



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE MEDICIÓN  
PARA LA EVALUACIÓN DE EFECTOS QUE PRODUCEN LAS SEÑALES DE  
LOS VARIADORES DE FRECUENCIA EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS  
TRIFÁSICOS.**

**CAIZA CONSTANTEÁNGEL POLIVIO**

**CHÁVEZ MARTÍNEZLUIS JOSELITO**

## **TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

## **INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2014**

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2014-01-15

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

ANGEL POLIVIO CAIZA CONSTANTE

---

Titulada:

**“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE MEDICIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE EFECTOS QUE PRODUCEN LAS SEÑALES DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS.”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Marco Santillán G.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Marco Santillán G.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Ángel Silva  
ASESOR DE TESIS

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2014-01-15

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

LUIS JOSELITO CHÁVEZ MARTÍNEZ

---

Titulada:

**“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE MEDICIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE EFECTOS QUE PRODUCEN LAS SEÑALES DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS.”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Marco Santillán G.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Marco Santillán G.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Ángel Silva  
ASESOR DE TESIS

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** ANGEL POLIVIO CAIZA CONSTANTE

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE MEDICIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE EFECTOS QUE PRODUCEN LAS SEÑALES DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS.”

**Fecha de Examinación:** 2014-12-03

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Fernando González Puente PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Santillán G. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Ángel Silva ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. Fernando González Puente  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** LUIS JOSELITO CHÁVEZ MARTÍNEZ

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE MEDICIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE EFECTOS QUE PRODUCEN LAS SEÑALES DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS.”

**Fecha de Examinación:** 2014-12-03

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Fernando González Puente PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Santillán G. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Ángel Silva ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. Fernando González Puente  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**f) Ángel Polivio Caiza Constante**

---

**f) Luis Joselito Chávez Martínez**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi querida escuela de Mantenimiento, a mis compañeros, amigos y a todas las personas que les sirva como fuente de investigación.

**Ángel Polivio Caiza C.**

Este trabajo de tesis va dedicado con todo mi cariño, a mis padres en especial a mi madre Mariana pilar fundamental en mi vida, que dio todo lo que estuvo a su alcance para llegar a culminar mi carrera.

Con todo mi amor a mi querida Susana parte fundamental en mi vida que me dio todo su apoyo incondicional y siempre estuvo ahí animándome para que cumpliera mi sueño.

A mi primo Ángel que siempre me apoyo durante toda mi etapa estudiantil y estuvo ahí en todo momento.

A todos mis amigos que me apoyaron de una u otra manera durante el transcurso de mi carrera.

**Luis Joselito Chávez Martínez**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis profesores que día a día me han formado con su sabiduría, al director y asesor de mi tesis, por guiarnos en la culminación del trabajo, al director de nuestra querida escuela de Ingeniería de Mantenimiento, de igual manera a mi familia por su comprensión; y de la más manera especial posible que exista, agradezco a la persona que con el pasar de los años me enseñaste, a vivir y sobrevivir en la vida, por que fuiste y serás padre y madre en mi vida A TI MADRE QUERIDA, MI MAMIGELITA.

**Ángel Polivio Caiza C.**

Doy gracias a Dios por darme la vida e inteligencia para llegar a culminar una etapa más en mi vida. A la escuela de Ingeniería de Mantenimiento por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional. A mi director de tesis Ing. Marco Santillán por su esfuerzo y dedicación quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación han logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

Agradecer a mis profesores que durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación. Son muchas las personas que han formado parte de mi vida a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunos están aquí conmigo y otros en mis recuerdos en mi corazón, sin importar en donde este quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

**Luis Joselito Chávez Martínez**

# CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación .....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .. .....	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	4
2.1 Introducción.....	4
2.2 Concepto de espectro (señales).....	5
2.2.1 <i>Un espectro</i> .....	5
2.2.2 <i>La señal</i> .....	5
2.3 Características de una señal .....	6
2.4 Tipos de señales .....	7
2.5 Importancia del análisis de señales.....	9
2.5.1 <i>Problemas de armónicas</i> .....	9
2.6 Osciloscopio – generalidades .....	10
2.6.1 <i>Especificaciones técnicas principales de los osciloscopios</i> .....	10
2.6.2 <i>Tipos de osciloscopios</i> .....	11
2.7 Generador de señales - generalidades.....	12
2.7.1 <i>Principio de funcionamiento</i> . .....	13
2.7.2 <i>Tipos de generadores de señales</i> .....	14
2.8 El motor eléctrico trifásico .....	15
2.8.1 <i>Principio de funcionamiento</i> . .....	16
2.8.2 <i>Partes del motor eléctrico trifásico</i> .....	16
2.8.3 <i>Motor asíncrono de rotor bobinado</i> .....	17
2.8.4 <i>Motor asíncrono tipo jaula de ardilla</i> .....	18
2.9 El variador de frecuencia.....	19
2.9.1 <i>Los variadores de frecuencia están compuestos por</i> .....	20
2.9.2 <i>Tipos de variadores de frecuencia</i> .....	21
2.10 Selección de un variador de frecuencia .....	22
<b>3. IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE SEÑALES</b> .....	25
3.1 Datos técnicos de cada equipo.....	26
3.1.1 <i>Datos técnicos del osciloscopio TDS2012C</i> .....	26

3.1.2	<i>Datos del generador de funciones arbitrario AFG2021.</i>	27
3.1.3	<i>Datos técnicos de multímetro Fluke 115 True-RMS 7</i>	27
3.1.4	<i>Datos técnicos de la pinza amperimétrica FLUKE 376.</i>	28
3.2	Identificación de las partes de cada equipo.	28
3.2.1	<i>Componentes del osciloscopio digital TDS2012C</i>	28
3.2.2	<i>Componentes del generador de funciones arbitrario AFG 2021</i>	32
3.2.3	<i>Componentes del multímetro digital FLUKE 115.</i>	35
3.2.4	<i>Componentes de pinza amperimétrica FLUKE 376.</i>	36
3.3	Programación del osciloscopio digital.	36
3.4	Programación del generador de señales.	39
3.5	Conexión del motor eléctrico y el variador de frecuencia.	42
3.5.1	<i>Características del variador SINAMICS G110.</i>	43
3.6	Programación del variador de frecuencia.	44
3.7	Instalación del software para transmisión de datos	47
3.8	Manejo del software	48
4.	<b>EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS SEÑALES DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS</b>	52
4.1	Fórmulas para el cálculo del porcentaje de las medidas tomadas para la calidad de energía eléctrica.	54
4.2	Normas EN 50160 y IEEE 519.	55
4.2.1	<i>Norma EN 50160</i>	55
4.2.2	<i>Norma IEEE 519</i>	56
4.3	Toma de medidas.	57
4.4	Transferencia de datos del osciloscopio al ordenador.	58
4.5	Tabulación de los datos obtenidos.	61
4.6	Comportamiento del motor eléctrico ante las señales producidas por el variador de frecuencia.	62
4.7	Análisis de resultados obtenidos y su efecto en el ahorro energético.	64
4.7.1	<i>Soluciones a los efectos de los armónicos de forma general</i>	67
5.	<b>MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y PRÁCTICAS DE LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN DE ANÁLISIS DE SEÑALES.</b>	69
5.1	Elaboración del manual de operación.	69
5.1.1	<i>Manual de operación del osciloscopio digital TDS 2012C.</i>	69
5.1.2	<i>Manual de operación del generador de funciones arbitrario AFG 2021</i>	80
5.1.3	<i>Selección de la forma de onda.</i>	82
5.2	Elaboración de manual de mantenimiento.	91
5.2.1	<i>Codificación de equipos de la estación</i>	92
5.2.2	<i>Fichas técnicas de los equipos</i>	93
5.2.3	<i>Diagrama de proceso de los equipos</i>	93
5.2.4	<i>Flujograma para trabajo de mantenimiento</i>	93
5.2.5	<i>Estudiar definiendo las operaciones de mantenimiento.</i>	94

5.2.6	<i>Planificación del trabajo</i> .....	96
5.2.7	<i>Programación</i> .....	97
5.2.9	<i>Ejecución del trabajo</i> .....	98
5.2.10	<i>Cierre de la orden de trabajo</i> .....	99
5.2.11	<i>Generación de informes</i> .....	99
5.2.12	<i>Análisis de informes</i> .....	100
5.3	Equipo de protección personal (EPP).....	100
5.4	Elaboración del manual de prácticas de laboratorio.....	102
5.4.1	<i>Práctica 1.</i> ....	103
5.4.2	<i>Práctica 2.</i> ....	111
5.4.3	<i>Práctica 3.</i> ....	121
5.4.4	<i>Práctica 4.</i> ....	129
6.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	135
6.1	Conclusiones.....	135
6.2	Recomendaciones. ....	136

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
1 Clasificación de generadores de por rangos de frecuencia .....	14
2 Tipos de carga por su comportamiento .....	22
3 Características del osciloscopio digital .....	26
4 Características del generador de funciones arbitrario .....	27
5 Características del multímetro .....	27
6 Características de la pinza amperimétrica .....	28
7 Botones y sus funciones del variador de frecuencia .....	44
8 Pasos para puesta en servicio rápida del variador de frecuencia .....	45
9 Secuencia de armónicos .....	53
10 Fórmulas para el cálculo de la calidad de energía eléctrica .....	55
11 Tabulación de armónicos medidos .....	61
12 Evaluación de la tolerancia de armónicos individuales .....	62
13 Evaluación de la tolerancia del THDv .....	63
14 Opciones para impresión de imagen .....	79
15 Descripción del interfaz de la pantalla del AFG .....	82
16 Descripción del interfaz de pantalla ArbExpres .....	87
17 Descripción de niveles jerárquicos SisMAC .....	92
18 Codificación de los equipos que conforman la estación .....	93
19 Banco de tareas de mantenimiento de osciloscopio digital .....	95
20 Banco de tareas de mantenimiento del generador de funciones arbitrario .....	95
21 Banco de tareas de mantenimiento de la pinza amperimétrica .....	96
22 Banco de tareas de mantenimiento del multímetro digital .....	96
23 Orden de trabajo .....	97
24 Solicitud de repuestos .....	98
25 Solicitud de herramientas .....	99
26 Historial de averías .....	99
27 Análisis de informes .....	100
28 Controles del osciloscopio digital .....	105
29 Descripción de los elementos del panel frontal AFG .....	123
30 Descripción de los elementos del panel posterior .....	124

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Espectro de armónicos .....	5
2 Señal eléctrica alterna periódica .....	6
3 Características de una señal .....	7
4 Tipos de señales .....	8
5 Osciloscopio digital .....	12
6 Generador de funciones .....	13
7 Principio de funcionamiento del generador de funciones.....	13
8 Motor trifásico de inducción.....	16
9 Máquinas asincrónicas o de inducción .....	17
10 Motor jaula de ardilla.....	18
11 Esquema básico del variador de frecuencia.....	19
12 Etapas de un variador de frecuencia .....	20
13 Partes del osciloscopio digital TEKTRONIX TDS2012C .....	29
14 Botones de control y de menú del osciloscopio.....	29
15 Controles verticales del osciloscopio.....	30
16 Controles verticales del osciloscopio.....	31
17 Controles de disparo del osciloscopio .....	31
18 Componentes de la parte posterior del osciloscopio.....	32
19 Sonda del osciloscopio.....	32
20 Partes del generador de funciones arbitrario AFG 2021.....	33
21 Interfaz de la pantalla.....	33
22 Botones de control y de menú del generador de funciones .....	34
23 Componentes de la parte posterior del generador de funciones .....	34
24 Partes del multímetro digital FLUKE 115 y puntas de medida.....	35
25 Componentes de la pinza amperimétrica FLUKE 376 y sonda iFLEX.....	36
26 Puesta en servicio rápido del osciloscopio .....	37
27 Compensación de la sonda- osciloscopio .....	38
28 Autocalibrado del osciloscopio.....	38
29 Encendido y apagado del generador de señales.....	39
30 Cambio de valores del generador de funciones .....	39
31 Diagnóstico / Autocalibración del generador de funciones .....	40
32 Borrado de la configuración del generador de funciones .....	41
33 Restablecer a configuración predeterminada del generador de funciones.....	41
34 Conexión variador de frecuencia-motor eléctrico.....	42
35 Circuito de control del variador de frecuencia-motor eléctrico .....	45
36 CD manual de usuario e instalación del software SignalExpress .....	47
37 Ventana de inicio para instalación del software .....	48
38 Ventana de SignalExpress .....	49
39 Añadiendo instrumento de fuente de señal .....	49
40 Ficha de recurso de VISA .....	50
41 Configuración de parámetros del instrumento.....	51
42 Toma de medida con el osciloscopio.....	51
43 Distorción armónico .....	53
44 Conexión para toma de medidas .....	57
45 Forma de onda producida por el VFD .....	58

46	Conectores para transferencia de datos del osciloscopio a la PC .....	59
47	Presentación del software SignalExpress .....	60
48	Espectro armónico .....	60
49	Tabulación de armónicos medidos .....	61
50	Aumento de temperatura adicional vs función del factor armónico .....	64
51	Relación temperatura vs vida del motor .....	65
52	Factor de potencia en función de la distorsión armónica.....	66
53	Eficiencia en función de la distorsión armónica.....	66
54	Configuraciones típicas de filtros pasivos .....	67
55	Osciloscopio digital TDS 2012C .....	70
56	Componentes de la parte posterior del osciloscopio.....	71
57	Detalles de valores de control de la onda .....	71
58	Forma de onda disparada y no disparada.....	75
59	Ajuste de posición de la onda .....	76
60	Puerto de la unidad USB.....	78
61	Encendido del generador de funciones .....	81
62	Interfaz de la pantalla.....	81
63	Selección de la forma de onda .....	82
64	Formas de onda disponibles en More Waveform .....	83
65	Selección del modo de ejecución.....	84
66	Activación de salida de canal.....	84
67	Selección para guardar una imagen de pantalla.....	85
68	Interfaz de pantalla ArbExpress.....	86
69	Creación de hoja para nuevo proyecto.....	87
70	Ventana para crear una forma de onda estándar .....	88
71	Creación de ondas mediante el editor de ecuaciones.....	88
72	Cuadro de diálogo de la forma de onda matemática.....	89
73	Control de instrumentos de forma remota .....	89
74	Hoja de cálculo (Microsoft Excel).....	90
75	Forma de onda creada a partir de CSV .....	90
76	Flujograma para trabajo de mantenimiento .....	94
77	Osciloscopio digital de dos canales .....	104
78	Cambio de parámetros .....	107
79	Conexión de la sonda a los terminales PROBE COMP.....	107
80	Compensación de la sonda.....	108
81	Selección de menú medidas .....	108
82	Selección de la fuente de señal CH1 .....	109
83	Selección de parámetro a medir (Frecuencia).....	109
84	Salida de selección de parámetros .....	109
85	Observación de medidas de la onda cuadrada de ciclos múltiples .....	110
86	Osciloscopio digital .....	112
87	Conexión a los terminales PROBE COMP.....	113
88	Selección del botón Autoconfigurar .....	114
89	Regulación de la escala.....	114
90	Conexión para toma de medidas de dos líneas .....	115
91	Visualización de ondas de dos líneas.....	115
92	Medidas de una señal .....	116
93	Ajuste del cursor 1 en el flanco de subida .....	117
94	Ajuste del cursor 2 en el flanco de bajada .....	117
95	Ajuste del cursor 1 en el primer pico de la oscilación .....	118

96	Ajuste del cursor 2 en la parte más baja de la oscilación .....	118
97	Selección del menú Adquisición.....	119
98	Selección del menú Det. Picos.....	119
99	Selección del menú Promedio.....	119
100	Selección del menú Promedio a 64 y 128.....	120
101	Procedimiento para comprobar el estado de funcionamiento de aparatos.....	122
102	Elementos del panel frontal del AFG 2021 .....	123
103	Elementos del panel posterior del AFG 2021 .....	124
104	Conexión del cable BNC .....	125
105	Selección de la forma de onda sinusoidal continua .....	125
106	Activación para la salida al osciloscopio .....	125
107	Forma de onda sinusoidal predeterminada .....	126
108	Cambio del valor de la frecuencia .....	126
109	Cambio del valor del periodo.....	126
110	Selección de la forma de onda de pulso.....	127
111	Selección del menú parámetros de pulso .....	127
112	Ajuste del parámetro trabajo y ancho .....	128
113	Ajuste del parámetro del flanco anterior y posterior .....	128
114	Forma de onda arbitraria.....	130
115	Selección de una forma de onda de Barrido .....	131
116	Selección del modo de barrido y fuente de disparo .....	131
117	Forma de onda de barrido y una señal de salida de disparo .....	131
118	Selección de menú salida.....	132
119	Selección de ruido a una forma de onda .....	132
120	Forma de onda antes y después de agregar ruido .....	132
121	Selección de la forma de onda arbitraria .....	133
122	Selección del menú Arb Waveform.....	133

## LISTA DE ABREVIACIONES

FPGA	Field programmable gate array (programación de arreglos de compuertas)
GS/s	Giga muestras por segundo
MS/s	Millón sample for seg (millones de muestras por segundo)
PC	Personal computer (computador personal)
RMS	Root mean square (raíz cuadrada media)
FFT	Fast Fourier transform
AM	Amplitud modulada
FM	Frecuencia modulada
VCO	Voltaje controlled oscillator (oscilador controlado por voltaje)
TTL	Lógica de transistor a transistor
AC	Corriente alterna
DC	Corriente directa
TFT	Tecnología de transistores de película fina
MSH	Puerto de impresión directa
BNC	Bayonet Neil-Concelman (conector para cable coaxial)
LCD	Pantalla de cristal liquido
IEEE	Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos
IEC	Comisión electrotécnica internacional
CONELC	Consejo nacional de electricidad
EN	Norma Europea
IGBT	Insolated gate bipolar transistor
AF	Audiofrecuencia
AWG	Arbitrary wave generator
CMOS	Complementary metal-oxide semiconductor
PWM	Modulación por anchura de pulsos
CSI	Inversor de fuente de corriente
A/D	Convertidor analógico –digital
mV	Milivoltios
NE	Norma Europea
ISO	Organización internacional de normalización
INEN	Instituto ecuatoriano de normalización

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Distorsión armónica tolerable EN 50160.
- B** Distorsión armónica tolerable IEEE 519.
- C** Fichas técnicas de los equipos.
- D** Diagrama de proceso de los equipos
- F** Ejecución de las tareas de mantenimiento
- G** Justificación de las frecuencias para las tareas de mantenimiento.
- H** Homogenización de las tareas de mantenimiento.
- I** Equipo de protección personal EPP.

## RESUMEN

En el trabajo de investigación de la tesis se analizó y evaluó las señales que producen los variadores de frecuencia en los motores eléctricos trifásicos de inducción, encontrando una contaminación eléctrica denominada armónicos, donde estas señales son componentes sinusoidales, múltiplos enteros de la frecuencia fundamental (60Hz).

Para cumplir con el objetivo se utilizó un osciloscopio de almacenamiento digital enlazado con el software NI Labview SignalExpress Tektronix edition, conectado a las líneas de alimentación de salida del variador de frecuencia hacia el motor.

En la evaluación se utilizó normas eléctricas como la IEEE 519 y la EN 50160, que establecen límites máximos para las tensiones armónicas, tanto de armónicos individuales como para la distorsión armónica total (THDv). Analizando los datos obtenidos se encontró una polución armónica en la línea de alimentación 1, especialmente se encontraron armónicos de orden 3 de secuencia negativa que provocaban torques pulsatorios en sentido opuesto al giro del motor, que superaba los límites determinados por las dos normas eléctricas regulatorias, produciendo en el motor calentamiento excesivo de los devanados, vibraciones, factor de potencia y rendimiento bajo, y con ello una disminución de la vida útil de las máquinas.

Finalmente para la correcta operación de los equipos, se elaboraron manuales de mantenimiento, operación y prácticas, basándose en las normas INEN EN 13460 de gestión de mantenimiento y plan de mantenimiento, complementando con la norma de gestión de calidad NI ISO 9000:2000.

## **ABSTRACT**

Signals producing frequency variations in the three-phase induction electric motors were analyzed and evaluated in this present research. An electrical pollution called harmonics where these signals are sinusoidal components, whole number multiples of the fundamental frequency (60Hz) was found.

A digital-store oscilloscope linked with NI Labview SignalExpress Tektronix edition connected to output feeding lines of the frequency variation to the engine was used.

Electrical norms such as IEEE 519 and EN 50160 were used in the evaluation. These norms establish limits up to harmonic tensions, not only individual harmonics but also total harmonic distortion voltage (THD<sub>v</sub>). From the gotten results, a harmonic pollution in feeding line 1 was found; harmonics of order 3 of negative sequence causing pulsating torques contrary to the engine turning were found. These ones exceeded the limits determined by the regulatory-electrical norms, producing in the motor an excessive coil heating, vibrations, power factor and low performance and an engine's useful life reduction.

Finally, maintenance, operation and practices manuals were made for the right equipment operation, based on the norms INEN EN 13460 of maintenance management and plan and NI ISO 9000:2000 quality management norm.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

Donde quiera que haya progreso, la presencia del motor eléctrico es imprescindible. Desempeñando un importante papel en la sociedad, los motores son el corazón de las máquinas modernas, por esa razón es necesario conocer sus principios fundamentales de funcionamiento así como el modo eficaz de controlar su velocidad y los efectos que provocan estos.

En el laboratorio de Electrónica de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento se desarrollará un centro de medición de señales eléctricas, dejando de lado los equipos con tecnología obsoleta e implementando con equipos, instrumentos y software de ayuda modernos para su fácil uso e interpretación; cumpliendo así con los requerimientos necesarios para su implementación, donde se podrá medir y evaluar los diferentes tipos de señales que producen los variadores de frecuencia en motores eléctricos trifásicos. Evaluando las mediciones tomadas bajo dos Normas como la IEEE 519 y la EN 50160.

### 1.1 Antecedentes

El porcentaje de equipos electrónicos conectados a la red eléctrica va creciendo conforme avanza los años, es así en 1985 era del 20%, dos décadas después ese porcentaje ha aumentado hasta el 60%. Por lo tanto la toma constante de medidas en señales eléctricas son vitales para el comportamiento adecuado de los artefactos y equipos que funcionan con este tipo de energía; tanto es la preocupación de los técnicos electrónicos, electricistas y personal de mantenimiento eléctrico que están encargados del control y forma de suministro eléctrico correcto, que deben inspeccionar los consumidores estén recibiendo señales eléctricas dentro de los parámetros y normas eléctricas establecidas.

La Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH desde su creación cuenta con diferentes laboratorios para su enseñanza y uno de ellos es el laboratorio de Electrónica en los cuales se encuentran módulos para realizar prácticas con los estudiantes. Estos módulos están compuestos por equipos que con el transcurso del tiempo y el constante uso ya no están acorde a los avances tecnológicos de la época.

El equipo esencial para el módulo que ha cumplido su vida útil es un tradicional osciloscopio analógico, cuyas desventajas se muestran en la forma de manejo y su robustez física, encajando dentro de los osciloscopios con tecnología analógica donde se tomaba medidas con muy baja velocidad de muestreo haciendo énfasis en la actualización del equipo para el estudio diario de los estudiantes de la facultad.

La toma de medidas, interpretación y su respectiva evaluación de los espectros que producen las señales se obtendrá, mediante herramientas como NI LabVIEW SignalExpress Tektronix Edition que proporciona la National Instruments.

## **1.2 Justificación**

La realización de esta tesis busca cumplir con los objetivos de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de formar profesionales calificados y competitivos para aportar al desarrollo técnico, científico, social y económico del país, aportando con la investigación a promover una producción diversificada, ecoeficiente y con mayor valor agregado como lo dicta la nueva matriz productiva; así aporta a la transformación de la educación superior, logrando la transferencia de conocimientos a través de ciencia, tecnología e innovación, contribuyendo además con el desarrollo integral y sustentable del país, en consideración a las políticas del Plan Nacional del Buen Vivir en concordancia con la SENPLADES, que apoya y promueve el cambio de la matriz productiva.

Dado la innovación industrial tecnológica con el empleo de motores eléctricos trifásicos controlados por un variador de frecuencia, hoy en día en la industria se hace imperiosa la necesidad de realizar una investigación de cómo afecta las señales generadas por este dispositivo electrónico al funcionamiento del motor. Con la implementación de la

estación de análisis de señales se aporta equipos con tecnología digital de última generación como son osciloscopio digital, generador de señales (funciones), pinza amperimétrica y multímetro, ayudando a elevar la calidad académica y complementar los conocimientos teóricos recibidos en clases a lo práctico.

### **1.3      Objetivos**

**1.3.1**    *Objetivo general.* Desarrollar e implementar una estación de medición para la evaluación de efectos que producen las señales de los variadores de frecuencia en los motores eléctricos trifásicos.

**1.3.2**    *Objetivos específicos:*

Analizar el estado actual del laboratorio.

Seleccionar los equipos más idóneos para la estación.

Determinar una correcta distribución de los equipos y las instalaciones en el laboratorio.

Recopilar información sobre variadores de frecuencia, motores eléctricos y las señales que producen éstos.

Adiestrarse en el manejo de los equipos de la estación.

Elaborar un manual de prácticas para la estación.

Realizar el registro de las medidas y espectros tomadas en el motor, como en el variador de frecuencia.

Analizar y evaluar las medidas y espectros obtenidos.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO.

#### 2.1 Introducción

La conciencia en la necesidad de mantener una elevada calidad de suministro está creciendo a nivel mundial en los últimos años, donde los dispositivos conectados a la red requieren una tensión de alimentación con un nivel bajo de contaminación ya que son mucho más sensibles a las perturbaciones de la red. La energía más utilizada en las diferentes instalaciones de cualquier índole, ya sean industriales o centros de educación, es de AC corriente alterna, por las diferentes ventajas que se muestran a continuación:

- Fácil y barato transmitir desde donde se produce hasta el punto donde se consume.
- Variación en valor y magnitud; no se eleva inmediatamente a un valor máximo ni permanece en ese valor hasta que el circuito se abre.
- Aumento en la demanda de este tipo de energía en el mundo (MILEAF, 1998 pág. 7).

En este trabajo se ha querido llevar a las personas por las sendas de los conceptos acerca de los diferentes tipos de variadores de frecuencia, motores eléctricos trifásicos y tipos de señales.

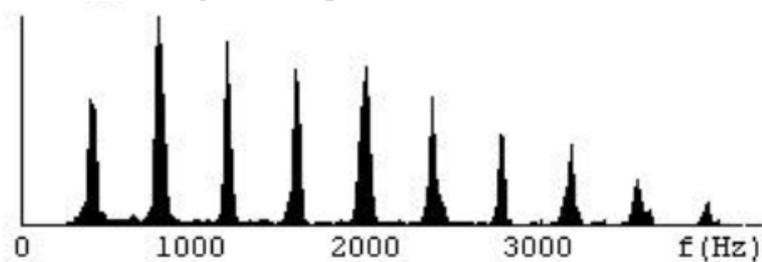
Actualmente en cualquier industria ya sea desde las artesanales, existen conectados motores eléctricos con variadores de frecuencia, para poder controlar la velocidad de arranque del motor y su funcionamiento continuo con ahorro energético, donde los arranques y paradas suaves favorecen al mantenimiento de la máquina rotante. La conexión variador-motor eléctrico crea una contaminación de señales parasitas a la red, ya sea por la composición del mismo variador de frecuencia, el motor eléctrico o por los aditamentos electrónicos a la red, produciendo fallas en el motor eléctrico.

## 2.2 Concepto de espectro (señales)

Normalmente un espectro es relacionado con algo sobrenatural o aterrador como los fantasmas; pero en física e ingeniería se tiene diferentes formas de referirse a este registro gráfico; así; en electricidad el espectrograma o espectro y una señal, están mutuamente ligados para el estudio de las diferentes características medidas, indicando las frecuencias que contiene una señal y con qué amplitud se manifiesta cada una de ellas. En otras palabras representa a cada frecuencia con su grado de intensidad o amplitud de una señal.

**2.2.1** *Un espectro.* Es el conjunto de vibraciones armónicas simples que integran una forma de onda, mostrando un gráfico espectral de frecuencias donde descompone una señal electromagnética en el dominio frecuencial.

Figura 1. Espectro de armónicos



Fuente: <http://wikielectritronica3.wikispaces.com>

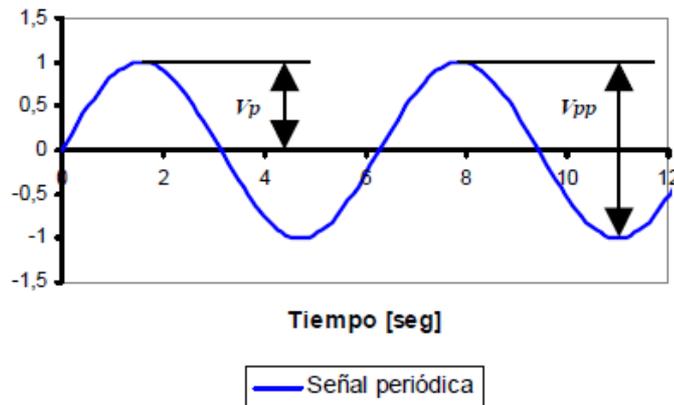
Un *espectro de frecuencias* es el grafico que muestra como es la descomposición de una señal ondulatoria ya sea sonora, luminosa o electromagnética en el dominio frecuencial. Entre tanto un *espectro de respuesta* es un valor utilizado en ingeniería sísmica que mide la reacción de una infraestructura ante una vibración.

**2.2.2** *La señal.* Hace referencia a un signo que indica algo, en electrónica se entiende por señal como la medición de voltaje, una variación de la corriente u otras magnitudes físicas o eléctricas con respecto al tiempo. Una señal eléctrica se produce por partículas muy pequeñas llamadas electrones y protones (MILEAF, 1998 pág. 3).

*La señal eléctrica* es una magnitud eléctrica cuyo valor o intensidad depende del

tiempo; así, el voltaje en función del tiempo es una tensión cuya amplitud depende del tiempo, y la intensidad en función del tiempo es una corriente cuya intensidad depende del tiempo. Por lo general se designa la palabra señal para referirse a magnitudes que varían de alguna forma en el tiempo.

Figura 2. Señal eléctrica alterna periódica



Fuente: Autores

### 2.3 Características de una señal

En una señal senoidal tendremos los siguientes parámetros:

- Ciclo. Es la variación completa de la tensión o la corriente de cero a un valor máximo positivo y luego de nuevo a cero y de este a un valor máximo negativo y finalmente cero.
- Periodo (T). El periodo es el tiempo requerido para cumplir un ciclo, o de un cruce del nivel cero hasta el siguiente cruce del nivel cero en la misma dirección. El periodo se mide en segundos o milisegundos.
- Amplitud. La amplitud es el valor máximo, tanto positivo como negativo, que puede llegar a adquirir la onda, también es la distancia máxima que separa cada partícula de su punto de equilibrio.
- Frecuencia (f). Es el número de oscilaciones que una onda efectúa en un determinado intervalo de tiempo  $f \times T = 1(\text{Hz})$ .
- Fase. Es el momento o punto en el que dos señales se encuentran en un instante determinado. Cada punto de una onda posee una fase definida que indica cuanto

ha avanzado dicho punto a través del ciclo básico de la onda.

Figura 3. Características de una señal



Fuente: <http://blogdeteleprocesos.blogspot.com>

## 2.4 Tipos de señales

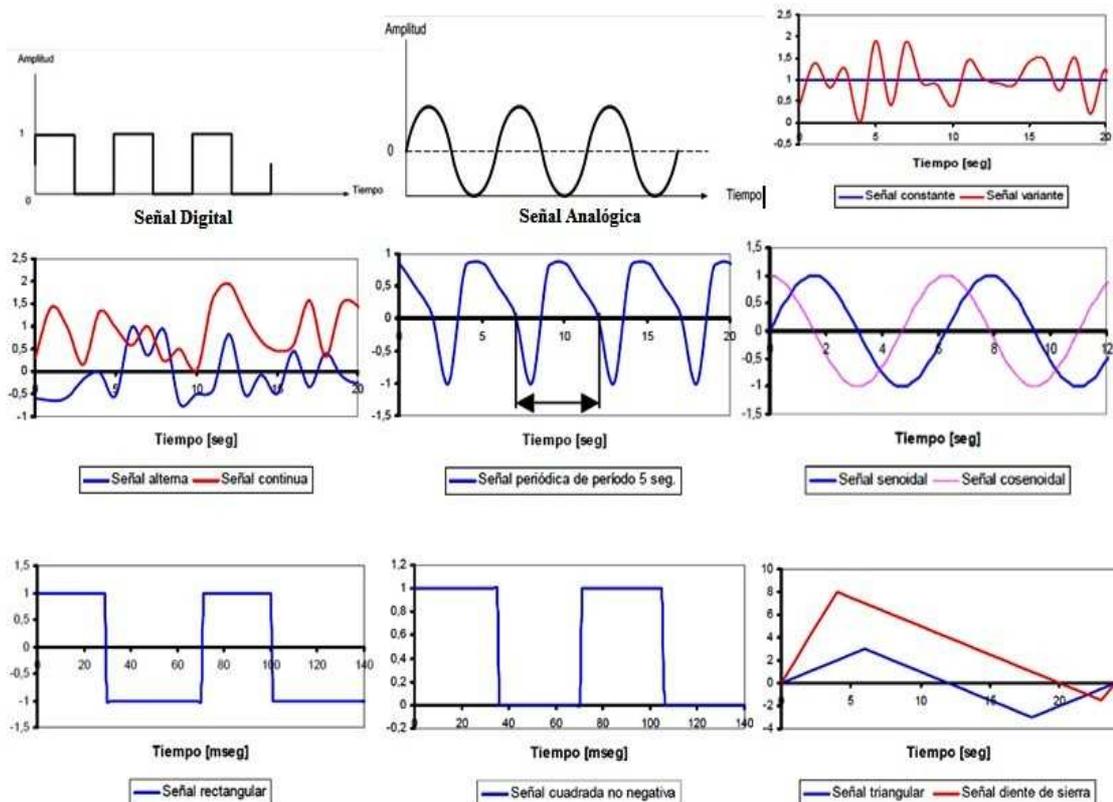
Interpretando a las magnitudes eléctricas como casos particulares de señales eléctricas, se puede definir como diferentes tipos de señales, tales como:

- Señales digitales. Esta señal es discontinua y que solo puede tomar dos valores o estados 0 y 1, lo que facilita la aplicación de la lógica y la aritmética binaria. Estos impulsos pueden ser eléctricos, de baja y alta tensión, pasando de un valor al siguiente sin poder tomar valores intermedios.
- Señales analógicas. Es variable su amplitud y periodo en función del tiempo; la señal analógica para pasar de un valor a otro pasa por todos los valores intermedios, es decir es continua y puede tomar infinitos valores.
- Señales constantes y señales variantes. *Las señales constantes* son aquellas que no varían en el tiempo, un ejemplo en un batería. Mientras tanto *las señales variantes* son aquellas que cambian su valor mientras transcurre el tiempo.
- Señales continuas y señales alternas. Gráficamente las señales continuas siempre tienen el mismo signo, es decir, son siempre positivas o nulas (baterías, dinamos), o siempre negativas o nulas (rectificador). Las señales alternas son aquellas que varía el signo de su magnitud con el tiempo, ya que nunca puede ser constante; esta señal es producida por los alternadores (WARD, 1973 pág. 122).
- Señales periódicas. En las señales periódicas se puede encontrar un patrón de repetitividad, es decir, que después de un determinado tiempo vuelve a repetirse

una o uno los valores anteriores, una y otra vez. A este patrón se lo reconoce como ciclo de la onda; el tiempo que demora un ciclo en desarrollarse se denomina período medido en segundos.

- Señales de prueba
- Señal senoidal. Esta señal varía de positivo a negativo cada cierto tiempo. Si a una señal senoidal se le desfasa  $90^\circ$  ( $\pi/2$ ) en adelante se obtiene una nueva señal denominada cosenoidal.
- Señal rectangular y señal cuadrada. La señal rectangular, se caracteriza por tener solamente dos valores posibles, se le puede definir amplitud, periodo, frecuencia y desfase. En una señal cuadrada, de igual modo que sucede con las ondas senoidales, el valor medio es nulo. Un caso particular de ambas señales es cuando se truncan sus semiciclos negativos a cero, es decir, son señales rectangulares o cuadradas pero continuas.
- Señal triangular y señal diente de sierra. Son señales que tienen un crecimiento y decrecimiento (pendientes) constantes, si ambas pendientes son iguales la señal se llamara triangular; caso contrario se la llamara diente de sierra.

Figura 4. Tipos de señales



Fuente: <http://blogdeteleprocesos.blogspot.com>

## 2.5 Importancia del análisis de señales

En un sistema de potencia eléctrica, los aparatos y equipos que se conectan entre sí, están diseñados para funcionar a 50 ó 60 ciclos, con una corriente sinusoidal. Por diferentes razones se puede presentar un flujo eléctrico a otras frecuencias de 50 ó 60 ciclos sobre algunas partes del sistema de potencia o dentro de la instalación de un sistema; la forma de onda existente está compuesta por un número de ondas sinusoidales de diferentes frecuencias, incluyendo una referida a la frecuencia fundamental. El término componente armónico se refiere a cualquiera de las componentes sinusoidales, la cual es múltiplo de la fundamental.

**2.5.1 Problemas de armónicas.** Los componentes y circuitos electrónicos de potencia son tan flexibles y útiles que controlan los sistemas de potencia en el mundo desarrollado, por lo tanto el comportamiento de estos circuitos electrónicos influyen fuertemente en la operación total de los sistemas a los cuales se conecta.

El principal problema asociado a la electrónica de potencia son las componentes armónicas de voltaje y de corriente inducidas en los sistemas de potencia por la conmutación transitoria en los controladores electrónicos de potencia. Estas armónicas incrementan los flujos de corriente total en las líneas (en especial en el neutro de los sistemas trifásicos de potencia). Las corrientes extras incrementan las pérdidas y el calentamiento en las componentes de los sistemas de potencia, lo cual exige disponer de componentes de mayor capacidad para alimentar las mismas cargas totales. Además, las altas corrientes del neutro pueden disparar los relés de protección y sacar de operación secciones completas del sistema(UDISTRITAL). En una máquina eléctrica de inducción, supuesta de construcción ideal, alimentada desde una fuente de tensión sinusoidal y perfectamente simétrica, producirá en su entrehierro un campo eléctrico rotativo de forma sinusoidal que gira a la velocidad de sincronismo.

En las máquinas reales, el entrehierro presencia un campo eléctrico formado por un espectro con infinitos armónicos, cuya amplitud y frecuencia difieren de la del armónico principal. Estos armónicos giran en la misma o contraria dirección que el fundamental o velocidad mayor o menor y con amplitudes que pueden variar con la posición del rotor.

Las causas de este espectro armónico son muy diversas y sus componentes, en una primera clasificación que surge fundamentalmente por razones históricas en el curso del desarrollo de la teoría de las máquinas eléctricas, pueden dividirse en armónicos espaciales y armónicos temporales. Los armónicos espaciales aparecen en el entrehierro como consecuencia de su estructura interna, los armónicos temporales se introducen en el entrehierro desde el exterior del motor.

## **2.6 Osciloscopio – generalidades**

El osciloscopio son equipos de medición electrónica, que permite analizar el espectro visualizando en una pantalla los componentes espectrales en un espectro de frecuencias de las señales presentes en cualquier tipo de onda eléctrica que pueden variar con el tiempo. La imagen obtenida en la pantalla del osciloscopio muestra valores de las señales eléctricas en forma de coordenadas, en la que en el eje de las X se representa los tiempos y el eje de las Y representa tensiones. La regulación del eje X y el eje Y, determinan el valor de la escala cuadrícula que divide la pantalla, permitiendo saber cuánto representa cada cuadrícula de esta, para en consecuencia conocer el valor de la señal a medir, tanto en tensión como en frecuencia. En sí, lo que hace el equipo es medir el período de una onda de una señal, y luego calcula su frecuencia (ELECTRONICA, 2004).

**2.6.1** *Especificaciones técnicas principales de los osciloscopios.* Tenemos las siguientes:

- *Ancho de banda.* Está relacionada directamente con la calidad y el costo del instrumento. En un osciloscopio analógico esta magnitud indica la máxima frecuencia que el circuito de deflexión vertical es capaz de reproducir sin introducir errores por atenuación. En los digitales se definen dos anchos de banda; uno para señales repetidas o periódicas y otro para señales no repetidas; como regla general, para señales periódicas el ancho de banda debe ser al menos el triple de la máxima frecuencia que se pretende mostrar.
- *Sensibilidad.* Es la menor tensión capaz de provocar un desplazamiento de 1 cm

en la pantalla del instrumento; en equipos comerciales estándares, este parámetro es del orden de los milivoltios.

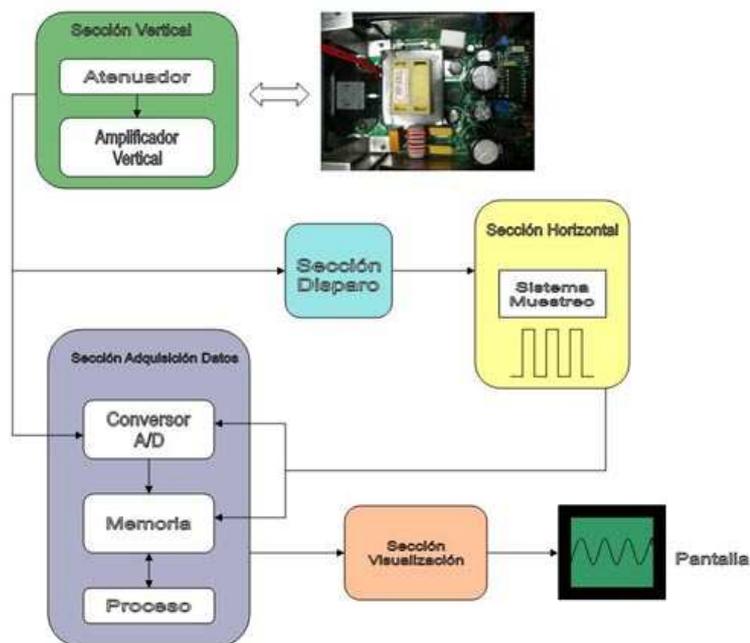
- *Cantidad de canales.* Los osciloscopios analógicos que se disponen comercialmente pueden tener entre 1 a 4 canales de entrada, en el caso de los digitales, pueden llegar hasta 16 o más canales pero solo para representar señales lógicas.
- *Base de tiempo.* Los osciloscopios pueden disponer de una base de tiempo (barrido horizontal), o más de una; a su vez esta base de tiempo puede ser simple o demorada. En el caso de los osciloscopios con base de tiempo demorada, es posible seleccionar una parte de la onda para su ampliación en la pantalla, para permitir el barrido horizontal modifica su velocidad en la parte seleccionada de la onda. En el caso de barrido independiente cada canal tiene su propia base de tiempo.
- *Otras especificaciones.* Los osciloscopios digitales habitualmente tienen otra serie de especificaciones como tamaño de la memoria de datos, funciones de análisis, funciones de disparo especiales, resolución vertical de la pantalla en bits, etc.

**2.6.2** *Tipos de osciloscopios.* Según su composición y funcionamiento interno se pueden clasificar tanto en osciloscopios analógicos y osciloscopios digitales.

**2.6.2.1** *Osciloscopios digitales.* En la actualidad los osciloscopios digitales se utilizan, ya sea por su facilidad de poder transferir las medidas a una computadora personal o por su menor tamaño, etc.

Este equipo digitaliza previamente la señal por un conversor analógico digital. Los osciloscopios digitales realizan un muestreo de la señal a representar y almacenan los datos obtenidos; al depender la fiabilidad de la visualización de la calidad de este componente, esta debe ser cuidada al máximo. En estos se tiene las posibilidades adicionales, tales como el disparo anticipado (pre-triggering) para la visualización de eventos de corta duración, o la memorización del oscilograma transfiriendo los datos a un PC. Esto permite comparar medidas realizadas en el mismo punto de un circuito o elemento, existen asimismo equipos que combinan etapas analógicas y digitales.

Figura 5. Osciloscopio digital



Fuente: <http://www.info-ab.uclm.es/>

La principal característica de un osciloscopio digital es la frecuencia de muestreo, la misma determina el ancho de banda máximo que puede medir el instrumento, viene generalmente en MS/s (millones de muestra por segundo). La mayoría de los osciloscopios digitales en la actualidad están basados en el control por FPGA (Field Programmable Gate Array), el cual es el elemento controlador del conversor analógico al digital de alta velocidad del aparato y además circuitería interna, como memoria, buffers, etc. Estos osciloscopios añaden prestaciones y facilidades al usuario imposibles de obtener con tecnología analógica, como los siguientes:

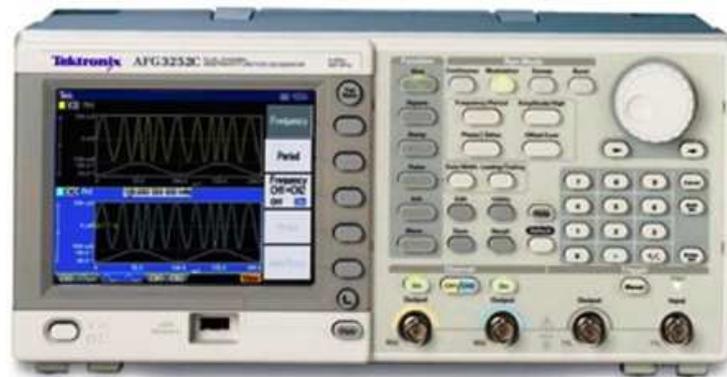
- Medida automática de valores de pico, máximo y mínimos de señal, verdadero valor eficaz.
- Medidas de flancos de la señal y otros intervalos.
- Captura de transitorios.
- Cálculos avanzados, como la FFT para calcular el espectro de la señal, armónicas.

## 2.7 Generador de señales - generalidades

Un generador de funciones o generador de señales está encargado de producir una señal

eléctrica dependiente del tiempo, con diferentes características de amplitud, frecuencia y forma que pueden ser fijas o variar dentro de intervalos definidos. Un generador no está encargado de medir la señal que entrega, aun cuando pueda indicarla.

Figura 6. Generador de funciones

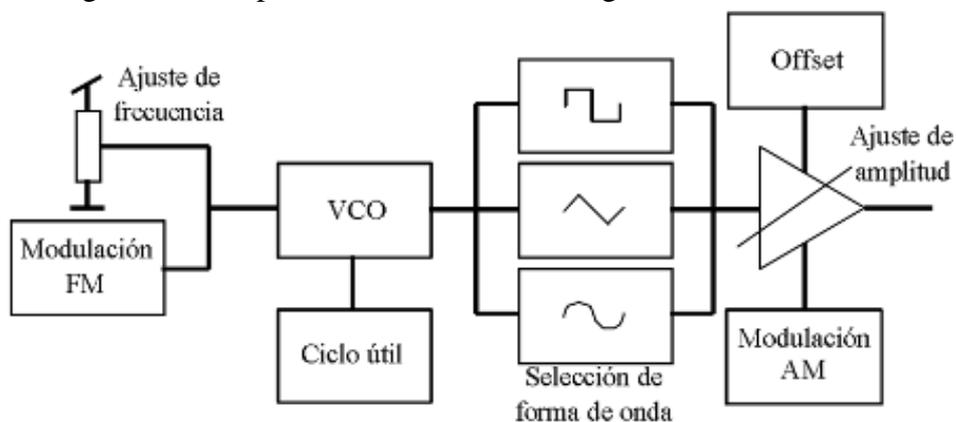


Fuente: Tektronix

Los generadores de funciones son utilizados como alimentación o prueba de circuitos eléctricos o actuadores tanto en su desarrollo como en la verificación de su funcionamiento.

**2.7.1 Principio de funcionamiento.** En forma general los generadores de funciones o señales se conforman de tres etapas básicas: un oscilador, encargado de entregar la frecuencia de trabajo al sistema, con la posibilidad de que ésta pueda ser regulada; una etapa en la que se determina la forma de onda de la señal; y una etapa de amplificación, donde se ajusta la amplitud de la señal así como su componente en directa.

Figura 7. Principio de funcionamiento del generador de funciones



Fuente: <http://www.forosdeelectronica.com/>

## 2.7.2 Tipos de generadores de señales. Clasificación por la tecnología utilizada:

- Clasificación por la tecnología utilizada.
- Clasificación por rangos de frecuencia.
- Clasificación por la forma de onda a la salida.

### 2.7.2.1 Clasificación por la tecnología utilizada:

- Generadores de función analógicos. Utilizan un VCO (Oscilador controlado por voltaje) para generar una forma de onda triangular de frecuencia variable; y a partir de esta se obtiene las formas de onda sinusoidal y cuadrada
- Generadores de función digitales. Utilizan un convertidor D/A (Digital/ Analógica) para generar la forma de onda desde valores almacenados en una memoria. Normalmente estos generadores sólo suministran señales a máxima frecuencia en lo que a ondas seno y cuadradas respecta, y señales triangular y otras formas de onda a mucha menor frecuencia.

### 2.7.2.2 Clasificación por rangos de frecuencia:

Tabla 1. Clasificación de generadores de por rangos de frecuencia

<b>Tipo</b>	<b>Frecuencia mínima</b>	<b>Frecuencia máxima</b>
Generador de AF (audiofrecuencia)	□0.01 Hz	1 MHz a 10 MHz
Generador de RF (radiofrecuencia)	1 KHz a 10 KHz	520 KHz a 4 GHz
Generador de Microondas	10 MHz	50 GHz

Fuente: [http://www2.uca.es/grup-invest/instrument\\_electro/ppjjgdr/](http://www2.uca.es/grup-invest/instrument_electro/ppjjgdr/)

### 2.7.2.3 Clasificación por la forma de onda a la salida:

- Generadores de funciones (triangular, cuadrada, sinusoidal)

- Generadores de función (sinusoidal con modulación)
- Generadores de función (sinusoidal con amplitud y frecuencia fijas)
- Generadores de pulsos (pulsos señal cuadrada)
- Generadores de ruido (señales eléctricas aleatorias)
- Generadores de ondas arbitrarios (AWG)

Los generadores de función usuales presentan las siguientes opcionalidades:

- Forma de onda seleccionable (sinusoidal, triangular, rectangular)
- Control del ciclo de trabajo de la señal de salida.
- Control externo de la frecuencia de salida.
- Impedancia de salida seleccionable.
- Control externo de la amplitud de salida.
- Salida auxiliar de nivel lógico TTL, CMOS, etc.
- Interfaces LAN, USB, GPIB, etc.

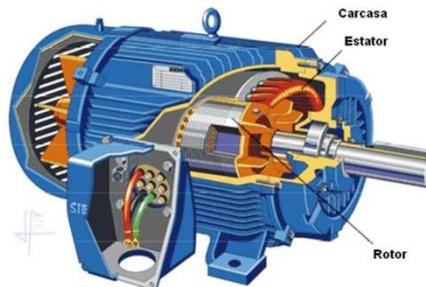
## 2.8 El motor eléctrico trifásico

Una *máquina eléctrica* es un dispositivo que puede convertir energía mecánica en energía eléctrica o energía eléctrica en energía mecánica. Cuando este dispositivo es utilizado para transformar energía eléctrica se denomina *generador*, pero cuando convierte energía eléctrica en energía mecánica, se llama *motor*; como esta máquina eléctrica convierte energía eléctrica en mecánica o viceversa, se puede utilizarse como generador o como motor (CHAPMAN, 2000).

La energía eléctrica trifásica origina campos magnéticos rotativos en el bobinado del estator (o parte fija del motor). El motor de inducción, es el motor de corriente alterna más utilizado, debido a su fortaleza y sencillez de construcción, buen rendimiento y bajo costo, así como la ausencia del colector y al hecho de que sus características de funcionamiento se adaptan bien a una marcha a velocidad constante. El motor de inducción no necesita escobillas ni colector, su armadura es de placas de metal magnetizable, el sentido alterno de circulación, de la corriente en las espiras del estator

genera un campo magnético giratorio que arrastra las placas de metal magnetizable y las hace girar (ECURED, 2013).

Figura 8. Motor trifásico de inducción



Fuente: <http://eletricasenai2011.blogspot.com/>

**2.8.1** *Principio de funcionamiento.* Cuando la corriente atraviesa los arrollamientos de las tres fases del motor, en el estator se origina un campo magnético que induce corriente en las barras del rotor.

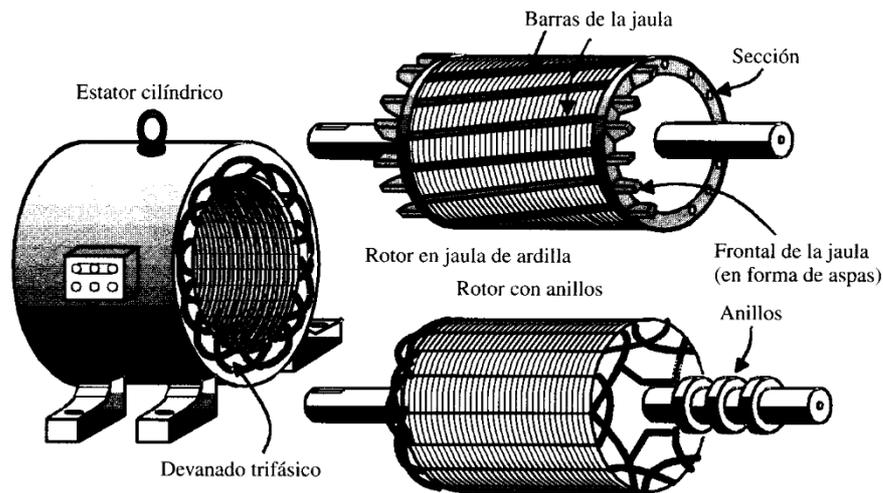
Dicha corriente da origen a un flujo que al reaccionar con el flujo del campo magnético del estator, originara un par de motor que pondrá en movimiento al rotor, este movimiento es continuo, debido a las variaciones también continuas de la corriente alterna trifásica. El rotor girara a una velocidad diferente del campo magnético (velocidad del flujo giratorio), esto se debe a que a cada momento recibe impulsos del campo, pero al cesar el empuje el rotor se retrasa; a la diferencia entre la velocidad del flujo giratorio y del rotor se lo llama *deslizamiento*, es por lo cual recibe el nombre de asíncrono o asincrónico (CIFP, 2011).

Los motores de corriente alterna y los de corriente continua se basan en el mismo principio de funcionamiento, el cual establece que si en un conductor circula una corriente eléctrica, este se encuentra dentro de la acción de una campo magnético y por ende tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético (teoría de Lenz).

**2.8.2** *Partes del motor eléctrico trifásico.* Independientemente del tipo de motor del que se trate, todos los motores trifásicos contienen estas partes:

- El estator.
- El rotor.
- Los escudos.
- La carcaza.

Figura 9. Máquinas asincrónicas o de inducción



Fuente: <http://autodesarrollo-electricidadpractica.blogspot.com>

Dependiendo del tipo de rotor tenemos 2 tipos de motor:

- Motor asíncrono de rotor bobinado
- Motor asíncrono tipo jaula de ardilla.

**2.8.3 Motor asíncrono de rotor bobinado.** En estos motores, el arrollamiento rotórico está constituido por unas bobinas de hilo de cobre por lo general. Se utiliza en aquellos casos en los que la transmisión de potencia es demasiado elevada (a partir de 200 kW) y es necesario reducir las corrientes de arranque; también se utiliza en aquellos casos en los que se desea regular la velocidad del eje.

Su característica principal es que en el rotor se aloja un conjunto de bobinas que además se pueden conectar al exterior a través de anillos rozantes, colocando resistencia variables en serie a los bobinados del rotor se consigue suavizar las corrientes de

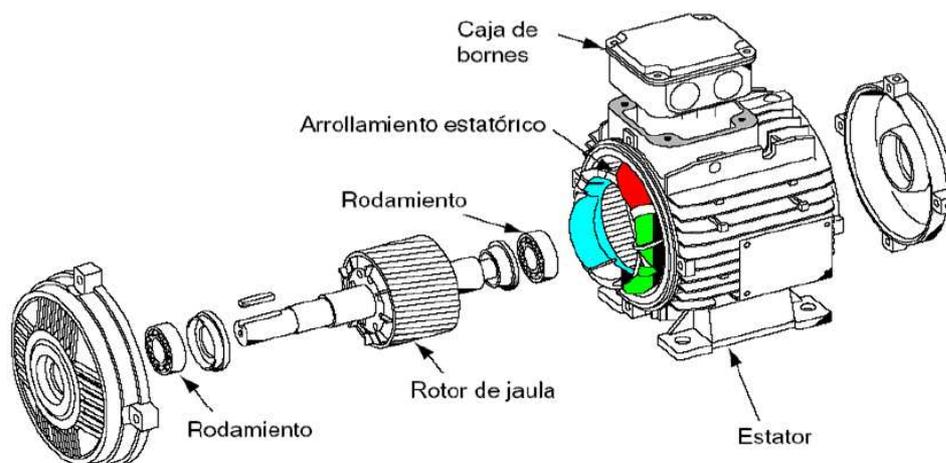
arranque. De la misma manera, gracias a un conjunto de resistencias conectadas a los bobinados del rotor, se consigue regular la velocidad del eje.

Este tipo de motores se utiliza para:

- Cuando se necesite regulación de velocidad y par.
- Altos pares de arranque
- Adecuados para enfrentarse a altos pares resistentes o de inercia en el arranques
- Aplicaciones que requieren marcha y contramarcha frecuente y dinámica, sin pérdidas en el arranque de cada ciclo.
- Adecuados para arranques con carga(OBEKI).

**2.8.4** *Motor asíncrono tipo jaula de ardilla.* Es sin duda el más común de todos los motores eléctricos, por su sencillez y forma constructiva. Cuando este rotor está entre dos polos de campo magnéticos que han sido magnetizados por una corriente alterna, se induce una f.e.m. en las espiras de la jaula de ardilla, una corriente muy grande las recorre y se produce un fuerte campo que contrarresta al que ha producido la corriente (ley de Lenz).(MARTINEZ Dominguez, 2001).

Figura 10. Motor jaula de ardilla



Fuente: <http://www.electromagazine.com.uy/>

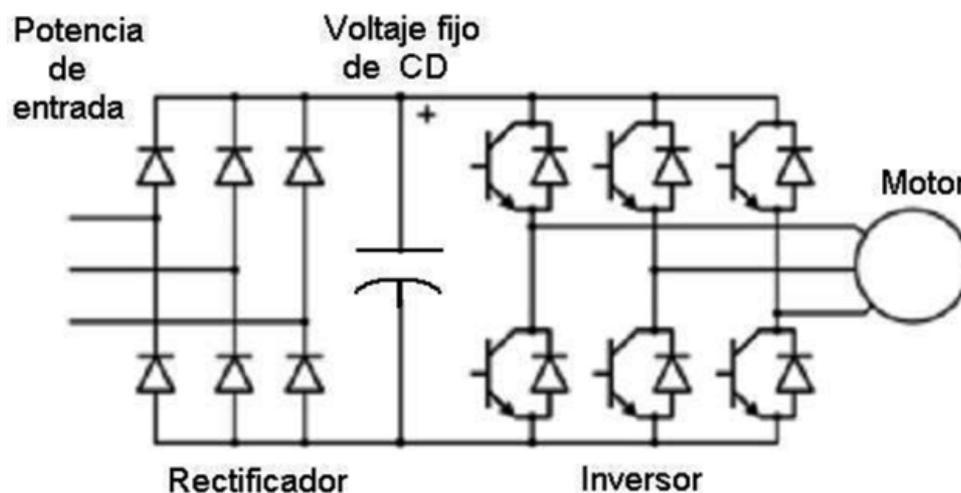
Existen características importantes en estos motores para que se llamen asíncronos,

entre estos se encuentra el deslizamiento y el par motor. Donde el *Deslizamiento* se da debido a la resistencia con el aire y al rozamiento, el rotor no llega a alcanzar la misma velocidad que el flujo. Y el *Par motor*. Cuando las líneas del campo magnético cortan las barras del rotor, se produce en ellas una fuerza electromotriz que da lugar a corrientes que circulan en los sentidos opuestos (en los hilos más próximos a los polos) es decir, que se producen esas corrientes en hilo separado  $180^\circ$

## 2.9 El variador de frecuencia

Un variador de frecuencia también llamado VFD, por sus siglas en inglés: Variable Drive o bien AFD Adjustable Frequency Drive, es un sistema para el control rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.

Figura 11. Esquema básico del variador de frecuencia



Fuente: <http://electronicausac.foroactivo.com/>

El funcionamiento de un variador de velocidad (generalmente un PWM), se basa, a grandes rasgos en la existencia de un rectificador y un inversor, de forma que la corriente alterna de línea, es convertida a corriente continua en el rectificador, y luego otra vez a corriente alterna en el inversor, donde se le puede asignar la frecuencia deseada para alimentar posteriormente al motor.

La velocidad como una forma de controlar un proceso, entre las diversas ventajas en el control del proceso proporcionado por el empleo de variadores de velocidad destacan:

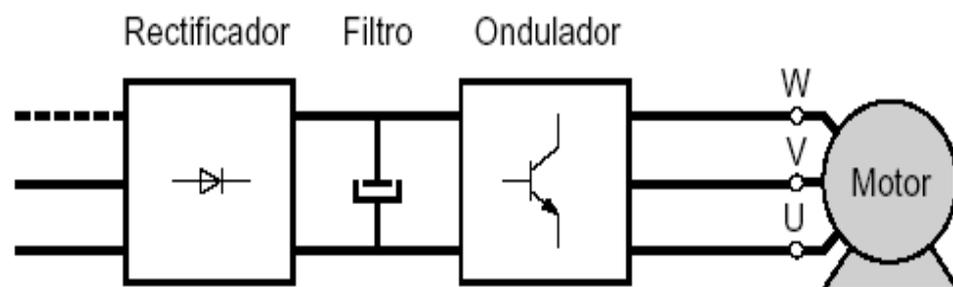
- Operaciones más suaves.
- Control de la aceleración.
- Distintas velocidades de operación para cada fase del proceso.
- Compensación de variables en procesos variables.
- Permitir operaciones lentas para fines de ajuste o prueba.
- Ajuste de la tasa de producción.
- Permitir el posicionamiento de alta precisión.
- Control del Par motor (torque).

Y entre las principales funciones de los variadores de frecuencia cabe destacar:

- Variación de la velocidad
- Regulación de velocidad
- Deceleración controlada
- Inversión de sentido de giro
- Frenado
- Protección integrada

### 2.9.1 *Los variadores de frecuencia están compuestos por:*

Figura 12. Etapas de un variador de frecuencia



Fuente: <http://arayaingenieria.blogspot.com/>

- *Etapa rectificadora* convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc.
- *Etapa de filtrado* filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos.
- *Inversor o invertir* convierte la tensión continua en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBTs (Isolated Gate Bipolar Transistor) para generar los pulsos controlados de tensión.
- *Etapa de control* esta etapa controla los IGBTs para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Y además controla los parámetros externos en general.

**2.9.2** *Tipos de variadores de frecuencia.* Hay cuatro tipos de diseños de variadores de frecuencia comúnmente usados hoy en día:

- Modulación de anchura de pulso (PWM).
- Inversor de fuente de corriente (CSI).
- Inversor de fuente de voltaje (VSI), y;
- El variador de vector de flujo (MITCHELL).

**2.9.2.1** *Variador PWM.* El variador PWM es el controlador más comúnmente usado porque trabaja bien con motores cuyo rango de trabajo va de ½ hp a 500 hp. Un motivo significativo para su popularidad es que es altamente fiable, asequible y refleja menos cantidad de armónicos que vuelven a su fuente de potencia. La mayoría de las unidades están clasificadas 230 o 460 voltios, trifásicas y proporcionan frecuencias de salida que van de 2 Hz a 400 Hz.

El voltaje de la línea de alimentación AC pasa a la sección del convertidor que causa que un convertidor de puente de diodo y grandes condensadores DC se crean y mantienen un voltaje del bus DC fijo y estable. El voltaje DC pasa a la sección del inversor usualmente equipado con transistores bipolares de puerta aislada (IGBTs), que regulan tanto el voltaje como la frecuencia al motor para producir una onda próxima a la sinusoidal. Las velocidades de conmutación de IGBTs en un variador PWM pueden

tener un rango que va de 2 kHz a 15 kHz. Los diseños PWM más nuevos de hoy usan IGBTs de potencia, que operan en estas frecuencias. Teniendo más pulsos en cada ciclo, el silbido del motor asociado con las aplicaciones del VFD se reducen debido a que los devanados del motor están ahora oscilando a una frecuencia que va más allá del espectro del oído humano.

Términos a conocer:

- *Cogging*: síntoma pulsante de un motor mientras opera a muy baja frecuencia, usualmente 2 a 6 Hz.
- *No regenerativo*: incapacidad de un variador para generar, o invertir, el flujo de potencia hacia atrás desde el motor.(TODO PRODUCTIVIDAD, 2012) .

## 2.10 Selección de un variador de frecuencia

Para seleccionar un variador de frecuencia se debe primero clasificar el tipo de carga dependiendo del comportamiento de su torque en función de la velocidad.

Tabla 2. Tipos de carga por su comportamiento

Torque constante	Extrusoras, trefiladoras, compresores reciprocantes, bandas transportadoras.
Torque lineal	Prensas, calandras.
Torque cuadrático	Bombas centrifugas y ventiladores
Torque hiperbólico	Máquinas bobinadoras y desembobinadoras
Torque indefinido	Mesas alimentadoras

Fuente: <http://www.siemens.com>

Los pasos siguientes son preguntas que se deben hacer para tener una mejor selección del tipo de VFD:

¿Es una modernización del proceso actual o es para un proceso nuevo?

El VFD de una manera electrónica logra aplicar al motor frecuencias desde 0,1 Hz hasta 200 Hz sin mayor problema. En muchos procesos, la limitación no es el variador de frecuencia, sino el motor, el sistema de transmisión o posiblemente el proceso mismo.

Algunas cargas no soportaran el uso de variadores de frecuencia en todo el rango de velocidad que puede dar el VFD; en estos casos es importante ver los detalles y tomar las precauciones adecuadas antes de la instalación de un VFD (PERALTA).

¿Cuál es el rango de variación de la velocidad?

El rango de variación de velocidad definirá fundamentalmente el tipo de control que el VFD aplicara al motor para controlar la velocidad. Cuanto más grande sea este rango, mayor cuidado deberá tenerse en el motor. A menos del 50% de la velocidad nominal, el motor estándar reduce su capacidad de refrigeración por disminuir el caudal de aire, si la carga asociada es estrictamente de torque constante, se hará necesario dar al motor un medio de ventilación independiente.

¿Cuál es el ciclo de trabajo?

Este punto se debe considerar de manera simultánea con el anterior, debe compararse el torque del motor contra el torque de la carga y evaluar contra el ciclo de carga, no hay otra forma de determinar la utilización de los accesorios como el ventilador. Además hay que determinar con precisión cual será el comportamiento dinámico del sistema completo, es decir, tiempos de aceleración y desaceleración, torque de arranque del motor, tipo de transición de torque desde el motor hacia la carga.

¿Cuáles son los datos nominales del motor?

- Potencia en kilovatios (kW) o en caballos de potencia (hp).
- Tensión nominal en voltios (V).
- Frecuencia nominal en ciclos por segundo (Hz)
- Corriente nominal en amperios (A).
- Velocidad nominal en revoluciones por minuto (rpm)

¿Cómo son las condiciones medio ambientales?

Al igual que los motores eléctricos convencionales, los variadores de velocidad tienen

un sistema de refrigeración que depende del aire de ventilación. De esta manera, las condiciones de altura sobre el nivel del mar, suciedad, humedad y temperatura ambiente afectaran positiva o negativamente la refrigeración del variador. Usualmente deberá hacerse una disminución de la potencia efectiva del equipo si se sobrepasan las condiciones de norma (1000 msnm y 40 grados centígrados).

## CAPÍTULO III

### 3. IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE SEÑALES.

En la consideración de la selección de un instrumento, se puede tener en cuenta lo siguiente para comprobar algunas de las cuestiones que sería necesario para tener una adecuada elección e implementación de la estación.

- *La cantidad que se requiere medir.* La variable que se requiere medir, voltajes, intensidad, resistencia, frecuencia, etc.
- *El entorno.* Las condiciones ambientales que podría afectar a la elección del instrumento; margen de temperaturas, humedad, choques mecánicos, vibraciones, etc. y los requerimientos de montaje.
- *Precisión.* La precisión que se necesita en la medida, y si se requiere la misma precisión sobre todo el margen de medidas.
- *Resolución.* Un cambio observable en la lectura del instrumento, es decir, la resolución requerido.
- *Margen y escala.* Los valores máximos y mínimos que se quieren medir, constatar si se puede cubrirse todo el margen de medida con un instrumento de escala simple o se requiere un instrumento que sea multiescala.
- *Salida.* El tipo de pantalla o visualización que se necesita, observar si se requiere algún tipo de interfaz en la salida para la conexión con cualquier otro sistema.
- *Características de respuestas.* El tiempo de respuesta se necesita, el ancho de banda y para instrumentos de C.A., qué aspecto de la forma de onda debería responder el instrumento, es decir, valor de pico, valor medio, valor eficaz.
- *Calibración.* El modo de calibración que se requiere para el instrumento ya sea su calibración durante largos periodos de tiempo, el tiempo tiene que pasar entre las distintas calibraciones y las necesidades para la calibración.
- *Interferencias y ruido.* La cantidad que se requiere medir es flotante o, por el contrario, tiene una conexión a tierra, verificar si existen campos magnéticos o

electrostáticos parásitos donde se va a realizar la medida.

Una vez entrado en detalles para elegir los instrumentos se procede a la implementación de la estación de medición de señales que producen los variadores de frecuencia en motores eléctricos trifásicos.

### 3.1 Datos técnicos de cada equipo.

**3.1.1 Datos técnicos del osciloscopio TDS2012C.** El osciloscopio digital de dos canales, con precisión captura señales sobre-muestreo en todos los canales, todo el tiempo con la tecnología Tektronix.

Tabla 3. Características del osciloscopio digital

Osciloscopio digital TDS2022C	Marca	TEKTRONIX
	Modelo	TDS2022C
	Dimensiones mm	326,3 x 158 x 124,2
	Velocidad de muestreo	2 GS/s
	Canales	2
	Frecuencia de muestreo por canal	2,0 GS/s
	Ancho de banda	100 MHz
	Resolución vertical	8 bit
	Sensibilidad vertical	2 mV a 5V/div
	Voltaje de entrada máximo	300 Vrms
	Introducción de entrada	AC, DC, tierra GND
	Puerto USB	2,0
	Capacidad máxima USB	64 GB
	<b>Pantalla</b>	
	Características de pantalla	5,7" TFT a color
	Tipo de pantalla	Puntos, vectorial
	Formato	YT y XY
	<b>Cálculos matemáticos</b>	
	Cálculos	Suma, resta, multiplicación, FFT
	FFT	Ventanas: hanning, cúspide plana, rectangular.
	<b>Alimentación</b>	
	Alimentación	110 – 220 V
	Frecuencia de red	50 – 60 Hz
	Software de conexión	LabVIEW SignalExpress™ Tektronix OpenChoice®
	Escala	10 X hasta 100 X

Fuente: Tektronix

**3.1.2** *Datos del generador de funciones arbitrario AFG2021.* El generador de funciones arbitrario tiene las siguientes características:

Tabla4. Características del generador de funciones arbitrario

Generador de funciones arbitrario AFG2021	Marca	TEKTRONIX
	Modelo	AFG2021
	Velocidad de muestreo	250MS/s
	Canales	2
	Memoria	128 kB
	Sinusoidal	20 MHz
	Pulso	10 MHz
	Amplitud	10 Vp-p
	Pantalla	3.5 in. TFT LCD color
	Formas de onda	Sinusoidal, cuadrada, rampas, pulso, ruido, gaussiana, lorentz, exponencial descendente.
	Frecuencia efectiva máxima de salida	20 MHz
	<b>Memoria</b>	
	Memoria no volátil	4 formas de onda
	<b>Interfaz</b>	
	Comunicación	USB, GPIB y LAN
<b>Alimentación</b>		
Alimentación	110 – 220 V	
Frecuencia de red	50 – 60 Hz	

Fuente: Tektronix

**3.1.3** *Datos técnicos de multímetroFluke 115 True-RMS 7.* El multímetro de verdadero valor eficaz, es un equipo compacto para el mantenimiento tanto instalaciones domesticas como industriales, cuenta con las características técnicas:

Tabla 5. Características del multímetro

Multímetro digital FLUKE-115 TRUE - RMS 7	Marca	FLUKE
	Modelo	115
	Valor eficaz verdadero	True-RMS 7
	Tensión máxima entre terminal y toma de tierra	600 V
	Barra grafica analógica	Se actualiza 32 veces/s
	Temperatura de trabajo	-10 °C a +50 °C
	Temperatura de almacenamiento	-40 °C a +60 °C
	Tipo de batería	9 V alcalina
	Duración de la batería	400 horas
	Fusible para entrada A	Fusible rápido 11 A, 100 V, 17 kA

Fuente: Tektronix

**3.1.4** *Datos técnicos de la pinza amperimétrica FLUKE 376.* La pinza amperimétrica de verdadero valor eficaz, ofrece un rendimiento mejorado perfecto para una amplia variedad de situaciones de medida de corriente. En la pinza incluye la nueva sonda de corriente flexible iFlex, que amplía el rango de medida hasta los 2500 A de CA a la vez que proporciona una mayor flexibilidad de visualización.

Tabla 6. Características de la pinza amperimétrica

Pinza amperimétrica digital FLUKE-376 TRUE - RMS	Marca	FLUKE
	Modelo	376
	Tensión máxima entre terminal y toma de tierra	600 V
	Medida de CA	999,9 A
	Medida de CA mediante tecnología iFlex	2500 A
	Diámetro del conductor medible	34 mm ax
	Humedad de trabajo	< 90% entre 10 a 30 °C
	Tamaño	246 x 83 x 43 mm
	<b>Temperatura</b>	
	Trabajo	-10 a 50 °C
Almacenamiento	-40 a 60 °C	

Fuente: Tektronix

### 3.2 Identificación de las partes de cada equipo.

Se identificará cada una de sus partes esenciales para una mejor operación, de los equipos a conformar como parte de la estación para la medición de señales eléctricas.

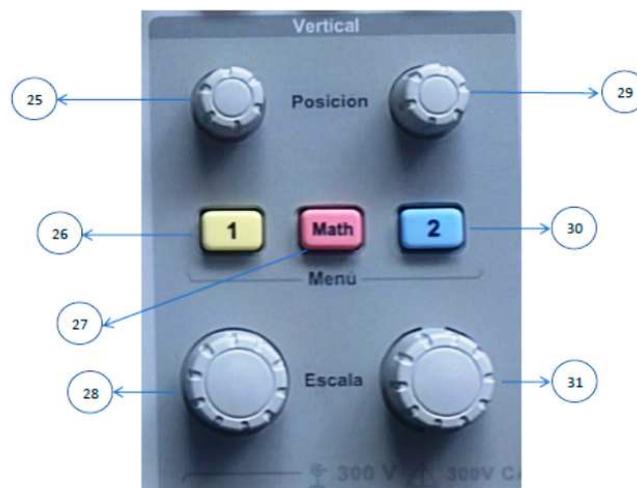
**3.2.1** *Componentes del osciloscopio digital TDS2012C.* Las partes principales de las que está formado el osciloscopio para la medición de señales son:

- 1.- Pantalla a color.
- 2.- Botón de encendido/apagado.
- 3.- Impresión de datos.
- 4.- Manija para transportar el equipo.
- 5.- Auto configuración del equipo
- 6.- Iniciar/parar medición
- 7.- Soportes del equipo.



- 14.- Activa/desactiva rango automático
- 15.- Muestra el menú para guardar las medidas tomadas
- 16.- Muestra el menú de medidas automáticas
- 17.- Despliega el menú de adquisiciones
- 18.- Muestra el menú de ayuda
- 19.- Adquiere un solo ciclo de la forma de onda
- 20.- Restablece el equipo a configuraciones de fábrica
- 21.- Muestra el menú en la pantalla
- 22.- Muestra el menú de cursores
- 23.- Despliega el menú de utilidades
- 24.- Muestra y oculta rápidamente las formas de onda de referencia de la memoria del equipo.

Figura 15. Controles verticales del osciloscopio



Fuente: Tektronix

- 25.- Control de posición vertical canal 1
- 26.- Activar/desactivar canal 1
- 27.- Menú de operaciones matemáticas de forma de onda
- 28.- Selector de escala canal 1
- 29.- Control de posición vertical canal 2
- 30.- Activar/desactivar canal 2
- 31.- Selector de escala canal 2
- 32.- Control de posición horizontal

- 33.- Muestra el menú horizontal
- 34.- Establece la posición horizontal a cero
- 35.- selector de escala horizontal

Figura 16. Controles verticales del osciloscopio



Fuente: Tektronix

- 36.- Selector nivel de disparo
- 37.- Muestra el menú de disparo
- 38.- Ubicación del nivel de disparo en el punto medio vertical
- 39.- Forzar disparo
- 40.- Visualización de forma de onda de disparo manteniéndola presionado

Figura 17. Controles de disparo del osciloscopio



Fuente: Tektronix

- 41.- Canal para cable de seguridad
- 42.- Puerto cable de alimentación
- 43.- Puerto MHS para comunicación con el ordenador

Figura 18. Componentes de la parte posterior del osciloscopio



Fuente: Tektronix

Figura 19. Sonda del osciloscopio



Fuente: Tektronix

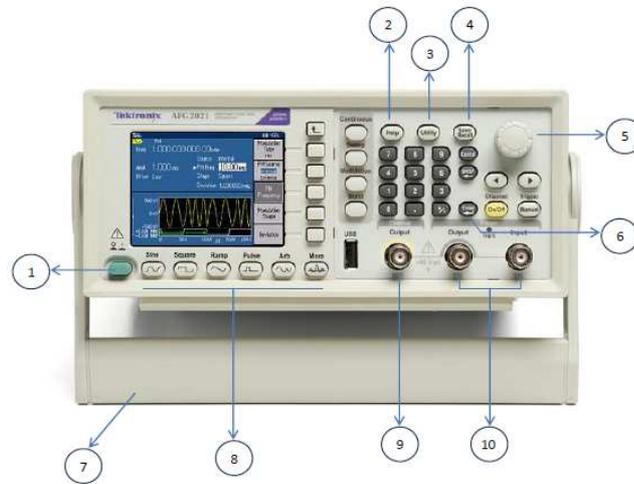
- 44.- Conector de la sonda al equipo
- 45.- Punta de medición
- 46.- Tierra de la sonda

**3.2.2** *Componentes del generador de funciones arbitrario AFG 2021.* El generador de funciones arbitrario ofrece las funciones de tres generadores en uno.

- Generador de funciones de 20 MHz.
- Generador de pulsos de 10 MHz.

- Generador de formas de onda arbitrarias de 14 bits.

Figura 20. Partes del generador de funciones arbitrario AFG 2021



Fuente: Tektronix

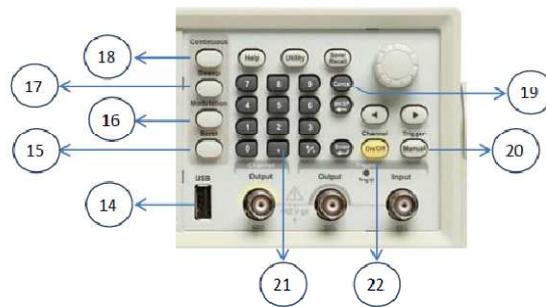
- 1.- Botón encendido/apagado
- 2.- Menú de ayuda
- 3.- Menú de utilidades
- 4.- Guardar datos obtenidos
- 5.- Control propósito general
- 6.- Entrar al menú seleccionado
- 7.- Soporte del equipo
- 8.- Botones de funciones
- 9.- Conector de salida de canal
- 10.-Conectores entradas y salida de disparo
- 11.- Pantalla
- 12.- Botón de regreso menú anterior
- 13.- Botones de bisel para acceso rápido a los distintos menús

Figura 21. Interfaz de la pantalla



Fuente: Tektronix

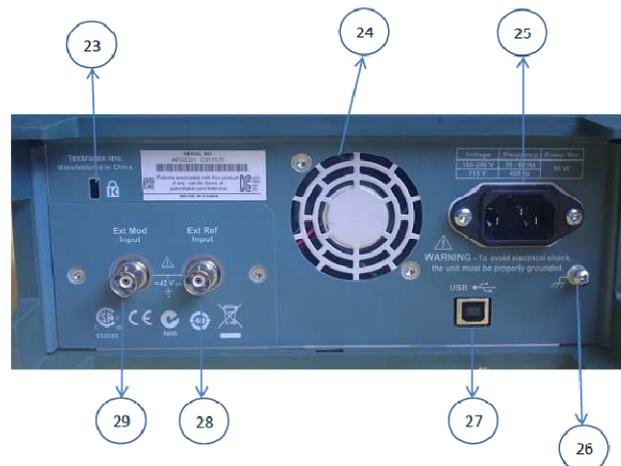
Figura 22. Botones de control y de menú del generador de funciones



Fuente: Tektronix

- 14.- Puerto USB para conexión de memoria
- 15.- Botón del modo RUN (Ejecución)
- 16.- Modulación de la función de disparo
- 17.- Botón de barrido
- 18.- Función continua
- 19.- Cancelar opción seleccionada
- 20.- Disparo manual
- 21.- Teclado numérico
- 22.- Encender/apagar canal

Figura 23. Componentes de la parte posterior del generador de funciones



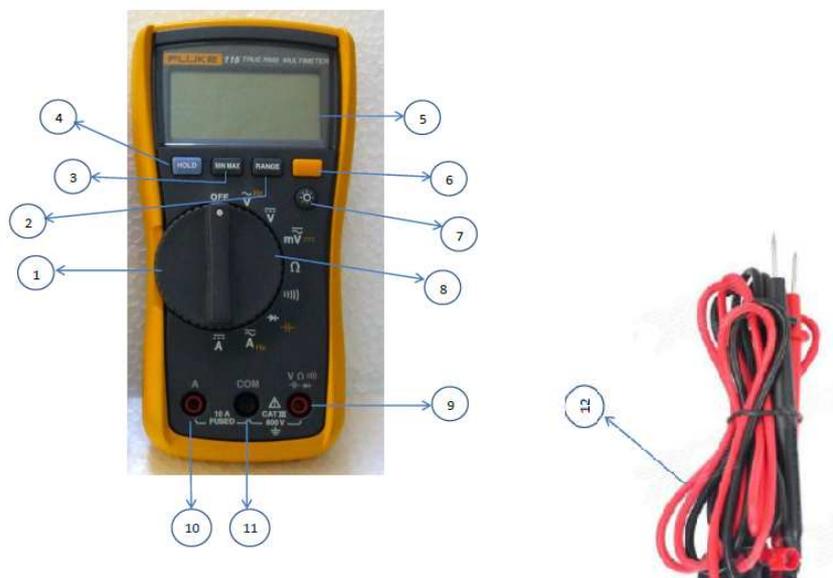
Fuente: Tektronix

- 23.- Ranura para cable de seguridad
- 24.- Rejilla de ventilador
- 25.- Puerto para cable de alimentación

- 26.- Tornillo de conexión al chasis del equipo
- 27.- Puerto LAN para conexión del equipo a una red
- 28.- Conector EXT REF INPUT para entrada de referencia externa
- 29.- Conector EXT MODULATION INPUT para la entrada de modulación externa

**3.2.3 Componentes del multímetro digital FLUKE 115.** Este multímetro digital está compuesto de las siguientes partes funcionales:

Figura 24. Partes del multímetro digital FLUKE 115 y puntas de medida



Fuente: Fluke

- 1.- Protección anti golpe del equipo
- 2.- Rango de medida
- 3.- Registro de mínimo- máximo de la lectura
- 4.- Botón de retención de la lectura tomada
- 5.- Pantalla retro iluminada
- 6.- Reseteo de configuración
- 7.- Encendido/apagado iluminación de pantalla
- 8.- Perilla de selección de parámetros de medida
- 9.- Entrada para medida de resistencia, voltaje y medida de diodos
- 10.- Entrada para medida de corriente
- 11.- Entrada punto común
- 12.- Puntas de medida

### 3.2.4 Componentes de pinza amperimétrica FLUKE 376.

Figura 25. Componentes de la pinza amperimétrica FLUKE 376 y sonda iFLEX



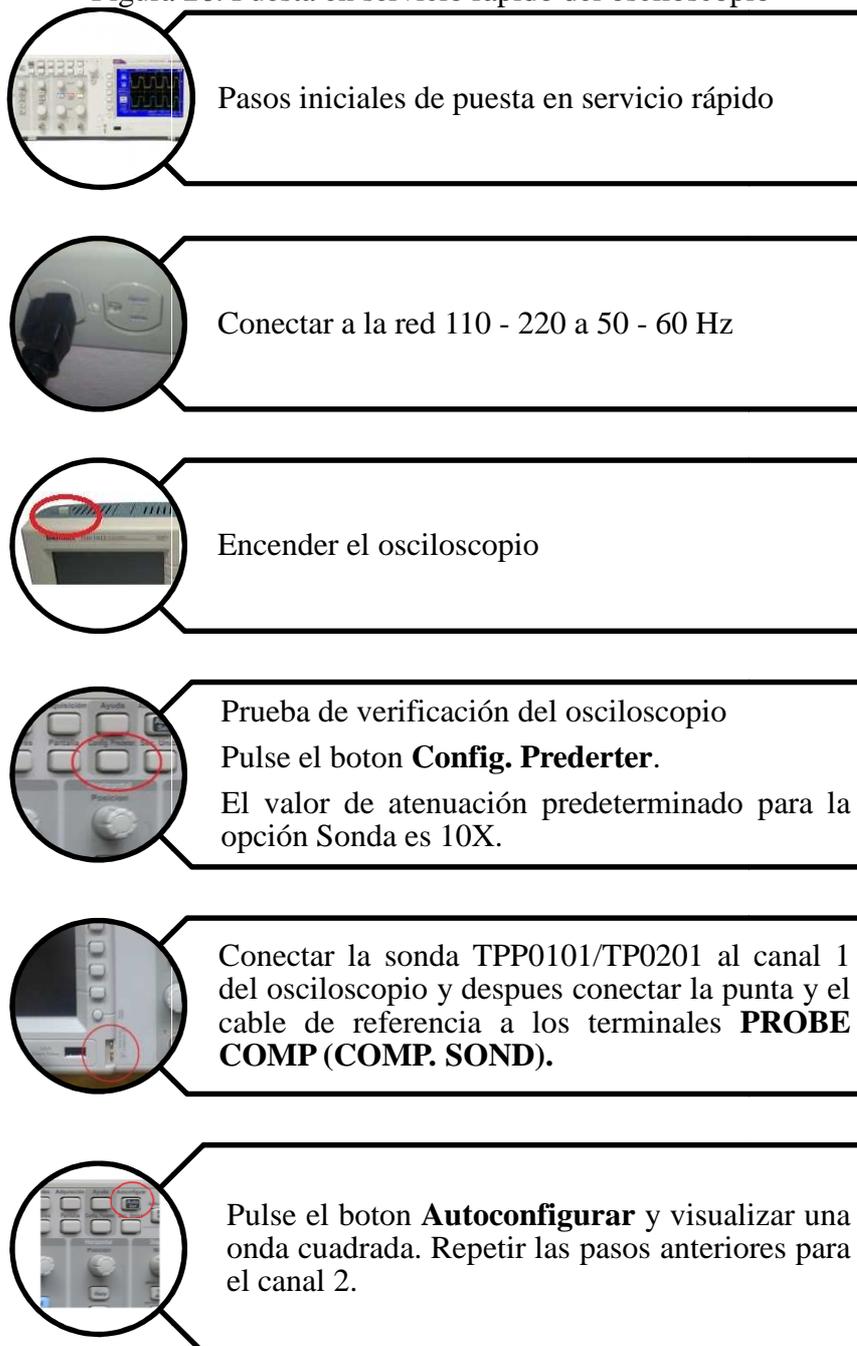
Fuente: Fluke

- 1.- Mordaza móvil
- 2.- Sonda
- 3.- Seguro de la sonda
- 4.- Perilla de selección de parámetros de medida
- 5.- Encendido/apagado iluminación de pantalla
- 6.- Conector de la sonda
- 7.- Registro mínimo – máximo de la medida
- 8.- Rango de medida
- 9.-Pantalla retro iluminada
- 10.- Botón de retención de la lectura tomada
- 11.- Botón para abrir la mordaza

### 3.3 Programación del osciloscopio digital

Para un buen manejo del osciloscopio y la toma de medidas se debe tener a consideración múltiples aspectos en la programación, pero por más complicado que pueda parecer el equipo, se debe dar pasos simplificados para iniciar a operar el mismo.

Figura 26. Puesta en servicio rápido del osciloscopio

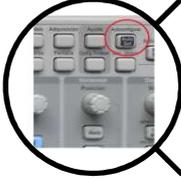


Fuente: Autores

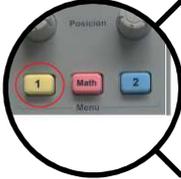
La compensación de la sonda nos ayudara a escoger la manera más fácil para poder ajustar el rizado del espectro y tomar consecuentemente medidas eficaces de las diferentes señales.

La forma de realizar la compensación se lo realiza de forma manual utilizando una herramienta adicional que viene en el kit del osciloscopio (destornillador), de la atenuación manual como se utilice la herramienta dependerá la forma de la onda.

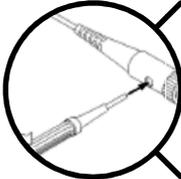
Figura 27. Compensación de la sonda- osciloscopio



**Compensar la sonda.** Pulse el boton **Autoconfigurar**



En los controles verticales pulse la opción **1 - Sonda - Voltaje - Atenuación** y seleccione 10X



Si es necesario ajuste la sonda de forma manual con el destornillador introduciendo en el conmutador de atenuación.

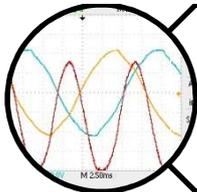


Comprobar el aspecto de la forma de onda

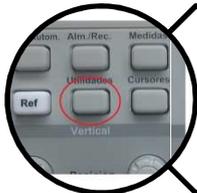
Fuente: Autores

La autocalibración se lo debe realizar teniendo encendido el osciloscopio con anterioridad de 20 minutos para que entre en funcionamiento todas las partes y obtener un autocalibrado correcto. Una vez iniciado el autocalibrado no apagar el equipo, porque puede ocasionar daños de consideración al equipo.

Figura 28. Autocalibrado del osciloscopio



**Autocalibrado.** Esta rutina se lo realiza para obtener un valor de precisión de las medidas.



Desconectar las sondas y acceder a la opción **Utilidades - Autocalibrado** y seguir las instrucciones que aparecen en pantalla.

Fuente: Autores

### 3.4 Programación del generador de señales.

Los siguientes procedimientos muestran como conectar el equipo a la fuente de alimentación para encenderlo y apagarlo.

Figura 29. Encendido y apagado del generador de señales



Enchufe el cable de alimentación de CA en el receptáculo correspondiente del panel posterior y el otro extremo a una salida conectada a tierra.

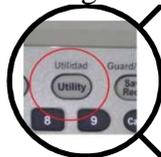


Pulse el botón de encendido del panel frontal para encender el instrumento. Pulse nuevamente para apagarlo.

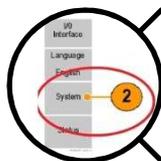
Fuente: Autores

En la configuración predeterminada se puede cambiar los valores de encendido por los últimos valores guardados en el momento del apagado siguiendo este procedimiento:

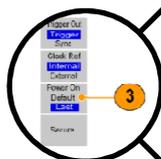
Figura 30. Cambio de valores del generador de funciones



Pulse el botón **Utility** (Utilidad) del panel frontal.



Pulse el botón de bisel **System** (Sistema).



Pulse el botón de bisel **Power On** (Encendido) para seleccionar los valores de encendido de entre las siguientes opciones:

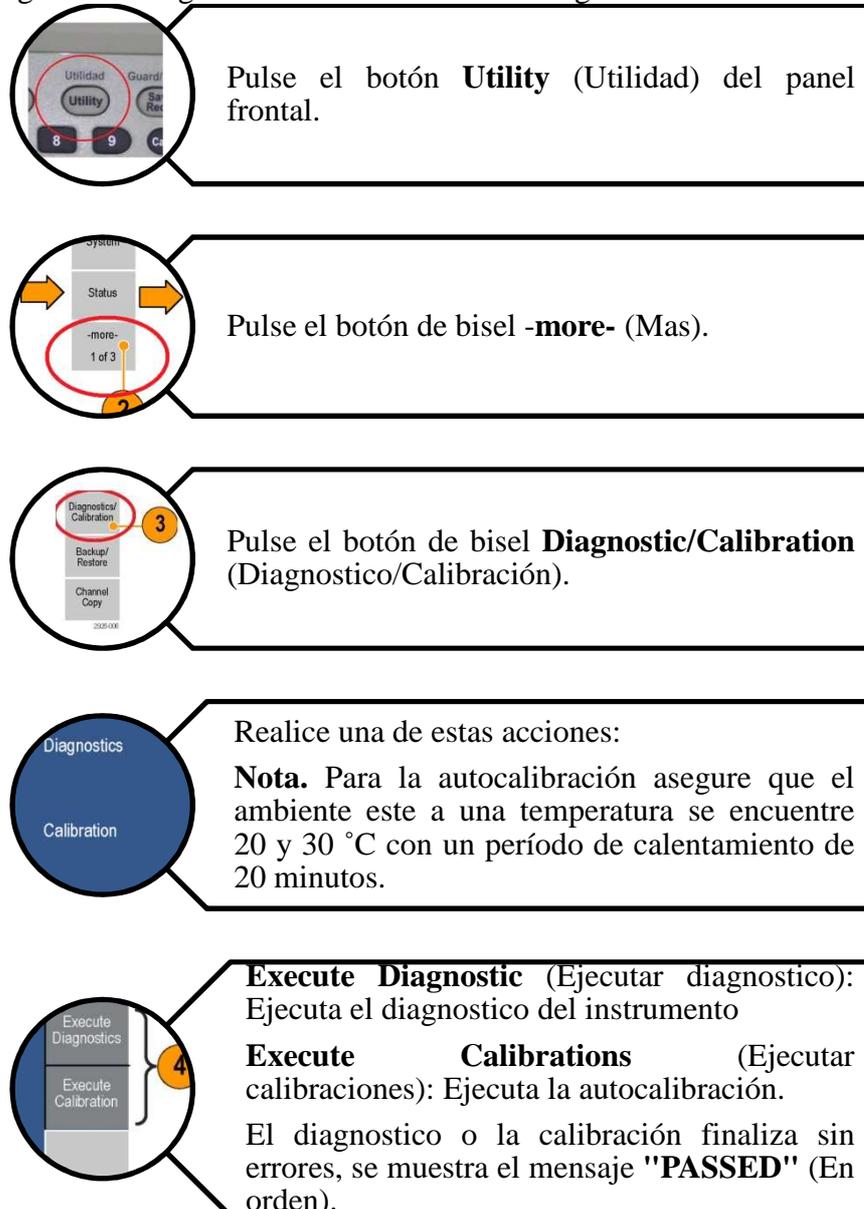
**Default** (Predeterminados) restablece los valores predeterminados cuando se enciende el instrumento.

**Last** (Últimos) restablece los valores del instrumento cuando se apagó la última vez.

Fuente: Autores

El instrumento lleva a cabo una serie limitada de comprobaciones de hardware al encenderse. También puede realizar un diagnóstico manual y una auto calibración mediante el menú Utility (Utilidad).

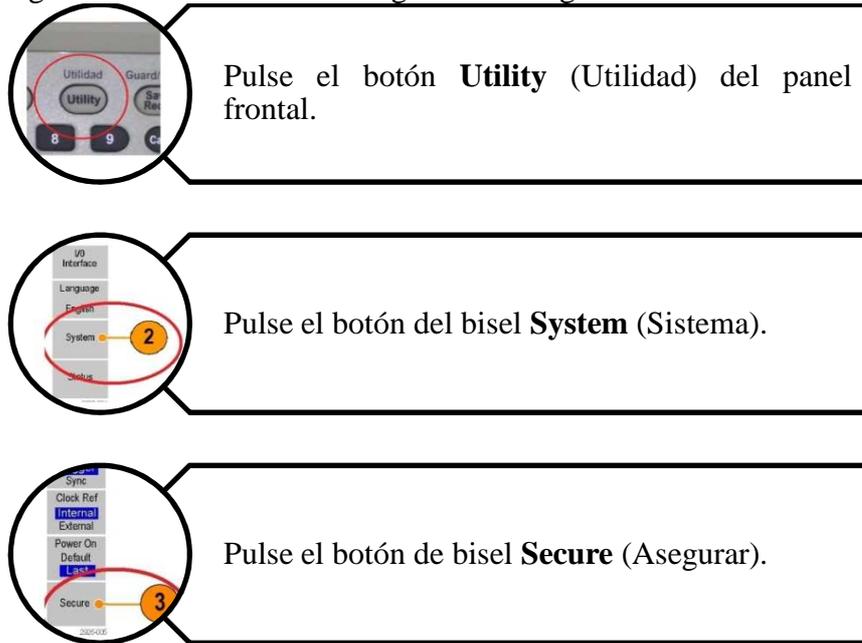
Figura 31. Diagnóstico / Autocalibración del generador de funciones



Fuente: Autores

Si lo desea, puede borrar toda la configuración del instrumento y las formas de onda de la memoria interna del instrumento; para ello, siga este procedimiento. Puede restablecer la configuración predeterminada cuando quiera sin borrar la memoria, para ello utilice el procedimiento de configuración predeterminada.

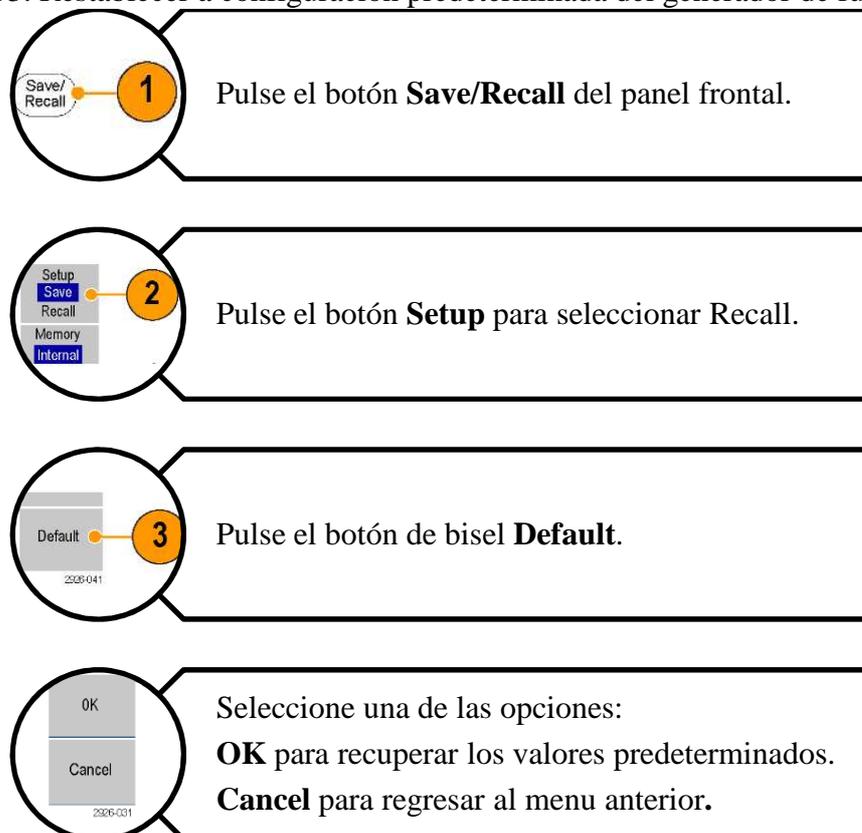
Figura 32. Borrado de la configuración del generador de funciones



Fuente: Autores

Cuando desee restablecer los valores predeterminados del instrumento por primera vez, utilice el botón Guard/Recup en el panel frontal de la manera siguiente:

Figura 33. Restablecer a configuración predeterminada del generador de funciones



Fuente: Autores

### 3.5 Conexión del motor eléctrico y el variador de frecuencia.

Como la frecuencia de alimentación que entrega las compañías de electricidad es constante, la velocidad de los motores asíncronos es constante, salvo que se varíe el número de polos, el deslizamiento o la frecuencia.

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (1)$$

$$N_s = \frac{f120}{\#P} \quad (2)$$

$$N_r = N_s(1 - s) = \frac{120f}{\#P}(1 - s) \quad (3)$$

Dónde:

$N_r$  = Velocidad de rotación.

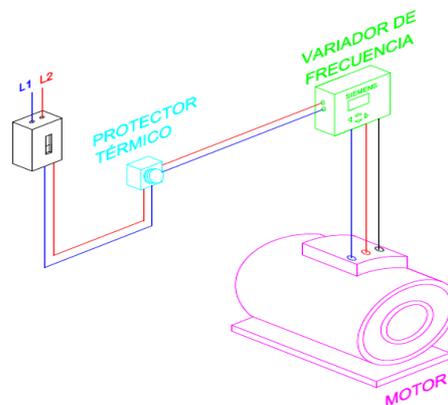
$f$  = Frecuencia.

$s$  = Deslizamiento.

$\#P$  = Número de polos.

Una vez que se tiene un motor ya fabricado en concreto, la manera más fácil y práctica para controlar la velocidad es mediante la utilización de un variador de frecuencia, ya que los otros parámetros como el deslizamiento, interfieren la diferencia relativa entre la velocidad del campo y la velocidad del rotor; y el otro parámetro que es la alteración del número de polos, suelen ser procedimientos que alteran toda la mecánica del motor.

Figura 34. Conexión variador de frecuencia-motor eléctrico



Fuente: Autores

Para realizar el análisis de las señales que producen los variadores en motores eléctricos, se utilizara el convertidor SINAMICS G110, que viene ajustado ya de fábrica para emplearlo en aplicaciones estándar V/f con un motor asincrónico trifásico de 4 polos que tenga los mismos datos de potencia que el convertidor.

### 3.5.1 *Características del variador SINAMICS G110.*

Los convertidores SINAMICS G110 son convertidores de frecuencia para regular la velocidad en motores trifásicos, los diferentes modelos que se suministran cubren un margen de potencia de 120 W a 3,0 kW en redes monofásicas. Los convertidores están controlados por microprocesador y utilizan tecnología IGBT de última generación. Esto los hace fiables y versátiles; un método especial de modulación por ancho de impulsos con frecuencia de pulsación seleccionable permite un funcionamiento silencioso del motor. Extensas funciones de seguridad ofrecen una protección excelente tanto del convertidor como del motor.

Características principales:

- Puesta en servicio rápida.
- Puede funcionar en redes de alimentación IT (modelos sin filtro).
- Altas frecuencias de pulsación para funcionamiento silencioso del motor.
- La información de estado y alarmas se visualizan en el panel BOP (obtenible como opción).
- BOP opcional con funcionalidad de copia de parámetros para juegos de parámetros.
- Kit de conexión para el enlace PC-convertidor (RS232).

Funciones:

- Freno por inyección de corriente continua integrada.
- Función de potenciómetro motorizado.
- Tiempos de aceleración y deceleración ajustables con redondeo parametrizable.

- Rearranque automático después de cortes de red.
- Rearranque al vuelo.

### 3.6 Programación del variador de frecuencia.

La puesta en servicio estándar se puede llevar a cabo con uno de los métodos que se indican a continuación y es adecuada para la mayoría de las aplicaciones; usando el panel de operaciones BOP (Basic Operator Panel).

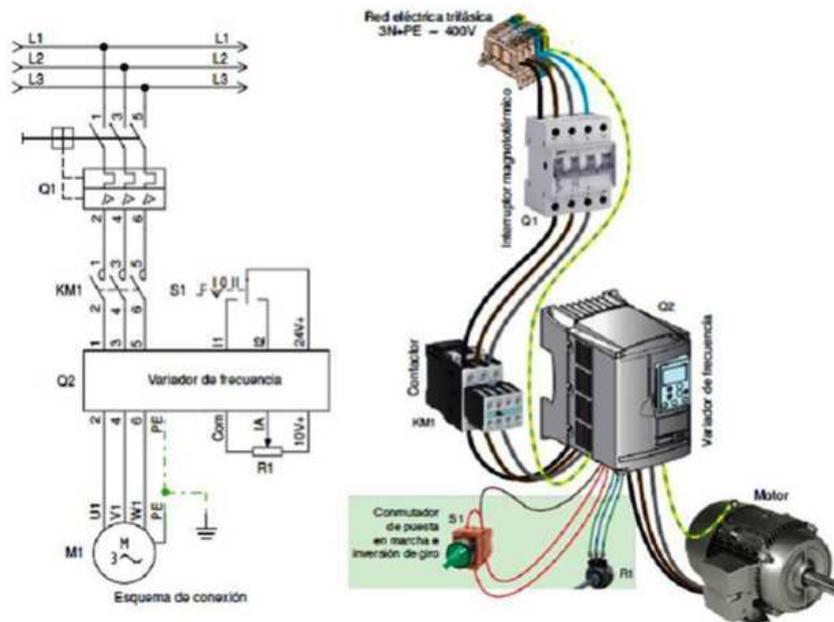
Tabla 7. Botones y sus funciones del variador de frecuencia

Panel/Botón	Función	Efectos
	Indicación de estado	La pantalla de cristal líquido muestra ajustes actuales del convertidor.
	Marcha	Al pulsar este botón se arrancará el convertidor. Por defecto está bloqueado. Para activarlo: P0700 = 1 o P0719 = 10...15
	Parada	OFF1 Pulsando este botón se para el motor siguiendo la rampa de deceleración seleccionada. Para activarlo: P0700 = 1 o P0719 = 10...15 OFF2 pulsando el botón dos veces (o una vez prolongada) el motor se detendrá de forma natural (inercia hasta parada)
	Invertir sentido	Pulsar este botón para cambiar el sentido de giro del motor. El inverso se indica mediante un signo negativo (-) o un punto decimal intermitente. Por defecto está bloqueado. Para activarlo: P0700 = 1 o P0719 = 10...15
	Jog motor	Pulsando este botón en estado <b>listo</b> el motor arranca y gira a la frecuencia Jog preseleccionada. Pulsando este botón mientras el convertidor no tiene salida hace que el motor arranque y gire a la frecuencia Jog preseleccionada.
	Función	Muestra lo siguiente comenzando por cualquier parámetro durante la operación: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tensión en circuito intermedio V.</li> <li>2. Frecuencia de salida Hz.</li> <li>3. Tensión de salida V.</li> <li>4. El valor seleccionado en P0005.</li> </ol> <p>Cuando aparecen mensajes de alarma y error.</p>
	Acceder a parámetros	Pulsando este botón es posible acceder a los parámetros.
	Subir valor	Pulsando este botón se sube el valor visualizado.
	Bajar valor	Pulsando este botón se baja el valor visualizado.

Fuente: Siemens

Con el panel de operaciones BOP se pueden modificar señales de control y consignas de velocidad, apretando el botón pertinente; con el BOP también se tiene fácilmente acceso a los parámetros. El BOP ofrece la posibilidad de realizar una puesta de servicio completa.

Figura 35. Circuito de control del variador de frecuencia-motor eléctrico



Fuente: <http://automatismoindustrial.com/el-variador-de-frecuencia/>

La puesta en servicio rápida se adapta el convertidor al motor y se ajustan parámetros importantes para las exigencias tecnológicas. Los parámetros marcados con \*ofrecen más posibilidades de ajuste de las que se mencionan aquí. Para más detalles se debe consultar la guía de parámetros en el catálogo del equipo.

Tabla 8. Pasos para puesta en servicio rápida del variador de frecuencia

Marcha	Ajustes
P0003 = 2	<b>Nivel de acceso de usuario *1</b> 1 Estándar (aplicación simple) 2 extendido (aplicación estándar) 3 Experto (aplicación compleja)
P0010 = 1	<b>Parámetros de puesta en marcha *0</b> 0 Preparado 1 Guía básica 30 Ajuste de fabrica <b>Nota:</b> para parametrizar los datos de la placa de características del motor hay que poner P0010 = 1.
P0100 =....	<b>Europa/América0</b> (Entrada de la frecuencia de red)

P0100 = 1,2 P0100 = 0	0 Europa (kW), 50 Hz 1 Norte América (hp), 60 Hz 2 Norte América (kW), 60 Hz <b>Nota:</b> Si P0100 = 0 o 1 determina la posición del interruptor DIP2(2) el valor de P0100.
P0304 =.... P0304 =....	<b>Tensión nominal del motor</b> 230 (Tensión nominal motor [V] de la placa de características.) La tensión nominal del motor debe corresponder a la conexión real del motor (estrella/triangulo).
P0305 =.... P0305 =....	<b>Corriente nominal del motor</b> Espec. FU (Intensidad nominal del motor [A] de la placa de características.)
P0307 =.... P0307 =....	<b>Potencia nominal del motor</b> Espec. FU (potencia nominal del motor [kW/hp] de la placa de características) Si P0100 = 0 o 2 entrada en kW. Si P0100 = 1 en hp
P0308 =.... P0308 =....	<b>CosPhi nominal del motor</b> Espec. FU (Factor de potencia nominal del motor [cosPhi] de la placa de características)
P0309 =.... P0309 =....	<b>Rendimiento nominal del motor</b> Espec. FU (Rendimiento nominal del motor en [%] de la placa de características)
P0310 =....	<b>Frecuencia nominal del motor</b> 50.00 Hz (Frecuencia nominal motor [Hz] de la placa de características)
P0311 =....	<b>Velocidad nominal del motor</b> Espec. FU (Velocidad nominal motor [rpm] de la placa de características)
P0335 =....	<b>Refrigeración del motor</b> 0 (Selecciona el sistema de refrigeración utilizado) 0 Autoventilado 1 Ventilación forzada
P0640 =....	<b>Factor sobrecarga motor</b> 150% (Define el límite de intensidad de sobrecarga del motor en [%] relativo a P0305)
P0700 =....	<b>Selección fuente de ordenes</b> 2/5 (condigna de frecuencia) 0 Ajuste por defecto de fabrica 1 BOP (teclado) 2 Terminal 5 USS
P1000 =....	<b>Selección consigna de frecuencia</b> 2/5 (Consigna d frecuencia) 0 Ajuste por defecto de fábrica. 1 BOP (teclado) 2 Consigna analógica 3 Frecuencia fija 5 USS
P1080 =....	<b>Frecuencia mínima</b> 0.00 Hz (En Hz) Ajusta la frecuencia mínima del motor a la cual el motor funcionara
P1082 =....	<b>Frecuencia máx.</b> 50.00 Hz (En Hz) Ajusta la frecuencia de motor máxima a la cual el motor funcionara
P1120 =....	<b>Tiempo de aceleración</b> 10.00 s (En s) Tiempo utilizado por el motor para acelerar desde el punto muerto hasta la frecuencia máxima del motor (P1082).

P1121 =....	<b>Tiempo de deceleración</b> 10.00 s (En s) Tiempo utilizado por el motor para desacelerar desde la frecuencia máxima del motor (P1082) hasta el punto muerto cuando no se utiliza el redondeo.
P1135 =....	<b>Tiempo deceleración OFF3</b> 5.00 s (En s) Define el tiempo de deceleración desde la frecuencia máxima hasta el punto muerto para una orden OFF3.
P1300 =....	<b>Modo de control</b> 0 (Entrada del modo de control deseado) 0 V/f con característica lineal 2 V/f con característica parabólica 3 V/f con característica programable
P3900 =....	<b>Fin de la puesta en servicio ráp. (comienza calculo motor)</b> 0 0 Sin puesta en marcha rápida (sin cálculos de motor) 1 Inicio puesta en marcha rápida con borrado de ajustes de fábrica. 2 Inicio puesta en marcha rápida. 3 Inicio puesta en marcha rápida solo para los datos del motor. <b>Nota</b> Para P3900 = 1, 2, 3 → el P0340 se pone internamente = 1 y se calculan los datos correspondientes.
FIN	<b>Fin de la puerta en servicio ráp. / Ajuste del accionamiento.</b> En el caso que tenga que parametrizar otras funciones en el convertir utilice las instrucciones “puesta en servicio según aplicación”. Se recomienda para accionamientos dinámicos.

Fuente: Siemens

### 3.7 Instalación del software para transmisión de datos

National Instruments Corporation proporciona el software LabVIEW SignalExpress (tm) Tektronix Edition, la conectividad USB plug-n-play de la instrumentación industrial, para conectar entre equipo y PC. Con el software SignalExpress se puede adquirir, analizar y presentar datos rápidamente desde cientos de dispositivos e instrumentos de adquisición de datos sin requerir de programación. Cuenta con soporte incluido para cientos de instrumentos de adquisición de datos modulares y autónomos.

Figura 36. CD manual de usuario e instalación del software SignalExpress



Fuente: Tektronix

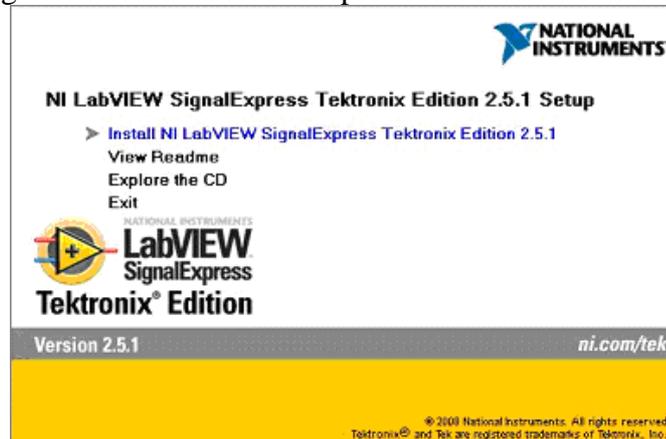
Requerimientos de sistema:

- 512 MB de memoria
- Procesador Pentium 4 o equivalente (Pentium III o Celeron 600 MHz mínimo).

Para instalar al software SignalExpress se debe seguir los siguientes pasos:

- Insertar el CD del software SignalExpress dentro del lector del CD o DVD.

Figura 37. Ventana de inicio para instalacion del software



Fuente: Tektronix

- Dar clic en Install NI LabVIEW SignalExpress Tektronix Edition 2.5.1.
- Siga las instrucciones que aparece en la pantalla para completar la instalación. Una vez completado la instalación del software SignalExpress, ir a la siguiente sección para instalar los archivos faltantes.

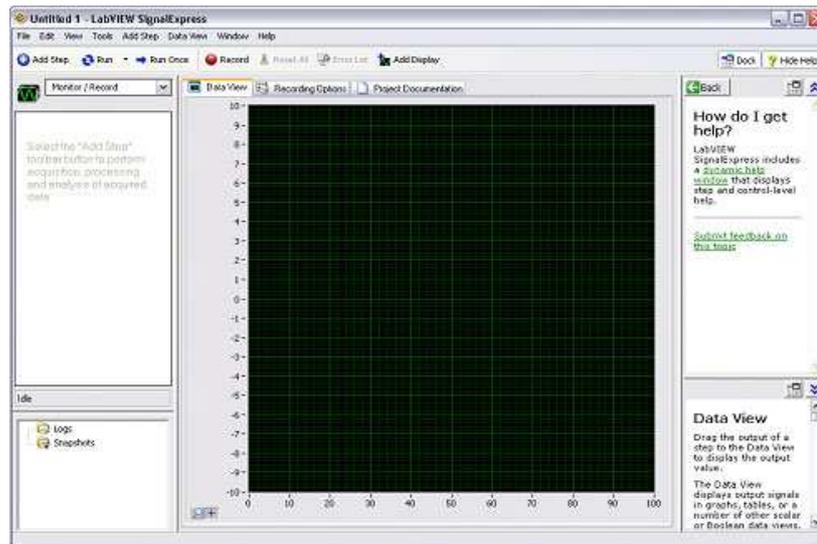
### 3.8 Manejo del software

Para conectar y controlar el instrumento utilizando SignalExpress, se debe realizar los siguientes pasos:

- Conectar el osciloscopio a la fuente eléctrica.

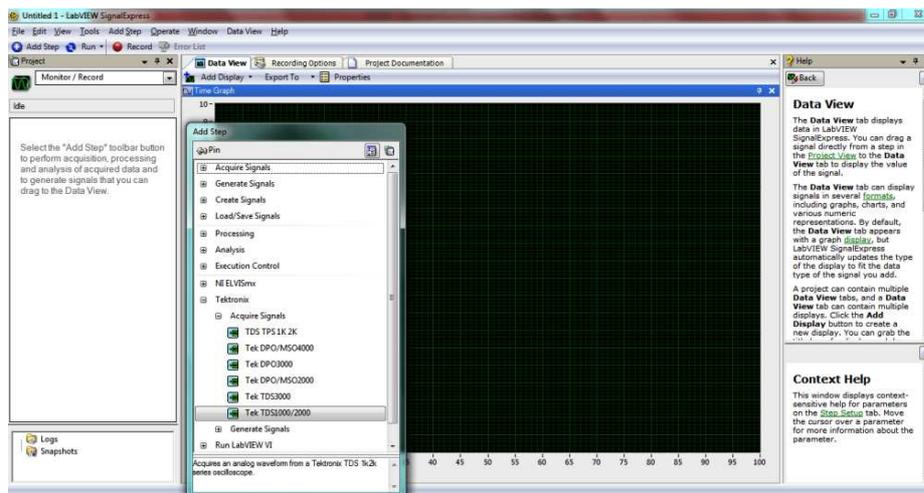
- Conectar el instrumento al ordenador con un cable adecuado que elija(USB, GPIB, RS-232/USB, Ethernet).
- Encienda el instrumento. El software SignalExpress puede funcionar de forma automática cuando se encienda el instrumento si el PC reconoce que un instrumento está conectado.

Figura 38. Ventana de SignalExpress



Fuente: Tektronix

Figura 39. Añadiendo instrumento de fuente de señal



Fuente: Tektronix

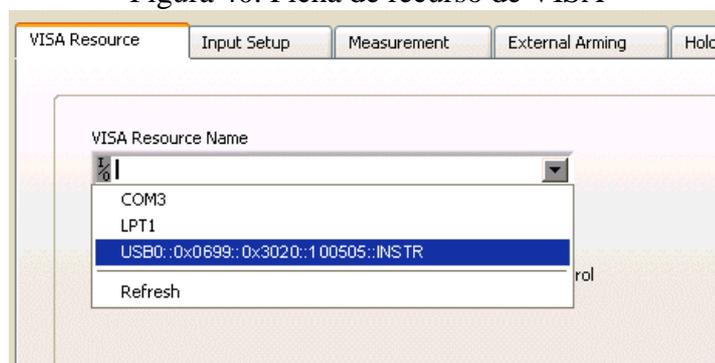
- Ejecutar el software SignalExpress en el PC si no se inicia automáticamente.

- Añadir el instrumento al software. Haga clic en Add Step > Tektronix > Acquire Signals (para los instrumentos de fuente de señal) y seleccione el paso que apoya el instrumento. SignalExpress carga el paso y muestra una lista de instrumentos (seleccionar el modelo del instrumento).

NOTA: SignalExpress incluye varias herramientas para Tektronix. Si un instrumento no está en las señales de adquirir o generar señales, se debe chequear que se ha instalado los archivos de paso requerido.

- En la pestaña de VISA Resource, haga clic en el instrumento o recurso de nombre enumerado desplegable y seleccionar el aparato que está conectado a la PC. La siguiente figura muestra la ficha Recurso VISA FCA/MCA3000 con una conexión USB de instrumento MCA3020 (número de fábrica de Tektronix ID 0699, instrumento identificador de 3020, y número de serie 100.505 instrumento).

Figura 40. Ficha de recurso de VISA



Fuente: Tektronix

Para los instrumentos conectados a la red, la lista muestra recursos VISA, la dirección IP de los instrumentos conectados a la red. Seleccione la dirección IP asignada a instrumento al que desea acceder.

Las fichas de configuración y campos son diferentes para cada instrumento a conectar.

Si no se ve el instrumento conectado en la lista, haga actualizar en la lista (o el botón detectar automáticamente si está disponible) para actualizar la lista. Si el instrumento aun no aparece, compruebe lo siguiente:

- Que los cables de la PC y los instrumentos estén completamente insertados en sus conectores.
- Que los ajustes de comunicación del instrumento son correctas.
- Que el instrumento pueda acceder en la red (dirección IP del instrumento).
- Hacer clic en ejecutar una vez, para configurar los parámetros del instrumento y/o adquirir un valor de medición, dependiendo del instrumento conectado.

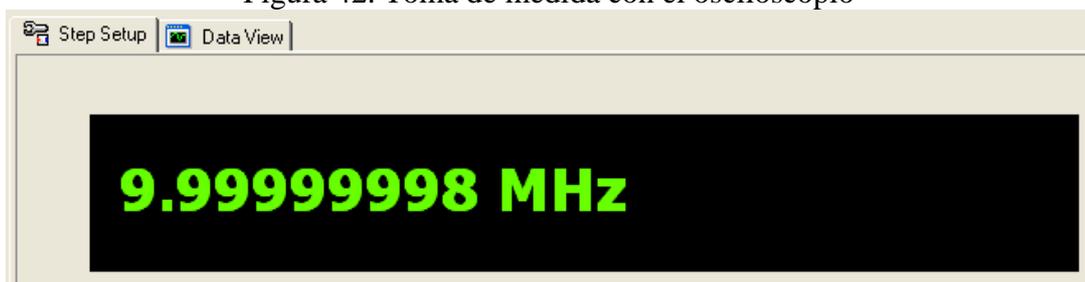
Figura 41. Configuración de parámetros del instrumento



Fuente: Tektronix

- Para que los instrumentos adquieran la señal, verifique que SignalExpress adquirió una medición que coincide con la lectura principal del instrumento. La siguiente figura muestra la medición de una FCA3000 de la Serie Tektronix Timer/Contador/Analizador.

Figura 42. Toma de medida con el osciloscopio



Fuente: Tektronix

Para generar señales, verificar que SignalExpress establezca al instrumento los parámetros especificados en Configuración de Paso (Step Setup tab).

## CAPÍTULO IV

### 4. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS SEÑALES DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS

En la situación actual, aunque las técnicas de control son continuamente mejoradas, el convertidor de frecuencia, proporciona al motor una alimentación con forma de onda no sinusoidal, de tipología variable, generalmente formada a partir de pulsos rectangulares de diferente anchura o amplitud.

Este tipo de alimentación, con un alto contenido en armónicos, es el origen de una serie de problemas nuevos o incrementados sobre los ya existentes en el motor, de entre los que se puede destacar:

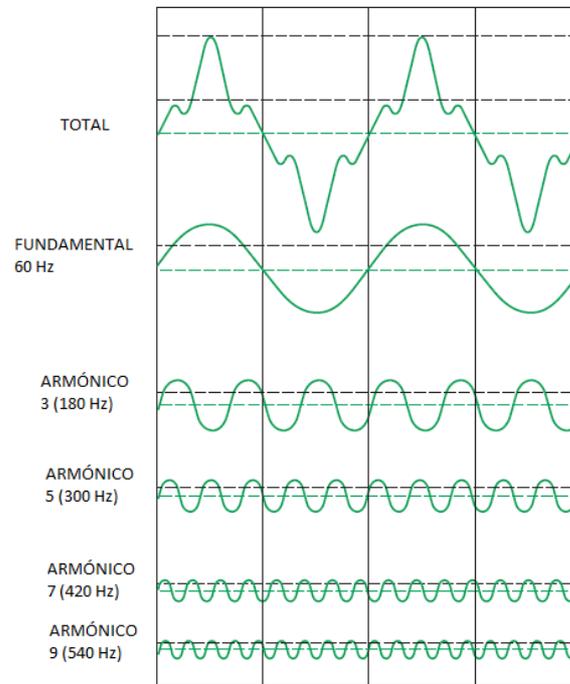
- Incremento de pérdidas adicionales en los devanados del estator, en el rotor y en el hierro.
- Disminución del par motor.
- Aparición de pares pulsatorios.
- Incremento del ruido magnético y vibraciones.
- Incremento de las tensiones inducidas en el eje, que originan el paso de corriente por los rodamientos.
- Mayores esfuerzos de origen eléctrico sobre el aislamiento, que aceleran su degradación.

Los armónicos pueden ser tanto de voltaje como de intensidad dependiendo de las causas que las provocan. El VFD crea armónicos de voltaje, por la fuente como resultado de una corriente muy distorsionada. Para entrar a utilizar las normas que califican o establecen los rangos de las señales, vamos a explicar de forma rápida lo que son los armónicos.

Estas señales son componentes sinusoidales de una señal periódica que tiene una

frecuencia la cual es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

Figura 43. Distorsión armónica



Fuente: Manual eléctrico SCHNEIDER ELECTRIC

Los armónicos de secuencia positiva tienden a hacer girar el motor en el mismo sentido que la componente fundamental, generando una sobre corriente que provocando el calentamiento del motor, iniciando deterioros en el aislamiento entre los devanados, reduciendo la vida útil del motor y aumentando el riesgo de averías en el mismo. Los armónicos de secuencia negativa hacen o tratan de girar el motor en sentido contrario, frenándolo, provocando también calentamientos y la reducción de la vida útil de ejes y engranajes. *La Secuencia de los armónicos* se clasifica por su orden, frecuencia y secuencia, tal como se muestra en la tabla.

Tabla 9. Secuencia de armónicos

Orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Frecuencia	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	

Fuente: Autores

Los armónicos de secuencia 0 producen una intensidad en el neutro.

Para poder definir que secuencia tiene cada armónico se tiene las siguientes formulas:

- Los armónicos de orden  $4, 7, \dots (3k + 1)$ , con  $k = 1, 2$ , son de secuencia positiva.
- Los armónicos de orden  $2, 5, \dots (3k + 2)$ , son de secuencia negativa.
- Los armónicos de orden  $3, 6, \dots (3k)$ , son de secuencia cero.

En redes trifásicas, los armónicos que encontramos con más frecuencia y por tanto los más problemáticos, son los armónicos de rango impar. La compensación de los armónicos hasta rango 13 es imperativa, y una buena compensación tendrá en cuenta los armónicos hasta el rango 25; teniendo a ser medidos normalmente para motores eléctricos los armónicos de rango 3, 5, 7, 11, y el 13.

Para definir los efectos de los armónicos de los motores eléctricos trifásicos conectados a un variador de frecuencia se utilizara la norma IEEE 519 y la norma EN 50160, donde cada norma tiene sus respectivos rangos admisibles en porcentaje de los valores de tensiones en armónicos individuales y la distorsión armónica total THD.

#### **4.1 Fórmulas para el cálculo del porcentaje de las medidas tomadas para la calidad de energía eléctrica**

Muchos problemas y armónicos pueden ser resueltos reubicando los equipos, instalando filtros o limitando algunos pasos de la compensación del factor de potencia sin embargo, antes de llegar a una solución viable se deben identificar plenamente las distorsiones armónicas y sus fuentes lo cual puede hacerse en base a un análisis armónico y midiendo directamente en la instalación, las mediciones armónicas son una herramienta importante para la comprensión y el análisis armónico como también para propósitos de estandarización. Éstas son importantes tanto para el operador de red como para el usuario final ya que permiten caracterizar el comportamiento de las redes y desarrollar soluciones a partir de los problemas armónicos encontrados.

*THD (Distorsión armónica total).* La distorsión armónica de una forma de onda representa, el contenido en armónicos que tiene esa señal. La cantidad de distorsión que

presenta una forma de onda de tensión o corriente se cuantifica mediante un índice llamado distorsión armónica total (THD), definido para tensiones y corrientes por la ecuación, donde  $V_1$  y  $I_1$  son las componentes fundamentales de tensión y corriente respectivamente, y  $V_n$  y  $I_n$  los armónicos  $n$ , todos en términos eficaces. Si una resistencia que actúa como carga la cual contiene un THD muy alto presentara calentamientos excesivos (esto puede ser un indicador de la presencia de armónicos).

Tabla 10. Fórmulas para el cálculo de la calidad de energía eléctrica

Valor eficaz de la onda fundamental del voltaje (V)	Valor eficaz de la onda fundamental de la corriente (I)
Factor de distorsión total por armónicos, expresado en porcentaje	
$THD_V = \left( \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 + \dots + V_{40}^2}}{V_1} \right) * 100\%$	$THD_I = \left( \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots + I_{40}^2}}{I_1} \right) * 100\%$
Distorsión armónica individual	
$V_n \% = \frac{V_n}{V_1} * 100\%$	$I_n \% = \frac{I_n}{I_1} * 100\%$

Fuente: Norma EN 50160 y IEEE 519

La calidad de energía eléctrica se refiere a los requerimientos que debe tener el sistema para brindar una energía eléctrica confiable. Las fórmulas utilizadas para calcular los índices de calidad de la energía son las mostradas anteriormente en la tabla 10. Como se puede observar para efectos de esta regulación el CONELEC considera desde las armónicas 2 hasta la 40.

## 4.2 Normas EN 50160 y IEEE 519

### 4.2.1 Norma EN 50160

*General.* Esta Norma publicada en enero del 2001 es la versión oficial, en español de la Norma Europea EN 50160, publicada por CONELEC en noviembre de 1999; éste es un manual eléctrico donde se detalla los límites recomendados por la EN 50160,

relacionado con el índice de distorsión armónica individual y la distorsión armónica total (THD) de la tensión, comparando los valores obtenidos en la medición de la red con los valores máximos admisibles establecidos en la normativa vigente.

*Objetivo.* El objetivo indica el fin al que se dirige la ejecución del procedimiento y el campo de aplicación, determinando los niveles de contaminación armónica presentes en la tensión de alimentación.

*Propósito.* Ésta práctica proporciona directrices para la medición de los niveles de armónicos, determinando la situación de los valores medidos en relación con dichos límites, permitiendo evaluar cuantitativamente la calidad del producto técnico suministrado. En el ANEXO A se muestra los límites máximos admisibles para las tensiones armónicas expresadas en valores relativos, donde el orden de los armónicos tiene diferentes porcentajes de tensión relativa, con una tasa de distorsión armónica total (THD) de 8%.

#### **4.2.2** Norma IEEE 519

*General.* Los límites de distorsión armónica que aplican para los consumidores individuales de energía eléctrica y la calidad de energía eléctrica que el proveedor de electricidad debe suministrar al usuario final, establecidos por el estándar IEEE 519, titulado “Prácticas Recomendadas y Requisitos para el Control de Armónicas en Sistemas de Potencia Eléctricos”, límites que se establecen tanto para el beneficio del proveedor como para el beneficio del consumidor. Cabe destacar que en contraste con este estándar de la IEEE, la IEC marca límite de armónicas para las cargas individuales.

*Objetivo.* El objetivo que persigue la recomendación se centra en dos focos: redactar las pautas para la limitación de la polución armónica debida a los consumos individuales de energía eléctrica con el fin de evitar una distorsión armónica de la tensión de suministro ofrecida por las compañías eléctricas,

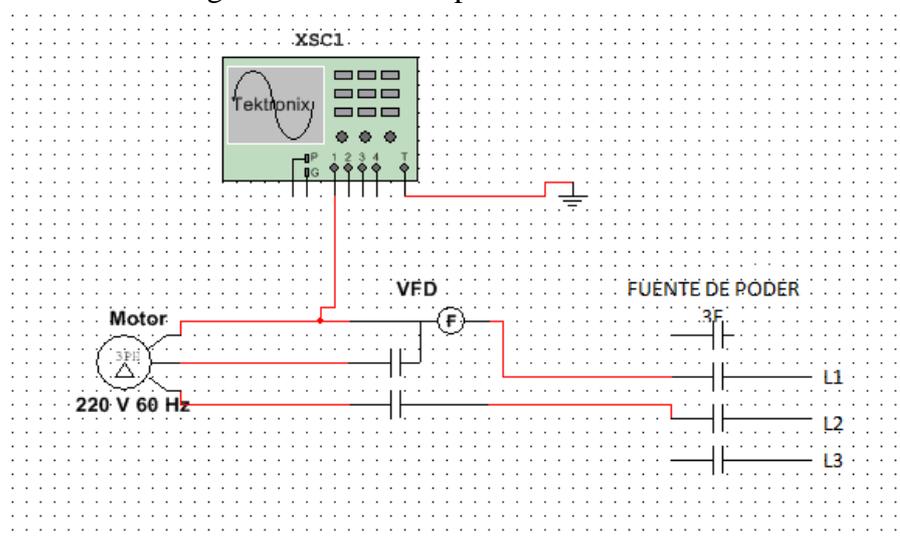
*Propósito.* El estándar IEEE 519 define los límites de armónicas ANEXO B. El objetivo de los límites de corriente es limitar la máxima frecuencia armónica individual

de voltaje a un 3% del fundamental y al THD del voltaje a un 5% para sistemas que no presenten una resonancia. Los límites establecidos por el CONELEC son un 3% mayor que los límites recomendados por la Norma IEEE 519. Esto nos indica que el CONELEC ha tomado en cuenta las recomendaciones de la Norma IEEE 519, que las ha adecuado a las condiciones del sistema eléctrico del Ecuador, ya que es muy claro que para tener un sistema más confiable con menor THD se requiere una mayor inversión.

#### 4.3 Toma de medidas.

En general es bastante difícil predecir problemas de armónicos sin realizar mediciones, dado que el flujo y las respuestas del sistema puedan variar sustancialmente de un sistema a otro con pequeñas desviaciones tales como tolerancias de los equipos, desbalances, etc. La solución de problemas existentes debidos a la sensibilidad de equipos, altas perdidas, distorsiones grandes etc., manifestados como disparos persistentes, quema de fusibles, errores en la medida de kW-h y destrucción de equipos pueden ser afrontados con un estudio armónico fundamentado en medidas. Para tomar las medidas que se harán el estudio de señales producidas por los variadores de frecuencia en los motores eléctricos trifásicos se debe realizar la siguiente conexión de Fuente de poder – Variador de frecuencia – Motor eléctrico – Osciloscopio digital, teniendo en cuenta que las mediciones comparativas son de cada línea (L1, L2 Y L3).

Figura 44. Conexión para toma de medidas



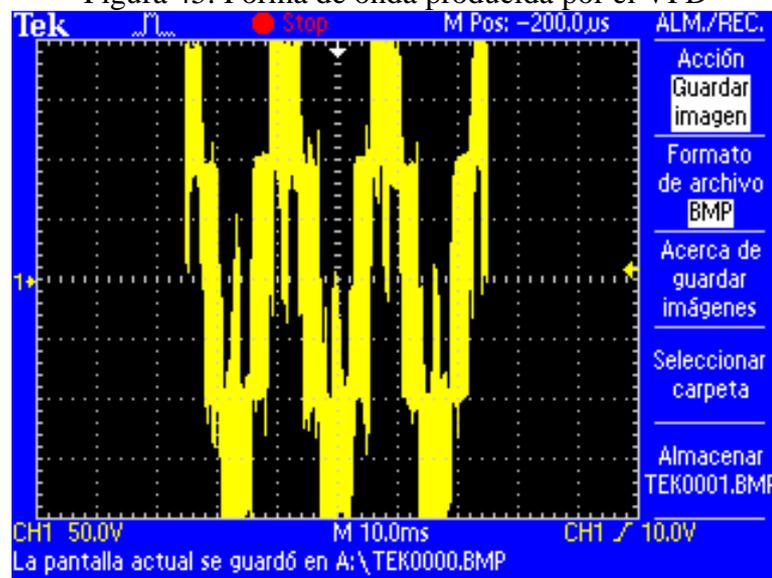
Fuente: Autores

Los procedimientos para obtener las lecturas con el osciloscopio se muestran en el capítulo III en las figuras 37, 38, y 39; donde de forma resumida se tiene:

- Autocalibrado de rutina mediante **Utilidades – Autocalibrado**.
- Pasos iniciales de puesta en servicio rápido.
- Verificación del osciloscopio mediante el botón **Config. Prederter**.
- Conexión de la sonda en el canal del osciloscopio.
- Compensación de la sonda mediante el botón **Autoconfigurar**.
- Atenuar la sonda en 10X o de forma manual.

Tomados las consideraciones pertinentes para la toma de medidas, podemos hacer una medición de prueba y visualizar la onda que induce al motor una vez que pasa por el variador, donde se puede observar el tipo de gráfico que genera el VFD. Esta señal no sinusoidal generada, es la sumatoria de las armónicas con diferentes frecuencias.

Figura 45. Forma de onda producida por el VFD



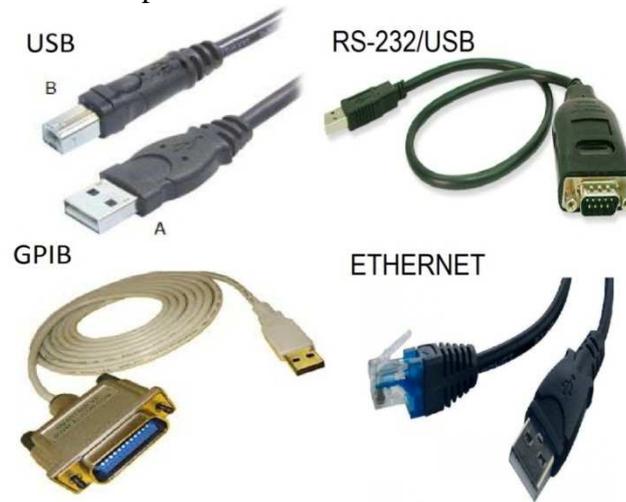
Fuente: Autores

#### 4.4 Transferencia de datos del osciloscopio al ordenador.

Para transferir los datos obtenidos con el osciloscopio al ordenador o PC es necesario conectar uno de los conectores que pueden venir con el instrumento o adquirirlos en

tiendas de electrónica. En el mercado existen:

Figura 46. Conectores para transferencia de datos del osciloscopio a la PC



Fuente: National Instruments

La conexión de los cables descritos se detalla individualmente a continuación:

#### *Cable USB.*

- Localizar el puerto USB tipo B en la parte posterior del instrumento, y habilitar el puerto USB para la comunicación a distancia (si es necesario).
- Insertar el conector del lado del dispositivo en el puerto USB del equipo, parte posterior del instrumento.
- Insertar el lado A del conector del host al puerto USB de la PC.
- Encender el osciloscopio. El PC puede ejecutar al asistente para hardware nuevo encontrado.
- Siga las instrucciones que aparece en la pantalla.

Completado la procedimiento de instalación de cable Ethernet. Crear la hoja de proyecto: ir al icono de SignalExpress y dar clic para verificar que la comunicación con el instrumento.

En el capítulo III (3.8) se detalla el manejo del software con los pasos pertinentes como:

- Adición del instrumento de fuente de señal.
- Selección del tipo de análisis de señales (distorsión de armónicos).
- Pre visualización de la señal.

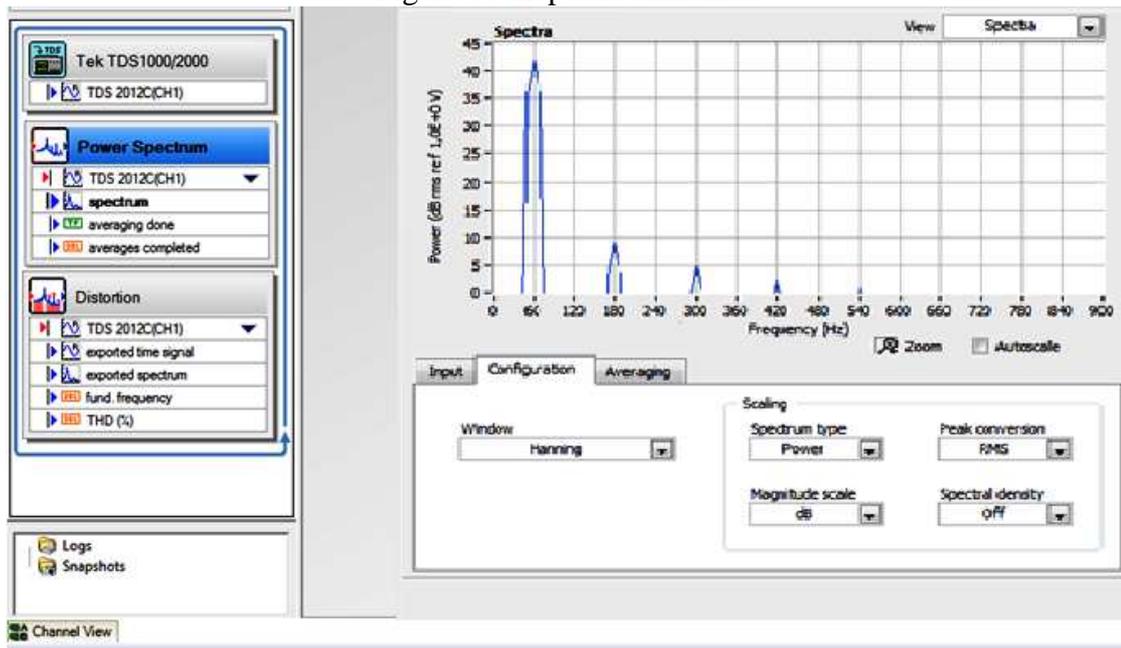
Figura 47. Presentación del software SignalExpress



Fuente: Autores

Teniendo en cuenta los aspectos antes expuestos y con la seguridad adecuada, procedemos a tomar las medidas para su futura evaluación.

Figura 48. Espectro armónico



Fuente: Autores

#### 4.5 Tabulación de los datos obtenidos.

Los datos de armónicos tomados, ahora deben ser tabulados, para luego realizar la:

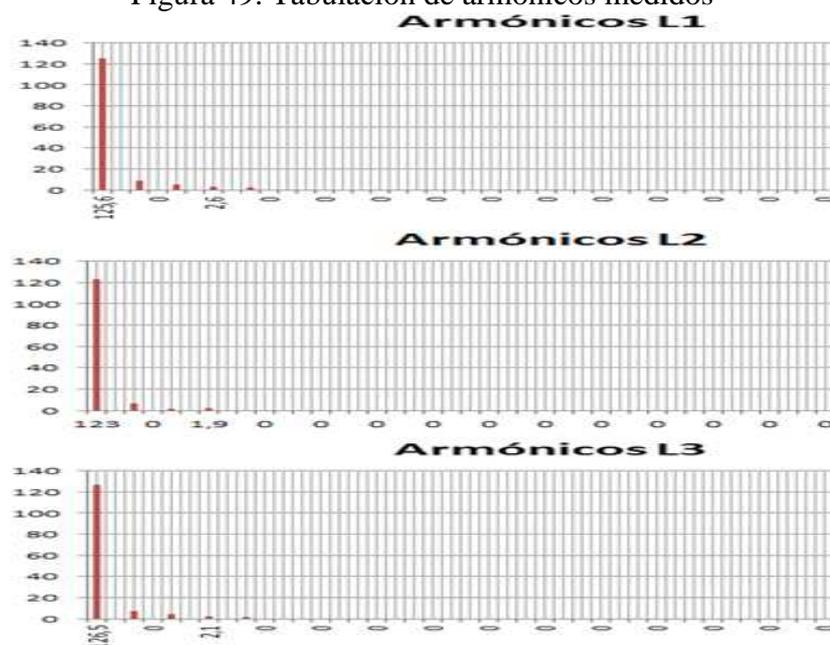
- Tolerancia de armónicos individuales según Norma IEEE 519 y la EN 50160.
- Tolerancia de la distorsión armónica total THDv.

Tabla 11. Tabulación de armónicos medidos

L1		L2		L3	
Armónico	Magnitud V	Armónico	Magnitud V	Armónico	Magnitud V
1	125,6	1	123	1	126,5
2	0,0	2	0,0	2	0,0
3	9,0	3	6,7	3	7,5
4	0,0	4	0,0	4	0,0
5	5,4	5	1,8	5	4,5
6	0,0	6	0,0	6	0,0
7	2,6	7	1,9	7	2,1
8	0,0	8	0,0	8	0,0
9	1,9	9	0,0	9	1,1
10	0,0	10	0,0	10	0,0
11	0,0	11	0,0	11	0,0
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
40	0,0	40	0,0	40	0,0

Fuente: Autores

Figura 49. Tabulación de armónicos medidos



Fuente: Autores

Con los datos antes indicados, se realiza su respectiva evaluación con el fin de calcular los armónicos individuales y la distorsión armónica total, para estimar la vida útil y emitir las respectivas acciones pertinentes a tomar.

#### 4.6 Comportamiento del motor eléctrico ante las señales producidas por el variador de frecuencia.

Los motores de inducción trifásicos, si bien resultan ser muy robustos en ambientes de alta exigencia, son también sensibles a las condiciones de la energía entregada desde la red de distribución de esta forma, los desequilibrios de tensión, la presencia de armónicas y otras perturbaciones de su alimentación, producirán efectos de oscilación en el eje. Calentamiento adicional de los devanados y pérdidas adicionales en el motor. Muchos de estos efectos son despreciables frente a las magnitudes normales de torque pero su presencia en forma continua durante el funcionamiento de la máquina produce generalmente funestas consecuencias. Una vez tabulado las medidas tomadas, se procede a calcular con las fórmulas para la calidad de la energía (ver tabla 12), los armónicos individuales y el THDv para su diagnóstico con las respectivas Normas, para ver si son o no admisibles.

Tabla 12. Evaluación de la tolerancia de armónicos individuales

Armónico V	Medidas		$\frac{V_n\%}{V_1} * 100\%$	Tol. EN 50160 %	Diag. EN 50160	Tol. IEEE 519 %	Diag. IEEE 519
3	L1	9	7,2	5	No admisible	3	No admisible
	L2	6,7	5,4		No admisible		No admisible
	L3	7,5	5,9		No admisible		No admisible
5	L1	5,4	4,3	6	Admisible	3	No admisible
	L2	1,8	1,5		Admisible		Admisible
	L3	4,5	3,6		Admisible		No admisible
7	L1	2,6	2,1	5	Admisible	3	Admisible
	L2	1,9	1,5		Admisible		Admisible
	L3	2,1	1,7		Admisible		Admisible
9	L1	1,9	1,5	1,5	No admisible	3	Admisible
	L2	0	0		Admisible		Admisible
	L3	1,1	0,9		Admisible		Admisible

Fuente: Autores

Fijándonos en la tabla 12, las tensiones armónicas provocan daños en el rotor, debido a que la presencia de dichas tensiones induce torques oscilatorios que se superponen al torque normal de la máquina (armónicos positivos), las otras oscilaciones inciden en mayor esfuerzos en descansos y mayores pérdidas de rose asociadas (armónicos negativos), como la presencia de cualquier armónico produce mayores temperaturas que su no presencia, al evitar la aparición de armónicos implicara prolongar la vida útil de la máquina. Dado que el aislamiento de los devanados del motor es lo que define su grado de soporte a las temperaturas, un devanado con mejor aislamiento podrá soportar en general mayores temperaturas de funcionamiento.

Tabla 13. Evaluación de la tolerancia del THDv

<b>L1</b>		<b>L2</b>		<b>L3</b>	
Armónico	Magnitud	Armónico	Magnitud	Armónico	Magnitud
1	125,6	1	123	1	126,5
2	0	2	0	2	0
3	9	3	6,7	3	7,5
4	0	4	0	4	0
5	5,4	5	1,8	5	4,5
6	0	6	0	6	0
7	2,6	7	1,9	7	2,1
8	0	8	0	8	0
9	1,9	9	0	9	1,1
10	0	10	0	10	0
11	0	11	0	11	0
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
40	0	40	0	40	0
<b>THD<sub>v</sub></b>	8,74		5,8		7,16
<b>Tolerancia EN 50160 %</b>	8		8		8
<b>Diagnóstico EN 50160</b>	No admisible		Admisible		Admisible
<b>Tolerancia IEEE 519 %</b>	5		5		5
<b>Diagnóstico IEEE 519</b>	No admisible		No admisible		No admisible

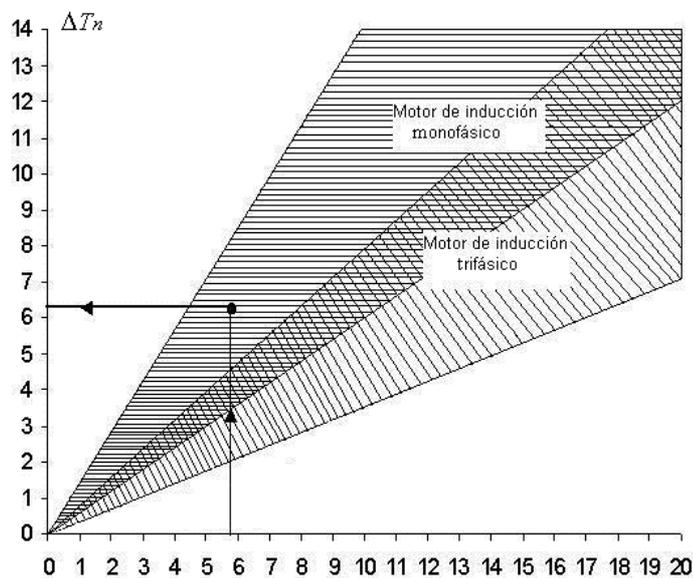
Fuente: Autores

#### 4.7 Análisis de resultados obtenidos y su efecto en el ahorro energético.

La presencia de armónicos, incrementa las pérdidas en el motor y los dispositivos que se alimentan con la red, por los problemas que presentan cada grado de armónico indistintamente provocando un efecto diferente, perjudicial para el ahorro energético, tales como:

*Aumento de temperatura.* El contenido de armónicos incrementa la temperatura en el motor, los armónicos de menor orden tienen mayor efecto que los de alto orden; así también los armónicos de secuencia negativa tienen efecto mayor que los armónicos de secuencia positiva. Además, los armónicos menores al quinto tienen mayor efecto en el incremento de la temperatura para una misma distorsión. En la figura se muestra el incremento de temperatura en el motor de inducción monofásico y en el trifásico en función del factor armónico, se observa que los motores monofásicos son más sensibles que los trifásicos.

Figura 50. Aumento de temperatura adicional vs función del factor armónico

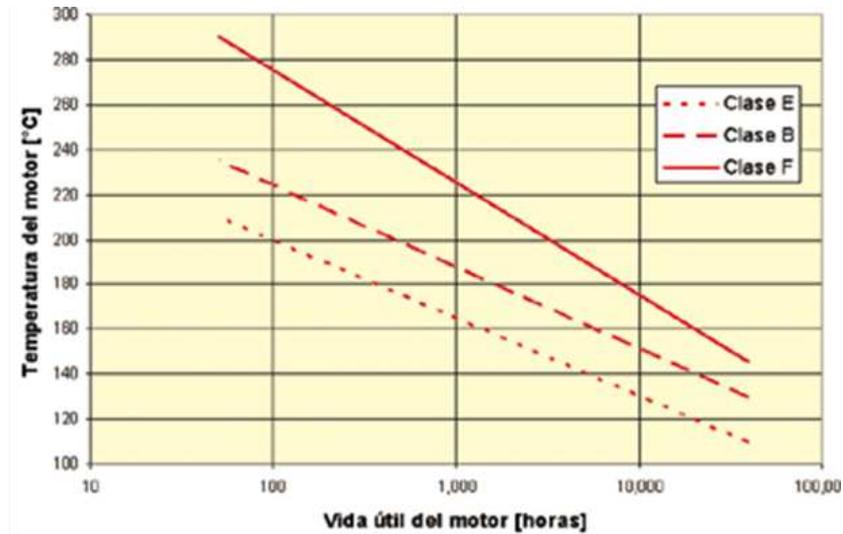


Fuente: Efectos de armónicos en ME “Universidad de Antioquia”

En palabras simples a mayor temperatura de funcionamiento prolongado del motor menor será la vida útil porque la aislación de los devanados estará sometida a mayor

esfuerzo, la prevención de este efecto consiste en realizar un ajuste de la potencia final de la máquina si es que opera bajo condiciones de alimentación con tensiones no sinusoidales. En el siguiente gráfico se muestra esta relación aproximada:

Figura 51. Relación temperatura vs vida del motor en función del tipo de devanado



Fuente: Revista Técnica Electroindustria

*Perdida de vida útil.* Cuando la distorsión de la tensión de alimentación al motor es de aproximadamente el 10% el tiempo de vida del motor se reduce significativamente. Dependiendo del tipo de aparato, la reducción en el tiempo de vida se puede estimar como:

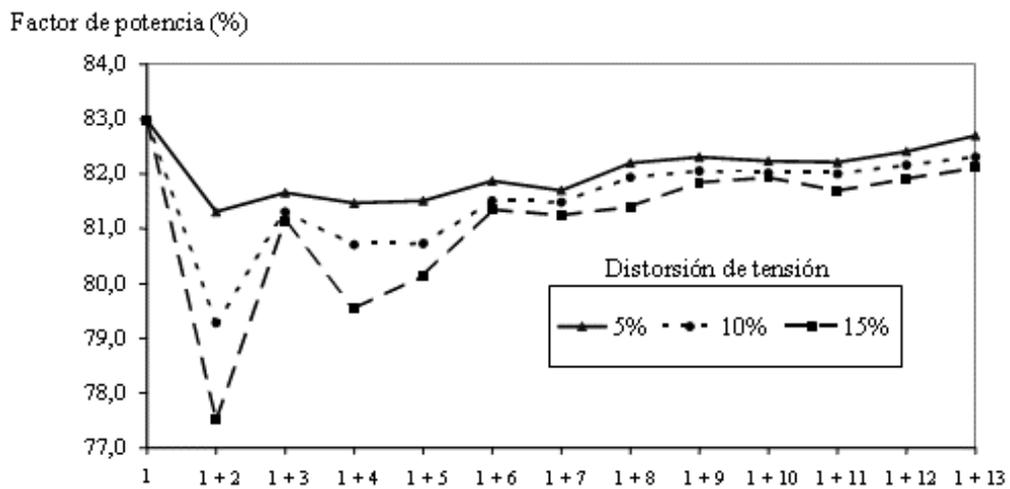
- 32,5% para máquinas monofásicas.
- 18% para máquinas trifásicas.
- 5% para los transformadores.

*Ruido acústico y torques pulsantes.* En sistemas industriales, los armónicos más importantes son el quinto, el séptimo y el undécimo. Generalmente, las fuerzas electromotrices de esos armónicos son suficientemente altas para provocar ruido considerable y aumento de los torques pulsantes, este incremento es significativo si el orden del armónico está cercano a las frecuencias naturales del estator.

*Factor de potencia y eficiencia.* En la figura 52 se muestra la variación del factor de

potencia en función de la distorsión armónica individual. Se observa que a mayor distorsión de tensión, más bajo es el factor de potencia, y que los armónicos de bajo orden tienen mayor efecto que los de alto orden para un valor dado de distorsión armónica. Los armónicos de secuencia negativa de menor orden (menor al quinto) tienen efecto mayor en el decrecimiento del factor de potencia que los de secuencia positiva y de secuencia cero.

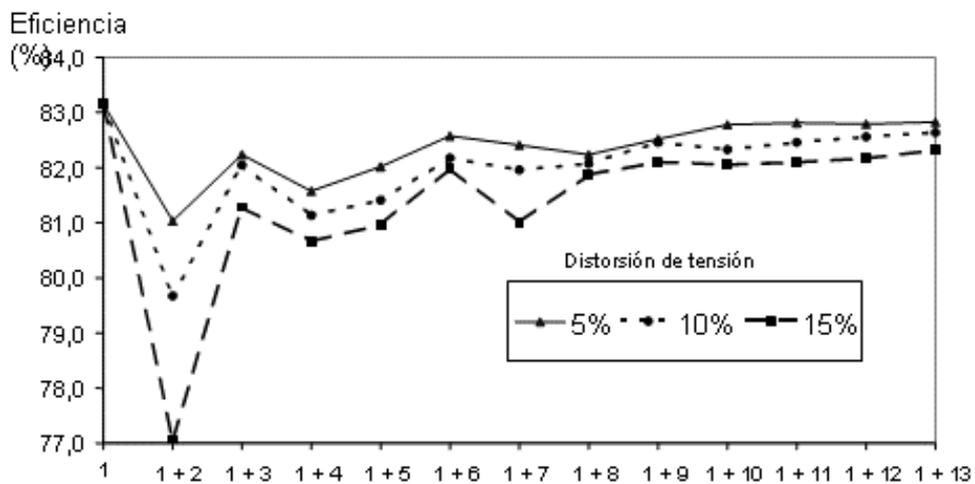
Figura 52. Factor de potencia en función de la distorsión armónica



Fuente: <http://aesolucioneselsalvador.com>

En la figura 53 se muestra la variación de la eficiencia en función de la distorsión armónica individual; el comportamiento es similar al factor de potencia.

Figura 53. Eficiencia en función de la distorsión armónica

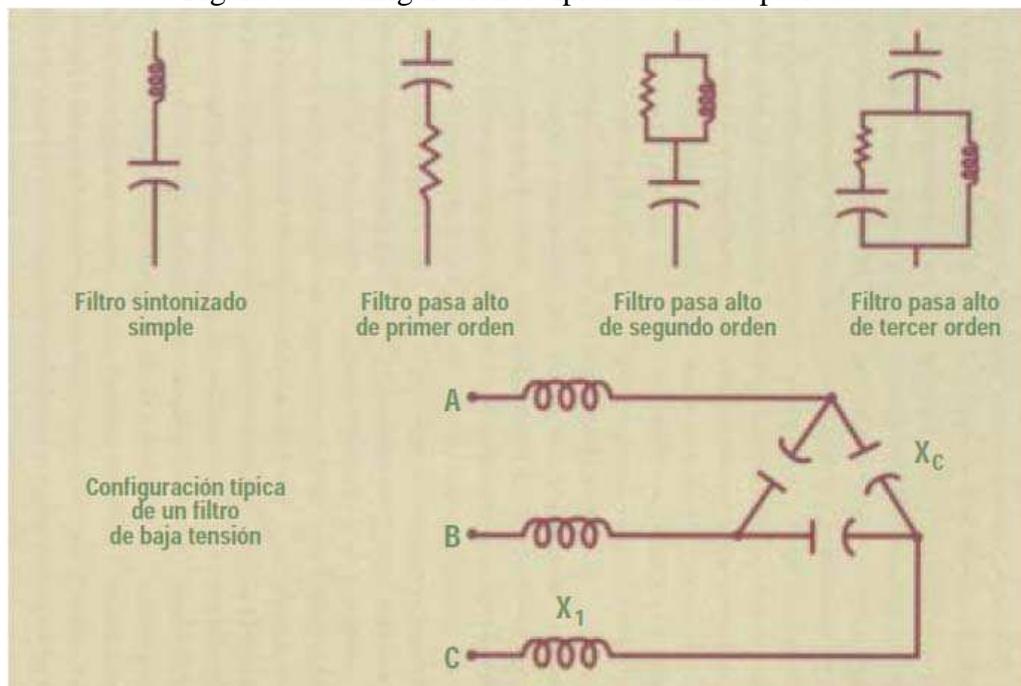


Fuente: <http://aesolucioneselsalvador.com>

**4.7.1 Soluciones a los efectos de los armónicos de forma general.** Las soluciones se dará tanto para el motor como para la línea y los elementos que están conectados a la red; así, si se tiene:

- La primera opción en cuanto a eliminar los armónicos, ya sean creados por variadores de frecuencia o dispositivos electrónicos, son el utilizar filtros para los armónicos. Los filtros sin una solución efectiva en aquellas ocasiones en las que el recableado es muy caro o dificultoso, así se tiene los siguientes filtros, teniendo que realizar una previa inspección por un profesional especializado.

Figura 54. Configuraciones típicas de filtros pasivos



Fuente: Boletín AE Soluciones

- *Sobrecalentamiento de los conductores neutros.* Dimensionar el neutro con una sección 1,7 veces mayor que la de los conductores de fase, también se puede utilizar un conductor neutro separado para cada fase.
- Sobrecalentamiento de los conductores y perturbaciones en los interruptores automáticos. Se debe utilizar cables de sección superior a la indicada en los catálogos técnicos, para evitar calentamientos excesivos a la presencia de armónicos.

- Sobrecalentamiento y vibraciones en los motores. Utilizar circuitos separados, para alimentar a los equipos generadores de armónicos tales como los equipos variadores de frecuencia, de los que alimenten cargas sensibles a los armónicos tales como los motores de inducción.
- Sobrecargas de los condensadores de corrección del factor de potencia. Se puede evitarse la presencia de resonancia, añadiendo una inductancia (un inductor de línea) en serie con el condensador para desintonizar la frecuencia de resonancia de la respuesta característica del sistema o, alternativamente instalar un dispositivo de corrección de la corriente reactiva.
- Otras soluciones. Cuando el sistema incluye variadores de velocidad de CA, un método sencillo de filtrado de los armónicos consiste en colocar una inductancia (reactor de línea), en cada fase de la línea de alimentación en serie con los conductores, teniendo como finalidad el efecto de alisar los pulsos.

## **CAPÍTULO V**

### **5. MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y PRÁCTICAS DE LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN DE ANÁLISIS DE SEÑALES.**

Cuando se diseña o se adquiere un sistema, (programas de mantenimiento, programas de operación, etc.) se espera que este satisfaga una determinada necesidad, realizando una función especificada, pero no de cualquier forma sino cumpliendo con unos requisitos establecidos. Es así que para elaborar el manual de mantenimiento y el manual de operación se tomó en cuenta normas específicas que nos ayudaran a la reducción de costos, mejoras a la calidad, aumento de productividad y por ende la competitividad universitaria. Para la gestión del mantenimiento se basara según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN-EN 13460:2010, donde esta norma especifica directrices generales para la documentación técnica a suministrar con un elemento antes de estar dispuesto para el servicio, a fin de que sirva de apoyo para el mantenimiento de los diferentes equipos que conformaran para la medición de señales que producen los variadores de frecuencia en motores eléctricos trifásicos. Esta norma es una adopción de la Norma EN 13460:2009. Documentation for Maintenance, dando como finalidad al cumplimiento con el nivel de calidad de servicio de mantenimiento para el equipo. La Norma ISO 9000:2000 agrega para que la organización debe determinar, proporcionar y mantener los componentes que conforma el equipo en los parámetros de funcionamiento adecuados.

#### **5.1 Elaboración del manual de operación**

**5.1.1** *Manual de operación del osciloscopio digital TDS 2012C.* La interfaz de los osciloscopios de las series TDS2000 se ha diseñado para simplificar el acceso a funciones especializadas a través de la estructura de menús. Cuando se pulsa un botón del panel frontal, el osciloscopio muestra el menú correspondiente en el extremo derecho de la pantalla. El menú muestra las opciones que están disponibles al pulsar directamente los botones de opciones sin identificar de la parte derecha de la pantalla

(puede que parte de la documentación se refiera a estos botones como botones de pantalla, botones de menú laterales, botones de bisel o teclas programables).

Figura 55. Osciloscopio digital TDS 2012C



Fuente: Tektronix

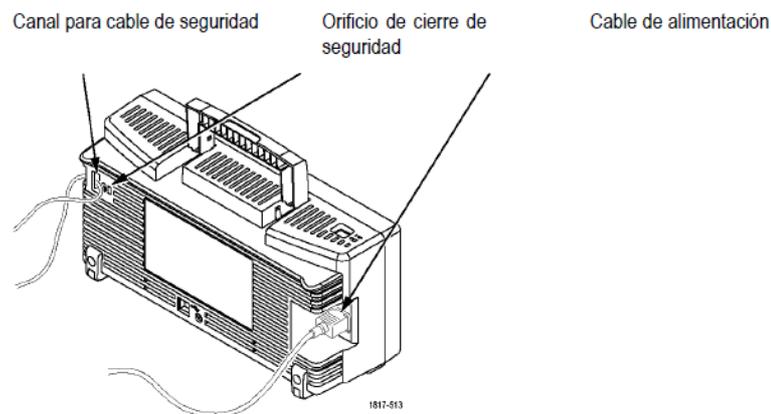
El osciloscopio utiliza cuatro métodos para mostrar opciones de menú:

- *Selección (submenús) de página:* En algunos menús, puede utilizar el botón de opciones de la parte superior para elegir dos o tres submenús. Por ejemplo, al pulsar el botón superior en el menú Alm/Rec., el osciloscopio recorre los submenús controles y señales.
- *Lista circular:* El osciloscopio establece el parámetro en otro valor cada vez que se pulsa el botón de opción. Por ejemplo puede pulsar el botón MENU CH 1 y, a continuación, el botón de opción superior pasa a recorrer las opciones de acoplamiento (de canal) vertical.
- *Acción:* El osciloscopio muestra el tipo de acciones que se va a producir inmediatamente al pulsar un botón de opción de acción. Por ejemplo, al pulsar el botón de menú PANTALLA y, seguidamente, el botón de opción Aumentar Contraste, el osciloscopio cambia inmediatamente el contraste.
- *Radio:* El osciloscopio utiliza un botón distinto por opción. La opción seleccionada actualmente aparece resaltada. Por ejemplo, al pulsar el botón de menú ADQUISICION, el osciloscopio muestra las distintas opciones de modo de adquisición.

**5.1.1.1 Instalación.** Tomar todas las precauciones para utilizar de mejor manera el equipo

- *Cable de alimentación.* Utilice solo el cable de alimentación que se suministra con el osciloscopio.
- *Fuente de Alimentación.* Utilice una fuente de alimentación que entregue de 90 a 234 V de 45 a 66 Hz.
- *Enganche de seguridad.* Pase un cable de seguridad en el canal para cable integrado para fijar el osciloscopio en su sitio.
- *Ventilación.* El osciloscopio se enfría por convención, dejar un espacio libre de unos 4 cm en los laterales y en la parte superior.

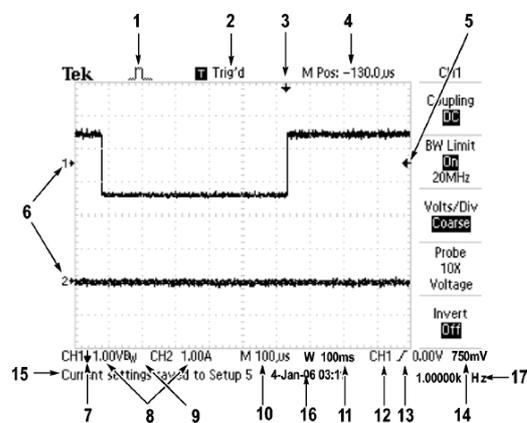
Figura 56. Componentes de la parte posterior del osciloscopio



Fuente: Tektronix

**5.1.1.2 Área de presentación.** Además de mostrar formas de onda, en la pantalla abundan detalles sobre los valores de control de forma de onda y el osciloscopio.

Figura 57. Detalles de valores de control de la onda



Fuente: Tektronix

1. Icono que muestra el modo de adquisición.

Muestra, modo	
Modo de detención de picos	
Modo promediado	

2. Estado de disparo que indica lo siguiente:

**Armed.** El osciloscopio adquiere datos de predisparo. En este estado se hace caso omiso de todo los disparos

**Ready.** Se han adquirido todos los datos de predisparo y el osciloscopio está preparado para para aceptar un disparo.

**Trig'd.** El osciloscopio ha enviado un disparo y esta adquirido los datos postdisparo

**Stop.** El osciloscopio ha interrumpido la adquisición de datos de forma de onda.

**Acq. Complete** El osciloscopio ha completado una adquisición de secuencia única.

**Auto.** El osciloscopio se encuentra en modo de disparo automático y adquiere formas de onda en ausencia de disparos.

**Scan.**El osciloscopio adquiere y presenta datos de forma de onda continuamente en modo de exploración.

3. Marcador que muestra la posición de disparo horizontal. Gire el mando **HORIZ POSICIÓN** hasta ajustar la posición del marcador.

4. La lectura muestra el tiempo en la retícula central. El tiempo de disparo es cero.

5. Marcador que muestra el nivel de disparo por flanco o por ancho de pulso.

6. Marcadores de pantalla que muestran los puntos de referencia a tierra de las formas de onda mostradas. Si no hay ningún marcador, no se muestra el canal.

7. Un icono de flecha indica que la forma de onda esta invertida.

8. Lecturas que muestran los factores de escala vertical de los canales.

9. Un icono  $B_W$  indica que el canal tiene un ancho de banda limitada.

10. Lectura que muestra el ajuste de la base de tiempos principales.

11. Lectura que muestra el ajuste de la base de tiempos de ventana si se utiliza.

12. Lectura que muestra la fuente utilizada para el disparo.
13. Icono que muestra el tipo de disparo seleccionado de la manera siguiente:

 Disparo por flanco ascendente.

 Disparo por flanco para el flanco de bajada.

 Disparo por video para sincronismo de línea.

 Disparo por video para sincronismo de campo

 Disparo por ancho de pulso, polaridad positiva.

 Disparo por ancho de pulso, polaridad negativa.

14. Lectura que muestra el nivel de disparo por flanco o por ancho de pulso.
15. El área de presentación muestra mensajes útiles; algunos se muestran en pantalla durante solo tres segundos. Si recupera una forma de onda guardada, la lectura muestra información sobre la forma de onda de referencia, como RefA 1,00 V 500  $\mu$ s.
16. Lectura que muestra la fecha y la hora.
17. Lectura que muestra la frecuencia de disparo.

**5.1.1.3 Descripción de las funciones del osciloscopio.** En la figura siguiente se muestra un diagrama de bloque de las distintas funciones del osciloscopio y la relación entre ellas.

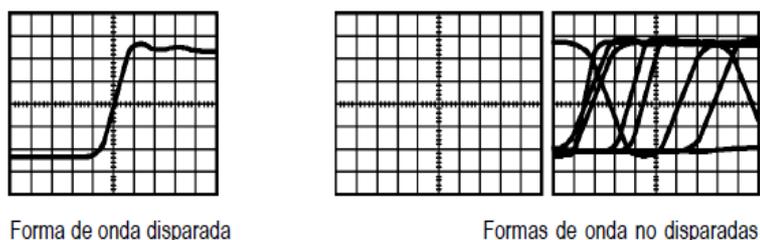
Este incluye información general sobre lo que es necesario saber antes de utilizar un osciloscopio. Para utilizar el osciloscopio con eficacia debe conocer las siguientes funciones:

- Configuración del osciloscopio
- Disparo
- Adquisición de señales(formas de onda)
- Escalada y posicionamiento de formas de onda
- Medida de formas de onda

- *Configuración del osciloscopio.* Debe familiarización con varias funciones que es posible que tenga que utilizar a menudo al trabajar con el osciloscopio: autoconfiguración, rango automático, guardado de una configuración y recuperación de una configuración.
- *Uso de la autoconfiguración.* Cada vez que pulsa el botón autoconfigurar, la función autoconfigurar obtiene una presentación estable de forma de onda. Esta función ajusta automáticamente los parámetros de escala vertical, escala horizontal y disparo. Muestra además varias medidas automáticas en el área de retícula, según el tipo de señal.
- *Uso del rango automático.* El rango automático es una función continua que se puede activar o desactivar. La función ajusta los valores de configuración para rastrear una señal que exhiba grandes cambios o al desplazar físicamente la sonda a un punto distinto.
- *Guardado de una configuración.* El osciloscopio guarda la configuración actual si se esperan cinco minutos para apagar el osciloscopio una vez realizado el último cambio. La próxima vez que lo encienda, el osciloscopio recupera automáticamente dicha configuración. Puede utilizar el menú Alm./Rec. Para guardar hasta diez configuraciones distintas. También puede guardar configuraciones en una unidad USB flash. El osciloscopio cuenta con una unidad USB flash para almacenar y recuperar datos.
- *Recuperación de una configuración.* El osciloscopio puede recuperar la última configuración guardada antes de apagarlo, cualquiera de las configuraciones guardadas o la predeterminada.
- *Configuración predeterminada.* El osciloscopio está configurado para el funcionamiento normal cuando se envía de fábrica. Esta es la configuración predeterminada. Para recuperar esta configuración, pulse el botón **config. Predeter.**

**5.1.1.4 Disparo.** El disparo determina el momento en que el osciloscopio empieza a obtener datos y a presentar una forma de onda. Cuando se configura correctamente un disparo, el osciloscopio convierte las presentaciones inestables o las pantallas en blanco en formas de onda descriptivas.

Figura 58. Forma de onda disparada y no disparada

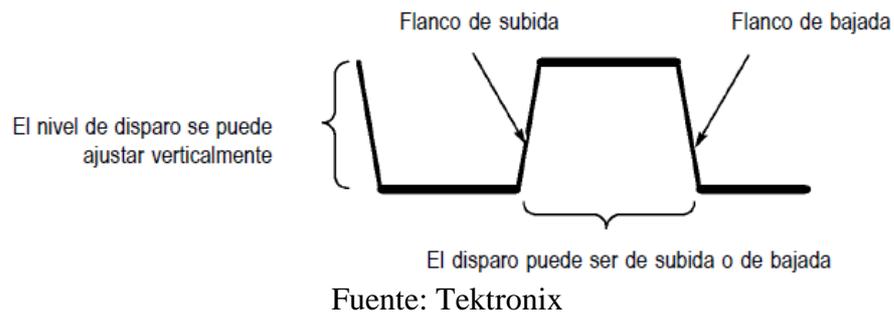


Fuente: Tektronix

Al pulsar los botones **Activar/ Parar** o **Sec. Única** para iniciar una adquisición, el osciloscopio siga estos pasos:

1. Adquiere datos suficientes para llenar la parte del registro de forma de onda a la izquierda del punto de disparo. Esto se denomina predisparo.
  2. Sigue adquiriendo datos mientras espera a que se produzca la condición de disparo.
  3. Detecta la condición de disparo.
  4. Sigue adquiriendo datos hasta completar el registro de forma de onda.
  5. Muestra la forma de onda recién adquirida.
- *Fuente.* Puede utilizar las opciones de fuente de disparo para seleccionar la señal que el osciloscopio utilizara como disparo. La fuente puede ser cualquier señal conectada a un BNC de canal, al BNC de Ext Trig (Disparo ext.) o a la línea de alimentación de CA (disponible solo en disparos por flanco).
  - *Tipos.* El osciloscopio ofrece tres tipos de disparo: por flanco, por video y por ancho de pulso.
  - *Modos.* Puede utilizar los modos de disparo Automático o Normal para definir la manera en que el osciloscopio adquiere los datos cuando no detecta una condición de disparo. Para utilizar una adquisición de secuencia única, pulse el botón **Sec. Única**.
  - *Acoplamiento.* Puede utilizar la opción de acoplamiento de disparo para filtrar la señal que va a pasar al circuito de disparo. Esto puede ayudar a obtener una presentación estable de la forma de onda. Para utilizar el acoplamiento de disparo, pulse el botón **MENÙ DISPARO**, seleccione un disparo por flanco o por pulso y una opción de acoplamiento.

Figura 59. Ajuste de posición de la onda



- *Posición.* El control de posición horizontal establece el tiempo que transcurre entre el disparo y la línea central de la pantalla.
- *Pendiente y nivel.* Los controles pendientes y nivel ayudan a definir el disparo. La opción pendiente (solo en el tipo de disparo por flanco) determina si el osciloscopio busca el punto de disparo en el flanco ascendente o de bajada de una señal. El mando **Disparo Nivel** controla el lugar del flanco en que se produce el punto de disparo.

**5.1.1.5 Adquisición de señales.** Cuando se adquiere una señal, el osciloscopio la convierte en una forma digital y presenta una forma de onda. El modo de adquisición define la manera en que la señal se digitaliza y en que el ajuste de la base de tiempo afecta al margen de tiempo y al nivel de detalle de la adquisición.

- *Modos de adquisición.* Existen tres modos de adquisición: de muestra, de detección de picos y promedio.
- *Muestra.* En este modo de adquisición, el osciloscopio realiza muestras de la señal a intervalos regulares para generar la forma de onda. Este modo representa las señales con mayor exactitud la mayor parte del tiempo. Sin embargo, este modo no adquiere las variaciones rápidas de la señal que se pueden producir entre muestras. Esto puede dar como resultado representaciones falsas y provocar la pérdida de pulsos estrechos. En tales casos, debe utilizarse el modo de detención de picos para adquirir datos.
- *Detención de picos.* En este modo de adquisición, el osciloscopio busca los valores más altos y más bajo de la señal de entrada en cada intervalo de muestra y utiliza dichos valores para presentar la forma de onda. De esta manera, el

osciloscopio puede adquirir y presentar pulsos estrechos, que podrían haberse perdido en el modo de muestra. El ruido podría parecer mayor en este modo.

- *Promedio.* En este modo de adquisición, el osciloscopio adquiere varias formas de onda, las promedia y presenta la forma de onda resultante. Se puede utilizar este modo para reducir el ruido aleatorio.
- *Base de tiempo.* El osciloscopio digitaliza formas de onda adquiriendo el valor de una señal de entrada en distintos puntos. La base de tiempos permite controlar la frecuencia con que se digitalizan los valores. Para ajustar la base de tiempos en una escala horizontal que se adapta a su propósito, utilice el mando Horizontal Escala.

**5.1.1.6 Escalado y posicionamiento de formas de onda.** Puede cambiar la presentación de las formas de onda ajustando la escala y posición. Al cambiar la escala, aumenta o se reduce el tamaño de la presentación de la forma de onda. Al cambiar la posición, la forma de onda se desplaza hacia arriba, hacia abajo, a la derecha o a la izquierda. El indicador del canal (situado a la izquierda de la retícula) identifica cada forma de onda en la presentación. El indicador señala el nivel de referencia de tierra del registro de forma de onda.

- *Escala y posición verticales.* Puede cambiar la posición vertical de las formas de onda desplazándolas hacia arriba o hacia abajo en la pantalla. Para comparar datos, puede alinear una forma de onda con otra o varias formas de onda unas encima de otras. Puede cambiar la escala vertical de una forma de onda. La presentación de la forma de onda se contrae o expande con respecto al nivel de referencia de tierra.
- *Escala y posición horizontales; información de disparo.* Puede ajustar el control Horizontal Posición para ver datos de forma de onda antes del disparo, después del disparo o antes y después. Al cambiar la posición horizontal de una forma de onda, en realidad está cambiando el tiempo entre el disparo y el centro de la presentación. (Esto parece desplazar la forma de onda a la derecha o la izquierda en la presentación.)

**5.1.1.7 Unidad USB flash y puertos para dispositivos.** En este se describe cómo

utilizar los puertos de bus serie universal (USB) en el osciloscopio para realizar las tareas siguientes:

- Guardar y recuperar datos de forma de onda o de configurar, así como guardar una imagen de pantalla.
- Imprimir una imagen de pantalla.
- Transferir datos de forma de onda, datos de configuración, o una imagen de pantalla a un ordenador.
- Controlar el osciloscopio con comandos remotos.

*Puerto de tarjeta USB flash.* La parte delantera del osciloscopio tiene un puerto para una unidad USB flash para el almacenamiento de archivos. El osciloscopio puede guardar y recuperar datos de la unidad flash.

Figura 60. Puerto de la unidad USB



Fuente: Tektronix

Para conectar una unidad USB flash, siga estos pasos:

1. Coloque la unidad USB flash en el puerto correspondiente del osciloscopio. Las unidades flash tienen un diseño adaptado para la instalación.
2. Inserte completamente la unidad flash en el puerto.

En las unidades flash que disponen de un LED, el indicador “parpadea” cuando el osciloscopio escribe datos en la unidad o cuando los lee. Para extraer una unidad USB flash, espere a que el LED de la unidad (en su caso) deje de parpadear o hasta que se

muestre la línea de consejo indicando el final de la operación, tire del extremo de la unidad y extráigala del puerto.

*Recuperación y guardado de archivos con una unidad USB flash.* Existen dos formas de guardar archivos en una unidad USB flash:

- Mediante el menú Guar./Rec.
- Mediante la función alternativa Guardar del botón PRINT.

Puede usar las siguientes opciones del menú Guar./Rec para escribir los datos o recuperarlos de una unidad USB flash:

- Guardar imagen.
- Guardar configuración.
- Guardar forma de onda.
- Recuperar configuración.
- Recuperación de forma de onda.

*Opciones de guardar imagen, guardar configuración y guardar forma de onda.* Puede guardar una imagen de pantalla, la configuración del osciloscopio o datos de una forma de onda en un archivo o en una unidad USB flash mediante el menú Guar./Rec. Por ejemplo, para guardar un archivo de imagen de pantalla en una unidad flash siga estos pasos:

1. Inserte una tarjeta USB flash en el puerto correspondiente.
2. Pulse **Utilidades** → **opciones** → **configurar impresora** y defina las opciones:

Tabla 14. Opciones para impresión de imagen

Ahorro de tinta	Activado, desactivado	Imprime la imagen de la pantalla sobre un fondo blanco cuando selecciona Si
Orientación	Vertical, horizontal	Orientación de la salida de impresora

Fuente: Tektronix

1. Acceda a la pantalla que desea guardar.
2. Pulse el botón del panel frontal **Alm./Rec.**
3. Seleccione la opción **Acción** → **Guardar imagen** → **Guardar**. El osciloscopio guarda la imagen de la pantalla en la carpeta actual y crea automáticamente el nombre del archivo.

Se adjunta en el ANEXO Del diagrama de proceso del osciloscopio digital para una mejor operación del mismo.

### **5.1.2** *Manual de operación del generador de funciones arbitrario AFG 2021*

**5.1.2.1** *Requisitos de funcionamiento.* En la información y figura siguiente se describen los requisitos de temperatura, espacio libre y fuente de alimentación del instrumento.

#### *Requisitos de entorno:*

- Espacio libre. Para colocar el instrumento en un carro o en un banco siguiendo los requisitos de espacio libre.

Laterales: 50 mm (2 pulgadas)

Parte posterior: 50 mm (2 pulgadas).

- Temperatura. Antes de poner el instrumento en marcha, asegúrese de la temperatura ambiente se encuentre entre 0°C y +50°C

#### *Requisitos de alimentación:*

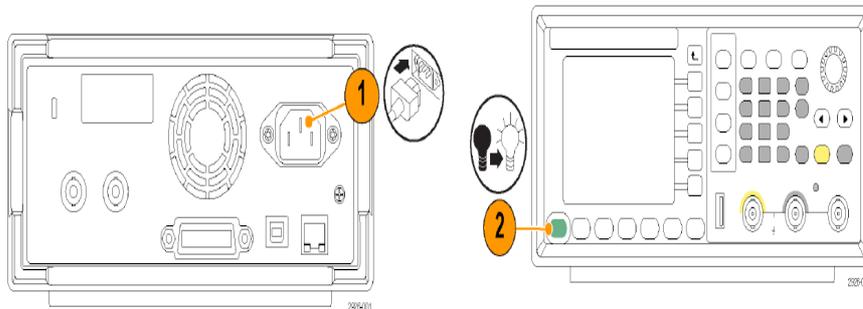
- Voltaje y frecuencia de fuente. De 100 V a 240 V, de 50 Hz a 60 Hz.
- Consumo de energía. 60 W

**5.1.2.2 Encendido y apagado del instrumento.** Los siguientes procedimientos muestran como conectar el instrumento a la fuente de alimentación, para encenderlo y apagarlo.

**PRECAUCIÓN.** Este producto no funciona si las patas traseras están bajadas. Compruebe que estén levantadas antes de la instalación del instrumento.

**Encendido.** Enchufe el cable de alimentación de CA en el receptáculo correspondiente del panel posterior y el otro extremo a una salida conectada a tierra correctamente, para luego pulse el botón de encendido del panel frontal para encender el instrumento.

Figura 61. Encendido del generador de funciones

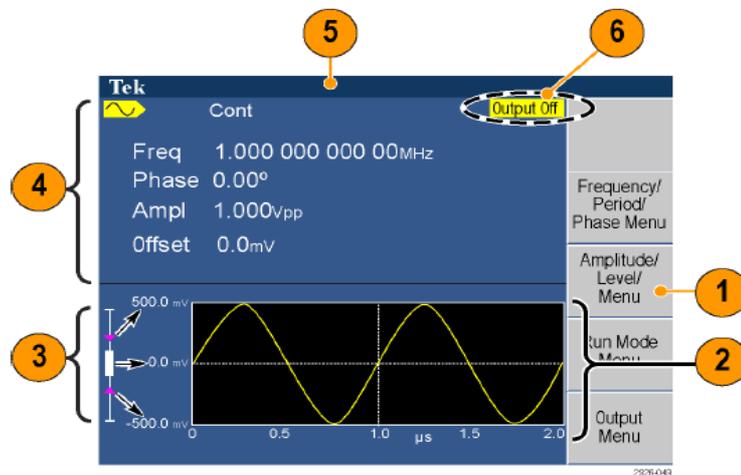


Fuente: Tektronix

**Apagado.** Pulse el botón de apagado (botón de encendido) para apagar el equipo.

**5.1.2.3 Elementos de la interfaz de pantalla.**

Figura 62. Interfaz de la pantalla



Fuente: Tektronix

Tabla 15. Descripción del interfaz de la pantalla del AFG

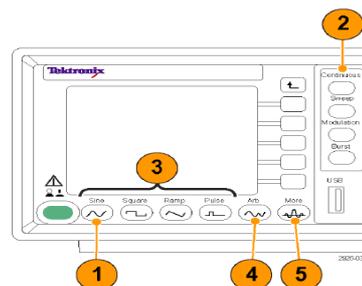
Elemento	Descripción
1	<b>Menú de bisel:</b> cuando se pulsa un botón del panel frontal el instrumento muestra el menú correspondiente en el lado derecho de la pantalla. El menú muestra las opciones que están disponibles al pulsar directamente los botones del bisel sin identificar de la parte derecha de la pantalla.
2	<b>Área de visualización de gráficos/formas de onda:</b> En esta parte del área principal de visualización se muestra la señal en forma de grafico o forma de onda.
3	<b>Medidor de nivel:</b> en la parte superior del indicador se muestra el valor del límite superior; en la parte inferior, se muestra el valor del límite inferior; el indicador propiamente dicho muestra el nivel actual seleccionado.
4	<b>Área de visualización de parámetros:</b> en esta parte del área principal de visualización se muestran los parámetros activos.
5	<b>Área de visualización de mensajes:</b> en esta área se muestra un mensaje que supervisa el estado del hardware, por ejemplo, un reloj o un disparo.
6	<b>Estado de la salida:</b> si la salida se ha definido como desactivada, se mostrara el mensaje Ouput Off (salida desactivada) en esta área. Si pulsa el botón salida canal del panel frontal para activar la salida, el mensaje desaparecerá.

Fuente: Tektronix

**5.1.3 Selección de la forma de onda.** El instrumento puede proporcionar 12 formas de onda estándar (sinusoidal, cuadrada, rampa, pulso, Sinx/x, ruido, DC\_CC, Gaussiana, Lorentz, Incremento exponencial, Degradación exponencial y haversine), además de las formas de onda arbitrarias definidas por el usuario. También puede crear formas de onda moduladas utilizando los menús de la opción Modulation (modulación) de Run Mode (modo de ejecución). Para seleccionar una forma de onda de salida, lleve a cabo los siguientes pasos:

1. Para seleccionar una de las cuatro formas de onda estándar, pulse uno de los botones de función del panel Frontal.
2. Pulse el botón Arb para seleccionar una forma de onda arbitraria.

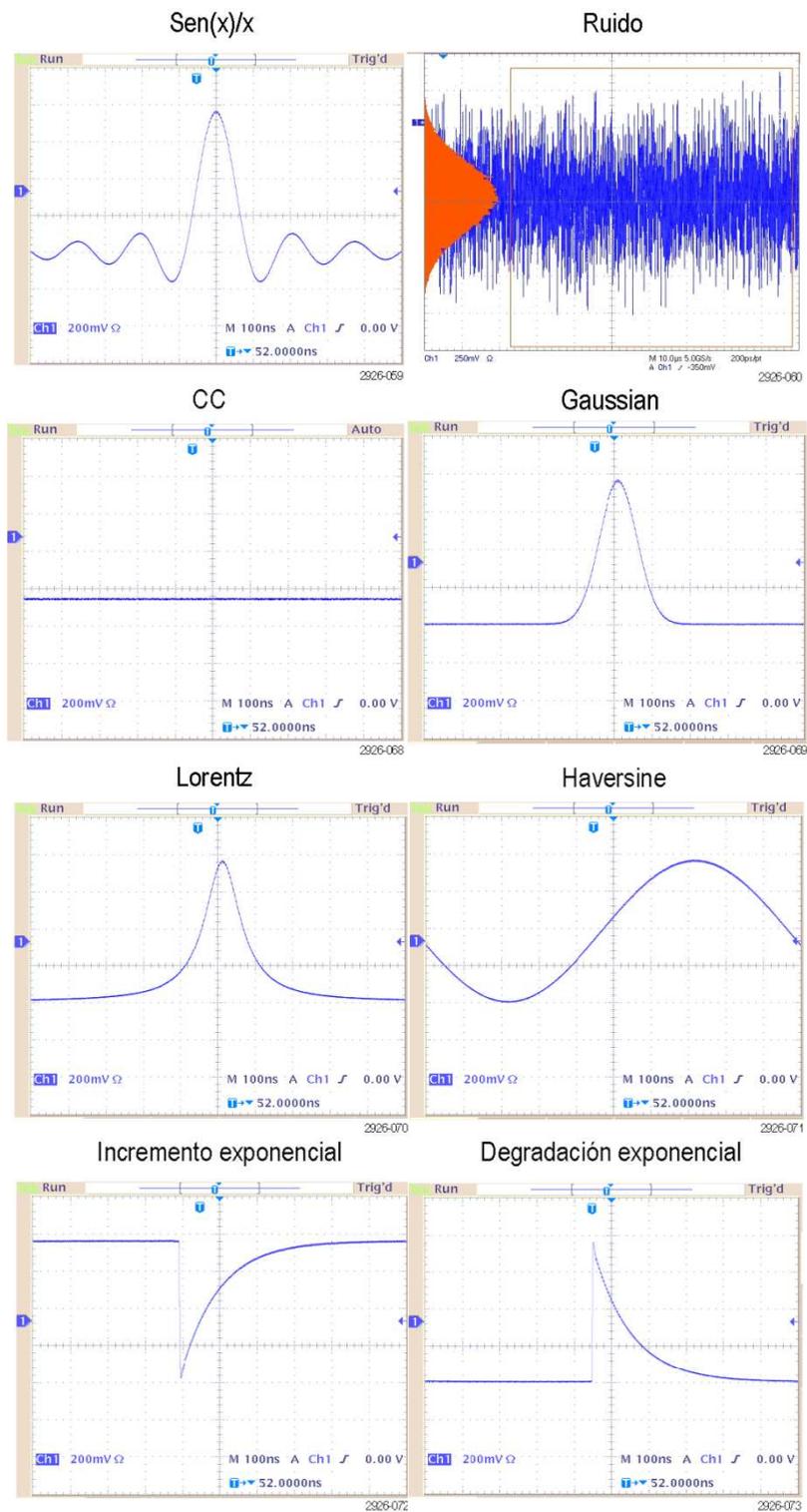
Figura 63. Selección de la forma de onda



Fuente: Tektronix

Otras formas de onda disponible. A continuación se indican ejemplos de los otros tipos de forma de onda disponibles en el menú More Waveform dentro del menú del botón More.

Figura 64. Formas de onda disponibles en More Waveform

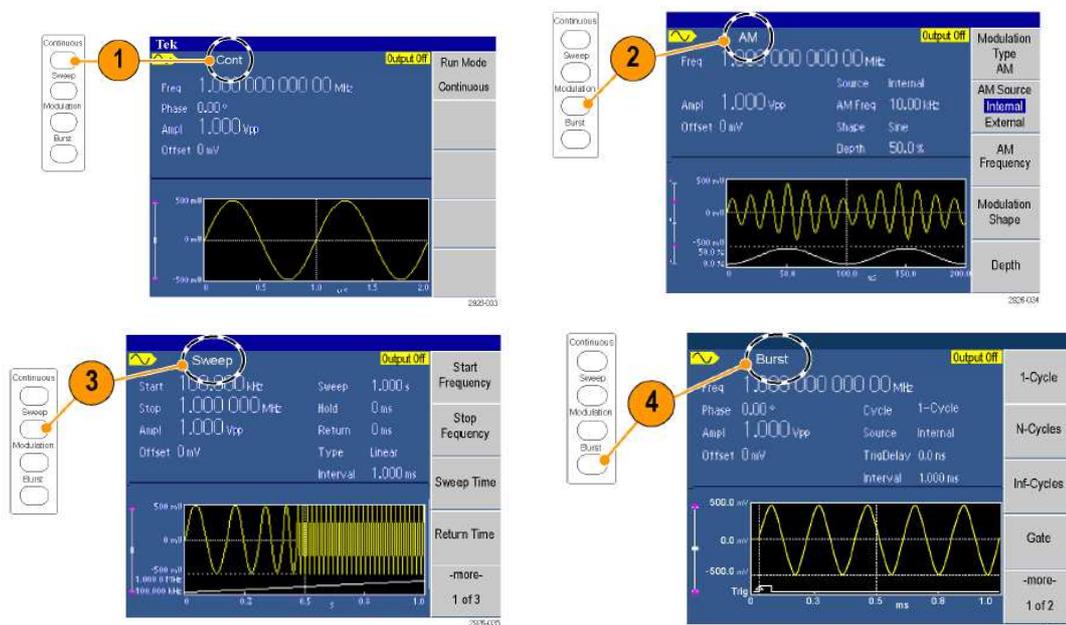


Fuente: Tektronix

**5.1.3.1 Selección del modo de ejecución.** Pulse uno de los cuatro botones de Run Mode (modo de ejecución) para seleccionar el método de salida de señales del instrumento.

1. El modo predeterminado de Run Mode es continuos (continuo)
2. Para seleccionar una forma de onda modulada, pulse el botón Modulation (modulación)
3. Para seleccionar una forma de onda de barrido, pulse el botón Sweep (barrido).
4. Para seleccionar una forma de onda de salva, pulse el botón Burst (salva).

Figura 65. Selección del modo de ejecución



Fuente: Tektronix

**5.1.3.2 Activación y desactivación de salida de canal.** Para activar la salida de la señal pulse el botón Canal (On/Off) en el panel frontal.

Figura 66. Activación de salida de canal



Fuente: Tektronix

**5.1.3.3 Memoria USB.** Un conector de memoria USB ubicado en el panel frontal del instrumento permite realizar las siguientes tareas:

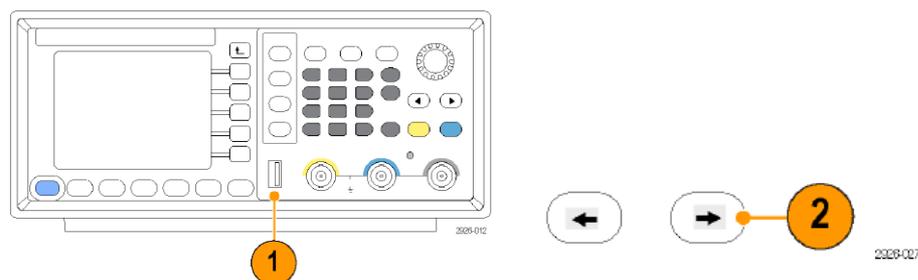
- Guardar o recuperar formas de onda definidas por el usuario en o desde una memoria USB.
- Guardar o recuperar configuraciones en o desde archivos en una memoria USB.
- Actualizar el firmware de su instrumento.
- Guardar una imagen en pantalla.

**PRECAUCIÓN:** Cuando se conecta una memoria USB al instrumento, aparece un mensaje de aviso en la pantalla. No extraiga la memoria USB hasta que desaparezca el mensaje. Si extrae la memoria USB mientras se muestra este mensaje de aviso, el instrumento podría resultar dañado.

*Guardar una imagen de la pantalla.* Para guardar una imagen siga estos pasos:

1. Inserte una memoria USB en el conector USB del panel frontal.
2. Configure la pantalla de modo que se muestre la pantalla que desee guardar como imagen. Luego pulse simultáneamente las dos teclas de dirección bajo el mando de propósito general del panel frontal.
3. Se muestra un mensaje en la pantalla que indica que se ha guardado la imagen en pantalla.
4. Pulse OK. Los archivos en imagen se guardan en una carpeta llamada “TEK” en la memoria USB.

Figura 67. Selección para guardar una imagen de pantalla



Fuente: Tektronix

**5.1.3.4 ArbExpress.** El ArbExpress es un software basado en Windows para crear y editar formas de onda para los instrumentos AWG y AFG de Tektronix. Con ArbExpress puede crear rápida y cómodamente las formas de onda que desee enviarlas al instrumento.

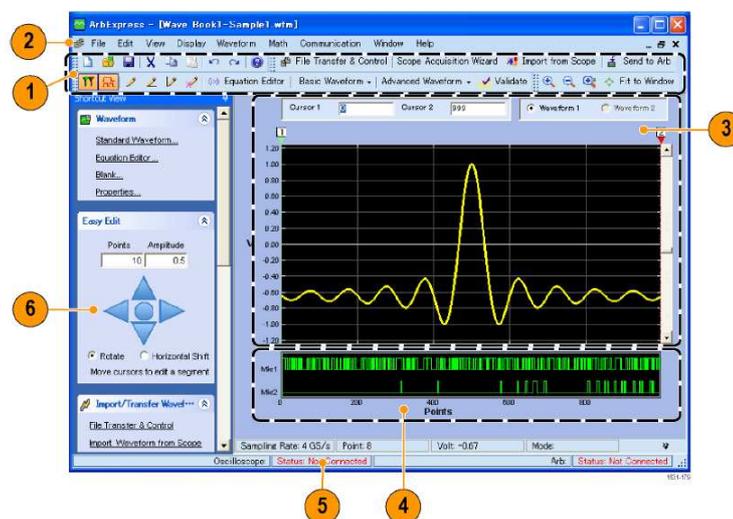
*Requisitos del sistema:*

- *SO compatible:* Windows XP Professional o Windows 2000 o Windows 98/Me o Windows NT o Windows 7 (de 32 bits solo).
- *Requisitos mínimos del PC:* Pentium III 800 MHz y superior, 256 MB de RAM, 300 MB de espacio libre en el disco duro, Microsoft Internet Explorer 5.01.

*TekVISA:* versión 3.3.4.6 y superior.

- Crear formas de onda a partir de plantillas estándar de forma de onda.
- Modificar y transferir formas de onda para realizar pruebas de nivel de DUT.
- Importar directamente formas de onda desde osciloscopios de Tektronix.
- Enviar formas de onda a instrumentos AWG/AFG directamente desde ArbExpress o MATLAB.
- Realizar operaciones matemáticas con las formas de onda.

Figura 68. Interfaz de pantalla ArbExpress



Fuente: Tektronix

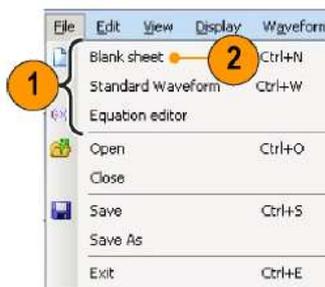
Tabla 16. Descripción del interfaz de pantalla ArbExpress

Elemento	Descripción
1	<b>Barra de menú:</b> la barra de menús proporciona acceso a las funciones de la aplicación. Al seleccionar un elemento de menú, la aplicación muestra el cuadro de dialogo asociado, o bien la selección provoca una acción inmediata.
2	<b>Barra de herramienta:</b> los botones de la barra de herramientas proporcionan acceso instantáneo a la mayoría de las características sin tener que navegar por varios menús.
3	<b>Vista de accesos directos:</b> la vista de acceso directo ocupa rápidamente la parte izquierda de la pantalla. Esta vista se utiliza para acceder rápidamente a las distintas funciones que proporciona la aplicación. Para obtener más información, consulte la ayuda en línea de ArbExpress.
4	<b>Barra de estado:</b> la barra de estado, que se encuentra debajo de la forma de onda y del área de marcadores, muestra información acerca de la aplicación y de la forma de onda.
5	<b>Área de visualización de formas de onda:</b> cuando se crean o se abren formas de onda, se muestran en esta área
6	<b>Área de marcadores:</b> en esta área aparecen los patrones de los marcadores. Para activar y desactivar la visualización de marcadores, seleccione Display (ver) > Marker (Marcador) en la barra de menús.

Fuente: Tektronix

**5.1.3.5 Operaciones básicas.** Los siguientes pasos explican la creación de formas de onda básicas y otras funciones útiles de ArbExpress.

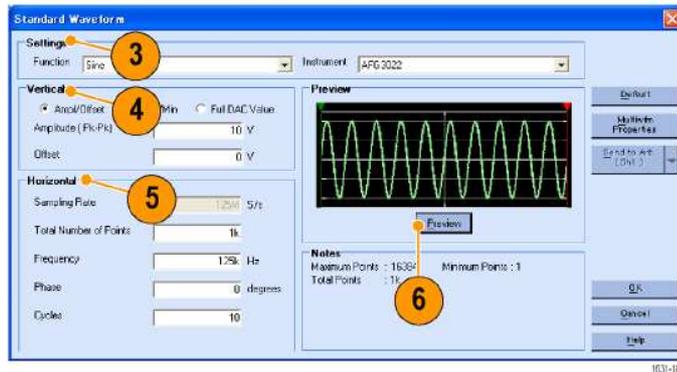
Figura 69. Creación de hoja para nuevo proyecto



Fuente: Tektronix

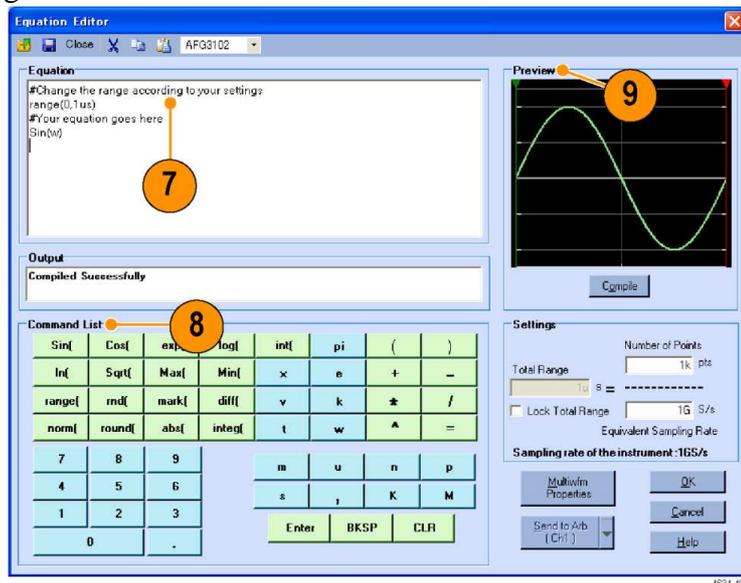
1. Para crear una forma de onda, utilice el menú File (Archivo)
2. Blank sheet (hoja en blanco) abre una hoja en blanco en la ventana.
3. Utilice el cuadro de dialogo Standard Waveform (forma de onda estándar) para crear cualquiera de las formas de onda disponibles.
4. Utilice vertical para definir los parámetros horizontales de la forma de onda.
5. Utilice horizontal para definir los parámetros horizontales de la forma de onda.
6. Haga clic en Preview (Vista previa) para ver la forma de onda.

Figura 70. Ventana para crear una forma de onda estándar



Fuente: Tektronix

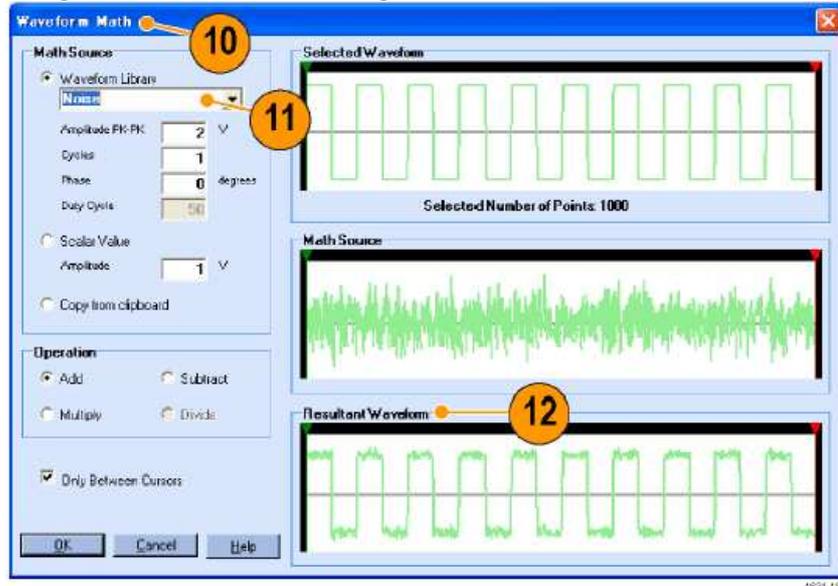
Figura 71. Creación de ondas mediante el editor de ecuaciones



Fuente: Tektronix

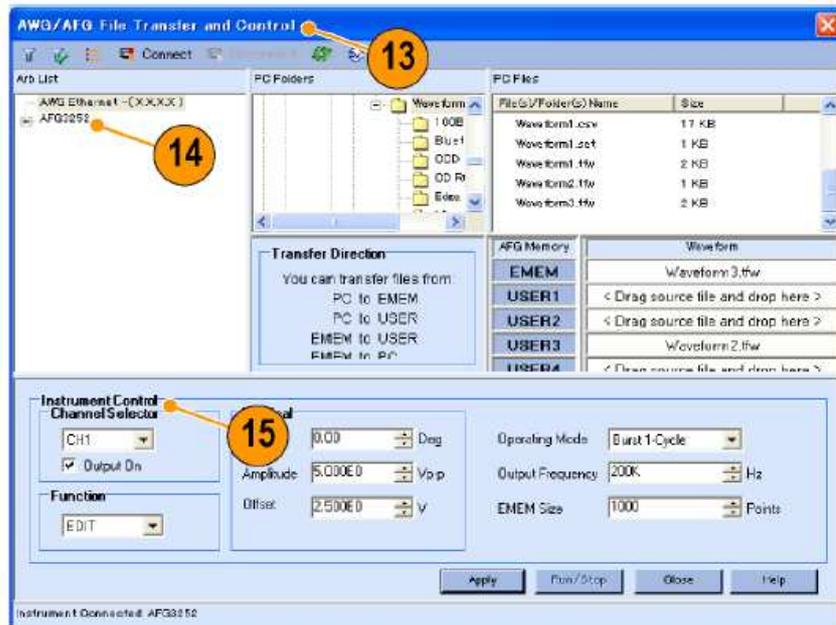
7. Para crear formas de onda también se puede utilizar el Equation Editor (editor de ecuaciones).
8. Utilice Command List (lista de comandos) para seleccionar comandos, funciones, unidades y operaciones.
9. Utilice Preview (Vista previa) para ver la forma de onda después de que se compile la ecuación.
10. Puede utilizar también una de forma de onda matemática.
11. Seleccione una fuente matemática en la biblioteca de formas de onda (Waveform Library). Este es un ejemplo de cómo añadir ruido a una forma de onda.
12. Los resultados de los cálculos se muestran en el panel Resultant Waveform (forma de onda resultante).

Figura 72. Cuadro de diálogo de la forma de onda matemática



Fuente: Tektronix

Figura 73. Control de instrumentos de forma remota



Fuente: Tektronix

13. Puede controlar los instrumentos AWA/AFG de Tektronix de forma remota con ArbExpress.
14. Los instrumentos conectados figuran en la lista Arb List (lista arb.).
15. El panel Instrument Control (control de instrumento) solo parece cuando hay algún instrumento conectado; en caso contrario, está oculto.

**5.1.3.6** *Uso de datos de forma de onda en formato CSV.* ArbiExpress permite convertir en formato CSV (valores separados por comas), creados con Microsoft Excel, en datos de forma de onda que sean compatibles con el instrumento.

Figura 74. Hoja de cálculo (Microsoft Excel)

	A	B	C
1			
2	1	1	0.084007
3	2	2	0.18065
4	3	3	0.041704
5	4	4	-0.23471
6	5	5	-0.45973
7	6	6	-0.15777
8	7	7	0.423242
9	8	8	0.709722

Fuente: Tektronix

Figura 75. Forma de onda creada a partir de CSV



Fuente: Tektronix

1. Cree un archivo CSV para utilizarlo luego en ArbExpress.
2. En esta columna, introduzca un punto o un tiempo.
3. En esta columna, introduzca los datos.
4. Al abrir un archivo CSV, puede aparecer un cuadro de dialogo para confirmar el formato de archivo CSV.
5. Este es un ejemplo del área de presentación de formas de onda de ArbExpress después de recuperar datos en formato CSV.

Con la creación de la forma de onda generada desde una hoja de CSV, se puede introducir datos de mediciones tomadas desde un osciloscopio digital.

## 5.2 Elaboración de manual de mantenimiento

Dependiendo del diseño y construcción de los equipos, estos presentaran unas características apropiadas para realizar estas tareas de mantenimiento, estos aspectos dan lugar a los conceptos de Mantenimiento y Mantenibilidad. Donde se puede definir como Mantenimiento al conjunto de tareas realizadas para mantener la funcionalidad del sistema durante su utilización. Y por Mantenibilidad a la característica inherente de un elemento asociado a su capacidad de ser recuperado para el servicio cuando se realiza la tarea de mantenimiento necesaria. En el ámbito industrial, las estrategias de mantenimiento son de tres tipos principales:

- *Mantenimiento correctivo.* Se basa en que la máquina permanezca en funcionamiento hasta que se produzca la avería, momento en el cual se procede a las operaciones necesarias para su operación.
- *Mantenimiento preventivo.* Se realiza periódicamente y está basado en tiempos de funcionamiento estudiados, consiste en establecer intervenciones rutinarias preestablecidas basándose en un calendario prefijado.
- *Mantenimiento predictivo.* O mantenimiento por condición consiste en un mantenimiento realizado basándose en indicaciones del deterioro significativo del equipo, señalado por la variación de un parámetro observable controlado e indicativo del funcionamiento o rendimiento de dichos equipos.

La nueva filosofía en mantenimiento RCM (Mantenimiento basado en la fiabilidad) articula la planificación del mantenimiento y la eliminación de las causas de la avería sobre la base del conocimiento del estado operativo de los equipos. El objetivo central es alcanzar la máxima fiabilidad para garantizar la máxima disponibilidad. Esto lleva a definir al RCM como “lo que debe hacerse para asegurar que un elemento continua desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente”. Un proceso general de análisis RCM supone la realización de las siguientes tareas principales:

- Definición del alcance y objetivos del estudio.
- Selección y priorización de los sistemas objeto del análisis.

- Selección de tareas de mantenimiento.
- Implementación de reconocimiento, seguimiento de resultados y actualización del estudio.

**5.2.1 Codificación de equipos de la estación.** Una lista de todos los equipos de la estación no es útil ni práctica, debemos elaborar una lista de equipos realmente útil donde se pueda expresar esta lista en forma arbórea, en la que se indiquen las relaciones de dependencia de cada ítem con los restantes. Como en la Facultad de Mecánica de la ESPOCH se está utilizando la plataforma del Software SisMAC, estableceremos los niveles jerárquicos con los que trabaja la institución y dar el siguiente paso para codificar los equipos.

Tabla 17. Descripción de niveles jerárquicos SisMAC

Nivel	Nombre predefinido	Descripción
1	Localización	Plantas, repartos, frentes de trabajo
2	Áreas de proceso	Secciones productivas, centros de producción
3	Sistemas	Maquinaria, máquina o cualquier otro nombre
4	Equipos	Partes o cualquier otro nombre
5	Componentes	Partes de un equipo o cualquier otro nombre
6	Elementos	Partes de un componente

Fuente: SisMAC

*Localización.* Establece el lugar donde abarca el centro de administración de la estación, estará compuesto por cuatro letras que las identifique claramente.

Facultad de Mecánica – FAME

*Área de proceso.* Determina el segundo nivel, este lugar donde se va a realizar el proceso de medición de señales. El laboratorio quedaría definido por dos letras que los identifique.

Laboratorio de Electrónica Básica – EB

*Sistema.* Se conforma en si la máquina o grupo de máquinas previamente clasificadas que conformaran la estación de trabajo, quedando de la siguiente manera:

Osciloscopio de almacenamiento digital – OD

Generador de funciones arbitrario - GF

Multímetro digital – MD

Pinza amperimétrica – PA

Tabla 18. Codificación de los equipos que conforman la estación

N°	Equipo	Código técnico
1	Osciloscopio de digital	FAME – EB – OD01
2	Generador de funciones arbitrario	FAME – EB – GF01
3	Pinza amperimétrica	FAME – EB – PA01
4	Multímetro digital	FAME – EB – MD01

Fuente: Autores

Como no se va a codificar las partes de los equipos se tiene que determinar un número para cada equipo con similares o iguales características, compuestos de dos cifras. Quedando codificados de la siguiente manera como se muestra en la tabla 16.

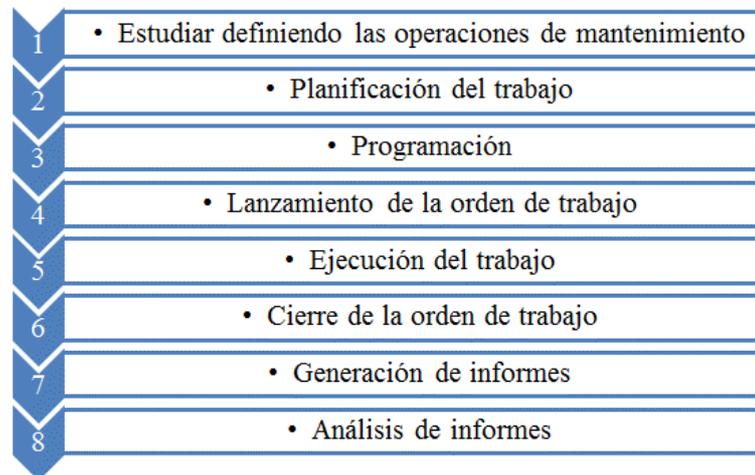
**5.2.2** *Fichas técnicas de los equipos.* Una ficha técnica es un documento en forma técnica que contiene la descripción de las características de un objeto, material, proceso o programa de manera detallada; en nuestro caso se recogerá un conjunto de datos, características e información de los equipos e instrumentos que conformaran la estación de trabajo. En el ANEXO C se detalla cada uno de las fichas técnicas de los equipos.

**5.2.3** *Diagrama de proceso de los equipos.* El diagrama de flujo o diagrama de actividades es la representación gráfica de flujos de trabajo paso a paso de las operaciones o actividades. Estos diagramas utilizan símbolos con significados definidos que representan los pasos de ejecución mediante flechas que conectan los puntos de inicio y de fin de proceso. En el ANEXO D se muestra detalladamente cada uno de los diagramas de procesos, tanto del osciloscopio como del generador de funciones.

**5.2.4** *Flujograma para trabajo de mantenimiento.* La secuencia de actividades que se va a seguir en el plan de mantenimiento de los equipos será mediante la Norma Europea, la misma que contiene documentos, requisitos y procedimientos apropiados que deben tomar como base y cumplir los requerimientos del sistema de calidad de la norma EN ISO 9001. El flujograma muestra lo que se realiza en cada etapa, los

materiales o servicios que entran y salen del proceso, las decisiones que deben ser tomadas y las personas involucradas en cada uno de las ordenes o ejecución de actividades, se muestra en la siguiente figura:

Figura 76. Flujograma para trabajo de mantenimiento



Fuente: NTE INEN-EN 13460:2010

**5.2.5** *Estudiar definiendo las operaciones de mantenimiento.* Los trabajos que se realizará para cumplir con el objetivo de evitar el fallo o minimizar sus efectos se puede diferenciar por los diferentes tipos de actividades.

- *Inspecciones visuales.*
- *Calibración.*
- *Limpieza.*
- *Cambio.*

Para la determinación de las frecuencias de mantenimiento de manera justificada, se ha tomado en cuenta los historiales del antiguo equipo de laboratorio en conjunto con los manuales de los nuevos equipos y mediante la fórmula matemática que viene dado por la relación riesgo – costo – beneficio.

(4)

Dónde:

$C$  = Factor costo.

$F$  = Factor falla.

$A$  = Factor ajuste.

Tabla 19. Banco de tareas de mantenimiento de osciloscopio digital

		Banco de tareas de mantenimiento de los equipos de la estación	
		ESPOCH – Facultad de Mecánica	
Versión: 2014		Sección: Electrónica Básica	
Equipo o máquina		Aplica a:	
Osciloscopio de almacenamiento digital		FAME – EB – ODO1 AL FAME – EB – OD07	
Tareas de mantenimiento		Frecuencia	
Inspección del cable de alimentación		Mensual	
Inspección del ventilador		Mensual	
Inspección de la sonda de prueba		Semanal	
Calibración de la sonda de prueba		Anual	
Calibración del equipo		Anual	
Cambio de fusible		Semestral	
Limpieza del ventilador		Mensual	
Inspección del equipo		Diaria	
Limpieza general del equipo		Diaria	

Fuente: Autores

Tabla 20. Banco de tareas de mantenimiento del generador de funciones arbitrario

		Banco de tareas de mantenimiento de los equipos de la estación	
		ESPOCH – Facultad de Mecánica	
Versión: 2014		Sección: Electrónica Básica	
Equipo o máquina		Aplica a:	
Generador de funciones arbitrario		FAME – EB – GFO1 AL FAME – EB – GF03	
Tareas de mantenimiento		Frecuencia	
Inspección del cable de alimentación		Mensual	
Inspección del ventilador		Mensual	
Inspección de la sonda de prueba		Semanal	
Calibración de la sonda de prueba		Anual	
Calibración del equipo		Anual	
Cambio del fusible		Semestral	
Limpieza del ventilador		Mensual	
Inspección del equipo		Diaria	
Limpieza general del equipo		Diaria	

Fuente: Autores

Tabla 21. Banco de tareas de mantenimiento de la pinza amperimétrica

		Banco de tareas de mantenimiento de los equipos de la estación
		ESPOCH – Facultad de Mecánica
Versión: 2014		Sección: Electrónica Básica
Equipo o máquina	Aplica a:	
Pinza amperimétrica	FAME – EB – GFO1 AL FAME – EB – GF03	
Tareas de mantenimiento		Frecuencia
Cambio de fusible		Semestral
Inspección de los conductores de prueba y sonda flexible		Mensual
Cambio de la batería		Semestral
Inspección general del equipo		Mensual
Limpieza general del equipo		Diaria

Fuente: Autores

Tabla 22. Banco de tareas de mantenimiento del multímetro digital

		Banco de tareas de mantenimiento de los equipos de la estación
		ESPOCH – Facultad de Mecánica
Versión: 2014		Sección: Electrónica Básica
Equipo o máquina	Aplica a:	
Multímetro digital	FAME – EB – GFO1 AL FAME – EB – GF03	
Tareas de mantenimiento		Frecuencia
Inspección general del equipo		Mensual
Comprobación de continuidad del equipo		Diaria
Inspección de los conductores de prueba		Mensual
Cambio de la batería		Semestral
Cambio del fusible		Semestral
Limpieza general del equipo		Diaria

Fuente: Autores

La justificación de las frecuencias de las tareas de mantenimiento se detalla en el ANEXO G.

**5.2.6 Planificación del trabajo.** La planificación del mantenimiento, para los equipos que conforman la estación, está dado de acuerdo al manual que viene incorporado en los diferentes equipos, así como la información de equipos con características similares. Para la planificación se utilizó un vocabulario coherente y armonizado de fácil comprensión para los usuarios que van a emplear elementos comunes, dándoles la facilidad y la razón del plan para los equipos que está referida a garantizar la mayor disponibilidad de los mismos, de manera en que pueda prevenir fallas que impidan lograr este objetivo. Esto se detalla en el ANEXO G.

**5.2.7 Programación.** Una vez detallado las tareas de mantenimiento, se debe realizar la homogenización de las mismas, con el propósito de tener un máximo tres tareas por día y no acumular a otros días con más actividades de mantenimiento. Se toma en cuenta que se trabaja de lunes a viernes de forma semestral, por 8 horas diarias, quedando dispuestos de la siguiente manera en el ANEXO H.

**5.2.8 Lanzamiento de la orden de trabajo.** La orden de trabajo es un documento escrito que la empresa le entrega a la persona de mantenimiento que corresponda para su ejecución, donde se puede registrar las actividades, cantidad y tipo de actividad, falla o el defecto encontrado, duración, materiales utilizados y otros datos que permitan evaluar la eficiencia y veracidad de la actuación del mantenimiento y sus implicaciones con costos de programación (LOURIVAL, 2011).

Tabla 23. Orden de trabajo

 		<b>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo</b>			
		<b>Facultad de Mecánica</b>			
		<b>Orden de trabajo</b>			<b>No.</b>
Ubicación técnica		Equipo		Parte principal	
<b>Fecha de iniciación</b>			<b>Fecha de terminación</b>		
<b>Tipo de actividad</b>					
Programado				Predictivo	
Correctivo				Emergencia	
<b>Solicita:</b>			<b>Ejecuta:</b>		
Descripción del trabajo:					
Novedades encontradas en el equipo:					
<b>Materiales</b>	<b>Cant.</b>	<b>Repuestos</b>	<b>Cant.</b>	<b>Herramientas</b>	<b>Cant.</b>
<b>Personal requerido</b>					
Eléctrico		Electrónico		Mecánico	
<b>Observaciones generales:</b>			<b>Observaciones de seguridad</b>		
<b>Emite</b>		<b>Aprueba</b>		<b>Cierra</b>	
Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	
_____		_____		_____	
<b>Técnico de mtto.</b>		<b>Jefe mtto.</b>		<b>Decano</b>	

Fuente: Autores



Tabla 25. Solicitud de herramientas

		<b>HERRAMIENTAS</b>	
		Ficha de registro	
<b>Versión:2014</b>		Laboratorio de Electrónica Básica	
			Año:2014
<b>Cantidad</b>	<b>Nombre</b>	<b>Características</b>	
*Se registra la cantidad, el nombre de la herramienta y sus características.			
Firmas			

Fuente: Autores

**5.2.10 Cierre de la orden de trabajo.** Para cerrar la orden de trabajo se debe tomar en cuenta, el estado en que opera el equipo dado, las observaciones encontradas sobre las posibles fallas, para acondicionarlas en un próximo mantenimiento. Una vez proporcionado las consideraciones, deben verificar la tarea realizada las personas que firman a continuación en TÉCNICO DE MTTO – JEJE MTTO – DECANO.

**5.2.11 Generación de informes.** Es necesario crear un registro o historial de averías, para el análisis y mejoramiento, ya sea de las tareas de mantenimiento o controlar de mejor manera las actividades de mantenimiento realizadas durante un año.

Tabla 26. Historial de averías

		<b>HISTORIAL DE AVERÍAS</b>			Equipo: <b>Osciloscopio Digital 01</b>
					Código:FAME-EB-OD01
<b>Version:2014</b>					Ficha: 1-1
					Ubicación :Electrónica Básica
<b>Fecha de Avería</b>	<b>Descripción de falla o avería</b>	<b>Tipo de reparación</b>	<b>Fecha de reparación</b>	<b>Observaciones</b>	

Fuente: Autores



cuerpo humano es conductor de electricidad, por esta razón al tocar cualquier elemento que este eléctricamente cargado, la corriente pasa por nuestro cuerpo provocando accidentes que abarca desde una pequeña sacudida hasta la muerte, para evitar estos accidentes se recomienda seguir las siguientes precauciones de seguridad:

1. No ponga en funcionamiento los equipos en entornos húmedos o mojados.
2. No ponga en funcionamiento los equipos en una atmósfera explosiva
3. Mantenga limpias y secas las superficies de los equipos.
4. Proporcione la ventilación necesaria
5. Use el cable de alimentación adecuado
6. Evitar golpear o mover bruscamente los aparatos, ni marcar nada sobre ellos.
7. Conecte la salida de la sonda al instrumento de medida antes de conectar la sonda al circuito que se va a probar.
8. Conecte el cable de referencia de la sonda al circuito bajo prueba antes de conectar la entrada de la sonda.
9. Desconecte la entrada y el cable de referencia de la sonda del circuito que se esté probando antes de desconectar la sonda del instrumento de medición.-
10. Para evitar descargas eléctricas al utilizar la sonda, mantenga los dedos detrás de la protección del cuerpo de sonda.
11. Proporcionar a los equipos una conexión de tierra, con objeto de evitar descargas eléctricas.
12. Respete el régimen de todos los terminales a fin de evitar incendios o descargas eléctricas, observe siempre los regímenes y señalizaciones del equipo.
13. No aplique corriente a ningún terminal que supere el régimen máximo de dicho terminal, incluido al terminal común.
14. No bloquee el cable de alimentación. Este debe permanecer accesible al usuario en todo momento.
15. No ponga el equipo en funcionamiento sin las cubiertas a los paneles.
16. Evite los circuitos expuestos. Evite tocar las conexiones y componentes expuestos cuando el aparato tiene corriente.
17. Mantener el cableado en buen estado, evitando los empalmes con cinta aislante.

En el ANEXO I se muestran los equipos de protección para el área eléctrica.



“Saber para ser”

**ESPOL**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**GUIA DE LABORATORIO DE ELECTRÓNICA**

**PRACTICA No.....**

**TEMA:**“.....”  
.....  
.....”

**Alumno:**.....

**Código:** .....

**Semestre:** .....

**Profesor:** .....

**Fecha de realización:** .....

**Fecha de entrega:** .....

1. Tema
2. Objetivos
3. Metodología
4. Equipos y materiales
5. Marco teórico
6. Procedimiento
7. Conclusiones y recomendaciones
8. Bibliografía
9. Anexos

### 5.4.1 *Práctica 1.*

#### 1. TEMA

“INTRODUCCIÓN AL MANEJO DEL OSCILOSCOPIO DE ALMACENAMIENTO DIGITAL”

#### 2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL. Familiarizarnos y aprender el manejo correcto del osciloscopio de almacenamiento digital.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- A. Identificar los principales componentes y controles del osciloscopio.
- B. Compensación de la sonda.
- C. Toma de medidas sencillas.

#### 3. METODOLOGÍA

Se utilizara la investigación científica, que define la serie de pasos que conducen a la exploración e identificación de los componentes, mediante la aplicación de métodos y técnicas se podrá analizar y utilizar los parámetros para comprobar los resultados mediante las normas preestablecidas o mediante diferentes expresiones que se puede dar en las señales medidas.

#### 4. EQUIPOS Y MATERIALES

- Osciloscopio digital.
- Sonda de medición.
- Multímetro.
- Puntas de medida
- Equipo de protección personal (EPP) para el área eléctrica.

## 5. MARCO TEÓRICO

### EL OSCILOSCOPIO DIGITAL

El osciloscopio es un equipo de medición electrónica, que permite analizar el espectro visualizando en una pantalla los componentes espectrales en un espectro de frecuencias de las señales presentes en cualquier tipo de onda eléctrica que pueden variar con el tiempo. Así, por ejemplo, la intensidad eléctrica se puede conocer sin más que estudiar la tensión entre los bornes de una resistencia por la que circule. En general el osciloscopio mide voltajes y corriente, frecuencias, formas de onda, tiempos de subida y bajada, etc.

Figura 77. Osciloscopio digital de dos canales



Fuente: Tektronix

## 6. PROCEDIMIENTO

Equiparnos con el EPP necesario para realizar trabajos en el área eléctrica.

**OBJETIVO A:** Identificar los principales componentes y controles del osciloscopio.

1. Identificar los controles del panel frontal y posterior que conforman el osciloscopio.

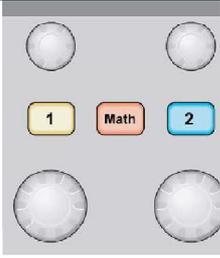
Se componen de los siguientes controles:

Tabla 28. Controles del osciloscopio digital

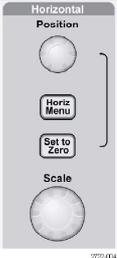
Controles de disparo	
Botones	Especificaciones
Mando multiuso	Cuando está activado, se ilumina el LED adyacente.
Rango Automático	Muestra el menú de rango automático y activa o desactiva la función de rango automático.
Alm./Rec	Muestra el menú Guar./Rec para configuraciones y formas de onda.
Medidas	Muestra el menú de medidas automáticas.
Adquisición	Muestra el menú adquisiciones.
Referencia	Muestra el menú Referencia para mostrar y ocultar rápidamente las formas de onda de referencia que se guardan en la memoria no volátil del osciloscopio
Utilidades	Muestra el menú Utilidades.
Cursores	Muestran los cursores, permanecen en pantalla después de salir del menú.
Pantalla	Muestra el menú pantalla.
Autoconfigurar	Establece automáticamente los controles
Config. Predeter.	Recupera la configuración de fábrica.
Ayuda	Muestra el menú Ayuda.
Sec. Única	(Secuencia única) adquiere una sola forma de onda y se detiene.
Activar/Parar	Adquiere formas de onda continuamente o detiene la adquisición.
Guardar	Un LED indica cuando está configurado el botón imprimir para guardar datos en la unidad USB flash.



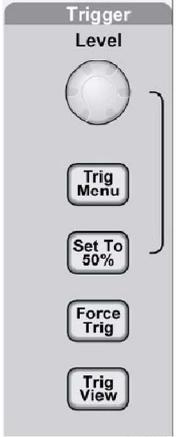
Controles verticales	
Botones	Especificaciones
Posición	Sitúa verticalmente una forma de onda
1 y 2	Selecciona el canal 1 o 2 a utilizar para realizar la medición.
Math	Muestra el menú de operaciones matemáticas de forma de onda.
Escala	Selecciona factores de escala verticales



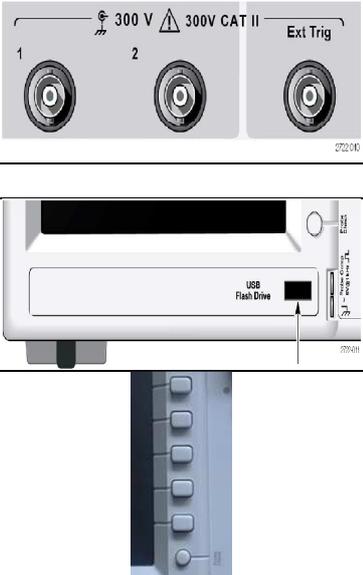
Controles horizontales	
Botones	Especificaciones
Posición	Ajusta la posición horizontal de las formas de onda.
Horiz	Muestra el menú horizontal.
Set to Zero	Establece la posición en cero.
Escala	Selecciona el ajuste tiempo/división horizontal (factor de escala).



Controles de disparo	
Botones	Especificaciones
Level	Establece el nivel de amplitud que se debe cruzar con la señal para adquirir una forma de onda
Trig Menu	Muestra el menú de disparo.
SetTo 50%	Establece el punto medio vertical entre los picos de la señal de disparo.
Force Trig	Completa una adquisición con independencia de una señal de disparo adecuada.
Trig View	Muestra la forma de onda de disparo en lugar de la forma de onda de canal mientras se mantiene pulsando el botón.



Conectores de entrada y otros elementos del panel frontal	
Conectores	Especificaciones
1, 2	Conectores de entrada para la presentación de formas de onda.
Ext Trig	Disparo externo, conector para fuente de disparo externo.
Probe. Comp	Terminales de compensación de sonda y referencia del chasis.
USB Flash Drive	Inserte una unidad USB Flash para almacenar o recuperar datos.
Bisel	Botones de acceso directo a los distintos parámetros.



Fuente: Tektronix

OBJETIVO B: Compensación de la sonda.

1. Conecte el cable de alimentación del osciloscopio de la parte posterior del equipo, hacia una fuente de alimentación.
2. Encienda el osciloscopio.
3. Pulse el botón Config. Predeter.
4. Con los botones de bisel cambie los siguientes parámetros:
  - Tipo de acoplamiento CA.
  - Valor de atenuación determinado 10X para la sonda.

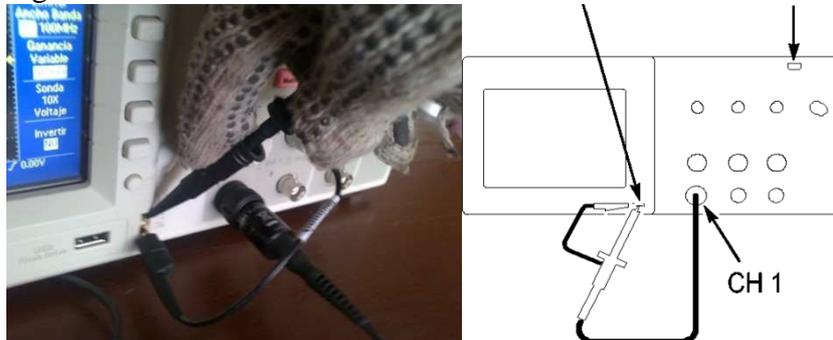
Figura 78. Cambio de parámetros



Fuente: Tektronix

5. Conecte la sonda TPP0101/TP0201 al canal 1 del osciloscopio, alineando la ranura del conector de la sonda con la llave BNC del CH1.
6. Verifique el voltaje con multímetro de los terminales (PROBE COMP) y conecte la punta de la sonda y el cable de referencia a los terminales PROBE COMP de ~5 V a 1 KHz.

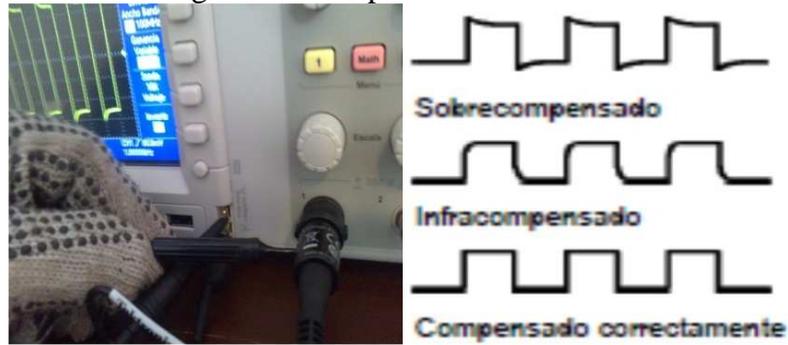
Figura 79. Conexión de la sonda a los terminales PROBE COMP



Fuente: Tektronix

7. Pulse el botón PROBE CHECK (PROBE SOND.) y seguir las instrucciones que aparecen en pantalla.
8. Después de verificar que la sonda funcione correctamente, pulse el botón Autoconfigurar, en breves segundos se dibujara en la pantalla una onda cuadrada de 5V de pico a pico a 1 KHz.
9. Seleccione la forma de onda cuadrada de ciclos múltiples.
10. Calibre la sonda, ajuste la sonda con la herramienta que viene incorporado en los accesorios, las veces que sea necesario hasta obtener una forma de onda cuadrada.

Figura 80. Compensación de la sonda



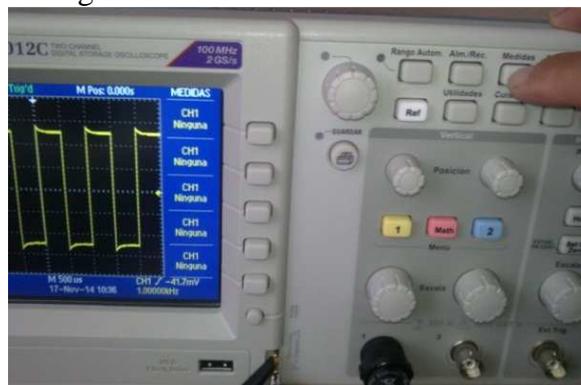
Fuente: Tektronix

OBJETIVO C. Toma de medidas sencillas.

Normalmente se necesita ver una señal en un circuito, pero no se conoce la amplitud o la frecuencia de la señal. Entonces se desea mostrar rápidamente la señal y medir los aspectos relevantes como la frecuencia, el periodo y la amplitud pico a pico. Para mostrar y tomar medidas de la señal, siga estos pasos:

1. Pulse el botón 1 (menú de canal 1).
2. Pulse Sonda → Voltaje → Atenuación → 10X.
3. Conecte la punta de la sonda del CH1 a la señal. Conecte el cable de referencia al punto de referencia del circuito (terminales PROBE COMP de ~5 V a 1 KHz).
4. Pulse el botón Autoconfigurar.
5. Pulse el botón Medidas para ver el menú Medidas.

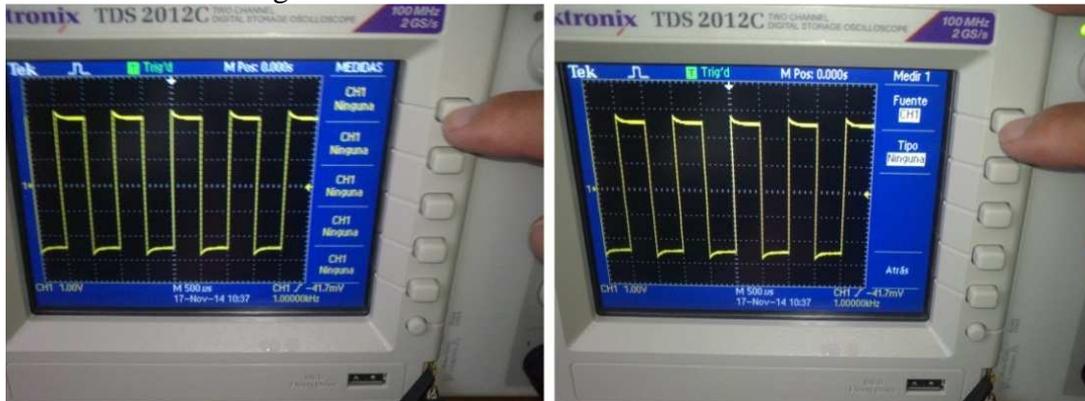
Figura 81. Selección de menú medidas



Fuente: Tektronix

6. Pulse el botón de opción superior, aparece el menú Medidas 1, Fuente → CH1.

Figura 82. Selección de la fuente de señal CH1



Fuente: Tektronix

7. Pulse Tipo → Frecuencia.

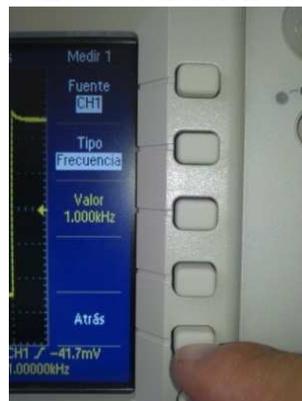
Figura 83. Selección de parámetro a medir (Frecuencia)



Fuente: Tektronix

8. Pulse el botón de opción Atrás.

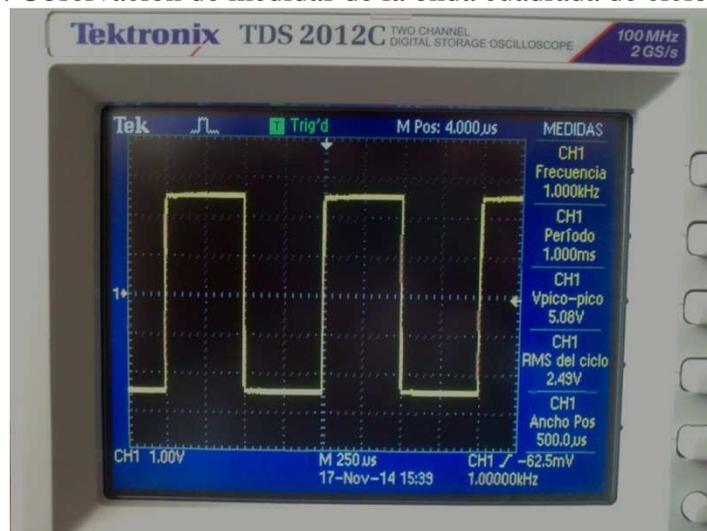
Figura 84. Salida de selección de parámetros



Fuente: Tektronix

9. Pulse el segundo botón de opción contando desde arriba; apareciendo el menú Medidas 2 y pulse Fuente → CH1.
10. Pulse Tipo → Período.
11. Pulse el botón de opción Atrás.
12. Pulse el tercer botón de opción contando desde arriba; apareciendo el menú Medidas 3 y pulse Fuente → CH1.
13. Pulse Tipo → Vpico-pico.
14. Pulse el botón de opción Atrás.
15. Pulse el cuarto botón de opción contando desde arriba; apareciendo el menú Medidas 4 y pulse Fuente → CH1.
16. Pulse Tipo → RMS del ciclo.
17. Pulse el botón de opción Atrás.

Figura 85. Observación de medidas de la onda cuadrada de ciclos múltiples



Fuente: Tektronix

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### CONCLUSIONES:

El equipo es ideado y fabricado para manipular en una área de investigación, por lo tanto no existirá errores en las medidas si operamos con cuidado los diferentes controles que conforma el osciloscopio, tanto de escalado y posicionamiento, para las diferentes formas de onda.

Según el tipo de sonda que tengamos (Voltaje o Intensidad) en nuestro laboratorio y una vez conectado al equipo, el osciloscopio muestra gráficos comparativos de voltaje y tiempo o intensidad y tiempo.

#### RECOMENDACIONES:

Las prácticas de laboratorio se deben realizar siguiendo las normas de seguridad pertinentes para el área eléctrica.

#### 5.4.2 Práctica 2.

##### 1. TEMA

“EJERCICIOS VARIOS”

##### 2. OBJETIVOS

**OBJETIVO GENERAL.** Utilizar el osciloscopio digital de una forma adecuada conociendo los diferentes mandos que existen en el equipo y que servirán para mediciones futuras.

##### OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- A. Escalado y posicionamiento de ondas.
- B. Toma y muestra de dos señales.
- C. Toma de medidas con los cursores
- D. Eliminación de ruido en la señal.

##### 3. METODOLOGÍA

Se utilizara la investigación científica, que define la serie de pasos que conducen a la exploración e identificación de los componentes, mediante la aplicación de métodos y

técnicas se podrá analizar y utilizar los parámetros para comprobar los resultados mediante las normas preestablecidas o mediante diferentes expresiones que se puede dar en las señales medidas.

#### 4. EQUIPOS Y MATERIALES

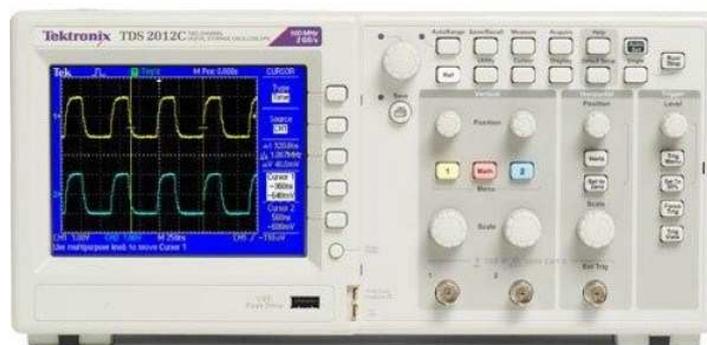
- Osciloscopio digital.
- Sonda de medición.
- Multímetro.
- Puntas de medición.
- Equipo de protección personal (EPP) para el área eléctrica.

#### 5. MARCO TEÓRICO

### EL OSCILOSCOPIO DIGITAL

El osciloscopio es un equipo de medición electrónica, que permite analizar el espectro visualizando en una pantalla los componentes espectrales en un espectro de frecuencias de las señales presentes en cualquier tipo de onda eléctrica que pueden variar con el tiempo. Así, por ejemplo, la intensidad eléctrica se puede conocer sin más que estudiar la tensión entre los bornes de una resistencia por la que circule.

Figura 86. Osciloscopio digital



Fuente: Tektronix

En general el osciloscopio mide voltajes y corriente, frecuencias, formas de onda,

tiempos de subida y bajada, etc.

## 6. PROCEDIMIENTO

Para iniciar con las prácticas, debemos equiparnos con el EPP.

OBJETIVO A. Escalado y posicionamiento de ondas.

1. Conecte el cable de alimentación del osciloscopio de la parte posterior del equipo, hacia una fuente de alimentación.
2. Encienda el osciloscopio.
3. Pulse el botón Config. Predeter.
4. Con los botones de bisel cambie los siguientes parámetros:
  - Tipo de acoplamiento CA.
  - Valor de atenuación determinado 10X para la sonda.
5. Conecte la sonda TPP0101/TP0201 al canal 1 del osciloscopio, alineando la ranura del conector de la sonda con la llave BNC del CH1.
6. Verifique el voltaje con el multímetro de los terminales (PROBE COMP) y conecte la punta de la sonda y el cable de referencia a los terminales PROBE COMP de ~5 V a 1 KHz.

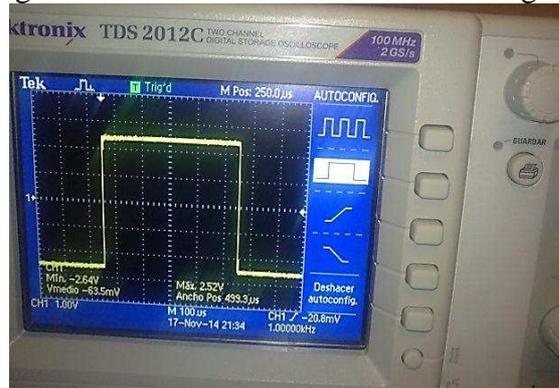
Figura 87. Conexión a los terminales PROBE COMP



Fuente: Tektronix

7. Pulse el botón Autoconfigurar y seleccione una de las opciones de onda cuadrada (segunda opción, ciclo único)

Figura 88. Selección del botón Autoconfigurar



Fuente: Tektronix

8. Regule la escala tanto vertical como horizontal de la parte frontal del osciloscopio.

Figura 89. Regulación de la escala



Fuente: Tektronix

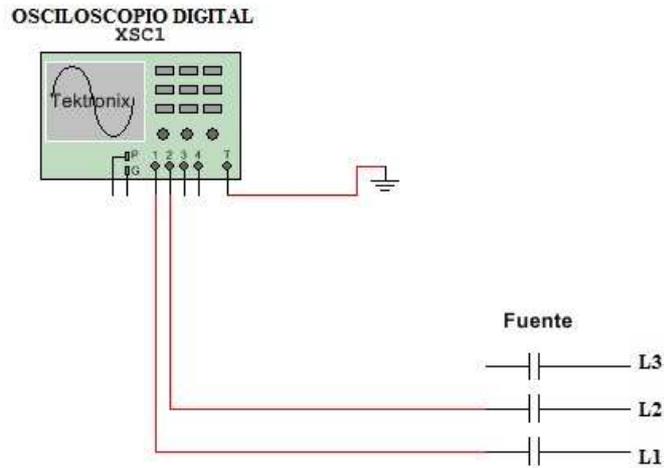
En la escala vertical del gráfico se muestra, que cada división o cuadro es un 1,00V, donde la medida real o suma es el Vpico–pico de 5V. En la escala horizontal el valor de cada cuadro 250 $\mu$ s, mostrando así, el valor del periodo de la señal de 1,000 ms.

**OBJETIVO B.** Toma de medidas y muestra de dos señales.

Para medir dos señales, ya sea ganancia en un amplificador o medición de valores de diferentes líneas, en el osciloscopio existe esta facilidad de hacerlo. Se sigue los siguientes pasos:

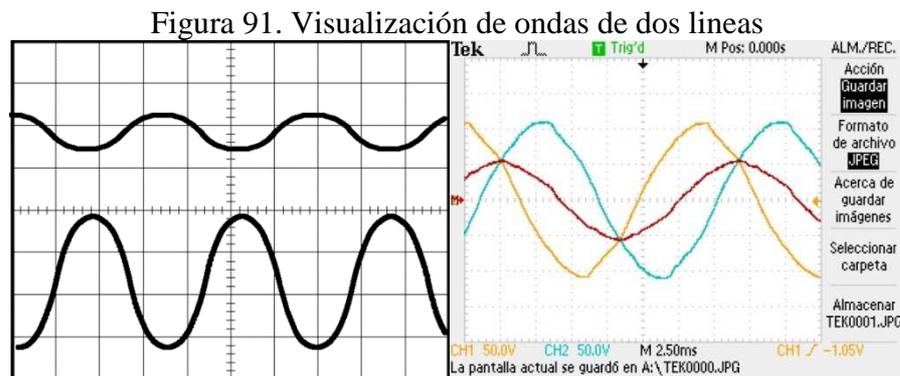
1. Conecte el circuito de la figura 91.

Figura 90. Conexión para toma de medidas de dos líneas



Fuente: Autores

2. Pulse el botón Autoconfigurar, y se visualizara el siguiente grafico en la pantalla:



Fuente: Tektronix

En el gráfico se muestra tres ondas de diferentes colores, donde:

Color naranja → onda del CH 1 → Línea 1.

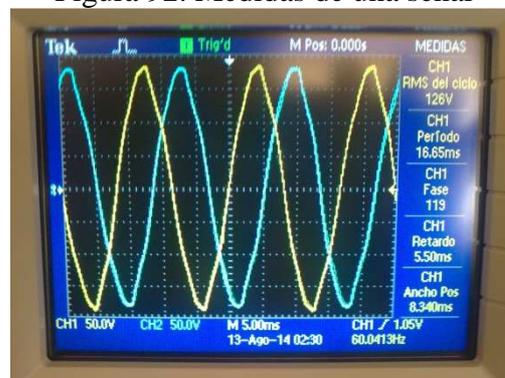
Color azul claro → onda del CH 2 → Línea 2.

Color rojo → Sumatoria de las ondas del CH1 y CH2.

3. Pulse el botón Medidas para ver el menú Medidas.
4. Pulse el botón de opción superior, aparece el menú Medidas 1, Fuente → CH1.
5. Pulse Tipo → RMS del ciclo.
6. Pulse el botón de opción Atrás.

7. Pulse el segundo botón de opción contando desde arriba; aparece el menú Medidas 2, Fuente → CH1
8. Pulse Tipo → Período.
9. Pulse el botón de opción Atrás.
10. Pulse el tercer botón de opción contando desde arriba; aparece el menú Medidas 3, Fuente → CH1
11. Pulse Tipo → Fase. Con relación al CH2
12. Pulse el botón de opción Atrás.
13. Pulse el cuarto botón de opción contando desde arriba; aparece el menú Medidas 4, Fuente → CH1
14. Pulse Tipo → Retardo. Con relación al CH2.
15. Pulse el botón de opción Atrás.
16. Pulse el quinto botón de opción contando desde arriba; aparece el menú Medidas 5, Fuente → CH1
17. Pulse Tipo → Ancho Pos.
18. Pulse el botón de opción Atrás.

Figura 92. Medidas de una señal



Fuente: Tektronix

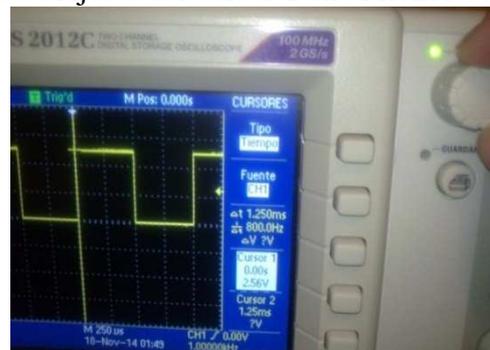
Se puede combinar la toma de medidas de señales del CH1 y CH2 con solo cambiar la fuente de medida, para luego elegir la variable a medir. Una vez realizado las mediciones por el osciloscopio, se debe verificar con los valores ideales de la fuente.

#### OBJETIVO C. Toma de medidas con los cursores

1. Pulse el botón Cursores para ver el menú Cursores.

2. Pulse Tipo → Tiempo.
3. Pulse Fuente → CH1.
4. Pulse el botón de opción Cursor 1.
5. Gire el mando Multiuso para colocar un cursor en el flanco de subida del pulso.

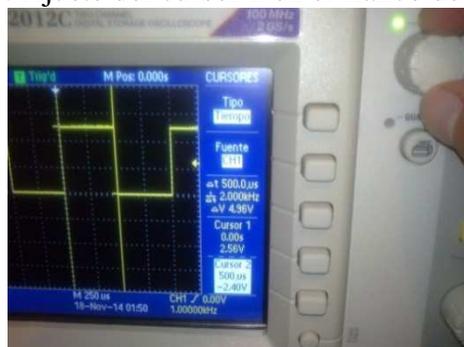
Figura 93. Ajuste del cursor 1 en el flanco de subida



Fuente: Tektronix

6. Pulse el botón de opción Cursor 2.
7. Gire el mando multiuso para colocar un cursor en el flanco de bajada del pulso.

Figura 94. Ajuste del cursor 2 en el flanco de bajada



Fuente: Tektronix

Se puede ver las siguientes medidas en el menú Cursors:

- El tiempo  $\Delta$  (delta) que corresponde a la medida de **ancho de pulso**.
8. Pulse Tipo → Amplitud.
  9. Pulse el botón de opción Cursor 1.

10. Gire el mando multiuso para colocar un cursor 1 en el primer pico de la oscilación.

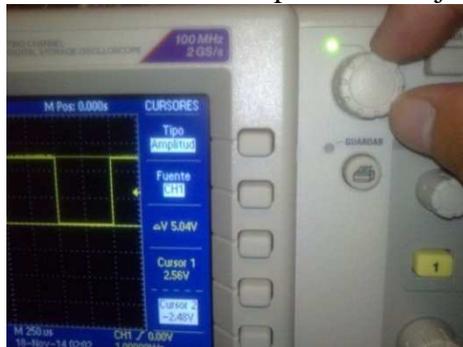
Figura 95. Ajuste del cursor 1 en el primer pico de la oscilación



Fuente: Tektronix

11. Pulse el botón de opción Cursor 2.
12. Gire el mando multiuso y coloque el cursor 2 en la parte más baja de la oscilación.

Figura 96. Ajuste del cursor 2 en la parte más baja de la oscilación



Fuente: Tektronix

Se puede ver las siguientes medidas en el menú Cursores:

- El tiempo  $\Delta$  (delta) que corresponde a la medida de **amplitud de oscilación**.

OBJETIVO D. Eliminación de ruido en la señal.

1. Pulse el botón Adquisición para ver el menú Adquisición.

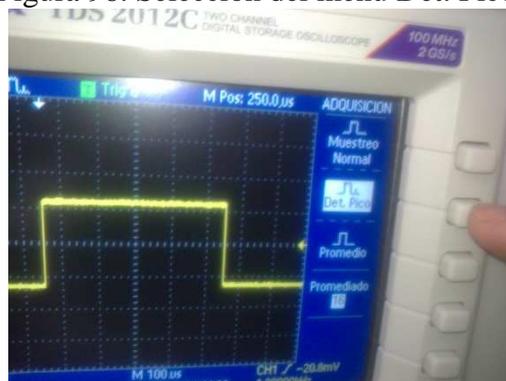
Figura 97. Selección del menú Adquisición



Fuente: Tektronix

2. Pulse el botón de opción Det. Picos.

Figura 98. Selección del menú Det. Picos



Fuente: Tektronix

3. Pulse el botón Promedio, para ignorar o reducir el ruido aleatorio.

Figura 99. Selección del menú Promedio



Fuente: Tektronix

4. Pulse el botón Promediado para ver el efecto que provoca variar el número de promedios en ejecución de la presentación de la forma de onda.

Figura 100. Selección del menú Promedio a 64 y 128



Fuente. Tektronix

El promedio reduce el ruido aleatorio y permite examinar más fácilmente el detalle de una señal.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES:

La toma y muestra de dos señales se puede utilizar también para medir la ganancia que existe en un amplificador o para comparar las diferencias de medidas de dos señales como fase, desfase, retardo, etc.

La forma de toma de medidas con los cursores, es una manera rápida de ver las medidas de tiempo y amplitud. Y se puede comparar pulsando el menú Autoconfigurar.

Con la eliminación de ruido en la señal, se obtiene valores con precisión y la visualización de la onda se observa sin deformaciones.

### RECOMENDACIONES:

Una forma más rápido para realizar el escalado y posicionamiento de ondas, se lo puede realizar con el botón Rango Autom.

Seguir las normas de seguridad establecidas por los instrumentos y el laboratorio.

### 5.4.3 Práctica 3.

#### 1. TEMA

“INTRODUCCIÓN AL MANEJO DEL GENERADOR DE FUNCIONES ARBITRARIO”

#### 2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL. Aprender el manejo correcto del generador de funciones, ajustando los controles básicos del equipo.

#### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- A. Identificar los principales controles del generador de funciones.
- B. Generar una forma de onda sinodal.
- C. Generar una forma de onda de pulso.

#### 3. METODOLOGÍA

En el desarrollo de la práctica de laboratorio se utiliza el método científico a través de la identificación de componentes, análisis de lo teórico con lo práctico midiendo parámetros básicos y comprobando resultados mediante las diferentes formas de onda del generador de funciones.

#### 4. EQUIPOS Y MATERIALES

- Cables de alimentación y accesorios.
- Osciloscopio de almacenamiento digital.

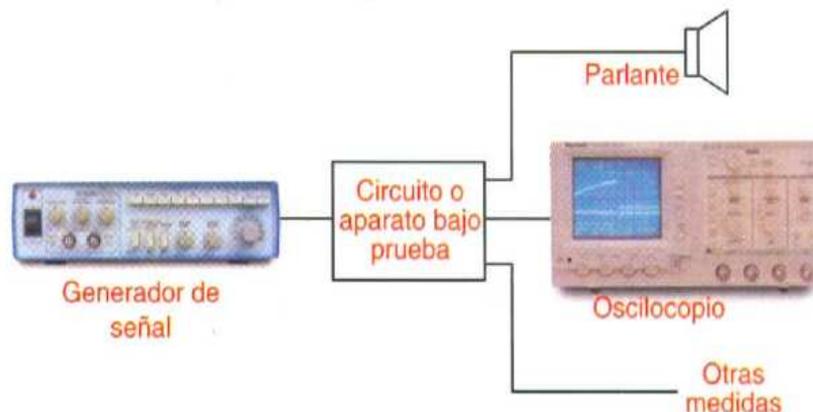
- Generador de funciones arbitrario.
- Equipo de protección personal.

## 5. MARCO TEÓRICO

### GENERADOR DE FUNCIONES O SEÑALES

El generador de funciones es uno de los instrumentos de laboratorio más útiles, su función es producir señales eléctricas a las cuales se les pueden modificar algunos parámetros como amplitud, frecuencia, ciclo útil, etc., lo que permite hacer pruebas de equipos, análisis de circuitos y en general, una gran cantidad de experimentos y pruebas tanto a nivel académico como de mantenimiento de aparatos eléctricos y electrónicos. Estos instrumentos se utilizan para entregar o inyectar diferentes tipos de señales a los circuitos electrónicos, ya sean prototipos, de producción industrial, o a circuitos que requieran reparación. Esta señal entonces debe ser escuchada, observada, medida o analizada por algún otro medio para determinar si el aparato bajo prueba o análisis está trabajando bien. En otras palabras, los generadores de señal permiten simular, de una manera fácil y precisa, las señales reales que se procesan en diferentes aparatos.

Figura 101. Procedimiento para comprobar el estado de funcionamiento de aparatos



Fuente: Curso práctico de electrónica moderna CEKIT

## 6. PROCEDIMIENTO:

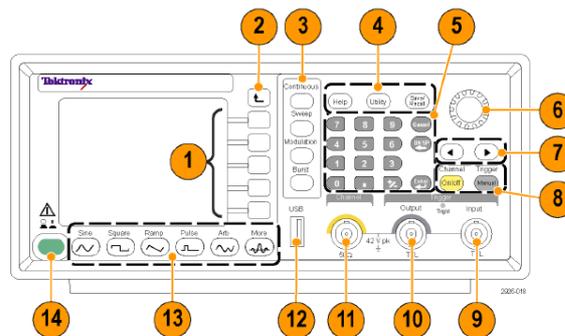
Nos equipamos con el EPP necesario para realizar este laboratorio.

OBJETIVO A: Identificar los principales controles del generador de funciones.

1. Identifique los controles tanto frontal como posterior del generador.

Controles básicos del generador de funciones arbitrario. Sus múltiples controles permiten que el usuario reproduzca una gran variedad de formas de onda, cambiando la amplitud, la frecuencia de la onda, añadiendo una componente continua, modificando el ciclo de trabajo, etc. Los controles más comunes se encuentran tanto en el panel frontal como en el posterior de la siguiente manera:

Figura 102. Elementos del panel frontal del AFG 2021



Fuente: Tektronix

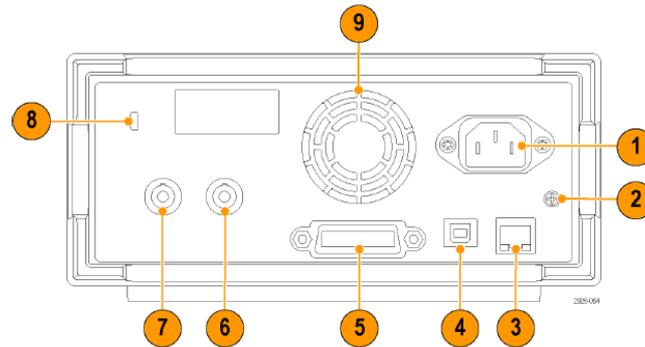
Tabla 29. Descripción de los elementos del panel frontal AFG2021

Elemento	Descripción
1	Botones de bisel
2	Regreso al menú anterior
3	Botones del modo run ( ejecución )
4	Botones ayuda, utilidad y guard/recup
5	Teclado numérico y botones cancelar, retr (borrar/retroceder un espacio) y entrar.
6	Mando de propósito de mando general
7	Los botones de flecha permiten seleccionar un número concreto en la pantalla cuando se cambian los valores de amplitud, fase, frecuencia u otros similares.
8	Botones canal on/off y disparo manual
9	Conector entrada disparo
10	Conector salida disparo
11	Conector salida canal
12	Conector usb
13	Botones de funciones
14	Botón de encendido

Fuente: Tektronix

*Panel posterior.* La siguiente ilustración muestra los conectores del panel posterior del instrumento.

Figura 103. Elementos del panel posterior del AFG 2021



Fuente: Tektronix

Tabla 30. Descripción de los elementos del panel posterior

Elemento	Descripción
1	Entrada de alimentación: en este punto se ha conectado anteriormente el cable de alimentación para proporcionar electricidad al instrumento.
2	Tornillo en la base del chasis: este tornillo se utiliza para estabilizar el instrumento. Utilice un tornillo grueso unificado (N° 6-32, de 6.35 mm de longitud máxima)
3	Puerto LAN: este puerto se puede utilizar para conectar el instrumento a una red. Conecte aquí un cable 10Base-T o 100BASE-T
4	Conector USB (tipo B): se puede utilizar para conectar un controlador USB tipo B.
5	GPIB: este puerto se puede utilizar para controlar el instrumento mediante comandos GPIB.
6	Conector EXT MODULATION INPUT (entrada ref. ext.), se trata de un conector BNC para la entrada de referencia externa.
7	Conector EXT MODULATION INPUT (entrada de modulación ext.): se trata de un conector BNC para la entrada de modulación externa se puede utilizar para introducir señales moduladas.
8	Ranura de seguridad: esta ranura permite utilizar un cable de seguridad estándar para el ordenador portátil.
9	Rejilla de ventilador: se trata de la abertura de ventilación para el ventilador.

Fuente: Tektronix

**OBJETIVO B:** Generar una forma de onda sinodal.

1. Conecte el cable de alimentación y luego pulse el botón de encendido.
2. Conecte un cable BCN entre la salida canal del generador de funciones arbitrario y un conector de entrada del osciloscopio.

Figura 104. Conexión del cable BNC



Fuente: Tektronix

3. Si desea una onda sinusoidal continua, pulse el botón Sine→ Continuo.

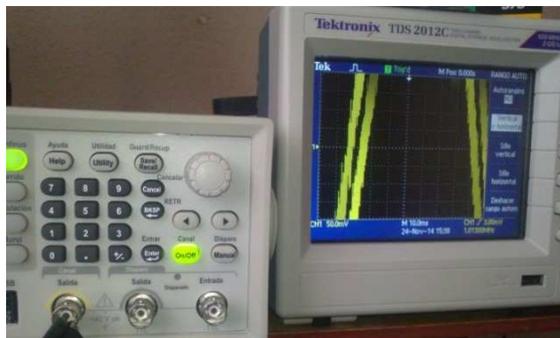
Figura 105. Selección de la forma de onda sinusoidal continua



Fuente: Tektronix

4. Pulse el botón canal On/Off del panel frontal para activar la salida.

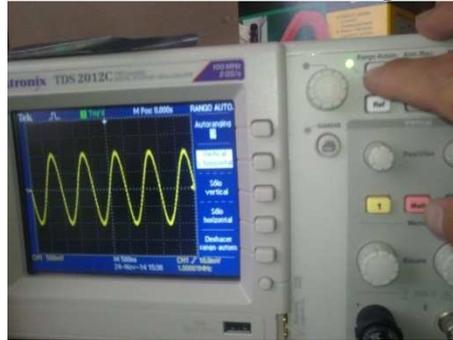
Figura 106. Activación para la salida al osciloscopio



Fuente: Tektronix

5. Utilice la función de ajuste automático de la escala del osciloscopio para ver la forma de onda sinusoidal en la pantalla de 500 ns/div.

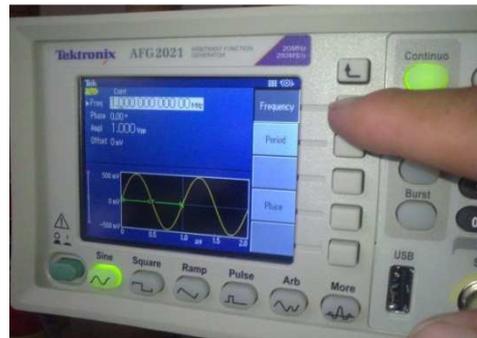
Figura 107. Forma de onda sinusoidal predeterminada



Fuente: Tektronix

6. Para cambiar la frecuencia, pulse el botón Sine (Sinusoidal) del panel frontal y luego pulse el botón de bisel Frequency /Period/ Phase Menú
7. Pulse el botón de bisel Frequency (Frecuencia). Ahora se puede cambiar el valor de la frecuencia utilizando el teclado numérico o el mando de propósito general.

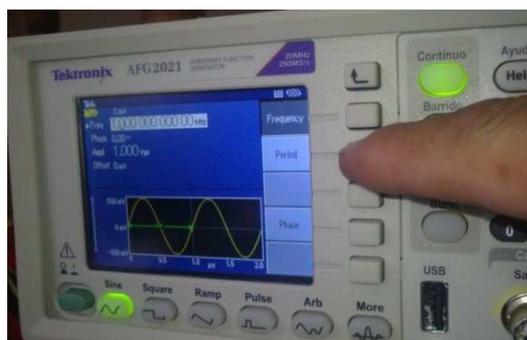
Figura 108. Cambio del valor de la frecuencia



Fuente: Tektronix

8. Pulse el botón de bisel Period (Periodo), para cambiar el valor de la frecuencia.

Figura 109. Cambio del valor del periodo



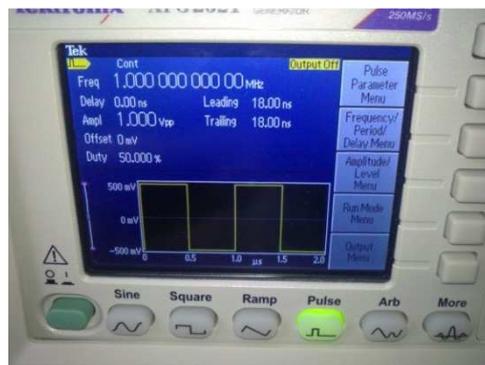
Fuente: Tektronix

9. Para cambiar la amplitud primero pulse el botón , del panel frontal y regrese al menú principal, luego pulse el botón de bisel Menú Amplitude/Level.
10. Pulse el botón de bisel Amplitude (Amplitud), ahora puede utilizar el mando multiuso o el teclado numérico para definir el valor de la amplitud.

OBJETIVO C: Generar una forma de onda de pulso.

1. Pulse el botón Pulse (Pulso) del panel frontal para ver la pantalla.

Figura 110. Selección de la forma de onda de pulso



Fuente: Tektronix

2. Pulse el botón de bisel Pulse Parameter Menú (Menú Parámetros de Pulso).

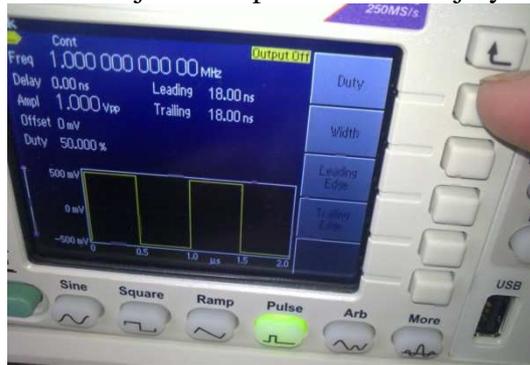
Figura 111. Selección del menú parámetros de pulso



Fuente. Tektronix

3. Pulse el botón de bisel Duty (Trabajo) y ajuste el parámetro según sea necesario, luego pulse el botón de bisel Width (ancho) y ajuste el parámetro.

Figura 112. Ajuste del parámetro trabajo y ancho



Fuente: Tektronix

4. Pulse el botón de bisel Leading Edge (flanco anterior) y ajuste el parámetro, luego pulse el botón de bisel Trailing Edge (flanco Posterior) y ajuste el parámetro.

Figura 113. Ajuste del parámetro del flanco anterior y posterior



Fuente: Tektronix

5. Para definir el retardo de entrada, pulse el botón Retornar

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES:

Una vez adquirida la forma de onda sinusoidal, se logró alterar los parámetros como la frecuencia, periodo y la amplitud, que son medidas básicas en una onda de este tipo.

Se pudo restablecer la configuración predeterminada sin borrar la memoria, para ello se utilizó el procedimiento de configuración predeterminada.

Cuando se especificó un parámetro de forma de onda utilizando la selección del menú de bisel, se mostró un parámetro activo en el área de gráficos.

#### RECOMENDACIONES:

Utilizar los elementos de protección personal para no correr riesgos innecesarios durante las prácticas.

Consultar las guías de operación para una mejor manipulación de los equipos.

#### 5.4.4 Práctica 4.

##### 1. TEMA

#### “EJERCICIOS VARIOS”

##### 2. OBJETIVOS

**OBJETIVO GENERAL.** Generar formas de onda alterando sus parámetros, para el estudio de las mismas.

##### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- A. Generar una forma de onda de barrido.
- B. Adicionar ruido a una forma de onda.
- C. Generación de una forma de onda arbitraria.

##### 3. METODOLOGÍA

En el desarrollo de la práctica de laboratorio se utiliza el método científico a través de la identificación de componentes, análisis de lo teórico con lo práctico midiendo parámetros básicos y comprobando resultados mediante las diferentes formas de onda

del generador de funciones.

#### 4. EQUIPOS Y MATERIALES

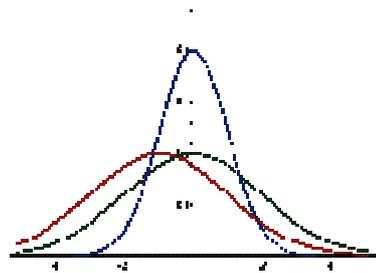
- Cables de alimentación y accesorios.
- Osciloscopio de almacenamiento digital.
- Generador de funciones arbitrario.
- Equipo de protección personal.

#### 5. MARCO TEÓRICO

*Forma de onda de barrido.* El barrido genera una forma de onda con la frecuencia de la señal de salida que varía linealmente o logarítmicamente.

*Forma de onda arbitraria.* La forma de onda arbitraria, es una creación libre de una onda de señales, es utilizado en el desarrollo y la investigación de la electrónica para determinar el comportamiento de un parámetro ya sea en tensión o corriente y para identificar a un infractor en una fase temprana (DUT – dispositivo bajo prueba).

Figura 114. Forma de onda arbitraria



Fuente: [http://www.uiandt.com/index/arbitraer\\_generatoren](http://www.uiandt.com/index/arbitraer_generatoren)

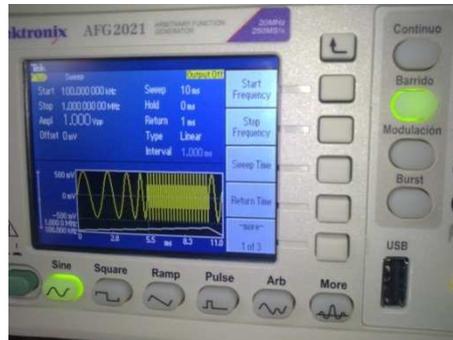
#### 6. PROCEDIMIENTO:

Nos equipamos con el EPP necesario para realizar este laboratorio.

OBJETIVO A: Generar una forma de onda de barrido.

1. Seleccione una forma de onda y pulse el botón Sweep (Barrido) del panel frontal.

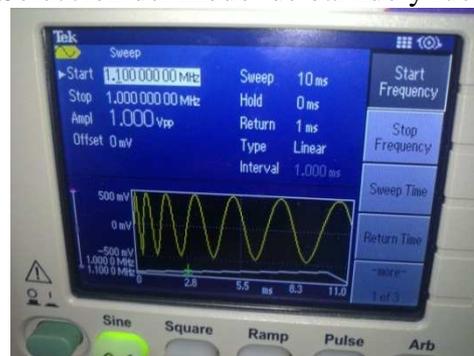
Figura 115. Selección de una forma de onda de Barrido



Fuente: Tektronix

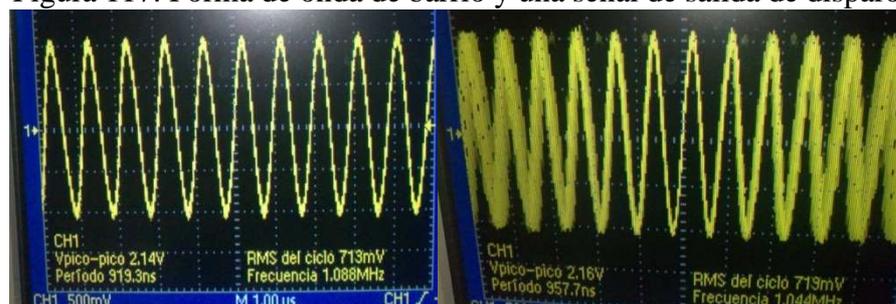
2. Especifique la frecuencia inicial, la frecuencia de parada, el tiempo de barrido y el tiempo de retorno en el menú de barrido. En este menú se puede seleccionar el modo de barrido y la fuente de disparo. El barrido presenta una forma de onda con una frecuencia de la señal de salida que varía linealmente o según un logaritmo.

Figura 116. Selección del modo de barrido y fuente de disparo



Fuente: Tektronix

Figura 117. Forma de onda de barrido y una señal de salida de disparo

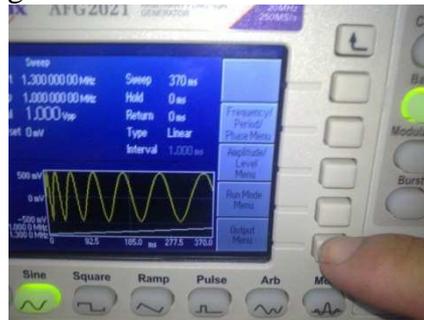


Fuente: Tektronix

OBJETIVO B: Aprender adicionar ruido a una forma de onda.

1. Pulse el botón Sine (Sinusoidal) del panel de control y después pulse el botón de bisel Output Menú (Menú Salida).

Figura 118. Selección de menú salida



Fuente: Tektronix

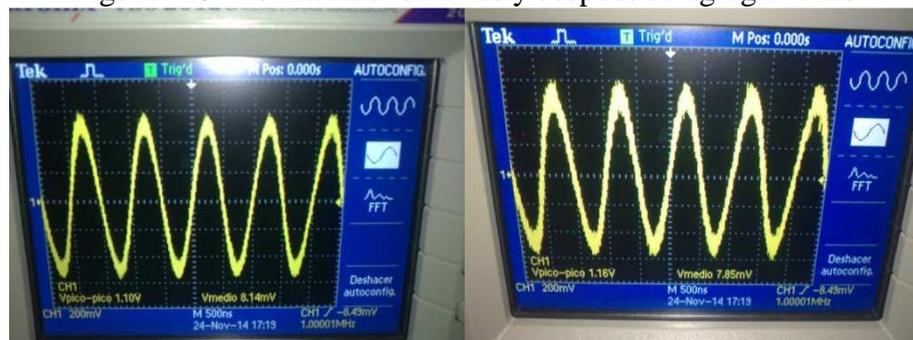
2. Pulse el botón de bisel Noise (Ruido) y en el submenú Noise Add (Añadir Ruido) seleccione On (Activado). Ajuste el nivel de ruido, pulse Noise Level.

Figura 119. Selección de ruido a una forma de onda



Fuente: Tektronix

Figura 120. Forma de onda antes y después de agregar ruido



Fuente: Tektronix

OBJETIVO B: Generar una forma de onda arbitraria.

1. Pulse el botón Arb del panel frontal.

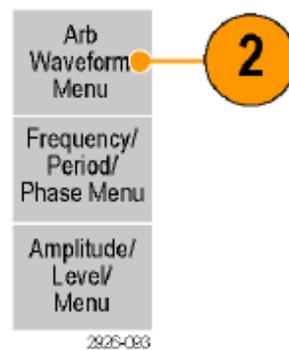
Figura 121. Selección de la forma de onda arbitraria



Fuente: Tektronix

2. Pulse el botón de bisel del menú Arb Waveform.

Figura 122. Selección del menú Arb Waveform



Fuente: Tektronix

3. Se muestra el menú Arb Waveform Menu. Ahora puede desplazarse por una lista de archivos de forma de onda en la memoria interna o en la USB. Seleccione internal (interna) puede especificar un archivo de user1 (usuario1) a user4 (usuario4), o edit memory (editar memoria).

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

Para obtener una forma de onda de barrido con una frecuencia de salida que varié

linealmente se debe especificar bien la frecuencia inicial, la frecuencia de parada, el tiempo de barrido y el tiempo de retorno en el menú de barrido.

La adición de ruido a la señal se hace evidente, haciendo que la forma de onda se deformara con el incremento de nivel de ruido, alterando de igual manera sus medidas de la señal.

#### RECOMENDACIONES:

Las formas de onda Pulso, DC y Ruido no pueden ser seleccionadas al mismo tiempo.

Seguir las normas de seguridad que recomienda el manual de los instrumentos.

Use el mando de propósito general del panel frontal para desplazarse por los archivos o parámetros, para seleccionar un ítem, y pulse OK.

## CAPITULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones.

Se seleccionó equipos idóneos para la estación, tomando en cuenta la tecnología y las variables a medir (señales digitales y analógicas), precisión en las medidas, resolución del equipo, tiempo de respuesta y ancho de banda, con interferencias y ruido en el ambiente. Se llegó a elegir un Osciloscopio y un Generador de funciones con tecnología digital y conexión para transmisión de datos del equipo al ordenador.

La implementación de la estación de medidas de señales permitió a realizar el estudio respectivo de las señales producidas por variadores de frecuencia, dando como resultado, el encontrar la contaminación de armónicos en la línea de alimentación del motor.

Se determinó la distorsión armónica de tensión puede usarse como un referente en el aumento de la temperatura de los motores eléctricos trifásicos y una pérdida de las condiciones de operación y vida útil del motor.

Los armónicos de menor orden y de secuencia negativa encontrados en la toma de medidas, tienen un mayor efecto que los de secuencia positiva y de secuencia nulos: es así, que los motores con alto contenido de armónicos de tensión sufrirán de un incremento en la vibración y torques pulsantes.

Para una mejor utilización de los equipos de la estación, se elaboraron las diferentes guías o manuales como son: manual de operación, manual de mantenimiento y el manual de prácticas; los cuales cuentan con procesos didácticos, que facilitan el manejo y aprendizaje de los estudiantes.

## **6.2 Recomendaciones.**

Para la operación de los equipos se debe tener un conocimiento básico de lo que es la instrumentación y las diferentes señales a medir que se puedan dar en un dispositivo.

Utilizar todas las medidas de seguridad pertinentes que se dan en un laboratorio o área eléctrica, ya que el mayor activo es la conservación física de la persona.

Se puede disminuir los costos de operación, el calentamiento y la pérdida de vida útil que resultan a partir de la polución eléctrica, al minimizar la distorsión armónica de tensión, empleando diferentes técnicas como: utilizar convertidores trifásicos de más de seis pulsos, usar transformadores con corrimiento de fase, combinar cargas monofásicas con cargas trifásicas, utilizar reactancias de línea a la entrada de los convertidores o usar filtros resonantes y filtros activos.

Realizar el seguimiento de las guías expuestas, ya sea para realizar las prácticas o para mantenimiento de los equipos, contribuyendo de esta manera a la conservación de los mismos.

## BIBLIOGRAFÍA

**CHAPMAN, Stephen J. 2000.***Máquinas Eléctricas*. Bogota : Nomos S. A., 2000. 958-41-0056-4.

**CIFP. 2011.** Centro Integrado de Formación Profesional (MSP). *cifp-mantenimiento.es*. [En línea] 2011. [Citado el: 20 de 08 de 2014.] Motores Eléctricos. [http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learning/index.php?id=2&id\\_sec=7](http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learning/index.php?id=2&id_sec=7).

**ECURED. 2013.** Ecured. *Ecured.cu*. [En línea] 2013. [Citado el: 16 de 08 de 2014.] [http://www.ecured.cu/index.php/Motor\\_el%C3%A9ctrico\\_trif%C3%A1sico](http://www.ecured.cu/index.php/Motor_el%C3%A9ctrico_trif%C3%A1sico).

**ELECTRONICA, Fácil. 2004.** Electronica Facil. *electronicafacil.net*. [En línea] 2004. [Citado el: 15 de 08 de 2014.] Osciloscopios. <http://www.electronicafacil.net/>.

**LOURIVAL. 2011.** MANTENIMIENTO MUNDIAL. [En línea] infor, 2011. [Citado el: 18 de 11 de 2014.] <http://www.mantenimientomundial.com/sites/libro/Lourival/cap3b.asp>.

**MARTINEZ Dominguez, Fernando. 2001.***Motores Eléctricos*. s.l. : EDICIONES PARANINFO, 2001. Motor jaula de ardilla. 9788428327893.

**MARTINEZ, Carlos.** Automatización, Productividad y Calidad S.A de C.V. *Automatización, Productividad y Calidad S.A de C.V*. [En línea] [Citado el: 03 de 09 de 2014.] Tipos de variadores. <http://watergymex.org>.

**MILEAF, Harry. 1998.***Curso Práctico de Electricidad*. México : Limusa, S.A., 1998. Vol. 2, Biblioteca Municipal Ambato. 968-18-0973-4.

—. **1998.***Curso Práctico de Electricidad*. México : Limusa, S.A., 1998. Vol. 1, Biblioteca Municipal Ambato. 968-18-0973-4.

**MITCHELL, Justin.** eHOW en Español. *eHOW en Español*. [En línea] [Citado el: 2014 de 09 de 03.] <http://www.ehowenespanol.com>.

**OBEKI, Electric Motors.** OBEKI Electric Motors. *OBEKI Electric Motors*. [En línea] OBEKI. [Citado el: 21 de 08 de 2014.] Motor de rotor bobinado. <http://www.obeki.com/>.

**PERALTA, Jhon.** Siemens. *Siemens.com*. [En línea] [Citado el: 18 de 07 de 2014.] Valriador de velocidad. <http://www.siemens.com/micromaster>.

**TODO PRODUCTIVIDAD. 2012.** TODOPRODUCTIVIDAD. [En línea] JUNIO de 2012. [Citado el: 14 de AGOSTO de 2014.] <http://www.todoproductividad.blogspot.com.es/2012/06/comparacion-entre-tecnologias-de.html>.

**UDISTRITAL.** Udistrital. *Udistrital.edu.co*. [En línea] [Citado el: 11 de 08 de 2014.] Armónicos. <http://www.udistrital.edu.co/>.

**WARD, M R. 1973.** *Electricidad*. México : Litografica Ingramex, S.A., 1973. Biblioteca Municipal Ambato.

