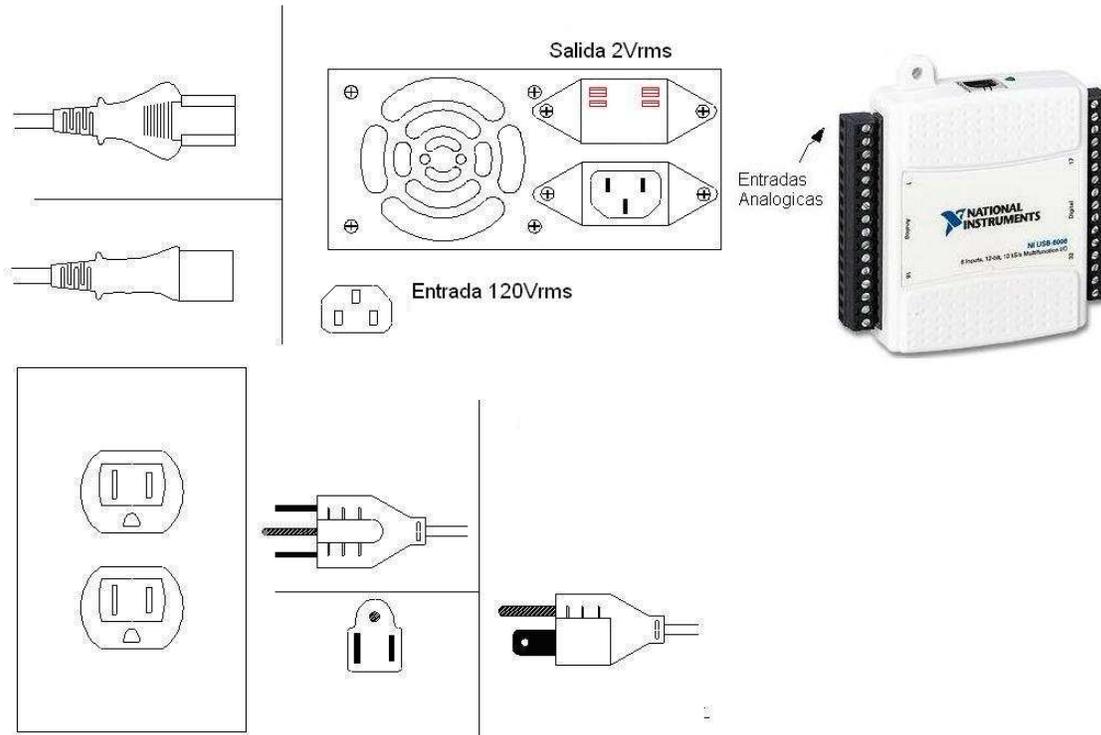


FIGURA 3.3 Diagrama de conexión a la red eléctrica.

La lógica de conexión en el diagrama anterior se toma de la red 120Vrms con un “toma macho industrial” en un “toma hembra tipo industrial” después esta se lleva hasta un circuito donde se acondiciona la señal hasta los niveles aceptables de la DAQ. Y finalmente se lleva la señal de 2Vrms hasta la DAQ. El diagrama eléctrico del sistema de acondicionamiento de la señal se muestra a continuación.

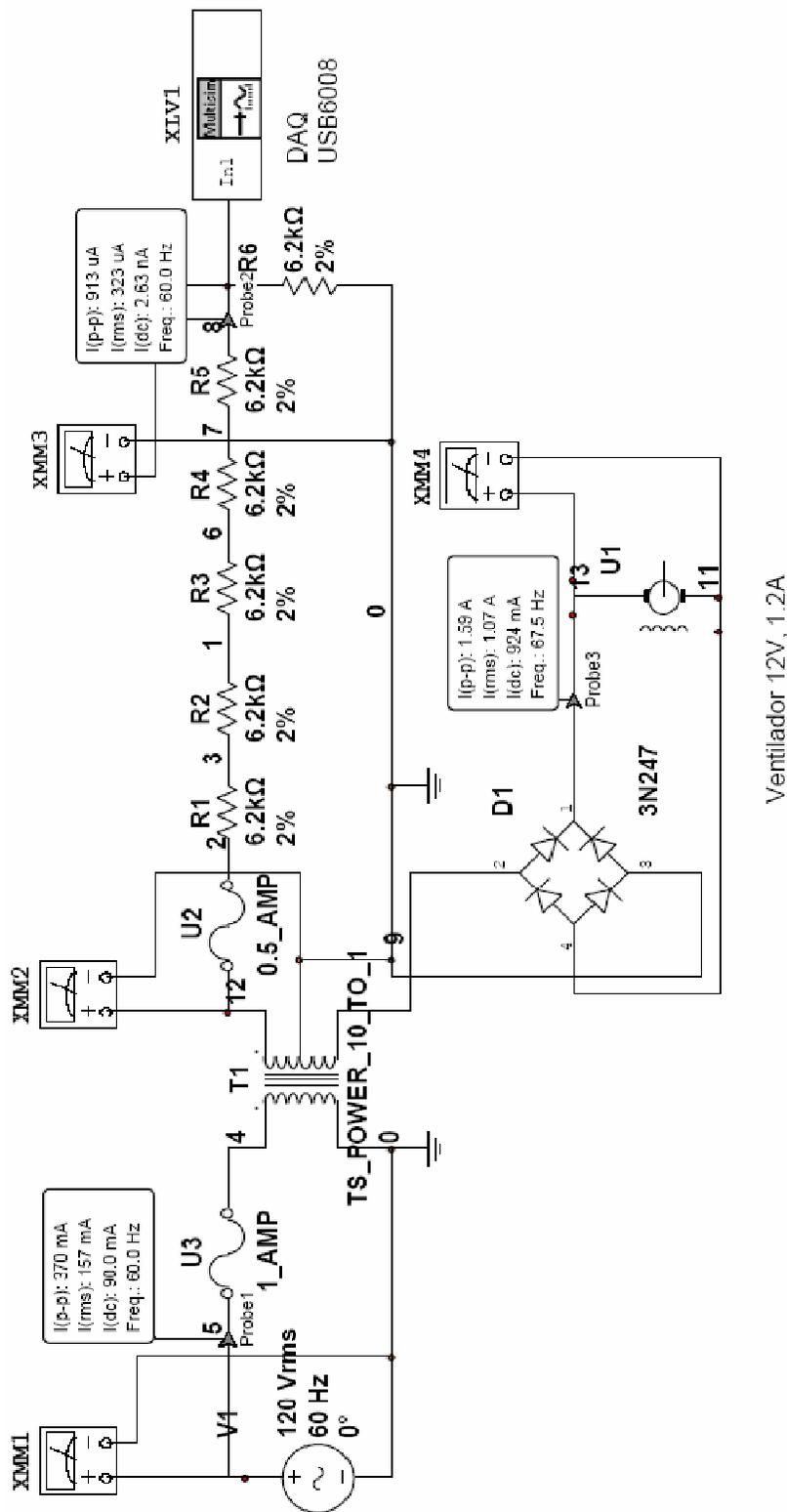
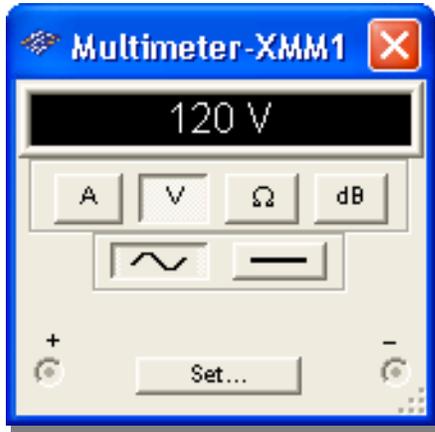
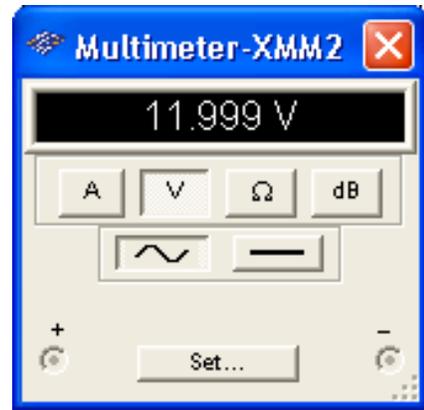


FIGURA 3.4 Diagrama eléctrico del Sistema de Acondicionamiento de la Señal

En el circuito anterior se muestra una simulación que implementamos con la idea de tener mayor confiabilidad en el diseño que hemos escogido y así cumplir con las especificaciones que requerimos para entregarle la señal a la DAQ, los resultados se muestran en las figuras siguientes.



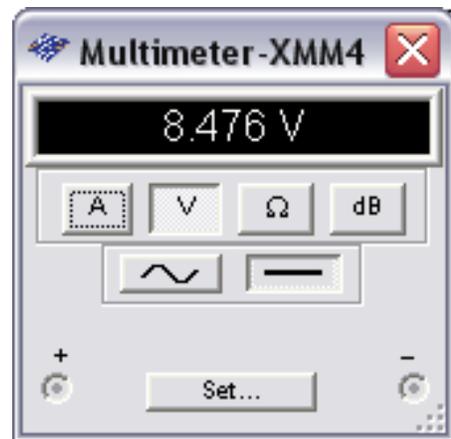
Voltaje proveniente de la red



Salida del Transformador



Voltaje a la entrada de la DAQ



Voltaje a la entrada del ventilador

FIGURA 3.5 Voltaje RMS que se espera en el circuito eléctrico y a la entrada de la DAQ

En el diseño también consideramos la parte de protecciones por lo tanto hemos incluido un fusible después del punto donde tomamos la señal de la red y a la entrada de la DAQ, además el transformador nos proporciona protección de aislamiento magnético por si ocurre una falla después del fusible a la entrada de la red. Además con el transformador reducimos el voltaje de la red a 12Vrms para luego aplicarle un divisor de voltaje. Por lo tanto $12V_{rms}/6 = 2V_{rms}$, esto se puede verificar en la figura anterior.

La señal a la entrada de la tarjeta se puede observar a continuación.

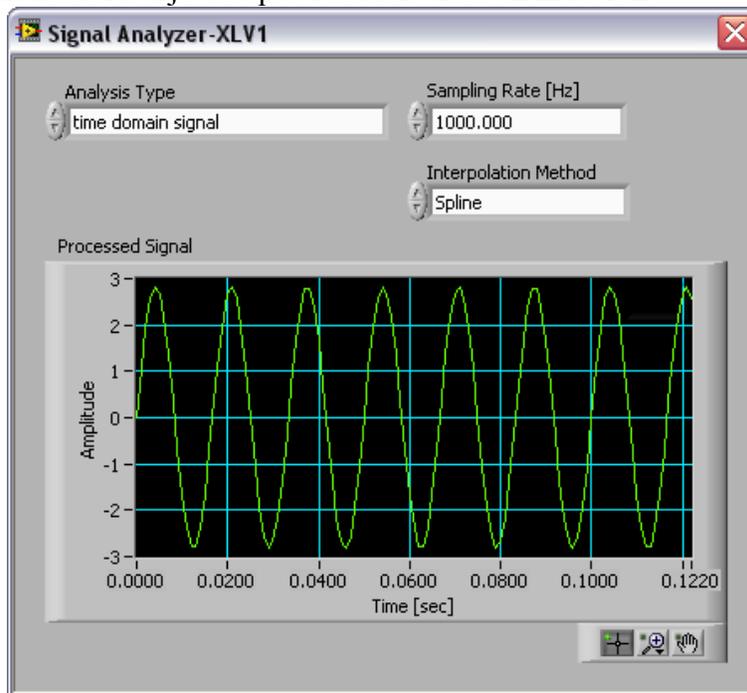


FIGURA 3.6 Señal a la entrada de la DAQ, mostrada desde Labview.

A continuación se muestra el circuito que se va a utilizar para realizar una placa de cobre, donde se van a situar todos los componentes del sistema eléctrico antes mencionado, las figuras posteriores son el diagrama de componentes individuales y el diagrama de pistas.

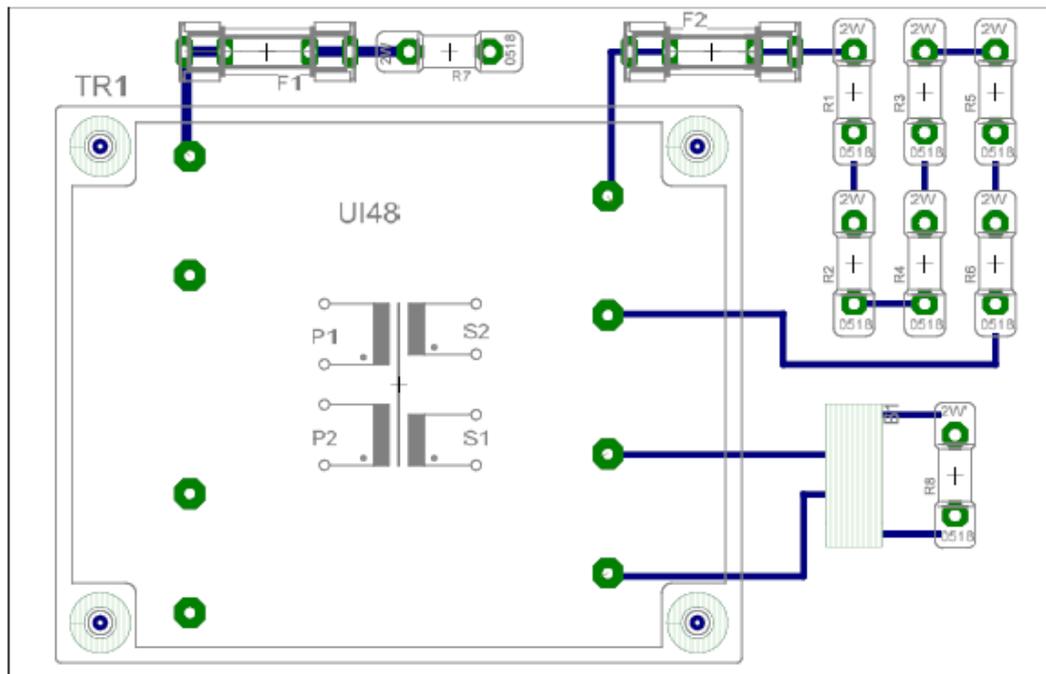


FIGURA 3.7 Diagrama de componentes físicos más las pistas de cobre del circuito de acondicionamiento de señales.

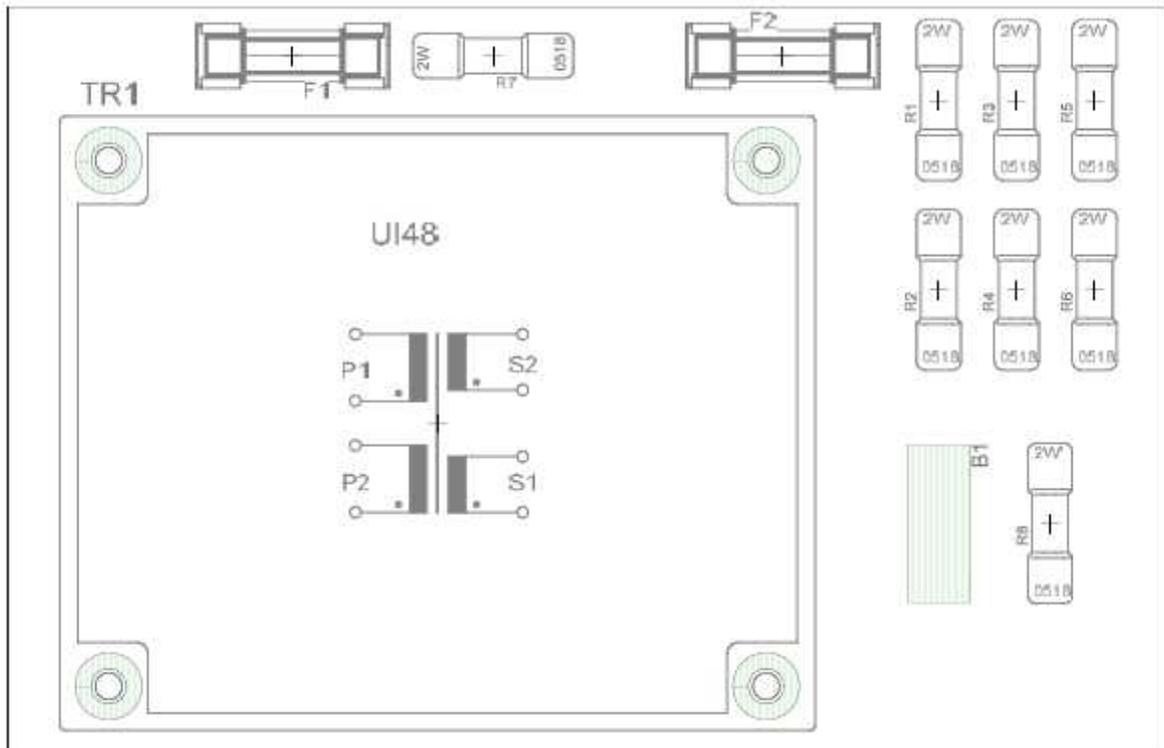


FIGURA 3.8 Diagrama de componentes del circuito de acondicionamiento de señales.

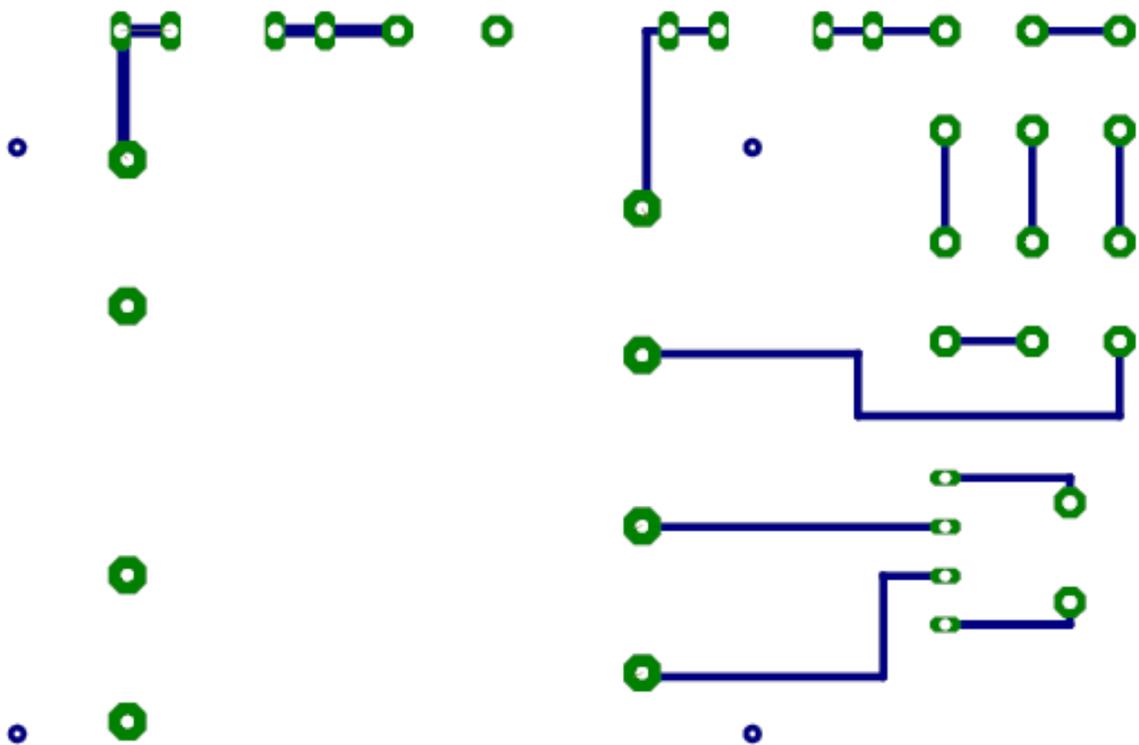


FIGURA 3.9 Diagrama de pistas del circuito de acondicionamiento de señales

El siguiente paso del proceso de adquisición de la señal analógica es configurar el software que la DAQ utiliza para interconectarse con el hardware. En nuestro caso hemos utilizado el software de instrumentación Virtual “LabView”, este posee un “*DAQ assistant*”, en el cual este lleva de la mano al usuario para conectar tanto físicamente la DAQ e interconectarla con en el software, los pasos se muestra a continuación.

1. Se prueba en un panel de calibración la DAQ (este se encuentra en Measurement Automation Studios este a su vez se interconecta con LabView), y se verifica si el voltaje que está adquiriendo es el que está saliendo del sistema de acondicionamiento de señales.

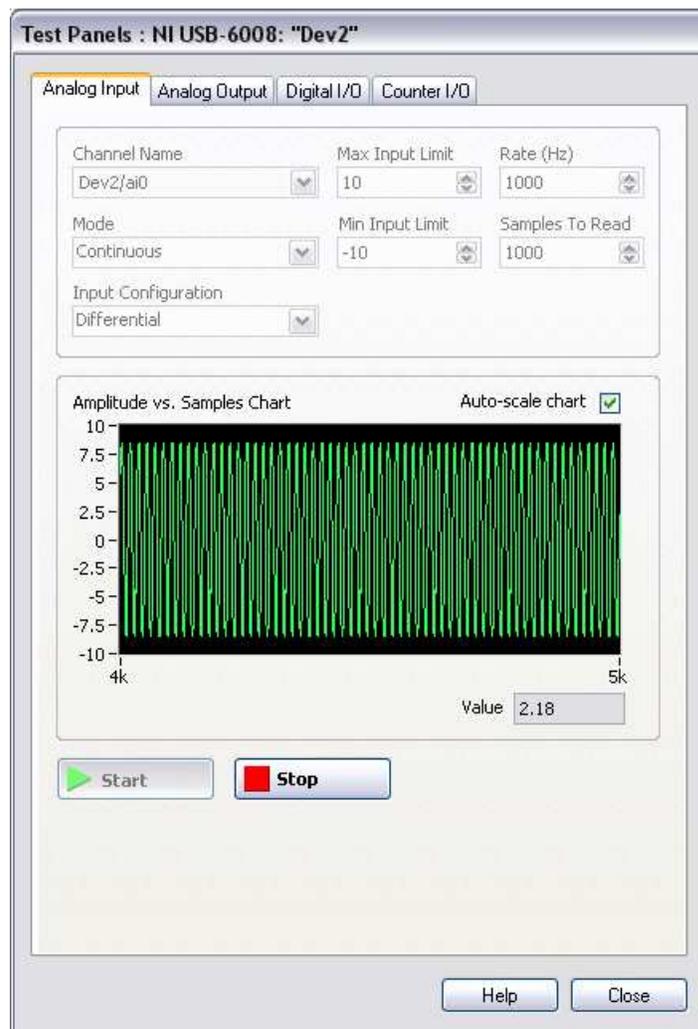


FIGURA 3.10 Panel de calibración de la DAQ.

2. El asistente le dice que magnitud física desea medir, para nuestro caso es voltaje, tal como se puede observar en la siguiente figura.

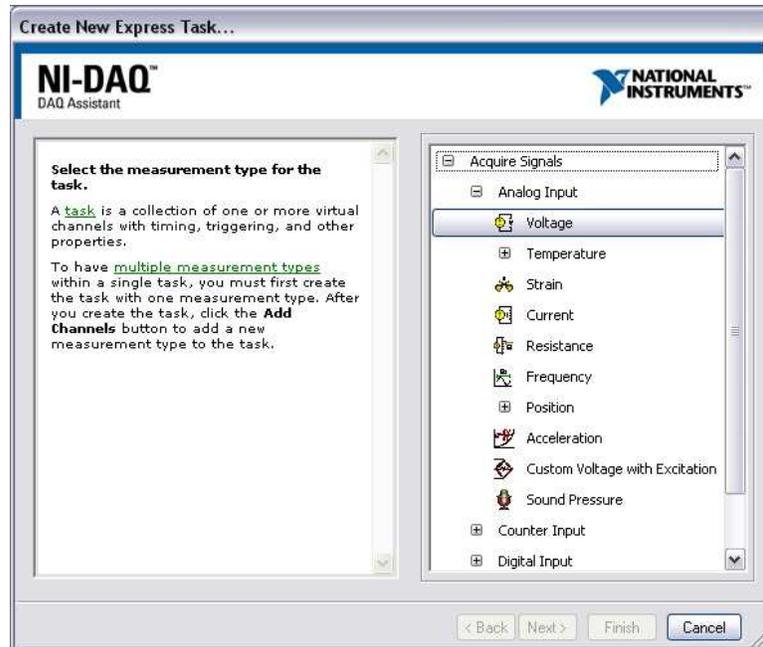


FIGURA 3.11 Selección de la magnitud física a medir.

3. Posteriormente el “DAQ Assistant” le pregunta cuál es el modelo de la DAQ en cuestión, para nuestro caso es la USB 6008. Adicionalmente también le pregunta en que puerto analógico desea adquirir la señal, por conveniencia escogemos la ai0.

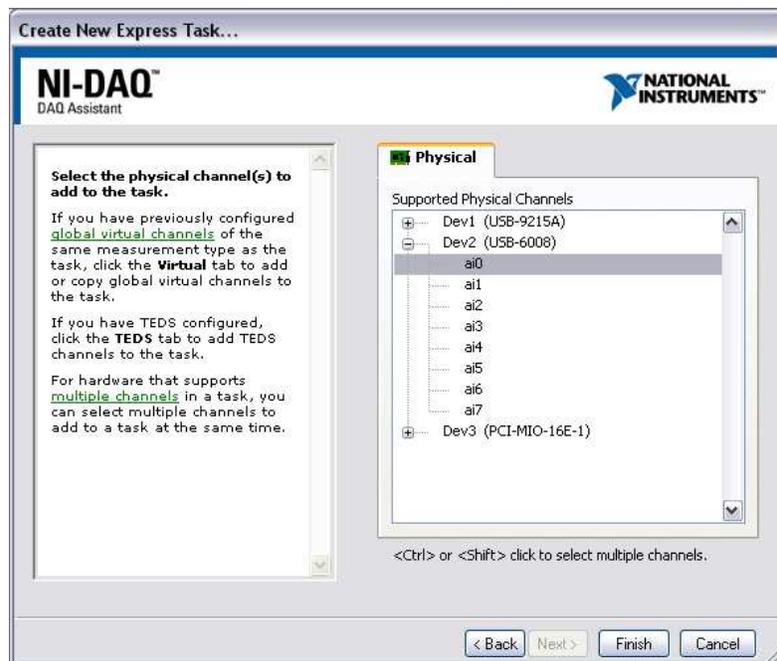


FIGURA 3.12 Selección de la DAQ y del puerto analógico.

4. En este paso colocamos la cantidad de muestras que queremos adquirir y la forma como queremos adquirirla, para nuestro caso escogimos 1000 muestras/s y que las adquiera de

manera continua. Para Verificar si en efecto nuestra DAQ está midiendo correctamente como lo especificamos anteriormente, verificamos de nuevo la entrada de la señal en la DAQ.

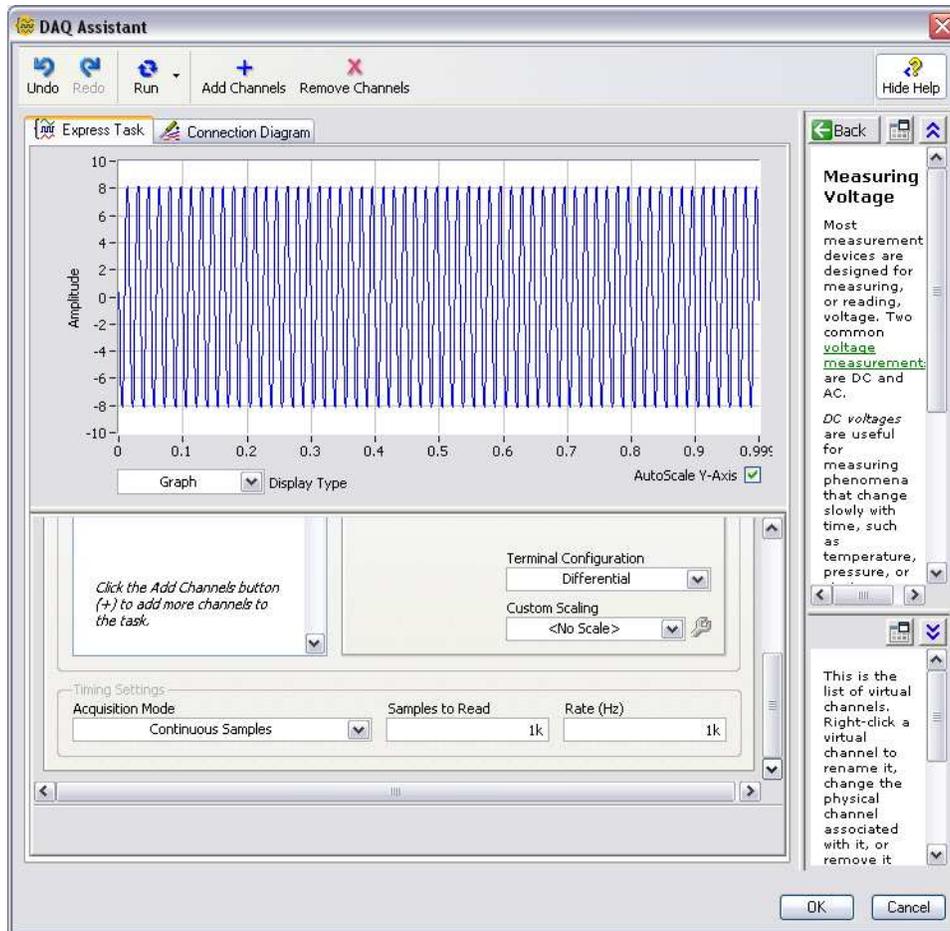


FIGURA 3.13 DAQ asistent.

5. Para verificar si físicamente todo está conectado correctamente generamos un reporte de la conexión, esto se puede encontrar en la pestaña “Connection Diagram” del DAQ asistent. Este reporte se puede observar a continuación.

Connection Diagram Report

Channel Name	Physical Channel	Device Type	Measurement Type
Voltage	Dev2/ai0	USB-6008	Voltaje

[Voltage \(Back to Top\)](#)

Point 1

Point 2

Voltage/CH+	16PinCombicon/2
Voltage/CH-	16PinCombicon/3

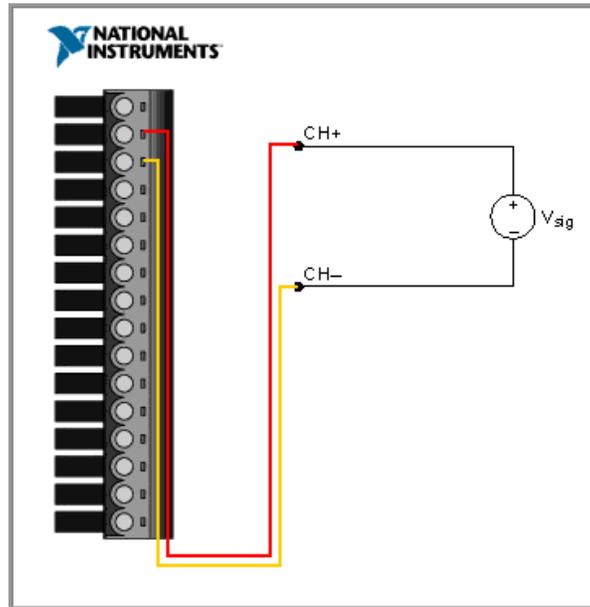


FIGURA 3.14 Diagrama de conexión físico de la DAQ.

6. Finalmente el DAQ assistant automáticamente nos genera un lazo while en el cual se adquiere la señal de manera infinita; En la siguiente figura se muestra el diagrama de bloques funcional.

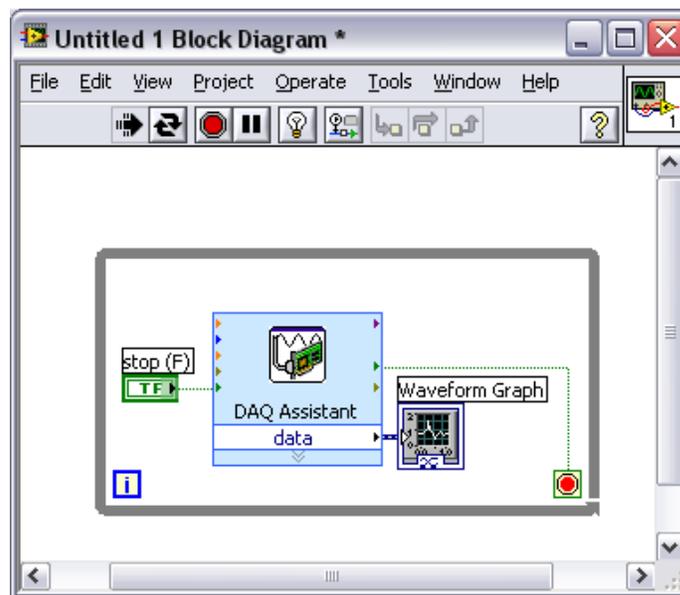


FIGURA 3.15 Diagrama de bloques en LABVIEW para el DAQ ASSISTANT.

7. Finalmente se posiciona el cursor sobre el DAQ assistant y se le da clic derecho, luego se escoge la opción generar código dando como resultado la siguiente figura:

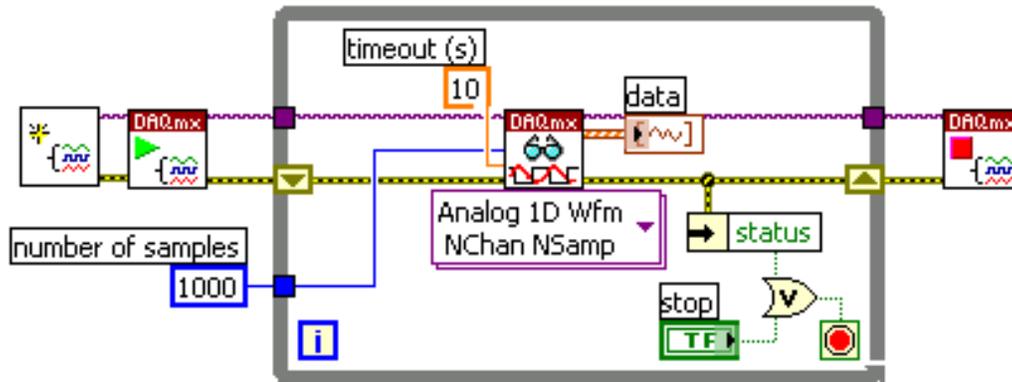


FIGURA 3.16 Código en Labview del bloque DAQ ASSISTANT.

8. Del numeral anterior se agrega un nodo de lectura para los datos provenientes de la señal a medir y fija con la opción de sobrescribir para evitar saturación en la lectura y errores de la medición.

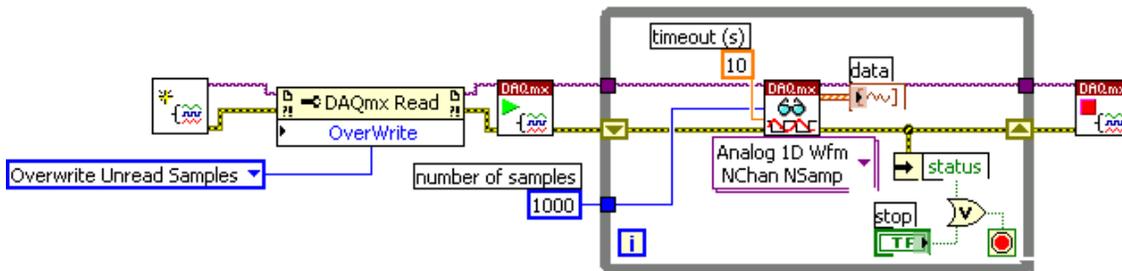


FIGURA 3.17 Código Labview del bloque DAQ ASSISTANT con sobre escritura "Overwrite".

9. Partiendo de los numerales previos se construye la forma final que tendrá este bloque dentro del instrumento virtual del flickermeter.

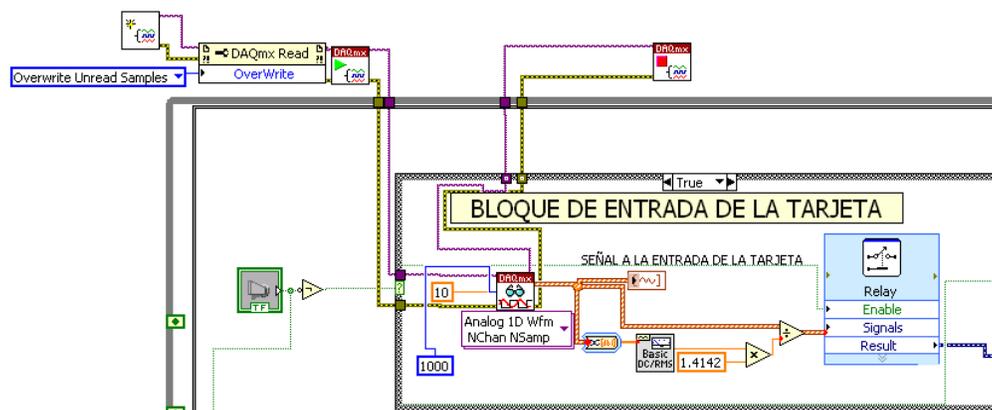


FIGURA 3.18 Código Labview para adquisición de la señal en el Flickermeter.

3.1.1.2 Detector y Control de Ganancia



FIGURA 3.19 Código Labview para el detector y control de ganancia.

3.1.1.3 Código Labview para el Generador de Señales en la etapa de Calibración del Instrumento

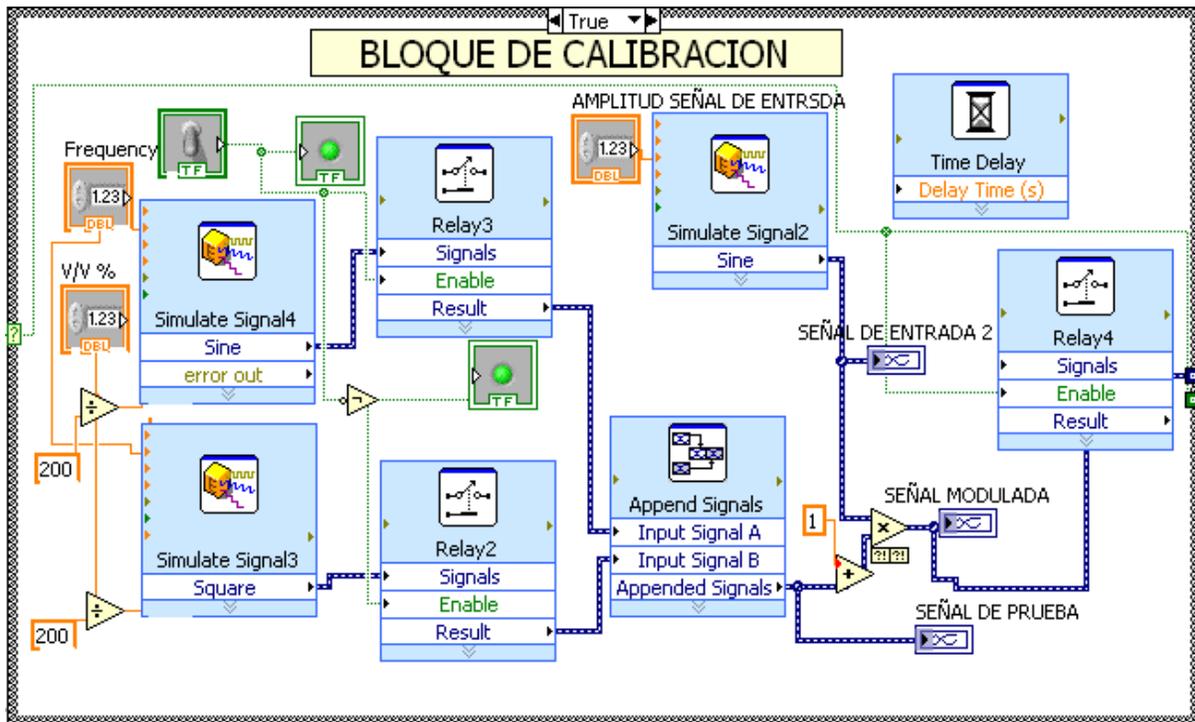


FIGURA 3.20 Código Labview para la etapa de calibración.

DIAGRAMA DEI BLOQUE 1

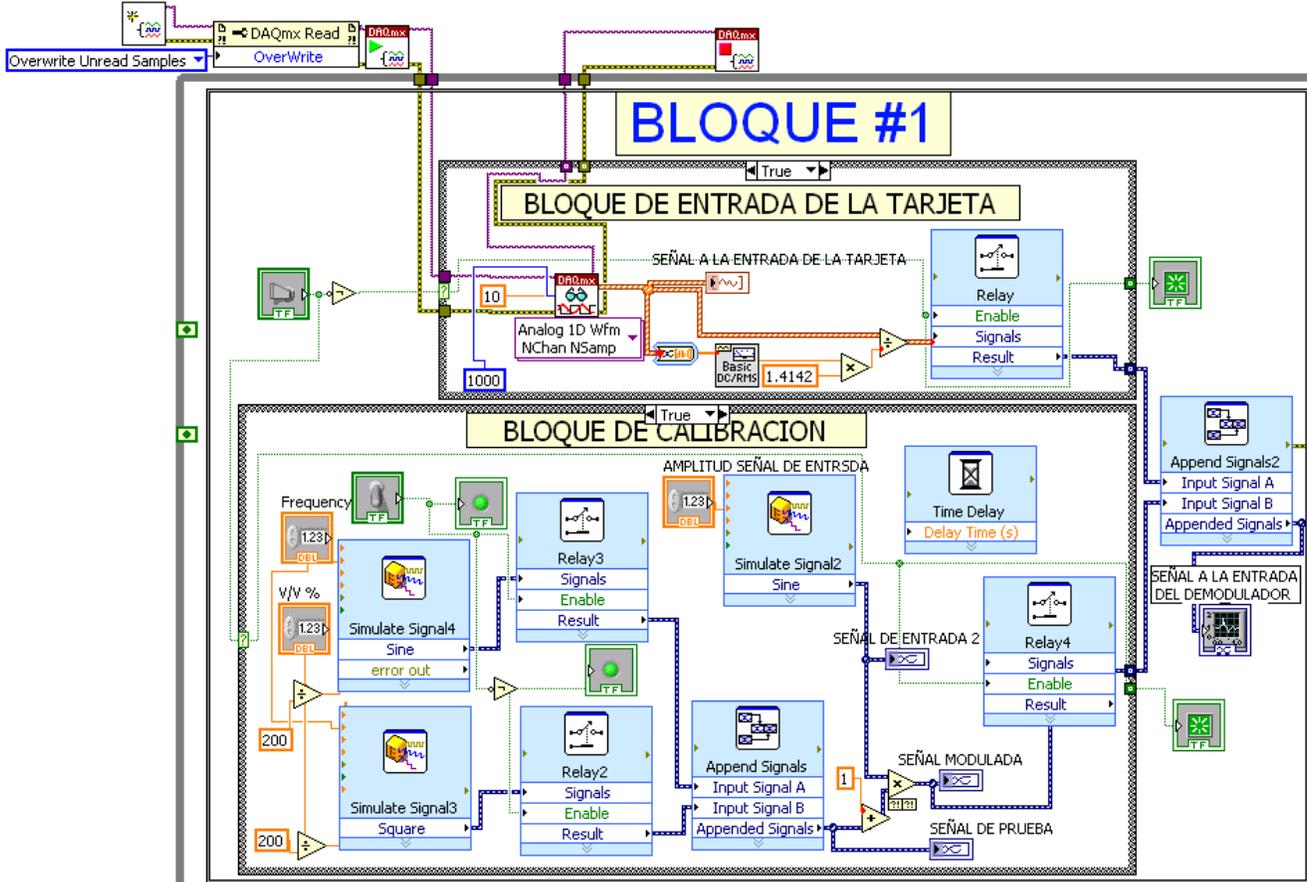


FIGURA 3.21 Código Labview para el bloque 1 del Flickermeter.

3.1.2 BLOQUE #2: DEMODULACIÓN CUADRADATICA

En la siguiente figura se puede observar la implementación en Labview para el bloque 2 (demodulación cuadrática) del Flickermeter.

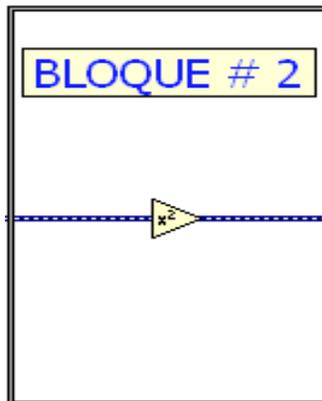


FIGURA 3.22 Código Labview para el bloque 2 del Flickermeter.

3.1.3 BOQUE #3: FILTROS DE PONDERACIÓN

Está compuesto por un filtro pasa banda de 0.05 Hz hasta 42 Hz y un filtro de ponderación que lo implementamos por tres filtros en cascada, además se añadió un filtro rechaza banda sintonizado al doble de la frecuencia de la portadora para suplir las deficiencias de la demodulación. La respectiva implementación en Labview se puede observar en la siguiente figura.

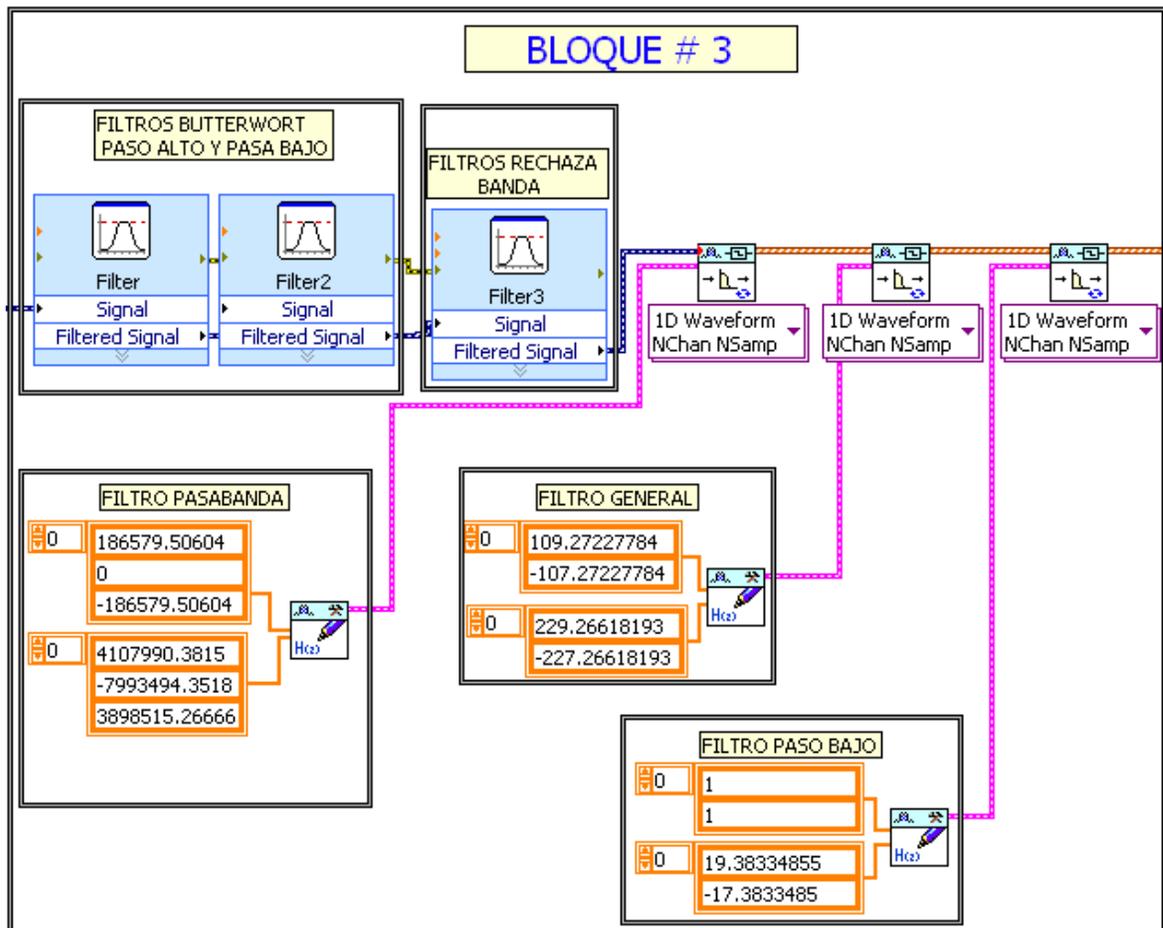


FIGURA 3.23 Código Labview del bloque 3 del Flickermeter.

3.1.4 BLOQUE #4: MULTIPLICADOR CUADRATICO Y ALISAMIENTO DE LA SEÑAL

Este bloque se construyó de manera similar al bloque 2 combinado con el bloque 3 tal como se puede observar en la siguiente figura.

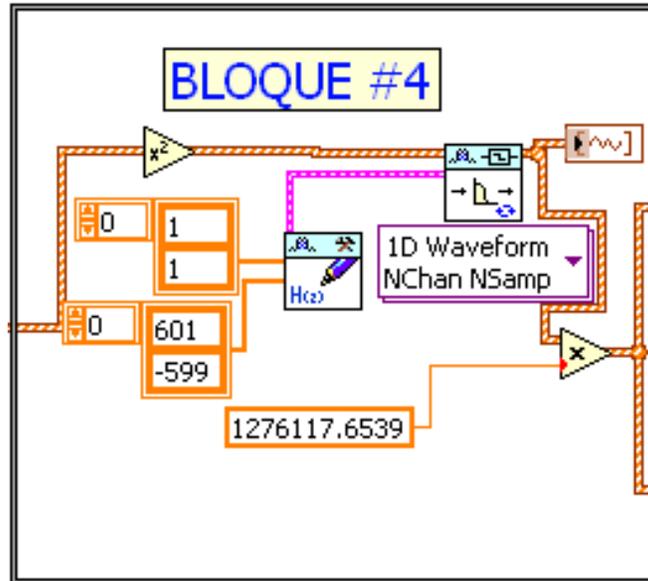


FIGURA 3.24 Código Labview del bloque 4 del Flickermeter.

3.1.5 BLOQUE #5: ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN TIEMPO REAL

Este bloque se desarrollo para el análisis estadístico en tiempo real y posteriormente encontrar el P_{st} y el P_{It} ; utilizando las herramientas de Labview con la teoría antes mencionada de la cual se desarrollo el siguiente código:

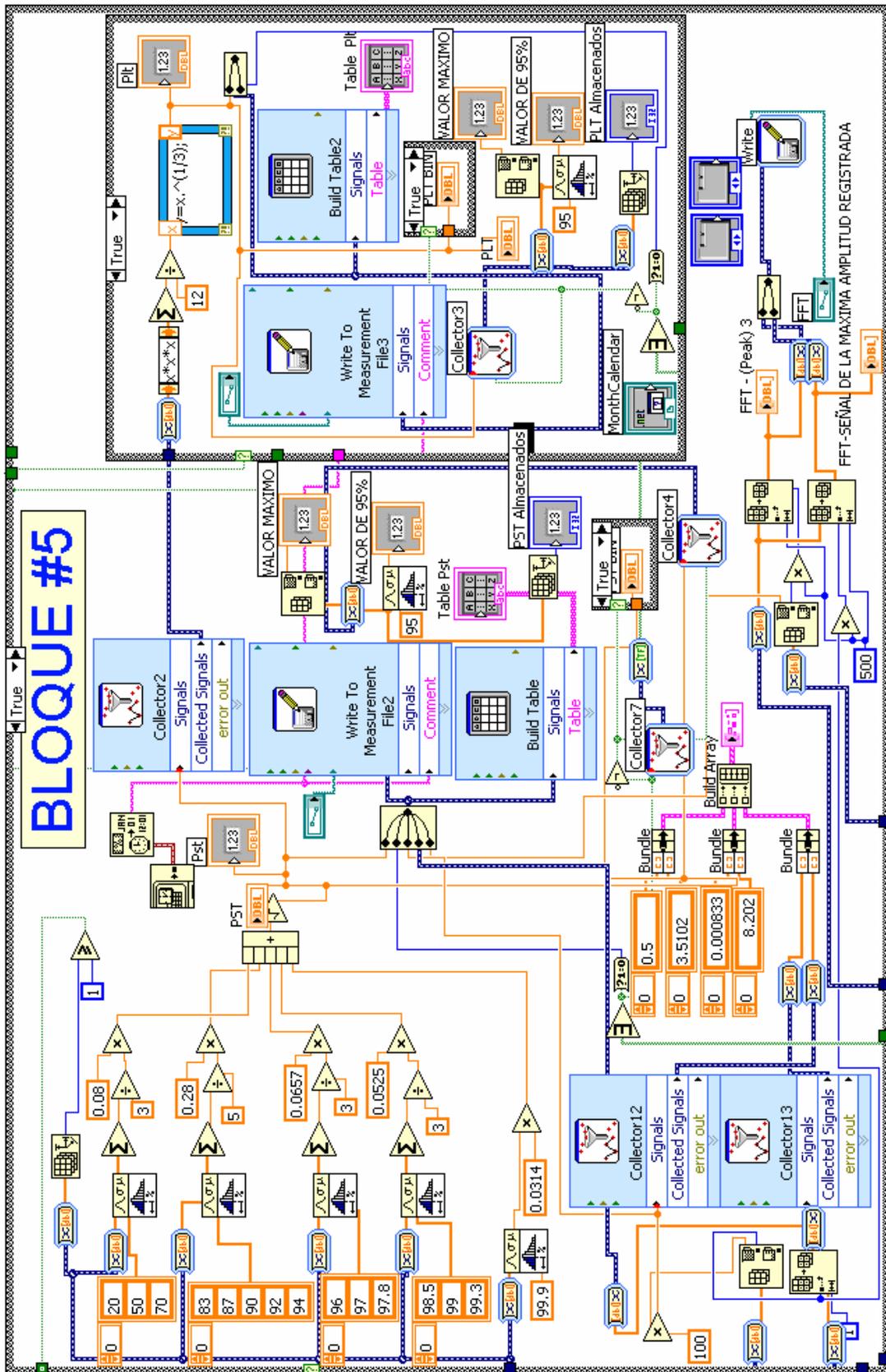


FIGURA 3.25 Diagrama del bloque 5 implementado en Labview

3.1.6 SIMULACIÓN EN LABVIEW PARA LAS SALIDAS DE LOS BLOQUES 2, 3 Y 4

La siguiente simulación se hizo con una señal de flicker sinusoidal con las siguientes características: $\Delta V/V = 40\%$ y una frecuencia 8.8 Hz, para un Flickermeter de 120V 60 Hz.

3.1.6.1 Salida del bloque 2

Representación gráfica de la demodulación para la forma de onda entrante, la cual será filtrada por el siguiente bloque.

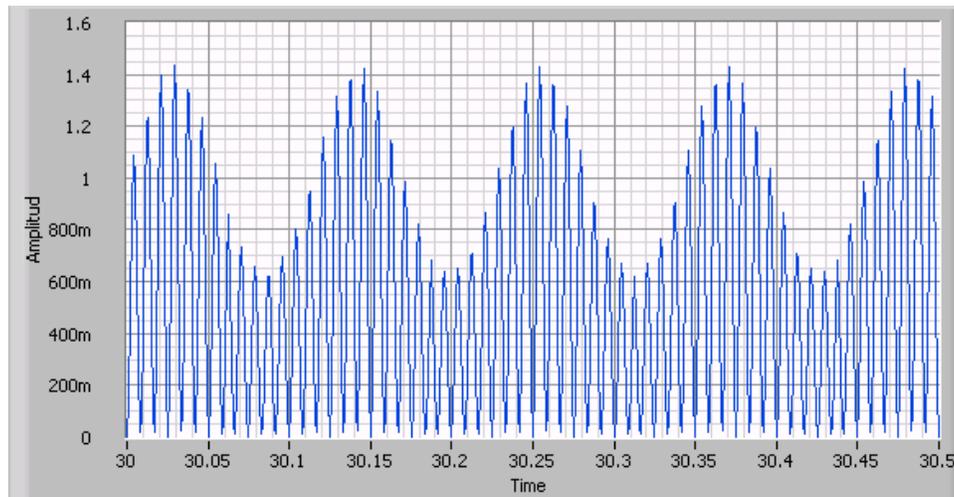


FIGURA 3.26 Forma de onda a la salida del demodulador cuadrático.

3.1.6.2 Salida del filtro pasa banda en el bloque 3

La salida de los filtros paso alto de primer orden con una frecuencia de corte de 0.05Hz y el filtro pasa bajo de sexto orden con una frecuencia de corte de 42 Hz es la siguiente:

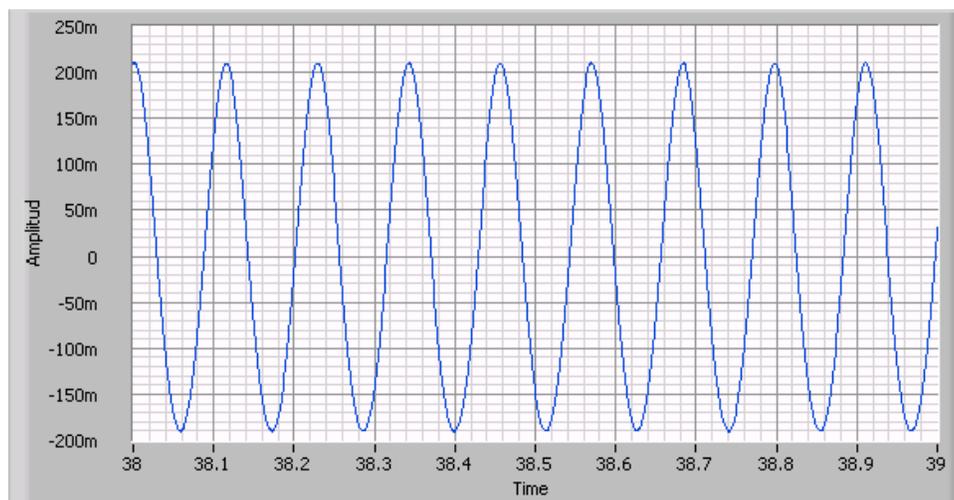


FIGURA 3.27 Forma de onda a la salida del pasa banda del bloque 3.

La figura 3.27 corresponde a la ecuación 44 antes calculada en el análisis teórico la cual tomamos a continuación para su comprobación:

$$v(t) = \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{V} \sin \omega_m t \quad (52)$$

Donde tenemos que: $\Delta V/V = 40\%$ a una frecuencia de 8.8 Hz.

$$v(t) = 0.2 \sin \omega_m t \quad (53)$$

3.1.6.2 Salida del filtro de ponderación del bloque 3

Esta gráfica muestra la salida del filtro de ponderación, el cual lo componen un filtro pasa banda, un filtro pasó bajo y un filtro general.

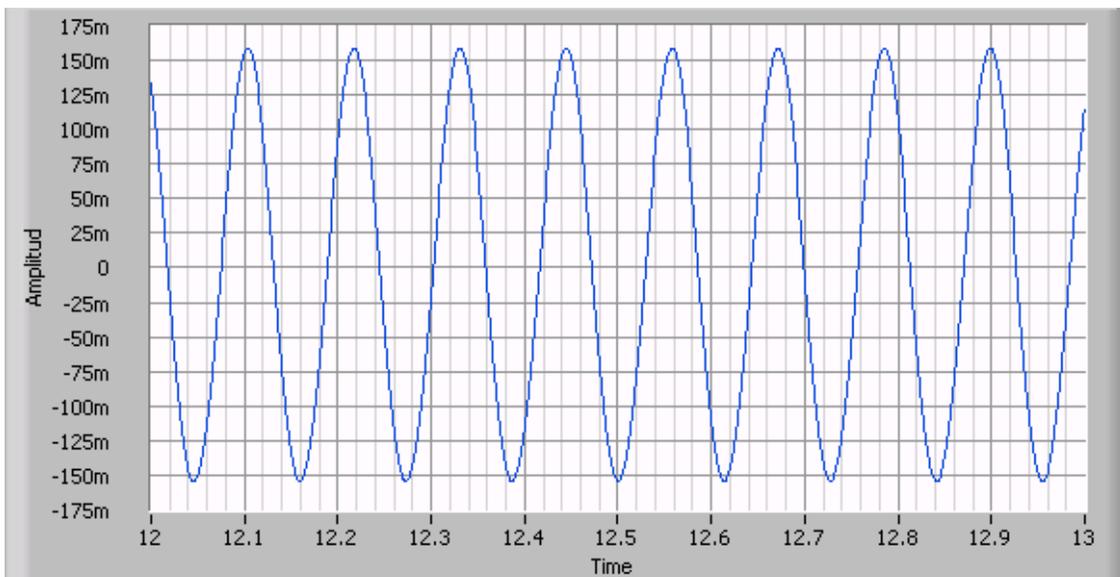


FIGURA 3.28 Forma de onda a la salida del filtro de ponderación.

De manera que si tomamos la relación teórica en la salida del filtro pasa banda tendríamos una formula semejante a la anterior:

$$v(t) = 0.2 \sin \omega_m t \quad (54)$$

Por lo visto de la ecuación 54 se deduce que esta función en el tiempo es la que estaría entrando al filtro de ponderación y su salida respectiva seria la siguiente según el análisis teórico:

$$v(t) = 0.2 * 0.78407 \sin \omega_m t \quad (55)$$

El factor de 0.78407 ya se había mencionado anteriormente, este es la respuesta en magnitud del filtro a una frecuencia cercana entre 8.6-8.8Hz, según el modelo desarrollado del filtro de ponderación para 120V a 60Hz, y de acuerdo a esto tendríamos una señal muy parecida a la figura 3.28, según se muestra a continuación:

$$v(t) = 0.156814 \sin w_m t \quad (56)$$

3.1.6.3 Salida del bloque 4

Aca para la salida del bloque 4 tomaremos un valor de $\Delta V/V = 0.321\%$ que corresponde a una frecuencia de 8.8 Hz, para el cual la norma establece que se debe obtener la unidad a la salida lo cual se presenta a continuación:

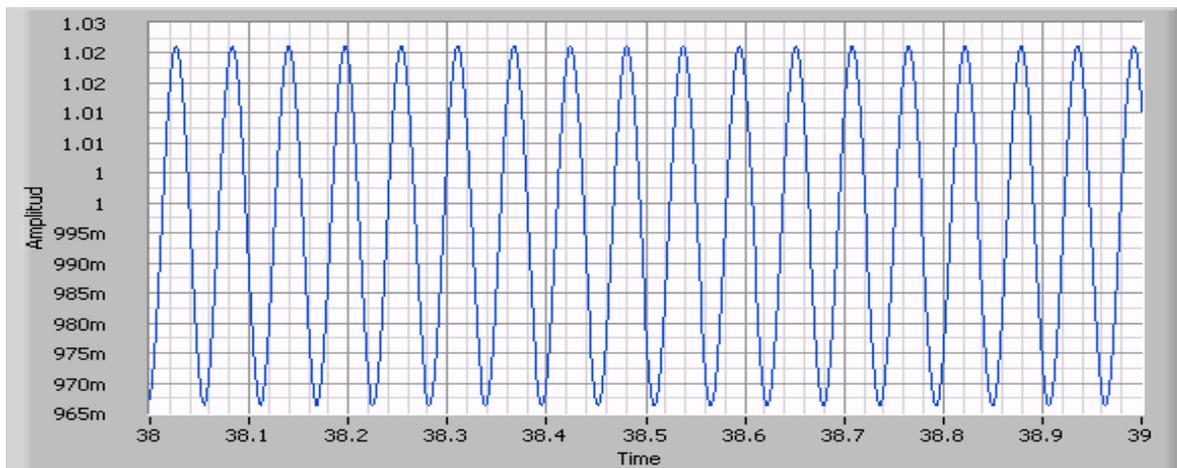


FIGURA 3.29 Forma de onda a la salida del bloque 4 para $\Delta V/V = 0.321\%$, 8.8Hz.

3.1.7 CONTROL DEL TIEMPO PARA LA EVALUACIÓN DEL P_{st} Y P_{lt}

Antes de que empiece la medición el Flickermeter deja un margen de 2 minutos antes de hacer cualquier procesamiento de la señal, este período es recomendado por [1]. Posteriormente se encarga de medir períodos de diez minutos, luego envía una señal de control al bloque 5 (Análisis Estadístico en tiempo real) para que este realice la evaluación de los datos muestreados y calcule un P_{st} .

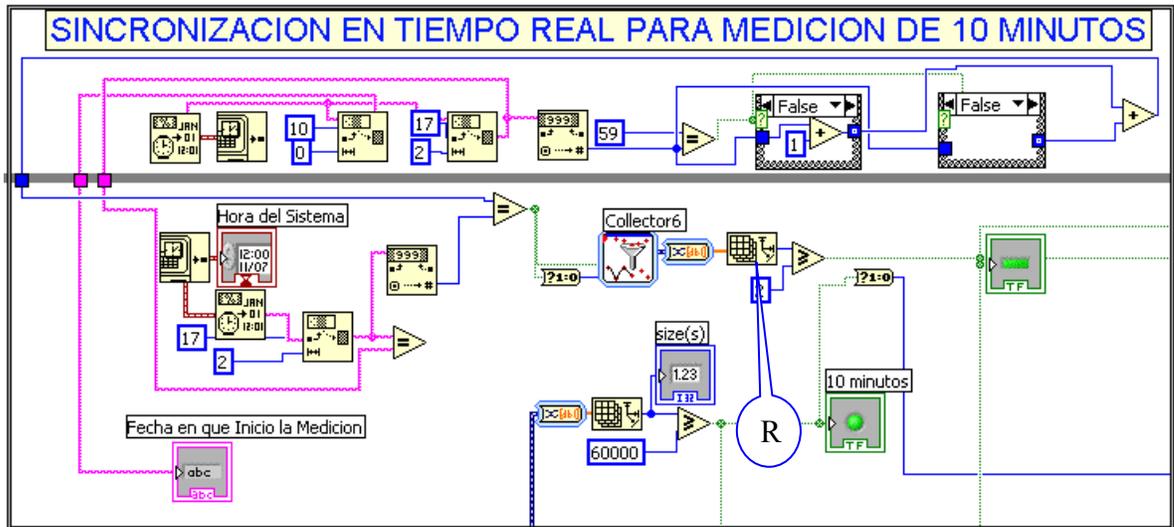


FIGURA 3.30 Código en LabView para la sincronización de tiempo con LabView y la PC.

R: con este valor se da el retardo que necesitan los filtros para que se respuesta se establezca en el tiempo.

3.1.8 ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS

Para almacenar los datos en la PC hemos utilizado el siguiente diagrama de flujo.

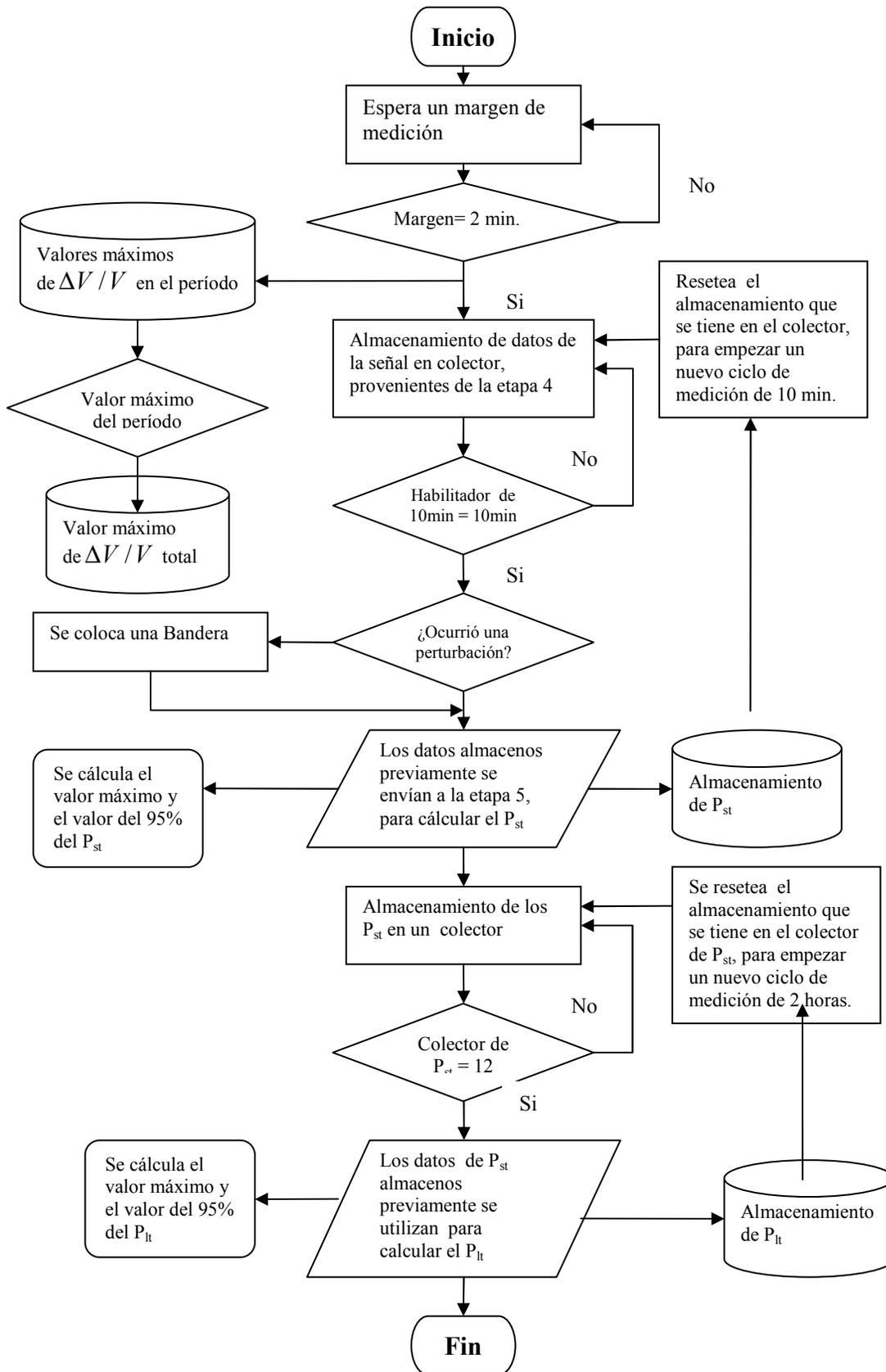


FIGURA 3.31 Flujograma de recolección de datos.

En el diagrama anterior hemos dejado un margen de 2 minutos, para que después que corramos el programa la medición no presenta transientes ni ruidos en el voltaje y por consiguiente tener mejores resultados, el procedimiento para realizar pruebas de calibración se desarrolla en el capítulo 5 de esta tesis.

Una vez completado el margen antes mencionado el bloque de “SINCRONIZACIÓN EN TIEMPO REAL PARA MEDICIÓN DE 10 MINUTOS” envía una señal de control para habilitar la el colector de señales ubicado después del bloque 4, este almacena las señales en tiempo real de IFL (nivel instantáneo de flicker), en la DAQ como dijimos anteriormente la hemos programado para que adquiera 1000 muestras/segundo, por lo tanto los datos totales a procesar son los siguientes:

$$Medicion_{10\min} = 1000 \frac{\text{muestras}}{\$} \times \frac{60\$}{1\min} \times 10\min = 600,000 \text{ muestras} / P_{st} \quad (57)$$

Una vez completado los 10 minutos se envía una señal de control al bloque 5 para luego calcular el primer valor de P_{st} y los 600,000 datos pasan a ser procesados, posteriormente se manda una señal de control para dar reset al colector de datos y luego se procede a esperar los siguientes 10 minutos restantes, el valor de P_{st} es almacenado en otro colector y en un archivo TXT, cuando el colector de P_{st} es igual a 12 se manda una señal de control para calcular el primer valor de P_{It} , luego se manda una señal de control para dar reset al colector de P_{st} , posteriormente se almacena el P_{It} .

3.2 PANELES FRONTALES DEL FLICKERMETER

3.2.1 PANEL PRINCIPAL: Señal de calibración del instrumento

- 1) Control o selector que se encarga de decidir entre la calibración del instrumento o medición de una señal proveniente de la red eléctrica (señal externa de voltaje)
- 2) Al escoger la calibración del instrumento será necesario decidir cual señal o modelo matemático se desea utilizar y es aquí donde interviene el switch el cual nos da la opción de escoger entre una onda senoidal o onda rectangular.
- 3) Este indicador es en el cual se introduce la frecuencia de la onda modulante del modelo de flicker que se desea implementar.
- 4) Este indicador es el encargado de introducir el índice de modulación ($\Delta V/V$) correspondiente a la frecuencia para la calibración del instrumento.

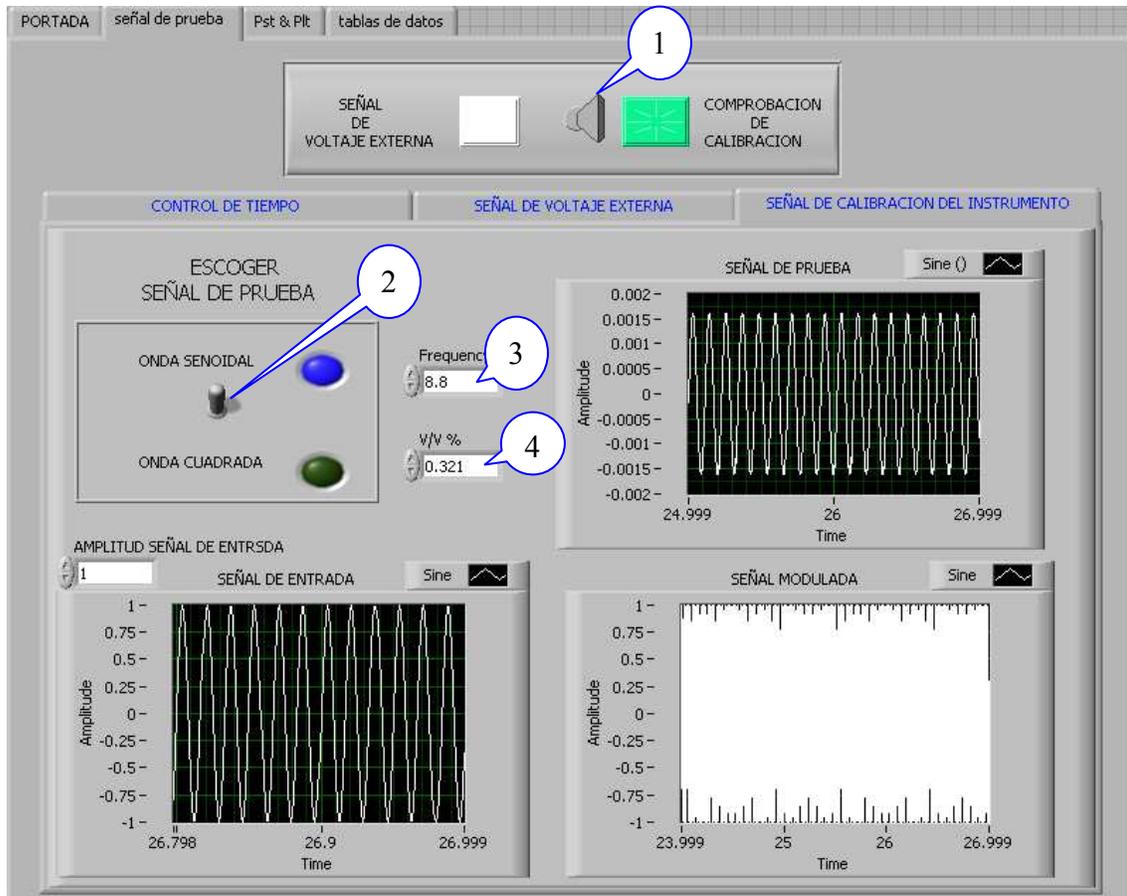


FIGURA 3.32 Panel de calibración del Flickermeter.

3.2.2 PANEL PRINCIPAL : Control de tiempo

- A. Al presionar el icono de la carpeta este direcciona donde se desea que los datos de P_{st} sean almacenados dentro de la computadora, para esto será necesario crear un archivo.txt antes o en el momento de escoger la dirección, de no ser así el solo crea un archivo en la dirección indicada en la pantalla.
- B. Es el mismo caso anterior con el cambio que estos sirven para almacenar los valores o datos de P_{lt} medidos
- C. Sirve para almacenar los valores o datos de SAG & SWELL medidos
- D. Sirve para almacenar los valores o datos de FFT
- E. Este indicador muestra la cantidad de P_{st} calculados durante la medición.
- F. Este indicador muestra la cantidad de P_{lt} calculados durante la medición.
- G. Indica que el medidor empezó a recolectar datos (Luz verde).
- H. Indica la fecha en que se inicio la medición.
- I. Indica que se esta calculando un P_{st} .



FIGURA 3.33 Panel de control de parámetros de tiempo y datos de recolección y almacenamiento.

3.2.3 PANEL PRINCIPAL: Señal de voltaje externa

En este bloque se vera la señal a la entrada de la tarjeta y la entrada normalizada (señal a al entrada del demodulador) solo funciona si la señal de voltaje externa esta elegida.



FIGURA 3.34 Panel graficador de señales.

3.2.4 ENVOLVENTE DE LA SEÑAL Y NIVEL INSTANTANEO DE FLICKER

Este muestra dos señales de interés que proporciona el instrumento que son:

- 1) **Envolvente de la señal.**
- 2) **Nivel instantáneo de flicker (IFL).**

3.2.4.1 Envolvente de la señal

Este panel muestra una de las salidas de interés la cual es la envolvente de la señal que se sustrae de la primeros dos filtros que forman el pasa banda de bloque 3, y la cual muestra la forma de señal contaminante que contiene la portadora.

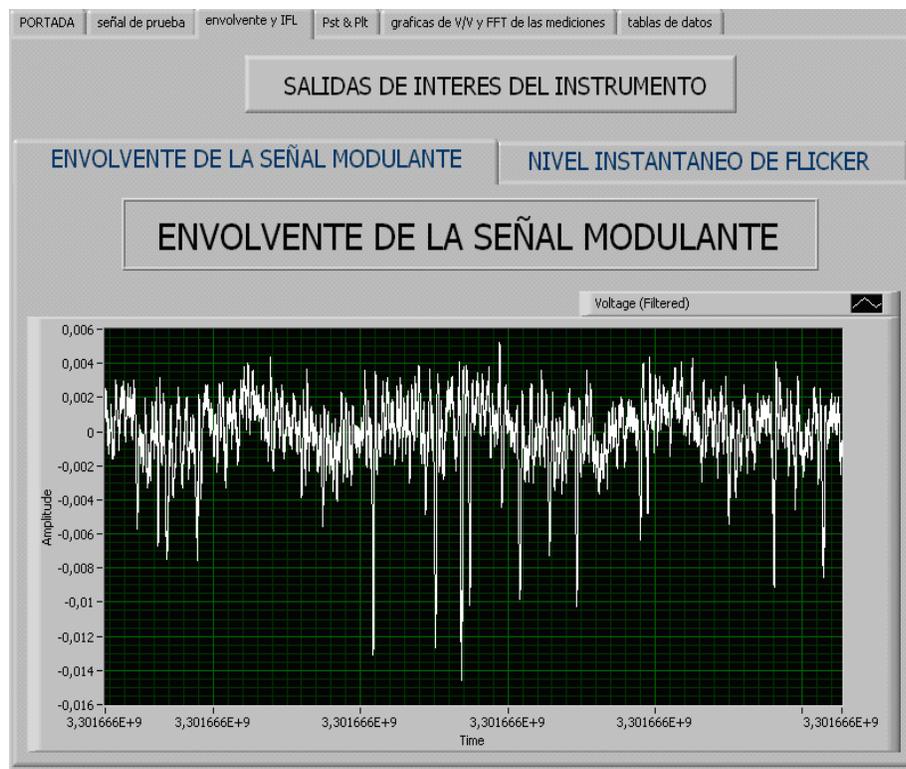


FIGURA 3.35 Panel donde muestra la señal envolvente.

3.2.4.2 Nivel Instantáneo de Flicker (IFL)

Este panel muestra el nivel de flicker instantáneo que es tomado a la salida del bloque 4 del instrumento.

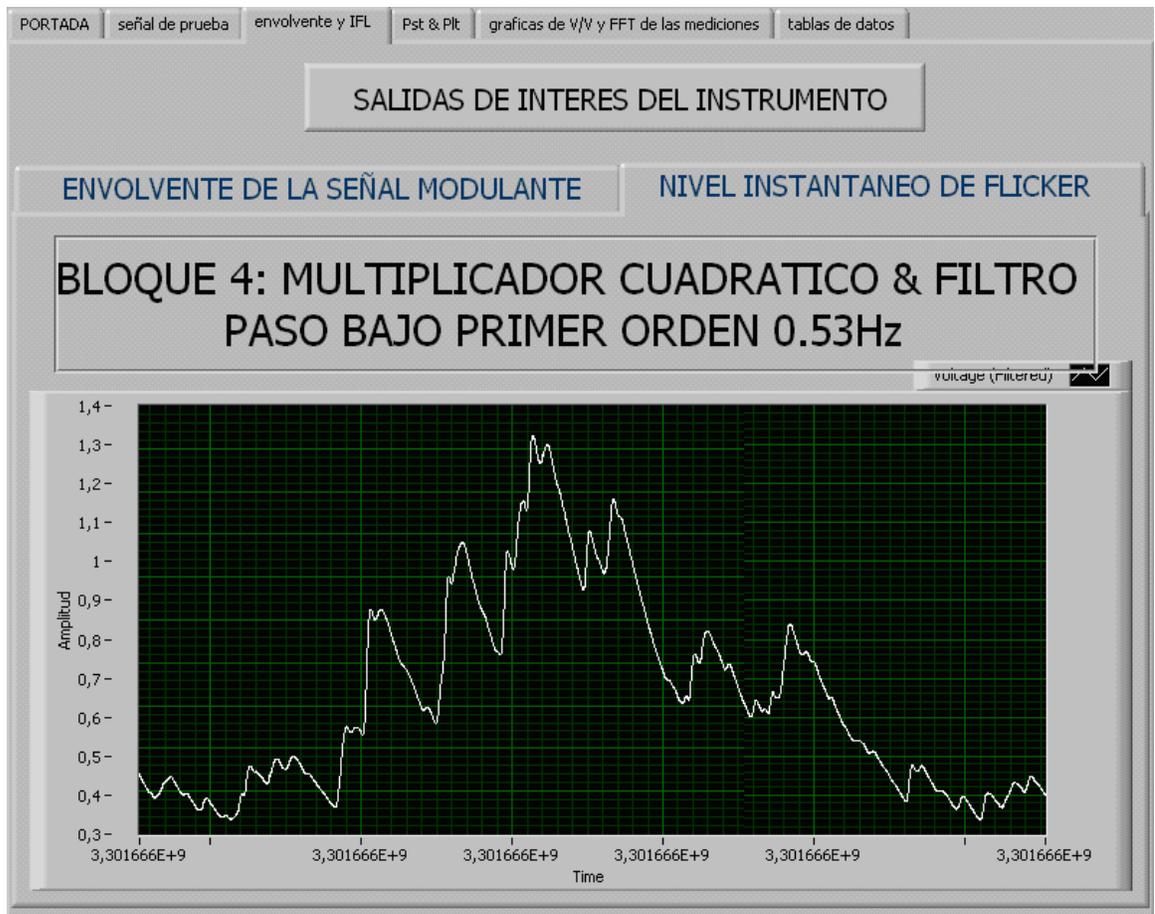


FIGURA 3.36 Panel de graficador del nivel instantáneo de flicker (IFL).

3.2.5 VALORES DE P_{st} Y P_{lt}

Este panel muestra los resultados siguientes:

- 1) Valor de P_{st} y gráficas de todos los valores calculados.
- 2) Valor de P_{lt} y gráficas de todos los valores calculados.

3.2.5.1 Valor de P_{st} y gráficas de todos los valores calculados

Este panel muestra el último valor de P_{st} calculado y las gráficas lineales con y sin registro de banderas calculados durante ese período de medición.

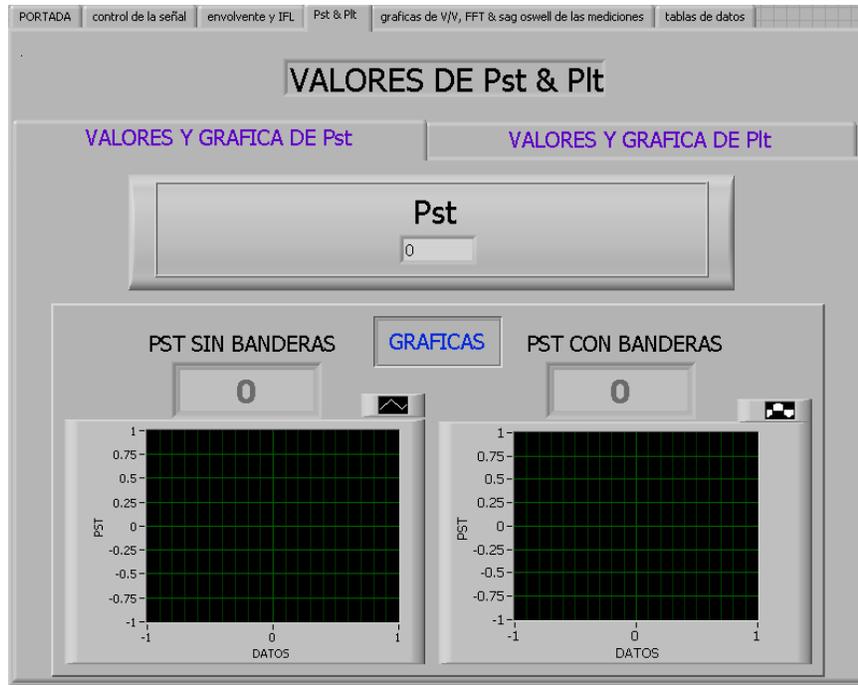


FIGURA 3.37 Presentación del P_{st} .

3.2.5.2 Valor de P_{lt} y gráficas de todos los valores calculados

Este panel muestra el último valor de P_{lt} calculado y las gráficas lineales con y sin registro de banderas calculados durante ese período de medición.

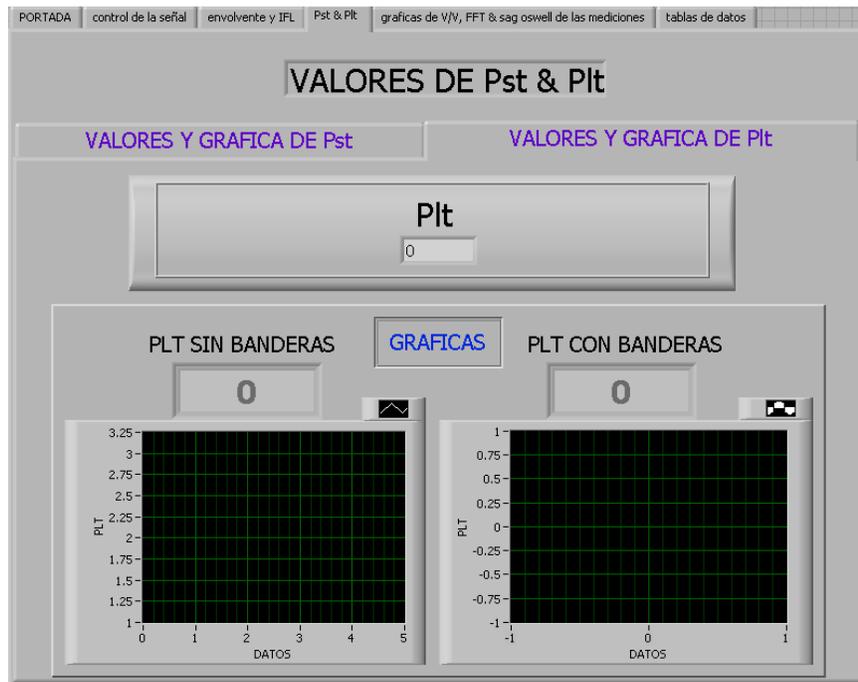


FIGURA 3.38 Presentación del P_{lt} .

3.2.6 GRÁFICAS DE $\Delta V/V$ Vrs FRECUENCIA, FFT y SAG, SWELL E INTERRUPCIONES

3.2.6.1 GRÁFICA DE $\Delta V/V$ Y FRECUENCIA

Este muestra el máximo valor de $\Delta V/V$ con su respectiva frecuencia sobre un período de medición de diez minutos.

Y así sucesivamente los va acumulando según cuantos intervalos se capturen durante la medición.

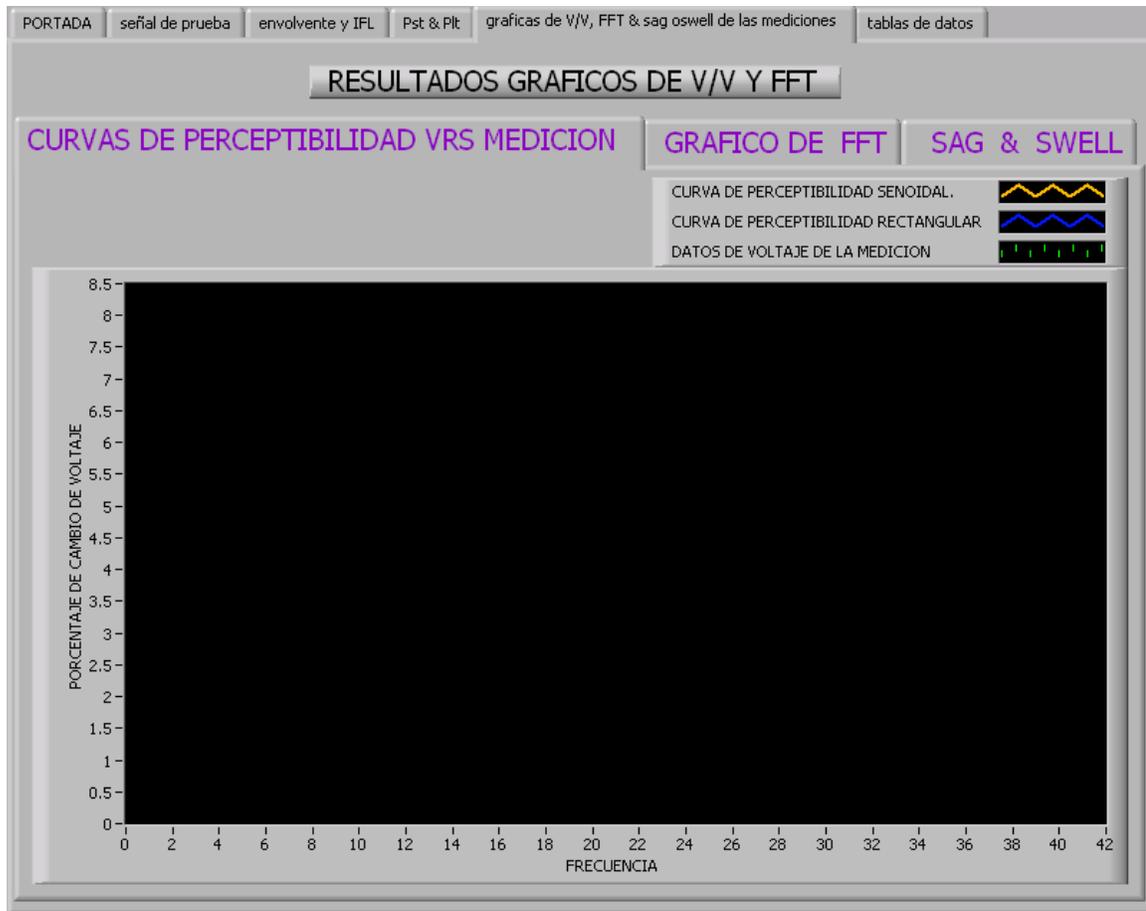


FIGURA 3.39 Panel de $\Delta V/V$ Vrs. Frecuencia.

3.2.6.2 FFT

Este panel muestra dos espectros:

1. Este muestra el máximo valor de $\Delta V/V$ que ocurrió en los últimos diez minutos.
2. Y el segundo muestra el espectro de la envolvente de la señal modulante o contaminante de modo continuo por cada segundo.

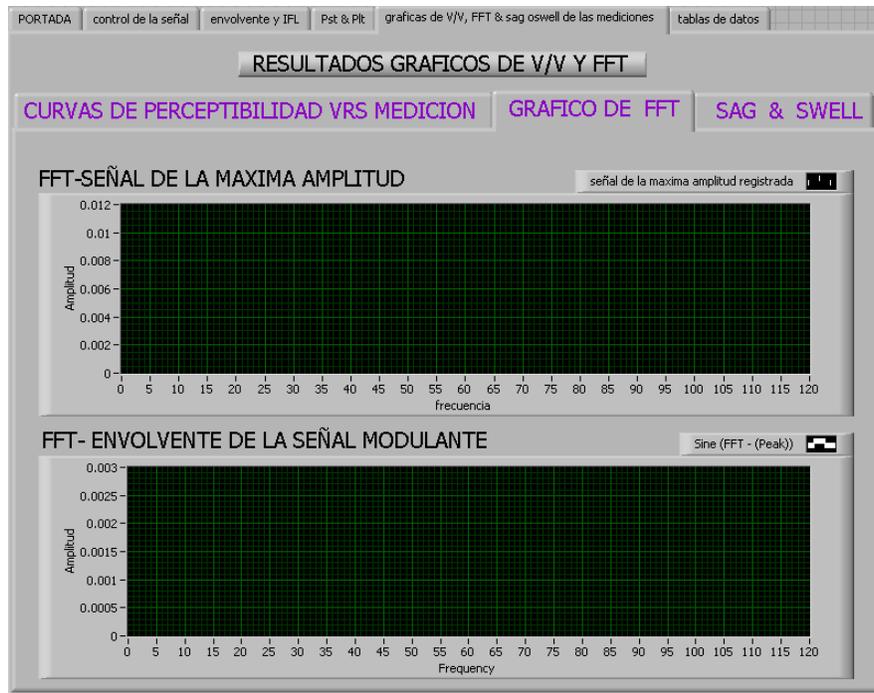


FIGURA 3.40 Panel de la grafica de FFT.

3.2.6.3 SAG & SWELL E INTERRUPCIONES

Este panel muestra el último fenómeno de sag & swell o interrupción, lo gráfica y coloca la fecha a la cual ocurrió el último fenómeno.



FIGURA 3.41 Panel de fenómenos en el voltaje.

3.2.7 TABLAS DE DATOS

Este panel muestra las tablas de los valores calculados de P_{st} y P_{lt} así como también el valor máximo registrado conjunto con el valor del 95% de todos los datos registrados en el período de medición.

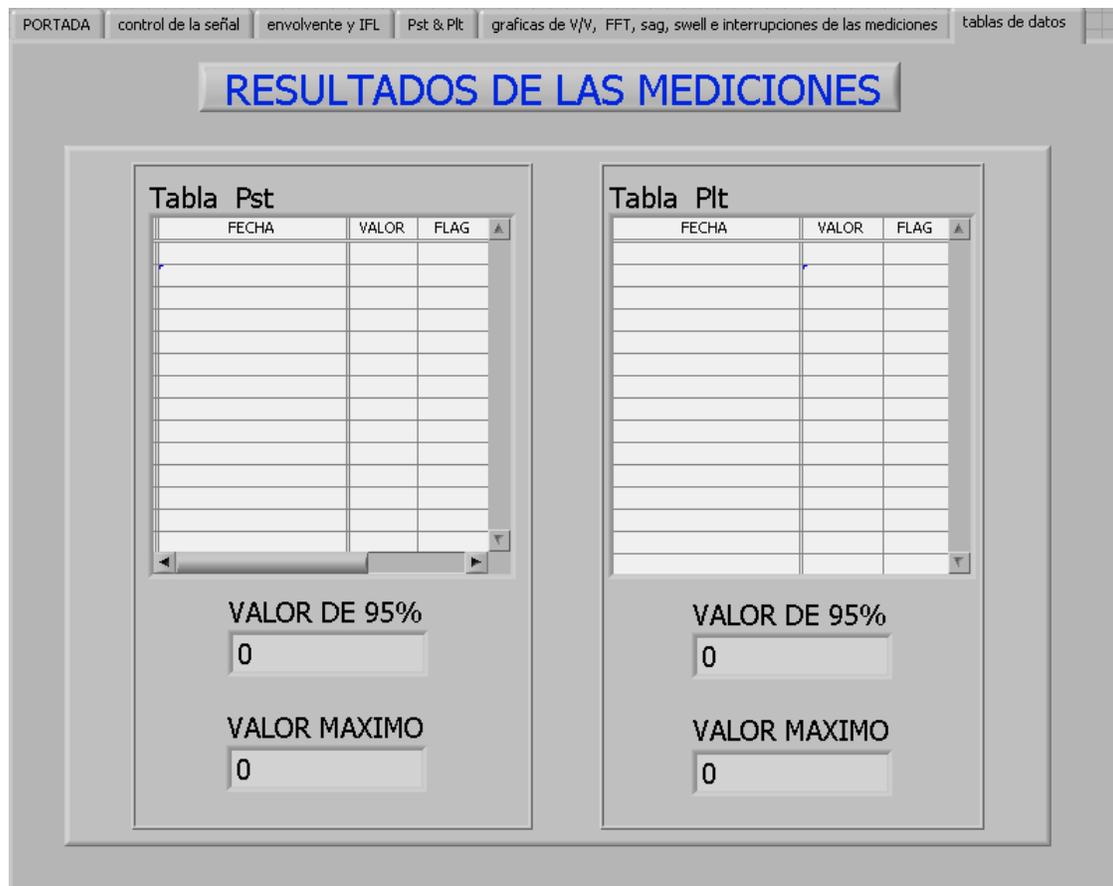


FIGURA 3.42 Panel gráfico de resultados.

3.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] International Electrotechnical Commission (IEC), Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 4: Testing and Measurement Techniques—Section 15: Flicker meter—Functional and Design Specification, CEI IEC 61000-4-15 NOVIEMBRE 1997.
- [2] International Electrotechnical Commission (IEC), Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 4: Testing and Measurement Techniques—Section 15: *Flicker meter—Functional and Design Specification*, IEC Stand.61000-4-15, Ed. 1.1 + Addendum, ENERO 2003.
- [3] Robert H. Bishop, Learning with LabVIEW. Editorial Prentice Hall, 2001. 2. Gary Johnson, LabVIEW Graphical Programming. McGraw-Hill, Inc.
- [4] LabVIEW 5.1 User Manual 2000, National Instrument. 4. National Instruments, Electrical circuit and Machines Laboratory with LabVIEW. Academic Resources 2001.
- [5] National Instrument, Application Note 040 . Feb. 1993. 6. National Instruments (<http://www.ni.com>).
- [6] Full-Featured E Series Multifunction DAQ12 or 16-Bit, up to 1.25 MS/s, up to 64 Analog Inputs, National Instruments • Tel: (800) 433-3488 • Fax: (512) 683-9300 • info@ni.com • ni.com
- [7] European Standard EN50160.
- [8] IEC 61000-4-30.

4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MEDIDOR DE FLICKER

4.1 MODELOS DE FLICKER PARA EL ENSAYO DE LA MEDIDA DE FLICKER

Las señales contaminantes o modelos de flicker fueron establecidas en las figuras 1.2 y 1.3 de la Unidad I de este documento, por lo cual no se muestran en esta parte.

Los modelos de flicker simulan cargas que podrían variar tanto la amplitud y frecuencia de voltaje a la entrada deteriorando la calidad del servicio.

Para hacer posible la realización de los modelos se aplicó modulación de amplitud cuadrada y senoidal, los cuales fueron elaborados por medio de programación en LABVIEW.

4.2 ESPECIFICACIONES DE ENSAYO PARA EL BLOQUE 5 DEL FLICKERMETER

Cada medidor de flicker, con su clasificador, deberá someterse a series regulares de variaciones de voltaje rectangulares dadas en [1] [2] o como se muestra en la tabla 4.1 que se muestra a continuación:

TABLA 4.1 Especificaciones de ensayo para el clasificador del medidor de flicker.

Cambios rectangulares por minuto	Cambios de voltaje $\frac{\Delta V}{V}$ %
	Sistema lamp. 120V 60Hz
1	3.166
2	2.568
7	1.695
39	1.044
110	0.841
1620	0.547
4800	4.834

En cada caso el valor de P_{st} deberá ser de 1.00 ± 0.05

También hay que realizar pruebas del margen de magnitud [1] [2] del instrumento lo cual consiste en aumentar en un valor X la magnitud de la modulación y ver si corresponde el valor de P_{st} con respecto al ensayo.

Como ejemplo se puede tomar $\Delta V/V = 1.044$ a 39 cpm al evaluar en un factor de 4 el valor de $\Delta V/V$ tiene que ser cuatro veces al valor inicial el cual sería: $\Delta V/V = 4.176$ a la misma frecuencia de lo cual esperaríamos el valor de P_{st} de $4.00 \pm 5\%$

4.3 ESPECIFICACIONES DE ENSAYO PARA LA SALIDA DEL BLOQUE 4

4.3.1 TABLAS PARA LOS ENSAYOS A LA SALIDA DEL BLOQUE 4 PARA EL MEDIDOR DE FLICKER.

La respuesta global desde la entrada del instrumento a la salida del bloque número 4 viene dada en las tablas 1 y 2 para fluctuaciones de tensión rectangulares y sinusoidales. La obtención del valor de 1 a partir del bloque 4 corresponde al umbral de perceptibilidad humana flicker de referencia. La frecuencia central en 8.8 Hz para la modulación sinusoidal [1] y [2].

TABLA 4.2 Respuesta del flickermeter normalizado para fluctuaciones de voltaje rectangulares

Hz	Fluctuación de voltaje %	Hz	Fluctuación de voltaje %
	Sistema de lamp. 120V 60Hz		Sistema de lamp. 120V 60Hz
0.5	0.6	10	0.264
1	0.547	10.5	0.280
1.5	0.504	11	0.297
2	0.471	11.5	0.309
2.5	0.439	12	0.323
3	0.421	13	0.369
3.5	0.407	14	0.411
4	0.394	15	0.459
4.5	0.371	16	0.513
5	0.349	17	0.580
5.5	0.323	18	0.632
6	0.302	19	0.692
6.5	0.282	20	0.752
7	0.269	21	0.818
7.5	0.258	22	0.853
8	0.255	23	0.946
8.8	0.253	24	1.072
9.5	0.257	40	3.46

TABLA 4.3 Respuesta del flickermeter normalizado para fluctuaciones de voltaje sinusoidales.

Hz	Fluctuación de voltaje %	Hz	Fluctuación de voltaje %
	Sistema de lamp. 120V 60Hz		Sistema de lamp. 120V 60Hz
0.5	2.457	10	0.339
1	1.463	10.5	0.355
1.5	1.124	11	0.374
2	0.940	11.5	0.394
2.5	0.814	12	0.420
3	0.716	13	0.47
3.5	0.636	14	0.530
4	0.569	15	0.593
4.5	0.514	16	0.662
5	0.465	17	0.737
5.5	0.4269	18	0.815
6	0.393	19	0.897
6.5	0.366	20	0.981
7	0.346	21	1.071
7.5	0.332	22	1.164
8	0.323	23	1.262
8.8	0.321	24	1.365
9.5	0.330	25	1.472
		40	4.424

4.4 DETECCIÓN O REGISTRO DE BANDERAS (FLAGGING)

4.4.1 CONCEPTO DE BANDERAS (FLAGGING)

Para entender el concepto de banderas es necesario establecer que hay perturbaciones de voltaje que no están comprendidas en lo que se refiere a la medición de flicker y los cuales afectan significativamente el valor de los índices de severidad.

En la medición de la calidad de energía hay un amplio rango de fenómenos tales como: Armónicas, Sag, Swell, Interrupciones, Transitorios, ect.

En las mediciones preliminares que se elaboraron con el TOPAS 2000 contra el instrumento realizado en LABVIEW se notaron que habían datos altos en ambas mediciones para los dos equipos pero con la diferencia que el primer medidor marcaba estos valores con banderas, los cuales no tomaba en cuenta para determinar el valor máximo y el valor del 95% del período de medición, por lo cual daba una mejor apreciación de los resultados finales.

Partiendo de la experiencia tomada de esas mediciones se determinó realizar una etapa que detectara los fenómenos de Sag, Swell, interrupciones y que a la vez colocara una bandera (FLAG) con el valor de uno si alguna de estas perturbaciones se presentaba en el proceso de medición.

Se determinó tomar estas perturbaciones ya que son las que más afectaban los resultados en el momento del cálculo de los índices de severidad de flicker.

4.4.2 DETECTOR DE SAG O DIG, SWELL E INTERUPCIÓN

Este tiene que ser capaz de detectar cuando alguna perturbación de las mencionadas ocurre en la señal de alimentación y colocar una señal interna en el medidor, para que este realice el proceso establecido para marcar los dos índices de severidad de flicker, con lo cual el valor será descartarlo de los cálculos del valor máximo y valor del 95%.

4.4.2.1 SAGS (DIPS)

Las depresiones o disminuciones (Sag o Dip), también conocidas como valles o huecos consisten en una reducción entre 0,1 y 0,9 p.u. en el valor R.M.S. del volaje o corriente con una duración de 0,5 ciclo a un minuto.

Las depresiones de voltaje son normalmente asociadas a fallas del sistema, al arranque de grandes cargas, al arranque de motores de elevada potencia y a la energización de transformadores de potencia [3].

La terminología que emplea IEC es *dip*. La siguiente figura muestra como se ve un **SAG** de voltaje en el tiempo para una ventana de tiempo de 300ms.

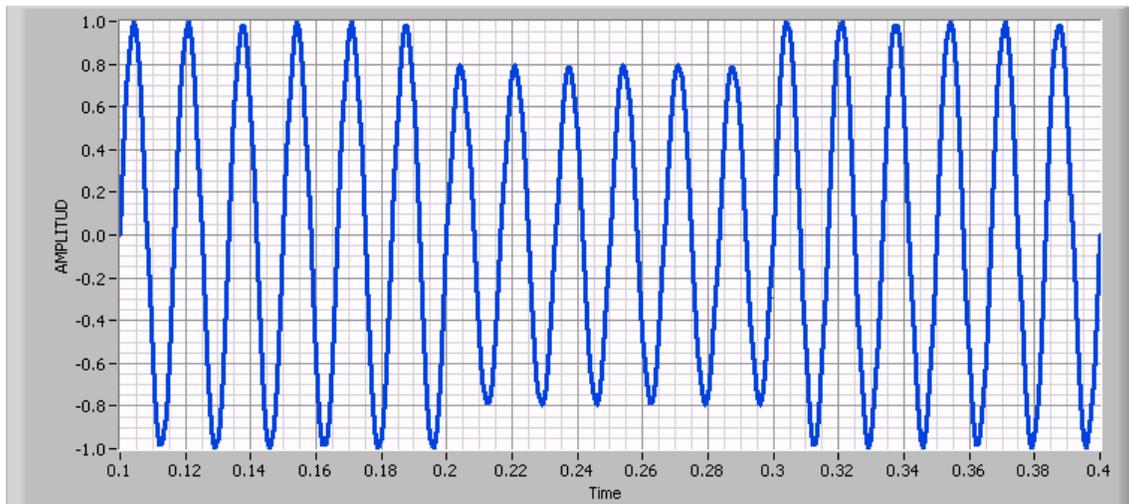


FIGURA 4.1 Representación de un SAG O DIP.

4.4.2.2 SWELL

Una cresta (Swell) se define como un incremento del valor R.M.S. del voltaje o la corriente entre 1,1 y 1,8 p.u. con una duración desde 0,5 ciclo a un minuto.

Como en el caso de las depresiones, las crestas son asociadas a fallas en el sistema aunque no son tan comunes como las depresiones. Un caso típico es la elevación temporal del voltaje en las fases no falladas durante una falla línea a tierra.

También pueden ser causadas por la desconexión de grandes cargas o la energización de grandes bancos de capacitares [3].

La siguiente figura muestra como se ve un **SWELL** de voltaje en el tiempo para una ventana de tiempo de 300ms.

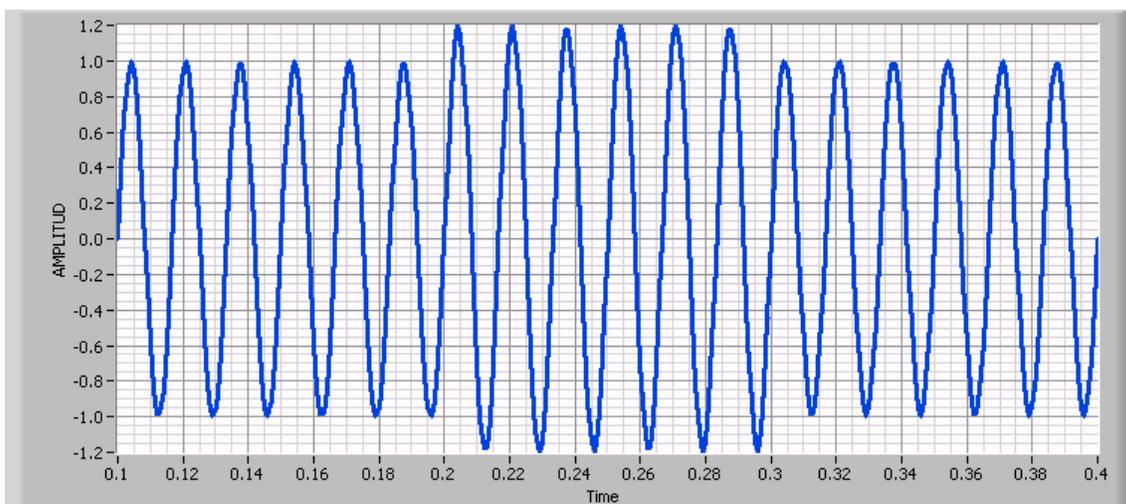


FIGURA 4.2 Representación de un SWELL.

4.4.2.3 INTERRUPCIONES

Una interrupción ocurre cuando el voltaje o la corriente de la carga disminuyen a menos de 0,1 p.u. por un período de tiempo que no excede un minuto [3].

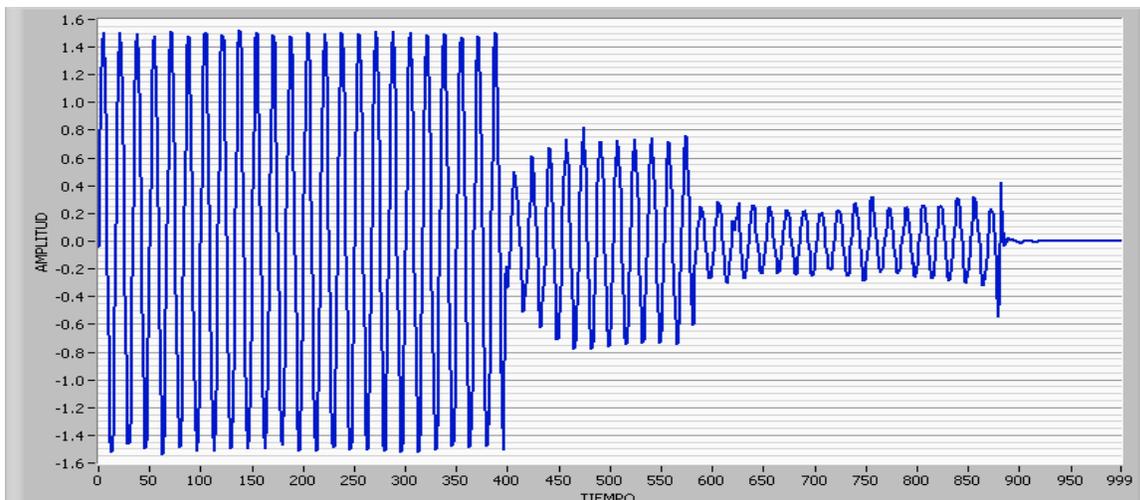


FIGURA 4.3 Representación de una interrupción.

La siguiente tabla muestra la clasificación y características Típicas de los Fenómenos Electromagnético mencionados anteriormente:

TABLA 4.4 Clasificación y características típicas de fenómenos electromagnéticos.

CATEGORIAS	DURACION	MAGNITUD DE VOLTAJE
VARIACIONES DE CORTA DURACION		
INSTANTANEAS		
SAG	0.5-30 ciclos	0.1-0.9 pu
SWELL	0.5-30 ciclos	1.1-1.8 pu
MOMENTANEAS		
SAG	30 ciclos -3s	0.1-0.9 pu
SWELL	30 ciclos -3s	1.1-1.4 pu
INTERRUPCION	05 ciclos -3s	< 0.1 pu
TEMPORALES		
SAG	3 s – 1min	0.1-0.9 pu
SWELL	3 s – 1min	1.1-1.2 pu
INTERRUPCION	3 s – 1min	< 0.1 pu

4.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Estándares y Normas:

- [1] International Electrotechnical Commission (IEC), Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 4: Testing and Measurement Techniques—Section 15: *Flickermeter—Functional and Design Specification*, IEC Stand.61000-4-15, Ed. 1.1 + Addendum, ENERO 2003.
- [2] International Electrotechnical Commission (IEC), Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 4: Testing and Measurement Techniques—Section 15: *Flickermeter—Functional and Design Specification*, CEI IEC 61000-4-15 NOVIEMBRE 1997.

Reportes Técnicos:

- [3] Calidad de energía eléctrica, Universidad Autónoma de occidente, colciencias Colombia

5 ENSAYOS DE CALIBRACIÓN PARA EL MEDIDOR DE FLICKER

5.1 RESULTADOS DE LA PRUEBA PARA LA SALIDA DEL CLASIFICADOR (BLOQUE 5)

EL medidor de flicker con su clasificador (bloque 5) fué puesto a prueba con los valores para el ensayo propuestos en [1] [2] de la tabla 4.1. Los resultados se muestran a continuación:

TABLA 5.1 Resultados de las pruebas realizadas al clasificador (bloque 5).

Cambios rectangulares por minuto	Cambios de voltaje $\frac{\Delta V}{V}$ %	Resultados de P_{st} para los diferentes valores o cambios por minuto	error
	Sistema lamp. 120V 60Hz		
1	3.166	1.003558	0.36%
2	2.568	1.012133	1.21%
7	1.695	1.01675	1.68%
39	1.044	1.012935	1.29%
110	0.841	1.009121	0.91%
1620	0.547	1.011486	1.15%
4800	4.834	1.006189	0.62%

- Resultados de la calibración para el clasificador:

RESULTADOS DE LA CALIBRACION PARA EL CLASIFICADOR

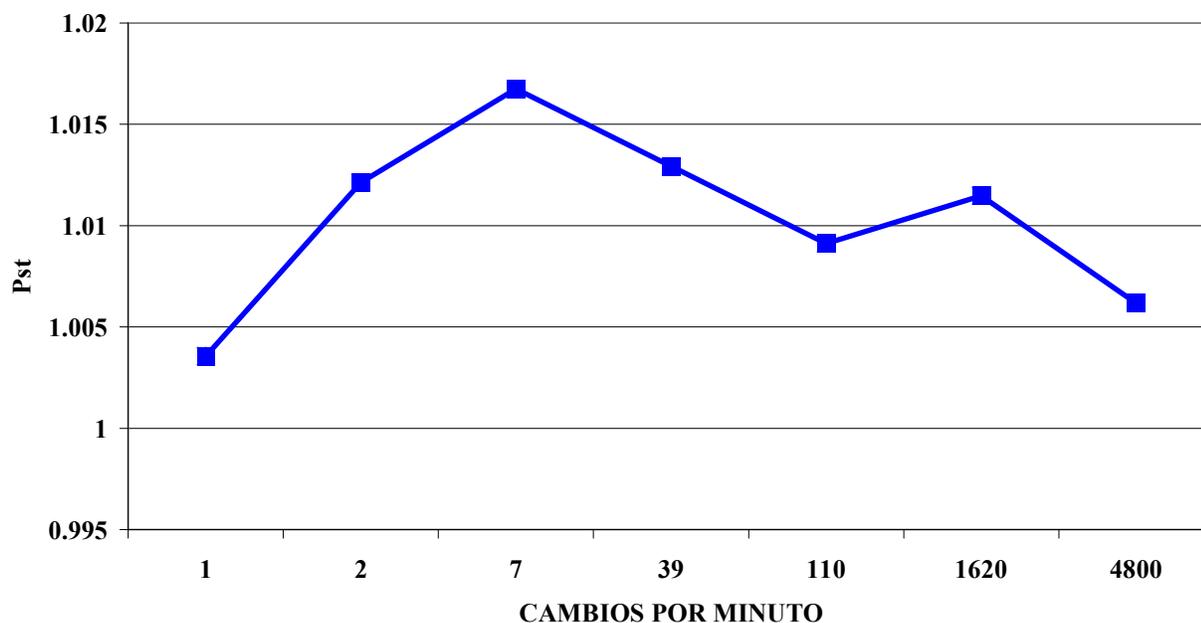


FIGURA 5.1 Representación lineal de los resultados realizados al clasificador.

- Representación en barras de los resultados de las pruebas realizadas al clasificador:

RESULTADOS DE LA CALIBRACION PARA EL CLASIFICADOR

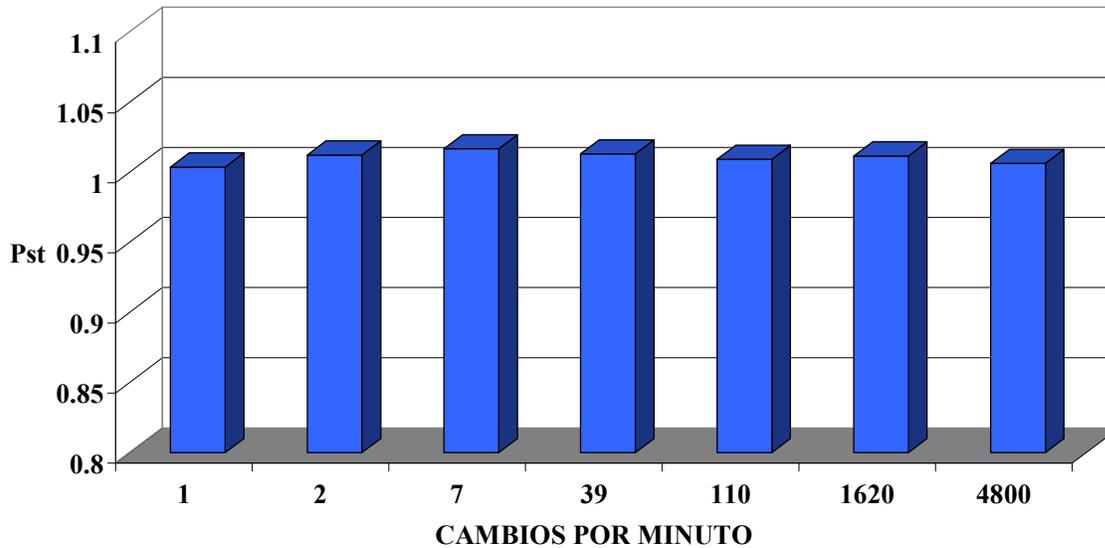


FIGURA 5.2 Representación en barras de los resultados realizados al clasificador.

5.2 PRUEBAS DEL MARGEN DE MAGNITUD DEL INSTRUMENTO

Para esta etapa de calibración se tomo como factor multiplicador de la modulación el valor de 3 con esto se esperaba obtener un valor de PST alrededor de $3.00 \pm 5\%$, los resultados se muestran a continuación:

TABLA 5.2 Resultados de la calibración para el margen de magnitud bloque 5.

Cambios rectangulares por minuto	Cambios de voltaje $\frac{\Delta V}{V}$ %	Resultados de P _{st} para los diferentes valores o cambios por minuto	Error
	Sistema lamp. 120V 60Hz		
1	9.498	3.0098	0.33%
2	7.704	3.03899	1.30%
7	5.085	3.023782	0.79%
39	3.132	3.039171	1.31%
110	2.523	3.027296	0.91%
1620	1.641	3.034451	1.15%
4800	14.502	3.018541	0.62%

- Este gráfico lineal muestra los resultados del margen de magnitud :

MARGEN DE MAGNITUD PARA EL FLICKERMETER

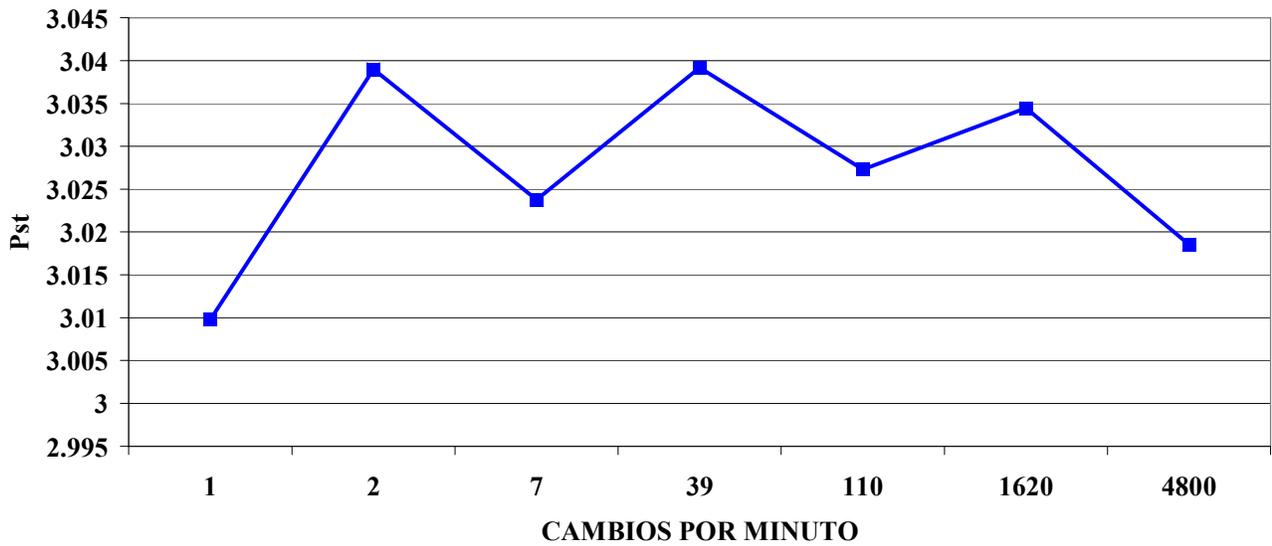


FIGURA 5.3 Resultados obtenidos del ensayo para el margen de la magnitud.

- Representación en barras que muestra los resultados del margen de magnitud:

MARGEN DE MAGNITUD PARA EL FLICKERMETER

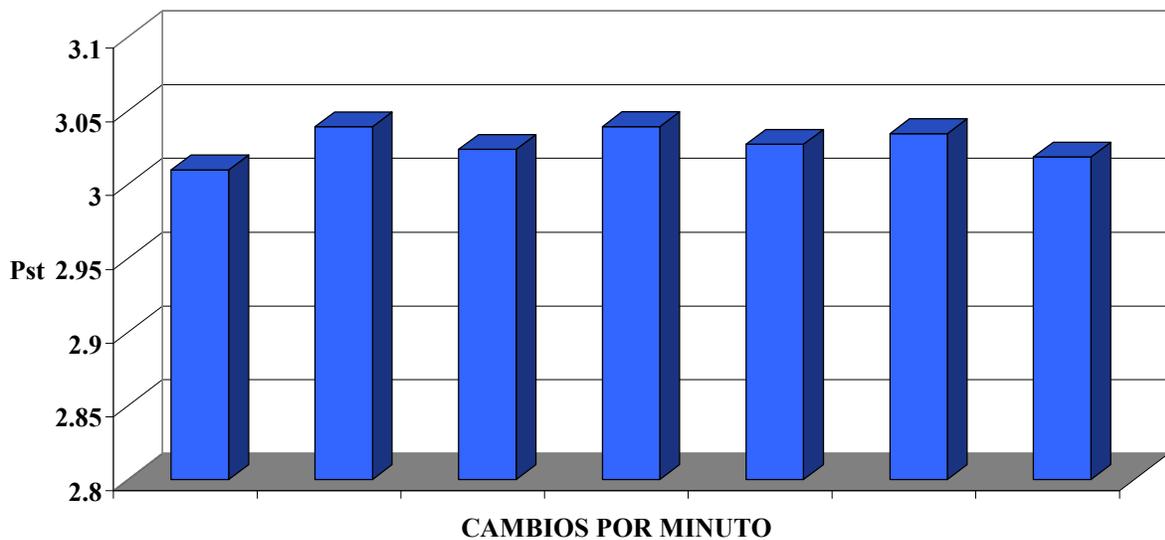


FIGURA 5.4 Resultados obtenidos del ensayo para el margen de la magnitud.

5.3 PRUEBA PARA COMPROBAR LA LINEALIZACIÓN DEL INSTRUMENTO

En esta parte se comprueba que el instrumento es lineal con respecto a un valor escogido de la tabla 4.1 el cual se utiliza para hacer las pruebas al clasificador. El valor que se extrajo fue de $\Delta V/V = 0.547$ y $f = 13.5$ Hz, la metodología que se sigue es la siguiente:

- 1) El valor de $\Delta V/V$ se multiplica por un factor de escala en nuestro caso ira de 0.1 hasta 4 en pasos de 0.1.
- 2) Como segundo paso se procede a la medición y verificación de cada valor de P_{st} .

Nota: el valor de la frecuencia no cambia, solo cambia la magnitud.

- Los valores que se muestran en la tabla 5.3 son los resultados obtenidos de la prueba:

TABLA 5.3 Resultados de la linealidad del instrumento.

FACTOR	%V/V	P_{st}	ERROR	FACTOR	%V/V	P_{st}	ERROR
0.1	0.0547	0.101171	1.1710%	2.1	1.1487	2.124116	1.1484%
0.2	0.1094	0.202308	1.1540%	2.2	1.2034	2.225264	1.1484%
0.3	0.1641	0.303452	1.1507%	2.3	1.2581	2.326413	1.1484%
0.4	0.2188	0.404599	1.1497%	2.4	1.3128	2.427561	1.1484%
0.5	0.2735	0.505746	1.1492%	2.5	1.3675	2.528709	1.1484%
0.6	0.3282	0.606894	1.1490%	2.6	1.4222	2.629858	1.1484%
0.7	0.3829	0.708042	1.1489%	2.7	1.4769	2.731006	1.1484%
0.8	0.4376	0.80919	1.1487%	2.8	1.5316	2.832155	1.1484%
0.9	0.4923	0.910338	1.1487%	2.9	1.5863	2.933303	1.1484%
1	0.547	1.011486	1.1486%	3	1.641	3.034451	1.1484%
1.1	0.6017	1.112634	1.1485%	3.1	1.6957	3.1356	1.1484%
1.2	0.6564	1.213782	1.1485%	3.2	1.7504	3.236748	1.1484%
1.3	0.7111	1.31493	1.1485%	3.3	1.8051	3.337897	1.1484%
1.4	0.7658	1.416078	1.1484%	3.4	1.8598	3.439045	1.1484%
1.5	0.8205	1.517227	1.1485%	3.5	1.9145	3.540193	1.1484%
1.6	0.8752	1.618374	1.1484%	3.6	1.9692	3.641342	1.1484%
1.7	0.9299	1.719523	1.1484%	3.7	2.0239	3.74249	1.1484%
1.8	0.9846	1.820671	1.1484%	3.8	2.0786	3.843638	1.1484%
1.9	1.0393	1.921819	1.1484%	3.9	2.1333	3.944787	1.1484
2	1.094	2.022967	1.1484%	4	2.188	4.045935	1.1484%

- Esta gráfica muestra la tendencia del valor de P_{st} para las escalas que se muestran en la tabla 5.3, por lo cual se puede decir que el instrumento es lineal con respecto al valor de prueba escogido, por lo cual lo será también para los otros valores del test.



FIGURA 5.5 GRÁFICO de linealidad.

- Esta gráfica muestra la tendencia del error que se obtiene con los valores escalados y de lo cual se puede ver que a determinado valor de la escala se vuelve una línea recta.

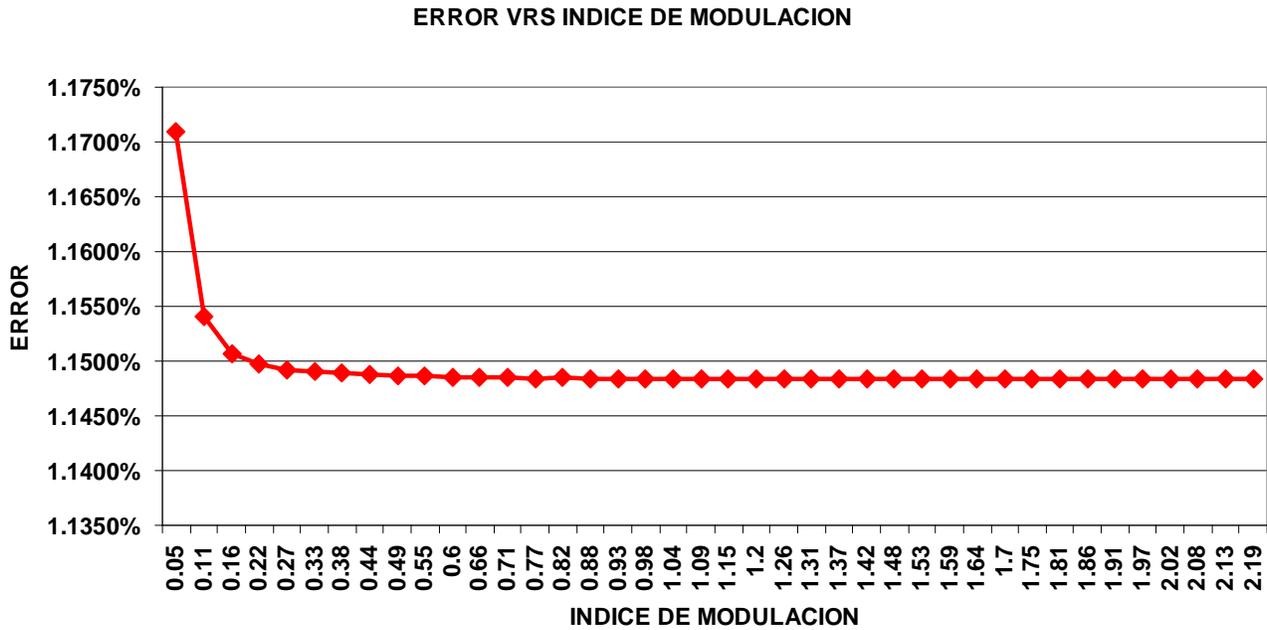


FIGURA 5.6 Gráfico del error Vrs. $\Delta V/V$ del ensayo de linealidad.

5.4 PRUEBAS PARA LA SALIDA DEL BLOQUE 4 (IFL)

Estas pruebas fueron realizadas conforme a la norma IEC 61000-4-15 [1] [2] la cual dicta lo siguiente:

La respuesta global desde la entrada del instrumento a la salida del bloque 4 viene dada en las tablas 1 y 2 para fluctuaciones de tensión rectangulares y sinusoidales. La obtención del valor de 1 a partir del bloque 4 corresponde al umbral de perceptibilidad humana flicker de referencia. La frecuencia central en 8.8 Hz para la modulación sinusoidal.

TABLA 5.4 Resultados de la salida del bloque 4 con variaciones rectangulares de voltaje.

		SATISFACTORIO			S
		NO SATISFACTORIO			NS
Hz	Fluctuación de voltaje %	Resultado	Hz	Fluctuación de voltaje %	Resultado
	Sistema de lamp. 120V 60Hz			Sistema de lamp. 120V 60Hz	
0.5	0.6	S	10	0.264	S
1	0.547	S	10.5	0.280	S
1.5	0.504	S	11	0.297	S
2	0.471	S	11.5	0.309	S
2.5	0.439	S	12	0.323	S
3	0.421	S	13	0.369	S
3.5	0.407	S	14	0.411	S
4	0.394	S	15	0.459	S
4.5	0.371	S	16	0.513	S
5	0.349	S	17	0.580	S
5.5	0.323	S	18	0.632	S
6	0.302	S	19	0.692	S
6.5	0.282	S	20	0.752	S
7	0.269	S	21	0.818	S
7.5	0.258	S	22	0.853	S
8	0.255	S	23	0.946	S
8.8	0.253	S	24	1.072	S
9.5	0.257	S	40	3.46	S

TABLA 5.5 Resultados de la salida del bloque 4 con variaciones sinusoidales de voltaje.

Hz	Fluctuación de voltaje %	Resultado	Hz	Fluctuación de voltaje %	Resultado
	Sistema de lamp. 120V 60Hz			Sistema de lamp. 120V 60Hz	
0.5	2.457	S	10	0.339	S
1	1.463	S	10.5	0.355	S
1.5	1.124	S	11	0.374	S
2	0.940	S	11.5	0.394	S
2.5	0.814	S	12	0.420	S
3	0.716	S	13	0.47	S
3.5	0.636	S	14	0.530	S
4	0.569	S	15	0.593	S
4.5	0.514	S	16	0.662	S
5	0.465	S	17	0.737	S
5.5	0.4269	S	18	0.815	S
6	0.393	S	19	0.897	S
6.5	0.366	S	20	0.981	S
7	0.346	S	21	1.071	S
7.5	0.332	S	22	1.164	S
8	0.323	S	23	1.262	S
8.8	0.321	S	24	1.365	S
9.5	0.330	S	25	1.472	S
			40	4.424	S

5.5 RESULTADOS OBTENIDOS CON OTRAS PRUEBAS PARA EL CLASIFICADOR (BLOQUE 5)

Estas pruebas fueron realizadas con los datos proporcionados por el documento [3] del cual se sustrajo la tabla 5.6 para pruebas con modulaciones rectangulares, los resultados se muestran a continuación.

TABLA 5.6 Resultados obtenidos de la prueba a la salida del clasificador basado en valores de variaciones rectangulares tomados de [3].

Cambios por minuto	Frecuencia	modulación	P_{st}
0.1	0.000833	8.202	0.971954
0.2	0.001667	5.232	0.987748
0.4	0.003333	4.062	0.993457
0.6	0.005	3.645	1.010924
1	0.00833	3.166	1.003558
2	0.01667	2.568	1.012133
3	0.025	2.25	0.984417
5	0.04167	1.899	0.998087
7	0.05833	1.695	1.01675
10	0.0833	1.499	1.018415
22	0.1833	1.186	1.019939
39	0.325	1.044	1.012935
38	0.4	1	1.009938
68	0.5667	0.939	1.010078
110	0.9167	0.841	1.009121
176	1.4667	0.739	1.008699
273	2.275	0.650	1.011628
375	3.125	0.594	1.013343
480	4	0.559	1.015969
585	4.875	0.501	1.013231
682	5.6833	0.445	1.012057
796	6.6333	0.393	1.012271
1020	8.5	0.35	1.006202
1055	8.7917	0.351	1.00573
1200	10	0.371	1.007772
1390	11.583	0.438	1.015723
1620	13.5	0.547	1.011486
2400	20	1.051	1.014664
2875	23.9583	1.49	1.015999

- Resultados obtenidos de P_{st} correspondientes al umbral $1 \pm 5\%$:

RESULTADOS DE LA TABLA 5.6 PARA EL CLASIFICADOR

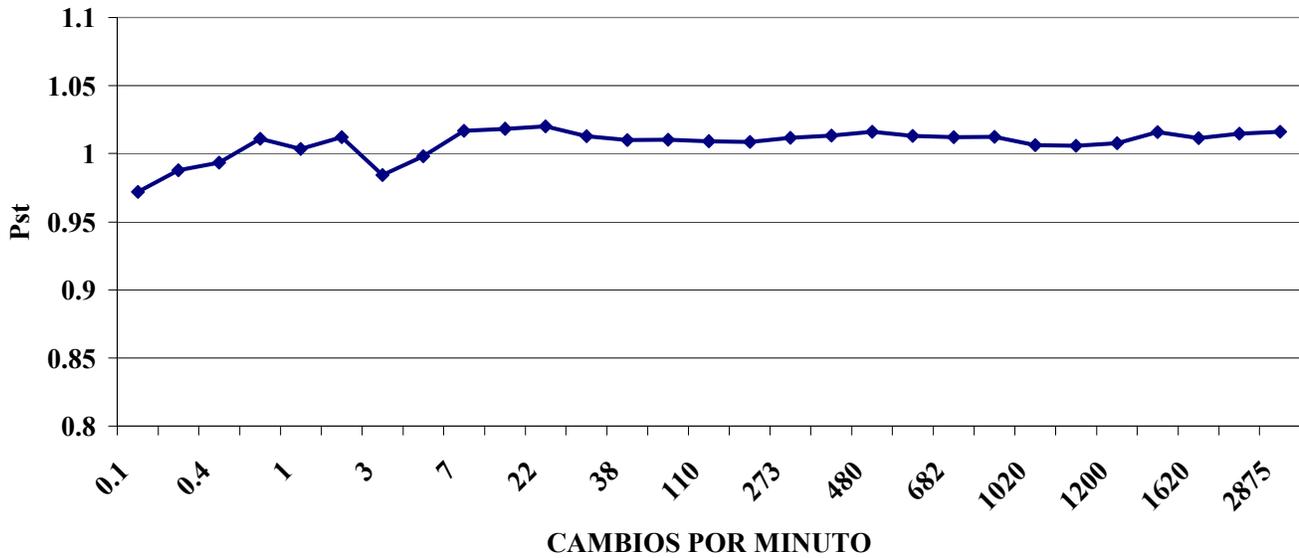


FIGURA 5.7 Resultados obtenidos de la tabla 5.6.

- Diagrama de barras:

RESULTADOS DE LA TABLA 5.6 PARA EL CLASIFICADOR

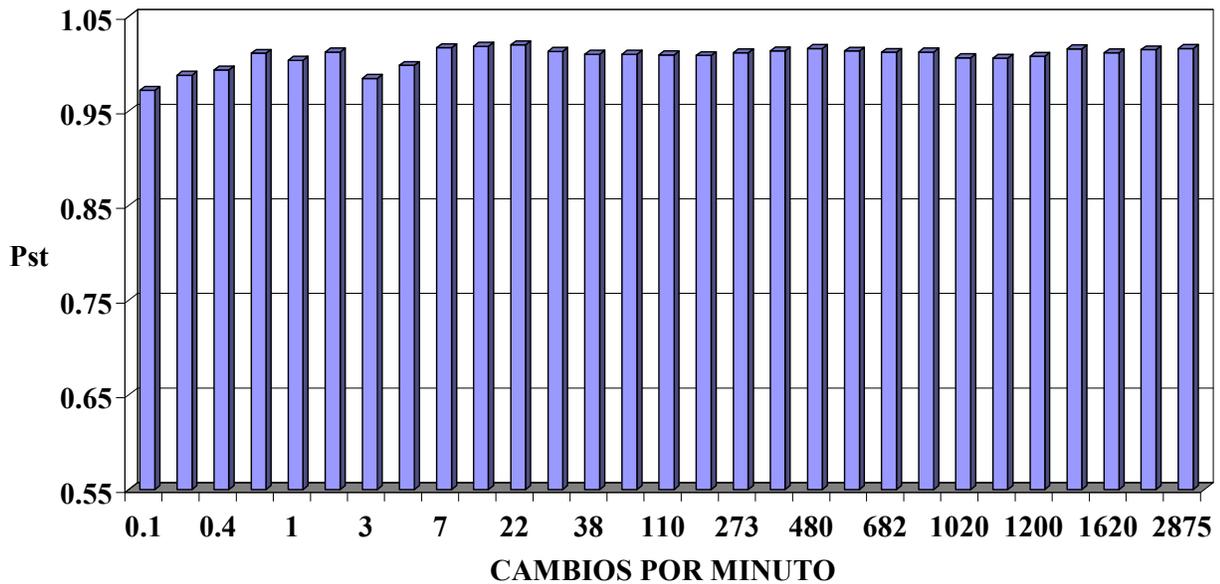


FIGURA 5.8 Resultados obtenidos de la tabla 5.6.

5.6 CIRCUITO VIRTUAL ELABORADO EN LABVIEW PARA EL CÁLCULO DE SAG, SWELL E INTERRUPCIÓN

Este circuito mide el valor rms cada 50ms y lo compara con los valores críticos que rondan $\pm 10\%$ del valor rms; si el valor de rms encontrado pasa de los rangos establecidos este mandara un mensaje dentro del programa el cual colocara una bandera con valor de 1 especificando que una perturbación que no es flicker ha ocurrido.

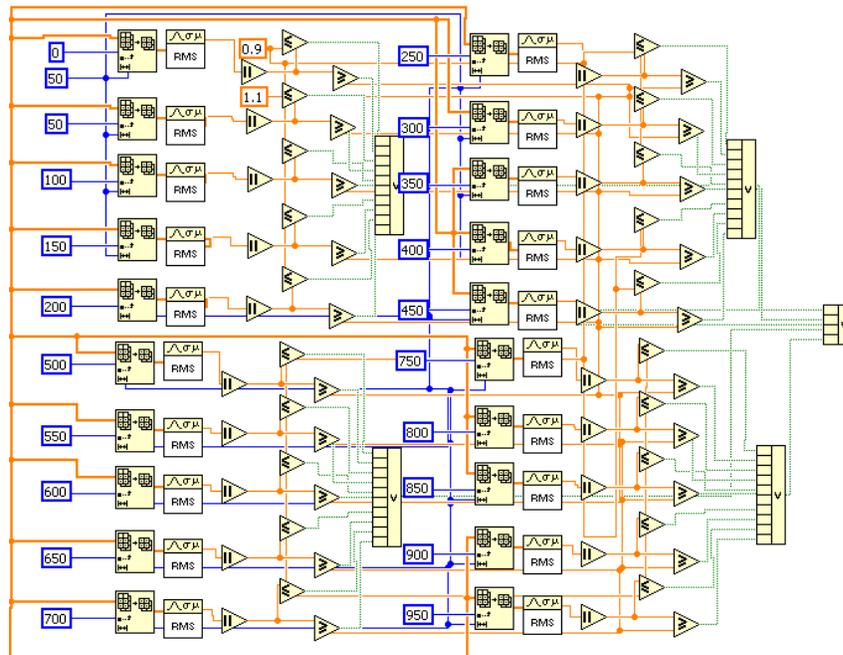


FIGURA 5.9 Diagrama de bloques correspondiente del detector de SAG & SWELL o interrupciones.

La siguiente gráfica muestra un fenómeno capturado por el circuito virtual durante una medición en la escuela de ingeniería eléctrica:

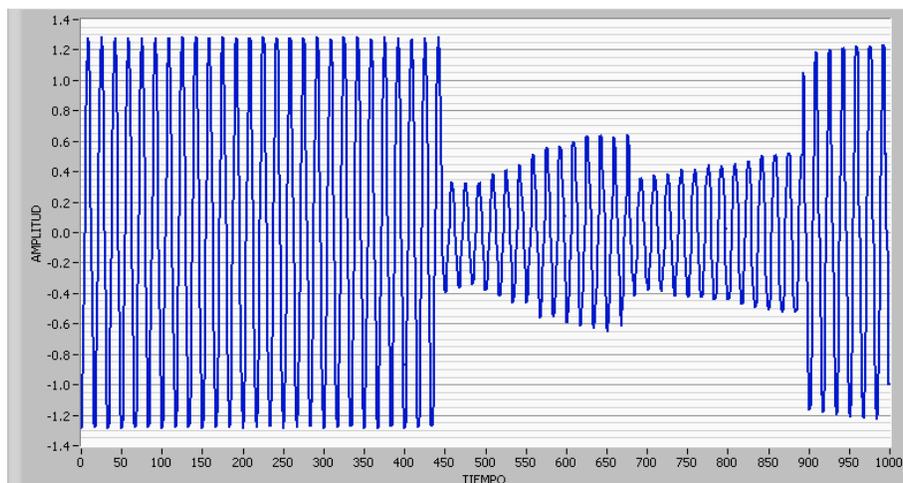


FIGURA 5.10 Gráfico ilustrativo de un fenómeno capturado durante una medición del medidor de flicker.

5.7 CURVAS DE PERCEPTIBILIDAD DEL INSTRUMENTO CONSTRUIDO EN LABVIEW

En esta parte se muestran los datos y gráficas de las curvas de perceptibilidad calculadas con referencia a las fluctuaciones de voltaje sinusoidal, rectangular en base al diseño elaborado del FLICKERMETER en LABVIEW.

5.7.1 CURVA DE PERCEPTIBILIDAD BASADA EN VARIACIONES DE VOLTAJE SINUSOIDALES.

- Tabla resumen de datos la cual contiene la frecuencia, modulación y el valor encontrado de P_{st} para la curva de perceptibilidad del instrumento realizado en LABVIEW

TABLA 5.7 Valores y resultados para la Curva de perceptibilidad basada en variaciones de voltaje sinusoidales.

Frecuencia	modulación	P_{st}	Frecuencia	modulación	P_{st}
0.5	3.5102	1.000069	21	1.481	1.000122
1	2.069	1.000074	22	1.611	1.000244
2	1.319	1.000742	23	1.747	1.000538
3	1	1.000046	24	1.888	1.000375
4	0.7945	1.000286	25	2.035	1.000229
5	0.648	1.000018	26	2.188	1.000068
6	0.546	1.000354	27	2.348	1.000094
7	0.4805	1.000421	28	2.515	1.000077
8	0.4485	1.000185	29	2.69	1.000106
9	0.4475	1.000543	30	2.874	1.000111
10	0.4725	1.000557	31	3.07	1.000572
11	0.518	1.000688	32	3.278	1.000664
12	0.5785	1.000253	33	3.5	1.000115
13	0.6506	1.000054	34	3.745	1.00026
14	0.732	1.00023	35	4.016	1.000229
15	0.822	1.000442	36	4.322	1.000313
16	0.9165	1.000462	37	4.673	1.000433
17	1.018	1.000368	38	5.08	1.000223
18	1.125	1.000007	39	5.56	1.000029
19	1.239	1.000792	40	6.135	1.000178
20	1.357	1.000247	41	6.82	1.000091

- Curva de perceptibilidad para variaciones sinusoidales:

CURVA DE PERCEPTIBILIDAD PARA VARIACIONES SENOIDALES

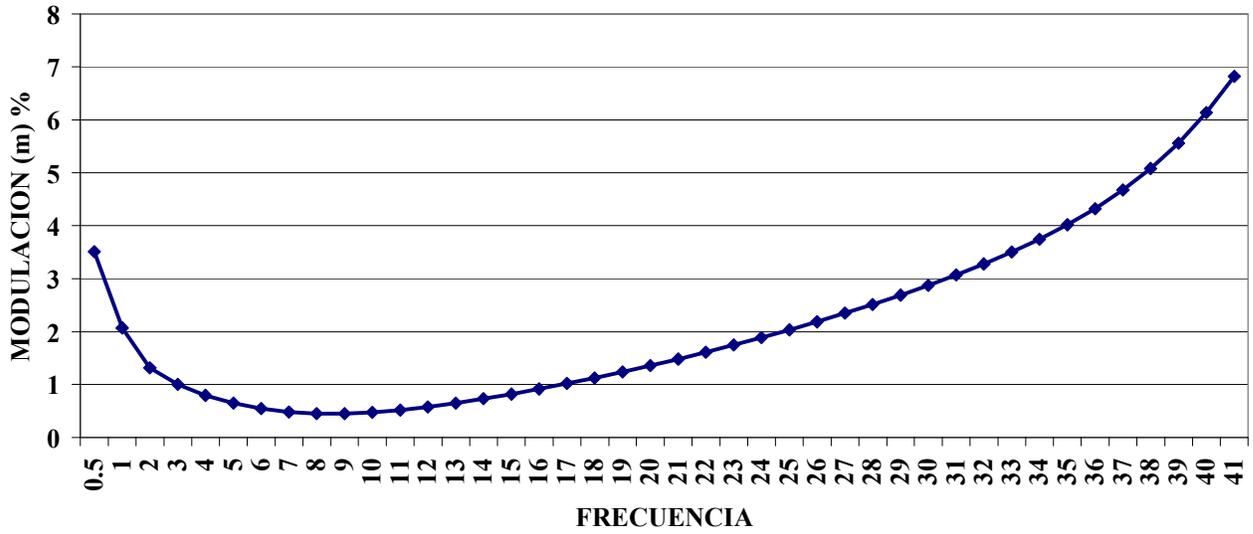


FIGURA 5.11 Curva de perceptibilidad para variaciones sinusoidales.

- P_{st} calculados de las variaciones sinusoidales conforme a los valores encontrados para las curva de perceptibilidad:

VALORES DE PST CONFORME A LA CURVA DE PERCEPTIBILIDAD PARA VARIACIONES SENOIDALES

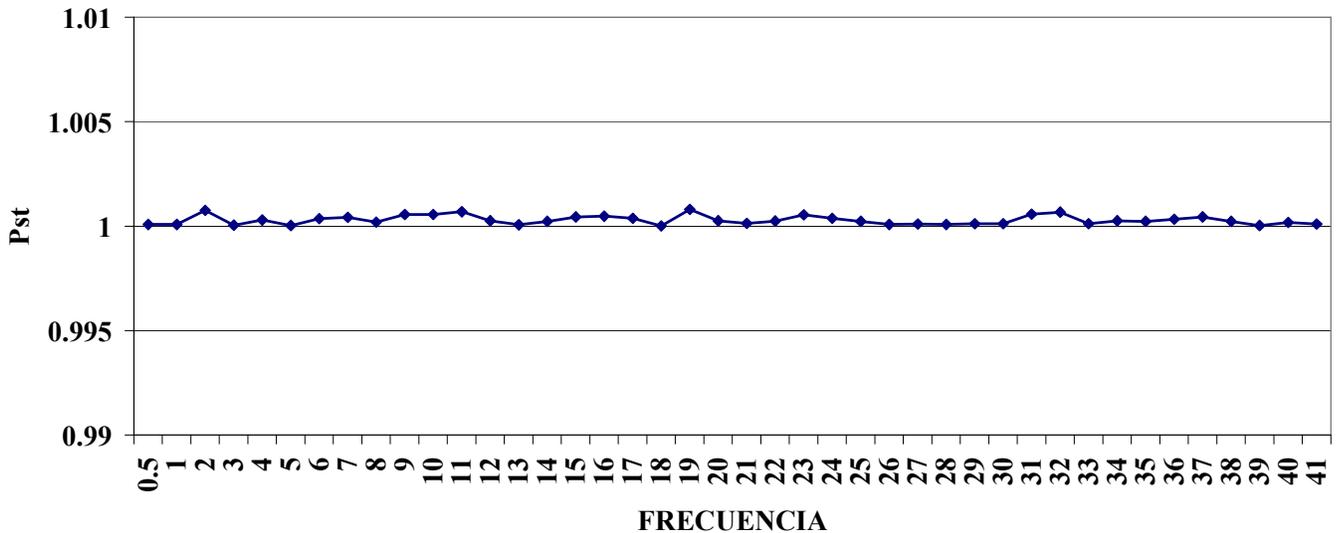


FIGURA 5.12 P_{st} conforme a la curva de perceptibilidad para variaciones sinusoidales.

5.7.21 CURVA DE PERCEPTIBILIDAD BASADA EN VARIACIONES DE VOLTAJE RECTANGULARES.

- Tabla resumen de datos la cual contiene la frecuencia, modulación y el valor encontrado de P_{st} para la curva de perceptibilidad del instrumento realizado en LABVIEW.

TABLA 5.8 Valores y resultados para la Curva de perceptibilidad basada en variaciones de voltaje rectangulares.

Frecuencia	modulación	P_{st}	frecuencia	modulación	P_{st}
0.5	0.951	1.000096	21	1.134	1.000122
1	0.8133	1.00022	22	1.2078	1.000122
2	0.6683	1.000069	23	1.306	1.000017
3	0.5901	1.000441	24	1.466	1.000437
4	0.5505	1.000529	25	1.5134	1.000018
5	0.4852	1.000329	26	1.5203	1.000063
6	0.42	1.000329	27	1.7527	1.000083
7	0.3743	1.000009	28	1.9054	1.000035
8	0.3514	1.000095	29	2.0474	1.00007
9	0.351	1.00022	30	2.116	1.000047
10	0.3683	1.000438	31	2.3012	1.000006
11	0.4062	1.000266	32	2.3653	1.000104
12	0.4494	1.000265	33	2.4863	1.000056
13	0.5096	1.000062	34	2.461	1.000037
14	0.5705	1.000027	35	2.2727	1.000072
15	0.6344	1.000368	36	2.19495	1.000003
16	0.7051	1.000487	37	1.8333	1.000025
17	0.797	1.000105	38	1.946	1.000161
18	0.8711	1.000102	39	2.991	1.000018
19	0.9521	1.000448	40	4.802	1.000152
20	1.036	1.000183	41	3.316	1.000098

- Curva de perceptibilidad para variaciones rectangulares:

CURVA DE PERCEPTIBILIDAD PARA VARIACIONES RECTANGULARES

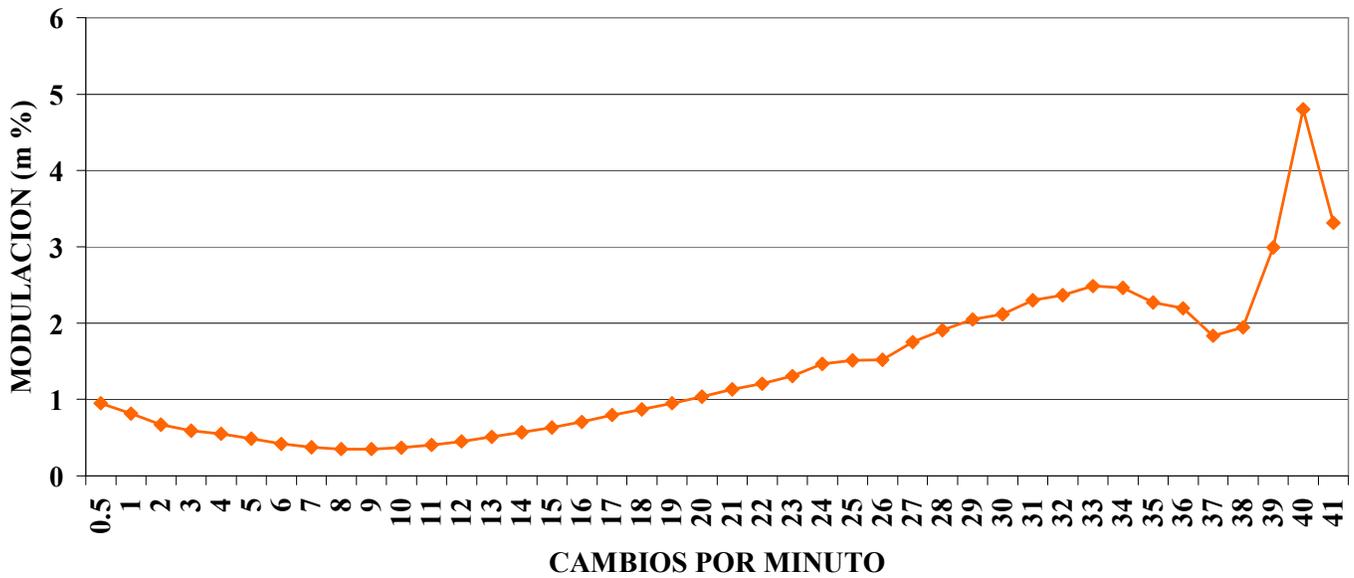


FIGURA 5.13 Curva de perceptibilidad para variaciones rectangulares.

- P_{st} calculados de las variaciones rectangulares conforme a los valores encontrados para las curva de perceptibilidad

VALORES DE PST CONFORME A LA CURVA DE PERCEPTIBILIDAD PARA VARIACIONES RECTANGULARES

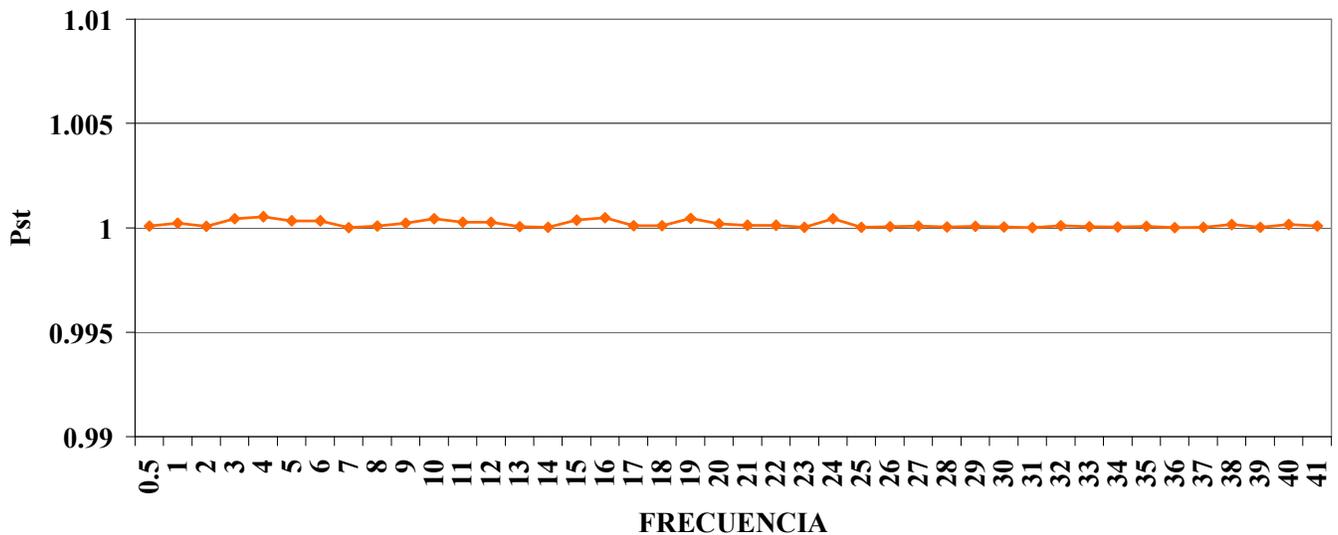


FIGURA 5.14 P_{st} conforme a la curva de perceptibilidad para variaciones rectangulares.

**CURVAS DE PERCEPTIBILIDAD PARA VARIACIONES DE VOLTAJE
RECTANGUARES Y SENOIDALES**

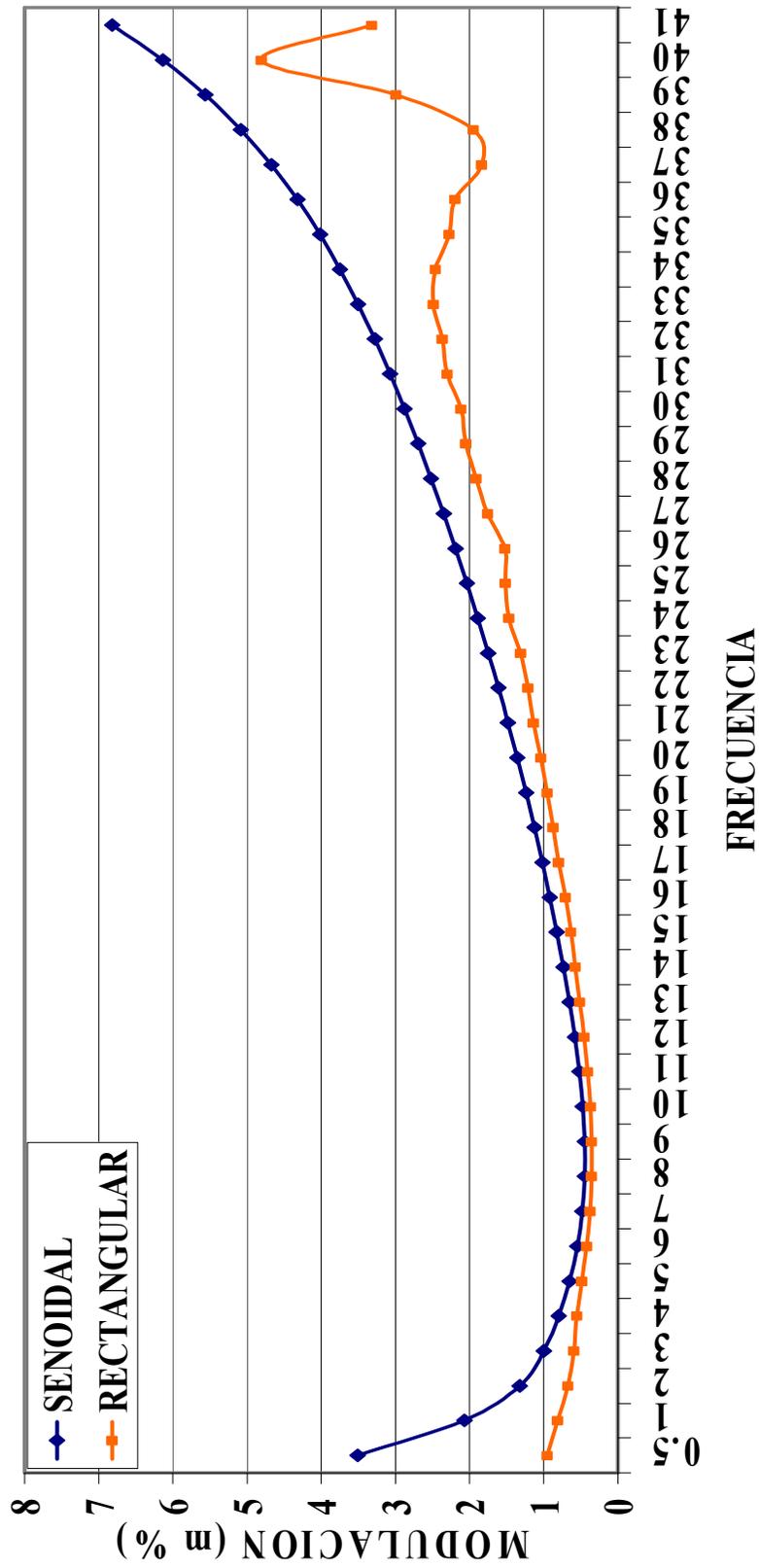


FIGURA 5.15 Curvas de perceptibilidad para variaciones sinusoidales y rectangulares

- Resultados de P_{st} para las curvas de perceptibilidad:

PST PARA VARIACIONES DE VOLTAJE RECTANGUALES Y SENOIDALES

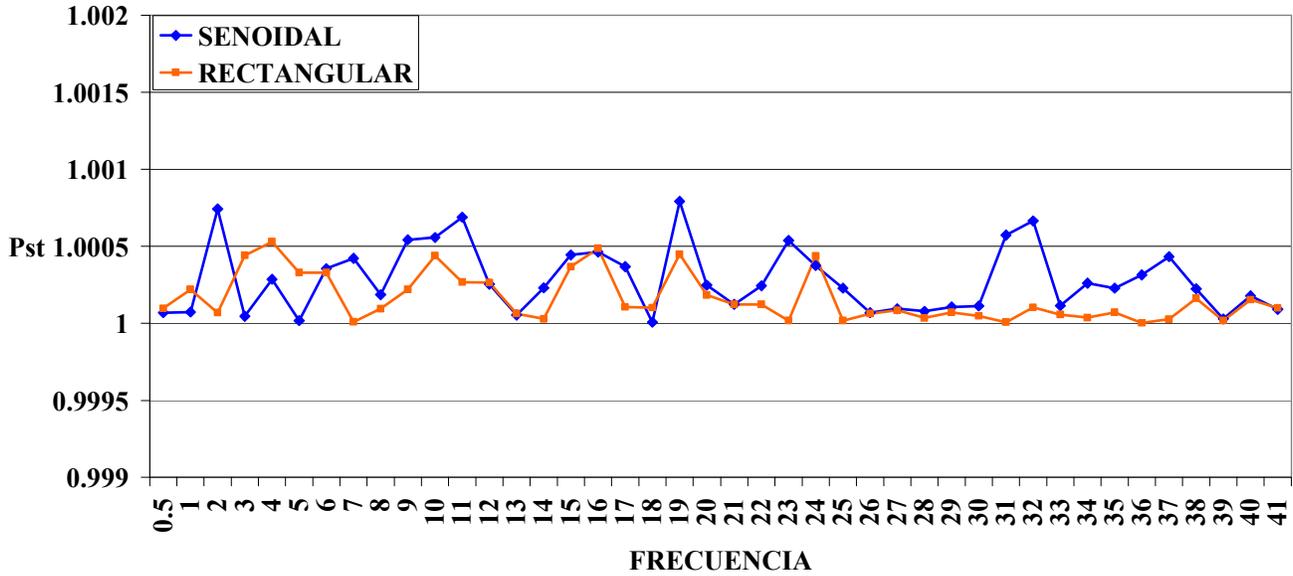


FIGURA 5.16 P_{st} para las dos curvas de perceptibilidad.

- Diagrama de barras:

PST PARA VARIACIONES DE VOLTAJE RECTANGUALES Y SENOIDALES

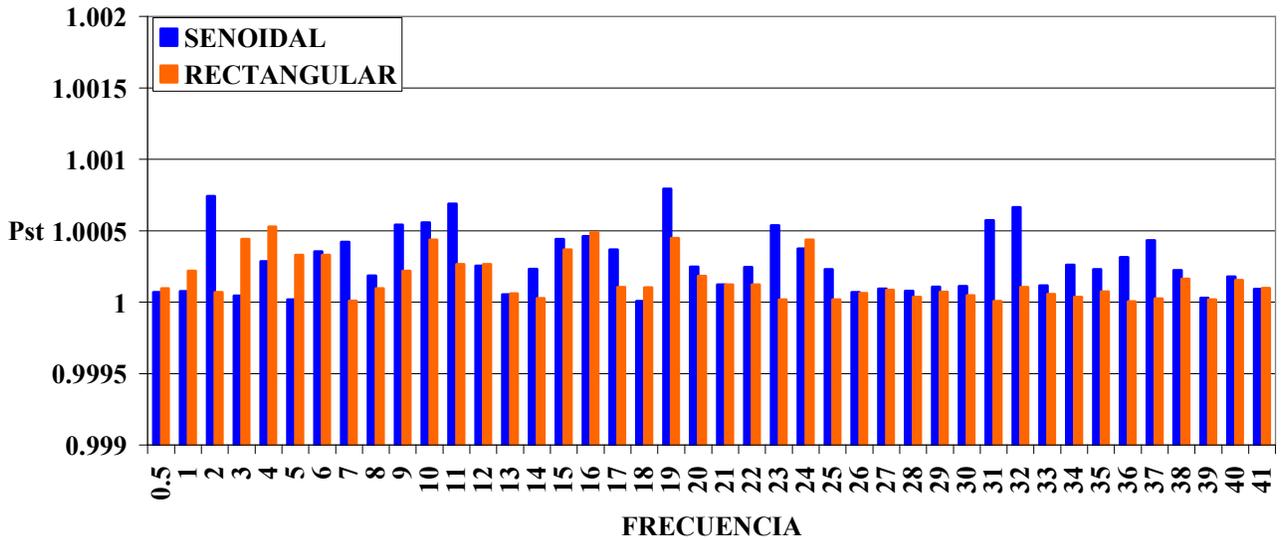


FIGURA 5.17 P_{st} para las dos curvas de perceptibilidad.

5.8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Estándares y Normas:

- [1] International Electrotechnical Commission (IEC), Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 4: Testing and Measurement Techniques—Section 15: *Flickermeter—Functional and Design Specification*, CEI IEC 61000-4-15 NOVIEMBRE 1997.
- [2] International Electrotechnical Commission (IEC), Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 4: Testing and Measurement Techniques—Section 15: *Flickermeter—Functional and Design Specification*, IEC Stand.61000-4-15, Ed. 1.1 + Addendum, ENERO 2003.
- [3] IEEE Recommended Practice for Measurement and Limits of Voltage Fluctuations and Associated Light Flicker.

6 RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DEL INSTRUMENTO

Las mediciones que se mostraran a continuación fueron realizadas específicamente en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador, y de las cuales fueron necesarias realizar tres, las dos primeras con un período de duración de una semana y la tercera con una duración de dos semanas para cumplir con la norma SIGET.

1. PRIMERA MEDICIÓN: 26/09/2008 HASTA 03/10/2008

2. SEGUNDA MEDICIÓN: 09/10/2008 HASTA 16/10/2008

3. TERCERA MEDICIÓN: 07/11/2008 HASTA 24/11/2008

6.1 PRIMERA MEDICIÓN: REALIZADA DEL 26/09/2008 HASTA 03/10/2008

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la primera medición en la cual se podrán observar las tablas, gráficos de P_{st} y P_{lt} , y algunos fenómenos de voltaje.

- TABLA DE RESULTADOS DE P_{st} :

TABLA 6.1 Resultados de P_{st} para el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008.

P_{st}	VALOR DEL 95%	VALOR MAXIMO	DATOS TOTALES DE LA MEDICION
CON BANDERAS	0.488659	2.39421	1049
SIN BANDERAS	0.502605	14.6536	1043

- GRÁFICO DE LOS VALORES DE P_{st} CON BANDERAS:

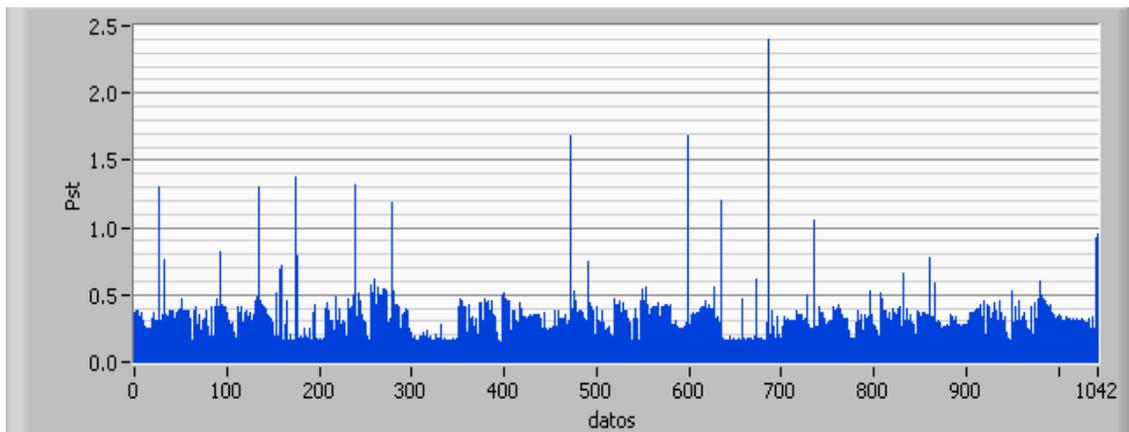


FIGURA 6.1 P_{st} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008, con bandera.

- **GRÁFICO DE LOS VALORES DE P_{st} SIN BANDERAS:**

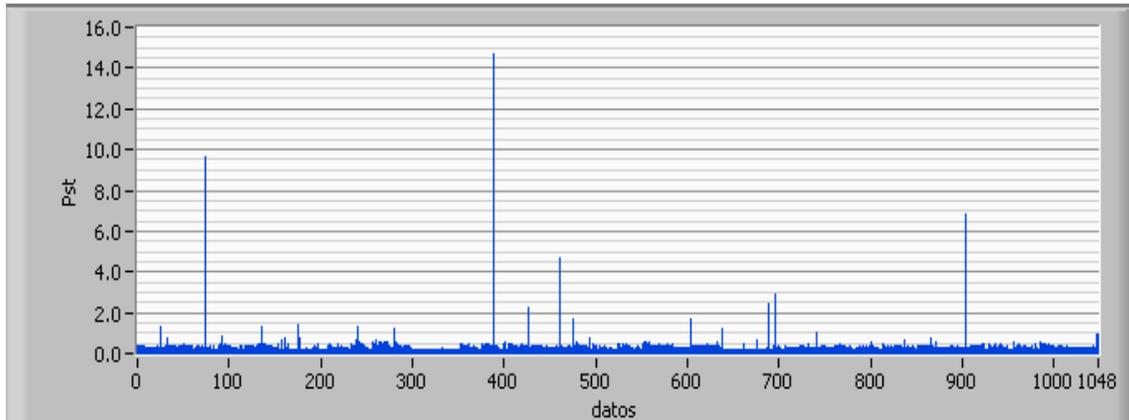


FIGURA 6.2 P_{st} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008, sin bandera.

- **TABLA DE RESULTADOS DE P_{It} :**

TABLA 6.2 Resultados de P_{It} para el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008.

P_{It}	VALOR DEL 95%	VALOR MAXIMO	DATOS TOTALES DE LA MEDICION
CON BANDERAS	0.636583	1.04935	81
SIN BANDERAS	1.37306	6.40085	87

- **GRÁFICO DE LOS VALORES DE P_{It} CON BANDERAS:**

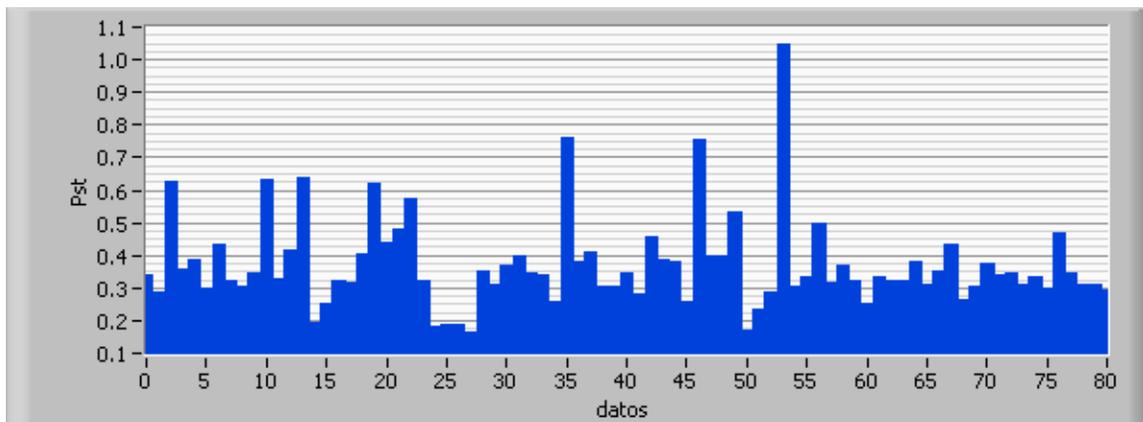


FIGURA 6.3 P_{It} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008, con bandera.

- **GRÁFICO DE LOS VALORES DE P_{It} SIN BANDERAS:**

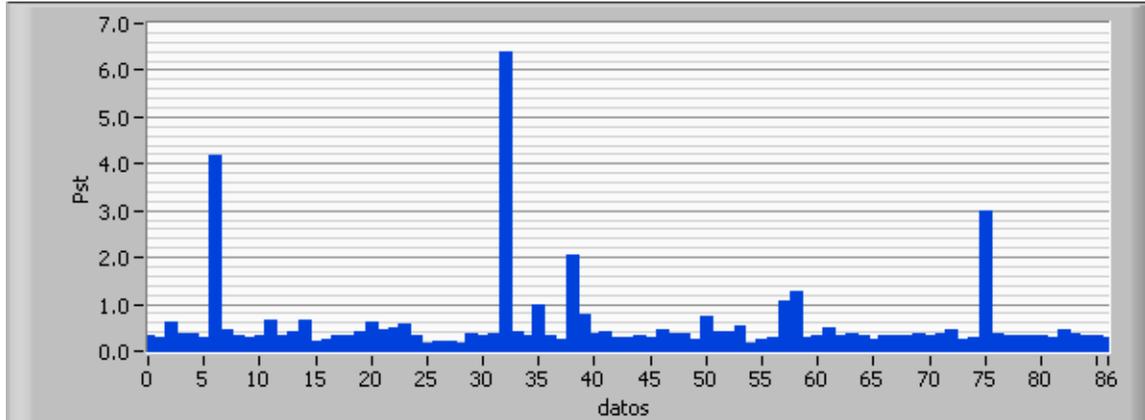


FIGURA 6.4 P_{It} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008, sin bandera.

- **GRÁFICO DE VALORES DE $\Delta V/V$ Y FRECUENCIA CON BANDERAS:**

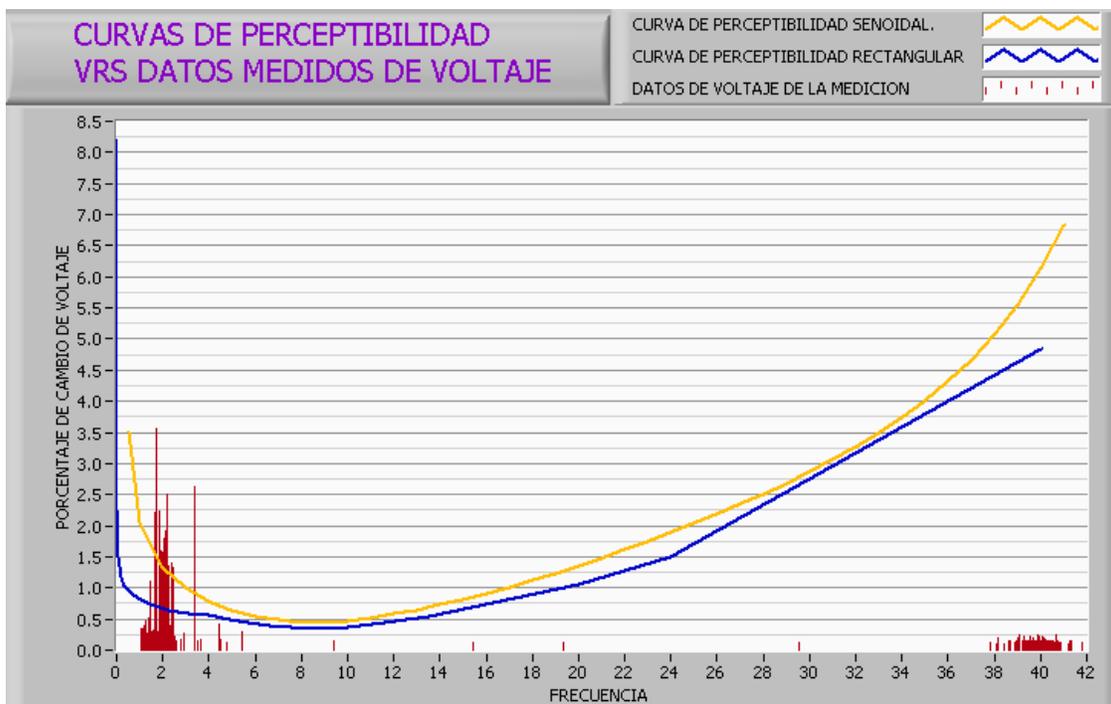


FIGURA 6.5 Valores máximos de $\Delta V/V$ y frecuencia en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008, con bandera.

- **GRÁFICO DE VALORES DE $\Delta V/V$ Y FRECUENCIA SIN BANDERAS:**

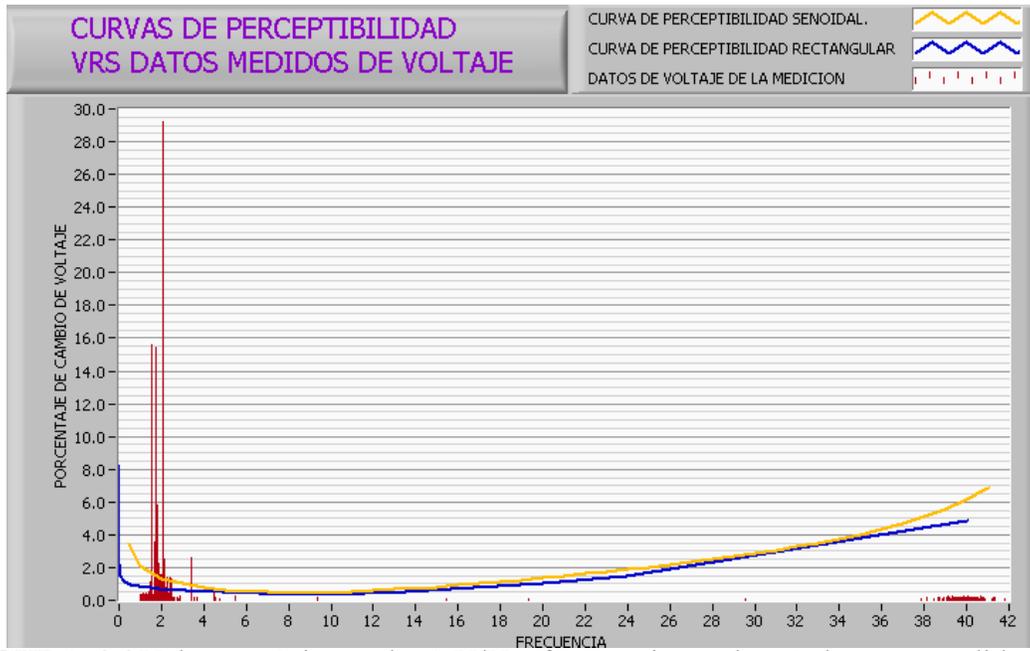


FIGURA 6.6 Valores máximos de $\Delta V/V$ y frecuencia en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 03/10/2008, sin bandera.

- **GRÁFICOS DE ALGUNOS FENÓMENOS CAPTADOS POR EL DETECTOR DE SAG & SWELL Y INTERRUPCIONES:**

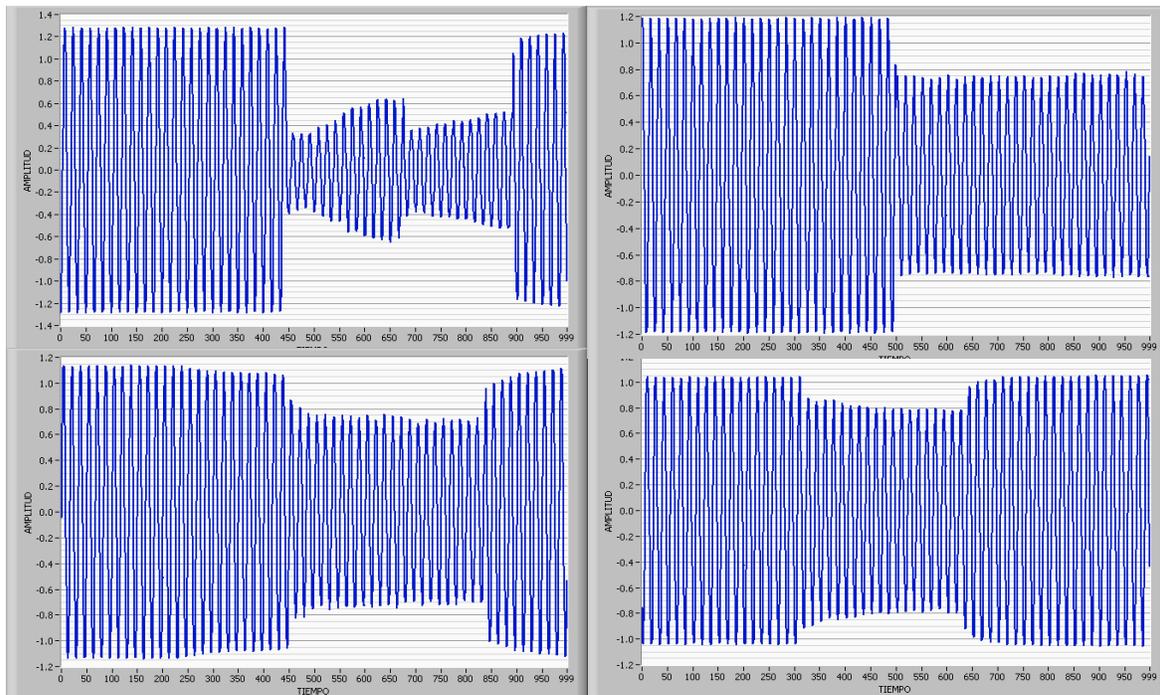


FIGURA 6.7 Fenómenos capturados para el período de medición de 26/09/2008 hasta 03/10/2008.

6.2 SEGUNDA MEDICIÓN: REALIZADA DEL 09/10/2008 HASTA 16/10/2008.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la segunda medición en la cual se muestran las tablas, gráficos de los valores de P_{st} y P_{lt} , así como también algunos fenómenos de voltaje.

- **TABLA DE RESULTADOS DE P_{st} :**

TABLA 6.3 Resultados de P_{st} para el período comprendido del 09/10/2008 hasta 16/10/2008.

P_{st}	VALOR DEL 95%	VALOR MAXIMO	DATOS TOTALES DE LA MEDICION
CON BANDERAS	0.462104	4.98807	1016
SIN BANDERAS	0.462696	4.98807	1017

- **GRÁFICO DE LOS VALORES DE P_{st} CON BANDERAS:**

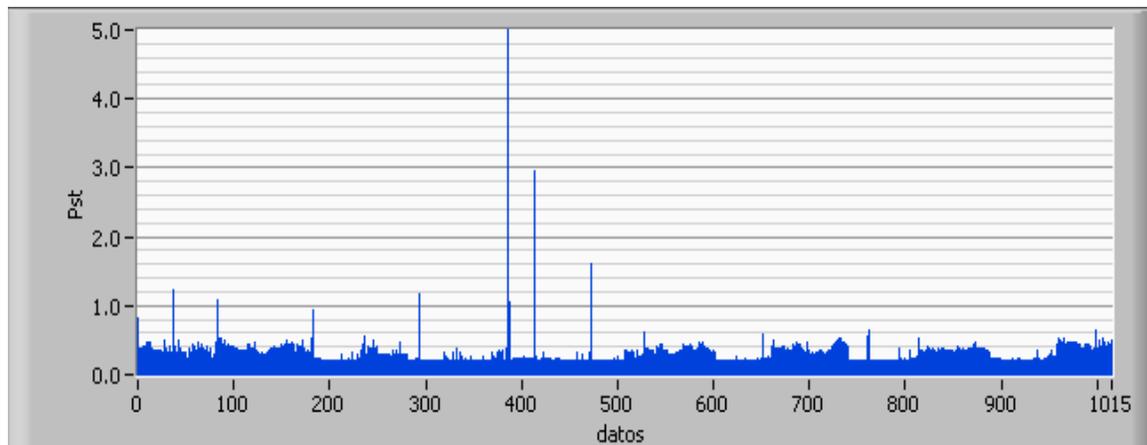


FIGURA 6.8 P_{st} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 09/10/2008 hasta 16/10/2008, con bandera.

- **GRÁFICO DE LOS VALORES DE P_{st} SIN BANDERAS:**

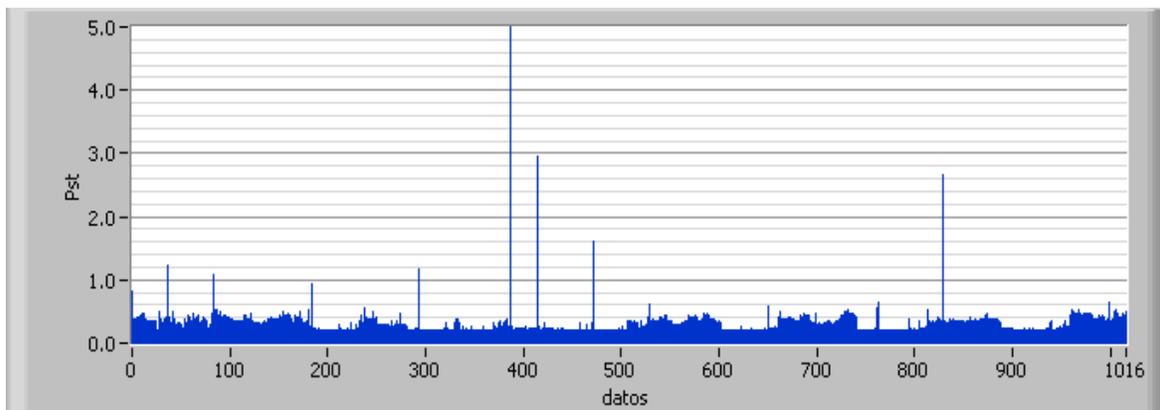


FIGURA 6.9 P_{st} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 09/10/2008 hasta 16/10/2008, sin bandera.

- **TABLA DE RESULTADOS DE P_{It} :**

TABLA 6.4 Resultados de P_{It} para el período comprendido del 09/10/2008 hasta 16/10/2008.

P_{It}	VALOR DEL 95%	VALOR MAXIMO	DATOS TOTALES DE LA MEDICION
CON BANDERAS	0.542779	2.18641	83
SIN BANDERAS	0.617763	2.18641	84

- **GRÁFICO DE LOS VALORES DE P_{It} CON BANDERAS:**

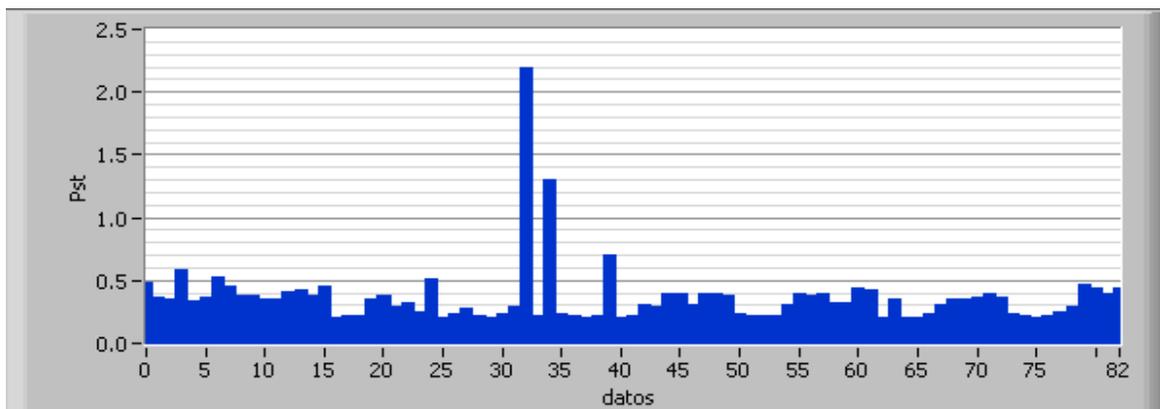


FIGURA 6.10 P_{It} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 09/10/2008 hasta 16/10/2008, con bandera.

- **GRÁFICO DE LOS VALORES DE P_{it} SIN BANDERAS:**

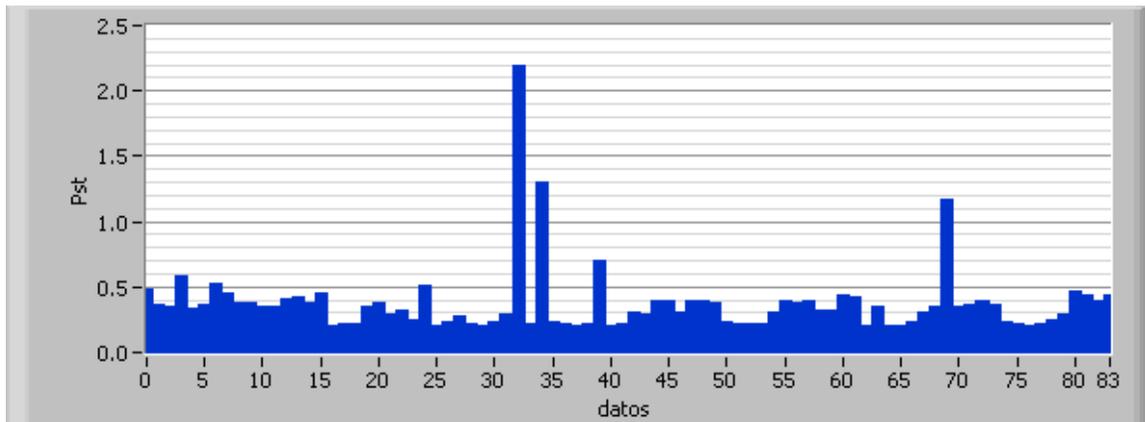


FIGURA 6.11 P_{it} calculados en el período comprendido del 26/09/2008 hasta 09/10/2008 hasta 16/10/2008, sin bandera.

- **GRÁFICO DE VALORES DE $\Delta V/V$ Y FRECUENCIA CON BANDERAS:**

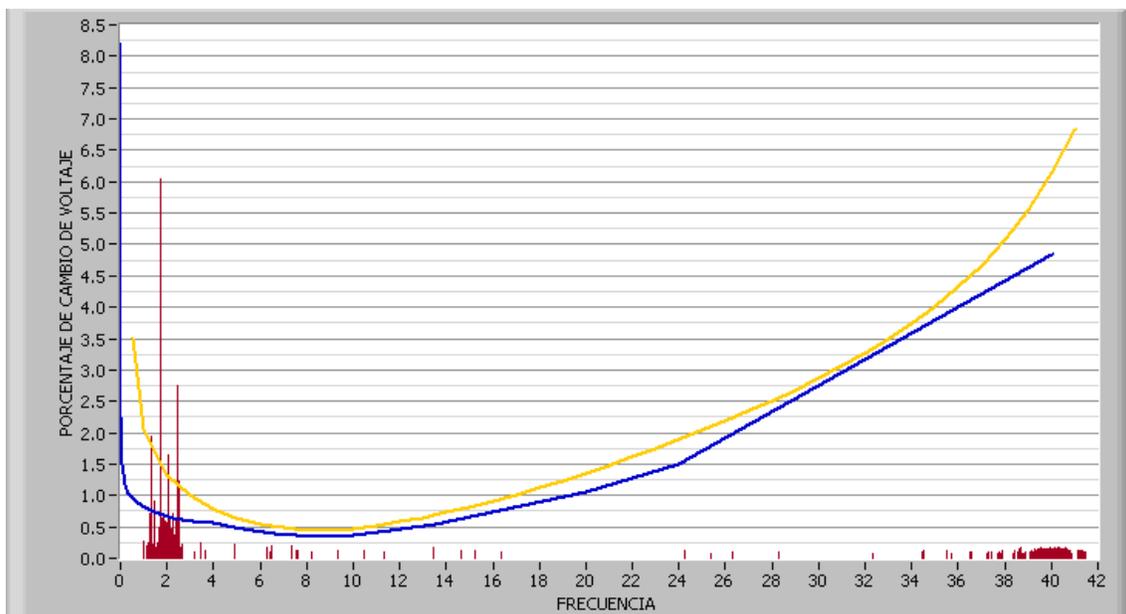


FIGURA 6.12 Valores máximos de $\Delta V/V$ y frecuencia en el período comprendido del 09/10/2008 hasta 16/10/2008, con bandera.

- **GRÁFICO DE VALORES DE $\Delta V/V$ Y FRECUENCIA SIN BANDERAS:**

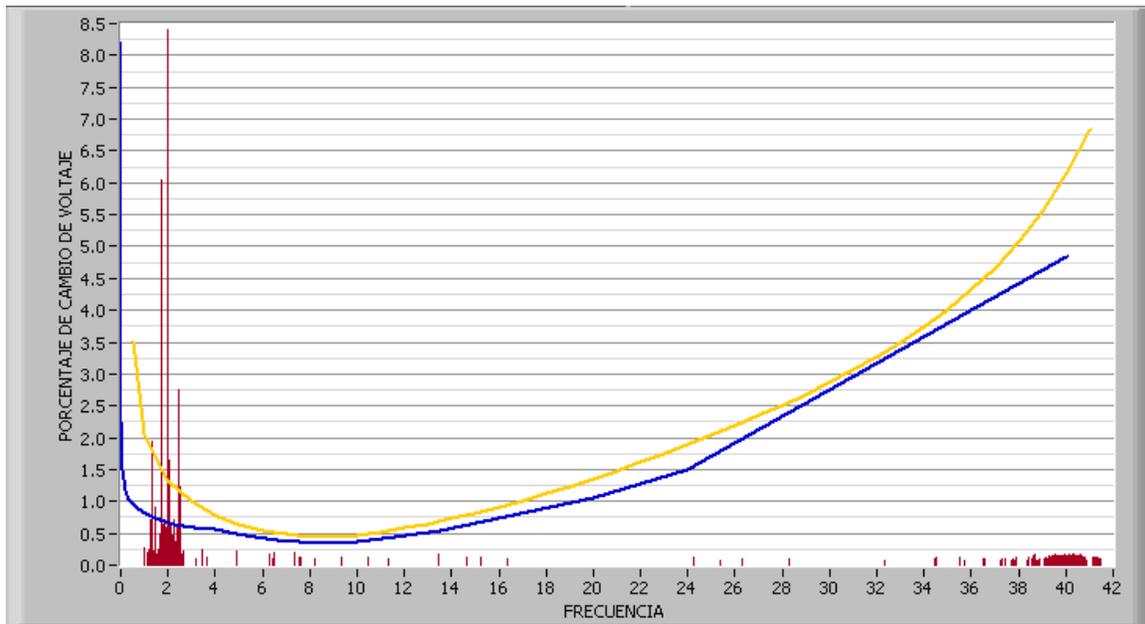


FIGURA 6.13 Valores máximos de $\Delta V/V$ y frecuencia en el período comprendido del 09/10/2008 hasta 16/10/2008, sin bandera.

- **GRÁFICOS DE ALGUNOS FENÓMENOS CAPTURADOS POR EL DETECTOR DE SAG & SWELL Y INTERRUPCIONES:**

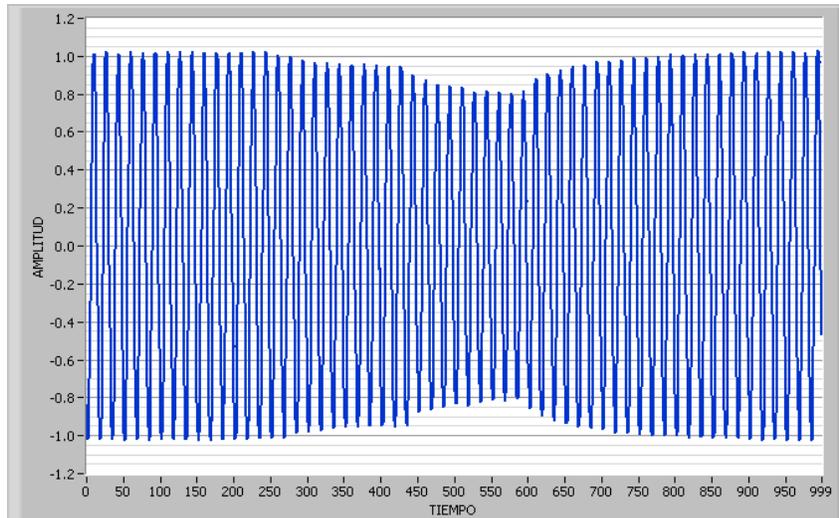


FIGURA 6.14 Fenómeno capturado para el período comprendido del 09/10/2008 hasta 16/10/2008.

6.3 TERCERA MEDICIÓN: REALIZADA DEL 07/11/2008 HASTA 21/11/2008.

La tercera medición fue realizada durante un período de 17 días para cumplir con la norma de calidad de energía de la SIGET (14 días), y de la cual se mostraran a continuación los resultados obtenidos.

- **TABLA DE RESULTADOS DE P_{st} :**

TABLA 6.5 Resultados de P_{st} para el período comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008.

P_{st}	VALOR DEL 95%	VALOR MAXIMO	DATOS TOTALES DE LA MEDICION
CON BANDERAS	0.476044	3.75881	2444
SIN BANDERAS	0.478107	58.5376	2448

- **GRÁFICO DE LOS VALORES DE P_{st} CON BANDERAS:**

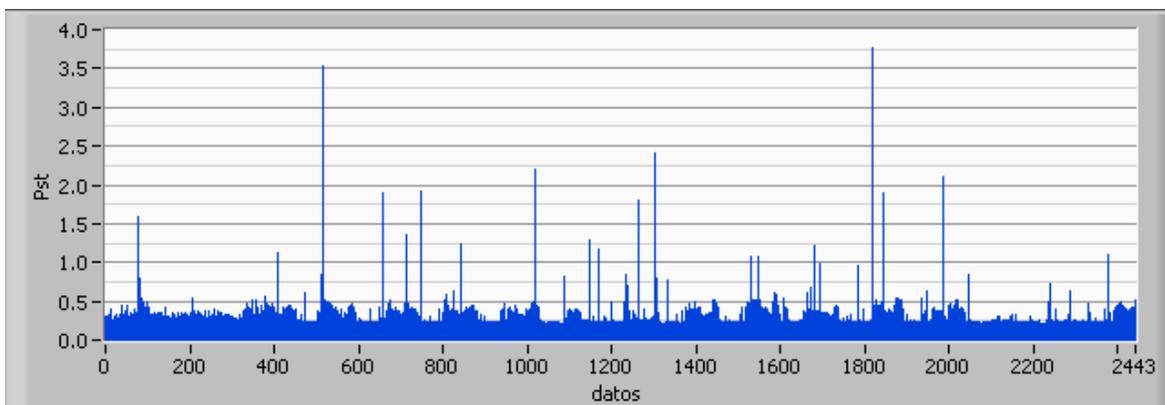


FIGURA 6.15 P_{st} calculados en el período de medición comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008, con bandera.

- **GRÁFICO DE LOS VALORES DE P_{st} SIN BANDERAS:**

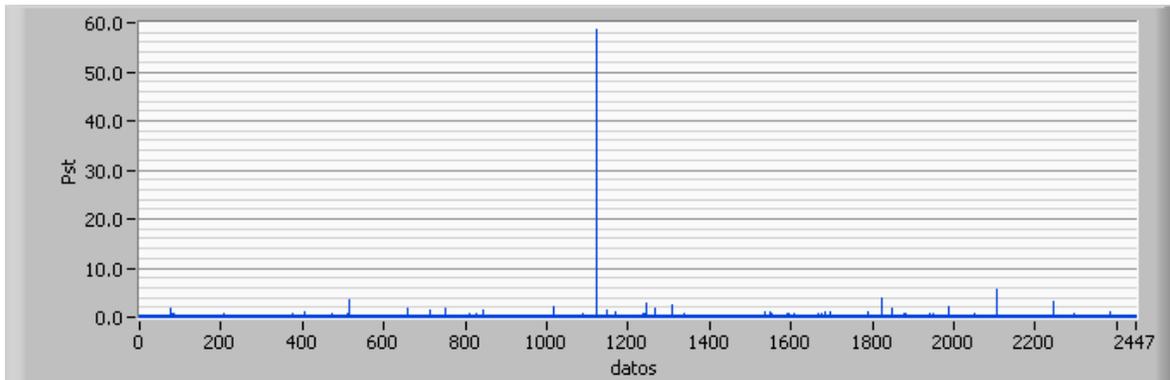


FIGURA 6.16 P_{st} calculados en el período de medición comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008, sin bandera.

- **TABLA DE RESULTADOS DE P_{It} :**

TABLA 6.6 Resultados de P_{It} para el período comprendido del 07/11/2008 hasta 24/11/2008.

P_{It}	VALOR DEL 95%	VALOR MAXIMO	DATOS TOTALES DE LA MEDICION
CON BANDERAS	0.696916	1.64473	200
SIN BANDERAS	0.849618	25.5687	204

- **GRÁFICO DE LOS VALORES DE P_{It} CON BANDERAS:**

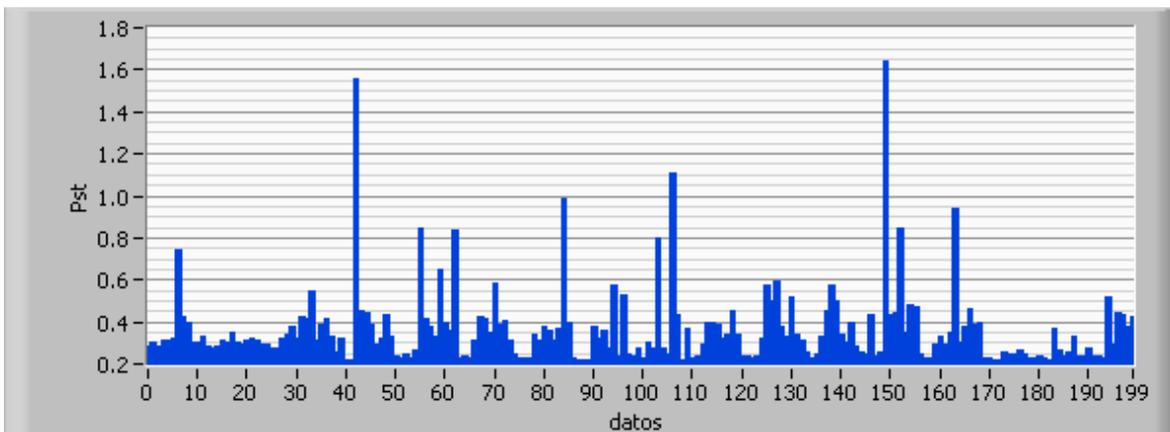


FIGURA 6.17 P_{It} calculados en el período de medición comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008, con bandera.

- **GRÁFICO DE LOS VALORES DE P_{lt} SIN BANDERAS:**

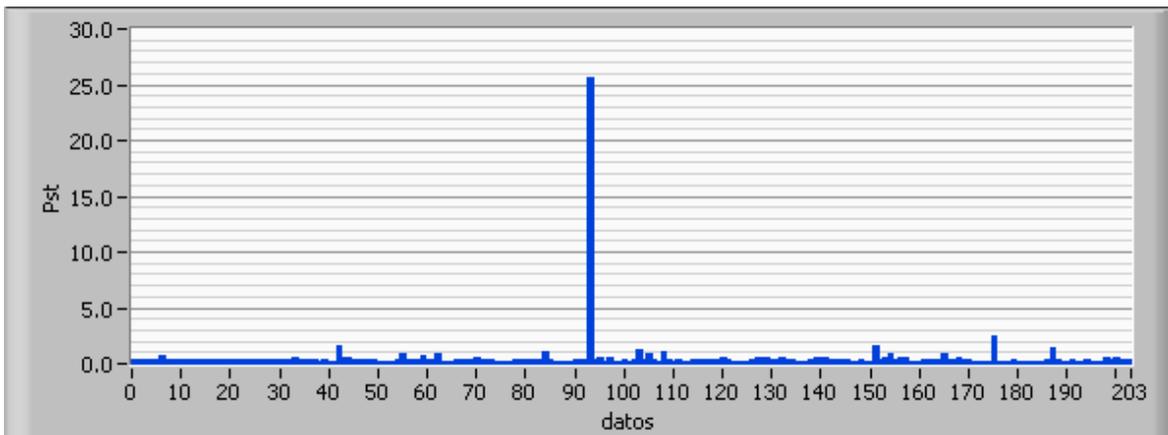


FIGURA 6.18 P_{lt} calculados en el período de medición comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008, sin bandera.

- **GRÁFICO DE VALORES DE $\Delta V/V$ Y FRECUENCIA CON BANDERAS:**

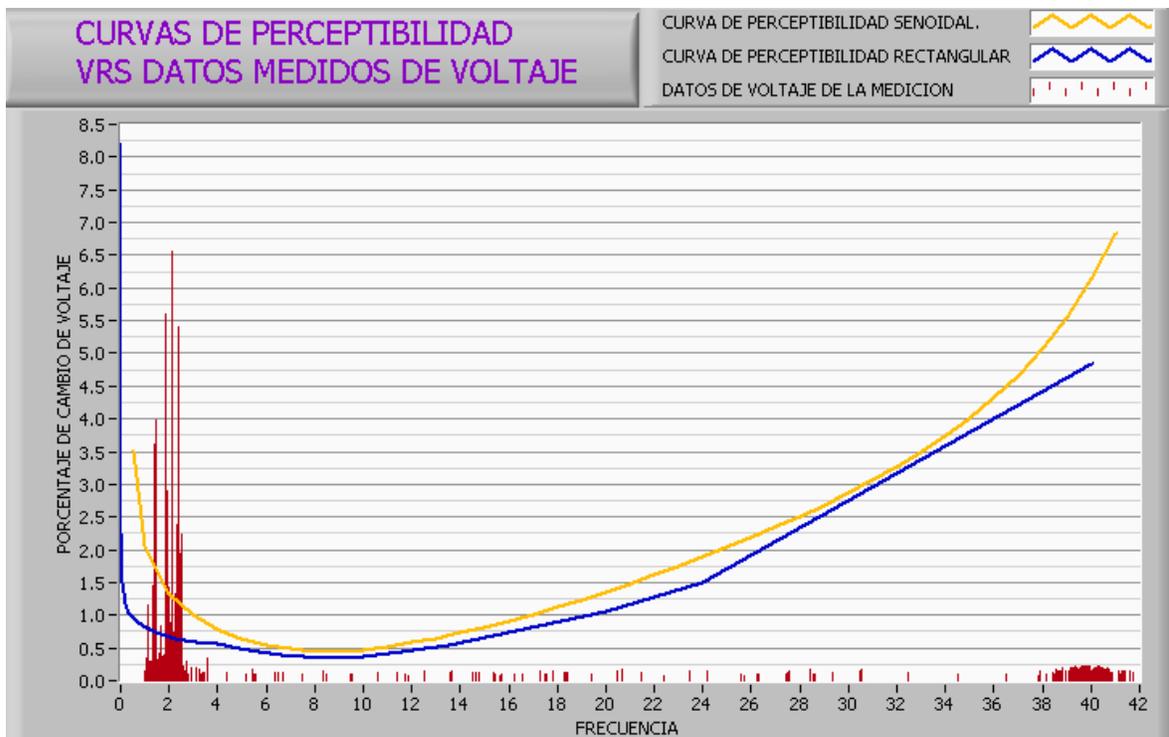


FIGURA 6.19 Valores máximos de $\Delta V/V$ y frecuencia en el período comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008, sin bandera.

- **GRÁFICO DE VALORES DE $\Delta V/V$ Y FRECUENCIA SIN BANDERAS:**

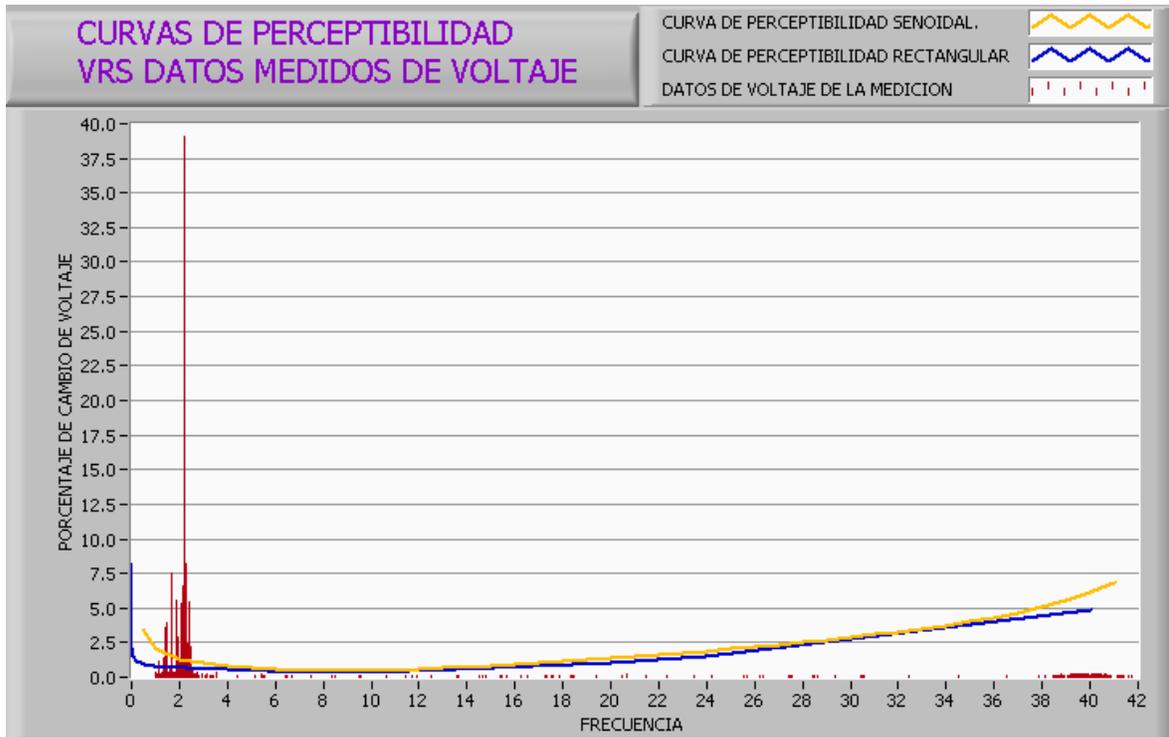


FIGURA 6.20 Valores máximos de $\Delta V/V$ y frecuencia en el período comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008, sin bandera.

GRÁFICOS DE ALGUNOS FENÓMENOS CAPTADOS POR EL DETECTOR DE SAG & SWELL E INTERRUPCIONES:

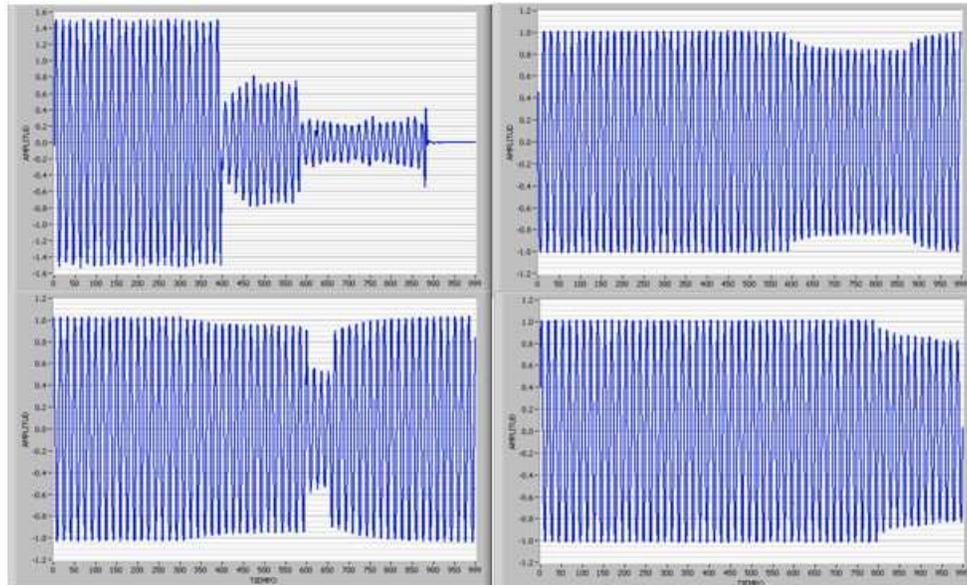


FIGURA 6.21 Fenómenos capturados para el período comprendido del 07/11/2008 hasta 21/11/2008.

7. CONCLUSIONES

- ✚ La salida del bloque 4 con respecto a cada valor especificado en las tablas 4.2 y 4.3 exigen un nivel instantánea de flicker (IFL) correspondiente al valor de 1.00, el cual fue comprobado en los ensayos de calibración satisfactoriamente tal como se puede observar en las tablas 5.4 y 5.5, adicionalmente se puede corroborar en la figura 3.29 la cual muestra la salida instantánea para una fluctuación sinusoidal correspondiente a un $\Delta V/V\% = 0.321$ a una frecuencia de 8.8 Hz. Sin esta prueba no es posible hacer el calculo del factor K el cual es muy importante para la medición del fenómeno de Flicker, del cual la norma no lo especifica claramente en el diseño ya que esta supuestamente lo da por sobreentendido.
- ✚ Al realizar los ensayos de calibración del instrumento mostrados en la tabla 4.1 se obtuvieron valores aceptables de P_{st} conforme se observo en la tabla 5.1 de la cual el valor máximo registrado fue de $P_{st} = 1.01675$ cumpliendo así con la norma que exige para esta prueba el valores no superen el rango de $P_{st} = 1 \pm 0.05$.
- ✚ Los ensayos de margen de magnitud y linealidad fueron necesarios para determinar la exactitud de 5% que la norma IEC 61000-4-15 exige, tal como se puede observar en la tabla 5.2 y en las figuras 5.2 y 5.4 respectivamente. Siendo el error máximo de 1.31%.
- ✚ De la tabla 5.6 se comprobó que a la salida del clasificador correspondían a valores en el rango de p_{st} de $1 \pm 5\%$. Esta prueba es importante porque es realizada por el IEEE para un flickermeter, teniendo como objetivo lograr una mejor funcionalidad del instrumento; esta prueba es realizada en la referencia [3] del capitulo 5.
- ✚ Los resultados de p_{st} para las tres mediciones mostraron que el valor del 95% quedaron por debajo del valor de 1 lo cual es aceptable conforme a las normas internacionales.
- ✚ También se observo que el valor de P_{lt} estuvo debajo de 1 para el 95% de los datos tomados, lo cual conforme a las normas internacionales es aceptable; aunque para la norma SIGET (192-E-2004) no es tomado en cuenta este índice de severidad de flicker.
- ✚ La medición realizada en el periodo del 07/11/2008 HASTA 21/11/2008 (diecisiete días) cumple con lo establecido por la norma SIGET(192-E-2004), la cual exige un mínimo de catorce días calendario para determinar si hay efecto de flicker (parpadeo) en el sistema eléctrico, y de la cual se observo que el valor del 95% estaba por debajo de uno, de lo cual se concluye que no hay problemas de flicker en la instalación de la Escuela de Ingeniería Eléctrica en dicho período.

- ✚ Otro aspecto importante que se pudo notar en el gráfico de $\Delta V/V\%$ y frecuencia (ver figuras 6.12 y 6.13), en el cual se observó que las frecuencias que incidían más en fenómeno flicker estaban en el rango de 1 a 4 Hz y de 37 a 41 Hz.
- ✚ Algo importante de resaltar es el funcionamiento del detector de perturbaciones como SAGS & SWELLS e INTERRUPCIONES, registrando cada fenómeno y colocándole una bandera (flagging) a los índices de severidad de flicker (IFL) dejando la elección al usuario para que decida si tomar o no en cuenta estos datos registrados. Por las mediciones realizadas se verificó su adecuado funcionamiento en la detección de estos fenómenos.
- ✚ Los fenómenos SAGS & SWELLS fueron los más comunes en la instalación y eran los que hacían que los índices de severidad de flicker se elevaran de forma abrupta en las mediciones.
- ✚ Algo que resaltar son las curvas de perceptibilidad para variaciones sinusoidales y rectangulares que se encuentran en este documento, estas fueron realizadas exclusivamente con el flickermeter; con la idea de que estas algún día se utilicen y sean ensayadas por otros diseñadores con el fin de tener otra referencia de datos para la calibración del bloque 5.
- ✚ Se creó un ejecutable del programa FLICKERMETER realizado en Labview con la capacidad de reiniciar la medición si hay un corte prolongado de energía y éste se apagase, para que automáticamente fuera capaz de funcionar sin la necesidad de que algún operador tuviera que ir a activarlo nuevamente. Esto se hizo porque fue uno de los problemas que nos encontramos en el transcurso de este proyecto cuando estuvimos haciendo las pruebas y es importante porque muchas veces los lugares donde se instalan estos equipos no están disponibles las 24 horas ó su acceso es muy complicado. Sin esta capacidad el instrumento tendría que estar siendo monitoreado constantemente durante el periodo de medición y se perdería mucho tiempo durante el operador llegue al sitio. La ganancia de esta capacidad es que el aparato se instala, cumple con el período de medición sin necesidad de monitoreo hasta el día que será retirado (finalización del período de medición).
- ✚ Las comparaciones realizadas del FLICKERMETER Vrs. TOPAS 2000 fueron necesarias para distinguir como media nuestro instrumento contra uno ya normado internacionalmente (medidor clase A) y del cual los resultados que se muestran en las figuras A.5.a, A.5.b y A.5.c del anexo A.5 comprobando satisfactoriamente que la tendencia de las mediciones en los periodos tomados fueron muy similares con la salvedad que el diseño realizado en este trabajo reporta mayor magnitud que el otro instrumento.
- ✚ El FLICKERMETER tiene incorporado un visualizador de la señal continua y del espectro de la transformada rápida de Fourier (FFT) de la envolvente que distorsiona la red del voltaje de entrada. Así como también la visualización del nivel instantáneo de flicker (IFL) en forma continua; con estos atributos el instrumento presenta diferencias en comparación con otros productos que se

encuentran en el mercado de instrumentos; esta característica se funciona para obtener una mejor comprensión del fenómeno.

- ✚ Se realizó un programa extra en el proyecto el cual llamamos “Analizador de datos” este puede ser utilizado cuando ocurre un corte prolongado de energía, ya que en este caso el FLICKERMETER reinicia todo su contenido concerniente a: tablas, gráficos, valor máximo y el valor del 95%; pero los datos calculados (P_{st} , P_{lt} , SAGS & SWELLS y FFT) antes de la falla (archivos con extensión lvm) son guardados en la dirección por defecto y pueden ser extraídos para su posterior análisis con este programa. Tanto los datos antes y después de una falla del sistema son guardados en una misma dirección de memoria y se adjuntan uno abajo del otro haciendo posible la extracción de todos los datos durante el periodo en que el FLICKERMETER estuvo midiendo.
- ✚ Adicional a lo anterior el “Analizador de datos” tiene la capacidad de mostrar el resumen de los datos medidos y además poder navegar por cada medición de P_{st} e inspeccionar el valor máximo de $\Delta V/V$ y la frecuencia a la que ocurrió, en un espacio de tiempo de 10 minutos. Adicional a esto se puede verificar la amplitud de $\Delta V/V$ Vrs. Frecuencia para tomar como referencia en la solución de problemas de (filtros supresores de frecuencias, compensación de reactivos, etc.)
- ✚ El Analizador de datos es capaz de generar un reporte con un resumen de los requerimientos necesarios para hacer mediciones de Flicker, basándose en la norma de calidad europea en vigencia EN50160.

ANEXOS

A.1 SIGNIFICADO DE $\frac{\Delta V}{V}$ Y NÚMERO DE CAMBIOS POR MINUTO

La siguiente ecuación y figura ilustra el significado de $\frac{\Delta V}{V}$ y el número de cambios por minuto de voltaje a los que se refiere la norma.

Si se considera una amplitud modulada en función del tiempo $v(t)$ y una fluctuación de voltaje de una forma de onda $V(t)$.

La fluctuación de voltaje de la forma de onda $V(t)$ es en función de valores rms que aparecen de $v(t)$.

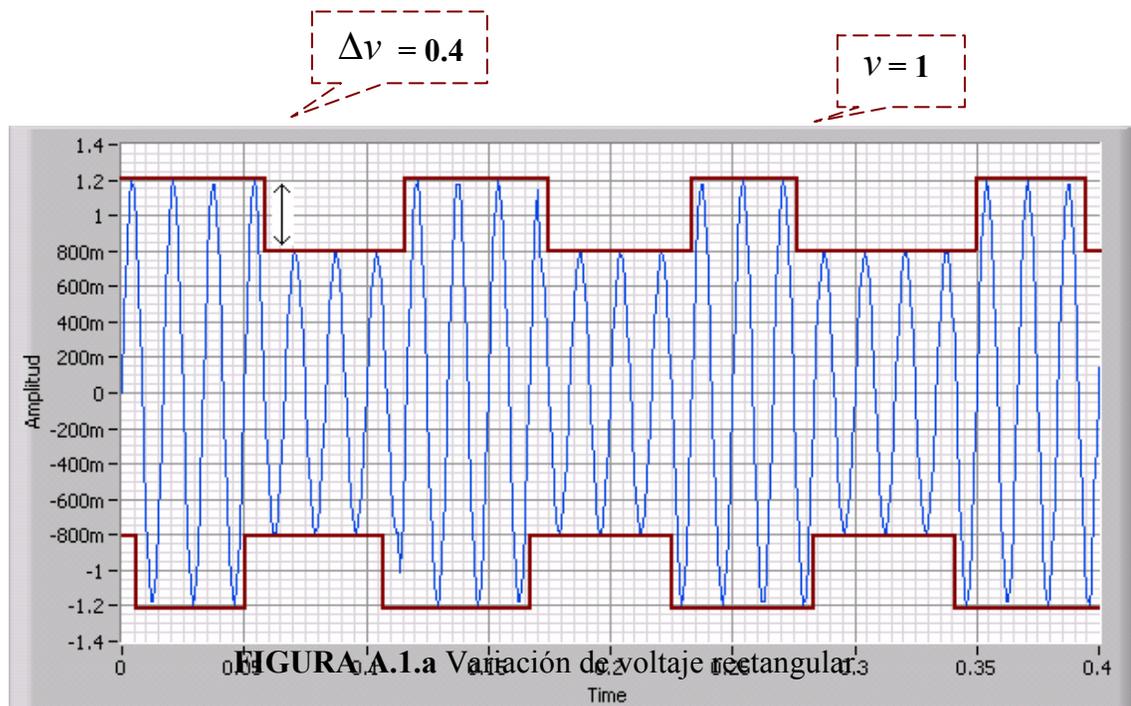
Los cambios en el tiempo de la función $\frac{\Delta v}{v}$ son, en una buena aproximación, igual a los cambios de los valores rms $\frac{\Delta V}{V}$.

Como ejemplo, se tomara una forma de onda a 60 Hz teniendo una amplitud de 1 voltio con una relación de cambios de voltaje $\frac{\Delta v}{v}$ igual a 40% y una frecuencia 8.8 Hz relacionada con la modulación rectangular la cual puede ser escrita de la siguiente manera:

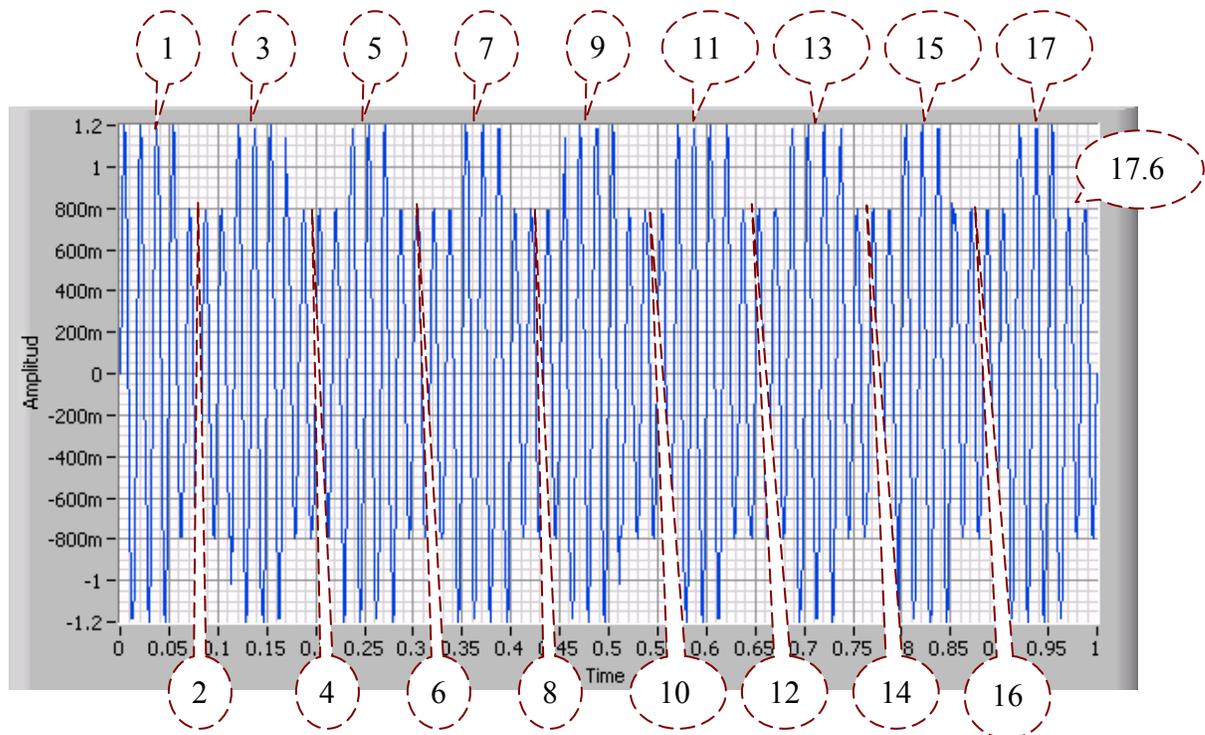
$$v(t) = 1x \sin(2x\pi x60xt)x \left\{ 1 + \frac{40}{100} x \frac{1}{2} x \text{signum}[\sin(2x\pi x8.8xt)] \right\} \quad (58)$$

La forma de onda correspondiente se muestra en al siguiente figura. Los cambios de los valores rms de $\frac{\Delta V}{V}$ son esencialmente igual al 40% de $\frac{\Delta v}{v}$ en función de los cambios en el tiempo. Los cambios rectangulares de voltaje ocurren a una frecuencia de 8.8 Hz. Cada período completo produce dos distintos cambios de voltaje, uno con incremento de la magnitud y el otro con decremento de la magnitud. Dos cambios por período con una frecuencia a 8.8Hz hacen aparecer 17.6 cambios por segundo.

- Cambios de voltaje rectangular a $\frac{\Delta V}{V} = 40\%$, 8.8Hz ,17.6 cambios por segundo:

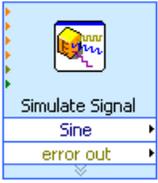
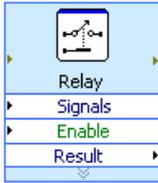
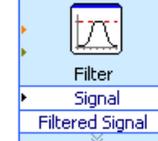
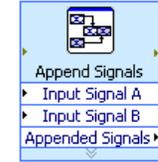


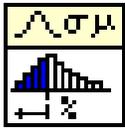
- Variaciones por segundo:



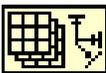
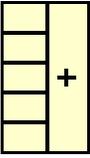
A.2 INSTRUMENTOS VIRTUALES UTILIZADOS:

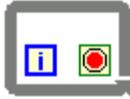
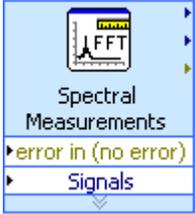
TABLA. A.2.a Componentes virtuales utilizados para la programación.

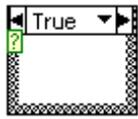
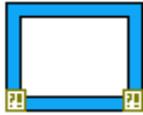
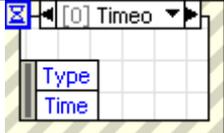
FIGURA	NOMBRE	FUNCIÓN
 <p>Simulate Signal Sine error out</p>	Simulate Signal	Simula una onda sinusoidal, cuadrada, triangular, de sierra, o señal de ruido
 <p>Relay Signals Enable Result</p>	Relay	Configura un interruptor relevador que deja pasar la señal de entrada una vez se accione el enable
 <p>DAQ Assistant data</p>	DAQ Assistant	Se utiliza para comunicar la tarjeta USB del exterior con l programa realizado en LAB-VIEW
 <p>Collector Signals Collected Signals</p>	Collector	Cuando usted llama el VI Expreso este guarda los valores hasta activarlo y dejar que los datos salgan hacia su destino el VI Expreso descarta los más datos viejos y añade los datos más nuevos para seguir con el proceso de recolección de datos.
 <p>Filter Signal Filtered Signal</p>	Filter	Trabaja las señales a través de filtros y ventanas
 <p>Append Signals Input Signal A Input Signal B Appended Signals</p>	Append Signal	Anexa señales. Usted puede usar este VI Expreso para anexar una señal hasta el fin de la otra señal, anexar señales en una señal combinada para cada otro, anexar la misma señal hasta el fin de cada señal en una señal combinada, o anexar una señal combinada para otra señal combinada.
 <p>Time Delay Delay Time (s)</p>	Time delay	introduce un retraso de tiempo en el llamado VI

 <p>Write To Measurement File Signals</p>	<p>Write to Measurement</p>	<p>Escribe datos para los archivos basados en textos (.lvm) de medida o los archivos binarios (.tdm o .tdms) de medida. Use al Read From Measurement File Express VI leer los datos del archivo generado demedida</p>
 <p>Build Table Signals Table</p>	<p>Build Table</p>	<p>Convierte una señal o hace señales en una tabla de datos la cual realiza listas de la amplitud de cada señal y los datos de tiempo para cada punto en la señal</p>
	<p>List Box</p>	<p>Crea una lista partir de los datos procesados por Build Box</p>
	<p>NI_Gmath.lvli b: percentiles.vi</p>	<p>Computa un valor que es mayor que por ciento de la probabilidad de los valores de datos en el conjunto imponente de la x. El tipo de datos que usted intercepta para la entrada de la p determina el ejemplo polimorfo usar</p>
	<p>NI_Mapro.lvli b:basic Averaged DC-RMS.vi</p>	<p>Acoge una o más formas de ondas, aplica una ventana para la señal, y promedia la CD y RMS. El tipo de datos que usted intercepta para la señal en la entrada determina el ejemplo polimorfo usar.</p>
	<p>DFD Constantbuilt filter from transfer funtion</p>	<p>Crea un filtro de una función de transferencia en la forma siguiente:</p> $h(z^{-1}) = \frac{b[0] + b[1]z^{-1} + \dots + b[N]z^{-N}}{a[0] + a[1]z^{-1} + \dots + b[M]z^{-M}}$
	<p>DFD filtering.vi</p>	<p>Evalúa el filtro realizado con DFD Constantbuilt filter from transfer funtion con una señal cualquiera.</p>

	Not	Computa la negación lógica de la entrada. Si la x es FALSA, entonces la función devuelve a TRUE. Si la x es VERDADERA, entonces la función devuelve a FALSE
	And	Computa lo lógico Y de las entradas. Ambas entradas deben ser Booleano o valores numéricos. Si ambas entradas son ciertos, entonces la función devuelve a TRUE. De otra manera, devuelve a FALSE.
	Boolean to (0,1)	Convierte un valor Booleano FALSE o valor VERDADERO a un entero de 16 bits con un valor de 0 o 1, respectivamente
	Equal?	Devuelve a TRUE si la x es igual a la y. De otra manera, esta función devuelve a FALSE. El cristal del conector ostenta los tipos predeterminados de datos para esta función polimorfa.
	Greater or Equal	Devuelve a TRUE si la x es mayor que o igual. De otra manera, esta función devuelve a FALSE.
	Square Root	Computa la raíz cuadrada del valor de entrada. Si el valor es negativo devuelve NaN
	Multiply	Multiplica dos valores
	Divide	Computa el cociente de las entradas.
	Square	Computa el cuadrado del valor de entrada
	Add	Computa la suma de las entradas.

	Constant	En este se introduce un valor constante
	Indicator Numeric	Indica un valor numérico en el panel frontal el cual es posible modificarlo
	Graph	Muestra el patrón de la señal que se introduce a la entrada del VI.
	Convert From Dynamic Data	Convierte el tipo dinámico de datos para datos tipo Booleano, numérico, forma de onda, y los tipos de datos de conjunto imponente para el uso con otros VIs y las funciones.
	Vertical Toggle Switch	Boton vertical utilizado para seleccionar determinado arreglo dentro de un VI.
	Square Light	Indica con una luz si la entrada es verdadera y se apaga si la respuesta es falsa o viceversa.
	Round Led	Indica con una luz si la entrada es verdadera y se apaga si la respuesta es falsa o viceversa.
	Array size	Devuelve el número de elementos de un conjunto de valores.
	Add Array Elements	Devuelve la suma de todos los elementos de un conjunto de datos numéricos.
	Compound arithmetic	Realiza aritmética en uno o más arreglos numéricos. Seleccione la operación dando un clic sobre la función y seleccionando a Change Mode del menú del atajo.
	Array Max & Min	Devuelve los valores máximos y mínimos encontrados en un arreglo de datos, junto con los índices para cada valor.

	Format Date\ Time String	Da un valor de la estampa de tiempo o un valor numérico como el tiempo en el formato que usted especifica.
	Get Date/Time In secs	Devuelve una estampa de tiempo del tiempo actual.
	Decimal String To Number	Convierte a los personajes numéricos en cuerda, comenzando en el offset, para un entero decimal y lo devuelve en el número.
	Date Indicator	Indica la hora a la cual esta el sistema
	Month Calendar	Muestra un calendario con la fecha actual cuando el sistema esta funcionamiento
	String Indicador	Indica un valor String
	Expresión Node	Se utilizo Expression Node para calcular expresiones, o ecuaciones, estos contiene una sola variable.
	While Loop	Repite el subdiagrama dentro de él hasta la Terminal condicional, una terminal de entrada, recibe un valor particular Boolean.
	Spectral Measurements FFT	cálcula la transformada rapida de fourier

	<p>Case Structure</p>	<p>Tiene uno o más subdiagramas, o casos, exactamente el mismo del cual ejecuta cuando la estructura ejecuta. El valor protegido con alambre para la terminal del selector determina cuál caso ejecutar y puede ser Boolean, entero, o tipo enumerado. El clic derecho el borde de la construcción a añadir o suprimir casos. Use la herramienta Labeling introducir valor (s) en la etiqueta del selector de caso y configurar el valor (s) manipulado por cada caso.</p>
	<p>Mathscript Node</p>	<p>Se utiliza al MathScript Node para evaluar escritos que usted crea en el LabVIEW MathScript Window. La sintaxis LabVIEW MathScript es similar al lenguaje en MATLAB.</p>
	<p>Event Structure</p>	<p>Tiene uno o mas subdiagramas, ó casos eventuales. El Event Structure espera una señal de prueba para habilitarse y luego capturar cualquier evento</p>
	<p>New Report</p>	<p>Crea un reporte nuevo en formato HTML ó PDF</p>
	<p>Set report magins.</p>	<p>Coloca márgenes específicos en el reporte</p>
	<p>Set Report Header Text</p>	<p>Coloca Títulos (Cabeceras) al reporte</p>
	<p>Set Report Footer Text</p>	<p>Coloca encabezados de pie de página</p>
	<p>Append Image to Report</p>	<p>Cargar imágenes externos al VI ejecutado por labview (ejemplo. La minerva de la UES)</p>
	<p>Append Text to Report</p>	<p>Añadir texto al reporte.</p>
	<p>Append Horizontal Line to Report</p>	<p>Crea una regla Horizontal a lo largo del reporte HTML</p>
	<p>Append Control Image to Report</p>	<p>Crea una imagen del objeto panel (Panel frontal Labview) especificado en el control de referencia y lo añade al reporte.</p>
	<p>Open HTML Report in Browser</p>	<p>Presenta en el navegador Web por defecto el reporte</p>
	<p>Dispose Report</p>	<p>Cierra el reporte y libera su interfase, para guardarlo.</p>

A.3 FLIKERMETER PARA UN SISTEMA DE 230 V

Para llevar a cabo este filtro para el sistema de 230 V en **LABVIEW** se deberá realizar los siguientes cambios en el instrumento virtual:

1. Cambiar la respuesta en frecuencia del filtro pasa bajo del bloque 3 de 42 Hz a 35 Hz.
 2. Cambiar la respuesta en frecuencia del filtro de ponderación como se muestra a continuación:
- Diagrama de bode en magnitud del filtro de ponderación para 230V

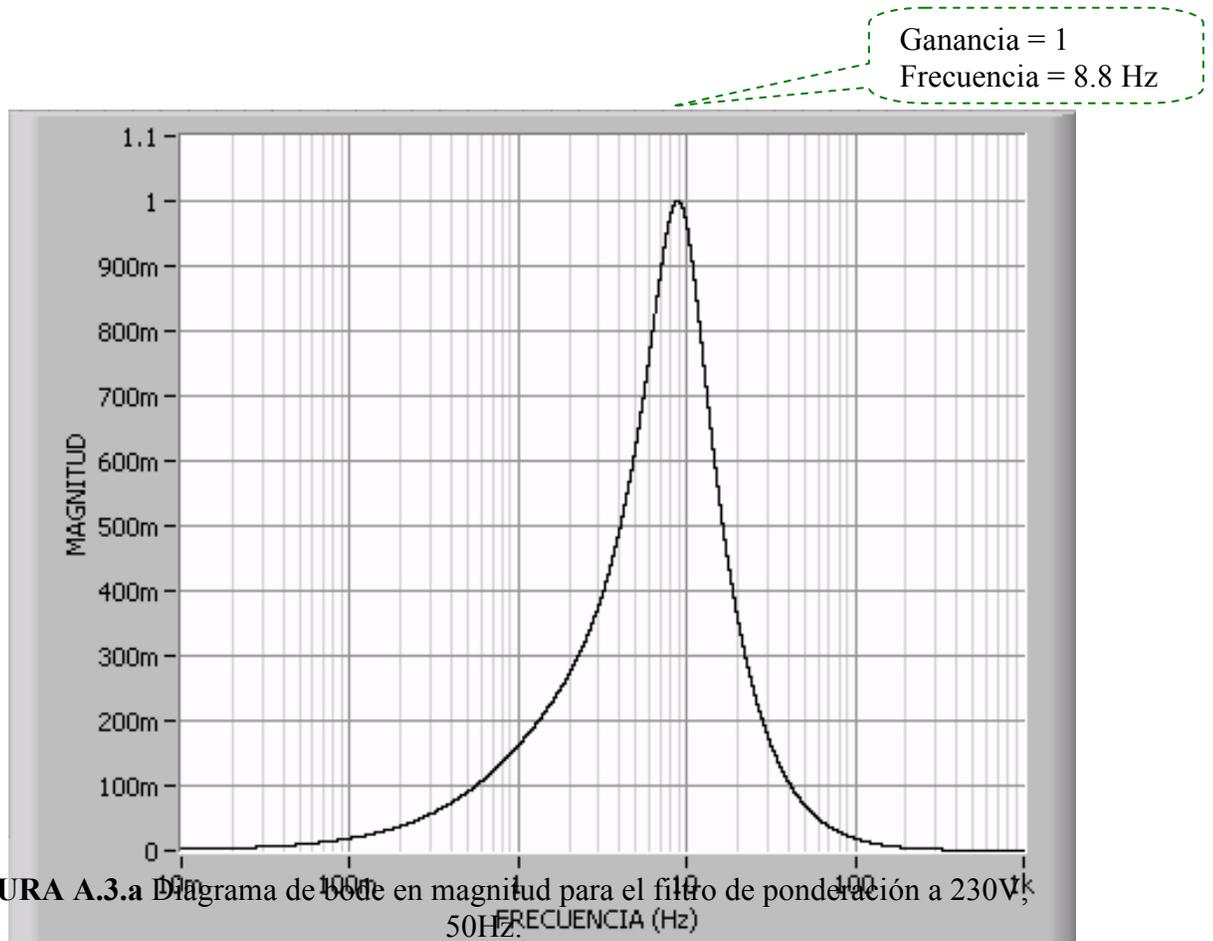
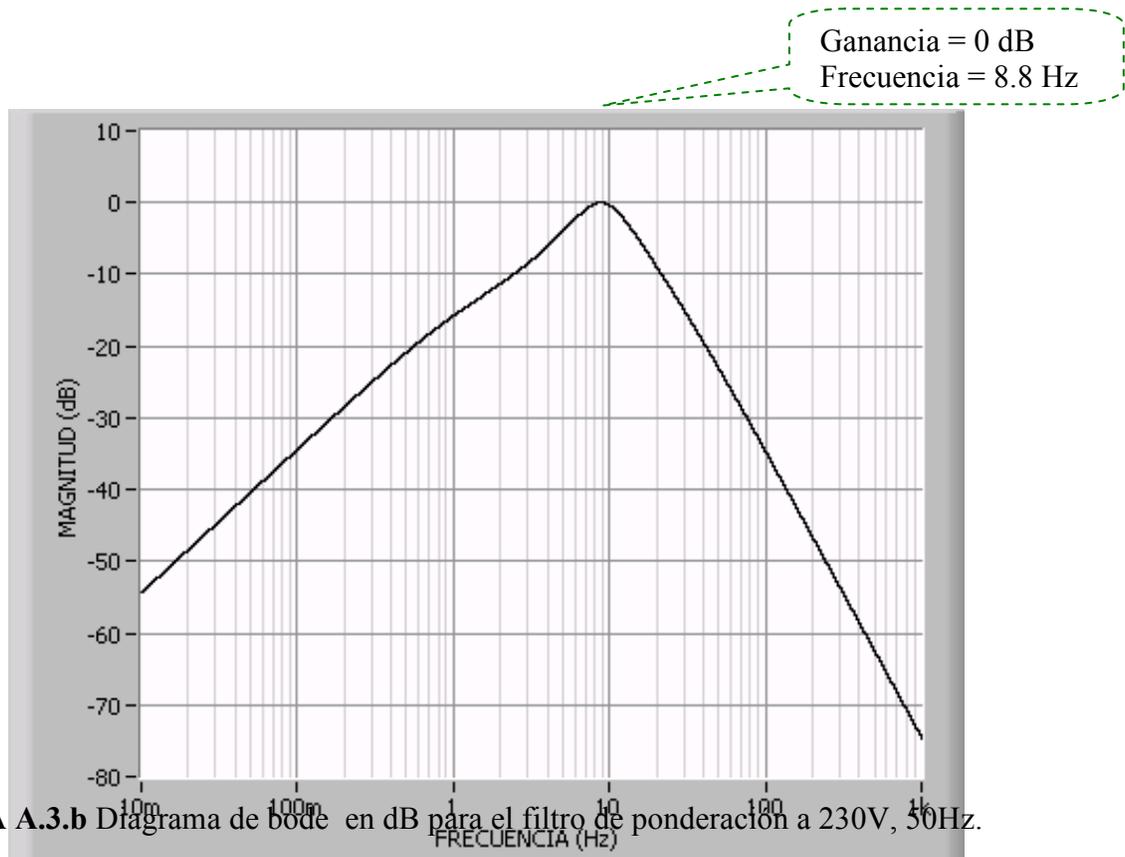


FIGURA A.3.a Diagrama de bode en magnitud para el filtro de ponderación a 230V;

- Diagrama de bode dB del filtro de ponderación para 230V



- **Filtro pasabanda:**

$$F(Z^{-1})_1 = \frac{201099.85788 - 201099.85788Z^{-2}}{4105342.9558 - 7993382.3965Z^{-1} + 3901274.6475Z^{-2}} \quad (59)$$

- **Filtro general :**

$$F(Z^{-1})_1 = \frac{140.62245916 - 138.62245916Z^{-1}}{260.77058488 - 258.77058488Z^{-1}} \quad (60)$$

- **Filtro pasa bajo :**

$$F(Z^{-1})_1 = \frac{1 - Z^{-1}}{15.53469799 - 13.53469799Z^{-1}} \quad (61)$$

- A continuación se muestra el diagrama de bloques con los cambios realizados.

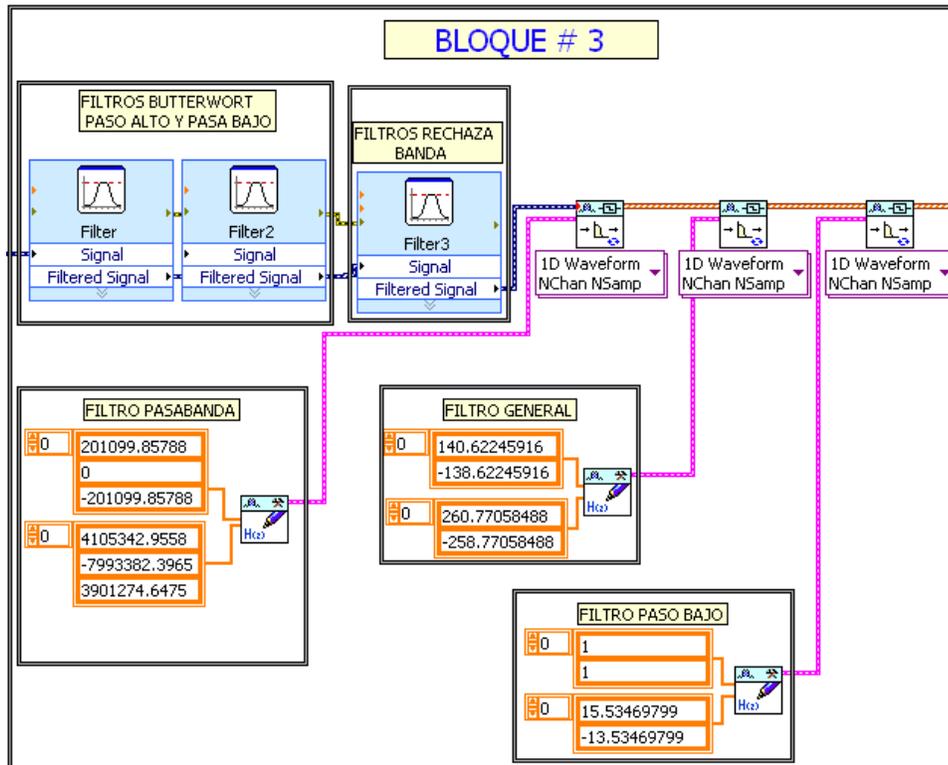


FIGURA A.3.c Diagrama de bloques de la etapa 3.

- El factor K también debe ser modificado al siguiente valor :

$$K = 1.28e6$$

NOTA: El instrumento virtual se puede construir para los dos sistemas al mismo tiempo pero se deberá hacer arreglos mas elaborados en LABVIEW para que esto sea posible, para el nuestro no fue realizado porque no era parte del proyecto establecido.

A.4 ANALIZADOR DE DATOS EN LABVIEW.

Este procesa los datos obtenidos del instrumento virtual para realizar un análisis más persuasivo de lo ocurrido después de haberse realizado una medición.

Los pasos a seguir son los siguientes:

A.4.1 PORTADA.

La portada se puede observar en la siguiente figura.



FIGURA A.4.a Panel donde se muestra la portada del analizador de datos del instrumento.

A.4.2 CARGAR DATOS DE ORIGEN.

Se ubica en la primera pantalla como se muestra en la figura A.5.a y se ubica el cursor en el fólder para buscar la ubicación del archivo el cual se desea leer.

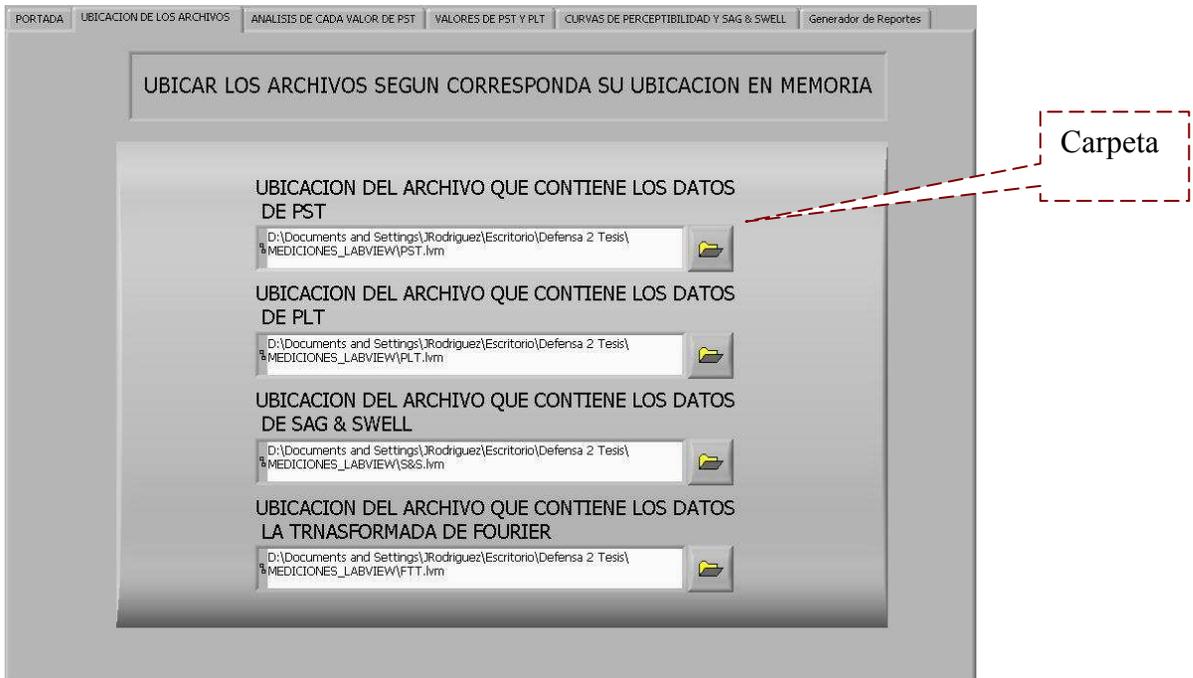


FIGURA A.4.b Panel para buscar la ubicación de los archivos que contengan los datos.

A.4.3 VERIFICACION DE CADA P_{st} Y SU ESPECTRO DE FRECUENCIA.

La segunda pantalla mostrara el valor individual de P_{st} y el máximo valor de V/V con su frecuencia respectiva y su FFT en el período de medición de 10 minutos evaluados.

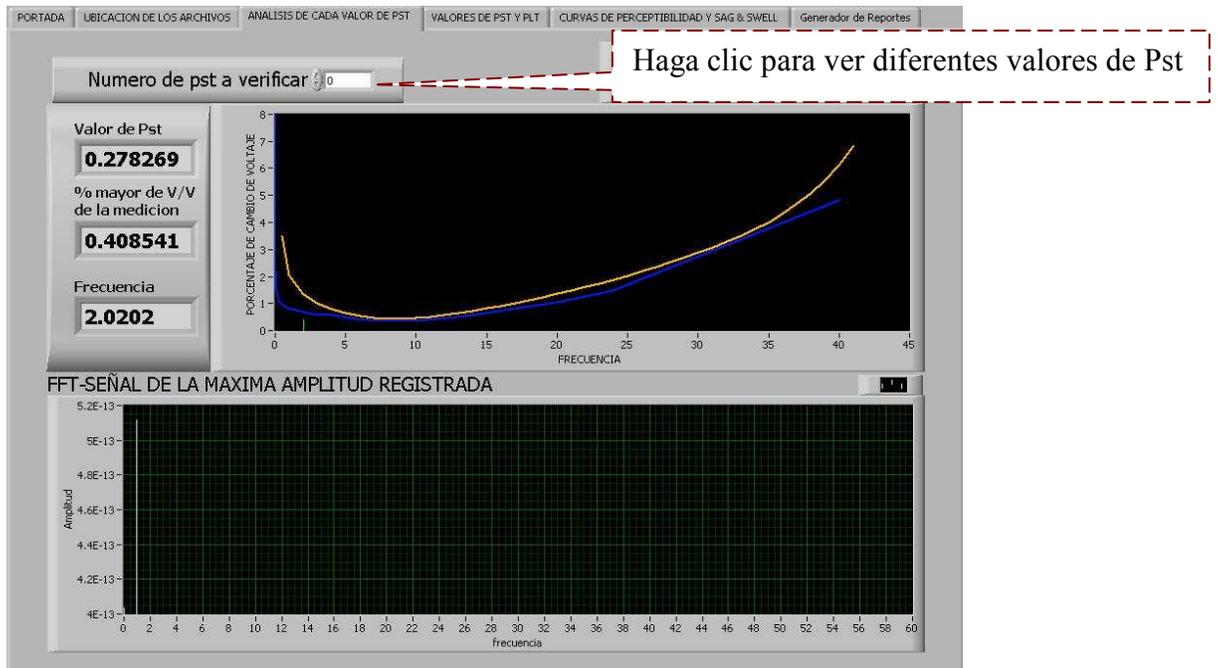


FIGURA A.4.c Panel analizador de cada valor de P_{st}

A.4.4 TABLA RESUMEN.

La tercera pantalla nos mostrara todos las datos tanto de P_{st} , P_{lt} y gráficas con o sin banderas para que el usuario haga el mejor uso de los dato tomados.

- Valores y grafica de P_{st} : sin banderas.



FIGURA A.4.d Panel que muestra los datos y gráfico de la medición de P_{st} sin banderas.

- Valores y grafica de P_{st} : con banderas.



FIGURA A.4.e Panel que muestra los datos y gráfico de la medición de P_{st} con banderas.

- Valores y grafica de P_{lt} : sin banderas.

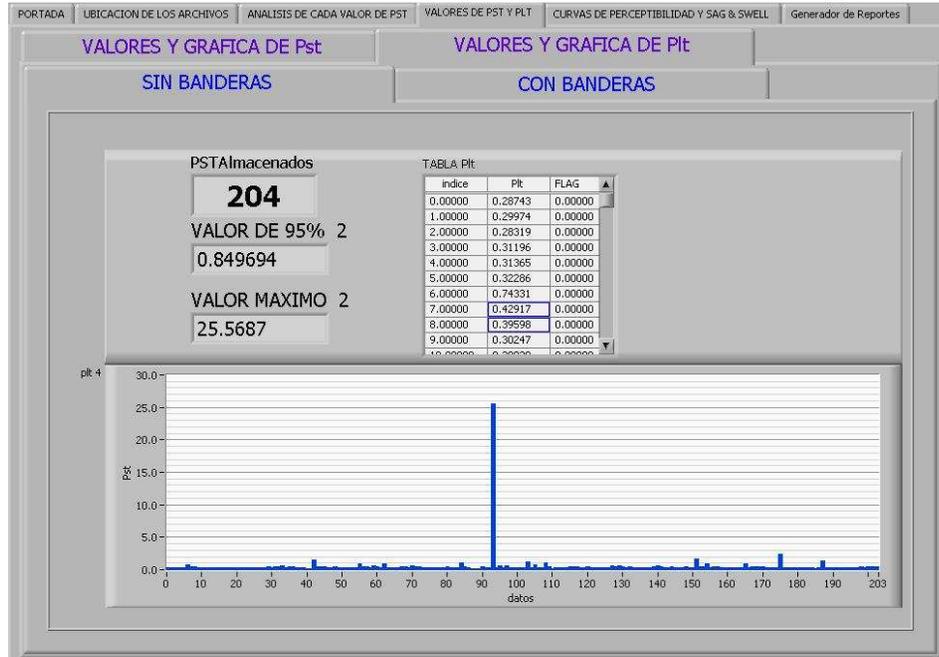


FIGURA A.4.f Panel que muestra los datos y gráfico de la medición de P_{lt} sin banderas

- Valores y gráfica de P_{lt} : con banderas.

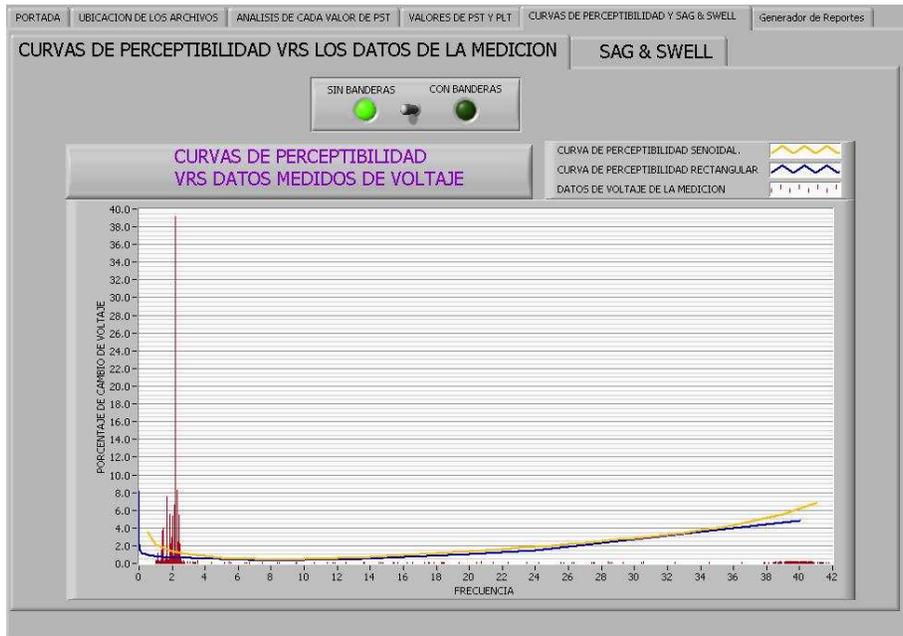


FIGURA A.4.g Panel que muestra los datos y gráfico de la medición de P_{lt} con banderas

A.4.5 CURVA DE PERCEPTIBILIDAD.

La cuarta pantalla nos muestra los datos de todo el conjunto de valores de V/V mayores de cada valor de P_{st} de acuerdo al período de medición y también las señales ya sean de SAG o SWELL si es que ocurrieron en la medición.

- Curvas de perceptibilidad vrs los datos tomados de la medición.



(a)



(b)

FIGURA A.4.h Panel que muestra el espectro de todos los V/V y frecuencia de cada período de medición de 10 minutos. (a) sin Banderas y (b) con banderas.

- SAG, SWELL O INTERRUPCIONES.

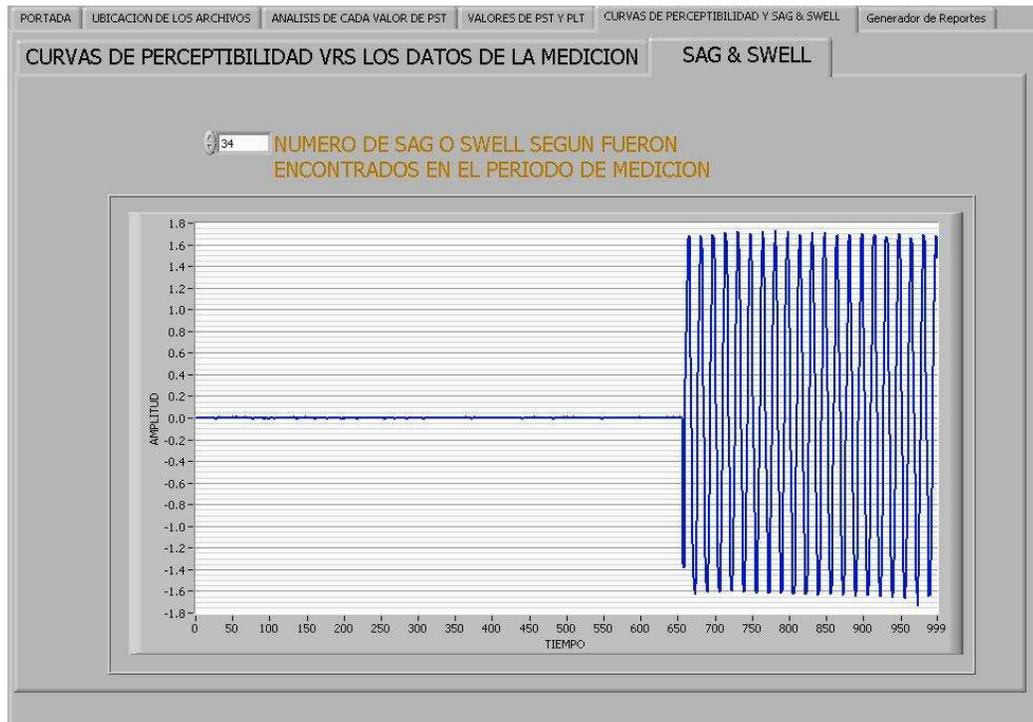


FIGURA A.4.i Panel en el cual se pueden ver los fenómenos de voltaje ocurridos durante la medición

A.4.6 GENERADOR DE REPORTES AUTOMÁTICO.

En la siguiente figura se pueden observar el panel de esta opción, la forma de utilizarlo es de la siguiente manera:

- Al presionarlo se detiene el programa y esta preparado para tomar una foto de la pantalla (screenshot)
- Toma las fotos respectivas a presentar en el documento.
- Indicar en que formato desea el reporte (por defecto HTML)
- Imprimir el reporte.

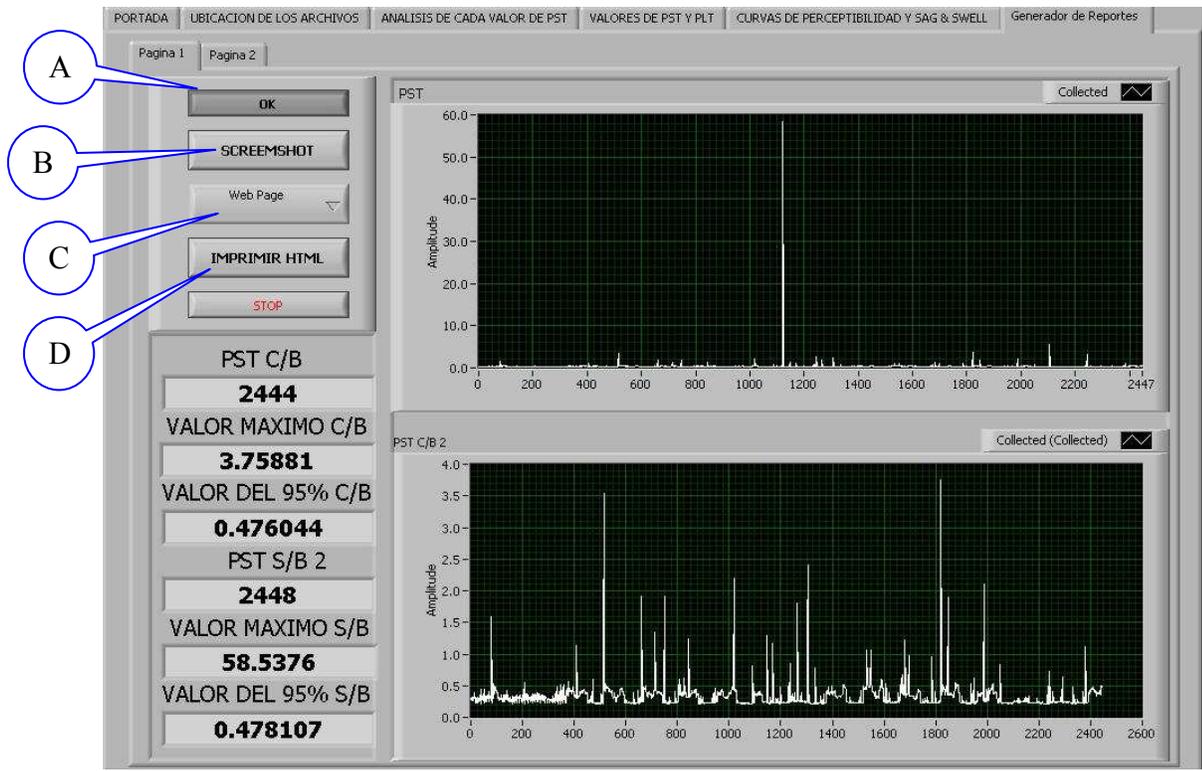


FIGURA A.4.j Panel en el cual se pueden ver los fenómenos de voltaje ocurridos durante la medición

A.4.7 Reporte

RESUMEN EN PERIODO DE MEDICION



Diseño y construcción de un prototipo de laboratorio del flickermeter IEC 61000-4-15

PRESENTAN

Julio Cesar Rodríguez Herrera

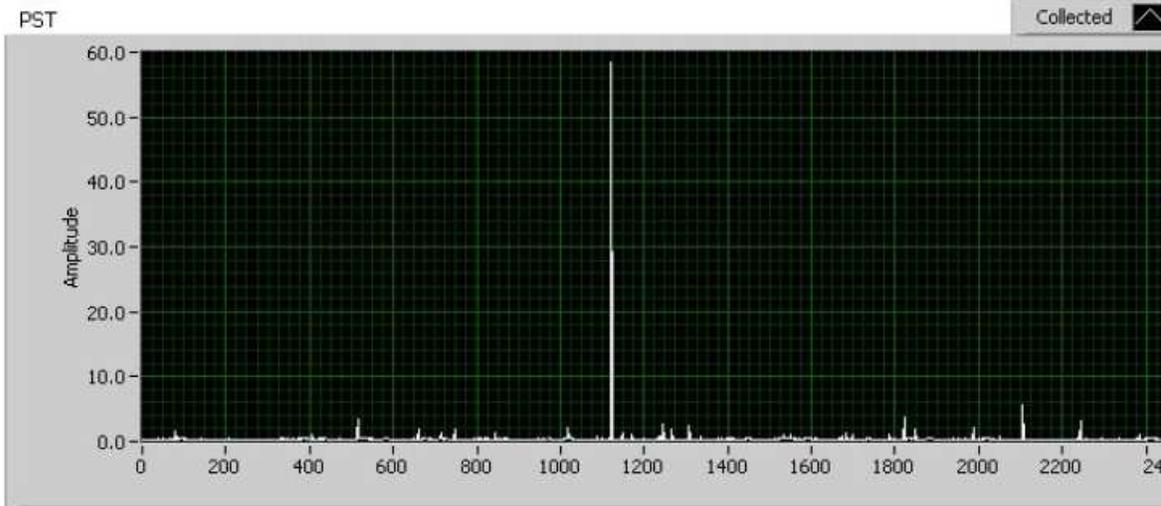
Luis Alfonso Valdivieso Hidalgo

ASESOR

José Roberto Ramos López

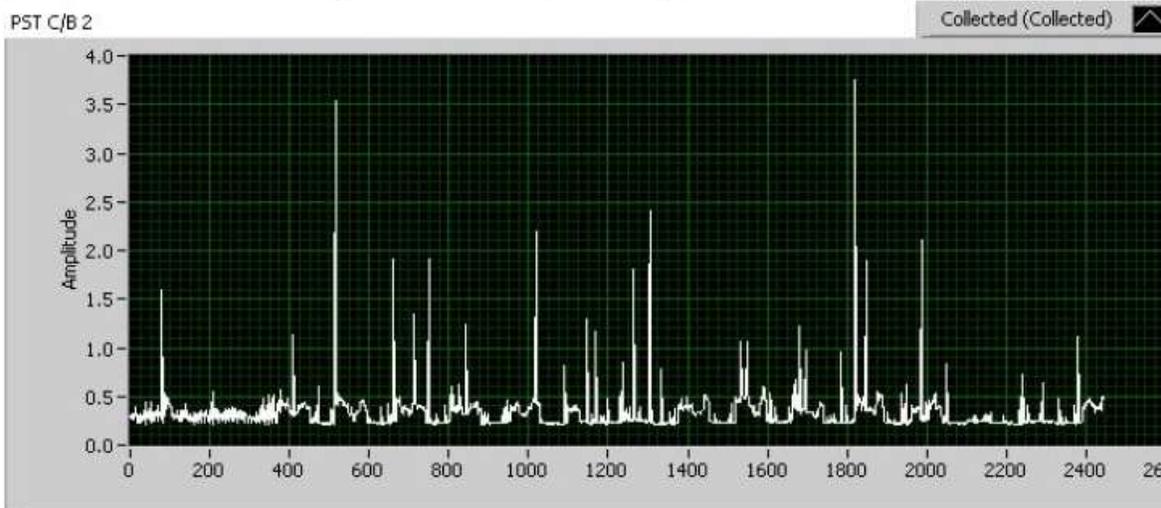
Valores Medidos de PST sin Banderas

PST S/B 2	VALOR DEL 95% S/B	VALOR MAXIMO S/B
2448	0.478107	58.5376



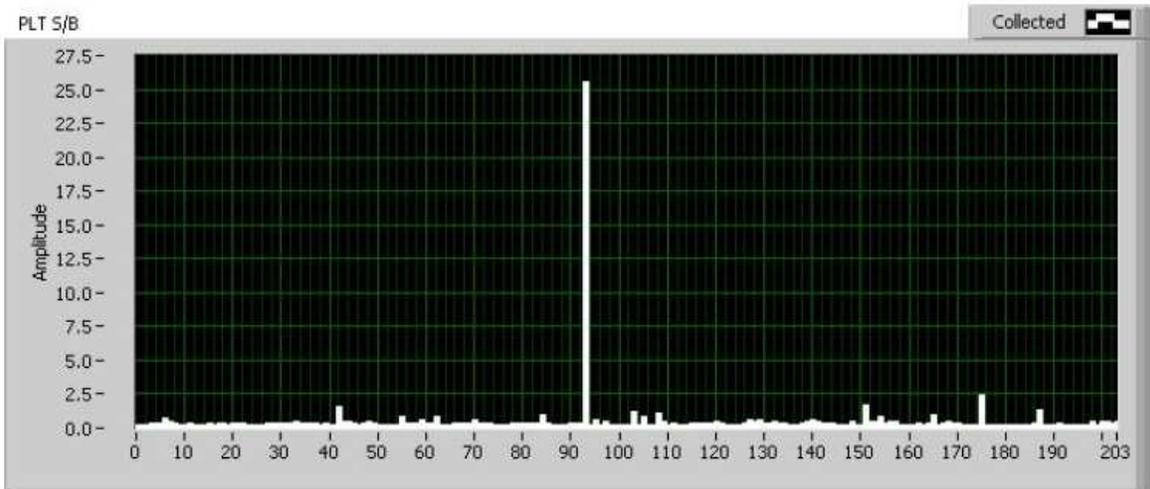
Valores Medidos de PST con Banderas

PST C/B	VALOR DEL 95% C/B	VALOR MAXIMO C/B
2444	0.476044	3.75881



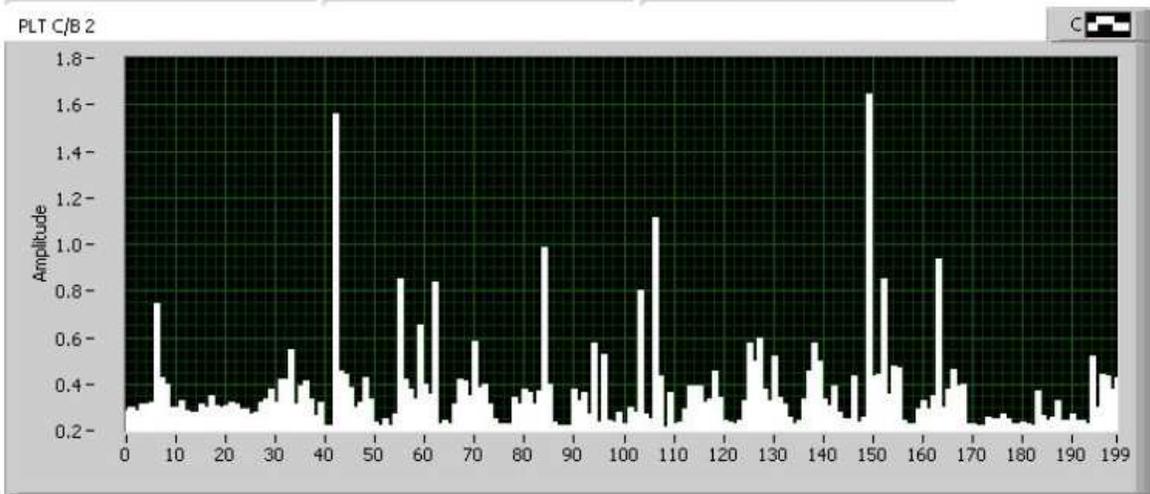
Valores Medidos de PLT sin Banderas

PLT S/B	VALOR DEL 95% S/B	VALOR MAXIMO S/B
204	0.849694	25.5687



Valores Medidos de PLT con Banderas

PLT C/B	VALOR DEL 95% C/B	VALOR MAXIMO C/B
200	0.696916	1.64473



Contacto

[Julio Rodriguez](#)
[Luis Valdivieso](#)

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

A.5 MEDICIONES PRELIMINARES.

Los datos que se muestran a continuación son medidos en la Escuela de Ingeniería Eléctrica con respecto al TOPAS 2000 se tomo la medición del tablero general y con respecto a nuestro prototipo de laboratorio las hicimos en un toma hembra cualquiera, las diferencias son muy significativas si los observamos en la tabla, pero si vemos el GRÁFICO vemos que la tendencia es similar, los valores difieren por las siguientes condiciones.

1. Tomamos puntos arbitrarios para realizar la medición.
2. Los instrumentos deben ser sincronizados para que midan el mismo período de medición.

TABLA A.5.a Resultados de la comparación de medición del topas vrs diseño del presente trabajo realizada el 30/06/2008.

Medición 30/07/2008			
Topas 2000		Prototipo de Laboratorio	
30.06.2008 09:20:00	0.1860	0.2909	30/06/2008 09:19
30.06.2008 09:30:00			30/06/2008 09:30
30.06.2008 09:40:00	0.1944	0.3042	30/06/2008 09:40
30.06.2008 09:50:00	0.2373	0.2954	30/06/2008 09:49
30.06.2008 10:00:00	0.2371	0.3466	30/06/2008 10:00
30.06.2008 10:10:00	0.2048	0.3290	30/06/2008 10:10
30.06.2008 10:20:00	0.1484	0.2934	30/06/2008 10:22
30.06.2008 10:30:00	0.1265	0.2916	30/06/2008 10:33
30.06.2008 10:40:00	0.1335	0.2519	30/06/2008 10:44
30.06.2008 10:50:00	0.1145	0.2707	30/06/2008 10:54
30.06.2008 11:00:00	0.2224	0.3179	30/06/2008 11:04
30.06.2008 11:10:00	0.1800	0.3072	30/06/2008 11:14
30.06.2008 11:20:00	0.1251	0.2723	30/06/2008 11:24
30.06.2008 11:30:00	0.1873	0.2776	30/06/2008 11:34
30.06.2008 11:40:00	0.1772	0.2505	30/06/2008 11:44
30.06.2008 11:50:00	0.1291	0.2789	30/06/2008 11:54
30.06.2008 12:00:00	0.1535	0.2662	30/06/2008 12:04
30.06.2008 12:10:00	0.1474	0.2726	30/06/2008 12:14
30.06.2008 12:20:00	0.0744	0.2274	30/06/2008 12:24
30.06.2008 12:30:00	0.2086	0.2471	30/06/2008 12:34
30.06.2008 12:40:00	0.1441	0.3023	30/06/2008 12:44
30.06.2008 12:50:00	0.1530	0.2483	30/06/2008 12:54
30.06.2008 13:00:00	0.1556	0.2476	30/06/2008 13:04
30.06.2008 13:10:00	0.1509	0.2758	30/06/2008 13:14
30.06.2008 13:20:00	0.1179	0.2446	30/06/2008 13:24
30.06.2008 13:30:00	0.1479	0.2419	30/06/2008 13:34
30.06.2008 13:40:00	0.1575	0.2393	30/06/2008 13:44
30.06.2008 13:50:00	0.0930	0.3189	30/06/2008 13:54
30.06.2008 14:00:00	0.0926	0.2467	30/06/2008 14:04
30.06.2008 14:10:00	0.2066	0.2072	30/06/2008 14:14
30.06.2008 14:20:00	0.1769	0.3020	30/06/2008 14:24
30.06.2008 14:30:00	0.1797	0.2768	30/06/2008 14:34
30.06.2008 14:40:00	0.1667	0.2545	30/06/2008 14:44

30.06.2008 14:50:00	0.1507	0.2710	30/06/2008 14:55
30.06.2008 15:00:00	0.1426	0.2930	30/06/2008 15:04
30.06.2008 15:10:00	0.1403	0.3145	30/06/2008 15:14
30.06.2008 15:20:00	0.1488	0.3079	30/06/2008 15:24
30.06.2008 15:30:00	0.1016	0.2999	30/06/2008 15:34
30.06.2008 15:40:00	0.1672	0.2766	30/06/2008 15:44
30.06.2008 15:50:00	0.3291	0.4112	30/06/2008 15:54
30.06.2008 16:00:00	6.2773	0.3901	30/06/2008 16:04
30.06.2008 16:10:00	0.2290	7.4569	30/06/2008 16:14
30.06.2008 16:20:00	0.9678	0.4255	30/06/2008 16:24
30.06.2008 16:30:00	0.3959	1.1328	30/06/2008 16:34
30.06.2008 16:40:00	0.2277	0.5092	30/06/2008 16:44
30.06.2008 16:50:00	0.1886	0.4129	30/06/2008 16:54
30.06.2008 17:00:00	0.1168	0.3809	30/06/2008 17:04
30.06.2008 17:10:00	0.3129	0.3893	30/06/2008 17:14
30.06.2008 17:20:00	0.2431	0.4943	30/06/2008 17:24
30.06.2008 17:30:00	0.2085	0.4319	30/06/2008 17:34
30.06.2008 17:40:00	0.2259	0.4230	30/06/2008 17:44

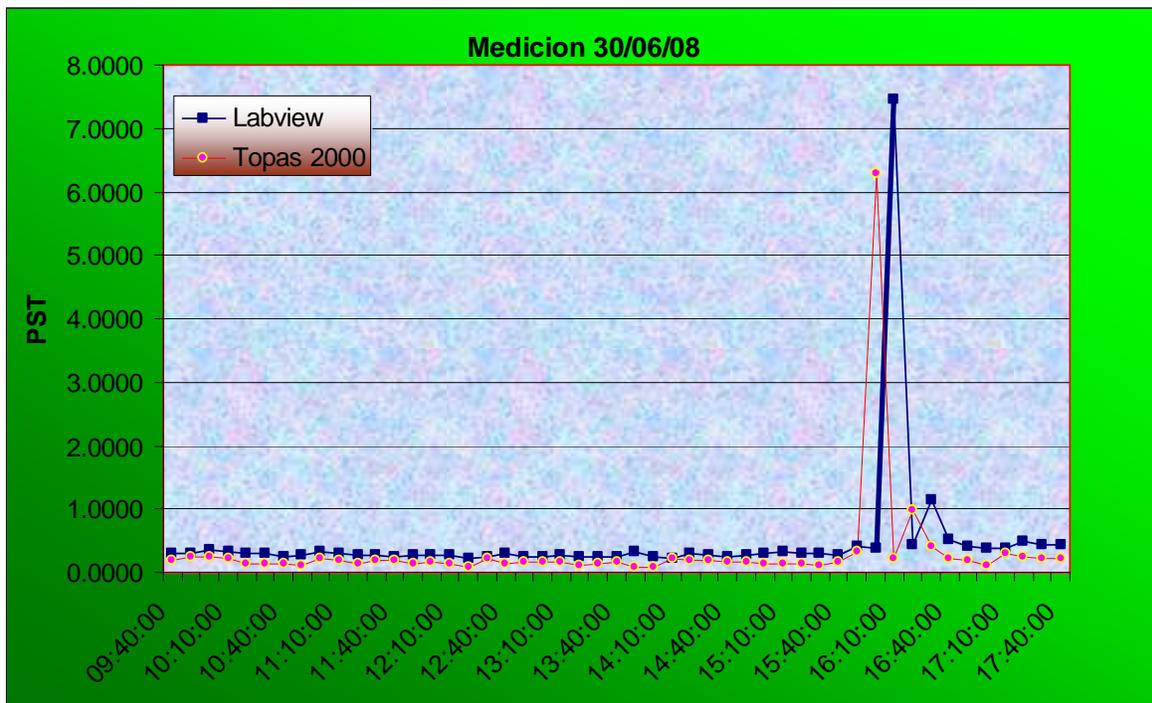


FIGURA A.5.a Gráfico comparativo de las curvas de P_{st} de datos extraídos del TOPAS e instrumento en LABVIEW para la fecha de 30/06/2008

De manera similar se pueden observar otras mediciones realizadas en otro día en los mismos puntos antes mencionados.

TABLA A.5.b Resultados de la comparación de medición del topas vrs diseño del presente trabajo realizada el 03/07/2008.

Medición 03/07/2008			
Topas 2000		LabView	
03.07.2008 09:00:00	0.2812	0.2442	09:00:08 a.m.
03.07.2008 09:10:00	0.1115	0.3521	09:10:08 a.m.
03.07.2008 09:20:00	0.0646	0.2438	09:20:08 a.m.
03.07.2008 09:30:00	0.0656	0.2195	09:30:08 a.m.
03.07.2008 09:40:00	0.0678	0.2509	09:40:08 a.m.
03.07.2008 09:50:00	0.0653	0.2402	09:50:08 a.m.
03.07.2008 10:00:00	0.0639	0.2116	10:00:08 a.m.
03.07.2008 10:10:00	0.0597	0.2150	10:10:08 a.m.
03.07.2008 10:20:00	0.0588	0.2192	10:20:08 a.m.
03.07.2008 10:30:00	0.0581	0.2255	10:30:08 a.m.
03.07.2008 10:40:00	0.0667	0.2245	10:40:08 a.m.
03.07.2008 10:50:00	0.1394	0.2247	10:50:08 a.m.
03.07.2008 11:00:00	0.0700	0.2534	11:01:08 a.m.
03.07.2008 11:10:00			11:11:08 a.m.
03.07.2008 11:20:00	0.0683	0.2334	03/07/2008 11:21
03.07.2008 11:30:00	0.0631	0.2372	03/07/2008 11:33
03.07.2008 11:40:00	0.0584	0.2311	03/07/2008 11:42
03.07.2008 11:50:00	0.0625	0.2260	03/07/2008 11:52
03.07.2008 12:00:00	0.0604	0.2212	03/07/2008 12:02
03.07.2008 12:10:00	0.0629	0.2210	03/07/2008 12:12
03.07.2008 12:20:00	0.0636	0.2255	03/07/2008 12:22
03.07.2008 12:30:00	0.0570	0.2087	03/07/2008 12:32
03.07.2008 12:40:00	0.0599	0.2029	03/07/2008 12:42
03.07.2008 12:50:00	0.1355	0.1962	03/07/2008 12:52
03.07.2008 13:00:00	0.0570	0.2270	03/07/2008 13:02
03.07.2008 13:10:00	0.0612	0.2010	03/07/2008 13:12
03.07.2008 13:20:00	0.0627	0.2027	03/07/2008 13:22
03.07.2008 13:30:00	0.0687	0.2063	03/07/2008 13:32
03.07.2008 13:40:00	0.0638	0.2065	03/07/2008 13:42
03.07.2008 13:50:00	0.0660	0.2043	03/07/2008 13:52
03.07.2008 14:00:00	0.3792	0.2144	03/07/2008 14:02
03.07.2008 14:10:00	0.1014	0.4554	03/07/2008 14:12
03.07.2008 14:20:00	0.0647	0.2692	03/07/2008 14:22
03.07.2008 14:30:00	0.0650	0.2711	03/07/2008 14:32
03.07.2008 14:40:00	0.0678	0.2788	03/07/2008 14:42
03.07.2008 14:50:00	0.0678	0.2838	03/07/2008 14:52
03.07.2008 15:00:00	0.0636	0.2769	03/07/2008 15:02
03.07.2008 15:10:00	0.0618	0.4088	03/07/2008 15:12
03.07.2008 15:20:00	0.1665	0.3853	03/07/2008 15:22
03.07.2008 15:30:00	2.1952	0.3985	03/07/2008 15:32
03.07.2008 15:40:00	2.1474	2.2438	03/07/2008 15:42
03.07.2008 15:50:00	0.0831	2.2306	03/07/2008 15:52
03.07.2008 16:00:00	0.0649	0.3576	03/07/2008 16:03
03.07.2008 16:10:00	0.0883	0.3375	03/07/2008 16:13

03.07.2008 16:20:00	1.3172	1.3753	03/07/2008 16:23
03.07.2008 16:30:00	0.0697	0.2930	03/07/2008 16:33



FIGURA A.5.b Gráfico comparativo de las curvas de P_{st} de datos extraídos del TOPAS e instrumento en LABVIEW en el periodo de medición de 03/07/2008

En conclusión vamos a cambiar el punto de medición de nuestro prototipo de laboratorio al tablero general y también vamos a sincronizar los períodos de medición.

TABLA A.5.c Resultados de la comparación de medición del topas vrs diseño del presente trabajo realizada el 08/07/2008.

Medición 08/07/2008			
Topas 2000		LabView	
08.07.2008 08:50:00			08/07/2008 08:51
08.07.2008 09:00:00	0.1729	0.308394	08/07/2008 09:03
08.07.2008 09:10:00	0.1852	0.290688	08/07/2008 09:12
08.07.2008 09:20:00	0.1667	0.295597	08/07/2008 09:22
08.07.2008 09:30:00	0.1848	0.288801	08/07/2008 09:32
08.07.2008 09:40:00	0.1956	0.30402	08/07/2008 09:43
08.07.2008 09:50:00	0.1923	0.312837	08/07/2008 09:53
08.07.2008 10:00:00	0.1323	0.312389	08/07/2008 10:03
08.07.2008 10:10:00	0.2088	0.282292	08/07/2008 10:13
08.07.2008 10:20:00	0.1792	0.340588	08/07/2008 10:24
08.07.2008 10:30:00	0.1468	0.351792	08/07/2008 10:34

08.07.2008 10:40:00	0.1852	0.359985	08/07/2008 10:44
08.07.2008 10:50:00	0.1726	0.362798	08/07/2008 10:54
08.07.2008 11:00:00	0.174	0.341366	08/07/2008 11:04
08.07.2008 11:10:00	0.1071	0.349057	08/07/2008 11:14
08.07.2008 11:20:00	0.0807	0.305266	08/07/2008 11:24
08.07.2008 11:30:00	0.083	0.230063	08/07/2008 11:34
08.07.2008 11:40:00	0.0831	0.249201	08/07/2008 11:44
08.07.2008 11:50:00	0.3777	0.304537	08/07/2008 11:54
08.07.2008 12:00:00	0.1945	0.489915	08/07/2008 12:04
08.07.2008 12:10:00	0.1836	0.319909	08/07/2008 12:14
08.07.2008 12:20:00	0.1616	0.24556	08/07/2008 12:24
08.07.2008 12:30:00	0.211	0.248342	08/07/2008 12:34
08.07.2008 12:40:00	0.1275	0.242065	08/07/2008 12:45
08.07.2008 12:50:00	0.1229	0.196406	08/07/2008 12:54
08.07.2008 13:00:00	0.1204	0.184262	08/07/2008 13:06
08.07.2008 13:10:00	0.2211	0.277733	08/07/2008 13:16
08.07.2008 13:20:00	0.1727	0.252999	08/07/2008 13:26
08.07.2008 13:30:00	0.1246	0.207529	08/07/2008 13:36
08.07.2008 13:40:00	0.1814	0.201764	08/07/2008 13:46
08.07.2008 13:50:00	0.1918	0.255002	08/07/2008 13:56
08.07.2008 14:00:00	0.1703	0.252812	08/07/2008 14:06
08.07.2008 14:10:00	0.1838	0.232086	08/07/2008 14:16
08.07.2008 14:20:00	0.1291	0.238646	08/07/2008 14:26
08.07.2008 14:30:00	0.2069	0.211629	08/07/2008 14:36
08.07.2008 14:40:00	0.1677	0.277395	08/07/2008 14:46
08.07.2008 14:50:00	0.1381	0.254883	08/07/2008 14:56
08.07.2008 15:00:00	0.1832	0.270114	08/07/2008 15:06
08.07.2008 15:10:00	0.1626	0.247007	08/07/2008 15:16
08.07.2008 15:20:00	0.1852	0.278441	08/07/2008 15:26
08.07.2008 15:30:00	0.2811	0.275669	08/07/2008 15:36
08.07.2008 15:40:00	0.1791	0.349118	08/07/2008 15:46
08.07.2008 15:50:00	0.0825	0.241929	08/07/2008 15:56
08.07.2008 16:00:00	0.2527	0.330739	08/07/2008 16:06
08.07.2008 16:10:00	0.2638	0.344179	08/07/2008 16:16
08.07.2008 16:20:00	0.2107	0.291455	08/07/2008 16:26
08.07.2008 16:30:00	0.1562	0.277969	08/07/2008 16:36
08.07.2008 16:40:00	0.1363	0.243806	08/07/2008 16:46
08.07.2008 16:50:00	0.3538	0.358776	08/07/2008 16:56
08.07.2008 17:00:00	0.2145	0.355837	08/07/2008 17:06
08.07.2008 17:10:00	0.1223	0.211533	08/07/2008 17:17
08.07.2008 17:20:00	0.0839	0.201273	08/07/2008 17:28

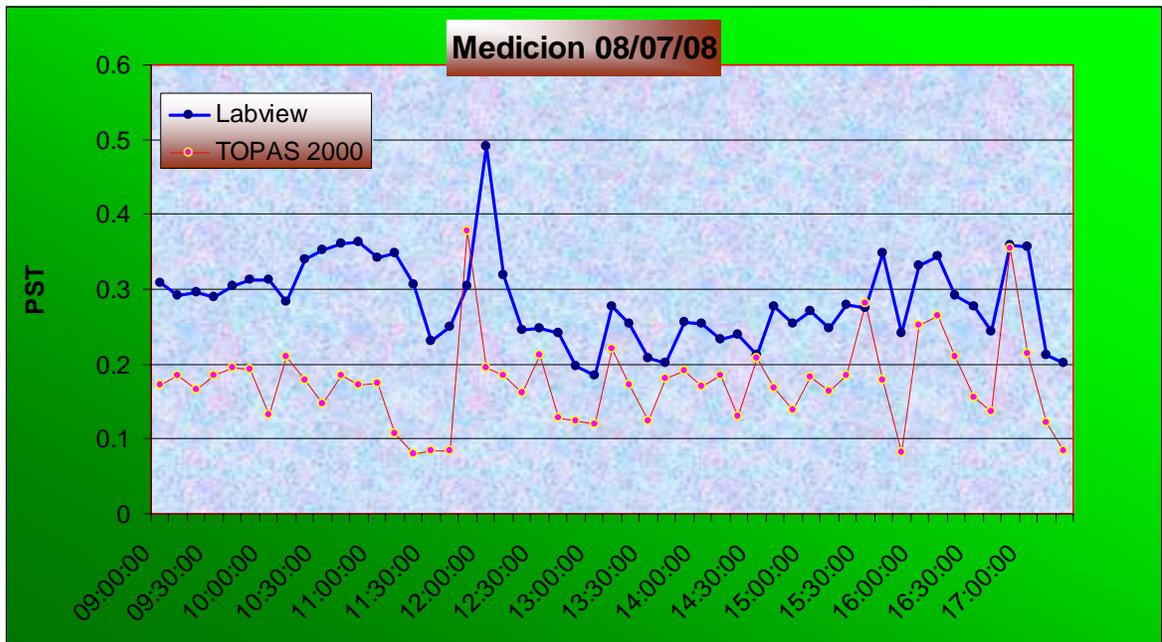


FIGURA A.5.c Gráfico comparativo de las curvas de P_{st} extraídas del TOPAS e instrumento en LABVIEW para la fecha de 08/07/2008.

A.6 DAQ 6008

Low-Cost Multifunction DAQ for USB

NI USB-6008, NI USB-6009

- Small and portable
- 12 or 14-bit input resolution, at up to 48 kS/s
- Built-in, removable connectors for easier and more cost-effective connectivity
- 2 true DAC analog outputs for accurate output signals
- 12 digital I/O lines (TTL/LVTTL/CMOS)
- 32-bit event counter
- Student kits available
- OEM versions available

Operating Systems

- Windows 2000/XP
- Mac OS X¹
- Linux^{®1}
- Pocket PC
- Win CE

Recommended Software

- LabVIEW
- LabWindows/CVI

Measurement Services Software (included)

- NI-DAQmx
- Ready-to-run data logger

¹Mac OS X and Linux users need to download NI-DAQmx Base.



Product	Bus	Analog Inputs ¹	Input Resolution (bits)	Max Sampling Rate (kS/s)	Input Range (V)	Analog Outputs	Output Resolution (bits)	Output Rate (Hz)	Output Range (V)	Digital I/O Lines	32-Bit Counter	Trigger
USB-6009	USB	8 SE/4 DI	14	48	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital
USB-6008	USB	8 SE/4 DI	12	10	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital

¹SE = single ended, DI = differential

Hardware Description

The National Instruments USB-6008 and USB-6009 multifunction data acquisition (DAQ) modules provide reliable data acquisition at a low price. With plug-and-play USB connectivity, these modules are simple enough for quick measurements but versatile enough for more complex measurement applications.

Software Description

The NI USB-6008 and USB-6009 use NI-DAQmx high-performance, multithreaded driver software for interactive configuration and data acquisition on Windows OSs. All NI data acquisition devices shipped with NI-DAQmx also include VI Logger Lite, a configuration-based data-logging software package.

Mac OS X and Linux users can download NI-DAQmx Base, a multiplatform driver with a limited NI-DAQmx programming interface. You can use NI-DAQmx Base to develop customized data acquisition applications with National Instruments LabVIEW or C-based development environments. NI-DAQmx Base includes a ready-to-run data logger application that acquires and logs up to eight channels of analog data.

PDA users can download NI-DAQmx Base for Pocket PC and Win CE to develop customized handheld data acquisition applications.

Recommended Accessories

The USB-6008 and USB-6009 have removable screw terminals for easy signal connectivity. For extra flexibility when handling multiple wiring configurations, NI offers the USB-6008/09 Accessory Kit, which includes two extra sets of screw terminals, extra labels, and a screwdriver.

In addition, the USB-6008/09 Prototyping Accessory provides space for adding more circuitry to the inputs of the USB-6008 or USB-6009.

Common Applications

The USB-6008 and USB-6009 are ideal for a number of applications where economy, small size, and simplicity are essential, such as:

- Data logging – Log environmental or voltage data quickly and easily.
- Academic lab use – The low price facilitates student ownership of DAQ hardware for completely interactive lab-based courses. (Academic pricing available. Visit ni.com/academic for details.)
- Embedded OEM applications.



Low-Cost Multifunction DAQ for USB

Information for Student Ownership

To supplement simulation, measurement, and automation theory courses with practical experiments, NI has developed the USB-6008 and USB-6009 student kits, which include the LabVIEW Student Edition and a ready-to-run data logger application. These kits are exclusively for students, giving them a powerful, low-cost hands-on learning tool. Visit ni.com/academic for more details.

Information for OEM Customers

For information on special configurations and pricing, call (800) 813 3693 (U.S. only) or visit ni.com/oem. Go to the Ordering Information section for part numbers.

Ordering Information

NI USB-6008 ¹	779051-01
NI USB-6009 ¹	779026-01
NI USB-6008 OEM	193132-02
NI USB-6009 OEM	193132-01
NI USB-6008 Student Kit ^{1,2}	779320-22
NI USB-6009 Student Kit ^{1,2}	779321-22

¹ Includes NI-DAQmx software, NI ready-to-run data logger software, and a USB cable.

² Includes LabVIEW Student Edition.

BUY NOW!

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call 800 265 9891 (U.S. only) or go to ni.com/usb.

Low-Cost Multifunction DAQ for USB

Specifications

Typical at 25 °C unless otherwise noted.

Analog Input

Absolute accuracy, single-ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±10	14.7	138

Absolute accuracy at full scale, differential¹

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.59	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

Number of channels..... 8 single-ended/4 differential
 Type of ADC Successive approximation

ADC resolution (bits)

Module	Differential	Single-Ended
USB-6008	12	11
USB-6009	14	13

Maximum sampling rate (system dependent)

Module	Maximum Sampling Rate (kS/s)
USB-6008	10
USB-6009	48

Input range, single-ended..... ±10 V
 Input range, differential..... ±20, ±10, ±5, ±4, ±2.5, ±2, ±1.25, ±1 V
 Maximum working voltage..... ±10 V
 Overvoltage protection ±35 V
 FIFO buffer size 512 B
 Timing resolution 41.67 ns (24 MHz timebase)
 Timing accuracy 100 ppm of actual sample rate
 Input impedance 144 k
 Trigger source..... Software or external digital trigger
 System noise..... 0.3 LSB_{rms} (±10 V range)

Analog Output

Absolute accuracy (no load) 7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale
 Number of channels..... 2
 Type of DAC Successive approximation
 DAC resolution..... 12 bits
 Maximum update rate 150 Hz, software-timed

Output range 0 to +5 V
 Output impedance..... 50 Ω
 Output current drive..... 5 mA
 Power-on state 0 V
 Slew rate..... 1 V/μs
 Short-circuit current 50 mA

Digital I/O

Number of channels..... 12 total
 8 (P0.<0..7>)
 4 (P1.<0..3>)
 Direction control Each channel individually programmable as input or output
 Output driver type
 USB-6008 Open-drain
 USB-6009 Each channel individually programmable as push-pull or open-drain
 Compatibility CMOS, TTL, LVTTL
 Internal pull-up resistor 4.7 kΩ to +5 V
 Power-on state..... Input (high impedance)
 Absolute maximum voltage range..... -0.5 to +5.8 V

Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	-0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	—	50	μA
Output low voltage (I = 8.5 mA)	—	0.8	V
Output high voltage (push-pull, I = -8.5 mA)	2.0	3.5	V
Output high voltage (open-drain, I = -0.6 mA, nominal)	2.0	5.0	V
Output high voltage (open-drain, I = -8.5 mA, with external pull-up resistor)	2.0	—	V

Counter

Number of counters 1
 Resolution 32 bits
 Counter measurements..... Edge counting (falling edge)
 Pull-up resistor 4.7 kΩ to 5 V
 Maximum input frequency..... 5 MHz
 Minimum high pulse width..... 100 ns
 Minimum low pulse width..... 100 ns
 Input high voltage 2.0 V
 Input low voltage..... 0.8 V

Power available at I/O connector

+5 V output (200 mA maximum)..... +5 V typical
 +4.85 V minimum
 +2.5 V output (1 mA maximum)..... +2.5 V typical
 +2.5 V output accuracy 0.25% max
 Voltage reference temperature drift... 50 ppm/°C max

¹Input voltages may not exceed the working voltage range.

Low-Cost Multifunction DAQ for USB

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Dimensions (without connectors)	6.35 by 8.51 by 2.31 cm (2.50 by 3.35 by 0.91 in.)
Dimensions (with connectors)	8.18 by 8.51 by 2.31 cm (3.22 by 3.35 by 0.91 in.)
Weight (without connectors)	59 g (2.1 oz)
Weight (with connectors)	84 g (3 oz)
I/O connectors	USB series B receptacle (2) 16-position (screw-terminal) plug headers
Screw-terminal wiring	16 to 28 AWG
Screw-terminal torque	0.22 to 0.25 N•m (2.0 to 2.2 lb•in.)

Power Requirement

USB (4.10 to 5.25 VDC)	80 mA typical 500 mA maximum
USB suspend	300 μ A typical 500 μ A maximum

Environmental

The USB-6008 and USB-6009 are intended for indoor use only.

Operating environment

Ambient temperature range	0 to 55 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range	10 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)

Storage environment

Ambient temperature range	-40 to 85 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range	5 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)

Maximum altitude

2,000 m
(at 25 °C ambient temperature)

Pollution degree

2

Safety and Compliance

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1

Note: For UL and other safety certifications, refer to the product label or visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 EMC requirements; Minimum Immunity
- EN 55011 Emissions; Group 1, Class A
- CE, C-Tick, ICES, and FCC Part 15 Emissions; Class A

Note: For EMC compliance, operate this device according to product documentation.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 73/23/EEC; Low-Voltage Directive (safety)
- 89/336/EEC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

Note: Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

EU Customers: At the end of their life cycle, all products must be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit ni.com/environment/weee.htm.

BUY ONLINE at ni.com or CALL (800) 813 3693 (U.S.)

NI Services and Support



NI has the services and support to meet your needs around the globe and through the application life cycle – from planning and development through deployment and ongoing maintenance. We offer services and service levels to meet customer requirements in research, design, validation, and manufacturing. Visit ni.com/services.

Training and Certification

NI training is the fastest, most certain route to productivity with our products. NI training can shorten your learning curve, save development time, and reduce maintenance costs over the application life cycle. We schedule instructor-led courses in cities worldwide, or we can hold a course at your facility. We also offer a professional certification program that identifies individuals who have high levels of skill and knowledge on using NI products. Visit ni.com/training.

Professional Services

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 600 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit ni.com/alliance.



OEM Support

We offer design-in consulting and product integration assistance if you want to use our products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem.

Local Sales and Technical Support

In offices worldwide, our staff is local to the country, giving you access to engineers who speak your language. NI delivers industry-leading technical support through online knowledge bases, our applications engineers, and access to 14,000 measurement and automation professionals within NI Developer Exchange forums. Find immediate answers to your questions at ni.com/support.

We also offer service programs that provide automatic upgrades to your application development environment and higher levels of technical support. Visit ni.com/ssp.

Hardware Services

NI Factory Installation Services

NI Factory Installation Services (FIS) is the fastest and easiest way to use your PXI or PXI/SCXI combination systems right out of the box. Trained NI technicians install the software and hardware and configure the system to your specifications. NI extends the standard warranty by one year on hardware components (controllers, chassis, modules) purchased with FIS. To use FIS, simply configure your system online with ni.com/pxiadvisor.

Calibration Services

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. We provide manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software specifically designed for use by metrology laboratories. Visit ni.com/calibration.

Repair and Extended Warranty

NI provides complete repair services for our products. Express repair and advance replacement services are also available. We offer extended warranties to help you meet project life-cycle requirements. Visit ni.com/services.



ni.com • (800) 813 3693

National Instruments • info@ni.com



© 2006 National Instruments Corporation. All rights reserved. CVI, LabVIEW, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, ni.com, and SCXI are trademarks of National Instruments. Linux® is a registered trademark of Linus Torvalds in the U.S. and other countries. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from NI and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with NI.