

01129  
62



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“MONITOREO Y ADQUISICIÓN DE VARIABLES  
ELÉCTRICAS EN MOTORES DE CORRIENTE  
ALTERNA”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

PRESENTAN:

JORGE VÉLEZ MARTÍNEZ  
PEDRO GONZÁLEZ GÓMEZ

DIRECTOR:

ING. JUAN JOSÉ LÓPEZ MÁRQUEZ



MÉXICO, D. F. AGOSTO DEL 2003

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

A



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS:

Este trabajo sirve como un testimonio de mi infinito aprecio y agradecimiento por toda una vida de esfuerzos y sacrificios. brindándome siempre cariño y apoyo cuando mas lo necesité. deseo de corazón que mi triunfo como persona y como profesionista lo sientan como el suyo propio. Con todo mi amor, admiración y respeto para mis padres Conchita y Jorge. Gracias por todo el amor y por toda la confianza que han depositado en mi, el resultado de mi trabajo y esfuerzo es gracias a ustedes que creyeron en mi y que siempre me impulsaron a seguir adelante. ¡Muchas gracias!.

Mis hermanas Norma y Nancy, que son lo mas maravilloso que tengo, les agradezco el apoyo, la comprensión y el amor que siempre me han dado y a ellas dedico mi trabajo como muestra de mi agradecimiento y cariño. ¡Gracias!.

Mi familia, Jorge, Conchita, Nancy, Norma, Emilio, mi adorado sobrino Ulises y los que aún no llegan, gracias por ser parte de mi vida y por creer en mi y apoyarme siempre que lo necesité. ¡Mil gracias!. ¡Los quiero mucho!.

Quiero agradecer a todos y cada uno de mis compañeros de la universidad por su apoyo incondicional durante estos años juntos sufriendo y gozando de todas y cada una de las cosas que en esta etapa tan maravillosa pudimos compartir; José Luis, Lili, Gris, Job, Aldebarán, Juan Carlos, Armando, Carlos y los que me faltan; todos sabemos lo difícil que fue pasar todas y cada una de nuestras materias, los exámenes, proyectos, las noches de trabajo, las horas de clase, los profesores, todo fue parte de una experiencia muy significativa para mi gracias a su amistad y compañerismo. ¡Gracias!.

Mis amigos, Diana, Lisette, Eva, Andrea, Ana, Erika, Ricardo, Israel, Pepe, Jorge, Nacho, Alejandro, Poncho, Radai, Erik y más; gracias por sus palabras de motivación para seguir adelante y por confiar y creer en mi como persona y como amigo. Todos y cada uno de ustedes tienen un lugar muy especial en mi vida. ¡Gracias!.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

D

A todos mis profesores que con su dedicación y experiencia pudieron enseñarme muchas cosas. ellos me dejaron mucho y se los agradeceré por siempre. ¡Gracias!

Quiero agradecer a mi director de tesis el Ing. Juan José López Márquez por su apoyo incondicional y por el interés de que este proyecto saliera adelante siempre pensando en nosotros brindándonos todo el apoyo y su disposición. ¡Gracias!

A mi compañero de tesis, Pedro, por este año de trabajo juntos persiguiendo el mismo objetivo y finalmente lograrlo. ¡Gracias!

A quienes con su confianza, cariño y apoyo sin escatimar esfuerzo alguno me han convertido en una persona de provecho ayudándome al logro de una meta más: mi carrera profesional. por compartir tristezas y alegrías, éxitos y fracasos, por todos los detalles que me han brindado durante mi vida como estudiante y por hacer de mí lo que soy.



¡Mil gracias a todos! ...

**JORGE**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

c

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera agradecer a mis padres, no sólo por apoyarme en la carrera de Ingeniero Eléctrico-Electrónico, sino también por darme la vida y brindarme la oportunidad de estudiar. Además de agradecer a toda mi familia por las desveladas que les ocasioné.

También quisiera agradecer a la Universidad y a la Facultad de Ingeniería ya que me brindaron los conocimientos para mi formación como ingeniero, por medio de sus profesores e instalaciones.

Al ingeniero Juan José López Márquez por darnos la oportunidad de realizar la tesis y por las facilidades que nos otorgo.

Una de las principales virtudes que tome en consideración a lo largo de todo este tiempo es la amistad. Es muy difícil poder recordar a todos los amigos y amigas que tuve antes de ingresar a la Facultad de Ingeniería, pero en cierta forma incidieron para que yo ingresara a esta magnífica Universidad.

Pero más importante quisiera agradecer a todos mis amigos y amigas que tuve durante mi estancia en la Facultad Ingeniería. A todos aquellos que gracias a su amistad y compañerismo se nos hizo más amena la carrera. Especialmente aquellas personas que conocí durante mis primeros semestres, ya que con ellos compartí mucho tiempo tanto fuera y dentro de las aulas, gracias a su amistad pude aprender más de lo que te pueden enseñar dentro de los salones de clase. También aquellas amistades que por diversas circunstancias no existo una buena relación.

Por último quisiera agradecer al laboratorio de Multimedia e Internet por el apoyo que he recibido, y por haber me tolerado durante todo este tiempo. Ya que con el conocimiento que adquirí en este laboratorio me sirvió para mi formación profesional.

Además les doy las gracias a los encargados del laboratorio de Multimedia e Internet porque en diversas formas me ayudaron para mi titulación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que han creído en mi trabajo así como mi amistad.

"Nadie envejece por vivir, sino por perder el interés por la vida"

"Aunque el mundo sucumbiera siempre habrá un hombre aferrado a un mástil"



*Pedro*

pettgosito

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

E

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Concepto de máquinas eléctricas	1
1.2 Máquinas de CA y de CD	2
1.2.1 Máquinas síncronas elementales	4
1.2.2 Máquinas de inducción elementales	11
1.2.3 Máquinas de CD elementales	13
1.3 Concepto de monitoreo	16
1.3.1 Monitoreo en línea	16
1.3.2 Monitoreo en tiempo real	17
1.3.2.1 Rendimiento	17
1.3.2.2 Tiempo de respuesta del sistema	18
1.3.2.3 Razón de transferencia de datos	18
CAPÍTULO 2.	19
FUNDAMENTOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATORIAS	19
2.1 Campo magnético	19
2.1.1 Líneas de fuerza de un campo magnético	21
2.1.2 Efectos del campo magnético	24
2.1.2.1 Fuerzas entre los campos magnéticos de dos conductores recorridos por corrientes	24
2.2 Par	26
2.3 Voltaje inducido	28
2.3.1 Bobina concentrada y distribuida de dos polos	30
2.3.2 Bobina concentrada de cuatro polos	31
2.3.3 Campo magnético rotatorio de dos y cuatro polos	32
2.3.4 Vector representativo de las fuerzas magnetomotrices (FMM)	33
2.3.5 Curva del campo magnético rotatorio	35
2.4 Corriente producida por el movimiento de un conductor	36
2.4.1 Fuerza electromotriz inducida sobre una bobina en rotación	37

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2.4.2 Voltaje inducido en un conductor en movimiento	39
2.5 Selección de un motor	40
2.5.1 Diseño clase "A"	41
2.5.2 Diseño clase "B"	42
2.5.3 Diseño clase "C"	43
2.5.4 Diseño clase "D"	43
2.5.5 Pérdidas y diagrama de flujo de potencia	44
2.5.6 Momento inducido	47
2.5.7 Partes de una máquina de inducción	47
2.5.7.1 Rotor tipo jaula	48
2.5.7.2 Rotor embobinado de una máquina trifásica de inducción	49
2.6 Definiciones y técnicas de medición en circuitos de CA	50
2.6.1 Circuitos de CA monofásicos	50
2.6.2 Impedancia	52
2.6.3 Fasores	52
2.6.4 Valores en por unidad	54
2.6.5 Definiciones de potencia eléctrica y corrección del factor de potencia en circuitos de CA monofásicos	55
2.6.5.1 Corrección del factor de potencia (compensación)	58
2.7 Cargas de CA trifásicas conectadas en estrella / delta (Y- $\Delta$ )	60
2.7.1 Fasores de voltajes y corrientes en un sistema trifásico	63
2.7.2 Potencias en los circuitos trifásicos de CA	64
2.8 Mediciones de potencia	67
2.8.1 Método de los dos wattmetros	67
2.8.2 Método de los tres wattmetros	69
2.8.3 Método de un wattmetro	70
<b>CAPÍTULO 3. ADQUISICIÓN DE DATOS</b>	<b>71</b>
3.1 Adquisición de datos y formas de ondas	71
3.1.1 Componentes de un sistema de adquisición de datos	72
3.2 Transductores	73
3.2.1 Visión general de un sistema de adquisición de datos	73
3.2.2 Definición de un transductor	73



3.2.3 Tipos de transductores	74
3.3 Señales	76
3.3.1 Clasificación de las señales	76
3.3.1.1 Señales digitales	77
3.3.1.1.1 Información de una señal digital	77
3.3.1.2 Señales analógicas	80
3.3.1.2.1 Información de una señal analógica	80
3.3.2 Formas de medir una señal	83
3.4 Acondicionamiento de señales	84
3.4.1 Amplificación	85
3.4.2 Relación señal a ruido	86
3.4.3 Otros tipos de acondicionamiento de señales	87
3.4.4 Tipos más comunes de acondicionadores de señales	88
3.4.4.1 Modo	89
3.4.4.2 Resolución	89
3.4.4.3 Rango	90
3.4.4.4 Ganancia	91
3.4.5 Frecuencia de muestreo	92
3.4.5.1 Teorema de Nyquist	93
3.4.5.2 Filtrado y acondicionamiento	95
3.5 Hardware de adquisición de datos	95
3.5.1 Características	95
3.5.2 Entradas analógicas	95
3.5.3 Conversión analógico-digital	96
3.5.4 Márgenes dinámicos de entrada	97
3.5.5 Sistemas de multiplexado	97
3.5.6 Salidas analógicas	98
3.5.7 Entradas y salidas digitales	99
3.5.8 Circuitos de reloj y temporización de entrada y salida	99
3.6 Software de adquisición de datos	99
3.6.1 Lenguajes de programación	100
3.6.1.1 Ensamblador.	100
3.6.1.2 C, visual C++	101
3.6.1.3 LabVIEW	101

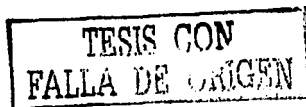
3.6.1.3.1 Creación de código externo en LabVIEW	104
3.6.1.3.1.1 Creación de CIN's	104
3.6.1.3.1.2 Creación de DLL's	104
3.6.1.3.1.3 Creación de programas multitarea en LabVIEW	105
3.6.1.4 Métodos de optimización en el almacenaje de datos (DMA)	106
3.6.1.5 Líneas de control	107
<b>CAPÍTULO 4. LabVIEW</b>	<b>109</b>
4.1 Instrumentos Virtuales	110
4.1.1 Ambientación con LabVIEW	113
4.1.1.1 Ventanas de Panel Frontal y Diagrama de Bloques	115
4.1.1.2 Barra de Herramientas del Panel Frontal	116
4.1.1.3 Barra de herramientas del diagrama de bloques	118
4.1.1.4 Menú de acceso rápido	120
4.1.1.5 Menús	120
4.1.1.6 Paletas	121
4.1.1.6.1 Paletas de herramientas	121
4.1.2 Tipos de controles y funciones	124
4.1.2.1 Paletas de controles	125
4.1.2.2 Paleta de funciones	126
4.1.3 Cargando VIs	126
4.1.4 Guardando VIs	127
4.2 Creación de un VI	127
4.2.1 Panel frontal	127
4.2.1.1 Controles e indicadores numéricos	128
4.2.1.1.1 Controles e indicadores booleanos	128
4.2.1.1.2 Configurando los Controles y los Indicadores	128
4.2.2 Diagrama de Bloques	129
4.2.2.1 Nodos	129
4.2.2.2 Terminales	129
4.2.2.3 Tipos de cables	130
4.3 Programación en LabVIEW	130
4.4 Ejecución de un VI	131

4.5 LabVIEW RT	132
4.5.1 Instalación y configuración	134
4.5.1.1 Instalación del hardware	134
4.5.1.1.1 Instalación PCI	134
4.5.1.1.2 Instalación PXI	135
4.5.1.2 Configuración de la tarjeta	136
4.5.2 Descripción general del hardware	138
4.5.2.1 Tarjeta del procesador	140
4.5.2.2 Tarjeta de adquisición de datos (DAQ)	141
4.5.3 Comunicación entre la PC y las tarjetas de las series RT	142
4.5.4 Sistema de integración en tiempo real (RTSI)	143
4.5.5 LEDs	144
4.5.6 Descripción general del software	144
4.5.7 Arquitectura de LabVIEW RT	146
4.5.8 Sistema de desarrollo RT	149
4.5.8.1 La máquina RT	150
4.5.8.2 Tiempo local y del sistema en la máquina RT	151
4.5.9 Operación de LabVIEW RT	151
4.5.9.1 Iniciando LabVIEW RT y descargando VIs	152
4.5.9.2 Reestableciendo la tarjeta RT	153
4.5.9.3 Descarga de VIs sin ejecutarlos	153
4.5.10 Ejecutables independientes utilizando LabVIEW RT	154
4.5.11 Programación en LabVIEW RT	155
4.5.12 Utilizando el sistema de desarrollo RT	156
4.5.12.1 Información de la máquina RT	157
4.5.12.2 Como salir del sistemas de desarrollo RT	157
4.5.12.3 Iniciar LabVIEW RT con VIs embebidos todavía ejecutándose	158
4.5.13 Aplicaciones (HOST) en LabVIEW RT	159
4.5.14 Memoria compartida	159
4.6 Programación en tiempo real	160
4.6.1 Desempeño de los VIs en tiempo real	160
4.6.2 Prioridad critica de tiempo	161
4.6.3 Ambiente LabVIEW RT en tiempo real	161

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

4.7 Ejecución de un VI con prioridad de tiempo crítica en el sistema de desarrollo RT	163
4.8 Ejecución de un VI con prioridad de tiempo crítica sin el sistema de desarrollo RT	164
4.9 Consideraciones importantes en la configuración	165
4.10 Desempeño de los VIs de las series RT	165
4.11 Uso de la memoria compartida	166
4.12 Desarrollo de ciclos eficientes	166
<b>CAPÍTULO 5. IMPLEMENTACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS</b>	<b>168</b>
5.1 Introducción	168
5.2 Descripción del sistema de adquisición y monitoreo	171
5.2.1 Módulo de conexiones	172
5.2.2 Conector I/O	175
5.2.3 Tarjeta de adquisición de datos	176
5.3 Configuración de canales de entrada	178
5.4 Panel frontal	182
5.4.1 Voltaje de CA	184
5.4.2 Corriente de CA	185
5.4.3 Potencias	186
5.4.4 Velocidad	188
5.4.5 Par	189
5.4.6 Frecuencia	190
5.4.7 Factor de potencia	191
5.4.8 Triángulo de potencias	193
5.4.9 Espectro y análisis armónico de frecuencias	194
5.5 Adquisición de datos	196
5.6 Comunicación con la memoria compartida	197
5.7 Lectura de datos de la memoria compartida	198
5.8 Almacenamiento de datos en archivo	199

CAPÍTULO 6. PRUEBAS DE MONITOREO Y ADQUISICIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS	200
6.1 Máquina Síncrona	201
6.1.1 Valores nominales	202
6.1.2 Pruebas	202
6.1.2.1 Prueba sin campo y sin carga	203
6.1.2.1.1 Gráficas de voltajes	204
6.1.2.1.2 Gráfica de corriente	204
6.1.2.1.3 Gráficas de potencias	205
6.1.2.1.4 Gráfica de velocidad	206
6.1.2.2 Prueba con campo y sin carga variando la resistencia (mínima y máxima)	207
6.1.2.2.1 Gráficas de voltajes	208
6.1.2.2.2 Gráfica de corriente	209
6.1.2.2.3 Gráficas de potencias	210
6.1.2.2.4 Gráfica de velocidad	210
6.1.2.3 Prueba con campo y con carga variando la resistencia (mínima y máxima)	211
6.1.2.3.1 Gráficas de voltaje	212
6.1.2.3.2 Gráfica de corriente	212
6.1.2.3.3 Gráficas de potencias	213
6.1.2.3.4 Gráfica de velocidad	214
6.1.2.3.5 Gráfica de par	214
6.2 Motor con capacitor de arranque	215
6.2.1 Valores nominales	217
6.2.2 Pruebas	217
6.2.2.1 Prueba de arranque con capacitor sin carga	217
6.2.2.1.1 Gráfica de voltaje	218
6.2.2.1.2 Gráfica de corriente	219
6.2.2.1.3 Gráficas de potencias	219
6.2.2.1.4 Gráfica de velocidad	220
6.2.2.2 Prueba de arranque con capacitor con carga	220
6.2.2.2.1 Gráfica de voltaje	221
6.2.2.2.2 Gráfica de corriente	222



6.2.2.2.3 Gráficas de potencias	223
6.2.2.2.4 Gráfica de velocidad	223
6.2.2.2.5 Gráfica de par	224
6.2.3 Motor de operación continua por capacitor	225
6.2.3.1 Prueba sin carga	226
6.2.3.1.1 Gráfica de voltaje	227
6.2.3.1.2 Gráfica de corriente	227
6.2.3.1.3 Gráficas de potencias	228
6.2.3.1.4 Gráfica de velocidad	228
6.3 Motor universal	229
6.3.1 Valores nominales	231
6.3.2 Pruebas	231
6.3.2.1 Prueba del motor universal (compensación) sin carga	232
6.3.2.1.1 Gráfica de voltaje	233
6.3.2.1.2 Gráfica de corriente	233
6.3.2.1.3 Gráficas de potencias	234
6.3.2.1.4 Gráfica de velocidad	235
6.3.2.2 Prueba del motor universal (compensación) con carga	235
6.3.2.2.1 Gráfica de voltaje	236
6.3.2.2.2 Gráfica de corriente	237
6.3.2.2.3 Gráficas de potencias	237
6.3.2.2.4 Gráfica de velocidad	238
6.3.2.2.5 Gráfica de par	239
6.3.2.3 Prueba del motor universal (serie) sin carga	239
6.3.2.3.1 Gráfica de voltaje	240
6.3.2.3.2 Gráfica de corriente	241
6.3.2.3.3 Gráficas de potencias	242
6.3.2.3.4 Gráfica de velocidad	242
6.3.2.4 Prueba del motor universal (serie) con carga	243
6.3.2.4.1 Gráfica de voltaje	243
6.3.2.4.2 Gráfica de corriente	244
6.3.2.4.3 Gráficas de potencias	245
6.3.2.4.4 Gráfica velocidad	245
6.3.2.4.5 Gráfica de par	246

6.3.2.5 Prueba del motor universal (serie-compensación) sin carga	246
6.3.2.5.1 Gráfica de voltaje	247
6.3.2.5.2 Gráfica de corriente	248
6.3.2.5.3 Gráficas de potencias	248
6.3.2.5.4 Gráfica de velocidad	249
6.3.2.6 Prueba del motor universal (serie-compensación) con carga	249
6.3.2.6.1 Gráfica de voltaje	250
6.3.2.6.2 Gráfica de corriente	251
6.3.2.6.3 Gráficas de potencias	251
6.3.2.6.4 Gráfica de velocidad	252
6.3.2.6.5 Gráfica de par	253
6.4 Motor de inducción con rotor devanado	254
6.4.1 Valores nominales	255
6.4.2 Pruebas	255
6.4.2.1 Prueba sin carga	256
6.4.2.1.1 Gráfica de voltaje	257
6.4.2.1.2 Gráfica de corriente	257
6.4.2.1.3 Gráficas de potencias	258
6.4.2.1.4 Gráfica de velocidad	258
6.4.2.2 Prueba con carga	259
6.4.2.2.1 Gráfica de voltaje	259
6.4.2.2.2 Gráfica de corriente	260
6.4.2.2.3 Gráficas de potencias	260
6.4.2.2.4 Gráfica de velocidad	261
6.4.2.2.5 Gráfica de par	262
6.5 Motor de inducción de jaula de ardilla	263
6.5.1 Valores nominales	264
6.5.2 Pruebas	264
6.5.2.1 Prueba sin carga	265
6.5.2.1.1 Gráfica de voltaje	266
6.5.2.1.2 Gráfica de corriente	266
6.5.2.1.3 Gráficas de potencias	267
6.5.2.1.4 Gráfica de velocidad	267
6.5.2.2 Prueba con carga	268

6.5.2.2.1 Gráfica de voltaje	268
6.5.2.2.2 Gráfica de corriente	269
6.5.2.2.3 Gráficas de potencias	270
6.5.2.2.4 Gráfica de velocidad	271
6.5.2.2.5 Gráfica de par	271
<b>CAPITULO 7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b>	<b>273</b>
<b>APÉNDICE A. CONEXIÓN DE SEÑALES</b>	<b>280</b>
<b>APÉNDICE B. ESPECIFICACIONES</b>	<b>307</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>326</b>



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Concepto de máquinas eléctricas

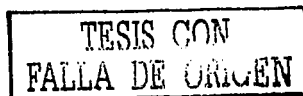
“Una máquina eléctrica es un dispositivo que convierte energía eléctrica en energía mecánica o energía mecánica en energía eléctrica. Cuando tal dispositivo se utiliza para convertir energía mecánica en energía eléctrica, se le denomina *generador*. Cuando convierte energía eléctrica en energía mecánica, se llama *motor*”<sup>1</sup>. Como cualquier máquina eléctrica dada es capaz de convertir potencia en ambos sentidos, toda máquina puede utilizarse ya sea como generador o como motor. Casi todos los motores y generadores convierten energía de una forma en otra por la acción de un campo magnético.

Otro dispositivo íntimamente relacionado con los anteriores es el *transformador*. Un transformador es una máquina eléctrica estática la cual convierte energía eléctrica de CA (Corriente Alterna) de un nivel de voltaje dado, en energía eléctrica de CA a otro nivel de voltaje. Puesto que los transformadores operan bajo los mismos principios que los generadores y los motores, dependiendo de la acción de un campo magnético para lograr el cambio de nivel de voltaje, se estudian generalmente en conjunto con las máquinas eléctricas rotatorias.

Estos tres tipos de máquinas eléctricas están siempre presentes en la vida cotidiana moderna. En el hogar, los motores eléctricos hacen funcionar congeladores, aspiradoras, aires acondicionados, ventiladores, etc. En lugar de trabajo, suministran la fuerza motriz para casi todas las herramientas. Por supuesto, los generadores son indispensables para suministrar la potencia que utilizan estos motores.

Los motores y generadores son tan comunes debido a que la potencia es una fuente de energía limpia y eficiente. Un motor eléctrico no requiere ventilación constante ni combustible, en la forma en que una máquina de combustión lo hace, de tal manera que el motor eléctrico es muy apropiado para ser utilizado en un medio ambiente donde se desea

<sup>1</sup> Stephen J. Chapman. *Máquinas eléctricas*. Pág. 1



evitar los contaminantes asociados a la combustión. En cambio, la energía térmica o la mecánica pueden convertirse en electricidad en un lugar distante y transmitirse finalmente por medio de cables al sitio requerido y utilizarse en cualquier hogar, oficina o fábrica. Los transformadores ayudan en este proceso reduciendo las pérdidas entre el lugar de generación de la energía eléctrica y el sitio en donde va a ser utilizada.

EL diseño y estudio de las máquinas eléctricas son algunas de las áreas más antiguas de la ingeniería eléctrica. Su estudio comenzó a finales del siglo XIX. En aquel tiempo, las unidades eléctricas estaban apenas utilizándose internacionalmente hasta que llegará a utilizarse universalmente por los ingenieros. Volts, amperes, ohms y unidades similares, que hacen parte del sistema métrico de unidades, se han utilizado desde hace tiempo para representar a las cantidades eléctricas en las máquinas.

## 1.2 Máquinas de CA y de CD

La ley de Faraday representada por  $e = d\lambda / dt$ , describe en forma cuantitativa la inducción de voltajes mediante un campo magnético variable en el tiempo. La conversión electromagnética de energía se lleva a cabo cuando el cambio de flujo se asocia con el movimiento mecánico. En las máquinas rotatorias los voltajes se generan en devanados o bobinas al hacerlos girar mecánicamente a través de un campo magnético, al hacer girar en forma mecánica un campo magnético que pasa por los devanados, o diseñando el circuito magnético de tal manera que la reluctancia varíe con la rotación del rotor. Mediante cualquiera de éstos métodos se hace variar en forma cíclica el flujo que enlaza una bobina dada, y se genera un voltaje variable en el tiempo. Al grupo de bobinas descritas e interconectadas de modo que sus voltajes generados contribuyan positivamente al resultado deseado, se le llama *devanado de armadura*. En la figura 1 se muestra la armadura de una máquina de CD ( Corriente Directa ); la armadura es el miembro rotatorio o *rotor*. La figura 2 muestra la armadura de una máquina de CA, que en éste caso es un generador síncrono. Esta vez la armadura es el miembro estacionario o *estator*.



Figura 1. Armadura de un rotor de CD.

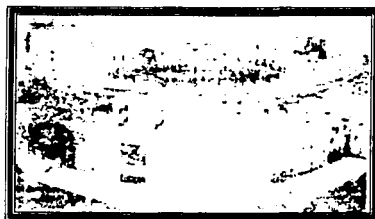


Figura 2. Estator de un generador hidroeléctrico trifásico.

En general las bobinas se enrollan sobre núcleos de hierro. Esto se hace para aumentar al máximo el acoplamiento entre las bobinas, para aumentar la intensidad de la energía magnética asociada con la interacción electromecánica, para conformar y distribuir los campos magnéticos de acuerdo con los requisitos de cada diseño determinado de la máquina. Ya que el hierro de la armadura está sujeto a un flujo magnético variable en el tiempo, se inducen en él corrientes parásitas. Para reducir al mínimo estas pérdidas por corrientes parásitas, el hierro de la armadura está construido de laminaciones delgadas. El circuito magnético se completa a través de hierro del otro miembro de la máquina, y se pueden colocar bobinas de excitación, o *devanados de campo*, en dicho miembro como fuente de flujo magnético. Se pueden emplear imanes permanentes en las máquinas pequeñas; el desarrollo de la tecnología de imanes permanentes está consiguiendo su uso en máquinas cada vez mayores.

En las máquinas de reluctancia variable no hay devanados en el rotor y el funcionamiento depende de la no uniformidad de la reluctancia en el entrehierro asociada con las variaciones en la posición del rotor.

Las máquinas eléctricas rotatorias toman muchas formas y las conocemos por muchos nombres: de CD, síncronas, de inducción, de imán permanente, de reluctancia variable, de histéresis, etc. Aunque esas máquinas parezcan muy diferentes y necesiten de varias técnicas analíticas, los principios físicos que gobiernan su funcionamiento son bastante semejantes y de hecho esas máquinas se pueden explicar con frecuencia con el mismo cuadro físico. Por ejemplo, el análisis de una máquina de CD indica que hay distribuciones de flujo magnético asociadas con el rotor y el estator, las cuales están fijas en el espacio y que la característica del par producido de la máquina de CD se deriva de las tendencias de esas distribuciones de flujo al alinearse. Una máquina de inducción, a pesar de muchas diferencias fundamentales trabaja exactamente bajo el mismo principio; se pueden identificar las distribuciones de flujo asociadas con el rotor y el estator que giran en sincronismo y que están separadas mediante un desplazamiento angular productor de par.

### 1.2.1 Máquinas síncronas elementales

Se pueden tener ideas previas de la acción-generator al describir el voltaje inducido por la armadura en un generador síncrono de CA simplificado como el que se muestra en la figura 3. Con raras excepciones el devanado de la armadura de una máquina síncrona está en el estator y el devanado de campo en el rotor como en la figura 3. El devanado de campo se excita mediante corriente directa, que le llega a través de las *escobillas* de carbón, que descansan sobre *anillos deslizantes* o *anillos colectores*. Los factores de construcción determinan ésta ubicación de los dos devanados: es conveniente tener un devanado de baja potencia en el rotor. El devanado de la armadura, que consta en este caso de una sola bobina de  $N$  vueltas o espiras, se indica en sección transversal mediante los dos lados de la bobina, a y  $-a$ , opuestos dentro de ranuras angostas en la periferia interior del estator de la figura 3.

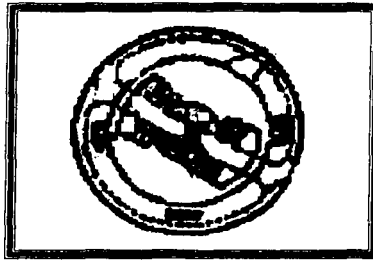


Figura 3. Generador síncrono elemental.

Los conductores que forman dichos lados de la bobina son paralelos al eje de la máquina y están conectados en serie mediante conexiones en los extremos. El rotor gira a una velocidad constante mediante una fuente de energía mecánica conectada a su eje. En forma esquemática se indican las trayectorias del flujo mediante líneas punteadas en la figura 3.

En la figura 4(izquierda) se muestra una distribución radial idealizada de la densidad de flujo  $B$  en el entrehierro como función del ángulo espacial  $\theta$  por la periferia del entrehierro. La onda de densidad de flujo en las máquinas reales se puede aproximar a una distribución senoidal mediante una conformación adecuada de las caras polares. Cuando gira el rotor la onda de flujo barre los lados a y  $-a$  de la bobina. El voltaje de bobina resultante ( figura 4-derecha- ) es una función variable en el tiempo que tiene la misma forma de onda que la distribución espacial de  $B$ . El voltaje de la bobina pasa por un ciclo completo de valores por cada revolución de la máquina de dos polos de la figura 3. Su frecuencia en ciclos por segundo ( Hz ) es la misma que la velocidad del rotor en revoluciones por segundo, es decir, la frecuencia eléctrica está relacionada con la velocidad mecánica y es la razón del nombre de la máquina síncrona. Así, una máquina síncrona de dos polos debe girar a 3600 rpm para producir un voltaje con frecuencia de 60 Hz.

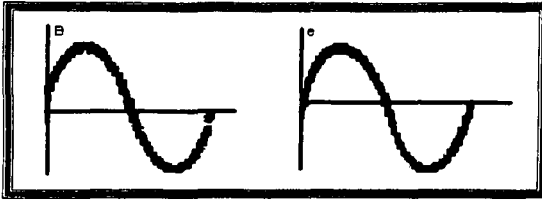


Figura 4. (Izquierda) Distribución espacial de la densidad de flujo, y (Derecha) forma de onda correspondiente del voltaje generado.

Una gran cantidad de máquinas síncronas tienen más de dos polos. Como ejemplo específico, la figura 5 muestra un alternador elemental monofásico de cuatro polos. Las bobinas de campo están conectadas de tal modo que los polos tienen polaridad alterna. Hay dos longitudes de onda completas, o ciclos, en la distribución de flujo alrededor de la periferia como se ve en la figura 6.

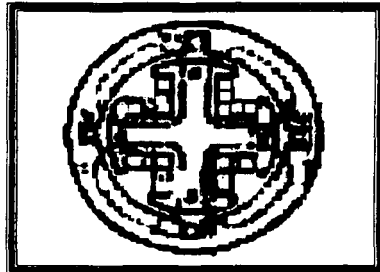


Figura 5. Generador elemental síncrono de cuatro polos.

El devanado de la armadura consiste ahora en dos bobinas,  $a_1$ ,  $-a_1$  y  $a_2$ ,  $-a_2$  conectadas en serie mediante sus conexiones extremas. El espaciamiento de cada bobina es la mitad de la longitud de onda del flujo. El voltaje generado pasa ahora por dos ciclos

completos cada revolución del rotor. La frecuencia  $f$  en Hertz es por lo tanto el doble de la velocidad en revoluciones por segundo.

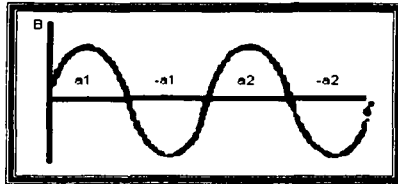


Figura 6. Distribución espacial de la densidad de flujo en un generador síncrono de cuatro polos.

Cuando una máquina tiene más de dos polos, es conveniente concentrarse en un par determinado de polos y reconocer que las condiciones eléctricas, magnéticas y mecánicas asociadas con los demás pares de polos, son respectivas de acuerdo a las del par de polos que se considera. Por este motivo, es conveniente expresar a los ángulos en *grados eléctricos* o en *radianes eléctricos*, más que en unidades mecánicas. Un par de polos, o un ciclo de distribución de flujo en una máquina con  $P$  polos es igual a 360 grados eléctricos, o  $2\pi$  radianes eléctricos. Como hay  $P/2$  longitudes de onda completas o ciclos en una revolución completa, se tiene que

$$\theta = (P/2) / \theta_m$$

donde  $\theta$  es el ángulo en unidades eléctricas y  $\theta_m$  es el ángulo mecánico. EL voltaje de bobina en una máquina de  $P$  polos pasa por un ciclo completo cada vez que pasa a un par de polos, o sea  $P/2$  veces cada revolución. La frecuencia de la onda de voltaje es, por consiguiente,

$$f = (P/2) * (n/60) \text{ [Hz]}$$

donde  $n$  es la velocidad mecánica en revoluciones por minuto y  $(n/60)$  la velocidad en revoluciones por segundo. La frecuencia  $\omega$  de la onda de voltaje en radianes por segundo es,

$$\omega = (P/2) \omega_m$$

siendo  $\omega_m$  la velocidad mecánica en radianes por segundo.

Los rotores que se muestran en las figuras 3 y 5 tienen *polos salientes* o *proyectantes*, es decir polos con *devanados concentrados*. La figura 7 muestra en forma esquemática un *rotor cilíndrico* o *sin polos salientes*. EL devanado de campo es un *devanado distribuido* colocado en ranuras y dispuesto para producir un campo de dos polos, aproximadamente senoidal. La razón para que algunos generadores síncronos tengan estructuras de rotor con polos salientes y otros tengan rotores cilíndricos se puede comprender con ayuda de la siguiente ecuación:  $f = (P/2) * (n/60)$ . Los sistemas de potencia trabajan a una frecuencia de 60 Hz. Una construcción de polos salientes es característica de los generadores hidroeléctricos, debido a que las turbinas hidráulicas trabajan a velocidades relativamente bajas y tienen un número grande de polos para producir la frecuencia deseada; la construcción con polos salientes está mecánicamente mejor adaptada a ésta situación. Sin embargo, las turbinas de vapor y las de gas trabajan mejor a velocidades relativamente altas y los alternadores impulsados por turbina o turbogeneradores son comúnmente de dos o cuatro polos de rotor cilíndrico.

Con muy pocas excepciones, los generadores síncronos son máquinas trifásicas, debido a las ventajas que tienen los sistemas trifásicos para la generación transmisión y utilización intensiva de la energía.



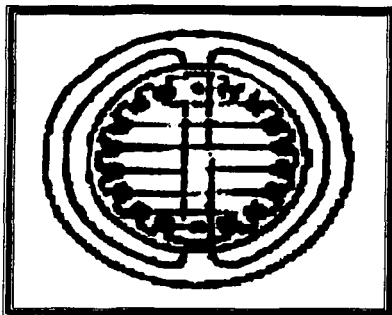


Figura 7. Devanado de campo de un rotor cilíndrico elemental de dos polos.

Para la producción de un conjunto de tres voltajes desfasados 120 grados eléctricos en el tiempo, es lógico que se deben de utilizar un mínimo de tres bobinas con fase desplazada 120 grados eléctricos en el espacio. En las figuras mostradas en la figura 8 se muestra una máquina trifásica elemental de dos polos con una bobina por fase. Las tres fases se identifican mediante las letras *a*, *b* y *c*. En una máquina elemental de cuatro polos, se debe emplear un mínimo de dos conjuntos de éstas, como se muestra en la máquina de la derecha. En una máquina elemental de  $P$  polos se deben utilizar  $P/2$  conjuntos; Las dos bobinas en cada fase de la figura están conectadas en serie para que sus voltajes se sumen y las tres fases se puedan conectar en estrella o en delta. El diagrama debajo muestra como se pueden interconectar las bobinas para formar una conexión en estrella.

Cuando un generador síncrono suministra energía a una carga, la corriente de la armadura crea una onda de flujo magnético en el entrehierro que gira a velocidad síncrona. Este flujo reacciona con el flujo creado por la corriente del campo y se provoca un par electromagnético de la tendencia a alinearse que tienen estos dos campos magnéticos. Éste par electromagnético es el mecanismo mediante el cual el generador síncrono convierte la energía mecánica en la energía eléctrica.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

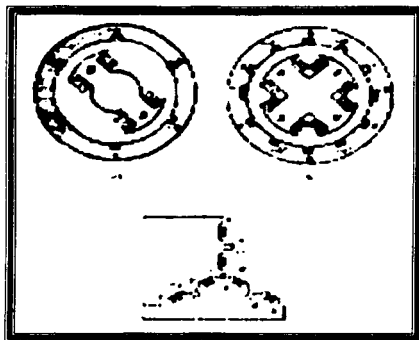


Figura 8. Generadores trifásicos elementales: (Arriba-izquierda) de dos polos, (Arriba-derecha) de cuatro polos , y (abajo) conexión en estrella de los devanados.

La contraparte del generador síncrono es el *motor síncrono*. En la figura 9 se muestra un corte de un motor síncrono trifásico de 60 Hz. Se suministra la corriente alterna al devanado de armadura, usualmente en el estator, y se suministra una excitación de CD al devanado de campo, que por lo general está en el rotor. El campo magnético de las corrientes de armadura gira a velocidad síncrona. Para producir un campo electromagnético estable los campos magnéticos del estator y del rotor deben de ser constantes en magnitud, a la vez que estacionarios entre sí. En un motor síncrono la velocidad de estado estable está determinada por el número de polos y la frecuencia de la corriente de armadura. Por lo tanto, un motor síncrono operado por una fuente de CA de frecuencia constante debe trabajar a velocidad constante en su estado estable.

“En un motor síncrono el par electromagnético está en la dirección de giro y compensa al par de reacción necesario para impulsar la carga mecánica. El flujo que producen las corrientes en la armadura de un motor síncrono gira adelante de el que produce el campo y así jala sobre el campo y efectúa trabajo. Éste es el caso contrario de un generador síncrono, en el cual el campo efectúa trabajo al jalar el campo de la armadura

que está retrasado".<sup>2</sup> Tanto en los generadores como en los motores se producen un par electromagnético y un voltaje rotacional. Éstos son los fenómenos esenciales de la conversión de energía electromagnética.

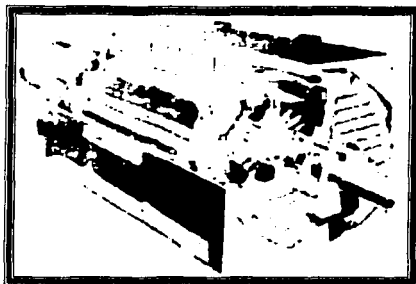


Figura 9. Corte de un motor síncrono.

### 1.2.2 Máquinas de inducción elementales

Un segundo tipo de máquina de CA es la *máquina de inducción*, en la cual se tienen corrientes alternas en los devanados tanto como del estator como del rotor. El ejemplo más común es el motor de inducción, en el cual se suministra la corriente alterna directamente al estator; y por inducción, es decir, por acción transformador, al rotor. Se puede considerar a la máquina de inducción como un transformador generalizado en el cual se transforma la energía eléctrica entre el estator y el rotor, al mismo tiempo que ocurre un cambio de frecuencia y un flujo de energía mecánica. Aunque el motor de inducción es el más común de todos, raramente se utiliza como generador; sus características de funcionamiento como generador son insatisfactorias en la mayoría de las aplicaciones. La máquina de inducción se puede emplear también como un cambiador de frecuencia.

<sup>2</sup> Fitzgerald, Kingslas Jr., Umans. *Máquinas eléctricas*. Pág. 147



En el motor de inducción el devanado del estator es esencialmente igual al de una máquina síncrona. Sin embargo, el devanado del rotor está en corto circuito eléctrico y con frecuencia no tiene conexiones al exterior; las corrientes se inducen en él por la acción-transformador procedente del devanado del estator. En la figura 10 se muestra un corte de un motor de jaula de ardilla. En él, los devanados del rotor en realidad son barras macizas de aluminio que están fundidas en las ranuras del rotor, y que están en corto circuito entre sí mediante anillos de aluminio vaciados en cada extremo del rotor. Este tipo de construcción de rotor tiene como resultado motores de inducción relativamente baratos y muy confiables, factores que contribuyen a su inmensa popularidad y muy difundida aplicación.

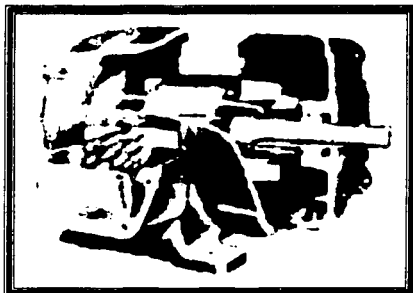


Figura 10. Corte de un motor de inducción de jaula de ardilla.

“Como en el caso del motor síncrono, el flujo de armadura en el motor de inducción adelanta al del rotor y produce un par electromagnético. Es importante reconocer que los flujos del rotor y del estator giran en sincronismo entre sí y que este par se relaciona con el desplazamiento relativo entre ellos. Sin embargo, a diferencia de una máquina síncrona, el rotor no gira en forma síncrona; es el deslizamiento del rotor a través del flujo síncrono de la armadura lo que da lugar a las corrientes inducidas en el rotor y por lo tanto al par”.<sup>3</sup> Un motor de inducción trabaja a una velocidad poco menor que la velocidad mecánica

<sup>3</sup> *Ibíd.* Págs. 175 y 176

síncrona. En la figura 11 se muestra una curva característica velocidad-par para un motor de inducción.

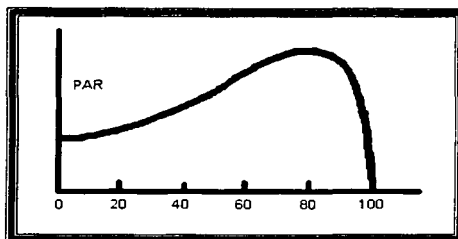


Figura 11. Curva característica típica velocidad-par de un motor de inducción.

### 1.2.3 Máquinas de CD elementales

El devanado de armadura de un generador de CD está en el rotor y la corriente sale de él mediante escobillas de carbón. El devanado de campo está en el estator y se excita con CD. En la figura 12 se muestra un corte de un motor de CD.

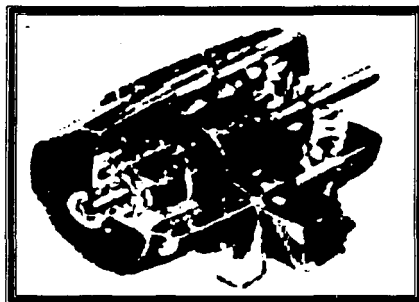


Figura 12. Corte de un motor de corriente directa típico.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En la figura 13 se muestra un generador de CD de dos polos, muy elemental. El devanado de armadura, que consiste en una sola bobina con  $N$  vueltas, se indica mediante sus dos lados,  $a$  y  $-a$ , colocados diagonalmente opuestos sobre el rotor, siendo paralelos los conductores al eje. AL rotor se le hace girar, normalmente a una velocidad constante mediante una fuerza externa de energía mecánica conectada con la flecha o eje. La distribución de flujo en el entrehierro se aproxima normalmente a una onda plana, mas que a la onda senoidal que se encuentra en las máquinas de CA y que aparece en la figura 14(arriba).

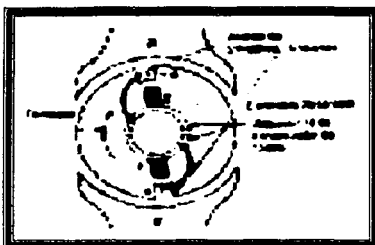


Figura 13. Máquina elemental de CD con conmutador.

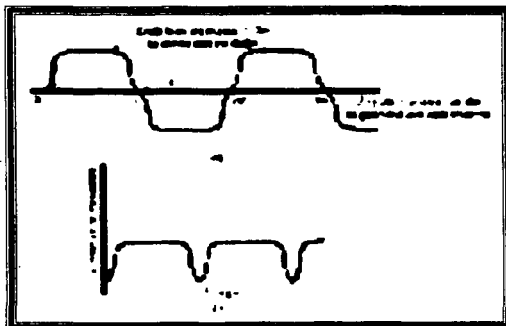


Figura 14. (Arriba) Distribución espacial de la densidad de flujo en el entrehierro en una máquina elemental de CD; (Abajo) Forma de onda del voltaje entre las escobillas.

La rotación de la bobina genera un voltaje en ella, que es una función de tiempo que tiene la misma forma de la distribución de la densidad de flujo espacial. Aunque el propósito es la generación de un voltaje de CD, el voltaje inducido en una bobina determinada de armadura es el voltaje de CA, que por consiguiente debe rectificarse. A veces la rectificación se provee externamente, como por ejemplo mediante rectificadores semiconductores. Entonces se tiene una máquina que es generadora de CA con rectificadores externos. En la máquina de CD convencional, la rectificación se obtiene en forma mecánica mediante un *conmutador*, que es un cilindro formado de segmentos de cobre aislados entre sí mediante mica, montados sobre el eje del rotor y aislados de éste. Las escobillas de carbón fijas apoyadas en la superficie del conmutador conectan al devanado con las terminales externas de la armadura. El conmutador y las escobillas se pueden ver en la figura 12. La necesidad de conmutación es la razón por la cual los devanados de armadura de las máquinas de CD se colocan sobre el rotor.

Para el generador de CD elemental el conmutador toma la forma que se muestra en la figura 13. Para la dirección de rotación que se indica, el conmutador siempre conecta el lado de la bobina que da bajo el polo sur con la escobilla positiva y el que está bajo el polo norte, con la escobilla negativa. El conmutador da un a rectificación de onda completa, transformando la onda de voltaje entre escobillas a la de la figura 14(abajo) y poniendo a la disposición del circuito externo un voltaje unidireccional.

El efecto de la corriente directa en el devanado de campo de una máquina de CD es crear una distribución de flujo magnético estacionaria con respecto al estator. De igual modo, el efecto del conmutador es tal que cuando pasa corriente directa a través de las escobillas, la armadura crea una distribución de flujo magnético que también está fija en el espacio y cuyo eje, determinado por el diseño de la máquina y la posición de las escobillas, típicamente es perpendicular al eje del flujo del campo. Al igual que en las máquinas de CA, es la interacción de éstas dos distribuciones de flujo lo que crea el par de la máquina de CD. Si la máquina trabaja como generador, éste par se opone al giro. Si está trabajando como motor, el par electromagnético actúa en la dirección del giro.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 1.3 Concepto de monitoreo

La teoría de control moderna es una tendencia reciente en la Ingeniería, está inclinada hacia una complejidad mayor debido a los requerimientos de tareas complejas y buena exactitud. Está basada en el concepto de estado y se aplica a sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas, lineales o no lineales, invariantes o variables en el tiempo, con o sin perturbaciones provenientes del medio ambiente externo.

De aquí toma importancia el monitoreo de diferentes variables, ya que es la manera de evaluar y medir una parte de los productos o procesos con el propósito de aceptarlos o rechazarlos. Su uso es recomendado cuando el costo de inspección es alto o la inspección es monótona y causa errores de inspección o cuando se requieren pruebas destructivas.

Se sugiere actualmente que una forma de determinar si las prácticas y los procesos en los lugares de trabajo se conforman a ciertos estándares de calidad es a través de un sistema de monitoreo y verificación. "El mantener un control estricto de la implementación y cumplimiento de dichos estándares se conoce como monitoreo, los resultados de estas actividades deben ser verificadas".<sup>4</sup>

#### 1.3.1 Monitoreo en línea

EL monitoreo en línea está basado en la adquisición de datos y el procesamiento de información en periodos de tiempo determinados por el sistema teniendo una diferencia entre una acción y otra debido a ligeros retrasos dependiendo del tipo de aplicación y de la plataforma en la que se desarrolle el sistema de monitoreo. Tomando en cuenta las diferentes características del sistema y de la aplicación se determina ese periodo de tiempo durante el cual se van a estar realizando los procesos para los cuales el sistema fue diseñado. En comparación con los sistemas en tiempo real, se tiene que esa diferencia de tiempo va a tener cierto valor mientras que para los sistemas en tiempo real la diferencia entre eventos de adquisición y procesamiento va a tender a cero.

---

<sup>4</sup> Cruz Morales, Carolina. Sistemas de monitoreo y control de variables físicas, Pág. 42



El monitoreo en línea permanente elimina la necesidad de un muestreo de laboratorio. Las razones para esto son:

1. Monitoreo de calidad constante.
2. Documentación automática de los datos para los sistemas de aseguramiento de calidad.
3. Reducción en costos de personal y sistemas de laboratorio.
4. No existe pérdida de materia prima requerida para los muestreos.
5. No se produce por fuera de los parámetros de calidad definidos.

### 1.3.2 Monitoreo en tiempo real

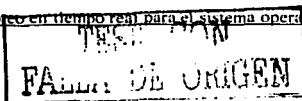
El monitoreo en tiempo real generan alguna acción en respuesta a sucesos externos debido a la propiedad del sistema en el cual la información es procesada en el momento en que se adquiere en lugar de ser almacenada y procesada posteriormente. Para realizar esta función se ejecuta una acción de adquisición y control de datos a alta velocidad en un periodo de tiempo mínimo y de completa confiabilidad.

#### 1.3.2.1 Rendimiento

“Cada diseño de tiempo real debe ser aplicado en el contexto del rendimiento del sistema. En la mayoría de los casos, el rendimiento del monitoreo en tiempo real se mide como una o más características relativas al tiempo, pero también se utilizan otras medidas como la tolerancia al fallo. Algunas aplicaciones en tiempo real se han diseñado para aplicaciones en las que el tiempo de respuesta a la transferencia de datos es crítica”.<sup>5</sup>

Otras aplicaciones en tiempo real requieren la optimización de ambos parámetros bajo condiciones de carga externa, mientras se ejecutan varias tareas simultáneamente.

<sup>5</sup> Álvarez González, Julio C. Sistema de monitoreo en tiempo real para el sistema operativo UNIX. Pág. 56



### 1.3.2.2 Tiempo de respuesta del sistema

El tiempo de respuesta del sistema es el tiempo en el que un sistema debe detectar un suceso interno o externo y responder con una acción. Frecuentemente la detección del suceso y la generación de la respuesta son tareas sencillas pero el procedimiento de la información sobre el suceso y de la determinación de la respuesta adecuada es donde se pueden usar algoritmos complejos que consumen más tiempo.

Entre los parámetros clave que afectan el tiempo de respuesta está el cambio de contexto y la posibilidad de que se produzca una interrupción. "El cambio de contexto se refiere al tiempo y sobrecarga necesaria para conmutar entre tareas y la posibilidad de una interrupción que es el tiempo que pasa antes de que el cambio sea realmente posible. Otros parámetros que afectan al tiempo de respuesta son la velocidad de cálculo y el acceso a memorias masivas".<sup>6</sup>

### 1.3.2.3 Razón de transferencia de datos

La razón de transferencia de datos indica con que rapidez se introducen o salen del sistema los datos series o paralelos, tanto analógicos como digitales. En el tiempo real se necesitan normalmente para procesar un flujo continuo de datos de llegada.

---

<sup>6</sup> Ibid. Pág. 56

**CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATORIAS**

Como se comento en el capítulo 1, una máquina eléctrica es un dispositivo que puede convertir energía eléctrica en energía mecánica (trabajando como motor) o bien energía mecánica en energía eléctrica (trabajando como generador).

Estos tipos de máquinas pueden convertir energía de una forma u otra por la acción de un campo magnético.

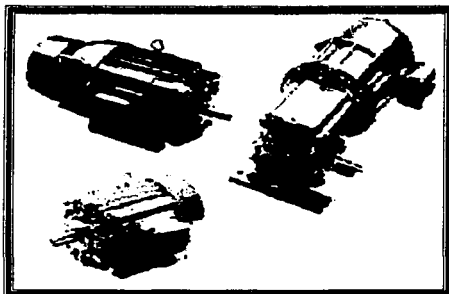


Figura 1. Máquinas eléctricas rotatorias.

**2.1 Campo magnético**

La corriente eléctrica va siempre acompañada de fenómenos magnéticos. Este efecto de la corriente eléctrica desempeña una función importante en casi todos los aparatos y máquinas eléctricas.

Para una mejor comprensión de lo que es un campo magnético conviene realizar un análisis acerca del comportamiento de los materiales ferromagnéticos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Figura 2. Algunos de estos materiales tienen características tales, que es posible convertirlos en imanes permanentes.

Características principales del imán:

- Efecto de fuerza (atrae el hierro y lo retiene)
- Efecto de orientación (se sitúan en dirección norte - sur)

Los extremos del imán se denominan "polos" pues ellos ejercen las mayores fuerzas magnéticas.



Figura 3. Efecto de atracción entre dos imanes.



Figura 4. Efecto de repulsión entre dos imanes.

*Los polos iguales se repelen y los polos distintos se atraen.*

Si se introduce un imán recto en un montón de limaduras de hierro, éste las atrae por efecto de fuerzas magnéticas, según la siguiente distribución:

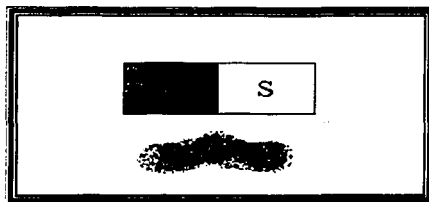


Figura 5. Efecto de atracción entre un imán y pequeños trozos de hierro.

### 2.1.1 Líneas de fuerza de un campo magnético

El espacio en que actúan fuerzas magnéticas se denomina "campo magnético", el cual está formado por líneas de fuerza. Estas líneas tienen directa incidencia sobre sus propios polos o sobre cualquier elemento ubicado dentro de dicho campo, de la siguiente manera:

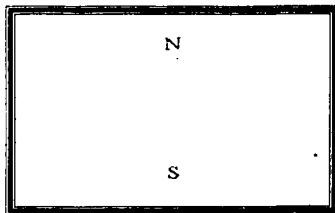


Figura 6. Distribución de campo magnético.

"Las líneas de fuerza son cerradas y se distribuyen de "norte a sur" por fuera del imán.

- Las líneas de fuerza son cerradas y se distribuyen de "norte a sur" por dentro del imán
- Todas las líneas de fuerza constituyen el flujo magnético".<sup>1</sup>

Un campo magnético también puede generarse a partir de la circulación de corriente por un conductor.

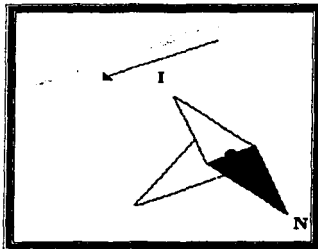


Figura 7. Experimento que muestra la acción de un campo magnético.

La aguja de la brújula situada próxima al conductor se desvía producto de la circulación de una corriente. Como resultado de este sencillo experimento se tiene como conclusión que en las proximidades de un conductor por el que circula una corriente eléctrica se forma un campo magnético.

La figura 8 muestra el esquema de líneas de fuerza de un campo magnético de un imán y se describen a continuación:

- Líneas de fuerza.
- El conjunto de líneas de fuerza forman el campo magnético, que se establece alrededor de un conductor por el que circula una corriente eléctrica.

<sup>1</sup> <http://www.dimie.uniovi.es/maquinas.html>

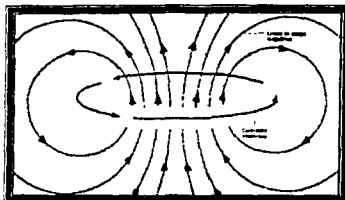


Figura 8. Esquema de líneas de fuerza de un campo magnético

“Características de las líneas de fuerza de un campo magnético:

- Nunca se cortan ni se cruzan.
- Emergen e inciden perpendiculares a su superficie.
- Son cerradas en sí mismas.
- Van de Sur a Norte por el interior del material ferromagnético.
- Van de Norte a Sur por el exterior del material ferromagnético”.<sup>2</sup>

La regla de la mano derecha permite comprender de manera simple los principales efectos asociados al campo magnético. El pulgar se coloca en la dirección de la corriente y los dedos restantes indican la dirección de las líneas de fuerza. Esto se puede ver claramente en la figura adjunta en donde a raíz de la circulación de una corriente, las líneas de fuerza toman su consiguiente distribución.

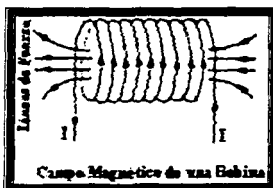


Figura 9. Dirección de las líneas de fuerza de un campo magnético.

<sup>2</sup> Ibid.

De acuerdo mutuo, se ha fijado que el "sentido convencional de la corriente" es del polo positivo (borne +) de una fuente de energía eléctrica, a través del conductor correspondiente, hacia el receptor, y desde éste al polo negativo (borne -), a través del conductor de retorno.

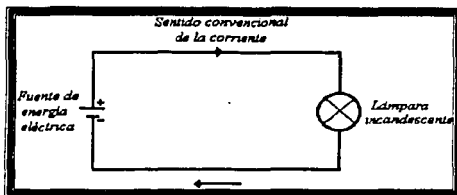


Figura 10. Caracterización del sentido de la corriente

## 2.1.2 Efectos del campo magnético

### 2.1.2.1 Fuerzas entre los campos magnéticos de dos conductores recorridos por corrientes

Hasta ahora hemos visto como los campos magnéticos de dos imanes permanentes ejercen fuerzas entre sí. Veamos ahora el caso en que una de estas fuerzas es generada ya no por un imán sino por una corriente (tal como sucede en el caso de las máquinas eléctricas). Ello nos permitirá obtener una mejor comprensión de los efectos magnéticos producidos en el interior de ésta, para lo cual resulta conveniente analizar la siguiente experiencia en la que dos conductores en paralelo por los que circula la misma corriente experimentan un movimiento por efecto del campo.

A través de los conductores circula una corriente de igual magnitud, pero de sentidos variables, de acuerdo a lo mostrado en las figuras A, B, C y D. Tan pronto circula la corriente actúan los campos magnéticos, y los conductores, que hasta ahora se



encontraban en reposo, experimentan un desplazamiento repentino, hacia afuera o hacia adentro, dependiendo de si los campos producidos en estos se suman o se restan entre sí (Regla de la mano derecha). La distribución desigual de campo magnético tiende a equilibrarse. Como las líneas de fuerza intentan acortarse, el conductor móvil se desplaza de la zona con mayor intensidad del campo magnético hacia la del campo débil, lo que se conoce como "efecto electrodinámico".

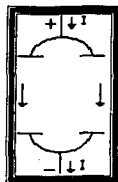


Figura A.

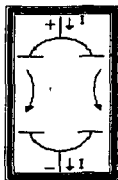


Figura B.

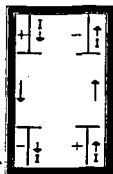


Figura C.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

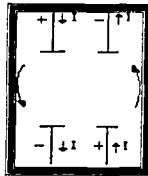


Figura D.

Dos conductores paralelos tienden a atraerse cuando las corrientes tienen el mismo sentido. Luego, tenderán a repelerse cuando las corrientes circulan en sentido opuestos.

## 2.2 Par

Corresponde a la fuerza angular ejercida sobre un cuerpo o brazo, con el fin de producir movimiento rotacional o giratorio. Analíticamente se define como:

$$\vec{T} = \vec{F} \times \vec{R}$$

Donde:

$T$  : par

$F$  : fuerza

$R$  : radio

Si se realiza el estudio del momento en la máquina partiendo del campo magnético, se puede demostrar que la ecuación está definida :

$$T = - \frac{(p/2) \cdot \mu \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot Fe \cdot Fr \cdot \sin(\delta er)}{2 \cdot e}$$

donde:

$p$	:	<i>Número de polos</i>
$\mu$	:	<i>Permeabilidad relativa</i>
$D$	:	<i>Diámetro del rotor de la máquina</i>
$L$	:	<i>Largo de los conductores activos del rotor</i>
$F_e$	:	<i>Intensidad de campo de estator</i>
$F_r$	:	<i>Intensidad de campo de rotor</i>
$\delta$	:	<i>Ángulo de Par</i>
$e$	:	<i>Entrehierro</i>

De la ecuación general de momento se deduce:

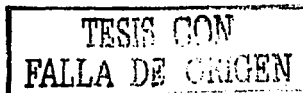
El par actúa sobre el estator y rotor, pero se aprecia sólo en el rotor debido a que el estator está fijo. Mientras más pequeño el entrehierro, mayor es el par instantáneo disponible en la máquina. El signo negativo indica que el par actúa en el sentido de alinear los ejes magnéticos. El par instantáneo es máximo para  $\delta = 90^\circ$ .

Como el par de interés es el par medio, al integrar la expresión de par en un periodo, el  $\sin \delta$  es nulo. Por lo tanto, para que exista par medio distinto de cero, el ángulo de par debe ser constante.

Para máquinas de corriente alterna, los campos  $F_e$  y  $F_r$  son rotatorios, luego se requiere que la velocidad de rotación sea la misma.

Para máquinas de corriente continua, los campos  $F_e$  y  $F_r$  son estacionarios, fijando el ángulo de par.

Las condiciones mecánicas para la existencia de un par medio distinto de cero son:



El desplazamiento relativo de los campos magnéticos debe ser constante, pues el  $\sin(\delta)$  debe ser constante. El desfase entre los campos magnéticos debe ser distinto de cero y  $180^\circ$ .

En las máquinas eléctricas el par se produce por medio de fenómenos magnéticos como los ya descritos en este capítulo. La circulación de corrientes por el devanado de estator induce corrientes en el rotor lo cual genera inevitablemente un campo magnético rotatorio que produce así mismo un par en la dirección de éste, que hace que el motor se mueva y por ende, que gire como se muestra en la figura 11.

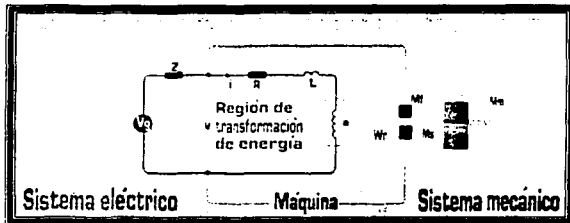


Figura 11. Sistema eléctrico-mecánico.

### 2.3 Voltaje inducido

“El voltaje inducido se produce al hacer girar mecánicamente el rotor de la máquina eléctrica en el que se ubican los devanados o grupos de bobinas dentro del campo magnético. También es posible inducir voltaje haciendo además girar el campo magnético que atraviesa dichos devanados”.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> <http://www.fundamentosdemaquinas.html>

Las tensiones inducidas por un campo magnético variable originan una conversión electromecánica de energía cuando la variación de flujo está acompañado de movimiento mecánico. Esto queda cuantitativamente expresado por la ley de Faraday.

$$e = d\phi/dt$$

Conectando entre sí un grupo de bobinas de tal forma que todas las tensiones contribuyan positivamente al fin deseado, se obtendrá una tensión inducida.

En la máquina de inducción, la tensión inducida puede expresarse como:

$$e = 4.44 * N * B_{\text{máx}} * S$$

Donde:

$N$  : nº de vueltas de la bobina

$B_{\text{máx}}$  : inducción máxima

$S$  : sección transversal del núcleo

Los motores síncronos tienen devanados amortiguadores que les permiten desarrollar un momento de torsión de arranque sin necesidad de suministrarles una corriente de campo externa. De hecho, los devanados amortiguadores trabajan tan bien que un motor podría construirse sin el circuito de campo principal de CD correspondiente. Una máquina que sólo tiene devanados amortiguadores se denomina "**MÁQUINA DE INDUCCIÓN**".

Tales máquinas se llaman así porque el voltaje del rotor (que produce tanto la corriente como el campo magnético del rotor) es "*inducido*" en el devanado del rotor, en lugar de conectarse físicamente por medio de conductores (las tensiones y corrientes del rotor se producen por inducción magnética). Una característica que distingue un motor de inducción es que *no se necesita corriente de campo de CD* para poner a funcionar la máquina, es decir, no requiere excitatriz.

Los motores de inducción son los equipos eléctricos de mayor aplicación en industrias de todo tipo, debido a que presentan grandes ventajas en relación a otras máquinas tales como su menor precio, robustez, buen rendimiento a plena carga, bajo costo de mantenimiento y sistemas de control de velocidad menos complejos.

Aunque es posible usar una máquina de inducción tanto como motor y como generador, tiene muchas desventajas en este último caso y por ello se usa en circunstancias excepcionales. Por esta razón, generalmente se hace referencia a las máquinas de inducción como *"MOTORES DE INDUCCIÓN"*.

### 2.3.1 Bobina concentrada y distribuida de dos polos

La figura 12 muestra la corriente alterna senoidal que pasa por el estator de dos polos con bobina concentrada con sus respectivas líneas de campo magnético.

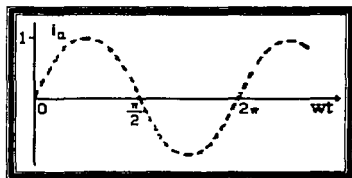


Figura 12. Corriente alterna senoidal.

La figura 13 muestra la corriente alterna senoidal que pasa por el estator de dos polos con bobina distribuida con sus respectivas líneas de campo magnético.

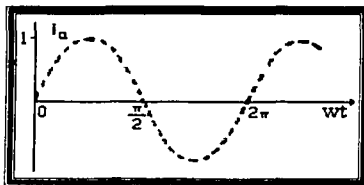


Figura 13. Corrente alternada senoidal.



Figura 14. Bobina distribuída de dois polos.

### 2.3.2 Bobina concentrada de quatro polos

La figura 15 muestra la corriente alternada senoidal que pasa por el estator de cuatro polos con bobina concentrada con sus respectivas líneas de campo magnético.

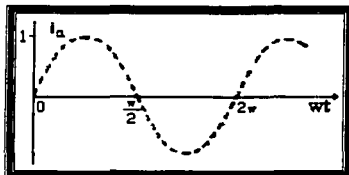


Figura 15. Corrente alternada senoidal.

TESIS CON  
FALSA DE ORIGEN



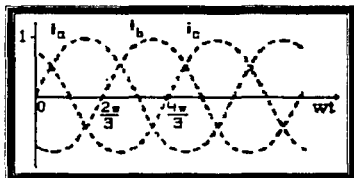
Figura 16. Bobina concentrada de cuatro polos.

### 2.3.3 Campo magnético rotatorio de dos y cuatro polos

En la figura 17 se muestra un estator con dos y cuatro polos con tres bobinas recorridas por corrientes trifásicas de igual magnitud y desfasadas en  $120^\circ$  eléctricos.



Figura 17. Estator de dos y cuatro polos.

Figura 18. Sistema de corrientes trifásicas de igual magnitud y desfasadas en  $120^\circ$  eléctricos.



La corriente senoidal  $i_a$  circula por la fase A (bobina de lados A,-A)

La corriente senoidal  $i_b$  circula por la fase B (bobina de lados B,-B)

La corriente senoidal  $i_c$  circula por la fase C (bobina de lados C,-C)

### 2.3.4 Vector representativo de las fuerzas magnetomotrices (FMM).

La figura 19 muestra un estator de dos polos con un devanado trifásico y concentrado recorrido por corrientes trifásicas de igual magnitud y desfasadas en  $120^\circ$  eléctricos.

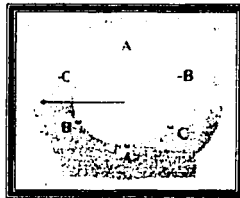


Figura 19. Estator de dos polos con devanado trifásico concentrado.

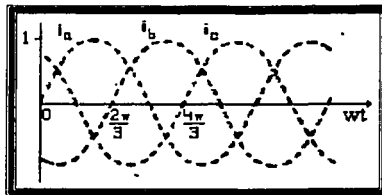


Figura 20. Sistema de corrientes trifásicas de igual magnitud y desfasadas en  $120^\circ$  eléctricos.

La corriente senoidal  $i_a$  circula por la fase A (bobina de lados A,-A)

La corriente senoidal  $i_b$  circula por la fase B (bobina de lados B,-B)

La corriente senoidal  $i_c$  circula por la fase C (bobina de lados C,-C)

La suma de las tres fuerzas magnetomotrícidas alternas, desfasadas en el espacio, provoca una fuerza magnetomotriz resultante que se desplaza en el entrehierro.

Las figuras 21, 22 y 23 representan ondas de fuerzas magnetomotrícidas (FMM) cuando circulan corrientes senoidales por las bobinas de los lados A,-A; B,-B; C,-C respectivamente.

Observe en la figura 24 que la sumatoria de las fuerzas magnetomotrícidas de la fase a, b y c es rotatoria.

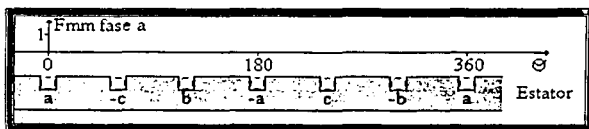


Figura 21.

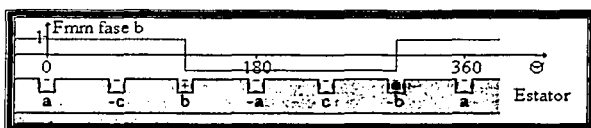


Figura 22.

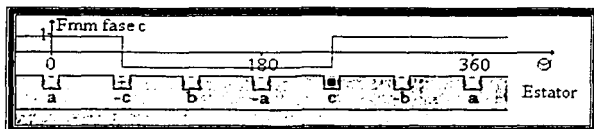


Figura 23.

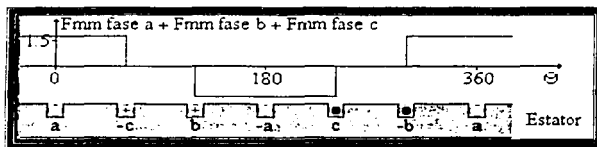
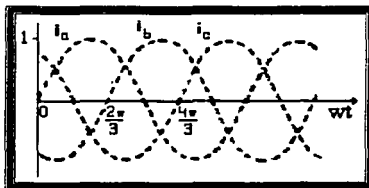


Figura 24.

### 2.3.5 Curva del campo magnético rotatorio

El campo magnético rotatorio en un estator de dos polos con un devanado trifásico es recorrido por corrientes trifásicas de igual magnitud y desfasadas en  $120^\circ$  eléctricos como se muestra en la siguiente figura.

Figura 25. Sistema de corrientes trifásicas de igual magnitud y desfasadas en  $120^\circ$  eléctricos

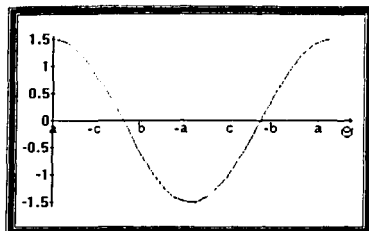


Figura 26. Forma de onda del campo magnético.

En la figura 26 se puede apreciar que el campo magnético tiene una forma de onda senoidal, cuya amplitud es constante e igual a 1,5 veces que la contribución máxima de una fase cualquiera. Se puede observar además que es rotatorio.

#### 2.4 Corriente producida por el movimiento de un conductor

La figura 27 muestra la corriente producida por el movimiento de un conductor en un campo magnético entrando perpendicular al plano de trabajo y la corriente producida por el movimiento de un conductor en un campo magnético saliendo perpendicular al plano de trabajo.



Figura 27. Corrientes producidas por el movimiento de un conductor.

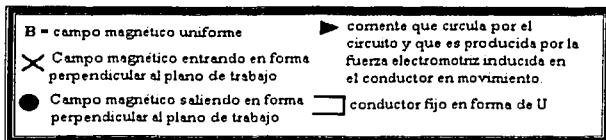


Figura 28.

### 2.4.1 Fuerza electromotriz inducida sobre una bobina en rotación

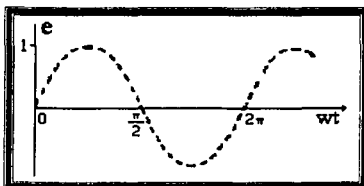
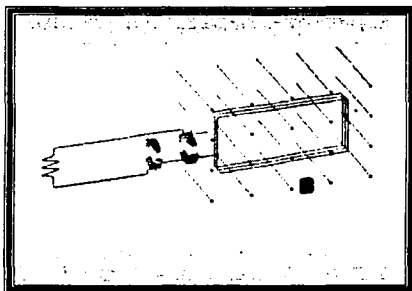
Figura 29. Gráfica de la fuerza electromotriz alterna inducida en la bobina de  $N$  espiras

Figura 30. Fuerza electromotriz inducida sobre una bobina en rotación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

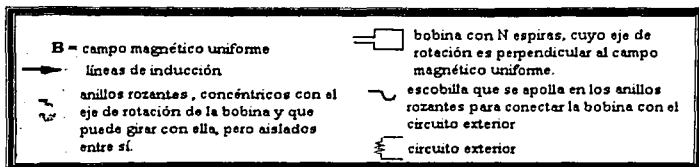


Figura 31.

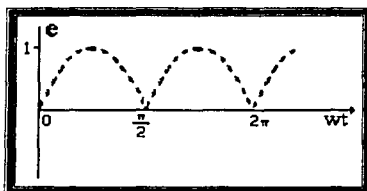


Figura 32. Fuerza electromotriz inducida sobre una bobina en rotación de un generador de corriente alterna.

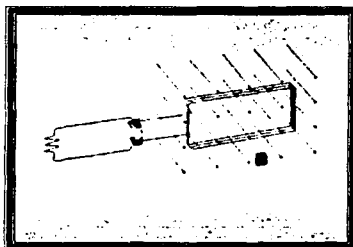


Figura 33. Generador de corriente continua o dínamo.

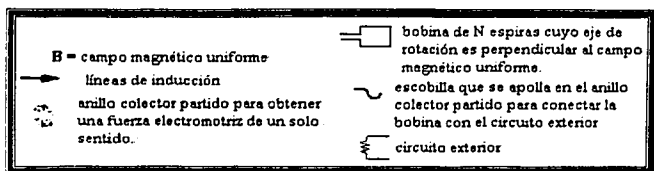


Figura 34.

### 2.4.2 Voltaje inducido en un conductor en movimiento

Si un alambre con una orientación apropiada se mueve a través de un campo magnético, se obtiene la inducción de un voltaje en dicho alambre como se ve en la figura 35.



Figura 35. Inducción de un voltaje en un conductor.

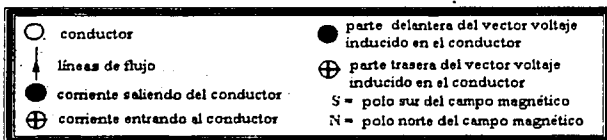


Figura 36.

La configuración circular de las líneas magnéticas alrededor de una corriente alterna senoidal que circula por un conductor se muestra en la figura 37 (izquierda). La

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

fuerza ejercida sobre un conductor que está dentro de un campo magnético, en el que circula una corriente alterna senoidal se muestra en la figura 37 (derecha).

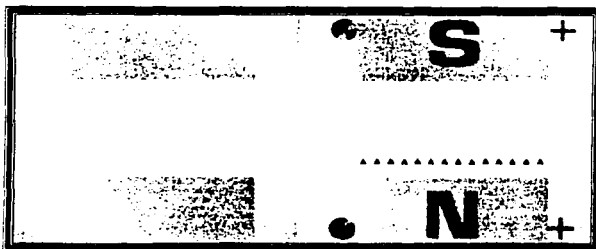


Figura 37.

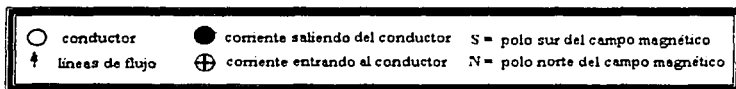


Figura 38.

### 2.5 Selección de un motor

Existe en el mercado una gran variedad de motores eléctricos: sincrónicos, de corriente continua, alterna, de inducción, etc. Los que así mismo son usados para los más variados fines.

En las máquinas de inducción es posible producir una gran variedad de curvas de par - velocidad, variando las características del rotor, lo que resulta de gran ayuda a la



industria a la hora de escoger los motores más apropiados para la gran variedad de aplicaciones. NEMA en Estados Unidos y la International Electrotechnical Commission (IEC) tienen definidos, en toda la gama de caballos de fuerza, una serie de diseños normalizados con diferentes curvas de momento de par – velocidad.

Estos diseños normalizados se conocen como *clases de diseño* y a un solo motor se le puede denominar como "*motor de diseño de la clase X*". En la figura 39 pueden verse una serie de curvas de momento de par – velocidad típicas para las cuatro clases de diseños normalizados de NEMA.

Los rasgos característicos de cada clase de diseño normalizado se esbozan a continuación:

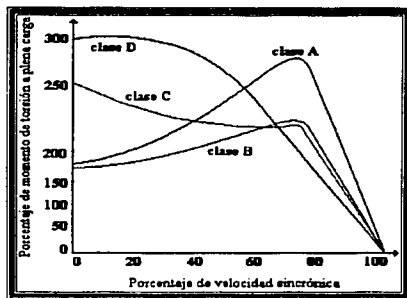


Figura 39. Curvas típicas par-velocidad de las diferentes clases de motores.

### 2.5.1 Diseño clase "A"

Los motores de diseño clase A son los motores de diseños normales, con un momento de arranque normal y bajo deslizamiento. El deslizamiento de plena carga de los motores de diseño A debe ser menor del 5% y menor también que el de los motores de diseño B de condiciones equivalentes. El momento de torsión máximo está entre 200 y 300% del momento de torsión a plena carga y sucede a bajo deslizamiento (menos del

20%). El momento de torsión de arranque de este diseño es por lo menos el momento de torsión nominal, para los motores más grandes, y de 200% o más del momento de torsión nominal, para los motores más pequeños. El problema principal con esta clase de diseño es su extremadamente alto valor de la corriente durante el arranque. Los flujos de corriente en el arranque están, generalmente, entre 500% y 800% de la corriente nominal. Con estos motores, en tamaños por encima de unos 7.5 hp, se debe utilizar alguna forma de arranque de voltaje reducido para controlar los problemas de la caída de voltaje en el sistema de potencia al cual están conectados durante el arranque. En tiempos pasados, el diseño de motores clase A era el diseño común para la mayor parte de las aplicaciones entre 7.5 y 200 hp, pero durante los últimos años se han reemplazado por los motores de diseño clase B. Las aplicaciones típicas para estos motores son los ventiladores, abanicos, bombas, tornos y otras máquinas y herramientas.

### 2.5.2 Diseño clase "B"

Los motores de diseño clase B tienen un momento de torsión de arranque nominal, una corriente de arranque más baja y un deslizamiento bajo. Este motor produce, aproximadamente, el mismo momento de arranque de los motores clase A, con cerca de un 25% menos de corriente. El momento de torsión máximo es mayor o igual a 200% del momento de carga nominal, pero menor que el de diseño clase A, en razón del aumento de la reactancia del rotor. El deslizamiento del rotor es aún relativamente bajo (menos del 5%) a plena carga. Las aplicaciones son similares a aquellas del diseño clase A, pero se prefiere el diseño clase B por razón de sus menores exigencias de corriente de arranque. Los motores de diseño clase B han reemplazado considerablemente los motores de diseño clase A en las instalaciones modernas.

### 2.5.3 Diseño clase "C"

Los motores de diseño clase C tienen un momento de torsión de arranque alto, con corriente de arranque baja y bajo deslizamiento (menos del 5%) a plena carga. El momento de torsión máximo es ligeramente más bajo que el de los motores de clase A, mientras que el momento de torsión de arranque llega hasta un 250% del momento de plena carga. Estos motores se fabrican con rotores de doble jaula por lo que son más costosos que los motores de las clases anteriores. Se usan para cargas que requieren un alto momento de arranque, tales como bombas cargadas, compresores y bandas transportadoras.

### 2.5.4 Diseño clase "D"

Los motores de diseño clase D tienen un momento de torsión de arranque muy alto (275% o más del momento de torsión nominal) y una corriente de arranque baja, pero tienen también un deslizamiento alto a plena carga. Son, esencialmente, motores de inducción comunes, de clase A, pero con las barras del rotor más pequeñas y hechos de un material de más alta resistencia. La alta resistencia del rotor hace que el momento de torsión máximo se presente a muy baja velocidad. Incluso es posible que el momento de torsión más alto ocurra a velocidad cero (100% de deslizamiento). El deslizamiento a plena carga para estos motores es bastante alto en razón de la alta resistencia del rotor, la que por lo general tiende de un 7 a un 11%, pero puede llegar hasta al 17% o más. Estos motores se usan en aplicaciones que requieren la aceleración de cargas de tipo inercias extremadamente altas, especialmente grandes volantes usados en prensas o grúas de tijera. En tales aplicaciones, estos motores aceleran un gran volante hasta su máxima velocidad, para luego impulsar la perforadora. Después de una operación de perforación,

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

el motor reacciona el volante por un periodo de tiempo razonablemente largo para la siguiente operación.

Además de estas cuatro clases de diseños, NEMA acostumbraba a reconocer las clases de diseño E y F, llamadas *arranque suave* de los motores de inducción. Estos diseños se distinguieron por tener muy bajas corrientes de arranque y se usaron para cargas de momento de arranque bajo, en situaciones donde las corrientes de arranque eran un problema. Estos diseños son obsoletos hoy en día.

### 2.5.5 Pérdidas y diagrama de flujo de potencia

Un motor de inducción se puede describir como un transformador giratorio trifásico, en el cual sus bobinados secundarios están en corto circuito por lo que la potencia de salida no es eléctrica como en un transformador común, sino que es mecánica.

En la figura 40 se ilustra la relación de la potencia de entrada (eléctrica) con la potencia de salida (mecánica).

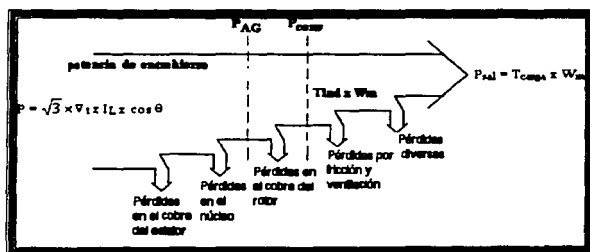


Figura 40. Diagrama de potencia.

Donde:

$P_{ent}$ : Es la potencia de entrada la cual se da en forma de corriente y voltaje trifásico.

$P_{scl}$ : Son las Pérdidas  $I^2 \times R$  en los bobinados del estator.

$P_{núcleo}$ : Son las Pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas en el estator.

$P_{rc1}$ : Son las Pérdidas  $I^2 \times R$  en los bobinados del rotor.

$P_{f\&w}$ : Son las Pérdidas por rozamiento y fricción a causa del movimiento del rotor.

$P_{misc}$ : Son las Pérdidas diversas.

$P_{sal}$ : Es la potencia de salida del motor, la cual es mecánica.

$P_{AG}$ : Es la potencia que se traslada del estator al rotor por medio del entrehierro.

$P_{conv}$ : Es el punto de transformación de la potencia eléctrica en mecánica.

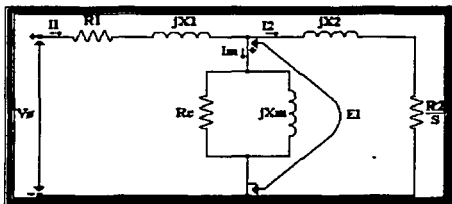


Figura 41. Circuito equivalente por fase de un motor de inducción.

Del circuito equivalente por fase de un motor de inducción que se muestra en al figura 41 se tiene:

Pérdidas del cobre del estator:

$$P_{Cu\_est} = 3 \times I_1^2 \times R_1$$

Pérdidas del núcleo en el estator:

$$P_{núcleo} = 3 \times E_1^2 \times G_c = 3 \times (E_1^2 / R_c)$$

La potencia del entrehierro se puede calcular por medio de:

$$P_{entrehierro} = P_{ent} - P_{Cu\_est} - P_{núcleo}$$

Por lo tanto la potencia del entrehierro se puede encontrar por:

$$P_{entrehierro} = 3 \times I_2^2 \times (R_2 / s)$$

donde

$R_2$  = resistencia total del rotor, referida al estator

$I_2$  = Corriente del rotor, referida al estator

$s$  = deslizamiento

Ahora, las pérdidas resistivas del rotor se obtienen aplicando la ecuación:

$$P_{rotor} = 3 \times I_2^2 \times R_2$$

La potencia restante que cambia de eléctrica a mecánica es:

$$P_{mecánica} = P_{entrehierro} - P_{rotor}$$

$$P_{mecánica} = 3 \times I_2^2 \times R_2 \times (1/s - 1)$$

Por lo tanto se puede deducir:

- a) Que mientras más bajo sea el deslizamiento del motor, la corriente disminuye y las pérdidas del rotor de la máquina son menores.
- b) Si el rotor no está girando el deslizamiento es igual a 1, y la potencia del entrehierro se disipa completamente en el cobre del rotor.

### 2.5.6 Momento inducido

Se define como el momento generado por la conversión de potencia eléctrica en potencia mecánica interna, por lo que se puede obtener mediante la ecuación:

$$T_{ind} = P_{mecánica} / \omega_{rotor}$$

También se puede obtener expresando la velocidad real en términos de la velocidad síncrona, la cual es constante.

$$T_{ind} = P_{entrehierro} / \omega_{síncrona}$$

### 2.5.7 Partes de una máquina de inducción

Las máquinas de inducción tienen una parte estacionaria, la cual se conoce como *estator* y una parte rotatoria llamada *rotor*.

El estator está hecho de láminas de acero circulares con ranuras a lo largo de su periferia interior. Los lados de las bobinas se localizan en estas ranuras. En la práctica, por supuesto, el bobinado consistirá de varias bobinas distribuidas a lo largo de la periferia.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

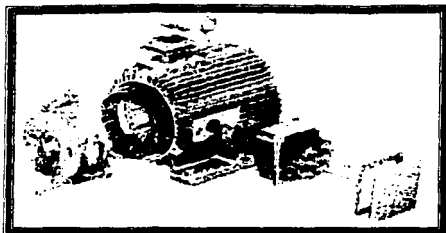


Figura 42. Estator y sus bobinas.

### 2.5.7.1 Rotor tipo jaula

El rotor tipo jaula consiste en una serie de barras conductoras, colocadas en ranuras talladas en la cara del rotor y con sus extremos puestos en corto, por medio de anillos de corto circuito. se caracteriza por su robustez, sencillez y economía. Es el más empleado.



Figura 43. Rotor tipo jaula de ardilla.

Se muestra en la figura 44 un corte transversal de una máquina trifásica de inducción rotor jaula de ardilla, donde se aprecia el movimiento del rotor con todos sus componentes.



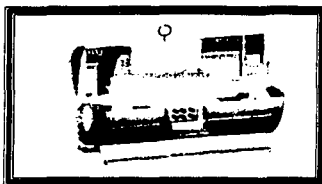


Figura 44. Corte transversal de una máquina de inducción trifásica.

### 2.5.7.2 Rotor embobinado de una máquina trifásica de inducción

El rotor embobinado está provisto con bobinas similares a aquellas del estator con el cual está asociado. El rotor debe embobinarse con el mismo número de polos que el estator.

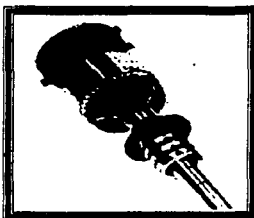


Figura 45. Rotor embobinado trifásico.

Se muestra en la figura 46 un corte transversal de una máquina trifásica de inducción rotor bobinado, donde se aprecia el movimiento rotacional con todos sus componentes.

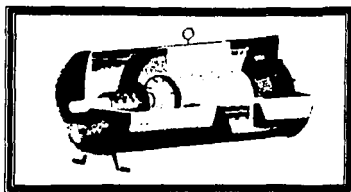


Figura 46. Corte transversal de una máquina trifásica de inducción.

## 2.6 Definiciones y técnicas de medición en circuitos de CA

La corriente alterna (CA) se usa en una gran variedad de aplicaciones domésticas e industriales. Además, desde que la energía eléctrica se genera y distribuye como voltajes y corrientes de forma senoidal, el análisis de los circuitos eléctricos con fuentes senoidales es muy importante. El análisis de los circuitos de CA se realiza regularmente en los sistemas de potencia. Esto involucra el estudio del desempeño del sistema bajo condiciones normales de operación y no normales. Sin embargo, tal análisis requiere una total comprensión de la teoría de circuitos de CA. Las técnicas mencionadas a continuación consideran los circuitos eléctricos de CA monofásicos y trifásicos.

### 2.6.1 Circuitos de CA monofásicos

Una señal de voltaje o de corriente senoidal variante con el tiempo y en estado estable puede representarse de la siguiente manera:

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + \theta)$$

donde  $v$  es el voltaje,  $t$  es el tiempo.  $V_m$  es el valor pico de la señal (magnitud o amplitud),  $\omega$  es la frecuencia angular y  $\theta$  es el ángulo de fase. Las señales senoidales son periódicas, repitiendo el mismo valor de patrones en cada periodo ( $T$ ). "La frecuencia de una señal periódica ( $f$ ) se refiere al número de veces que la señal es repetida en un tiempo dado. El periodo es el tiempo que le tome a un ciclo en repetirse por lo que la frecuencia ( $f$ ) y el periodo ( $T$ ) son recíprocos entre ellos".<sup>4</sup>

$$f = 1/T$$

El valor pico a pico es la diferencia entre el valor máximo y mínimo de la señal en un ciclo. Parecería difícil de describir una señal de CA en términos de un valor específico tomando en cuenta que la señal de CA no es constante. Sin embargo, para simplificar la descripción se utiliza un valor llamado "valor efectivo o eficaz". Este valor es la cantidad de una señal de DC que proporciona el mismo valor promedio al dado por la señal de CA. Al valor eficaz también se le conoce como el valor RMS (Root-Mean-Square). El valor RMS de una forma de onda periódica, por ejemplo del voltaje  $v(t)$ , está definido como:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

Si se considera un voltaje senoidal, el valor RMS se tiene como:

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

<sup>4</sup> Electrical circuits and machines laboratory with LabVIEW. Pág.2-2

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Se tiene por convención, que cuando se describe un voltaje o una corriente de CA, se refiere a su valor RMS o valor efectivo, no a su valor máximo.

### 2.6.2 Impedancia

“La impedancia  $Z$  en un circuito de CA se define como la relación entre la función de voltaje y corriente”.<sup>5</sup> La impedancia es un número complejo y se puede expresar como sigue:

$$Z = R \pm jX$$

La componente real de la impedancia es llamada resistencia  $R$  y la componente imaginaria  $X$  es llamada reactancia. La reactancia es una función de  $\omega$  en las cargas  $L$  y  $C$ . La impedancia también se puede representar en el plano complejo como las formas de onda de voltaje y corriente. Sin embargo, al nunca ser negativa una resistencia, sólo el primer y cuarto cuadrante son requeridos.

### 2.6.3 Fasores

En la mayoría de los estudios de circuitos de CA, la frecuencia es determinada, por lo que esta característica puede ser utilizada para simplificar el análisis. El análisis senoidal de estado estable es simplificado ampliamente si los voltajes y corrientes se representan como vectores en el plano de los números complejos, estos vectores se le conocen como “fasores”. El propósito básico de un fasor es el de mostrar la magnitud y el

<sup>5</sup> Ibid., Pág. 2-3

ángulo de fase entre dos o múltiples cantidades, tales como voltajes o corrientes. Los fasores se pueden definir de diferentes formas (rectangular, polar, exponencial o trigonométrica). Sin embargo, la representación más común es la representación gráfica. Como se muestra a continuación para una función de voltaje, el término rotatorio a la frecuencia angular  $\omega$  es ignorado y el fasor es ilustrado utilizando la parte real de una función compleja en forma polar.

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta)$$

$$= \operatorname{Re} \left\{ V_m e^{j(\omega t + \theta)} \right\} = \operatorname{Re} \left\{ \left( V_m e^{j\theta} \right) \left( \sqrt{2} e^{j\omega t} \right) \right\}$$

$$\text{Voltage phasor, } V = V_{\text{rms}} e^{j\theta} = V_{\text{rms}} \angle \theta$$

El fasor es visto como un vector de magnitud  $V_m$  que rota en sentido de las manecillas del reloj en el plano complejo con una velocidad angular  $\omega$ . Como el vector gira, su proyección en el eje de las equis traza el voltaje como una función del tiempo. El fasor es simplemente una toma de ese vector giratorio cuando  $t = 0$ .

En un circuito lineal alimentado con una fuente senoidal, en el estado estable, todos los voltajes y las corrientes también serán senoidales y de la misma frecuencia. Sin embargo, tal vez habrá diferentes ángulos de fase entre el voltaje y la corriente dependiendo del tipo de carga utilizada. Aquí se consideran tres elementos básico pasivos que son la resistencia (R), el inductor (L) y el capacitor (C). La carga del circuito de CA puede ser una combinación de estos elementos pasivos, tales como RL y RC.

Se debe mencionar que el voltaje y la corriente en una resistencia están en fase, mientras que para una carga L ó C se tiene un ángulo de fase de  $90^\circ$  entre el voltaje y la

corriente. La corriente del inductor está atrasada con respecto al voltaje por  $90^\circ$  mientras que la corriente del capacitor está adelantada al voltaje por  $90^\circ$ .

#### 2.6.4 Valores en por unidad

El sistema de medición y computación en por unidad es utilizado en la ingeniería eléctrica por dos razones:

- Para eliminar la necesidad de conversión de voltajes, corrientes e impedancias en el circuito y el evitar utilizar la transformación monofásica a trifásica y viceversa.
- Para mostrar múltiples cantidades en la misma escala para propósitos de comparación.

La cantidad que es sujeta a conversión se redimensiona en términos de una unidad conveniente en particular, llamada la base en por unidad del sistema. Debe mencionarse que cualquier valor que se le de al valor en por unidad, estos siempre son solamente números. Para calcular los valores reales de las cantidades, la magnitud de la base del sistema en por unidad debe de ser conocida.

En los circuitos eléctricos el voltaje, la corriente, la impedancia y la potencia pueden ser seleccionados como cantidades base. Si se seleccionan el voltaje y la potencia, las cantidades pueden ser independientes entre ellas como las cantidades base. La razón por la cual se hace esta selección es que el sistema en por unidad de voltaje / potencia puede automáticamente establecer la correspondiente base de corriente y la base de impedancia.

### 2.6.5 Definiciones de potencia eléctrica y corrección del factor de potencia en circuitos de CA monofásicos

La *potencia instantánea* entregada a la carga puede ser expresada como:

$$p(t) = v(t) \cdot i(t)$$

“La potencia instantánea puede ser positiva o negativa dependiendo el signo de  $v(t)$  y de  $i(t)$  el cual se relaciona con el signo de la señal en un tiempo dado. Una potencia positiva significa que el flujo de potencia va desde la fuente de alimentación a la carga y una potencia negativa significa que el flujo de potencia va desde la carga a la fuente de alimentación.

En el caso de un voltaje y una corriente de forma senoidal la potencia instantánea puede ser expresada como la suma de dos senoidales ó como la suma de dos senoidales del doble de frecuencia<sup>6</sup> como se muestra a continuación:

$$v(t) = V_m \cos(\omega t)$$

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \theta)$$

$$p(t) = V_m I_m \cos(\theta) + V_m I_m \cos(2\omega t + \theta)$$

$$p(t) = V_m I_m \cos \theta \cdot (1 + \cos 2\omega t) + V_m I_m \sin \theta \cdot \cos(2\omega t + \pi/2)$$

<sup>6</sup> Ibid. Pág. 2-10

En la ecuación anterior de potencia, el primer término de la parte derecha de la ecuación es conocido como la *potencia instantánea promedio*, *potencia real* o *potencia activa* y es medida en watts (W), kW o MW. El segundo término del lado derecho de la ecuación es llamado *potencia instantánea reactiva* y su valor promedio es cero. El máximo valor del segundo término es conocido como la *potencia reactiva* y es medida en volts-ampere reactivos (VAR), kVAR o MVAR. Por lo que la *potencia activa* (P) y la *potencia reactiva* (Q) están dadas por:

$$P = V_m I_m \cos(\theta)$$

$$Q = V_m I_m \sin(\theta)$$

El coseno del *ángulo de fase*  $\theta$  entre el voltaje y la corriente es llamado el *factor de potencia*.

$$FP = \cos(\theta)$$

La *potencia aparente* (S) puede ser calculada a partir de la *potencia real* (P) y la *potencia reactiva* (Q) como sigue:

$$S = V_m I_m = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

La potencia aparente es medida en volts-ampere (VA), kVA o MVA.

La potencia compleja en los circuitos de CA puede ser dada por:



$$S = P \pm jQ = V_m I_m \cos(\theta) + j V_m I_m \sin(\theta)$$

Como  $S$  representa a un número complejo, como se indicó en la ecuación anterior, la parte real de la potencia compleja es igual a la potencia activa ( $P$ ) y la parte imaginaria es la potencia reactiva ( $Q$ ).

A partir de las expresiones anteriores las ecuaciones asociadas con las potencias real, reactiva y aparente pueden ser desarrolladas geoméricamente en un triángulo rectángulo llamada el *triángulo de potencias*. El triángulo de potencias puede ser representado a través de fasores. El eje horizontal representa la potencia real o activa y el eje vertical representa la potencia reactiva.

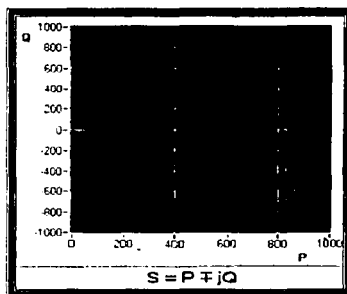


Figura 47. Triángulo de potencias.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 2.6.5.1 Corrección del factor de potencia (compensación)

Si la definición de la potencia compleja es analizada se puede ver que si una carga puramente inductiva o puramente capacitiva es conectada a la fuente, ésta será completamente cargada mientras que la potencia activa entregada será igual a cero. Refiriéndose al triángulo de potencias, la hipotenusa ( $S$ ) es una medida de la carga en la fuente y el lado ( $P$ ) es una medida de la potencia útil entregada. Por lo tanto, es deseable tener una potencia aparente de un valor cercano a la potencia activa lo cual hace tener el factor de potencia cercano a 1. "El proceso de aproximación del factor de potencia al valor de 1.0 (debajo de 1.0 pero arriba del factor de potencia existente) es conocido como *corrección del factor de potencia* (o compensación)".<sup>7</sup>

En la práctica, la corrección del factor de potencia es realizada simplemente por medio de la conexión de capacitores o inductores a través de la carga existente la cual por sí misma puede ser una carga inductiva o capacitiva. Durante el proceso de corrección del factor de potencia el voltaje a través de la carga permanece siendo el mismo y la potencia activa no cambia. Sin embargo, la corriente y la potencia aparente sí cambian. Esto significa que la cantidad corriente / potencia que desciende puede ser utilizada en alguna otra parte, por ejemplo, por otras cargas en que se tenga que incrementar la capacidad de la fuente.

Como un ejemplo se puede mencionar que si se tienen las potencias y el factor de potencia de un circuito de CA monofásico como sigue:  $P = 1200$  W,  $Q = 1600$  VAR,  $S = 2000$  VA y  $FP = \cos \theta = 0.6$  atrasado (-) y nosotros quisiéramos corregir el factor de potencia a 0.9 atrasado (-), un capacitor debe ser añadido a través de la carga como se muestra en la siguiente figura. Después de que se ha realizado la corrección, la potencia activa permanece igual pero la potencia aparente es reducida a 1333 VA y la potencia reactiva del capacitor es igual a 1015 VAR adelantada.

---

<sup>7</sup> Ibid. Pág. 2-12

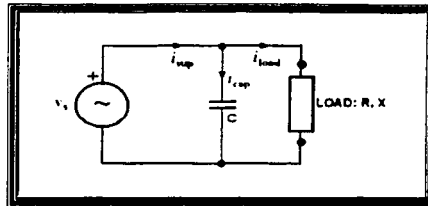


Figura 48. Corrección del factor de potencia conectando un capacitor en paralelo con la carga.

A continuación se muestra el diagrama de conexiones para la realización de la prueba de corrección del factor de potencia. (a) Diagrama del circuito sin la corrección del factor de potencia. (b) Diagrama del circuito para corregir el factor de potencia utilizando un capacitor C.

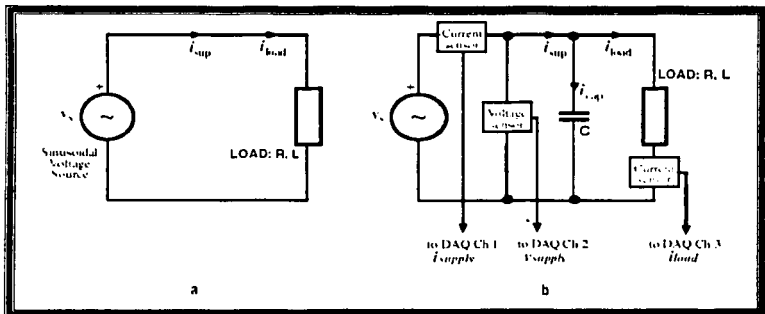


Figura 49. Conexiones para realizar la corrección del factor de potencia.

### 2.7 Cargas de CA trifásicas conectadas en estrella / delta (Y-Δ)

Un sistema trifásico consiste en tres fuentes de voltaje que proporcionan la potencia a las cargas conectadas a las líneas de alimentación. Las cargas trifásicas pueden estar conectadas a las fuentes ya sea en configuraciones delta ( $\Delta$ ) o estrella (Y).

En los sistemas trifásicos, los voltajes difieren en ángulos de fase por  $120^\circ$  y sus frecuencias y amplitudes son las mismas. Si las cargas trifásicas están balanceadas ( cada una teniendo el mismo valor de impedancia), el análisis de tal circuito puede ser simplificado a uno de una sola fase. Esto se logra a partir de la relación que tienen las potencias reales y reactivas por fase en el circuito trifásico, que es la de un tercio del total de cada una de éstas para cada fase. Resulta ser más conveniente llevar a cabo el cálculo en un circuito base en configuración estrella para tomar en cuenta una fase y un punto neutral. Si se tienen conexiones  $\Delta$ -Y, Y- $\Delta$  ó  $\Delta$ - $\Delta$  los parámetros en el lado  $\Delta$  son transformados a la conexión Y equivalente para llevar a cabo los cálculos correspondientes.

Las figuras 50 y 51 muestran las conexiones de una carga trifásica comúnmente utilizada en los circuitos trifásicos. Las cargas son alimentadas de una fuente conectada en estrella.

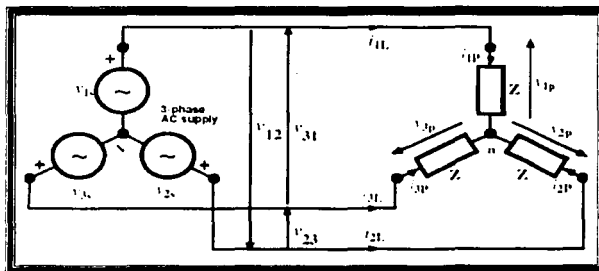


Figura 50. Conexión en estrella.

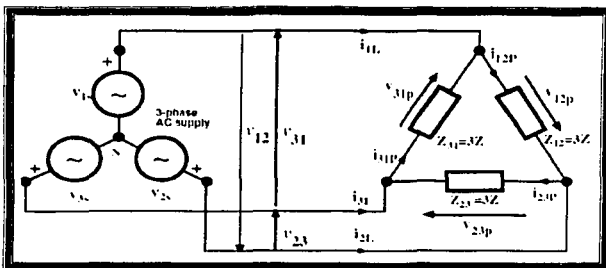


Figura 51. Conexión en delta.

En una fuente de alimentación ideal trifásica las frecuencias y las magnitudes de cada fuente de voltaje son iguales por lo que los voltajes de alimentación están dados por:

$$v_1(t) = V_m \sin(\omega t)$$

$$v_2(t) = V_m \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

$$v_3(t) = V_m \sin(\omega t - 4\pi/3)$$

Expresiones similares pueden escribirse en funciones de corrientes en el caso de una operación de estado estable del sistema. Lo que es más, cuatro definiciones básicas son dadas para los voltajes y corrientes trifásicas, generalmente como valores RMS no los valores máximos.

Los siguientes valores se refieren a los valores mencionados en las figuras 50 y 51:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- **Voltaje de fase:**  $V_{1f}, V_{2f}, V_{3f}, V_{1p}, V_{2p}, V_{3p}, V_{12p}, V_{23p}, V_{31p}$ .
- **Voltaje entre fases:**  $V_{12}, V_{23}, V_{31}$ .
- **Corriente de fase:**  $I_{1p}, I_{2p}, I_{3p}, I_{12p}, I_{23p}, I_{31p}$ .
- **Corriente de línea:**  $I_{1l}, I_{2l}, I_{3l}$ .

“Se llama una carga “balanceada” cuando los voltajes de línea son iguales y cuando también las corrientes de línea son iguales. En un sistema trifásico balanceado, hay un relación muy sencilla entre cantidades de línea y de fase la cual puede ser obtenida a través de fasores o de expresiones matemáticas que representan a los voltajes y a las corrientes. Las relaciones voltajes y corrientes en circuitos trifásicos de CA pueden simplificarse utilizando los valores RMS (I y V) de esas cantidades”.<sup>8</sup>

La siguiente tabla muestra las relaciones entre las formas de conexión delta y estrella así como entre los voltajes y corrientes de línea y fase.

Star Connected Balanced Load	Delta Connected Balanced Load
$I_{1p} = I_{1l}, I_{2p} = I_{2l}, I_{3p} = I_{3l}$	$I_p = I_l / \sqrt{3}$
$I_l = I_{1l} = I_{2l} = I_{3l}$	$I_l = I_{1l}, I_{2l} = I_{1l}, \text{ and } I_p = I_{12p} = I_{23p} = I_{31p}$
$V_p = V_l / \sqrt{3}$	$V_{12} = V_{12p}, V_{23} = V_{23p}, V_{31} = V_{31p}$
$V_l = V_{12} = V_{23} = V_{31}$	$V_l = V_{12} = V_{23} = V_{31}$
and $V_p = V_{1p} = V_{2p} = V_{3p}$	
The voltages across the impedances and the currents in the impedances are 120° out of phase	The voltages across the impedances and the currents in the impedances are 120° out of phase

Figura 52. Relación entre las conexiones delta y estrella.

<sup>8</sup> Ibid. Pág. 2-23

## 2.7.1 Fasores de voltajes y corrientes en un sistema trifásico

Tomando en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$v_{1s}(t) = V_m \sin(\omega t)$$

$$v_{2s}(t) = V_m \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

$$v_{3s}(t) = V_m \sin(\omega t - 4\pi/3)$$

En voltaje en la fase 1 alcanza su valor máximo primero seguido por el de la fase 2 y finalmente el de la fase 3 teniendo una secuencia 123. Esta secuencia debe de ser evidente en el diagrama fasorial de la fuente trifásica en donde los fasores deben de pasar por un punto fijo en el orden 1-2-3, 1-2-3, etc.

Los fasores se obtienen seleccionando uno de los voltajes como referencia con un ángulo de fase igual a cero que determina los otros ángulos de fase de las otras dos fases en el sistema. Al tener iguales las frecuencias y las amplitudes de los voltajes de la fuente los fasores tienen igual longitud por lo que se pueden dibujar de una manera sencilla.

Los fasores de los voltajes de línea y entre fases en los sistemas trifásicos pueden también ser representados en forma polar como se muestra a continuación. Sin embargo, es importante señalar que una representación similar puede ser utilizada para las formas de onda de corriente si el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente es conocido.

$$V_1 = V_m \angle -90^\circ$$

$$V_2 = V_m \angle -90^\circ$$

$$V_3 = V_m \angle -90^\circ$$

$$V_{21} = \sqrt{3} V_m \angle 0^\circ$$

$$V_1 = V_m \angle -90^\circ$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En donde  $V_{ph}$  es el voltaje de fase o de línea. La siguiente figura muestra la secuencia y la forma de los fasores de voltaje en un circuito trifásico de CA conectado en estrella.

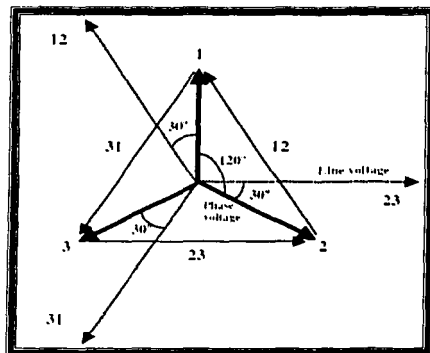


Figura 53. Diagrama fasorial de una fuente trifásica.

Hay dos formas de ilustrar los voltajes de línea y entre fases en forma fasorial como se ve en la figura 53. La línea punteada representa los voltajes entre fases empezando desde el origen.

### 2.7.2 Potencias en los circuitos trifásicos de CA

Al tener las mismas corrientes a través de las impedancias de fase balanceadas conectadas en delta o en estrella, la potencia por fase es un tercio de la potencia total del sistema. Como definición se tiene que el voltaje a través de la impedancia de carga y la



corriente en la impedancia puede ser utilizada para calcular la potencia por fase como se ha explicado anteriormente".

Asumiendo que el ángulo entre el voltaje y la corriente es  $\theta$  el cual es igual al ángulo de la impedancia. Considerando las configuraciones de carga dadas en la siguiente figura, la potencia por fase y la potencia total puede ser obtenida fácilmente.

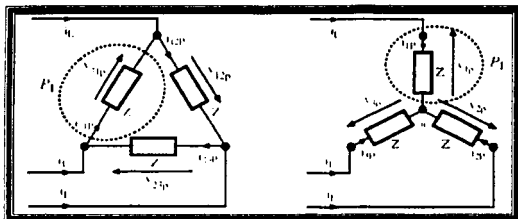


Figura 54. Cargas conectadas en delta y estrella.

En el caso de la conexión en delta la potencia activa por fase ya la potencia activa total están dadas por:

$$P_1 = P_2 = P_3 = P = V_{\text{line}} I_{\text{phase}} \cos\theta$$

$$P_{\text{total}} = 3 \times P = 3 V_{\text{line}} I_{\text{phase}} \cos\theta$$

Al tener que la corriente de línea es  $I_{\text{linea}} = \sqrt{3} I_{\text{fase}}$  en las cargas balanceadas conectadas en delta, si esta ecuación es sustituida en la ecuación anterior, la potencia total activa se convierte en:

\* Ibid. Pág. 2-30

$$P_{\text{total}} = \sqrt{3} V_{\text{line}} I_{\text{line}} \cos \theta$$

Sin embargo, en la conexión en estrella, las impedancias contienen las corrientes de línea, en donde  $I_{\text{línea}} = I_{\text{fase}}$ , y los voltajes de fase,  $V_{\text{fase}} = V_{\text{línea}} / \sqrt{3}$ . Por lo tanto, la potencia activa por fase y la potencia total activa están dadas por:

$$P_1 = P_2 = P_3 = P = V_{\text{phase}} I_{\text{line}} \cos \theta$$

$$P_{\text{total}} = 3 \times P = 3 V_{\text{phase}} I_{\text{line}} \cos \theta$$

Si la relación entre los voltajes de fase y los voltajes entre líneas ( $V_{\text{fase}} = V_{\text{línea}} / \sqrt{3}$ ) es utilizada, la potencia total activa se convierte en la misma ecuación determinada para a conexión en delta que es la siguiente:

$$P_{\text{total}} = \sqrt{3} V_{\text{line}} I_{\text{line}} \cos \theta$$

Esto significa que la potencia total en cualquier carga trifásica balanceada (conectada en delta o estrella) esta dada por la ecuación anterior donde  $\theta$  es el ángulo de la impedancia de carga.

De manera similar, la potencia total reactiva y aparente en los circuitos trifásicos de CA balanceados puede ser obtenida por:

$$Q_{\text{total}} = \sqrt{3} V_{\text{line}} I_{\text{line}} \sin \theta$$

$$S_{\text{total}} = \sqrt{3} V_{\text{line}} I_{\text{line}}$$

## 2.8 Mediciones de potencia

En los sistemas trifásicos de potencia, uno, dos o tres wattmetros pueden ser utilizados para medir la potencia total del sistema. Un wattmetro puede ser considerado como un voltímetro y un amperímetro combinados en el mismo dispositivo el cual tiene una deflexión proporcional a  $V I \cos \theta$  donde  $\theta$  es el ángulo entre el voltaje y la corriente.

El wattmetro tiene dos terminales de voltaje y dos de corriente los cuales tienen signos de polaridad + y -. Se describen tres métodos de medición de potencia utilizando los wattmetros aplicados a una carga trifásica de CA balanceada.

### 2.8.1 Método de los dos wattmetros

Este método puede ser utilizado sistema trifásico de tres líneas ya sea balanceado o desbalanceado que puede estar conectado en estrella o delta. Para realizar dicha medición se necesitan conectar dos wattmetros como se muestra en la figura 55.

En las cargas balanceadas, la suma de las lecturas de los dos wattmetros da la potencia total. Esto se puede verificar matemáticamente en una carga conectada en estrella como sigue:

$$P_1 = V_{12} I_1 \cos (30^\circ + \theta) = V_{\text{line}} I_{\text{line}} \cos (30^\circ + \theta)$$

$$P_2 = V_{32} I_3 \cos (30^\circ - \theta) = V_{\text{line}} I_{\text{line}} \cos (30^\circ - \theta)$$

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 = \sqrt{3} V_{\text{line}} I_{\text{line}} \cos \theta$$

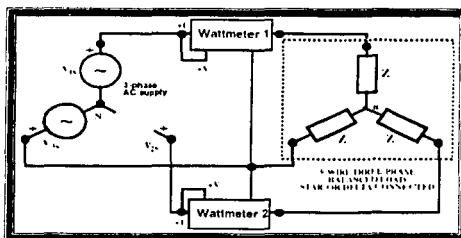


Figura 55. Medición de potencia con dos wattmetros.

En el siguiente diagrama fasorial se muestra la representación de los voltajes y corrientes medidas con éste método.

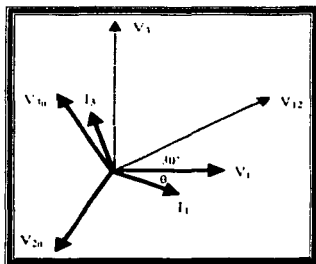


Figura 56. Diagrama fasorial de voltajes y corrientes.

Si se realiza la diferencia de las lecturas se tiene:

$$P_2 - P_1 = V_{\text{line}} I_{\text{line}} \cos(30^\circ - \theta) - V_{\text{line}} I_{\text{line}} \cos(30^\circ + \theta) = V_{\text{line}} I_{\text{line}} \sin \theta$$

En esta ecuación se tiene  $(1 / \sqrt{3})$  veces del total de la potencia trifásica reactiva. Esto significa que el método de los tres wattmetros puede también indicar la potencia total reactiva en las cargas trifásicas.

### 2.8.2 Método de los tres wattmetros

Este método es utilizado en un sistema trifásico de cuatro líneas balanceado o desbalanceado. Las conexiones son hechas con un medidor en cada línea como se muestra en la figura 57. La potencia total activa entregada a la carga es igual a la suma de las lecturas registradas en los tres wattmetros.

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + P_3$$

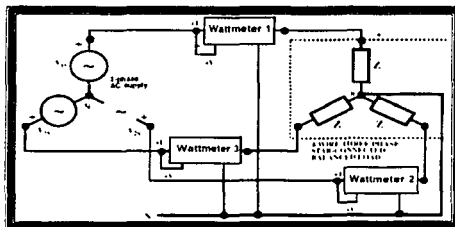


Figura 57. Medición de potencia con tres wattmetros.

### 2.8.3 Método de un wattmetro

Este método es adecuado solo para los sistemas trifásicos de cuatro líneas balanceados. La conexión del wattmetro es similar a la hecha en la figura 57. La potencia total es igual a tres veces la lectura del wattmetro conectado de una línea a la terminal del neutro.

La siguiente figura muestra la conexión que se realiza para llevar a cabo la medición de potencias trifásicas.

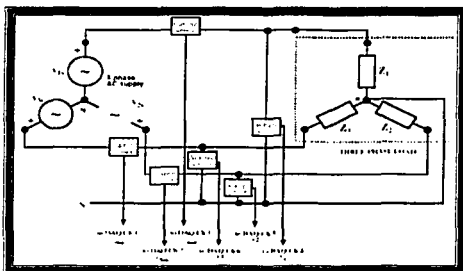


Figura 58. Diagrama de conexiones para la medición de potencias trifásicas.

### CAPÍTULO 3. ADQUISICIÓN DE DATOS

La adquisición de datos puede ser de diferentes formas, una de ellas se realiza por tarjetas que son conectadas directamente al bus del CPU permitiendo adquirir y procesar datos en tiempo real.

Cada tarjeta presenta funciones diferentes y aplicaciones variadas, como el conteo de eventos, la generación de señales de salida o la adquisición de señales de entrada.

Normalmente una tarjeta de adquisición de datos aporta los bloques de encaminamiento de la señal, así como la medida de esta (con posibilidad de amplificación), las funciones de cálculo, memoria y visualización las tiene que realizar el ordenador al cual esté conectado la tarjeta.

Una ventaja importante en las tarjetas de adquisición de datos es que se evita la duplicidad de diferentes bloques en el instrumento, como pueden ser memoria o funciones de cálculo. También es importante la facilidad de instalación, de puesta en marcha y su flexibilidad de uso en otras aplicaciones.

#### **3.1 Adquisición de datos y formas de ondas**

Los diferentes lenguajes de programación permiten realizar aplicaciones que se pueden configurar para adquirir y enviar datos a dispositivos de adquisición de datos. Generalmente, la tarjeta puede realizar una variedad de funciones de conversión analógica-digital (A/D), digital-analógica (D/A), entrada / salida digital y operaciones del contador / temporizador. Cada tarjeta trabaja con diferentes dispositivos de adquisición de datos y generación de señales. También cada tarjeta está diseñada para trabajar en una plataforma de hardware y sistema operativo específicos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.1.1 Componentes de un sistema de adquisición de datos

La figura 1 muestra dos opciones de sistemas de adquisición de datos. En la opción A la tarjeta está dentro de la computadora. En el caso B, el sistema es externo. Con este método se pueden construir sistemas de adquisición de datos utilizando computadoras que no tengan puertos de expansión disponibles. La computadora y el módulo de adquisición se comunican a través de varios buses, como el puerto paralelo, el puerto serial y Ethernet. Este tipo de sistemas son prácticos para la adquisición remota de datos y aplicaciones de control.

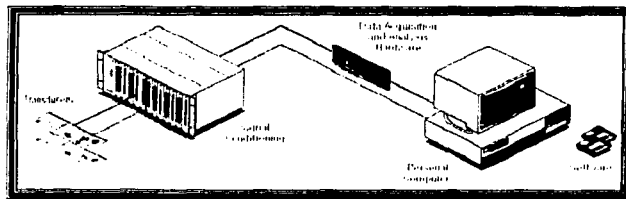


Figura 1. Sistema de adquisición típico basado en computadora.

La tarea fundamental de un sistema de adquisición de datos es la medición y la generación de señales físicas del mundo real. Antes de que un sistema basado en computadoras pueda medir una señal física, un sensor o transductor deberá convertir las señales físicas en señales eléctricas, como voltaje o corriente. Normalmente, las tarjetas insertables de adquisición de datos se consideraban como un sistema de adquisición completo; sin embargo, la tarjeta es sólo uno de los componentes del sistema. A diferencia de la mayoría de los instrumentos independientes, no se pueden conectar señales directamente a una tarjeta de adquisición de datos. Algún accesorio para el acondicionamiento de señales deberá acondicionar la señal antes de que la tarjeta la



convierta en información digital. Finalmente el software controla el sistema adquiriendo datos y presentando los resultados.

### 3.2 Transductores

#### 3.2.1 Visión general de un sistema de adquisición de datos

El propósito general de un sistema de adquisición de datos es medir un fenómeno físico tal como: intensidad de luz, temperatura, presión o sonido. Los componentes de un sistema de adquisición son los siguientes:

- Transductor
- Señal
- Extensiones de instrumentación para el acondicionamiento de señal
- Dispositivo de adquisición de datos
- Software y controladores de aplicación

Con estos cinco componentes que conforman nuestro sistema se puede llevar cualquier variable física a la computadora para su análisis y presentación.

#### 3.2.2 Definición de un transductor

“Un transductor es un dispositivo que convierte una variable física a una señal eléctrica que puede ser representada como un nivel de tensión o una corriente”.<sup>1</sup> A continuación se presentan algunas variables físicas más utilizadas:

---

<sup>1</sup> LabVIEW Data acquisition course manual. Pág. 1-4

- Temperatura
- Luz
- Sonido
- Fuerza
- Presión
- Posición
- Fluidos
- Niveles de pH

En la figura 2 esquematizamos la función de un transductor, en donde queremos convertir la variable física a una señal visual y manipulable.

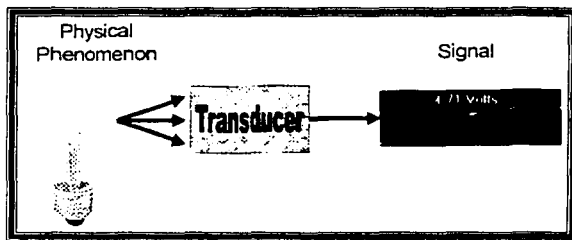


Figura 2. Representación esquemática de la función de un transductor.

### 3.2.3 Tipos de transductores

Existen varios tipos de transductores para una variedad de necesidades tales como la medición de temperaturas, presiones y fluidos. En la tabla 1 sólo se muestran algunos ejemplos de los tipos de transductores que existen y la aplicación para la cual pueden ser utilizados.

Variable física	Transductor
Temperatura	Termopares Dispositivo de temperatura resistivo (RTDs) Termistores Sensor CI
Luz	Foto sensores Celdas fotoconductoras
Sonido	Micrófono
Fuerza y presión	Medidores de tensión Transductores piezoeléctricos Celdas de carga
Posición y desplazamiento	Potenciómetros Transformador diferencial lineal de voltaje Decodificador óptico
Fluidos	Medidores de fluido rotacionales Medidores de fluido ultrasónicos
PH	Electrodos pH

Tabla 1. Tipos de transductores.

Los diferentes tipos de transductores tienen diferentes requerimientos para convertir la variable física a una señal que pueda ser medida. Por ejemplo, una resistencia que detecta temperatura (RTD) necesita una excitación de corriente para medir la temperatura. Un termopar no necesita ninguna excitación de corriente, pero sin embargo necesita una compensación en el termopar. Los medidores de tensión utilizan una configuración de resistores llamada puente de Wheatstone para medir la tensión.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.3 Señales

No todas las señales son medidas de la misma manera por lo que es necesario saber como hacer una clasificación de la señal, esto se puede hacer en dos tipos: digitales y analógicas, como se muestran en las figuras 3 y 4 respectivamente.

Después de haber clasificado la señal, se necesita decidir que tipo de información se necesita extraer de la señal. Los posibles tipos de información que se pueden obtener de una señal son el estado, proporción, nivel, forma y la frecuencia.

La discusión de las características de las señales asume que la señal ha sido adquirida. Sin embargo, la mayoría de los puntos aplican a la generación de señales de igual forma. La única diferencia entre adquirir y generar una señal es que ningún tipo de análisis es necesario cuando se es generada una señal con una frecuencia determinada.

#### 3.3.1 Clasificación de las señales

Una señal puede caer dentro de una de las dos categorías siguientes:

- Digital
- Analógica

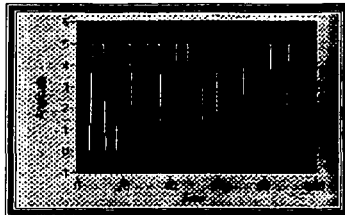


Figura 3. Señal digital.

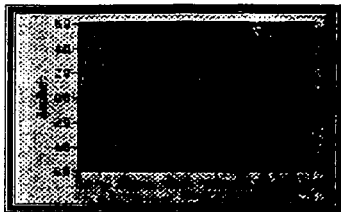


Figura 4. Señal analógica.

### 3.3.1.1 Señales digitales

Una señal digital tiene sólo dos posibles estados que son: ON ó OFF. El estado ON es también llamado como un alto lógico y el estado OFF es también llamado como un bajo lógico. Las señales digitales son en ocasiones también referidas como una señal TTL (Transistor-to-Transistor Logic). Dentro de las especificaciones para una señal TTL, la señal con un nivel de voltaje entre 0 volts y 0.8 volts se les define como un bajo lógico y a la señal con un nivel de voltaje entre 2 volts y 5 volts se define como un alto lógico. La mayoría de los dispositivos digitales aceptan señales compatibles TTL. Se pueden medir dos aspectos de una señal digital: estado y velocidad.

#### 3.3.1.1.1 Información de una señal digital

**Estado:** Una señal digital solo tiene dos posibles estados: ON ó OFF. Uno de los aspectos de una señal digital que se puede medir es si el estado es alto o bajo, figura 5.

**Velocidad:** Una señal digital también cambia de estado con respecto al tiempo. El otro aspecto que se puede medir de una señal digital es la velocidad o como la señal digital cambia con respecto al tiempo, figura 5.

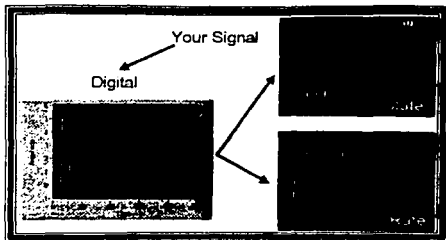


Figura 5. Información obtenida de una señal digital.

Un ejemplo para medir el estado de una señal digital puede ser un interruptor que va a ser monitoreado. Este interruptor enciende o apaga una lámpara, figura 6. Cuando el interruptor está abierto se medirán 0 volts , es decir, estará en estado bajo ó OFF. Al cerrar el interruptor se medirán 5 volts lo que nos dará un estado alto ó ON. Midiendo el estado de la señal digital se puede determinar si la lámpara está encendida o apagada, figura 7.

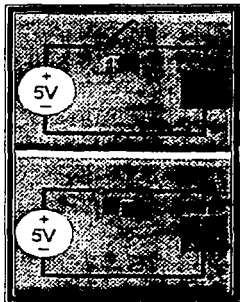


Figura 6. Interruptor que determina el estado de una señal digital.

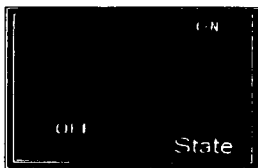


Figura 7. Estado de la señal digital.

Para mencionar un ejemplo de cómo se puede medir la velocidad de cambio de estado de una señal digital consideremos que se tiene un motor y que queremos determinar que tan rápido gira la flecha de ese motor. Un decodificador es un transductor que puede ser utilizado para convertir el movimiento rotatorio de la flecha a una señal digital. Cuando el decodificador se mueve produce dos señales digitales. Cada señal digital es una serie de estados altos y bajos que alternadamente están cambiando, conocido también como tren de pulsos. Para cada incremento en la rotación se puede obtener un pulso. El incremento de la rotación depende del decodificador. Por ejemplo, si el dispositivo para medir la señal tiene un decodificador que da cierto número de pulsos por revolución se puede medir la velocidad de uno de los trenes de pulsos producidos por el dispositivo para determinar que tan rápido esta girando la flecha del motor. Es importante mencionar que se pueden medir ambos trenes de pulsos para determinar en que dirección está girando la flecha, figura 8.

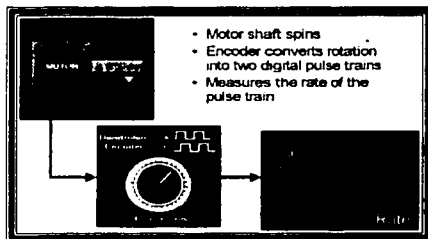


Figura 8. Codificación digital de la velocidad del rotor de un motor.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.3.1.2 Señales analógicas

Diferente a una señal digital, una señal analógica puede tener cualquier nivel de voltaje con respecto al tiempo. Debido a que una señal analógica puede estar en cualquier estado en cualquier momento, los aspectos físicos que se tienen que medir difieren de aquellos que se miden en una señal digital. Estos aspectos físicos que se pueden medir son: el nivel de voltaje, la forma o la frecuencia de la señal analógica.

#### 3.3.1.2.1 Información de una señal analógica

Como ya se mencionó se pueden medir tres aspectos de las señales analógicas que son: nivel, forma y frecuencia, figura 9.

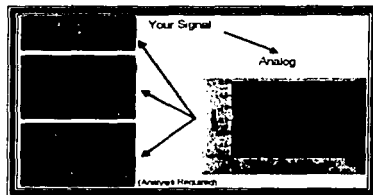


Figura 9. Información obtenida de una señal analógica.

**Nivel:** Medir el nivel de una señal analógica es similar a medir el estado de una señal digital. La única diferencia es que una señal analógica puede estar a cualquier nivel de voltaje mientras que una señal digital solo puede estar en uno de los dos niveles ya mencionados: 0 volts ó 5 volts, figura 10.



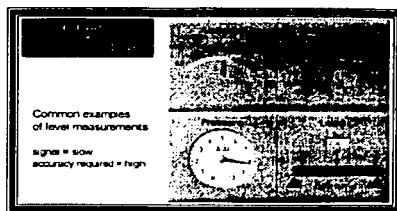


Figura 10. Nivel de una señal analógica.

**Forma:** La forma de una señal es en ocasiones importante porque las señales analógicas pueden estar en cualquier estado con respecto al tiempo. Por ejemplo, una onda senoidal tiene diferente forma que una onda diente de sierra. Al medir la forma de una señal puede ser de gran utilidad en el análisis de otros aspectos de la señal tales como: valores pico, pendiente o la integración, figura 11.

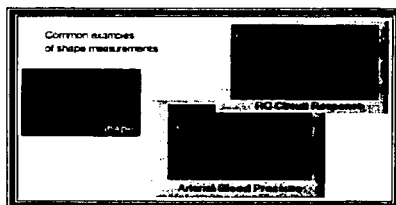


Figura 11. Forma de una señal analógica.

**Frecuencia:** Medir la frecuencia de una señal analógica es similar a medir la velocidad de cambio de una señal digital. Sin embargo, no se puede medir directamente la frecuencia de una señal analógica. Un análisis de una señal por medio de software es requerido para extraer la frecuencia de la señal. El análisis mencionado es generalmente hecho utilizando la Transformada de Fourier, figura 9.

Al medir la forma de una señal se necesita saber la relación de la señal con respecto al tiempo. Muchas señales cambian rápidamente con respecto al tiempo. La

mayoría de las aplicaciones en las que se necesita determinar la forma de la señal, también se necesita un alto grado de precisión; por lo que se necesita un dispositivo de adquisición de datos con alta resolución y alta velocidad de muestreo. Algunos ejemplos que se pueden mencionar de este tipo de medición se pueden encontrar en diferentes áreas como son en el área médica, electrónica y las industrias automotrices; como puede ser el medir las pulsaciones del corazón, una señal de video o las vibraciones de un resorte. Después de haber adquirido la señal, ésta se puede analizar para extraer información específica que sea necesaria a cerca de la forma de onda. Por ejemplo, cuando se mide la presión de la sangre se presta especial importancia en los valores picos de la señal, mientras que, por ejemplo, en un circuito RC al analizar su respuesta nos interesa saber como la amplitud varía a través del tiempo, figura 11.

Para medir la frecuencia de una señal analógica se necesita saber la relación de esa señal con respecto al tiempo. Muchas señales cambian rápidamente con respecto al tiempo por lo que en la mayoría de las aplicaciones donde se necesite hacer una medición de frecuencia se necesita contar con un dispositivo de adquisición de datos que tenga una alta resolución y una alta velocidad de muestreo. Una vez adquirida la señal con respecto al tiempo (tiempo de graficación), se necesita hacer un análisis por medio de software para convertir la señal del tiempo de graficación a una frecuencia. Los ejemplos que se pueden mencionar a cerca de la medición de frecuencia se pueden encontrar en una variedad de campos de aplicación tales como: estudios geofísicos, acústicos y telecomunicaciones y van desde la medición de un sismo hasta el análisis de voz en un discurso, figura 12.

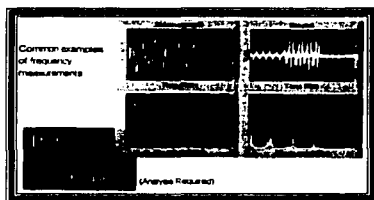


Figura 12. Frecuencia de una señal analógica.

### 3.3.2 Formas de medir una señal

Ya que se han mencionado la clase de información que se puede obtener de una señal se tienen también varias formas de derivar los diferentes tipos de información de una misma señal.

Tomando como señal un tren de pulsos, siendo que es una señal digital se puede medir el estado de la señal que puede ser "alto" ó "bajo". También se puede obtener la velocidad a la cual el estado de la señal está cambiando. Si la señal es analógica, se puede medir el nivel de la señal en cualquier punto en el tiempo; también se tiene la forma de la señal al momento de crecer o disminuir de un estado a otro y finalmente se puede determinar la frecuencia de la señal a través de un análisis efectuado por software.

Al medir el estado de la señal nos indica si la señal esta en ON ó OFF. Sin embargo, tomando en cuenta de que el rango que determina un estado "alto" de la señal es de 2 a 5 volts y el estado "bajo" puede estar entre 0 y 0.8 volts se mide el nivel de la señal para determinar el voltaje exacto de la señal. Cuando se está midiendo la velocidad de cambio, se mide que tan seguido una porción de la señal se presenta. Por ejemplo, se pueden contar el número de flancos ascendentes. Al medir la frecuencia se esta midiendo que tan seguido una porción de la señal ocurre con respecto al tiempo. Las unidades para medir la frecuencia se toman en ciclos por segundo (Hz).

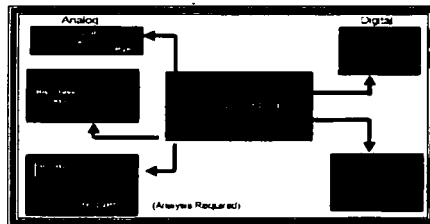


Figura 13. Formas de medir la misma señal.

### 3.4 Acondicionamiento de señales

Después de haber convertido una variable física a una señal eléctrica utilizando un transductor y de haber decidido que tipo de información se quiere obtener a partir de la señal, se tienen que tomar en cuenta otros aspectos para poder introducir la señal a la computadora. No siempre se puede conectar la señal directamente al dispositivo de adquisición de datos. Tal vez será necesario alterar la señal de su estado original para adecuarla al dispositivo de adquisición para su medición. Se puede alterar la señal utilizando diferentes dispositivos de hardware. El acondicionamiento de la señal permite tomar una señal que es difícil de manejar para el dispositivo de adquisición y la convierte en una señal mucho más fácil de medir. No siempre es requerido un sistema de acondicionamiento de señales, es utilizarlo o no depende de la señal que va a ser medida, figura 14.

La mayoría de los transductores necesitan alguna clase de hardware externo para desempeñar su trabajo. Por ejemplo, los detectores de temperatura resistivos (RTD) necesitan una corriente de excitación así como los medidores de tensión mecánica necesitan una configuración de resistores llamada puente de Wheatstone.

Además del hardware externo que puede necesitar un transductor, no todos los transductores producen una señal de voltaje perfecta para la medición que efectuará el dispositivo de adquisición de datos. La señal que proviene del transductor podría tener mucho ruido o ser muy pequeña o quizás demasiado grande para el rango que maneja el dispositivo de adquisición de datos. Los termopares, los medidores de tensión mecánica y los micrófonos producen señales de voltaje del orden de los mili-volts, haciendo difícil el detectar los posibles cambios que se presenten en la señal.

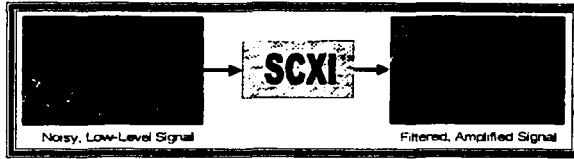


Figura 14. Acción de un acondicionador de señal.

### 3.4.1 Amplificación

La amplificación de una señal es la forma de incrementar el nivel de una señal que es muy pequeño para el dispositivo de adquisición de datos para efectuar una medición adecuada. Un ejemplo muy común es la señal obtenida a través de un termopar. Las señales de salida están en el rango de los mili-volts. Si se necesitara enviar la señal obtenida por el termopar a través de un medio específico, un cambio en temperatura o dos tal vez no podría ser detectado por el sistema. Sin embargo, si se amplifica la señal, se tiene ahora una señal que está mejor adaptada al rango del dispositivo de adquisición. La señal puede ser amplificada ya sea externamente o a través del mismo dispositivo de adquisición de datos, figura 15.

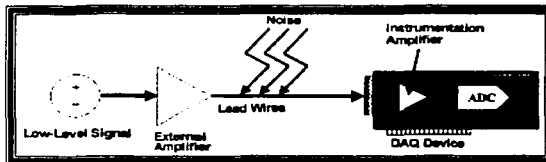


Figura 15. Amplificación de una señal.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El problema de amplificar una señal en el dispositivo de adquisición es que al hacerlo también es amplificado el ruido que la señal adquirido a través del medio por el cual fue llevada al dispositivo de adquisición. Para minimizar la cantidad de ruido que está siendo amplificada se debe de colocar el amplificador tan cerca como sea posible de la fuente de la señal; por lo tanto, una amplificación externa es una mejor alternativa. Se puede ver el beneficio obtenido con una amplificación externa viendo la relación señal a ruido de la señal (SNR).

### 3.4.2 Relación señal a ruido

“La relación señal a ruido es la medida de que tanto ruido existe en una señal comparado con la misma señal. Está definida como el nivel de voltaje de la señal entre el nivel de voltaje del ruido”.<sup>2</sup> Mientras mayor sea la relación señal a ruido es mucho mejor. Como se a podido verificar a través de la práctica la relación señal a ruido es mayor cuando la señal es solamente amplificada externamente y es muy pequeña cuando se es amplificada a través del dispositivo de adquisición de datos, tabla 2.

	Signal Voltage	SCXI Amplification	Noise in Lead Wires	DAQ Device Amplification	Digitized Voltage	SNR
Amplify only at DAQ Device	.01 V	None	.001 V	x100	1.1 V	10
Amplify at SCXI and DAQ Device	.01 V	x10	.001 V	x10	1.01 V	100
Amplify only at SCXI	.01 V	x100	.001 V	None	1.001 V	1000

Tabla 2. Relación señal a ruido.

### 3.4.3 Otros tipos de acondicionamiento de señales

**Excitación en el transductor:** La mayoría de los transductores necesitan un voltaje o corriente externa para desempeñar su trabajo. El mismo hardware de acondicionamiento puede proporcionar el voltaje o corriente de excitación.

**Linearización:** Muchos transductores no producen voltajes en una forma lineal. Por ejemplo, un cambio del voltaje de 10mV para un termopar no es un cambio precisamente de 10 grados. La mayoría de los transductores tienen tablas de linearización que muestran la forma de escalar el transductor. La linearización del transductor se puede efectuar ya sea por software o por hardware.

**Aislamiento:** En algunas ocasiones la señal puede exceder los límites que el dispositivo de adquisición de datos puede manejar ya que al tratar de medir una señal que exceda dichos límites se puede llegar a dañar el dispositivo de adquisición. Al manejar altos niveles de voltaje se tiene que aplicar una técnica de acondicionamiento de señal que se llama aislamiento. El hardware de acondicionamiento de señal está diseñado para manejar altos voltajes y atenuarlos a un nivel de voltaje que el dispositivo de adquisición pueda manejar. Esta técnica protege el hardware de altos voltajes y corrientes y es utilizado con altos voltajes de modo común.

**Filtración:** Se pueden utilizar filtros para remover porciones no deseadas de la señal. Mucho ruido es creado por una fuente de corriente alterna (CA) alrededor de los 60 Hz. Utilizando un filtro paso bajas con una frecuencia de corte menor a los 60 Hz se puede remover ese ruido de la señal. Se puede efectuar la acción de filtrado a través del hardware ó por software.

<sup>2</sup> Ibid. Pág. 1-22

### 3.4.4 Tipos más comunes de acondicionadores de señales

A continuación se tiene una lista de algunos transductores comunes y los tipos de acondicionadores de señal que son frecuentemente necesarios para hacer que la señal sea más fácil de manejar y medir por el dispositivo de adquisición, tabla 3.

Transductores / Señales	Acondicionamiento de señal
Termopares	Amplificación, linealización y compensación en el termopar
RTDs	Corriente de excitación y linealización
Medidores de tensión mecánica	Voltaje de excitación, configuración de puente y linealización
Voltajes altos y de modo común	Amplificadores de aislamiento (Aislamiento óptico)
Cargas que requieren cambios de AC o grandes cantidades de corriente	Relevadores electromecánicos ó relevadores de estado sólido
Señales con ruido de alta frecuencia	Filtros paso bajas.

Tabla 3. Acondicionadores de señales.

Cuando se miden señales analógicas con una tarjeta de adquisición de datos se deben de considerar los siguientes factores que afectan la calidad de la señal digitalizada: modo, resolución, rango, ganancia, frecuencia de muestreo y ruido.

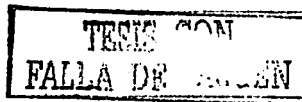


### 3.4.4.1 Modo

Las entradas de terminal común están referenciadas a un punto de tierra común. Se pueden utilizar estas entradas cuando las señales son altas (más de 1 V), cuando los cables que corren desde la fuente de la señal hacia el hardware de entrada analógica sean cortos (menos de 4.5 m) y cuando todas las entradas compartan una referencia de tierra común. Si las señales no cumplen todas estas condiciones, utilice las entradas diferenciales. Con entradas diferenciales cada entrada tiene diferentes potenciales con respecto a tierra. Las entradas diferenciales también reducen o eliminan los errores causados por ruido, ya que el ruido adquirido en modo común por las señales se cancela.

### 3.4.4.2 Resolución

La resolución es el número de bits que el convertidor analógico a digital utiliza para representar la señal analógica. Mientras mayor sea la resolución, mayor es el número de divisiones entre las cuales se divide el rango y, por lo tanto, menor es cambio detectable en el voltaje. Un convertidor de 3 bits, divide el rango en  $2^3$  u 8 divisiones. Un código binario entre 000 y 111 representa cada división. La figura 16 muestra una onda senoidal y su imagen correspondiente obtenida con un convertidor analógico-digital de 3 bits. Claramente, la señal digital no es una buena representación de la señal original porque se ha perdido mucha información durante la conversión. Al incrementar la resolución a 16 bits, el número de códigos del convertidor se incrementa de 8 ( $2^3$ ) a 65,536 ( $2^{16}$ ) y por lo tanto, se puede obtener una representación extremadamente cercana a la señal analógica.



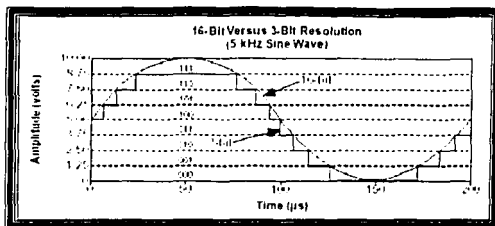


Figura 16. Resolución de una señal.

### 3.4.4.3 Rango

El rango se refiere a los niveles de voltaje máximo y mínimo que el convertidor analógico-digital puede adquirir. Las tarjetas de adquisición de datos ofrecen rangos seleccionables (por lo general de 0 a 10 V ó de -10 a 10 V), por lo que se puede ajustar el rango de la señal a ese convertidor para aprovechar al máximo la resolución disponible para medir la señal con mayor precisión. Por ejemplo, en la figura 17, el convertidor de 3 bits, a la izquierda muestra una gráfica con división digital en un rango de 0 a 10. Si se selecciona un rango entre -10 y 10, como se tienen en la gráfica de la derecha, ésta es separada 20 V por cada división. El voltaje se incrementa de 1.25 a 2.50 V.

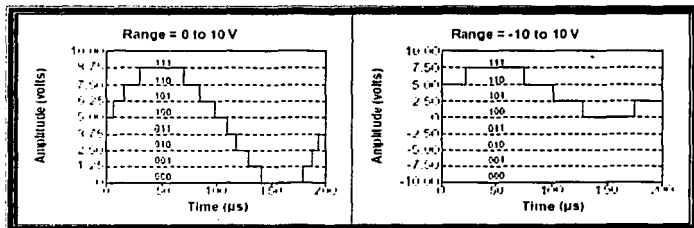


Figura 17. Rango de una señal.

## 3.4.4.4 Ganancia

La ganancia se refiere a cualquier amplificación o atenuación de la señal que pueda ocurrir antes de que la señal sea digitalizada. Al aplicar ganancia a la señal se decreta efectivamente el rango de entrada del convertidor, y por lo tanto, se permite que el mismo utilice tantas divisiones digitales como le sea posible para representar la señal. Por ejemplo, la figura 18 muestra el efecto de aplicar ganancia a una señal que varíe entre 0 y 5 V utilizando un convertidor de 3 bits y un rango de 0 a 10 V, si no se aplica ganancia, o con una ganancia igual a 1, el convertidor utiliza 4 de las 8 divisiones en la conversión. Al amplificar la señal con una ganancia de dos antes de digitalizar, el convertidor utiliza las 8 divisiones y, por lo tanto, la representación digital es más exacta. Efectivamente, la tarjeta cuenta ahora con un rango de entrada de 0 a 5 V, porque cualquier señal arriba de 5 V será amplificada por un factor de 2, haciendo la mayor de 10 V. Figura 19.

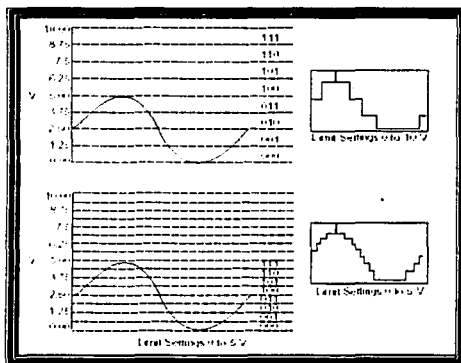


Figura 18. Resolución y rango de una señal con diferentes ganancias.

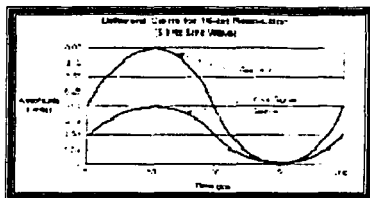


Figura 19. Ganancia de una señal.

El rango, la resolución y la ganancia disponibles en una tarjeta de adquisición de datos determinan en menor cambio detectable en la entrada de voltaje. Este cambio de voltaje representa un bit menos significativo (LSB) del valor digital y es usualmente llamado ancho de código. El cambio detectable más pequeño se calcula como:

$$\text{rango}/(\text{ganancia} * 2^{\text{resolución en bits}})$$

Por ejemplo, una tarjeta de adquisición de datos de 12 bits con un rango de entrada de 0 a 10 V y una ganancia de 1, detecta cambios de 2.4 mV, mientras que la misma tarjeta con un rango de entrada de -10 a 10 V detecta sólo un cambio de 4.8 mV.

$$(\text{rango})/(\text{ganancia} * 2^{\text{resolución en bits}}) = (10)/((1) * (2^{\text{12}})) = 2.4 \text{ mV}$$

$$(20)/((1) * (2^{\text{12}})) = 4.8 \text{ mV}$$

### 3.4.5 Frecuencia de muestreo

La frecuencia de muestreo determina que tan seguido van a ocurrir las conversiones análogo-digital. Una frecuencia de muestreo rápida adquiere mas puntos en un momento determinado y por lo tanto ofrece una mejor representación de la señal original que una frecuencia de muestreo lenta. Todas las señales de entrada deben de ser

muestreadas lo suficientemente rápido para reproducir fielmente la señal analógica. Muestrear lentamente puede resultar tener una representación pobre de la señal analógica. La figura 20 ilustra una señal muestreada adecuadamente, así como los efectos de una frecuencia de muestreo lenta. Esta mala representación de la señal, llamada alias, hace que parezca como si la señal tuviera una frecuencia distinta a la verdadera.

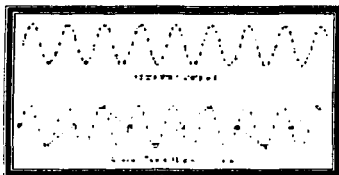


Figura 20. Diferentes frecuencias de muestreo.

### 3.4.5.1 Teorema de Nyquist

Es muy importante en un sistema de adquisición de datos, cumplir lo que se denomina el teorema de Nyquist, para poder de esta manera reconstruir fielmente las señales adquiridas desde el exterior.

Si una señal muestreada sólo contiene muestras de la señal original tomadas a intervalos regulares de tiempo, es necesario preguntarse si existe alguna pérdida de información. Se podría pensar que la información de la señal original que se encuentra entre cada una de las muestras se pierde en el proceso de digitalización. Es natural pensar que a medida que el número de muestras aumenta, se logra una representación cada vez más fina de la señal original. Por lo tanto, sólo con una frecuencia de muestreo infinita se lograría reproducir la señal original sin pérdida de información. Sin embargo, esto no es así. Figura 21.

El teorema del muestreo, desarrollado por Harold Nyquist en 1928 afirma lo siguiente:

“Para reconstruir cualquier señal continua a partir de una señal muestreada, la frecuencia de muestreo debe ser al menos el doble de la componente de frecuencia más alta de la señal en cuestión.”<sup>3</sup>



Figura 21. Representación de muestreo de una señal analógica.

Esta frecuencia de muestreo se conoce como *frecuencia de Nyquist*.

Es decir, el teorema de Nyquist establece que una señal continua de ancho de banda limitado puede ser recuperada de sus muestras, siempre y cuando éstas hayan sido obtenidas con una frecuencia de muestreo superior a dos veces la máxima frecuencia contenida en la señal original.

En muchos sistemas, la frecuencia de muestreo es mayor al doble de la frecuencia de la señal original, debido a que los conversores y otros hardware asociados no pueden reconstruir una forma adecuada una señal si se utiliza una frecuencia de muestreo cercana a la frecuencia de Nyquist.

De acuerdo al teorema de Nyquist, la frecuencia de muestreo debe de ser por lo menos del doble del componente de frecuencia máximo contenido en la señal que se desea digitalizar. Por ejemplo, las señales de audio convertidas a señales eléctricas generalmente tienen componentes de hasta 20 kHz, por lo tanto, necesitará una tarjeta con una tasa de muestreo mayor de 40 kHz para adquirir la señal adecuadamente. Por otra

<sup>3</sup> B. P. Lathi, Introducción a la teoría y sistemas de Comunicación Pág. 268

parte, los transductores de temperatura por lo general no requieren de una tasa de muestreo alta, porque en la mayoría de las aplicaciones la temperatura no cambia rápidamente. En consecuencia, una tarjeta con frecuencia de muestreo menor puede adquirir señales de temperatura adecuadamente.

#### **3.4.5.2 Filtrado y acondicionamiento**

El ruido no deseado distorsiona la señal analógica antes de que sea convertida en una señal digital. La fuente de éste ruido puede ser interna o externa a la computadora. El ruido externo se puede reducir utilizando un acondicionamiento de señal adecuado. También se puede minimizar el efecto de éste ruido sobre muestreando la señal y tomando el promedio de los puntos sobre muestreados.

### **3.5 Hardware de adquisición de datos**

#### **3.5.1 Características**

Una tarjeta de adquisición de datos se caracteriza por una serie de parámetros que permiten decidir su utilización. Los parámetros se fijan a partir de un conjunto de funciones y dispositivos internos de la placa entre los cuales destacan el número de canales de entrada y el de salidas analógicas y digitales, los convertidores analógico-digitales, los sistemas de multiplexión y los márgenes dinámicos de entrada y salida.

#### **3.5.2 Entradas analógicas**

El número de canales analógicos se distinguen entre los que permiten entrada diferencial de los de entrada unipolar. Las entradas unipolares están referenciadas a una tierra común y se utilizan en el caso de trabajar con señales de alto nivel (tensión superior

a 1v) dónde no haya grandes problemas de interferencias. En caso de utilizar entradas diferenciales, cada entrada tiene su propia referencia de forma que el posible ruido en modo común que se pueda introducir queda rechazado.

### 3.5.3 Conversión analógico-digital

Este elemento fija muchas de las características de la tarjeta. Cuanto mayor sea el proceso de conversión, mayores serán las posibles frecuencias de muestreo.

Las señales de entrada han de ser muestreadas según el criterio de Nyquist (como se vio anteriormente), por lo que es importante que el convertidor analógico-digital pueda convertir la señal en palabras digitales en el menor tiempo posible.

Un proceso rápido adquiere más valores en un tiempo dado que uno de lento y esto permite el poder representar mejor las señales originales.

Otro parámetro muy importante en el conversor analógico-digital es la resolución, que se puede definir como el número de bits que utiliza el conversor para representar la señal analógica.

La figura 22 muestra una señal digitalizada (cuantizada) con un convertidor de tres bits que permite dividir el rango analógico en 8 intervalos.

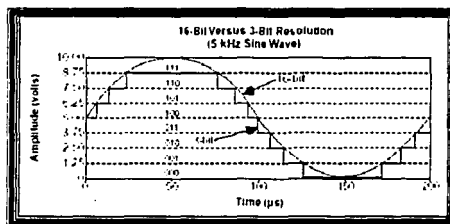


Figura 22. Señal analógica digitalizada.



"Cada intervalo se representa mediante un código binario entre 000 y 111. A simple vista se observa que la representación digital introduce un error de cuantificación, el cual será menor cuanto mayor sea la resolución. De cualquier forma, la resolución del convertidor ha de ser suficientemente alta para detectar el mínimo cambio de tensión exigido".<sup>4</sup>

En la actualidad existen diferentes tipos de convertidores analógico-digitales. El más popular es el de aproximaciones sucesivas, ya que ofrece la máxima velocidad y resolución a un precio razonable.

#### 3.5.4 Márgenes dinámicos de entrada

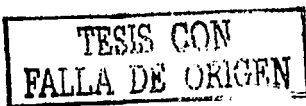
Para conseguir una mejor resolución en los sistemas de medida, se ajusta el rango de la entrada que se pretende adquirir al rango del instrumento. Los rangos de la señal de entrada se refieren a los niveles mínimos y máximos de tensión de entrada que el convertidor puede cuantificar. La mayoría de las tarjetas ofrecen la posibilidad de seleccionar diferentes ganancias y así poder configurar diferentes niveles de rango de tensión de entrada.

El rango dinámico de la entrada, la resolución y la ganancia disponible determinan la variación más pequeña detectable de señal de entrada.

#### 3.5.5 Sistemas de multiplexado

Con esta técnica se pueden medir diversas señales con un único convertidor analógico-digital. "Consiste en el hecho que el convertidor analógico-digital obtiene una muestra de un canal e inmediatamente después conmuta al siguiente canal de entrada, por

<sup>4</sup> Edward W. Karmen, *Introducción Señales y Sistemas*. Pág. 591



lo que un sistema de adquisición solo necesita un convertidor para muchos canales. Esto significa que la velocidad de muestreo de cada canal individual es inversamente proporcional al número de canales muestreados<sup>5</sup>.

Si nuestra aplicación necesita trabajar con muchas señales de entrada, se ha de decidir que método de encaminamiento de la señal es el más correcto. El método más común es el denominado muestreo continuo, en el cual conmuta cada canal de entrada a las funciones internas en intervalos de tiempo constante.

Otro método es el de muestreo simultáneo, en el que todos los canales de entrada son muestreados al mismo tiempo (con una diferencia de nanosegundos) ya que cada canal tiene su propio circuito de muestreo. Este método es importante cuando las relaciones de tiempo de cada señal con las otras es importante.

### 3.5.6 Salidas analógicas

Estas salidas se utilizan para proporcionar señales de estímulo y de prueba al sistema de adquisición. Uno de los elementos más importantes de esta circuitería es el conversor digital-analógico que determina la calidad de la señal analógica de salida. Los parámetros que miden esta calidad son el tiempo de asentamiento de la señal, el slew rate y la resolución.

El tiempo de asentamiento y el slew rate determinan con que velocidad puede variar el nivel de la salida del conversor digital-analógico. El tiempo de asentamiento es el tiempo que necesita la salida para llegar al grado de precisión deseado. El slew rate es el valor máximo de variación de señal que el conversor puede generar a la salida.

Por otro lado, la resolución a la salida es similar al concepto que ya se ha introducido de resolución a la entrada.

---

<sup>5</sup> Ibid. 592

### 3.5.7 Entradas y salidas digitales

Las entradas y salidas digitales se utilizan para controlar procesos, generar patrones de prueba y posibilitar la comunicación con el periférico. Los parámetros más relevantes de esta especificación son el número de líneas digitales, la velocidad con que los datos pueden entrar y salir y la capacidad del controlador de los canales.

### 3.5.8 Circuitos de reloj y temporización de entrada y salida

Esta circuitería es útil para el conteo de eventos, medidas temporales de pulsos digitales y la generación de señales cuadrados y de pulsos.

Este tipo de circuitos son necesarios para adquirir las señales en el momento preciso. El "trigger" se utiliza para iniciar y parar la adquisición en función de acontecimientos externos y para sincronizar un proceso de adquisición con otros posibles. La señal de trigger se puede obtener de diferentes fuentes, ya sean internas generadas por las funciones del instrumento que se utiliza, o externas.

### 3.6 Software de adquisición de datos

El software de adquisición de datos debe de ser capaz de comunicarse con el sistema, controlarlo y a la vez guardar las muestras medidas. Entre algunos de los programas que permiten realizar estas funciones están los siguientes:

- . Lenguajes de programación
- . Ensamblador.

- . C, visual C++.
- . LabVIEW
- . Creación de código externo en LabVIEW
- . Creación de CIN's
- . Creación de DLL's
- . Nyquist
- . Métodos de optimización en el almacenaje de datos(DMA)

No todos los sistemas de adquisición de datos necesitan los mismos sistemas de software, ya que esto dependerá de las velocidades de adquisición necesarias, de la interacción que necesita realizar el usuario con el sistema, del número de muestras a adquirir, etc.

### 3.6.1 Lenguajes de programación

Los lenguajes de programación permiten al diseñador definir las ordenes y por lo tanto el comportamiento del sistema de adquisición de datos.

Cada lenguaje tiene sus ventajas e inconvenientes, y es necesario saber escoger uno u otro en función de la aplicación a realizar.

#### 3.6.1.1 Ensamblador.

Permite realizar programas con muestreos muy elevados, sacándole más partido a la tarjeta de adquisición de datos.

La principal ventaja está en que estos sistemas no utilizan recursos del sistema, a excepción del código de programa y de los buffers de memoria utilizados, por lo que no se necesita un sistema muy potente para poder ser implementado.

Los programas deben ser bastante sencillos debido a la complicación que tiene la programación a tan bajo nivel. En este tipo de lenguajes es muy difícil dotar a los programas de interacción con el usuario. Uno de los más grandes inconvenientes que tiene es que en la mayoría de ocasiones, los sistemas realizados bajo este lenguaje no suelen ser compatibles, ya que dependiendo del procesador de la máquina utilizada, el lenguaje ensamblador es uno u otro.

### **3.6.1.2 C, visual C++**

Permite realizar programas más complejos que en ensamblador, a cambio se pierde velocidad del programa.

### **3.6.1.3 LabVIEW**

Se realizará un estudio amplio de las posibilidades que ofrece LabVIEW como programa para la adquisición de datos.

“LabVIEW, igual que C o Pascal, es un sistema de programación de propósito general con extensas librerías de funciones y subrutinas para cualquier tarea de programación. Se trata de un sistema de programación visual, donde se pueden encontrar las estructuras básicas para la programación, como son los ciclos WHILE, FOR, estructuras CASE, etc. Contiene también librerías con aplicaciones específicas para la gestión de tarjetas de adquisición de datos, para el control de instrumentos, etc. Permite el análisis, la presentación y el almacenaje de datos. Incluye herramientas de depuración de

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

programas".<sup>6</sup>

Se destacan las siguientes librerías:

- File I/O VIs: Guardan y recuperan datos de soporte físico.
- Analysis VIs: Realizan todo tipo de medidas y análisis.
- Signal generation VIs: Simulan todo tipo de señales.
- Signal processing VIs: Se encargan del tratamiento de señales, FFT, convoluciones, etc..
- Filters VIs: Contienen todo tipo de filtros digitales.
- DAQ VIs: Permiten actuar sobre las tarjetas de adquisición de datos.
- Instrument I/O VIs: Sirven para comunicaciones via GPIB, VXI, RS-232, etc.
- SubVIs: Permite utilizar otros programas realizados previamente en otra aplicación.

Los programas realizados en LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales (VI) ya que su aspecto imita instrumentos reales. Los VI son una interfaz interactiva con el usuario que acepta parámetros procedentes de VI de niveles superiores. Esto se concreta de la siguiente forma:

1. La interfaz interactiva con el usuario de un VI es el panel frontal, ya que simula el panel frontal de un instrumento físico.
2. El VI recibe instrucciones de un diagrama de bloques construido en G (Programación en lenguaje gráfico). Los VI son jerárquicos y modulares. Se pueden utilizar como programas principales o como subprogramas (subVI).

---

<sup>6</sup><http://studies.ac.upc.es>

En la figura 23 se observa el panel frontal de un sistema de adquisición de datos:

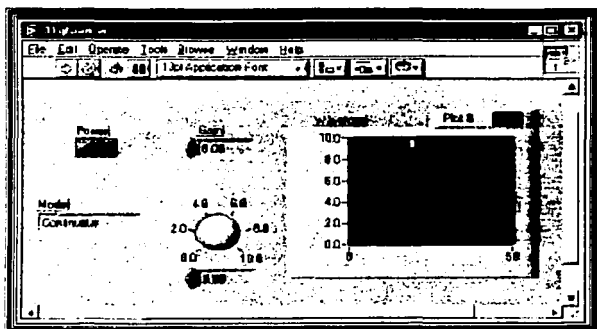


Figura 23. Panel frontal de un sistema de adquisición de datos.

En la figura 24 se observa un diagrama del lenguaje gráfico de programación:

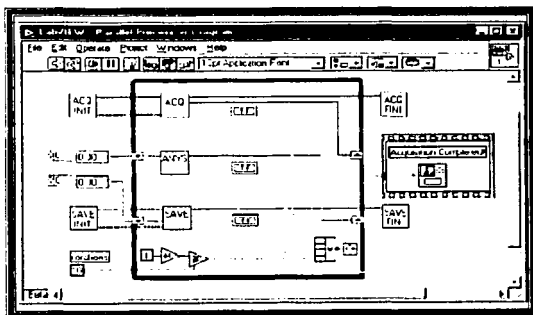


Figura 24. Lenguaje gráfico de programación de un sistema de adquisición de datos.

### 3.6.1.3.1 Creación de código externo en LabVIEW

#### 3.6.1.3.1.1 Creación de CIN's

Viene de las siglas Code Interface Node. Los CIN son programas en C que se han de adecuar a las necesidades del usuario de LabVIEW y que han de ser compilados con WATCOM ya que es con este compilador que están compiladas todas las librerías internas de LabVIEW. Así pues, si el usuario necesita crear alguna función que no es interna de LabVIEW, se ve con la obligación de adquirir conocimientos de C.

El tratamiento de las variables en los CIN se hace muy complicado, ya que las variables utilizadas no son las típicas de C sino que son las utilizadas por LabVIEW (clusters, arreglos propios, etc).

Otra limitación importante de los CIN es el no poder utilizar libremente las librerías de las que dispone C, sino que tan solo se pueden utilizar las librerías que ofrece LabVIEW que no tienen nada que ver.

Un dato muy importante a tener en cuenta por el programador es que la ejecución de los códigos CIN es atómica.

#### 3.6.1.3.1.2 Creación de DLL's

LabVIEW permite crear librerías dinámicas, las cuales después pueden ser utilizadas como código propio de LabVIEW. La creación de la librería puede ser realizada mediante el compilador de C del visual studio.

LabVIEW permite la llamada a las funciones creadas en las librerías dinámicas, y en estas llamadas si que es posible utilizar las librerías que ofrece C.

Las llamadas a las funciones de las DLL's no son atómicas, por lo que a simple



vista y sin duda, son mucho más prácticas que las llamadas a CIN.

Un dato muy importante a tener en cuenta es que el código de las DLL's es reentrante.

La utilización de DLL es muy apropiada para la optimización del tratamiento de ficheros, así como para la generación de vectores de señales.

### 3.6.1.3.1.3 Creación de programas multitarea en LabVIEW

LabVIEW permite la creación de sistemas multitarea. Inicialmente hay que dividir los programas en subprogramas, de manera que a cada uno de estos subVI se le indica un nivel de prioridad y es LabVIEW el que se encarga de manejar los procesos y asignar los tiempos de ocupación para cada subVI.

Una manera de priorizar procesos es utilizar funciones de "wait" para dar menor prioridad a las funciones menos utilizadas. En un sistema es importante priorizar los bloques de adquisición de datos y almacenaje, y es conveniente ofrecer una baja prioridad a sistemas de visualización.

Evidentemente, para que se puedan asignar prioridades a los subVIs, es necesario antes definirlos como reentrantes.

En la figura 25 se presenta un sistema multitarea:

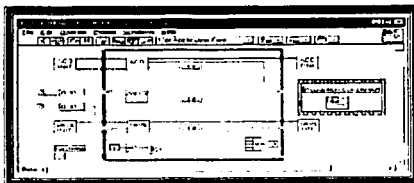


Figura 25. Sistema multitarea desarrollado en un lenguaje de programación gráfico.

Un usuario se puede crear un calendario a través de una DLL, de tal manera que pueda el decidir en todo momento las funciones que desea ejecutar.

### 3.6.1.4 Métodos de optimización en el almacenaje de datos (DMA)

Los intercambios entre cualquier elemento del ordenador y la memoria RAM son muy frecuentes. En general el intercambio es conducido por el procesador, pero se puede conseguir que en determinados casos, la memoria pueda intercambiar datos con otro periférico sin intervención del procesador, consiguiendo un incremento sustancial en el rendimiento del sistema, ya que el procesador quedará libre para otras tareas.

El mecanismo que permite este tipo de intercambios se conoce como acceso directo a memoria DMA. La DMA dispone de elementos hardware auxiliares que lo convierten en un subsistema autónomo dentro del bus externo. Estos elementos hardware son:

1. Ciertas líneas dedicadas en el bus de control.
2. Un procesador específico, el controlador de DMA (DMAC), que permite realizar intercambios sin apenas intervención del procesador.

El movimiento de grandes volúmenes de datos entre memoria y dispositivo requiere de cierta intervención del procesador. El movimiento se realiza por bloques (a ráfagas), y cada transferencia finaliza con una interrupción que obliga al procesador a suspender su tarea para establecer un nuevo intercambio.

Para comprender el funcionamiento de la DMA vale la pena revisar cómo trabaja un controlador sin DMA. "Cuando un proceso requiere algunos bloques de un dispositivo, se envía una señal al controlador con la dirección del bloque deseado. El controlador lo recibe a través del 'bus'. El controlador recibe la señal y lee la dirección del bus. Envía a su vez una o varias señales al dispositivo mecánico (si es que lo hay) y espera los datos. Cuando los recibe los escribe en un buffer local y envía una señal al

CPU indicándole que los datos están listos. El CPU recibe esta interrupción y comienza a leer byte por byte o palabra por palabra los datos del buffer del controlador (a través del controlador del dispositivo) hasta terminar la operación".<sup>7</sup>

Como se ve, el CPU gasta varios ciclos en leer los datos deseados. La DMA soluciona ese problema de la siguiente manera. Cuando un proceso requiere uno o varios bloques de datos, el CPU envía al controlador la petición junto con el número de bytes deseados y la dirección de en dónde quiere que se almacenen de regreso. La DMA actuará como un "CPU secundario" en cuanto a que tiene el poder de tomar el control del 'bus' e indicarle a la CPU que espere. Cuando el controlador tiene listos los datos, la DMA 'escucha' si el 'bus' está libre aprovechando esos ciclos para ir leyendo los datos del buffer del controlador e ir escribiéndolos en el área de memoria que el CPU le indicó. Cuando todos los datos fueron escritos, se le envía una interrupción a el CPU para que use los datos. El ahorro con la DMA es que el CPU ya no está interrumpida (aunque sí puede ser retardada por la DMA) salvando así el 'cambio de contexto' y además la DMA aprovechará aquellos ciclos en que el 'bus' no fue usado por la CPU.

El hecho de que los controladores necesiten buffers internos se debe a que conforme ellos reciban datos de los dispositivos que controlan, los deben poder almacenar temporalmente, ya que la CPU no está lista en todo momento para leerlos.

### 3.6.1.5 Líneas de control

El bus de control tiene líneas específicas para este tipo de intercambios, de forma que la DMA es un subsistema autónomo dentro del mecanismo general de intercambio de datos y control del bus. Las líneas que controlan este subsistema son las siguientes:

- **DRQ1 a DRQ3** (DMA request) son utilizadas por los dispositivos que necesitan efectuar un acceso directo a memoria.

---

<sup>7</sup> Ibid.

- **DACK1 a DACK3** (DMA acknowledge) se utilizan para indicar que han recibido la petición.
- **AEN** (Access enabled) cuando esta señal está alta el controlador DMA tiene control sobre las líneas de datos y direcciones, líneas de Lectura / escritura de memoria y los dispositivos I/O.
- **MEMR** (Memory Read) Cuando se activa, esta señal indica a la memoria conectada al bus que escriba los datos en el bus de datos.
- **MEMW** (Memory Write) Cuando se activa, indica a la memoria que almacene los datos situados en el bus de datos.

Es importante en el momento de instalación de la tarjeta de adquisición, configurar bien los interruptores para permitir el uso de la DMA; si por el contrario la tarjeta está mal configurada, no se utilizará el acceso directo a memoria, por tanto haciendo mas lento el sistema global.

**CAPÍTULO 4. LabVIEW**

"LabVIEW es un lenguaje de programación gráfico que utiliza iconos en lugar de líneas de texto para crear las aplicaciones. En contraste con los lenguajes de programación basados en texto, donde las instrucciones determinan la ejecución del programa, en LabVIEW el flujo de los datos determina la ejecución del programa".<sup>1</sup>

En LabVIEW se crea una interfaz de usuario utilizando un conjunto de herramientas y objetos. La interfaz del usuario es llamada el panel frontal. Posteriormente, se adiciona el código utilizando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos del panel frontal. El diagrama de bloques contiene dicho código. En ocasiones, el diagrama de bloques parece un diagrama de flujo.

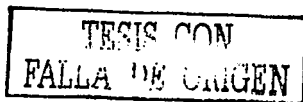
"LabVIEW está totalmente integrado para comunicaciones con equipos tales como GPIB, VXI, PXI, RS232, RS-485 y tarjetas de adquisición de datos (DAQ) insertables en la computadora. LabVIEW también posee características para conectar sus aplicaciones a la Web utilizando el LabVIEW Web Server y programas estándares tales como TCP/IP y Active".<sup>2</sup>

Utilizando LabVIEW se puede crear pruebas y mediciones adquisición de datos, control de instrumentos, almacenamiento de datos, análisis de mediciones y aplicaciones de generación de reportes. También se pueden crear librerías ejecutables compartidas, tales como DLL's, ya que LabVIEW es un compilador verdadero de 32 bits.

---

<sup>1</sup> LabVIEW Básico1, Pág.1-2

<sup>2</sup> Ibid. Pág.1-2



#### 4.1 Instrumentos Virtuales

Los programas de LabVIEW son llamados instrumentos virtuales o VIs. Los VIs contienen tres componentes principales: el panel frontal, el diagrama de bloques y el icono / conector.

El panel frontal es la interfaz del usuario del VI. La figura 1 muestra un panel frontal.

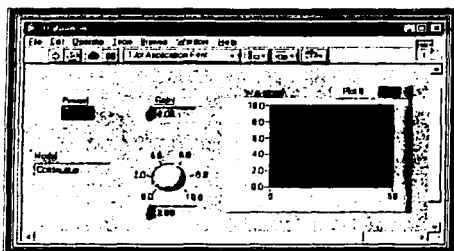


Figura 1. Panel frontal de un VI.

El panel frontal se puede construir con controles e indicadores, los cuales son las terminales de entrada y salida interactivos de VI, respectivamente. Los controles son perillas, botones, diales y otros dispositivos de despliegue. Los controles simulan dispositivos de entrada al instrumento y entregan los datos al diagrama de bloques del VI. Los indicadores simulan los dispositivos de salida del instrumento y presentan los datos que el diagrama de bloques adquiere o genera.

Luego de construir el panel frontal se adiciona el código utilizando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos del panel frontal. El diagrama de bloques contiene este código fuente gráfico. Los objetos del panel frontal aparecen como terminales. No se puede borrar una terminal en el diagrama de bloques.

La terminal desaparece solo después de borrar el objeto correspondiente en el panel frontal. Los objetos del diagrama de bloques incluyen terminales, subVIs, funciones, constantes, estructuras y cables, los cuales transfieren datos hacia otros objetos del diagrama de bloques.

El siguiente ejemplo muestra un diagrama de bloques y su correspondiente panel frontal.

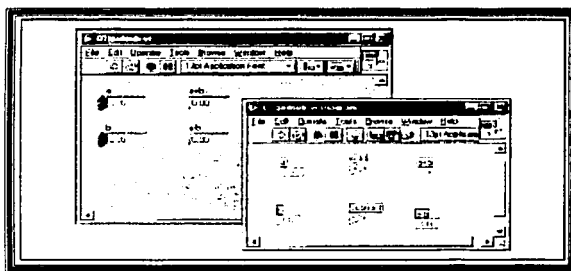


Figura 2. Diagrama de bloques de un VI y su respectivo panel de control.

Luego de construir el panel frontal y el diagrama de bloques, se construye el icono y el conector para que el VI (instrumento virtual) pueda ser utilizado dentro de otro VI. Un VI dentro de otro VI es llamado un subVI. Un subVI es similar a una subrutina en el lenguaje de programación basados en texto. Cada VI muestra un icono en la esquina superior derecha de la ventana del panel frontal y del diagrama de bloques, como el que se ve en la figura 3.



Figura 3. Icono del VI.

Un icono es la representación gráfica de un VI. El icono puede contener texto, imágenes o una combinación de ambos. Si se utiliza un VI como un subVI, el icono identifica el subVI dentro del diagrama de bloques del VI.

Para utilizar un VI como un subVI se necesita crear un conector, como el que se ve en la figura 4.



Figura 4. Conector de un VI.

El conector es un conjunto de terminales que corresponden a los controles e indicadores del VI, similar a la lista de parámetros de un llamado a una función en lenguaje de programación basado en texto. El conector define las entradas y salidas que se pueden conectar al VI para que pueda ser utilizado como un subVI. Un conector recibe datos en sus terminales de entrada y los pasa al código del diagrama de bloques a través de los controles del panel frontal y recibe los resultados en sus terminales de salida desde los indicadores del panel frontal.

La potencia de LabVIEW radica en la naturaleza jerárquica de los VI. Después de crear un VI, éste puede ser utilizado como un subVI dentro del diagrama de bloques de otro VI de otro más alto nivel. No existen límites en el número de niveles de la jerarquía. Utilizando subVIs se pueden hacer cambios y depurar los diagramas de bloques rápidamente.

Con la creación de los VIs, se busca que pueda realizar una cierta operación frecuentemente. Considere utilizar subVIs o ciclos para realizar esas operaciones repetitivas. Por ejemplo, el siguiente diagrama de bloques contiene dos operaciones idénticas.



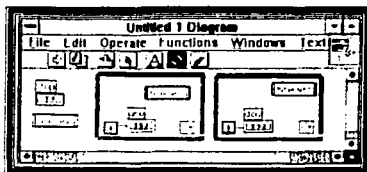


Figura 5. Diagrama de bloques.

Se puede crear un subVI que realice dicha operación y se llama el subVI dos veces. El subVI también puede ser realizado en otros VIs. El siguiente ejemplo utiliza subVI en un diagrama de bloques.

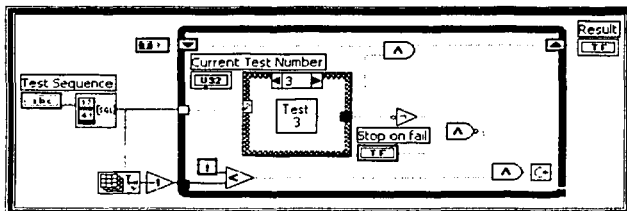


Figura 6. Utilización de un subVI.

#### 4.1.1 Ambientación con LabVIEW

Quando se inicia el programa de LabVIEW aparece la siguiente ventana de dialogo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

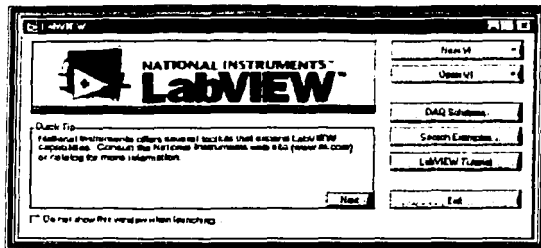


Figura 7. Ventana de diálogo al iniciar LabVIEW.

La ventana de diálogo LabVIEW incluye los siguientes componentes:

- Para crear un nuevo VI se hace click sobre el botón New VI. Se hace click sobre la flecha que está al lado del botón para crear otro tipo de objetos de LabVIEW, tal como un control.
- Para abrir un VI existente se hace click sobre el botón Open VI. Se hace click sobre la flecha que está al lado del botón para abrir archivos usados recientemente.
- Para iniciar el asistente de creación de soluciones para adquisición de datos se hace click sobre el botón DAQ Solutions.
- Para abrir un archivo de ayuda que contiene una lista y enlaces a todos los VI de ejemplos disponibles en LabVIEW se hace click sobre el botón Search Ejemplos.
- Para abrir un tutorial interactivo de LabVIEW se hace click sobre el botón LabVIEW Tutorial para aprender conceptos básicos de LabVIEW.
- Para cerrar el programa LabVIEW se hace click sobre el botón Exit.
- Se utiliza la sección Quick Tip para aprender más de LabVIEW. Para ver más consejos se hace click sobre el botón Next.
- Para deshabilitar la ventana de diálogo coloque una marca en la ventana que marca "Do not show this window when launching".

#### 4.1.1.1 Ventanas de Panel Frontal y Diagrama de Bloques

Quando se hace click sobre el botón New VI, aparece una ventana de panel frontal sin título. La ventana despliega el panel frontal y es una de las dos ventanas que usa LabVIEW para crear un VI. La otra ventana contiene el diagrama de bloques. La siguiente figura muestra una ventana de panel frontal y su correspondiente ventana de diagrama de bloques.

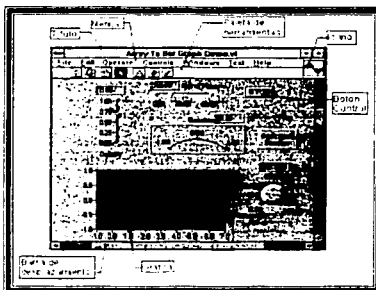


Figura 8. Panel frontal de un VI.

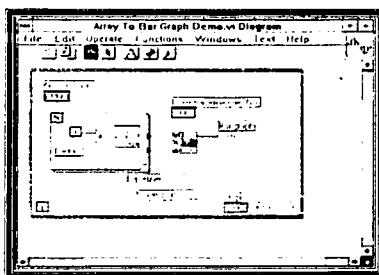


Figura 9. Diagrama de bloques de un VI.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.1.1.2 Barra de Herramientas del Panel Frontal

Se utilizan los botones de la barra de herramientas para ejecutar y editar un VI. La siguiente barra de herramientas aparece en el panel frontal.



Figura 10. Barra de herramientas.

Se hace click sobre el botón **Run** para ejecutar el VI. Mientras se ejecuta el VI los botones cambian como se ve a continuación, siempre y cuando el VI sea un VI de alto nivel.



El botón **Run** a veces aparece roto (una flecha rota), como se ve en la siguiente figura, cuando se crea o se edita un VI. Esto indica que el VI tiene errores y no se puede ejecutar. Si se hace click sobre dicho botón aparece la ventana **Error List**, la cual contiene la lista de errores.



Para ejecutar el VI sin que se detenga o se haga una pausa se hace click sobre el botón **Run Continuously**. Para deshabilitar éste modo de ejecución se hace click nuevamente sobre el botón.



Mientras se ejecuta el VI aparece el botón **Abort Execution** (detener la ejecución). Hacer click sobre este botón detiene la ejecución inmediatamente.



Para tener una pausa en la ejecución del VI se hace click sobre el botón **Pause**. Cuando esto ocurre, LabVIEW ilumina o marca en el diagrama de bloques la localización donde se detuvo el VI en ejecución. Para continuar con la ejecución se hace click nuevamente en el mismo botón.



Se selecciona el menú descendente **Text Settings** para cambiar los atributos del tipo de letra utilizado, incluyendo tamaño, estilo y color.



Se selecciona el menú descendente **Align Objects** para alinear objetos sobre los ejes, incluyendo vertical, borde superior, izquierda, etc.



Se selecciona el menú descendente **Distribute Objects** para distribuir los objetos equitativamente, incluyendo intervalos, compresión, etc.



Se selecciona el menú descendente **Reorder** cuando se tiene objetos que se superponen uno a otro y se requiere definir cual va en frente del otro.



Se selecciona uno de los objetos con la herramienta de posicionamiento y después escoja **Move Forward** (mover adelante), **Move Backward** (mover atrás), **Move To Front** (mover al frente) y **Move To Back** (mover al fondo).

#### 4.1.1.3 Barra de herramientas del diagrama de bloques

Quando se ejecuta un VI aparecen los botones en la barra de herramientas del diagrama de bloques, los cuales pueden ser utilizados para depurar el VI. La siguiente barra de herramientas aparece en el diagrama de bloques.



Figura 11. Barra de herramientas.

Se hace click sobre el botón **Highlight Execution** para ver el flujo de datos a través del diagrama de bloques. Se hace click nuevamente sobre el mismo botón para deshabilitar dicho modo.



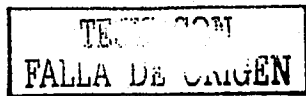
Se hace click sobre el botón **Step Into** para entrar a un ciclo, un subVI, etc. Ejecución paso a paso a través de un VI se hace nodo a nodo. Cada nodo parpadea para indicar cuando está listo para ejecutarse. Al entrar al nodo se está listo para ejecutar paso a paso el contenido de dicho modo.



Se hace click sobre el botón **Step Over** para deshabilitar el modo paso a paso en un ciclo, un subVI, etc. Este modo permite para cada uno de los nodos sin ejecutar paso a paso dentro de cada nodo.



Se hace click sobre el botón **Step Out** para salir de un ciclo, un subVI, etc. Al salir un nodo se completa la ejecución paso a paso de ese nodo y se va hacia el siguiente nodo.





El botón **Warning** (advertencia) aparece cuando existe un problema potencial con el diagrama de bloques, pero no detiene la ejecución del VI.

#### 4.1.1.4 Menú de acceso rápido

El menú utilizado más frecuentemente es el menú de acceso rápido (shortcut menu). Todos los objetos de LabVIEW y los espacios vacíos en el panel frontal y el diagrama de bloques tienen menú de acceso rápido asociados. Estos menús se utilizan para cambiar la apariencia o el comportamiento de objetos del panel frontal y del diagrama de bloques. Para acceder a un menú de acceso rápido, se hace click con el botón derecho del mouse sobre el objeto, panel frontal o diagrama de bloques.

#### 4.1.1.5 Menús

Los menús en la parte superior de una ventana de un VI contienen opciones comunes a otras aplicaciones, tales como **Open** (abrir), **Save** (guardar), **Copy** (copiar), **Paste** (pegar) y otras funciones específicas de LabVIEW.

- Se utiliza el menú **File** principalmente para abrir, cerrar, guardar e imprimir VIs.
- Se utiliza el menú **Edit** para buscar y modificar componentes de un VI.
- Se utiliza el menú **Operate** para ejecutar, detener y cambiar otras opciones de ejecución del VI.



- Se utiliza el menú **Tools** para comunicarse con instrumentos y dispositivos de adquisición de datos (DAQ), comparar VIs, construir aplicaciones, habilitar el Web Server y configurar LabVIEW.
- Se utiliza el menú **Window** para desplegar ventanas y paletas de LabVIEW.
- Se utiliza el menú **Help** para ver información sobre paletas, menús, herramientas, VIs, para ver instrucciones paso por paso para utilizar características de LabVIEW, para acceder a los manuales de LabVIEW y la información sobre la memoria de la computadora.

#### 4.1.1.6 Paletas

LabVIEW tiene paletas gráficas flotantes que ayudan a crear y ejecutar los VIs. Las tres paletas son **Tools** (herramientas), **Controls** (controles) y **Functions** (funciones). Dichas paletas se pueden ubicar en cualquier lugar de la pantalla.

##### 4.1.1.6.1 Paletas de herramientas

Se pueden crear, modificar y depurar VIs utilizando las herramientas localizadas en la paleta flotante **Tools**. Esta paleta está disponible en el panel frontal y en el diagrama de bloques. Una herramienta es un modo de operación especial del cursor del mouse. Cuando se secciona una herramienta, el icono del cursor cambia al icono de la herramienta. Se utiliza las herramientas para operar y modificar objetos del panel frontal y del diagrama de bloques.

Se selecciona **Window>>Show Tools Palette** para desplegar la paleta Tools. Esta paleta se puede ubicar en cualquier lugar de la pantalla. Presione la tecla <Shift> y Se hace click con el botón derecho del mouse para mostrar una versión temporal de la paleta

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tools en la localización del cursor. La figura 12 muestra la apariencia en la pantalla de la paleta de herramientas.

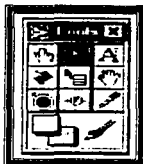


Figura 12. Paleta de herramientas.

Para alternar entre las herramientas de la paleta Tools se presiona la tecla <Tab>. Para cambiar entre las herramientas de posicionamiento y operación en el panel frontal, se utiliza la barra espaciadora.

Se utiliza la herramienta de operación para cambiar los valores de un control o para seleccionar el texto sin el control. La herramienta de operación cambia al siguiente icono cuando ella se mueve sobre un texto de control, tal como un control digital o tipo cadena.



La herramienta de posicionamiento se utiliza para seleccionar, mover o redimensionar objetos. La herramienta de posicionamiento cambia a uno de los siguientes iconos que se muestran a continuación cuando el mouse pasa sobre la orilla de un objeto redimensionable.



La herramienta de etiquetado es utilizada para editar texto y crear etiquetas libres. La herramienta de etiquetado cambia al icono que se muestra a continuación cuando usted crea etiquetas libres.



La herramienta de cableado sirve para unir objetos en el diagrama de bloques.



Se utiliza la herramienta de menú de acceso rápido para tener acceso al menú de un objeto al oprimir el botón izquierdo del mouse.



La herramienta de puntos de ruptura es útil para poner puntos de ruptura en VIs, funciones, nodos, cables y estructuras para detener la ejecución en dicho punto.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La herramienta de pruebas sirve para crear probadores en cables del diagrama de bloques. También se utiliza ésta herramienta de pruebas para verificar valores intermedios en un VI que produce resultados dudosos o inesperados.



La herramienta de copiado de color se utiliza para copiar colores e insertarlos con la herramienta de color.



La herramienta de color se utiliza para colorear un objeto. Esta herramienta también despliega el color del fondo y del primer plano del objeto.



#### 4.1.2 Tipos de controles y funciones

Las paletas de Controles y Funciones contienen subpaletas de objetos que se pueden utilizar para crear un VI. Cuando se hace click a un icono de la subpaleta, la paleta entera cambia al contenido de la subpaleta que se escoge. Para utilizar un objeto de las paletas se hace click sobre el y se coloca en el panel frontal o en el diagrama de bloques.

Se utilizan los botones de navegación en las paletas Controls y Functions para navegar y buscar controles, VIs y funciones. Para abrir un VI también se puede hacer click con el botón derecho del mouse sobre el icono conector Open VI desde el menú de acceso rápido.

#### 4.1.2.1 Paletas de controles

La paleta de controles se utiliza para poner controles e indicadores en el panel frontal. La paleta Controls está disponible únicamente en el panel frontal. Se selecciona **Window>>Show Controls Palette** o se hace click con el botón derecho del mouse en el área de trabajo del panel frontal para desplegar la paleta Controls. Se convierte la paleta Controls en una paleta flotante presionando la tachuela que se encuentra en la esquina superior izquierda de la paleta. La figura 13 muestra la apariencia de la paleta de controles.

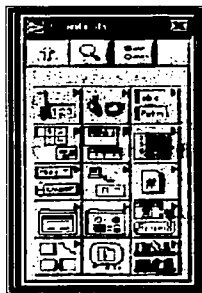


Figura 13. Paleta de controles.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.1.2.2 Paleta de funciones

La paleta de funciones se utiliza para construir el diagrama de bloques. La paleta **Functions** está disponible en el diagrama de bloques. Se selecciona **Window>>Show Functions Palette** o se hace click con el botón derecho del mouse en el área de trabajo del diagrama de bloques para desplegar la paleta **Functions**. Se puede convertir la paleta **Functions** en una paleta flotante presionando la tachuela que se encuentra en la esquina superior izquierda de la paleta. La figura 14 muestra la apariencia de la paleta de funciones.

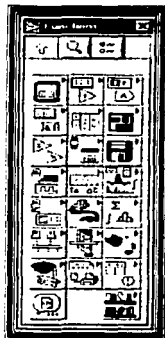


Figura 14. Paleta de funciones.

#### 4.1.3 Cargando VIs

Un VI se carga en la memoria seleccionando **File>>Open**. Aparece la ventana de diálogo **Choose the VI to open**, para navegar hasta el VI que se necesita abrir. El campo **Loading** (cargando) muestra los subVIs de el VI que se está cargando en memoria. **Number Loaded** es el número de subVIs cargados en la memoria anteriormente. En

cualquier momento se puede detener la carga oprimiendo el botón Stop.

Si LabVIEW no puede localizar inmediatamente un subVI, éste empieza a buscar a través de todos los directorios especificados por el VI Search Path (camino para buscar VIs), el cual puede ser editado al seleccionar **Tools>>Options** y seleccionando Paths desde el menú descendente de arriba. Se puede hacer que se ignore el subVI que falta al hacer click sobre el botón Ignore SubVI, o puede hacer click sobre el botón Browse para buscar el subVI requerido.

#### 4.1.4 Guardando VIs

Se selecciona Save (guardar), Save As (guardar como), Save All (guardar todo) o Save with Options (guardar con opciones) desde el menú File para guardar VIs como archivos individuales o grupos de VIs juntos para salvarlos como una librería VI. Las librerías VI terminan con la extensión .llb.

#### 4.2 Creación de un VI

Los VIs contiene tres partes principales: el panel frontal, el diagrama de bloques y el icono / conector.

##### 4.2.1 Panel frontal

El panel frontal de un VI se construye con una combinación de controles e indicadores, los cuales son las terminales interactivos de entrada y salida del VI.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

respectivamente. Los controles pueden ser perillas, botones pulsadores, dials y otros dispositivos de entrada. Los indicadores son gráficas, LEDs y otros elementos de visualización. Los controles simulan dispositivos de entrada y entregan datos al diagrama de bloques del VI. Los indicadores simulan dispositivos de salida y muestran los datos que el diagrama de bloques adquiere o genera. Para colocar controles e indicadores en el panel frontal se utiliza la paleta Controls.

#### **4.2.1.1 Controles e indicadores numéricos**

Los dos objetos numéricos utilizados con más frecuencia son el control digital y el indicador digital.

##### **4.2.1.1.1 Controles e indicadores booleanos**

Los controles e indicadores booleanos se utilizan para desplegar valores booleanos (Verdadero-Falso). Los botones booleanos simulan interruptores, botones y LEDs.

##### **4.2.1.1.2 Configurando los Controles y los Indicadores**

Casi todos los controles se pueden configurar fácilmente utilizando los accesos rápidos. Al oprimir el botón derecho del mouse sobre los componentes individuales de los controles e indicadores se despliega menú que le permiten adecuar estos componentes de acuerdo a sus necesidades.



#### 4.2.2 Diagrama de Bloques

El diagrama de bloques está compuesto de nodos, terminales y cables, tal como se muestra.

##### 4.2.2.1 Nodos

Los nodos son objetos del diagrama de bloques que tienen entradas y/o salidas y que realizan operaciones cuando se ejecuta un VI. Los tipos de nodos incluyen funciones, nodos de subVIs y estructuras. Las funciones están preconstruídas en los elementos de ejecución, comparable a un operador, función o declaración. Los nodos de subVIs son VIs que fueron diseñados previamente y son llamados desde otro VI. Estructuras son elementos de control de procesos, tales como estructuras de secuencias, estructuras Case, ciclos For o ciclos While.

##### 4.2.2.2 Terminales

Los objetos en el panel frontal aparecen como terminales en el diagrama de bloques. Las terminales representan el tipo de datos del control o del indicador. Por ejemplo, una terminal DBL que representa una doble precisión, control o indicador numérico de punto flotante.

Las terminales son puertos de entrada y salida a través de los cuales se intercambia información entre el panel frontal y el diagrama de bloques. Las terminales son puertos análogas a parámetros y constantes en lenguajes de programación basados en texto. Existen dos tipos de terminales: terminales de controles e indicadores y terminales de nodo. Las terminales de controles e indicadores corresponden a los controles e

indicadores del panel frontal. Los datos que el operador o el VI dan a estos controles del panel frontal pasan al diagrama de bloques a través de las terminales de control.

#### 4.2.2.3 Tipos de cables

Los cables son rutas de datos entre diferentes objetos del diagrama de bloques. Son análogos a las variables en los lenguajes de programación convencionales. Cada cable posee una única fuente de datos, pero puede ser llevada a muchos VIs y funciones que lean dicho dato. Los cables son de diferentes colores, estilos y espesores, dependiendo del tipo de datos que ellos manejen. A continuación se muestran ejemplos de los tipos de cables más comunes.

Tipo de Cable	Color
Numérico	Naranja (punto flotante)
	Azul (Entero)
Booleano	Verde
Cadena	Rosado

### 4.3 Programación en LabVIEW

Con el entorno gráfico de programación de LabVIEW se comienza a programar a partir del panel frontal.

En primer lugar se definirán y seleccionarán de la paleta de controles todos los controles (entradas que dará el usuario) e indicadores (salidas que presentará en pantalla

el VI ) que se emplearán para introducir los datos por parte del usuario y presentar en pantalla los resultados.

Una vez colocados en la ventana correspondiente al panel frontal todos los objetos necesarios, debe pasarse a la ventana Diagram (menú Windows > Show Diagram), que es donde se realiza la programación propiamente dicha (diagrama de bloques). Al abrir esta ventana, en ella se encuentran los terminales correspondientes a los objetos situados en el panel frontal, dispuestos automáticamente por LabVIEW. Se deben ir situando las funciones, estructuras, etc. que se requieran para el desarrollo del programa, las cuales se unen a los terminales mediante cables.

Para facilitar la tarea de conexión de todos los terminales, en el menú "Help" puede elegirse la opción "Show Help", con lo que al colocar el cursor del ratón sobre un elemento aparece una ventana con información relativa a éste (parámetros de entrada y salida). Además, si se tiene seleccionado el cursor de cableado, al situar éste sobre un elemento se muestran los terminales de forma intermitente.

#### 4.4 Ejecución de un VI

Una vez se ha concluido la programación del VI se debe proceder a su ejecución. Para ello la ventana activa debe ser el panel frontal (si se está en la ventana del diagrama de bloques, se debe seleccionar la opción Show Panel del menú Window). Un a vez situados en el panel frontal, se pulsará el botón de Run, situado en la barra de herramientas. El programa comenzará a ejecutarse. Mientras dura la ejecución del mismo, la apariencia del botón de Run es la que se muestra a continuación.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

De este modo el programa se ejecutará una sola vez. Si se desea una ejecución continua, se pulsará el botón situado a la derecha del de Run (Continuous Run). Si durante el funcionamiento continuo del programa se vuelve a pulsar el citado botón, se finalizará la última ejecución del mismo, tras lo cual el programa se parará.

Para finalizar la ejecución de un programa se puede operar de dos formas. La primera, y la más aconsejable, es emplear un botón en el panel frontal del VI, cuya pulsación produzca la interrupción del ciclo de ejecución de la aplicación. La segunda forma de detener la ejecución del VI es pulsando el botón de pausa o el de stop. La diferencia entre ambos es que si se pulsa stop, la ejecución del programa finaliza inmediatamente, mientras que si se pulsa pausa, se produce una detención en el funcionamiento del programa, retornándose su ejecución una vez se vuelve a pulsar el mismo botón.

#### 4.5 LabVIEW RT

Las tarjetas de las series RT son tarjetas multifunción DAQ con un procesador embebido. La tarjeta de la serie RT junto con LabVIEW RT y NI-DAQ proporcionan un sistema fácil de utilizar para aplicaciones en tiempo real.

Cada tarjeta RT esta compuesta por dos partes: una tarjeta del procesador y una tarjeta hija de adquisición de datos (DAQ). La tarjeta del procesador contiene un microprocesador embebido que ejecuta aplicaciones embebidas de LabVIEW RT en tiempo real. La tarjeta de adquisición (DAQ) proporciona el mismo desempeño como lo hace una tarjeta de adquisición que no sea de las serie RT. Por ejemplo, la tarjeta PXI-7030/6040E contiene una tarjeta de adquisición (DAQ) que es equivalente a la tarjeta PXI-6040E.

La siguiente tabla muestra los manuales de usuario correspondientes a cada tarjeta de las series RT.

RT Series Board	DAQ Manual
PXI-7030-0040E	<i>PXI E Series User Manual</i>
PXI-7030-0030E	<i>PXI F Series User Manual</i>
PXI-7030-0533	<i>DI06533 User Manual</i>
PCI-7030-0040E	<i>PCI E Series User Manual</i>
PCI-7030-0030E	<i>PCI F Series User Manual</i>
PCI-7030-0533	<i>DI06533 User Manual</i>

Figura 15. Series RT y sus correspondientes manuales.

Para poder utilizar las tarjetas de las series RT se necesita tener un conjunto de elementos para poder desarrollar una aplicación en tiempo real y son los siguientes:

- Una de las siguientes tarjetas:
  - PXI-7030/XXXX
  - PCI-7030/XXXX
- EL manual de usuario de LabVIEW RT para las tarjetas PCI / PXI 7030.
- EL manual de hardware para la tarjeta hija de adquisición da datos (DAQ).
- LabVIEW RT.
- NI-DAQ 6.5.2 ó una versión mayor.

Hay que asegurarse de instalar el software de NI-DAQ antes de instalar el hardware.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 4.5.1 Instalación y configuración

A continuación se explica como instalar y configurar el hardware de adquisición de datos DAQ de las series RT.

#### 4.5.1.1 Instalación del hardware

Se puede instalar el dispositivo de adquisición de datos DAQ de las series RT en cualquier ranura de expansión disponible en la computadora o en un chasis de un sistema modular PXI. Para reducir ruido, se recomienda dejar suficiente espacio entre el dispositivo de adquisición de datos y otros dispositivos. Las siguientes son instrucciones generales de instalación.

Antes de instalar cualquier dispositivo de adquisición de datos DAQ de las series RT se tiene que instalar LabVIEW Real-Time (RT) y el controlador NI-DAQ (Controlador de NI para el hardware DAQ).

##### 4.5.1.1.1 Instalación PCI

Para Realizar correctamente la instalación del dispositivo PCI de la serie RT se tienen que seguir los siguientes pasos:

1. Apagar y desconectar la computadora.
2. Quitar cuidadosamente la tapa del CPU.

3. Asegurarse de que no queden LEDs indicadores encendidos en la tarjeta madre. Si alguno permanece encendido, esperar hasta que se apague antes de continuar con la instalación.
4. Quitar la tapa que cubre la ranura de expansión que se encuentra en la parte trasera del CPU.
5. Colocar la tarjeta de adquisición de datos DAQ de la serie RT en una ranura PCI de 5 V.
6. Asegurar la tarjeta atornillándola al riel trasero de la computadora.
7. Verificar visualmente la instalación. Asegurarse de que la tarjeta no está tocando otras tarjetas o componentes y que está totalmente insertada en la ranura de expansión.
8. Colocar de nuevo la tapa del CPU.
9. Conectar la PC y encenderla.

Al completar estos pasos se tiene ya instalada la tarjeta de adquisición de datos DAQ por lo que procede ahora a la configuración del software.

#### 4.5.1.1.2 Instalación PXI

Para realizar la instalación de un sistema modular PXI se realizan los siguientes pasos:

1. Apagar y desconectar la computadora.
2. Escoger dos ranuras adyacentes que no se utilicen en el sistema.
3. Quitar los paneles de relleno de las ranuras que se escogieron.
4. Colocar la tarjeta de adquisición de datos DAQ de las series RT en una ranura PXI de 5 V. Utilizar las palancas de extracción y ejecución para insertar completamente la tarjeta en el chasis.
5. Asegurar el panel frontal de la tarjeta al riel del panel frontal del sistema.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 6. Conectar la PC y encenderla.

Al completar estos pasos se tiene ya instalada la tarjeta de adquisición de datos DAQ por lo que procede ahora a la configuración del software.

#### 4.5.1.2 Configuración de la tarjeta

Debido a la arquitectura estándar de NI para las especificaciones del bus de adquisición de datos tanto para PCI como para sistemas modulares PXI, los dispositivos de adquisición de datos DAQ de las series RT son completamente configurables por software.

Los dispositivos PCI de las series de adquisición de datos DAQ son totalmente compatibles con el estándar industrial "PCI Local Bus Specification" de la revisión 2.0. Los dispositivos PXI de las series de adquisición de datos DAQ son compatibles con el estándar "PXI Specification" de la revisión 1.0. Esta compatibilidad permite que el PCI o el sistema PXI desempeñe automáticamente todas las configuraciones relacionadas con los buses y no requiere la interacción del usuario.

Algunos de los parámetros relacionados con la configuración son como la polaridad y el rango de la entrada analógica, el modo de la entrada analógica, etc. También se pueden configurar canales virtuales, SXCI y accesorios de adquisición de datos DAQ. Se pueden modificar estos parámetros a través del Explorador de Medición y Automatización (MAX) o a través de LabVIEW RT y NI-DAQ.

Después de haber instalado el dispositivo DAQ de la serie RT, se verifica que se ha configurado correctamente la tarjeta por medio del explorador MAX en donde se le es asignado un número de dispositivo a todos y cada uno de los que se encuentren configurados e instalados en la computadora, que es la forma en la cual se va a identificar



para ser utilizados por los VIs. EL dispositivo DAQ de la serie RT y cualquier otro dispositivo configurado e instalado en la computadora aparece en el explorador MAX como se muestra en la figura 16.

Como se ve en la figura 16, el explorador MAX asigna diferentes números de dispositivos al PCI/PXI-7030 y a la tarjeta (daughter-6040E) de adquisición. La tarjeta (6040E) de adquisición se muestra como un dispositivo separado debajo del procesador 7030. Sin embargo, la tarjeta (6040E) tiene un número de dispositivo diferente al de la tarjeta del procesador 7030.

Se necesitan los números de los dispositivos para descargar y ejecutar los VIs de LabVIEW RT en los dispositivos DAQ de las series RT. Se pueden cambiar los número de los dispositivos y otras configuraciones para los dispositivos utilizando el explorador MAX. Los cambios a éstos parámetros no tienen efecto hasta que reestablezca el dispositivo.

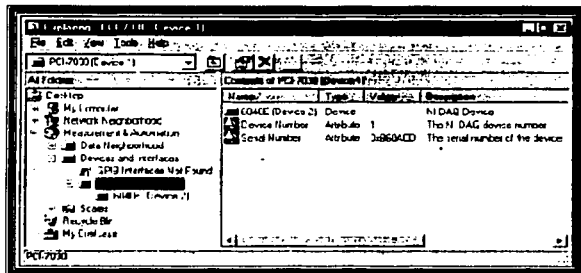


Figura 16. Explorador de Medición y Automatización (MAX).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Se pueden probar los recursos de la tarjeta del procesador 7030 utilizando el explorador MAX. Sin embargo, no se pueden probar los recursos o ejecutar paneles de prueba para la tarjeta (6040E) de adquisición. Aunque ésta tarjeta es configurada utilizando la PC, la tarjeta esta localizada en el bus local PCI de la tarjeta del procesador del dispositivo DAQ de la serie RT. Por lo tanto, sólo las aplicaciones de LabVIEW RT descargadas al procesador 7030 pueden acceder a la tarjeta (6040E) de adquisición y la configuración de recursos de la tarjeta (6040E) no puede ser probada desde la PC. No es necesario probar la configuración de recursos, debido a que la tarjeta ha sido configurada de fábrica y los recursos no cambian. Así, las aplicaciones que se ejecutan en la PC no pueden acceder a la tarjeta (6040E) directamente, aunque la tarjeta (6040E) sea configurada como un dispositivo separado. Sólo las aplicaciones de LabVIEW descargadas al dispositivo de adquisición de datos DAQ de las series RT pueden acceder a la tarjeta (6040E).

#### 4.5.2 Descripción general del hardware

A continuación se describe el hardware de los dispositivos PCI y los sistemas modulares PXI. En la figura 15 se muestra la referencia de manuales técnicos para los diferentes dispositivos de las diferentes tarjetas de las series RT.

Como se muestra en las figuras 17 y 18, una tarjeta (daughter) se coloca junto con la tarjeta del procesador, y de esta manera forman el hardware de la serie RT. A continuación se describen los componentes que forman parte del hardware de las series RT.

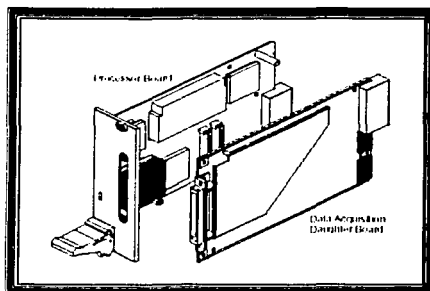


Figura 17. Hardware de las series PXI de adquisición de datos en tiempo real.

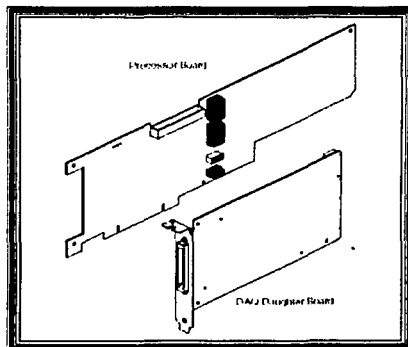


Figura 18. Hardware de las series PCI de adquisición de datos en tiempo real.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.5.2.1 Tarjeta del procesador

La tarjeta del procesador 7030 contiene un microprocesador y circuitería de soporte como se muestra en la figura 19.

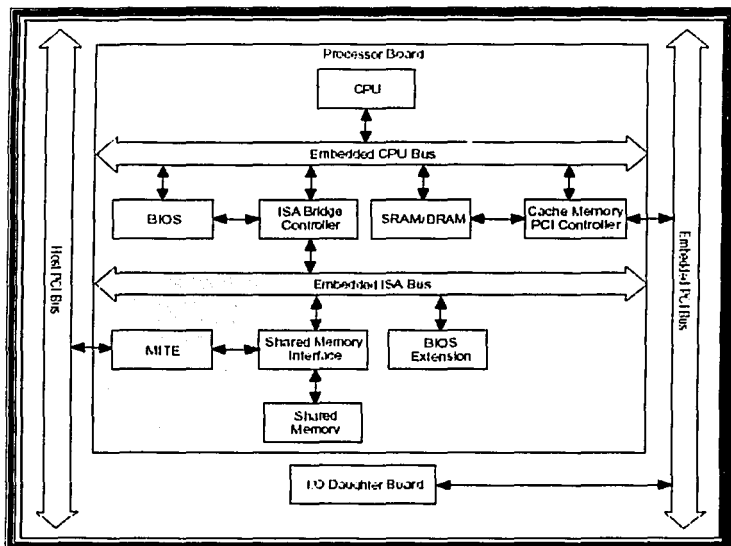


Figura 19. Diagrama de bloques de la tarjeta de adquisición de datos DAQ de la serie RT.

La circuitería de soporte incluye un conjunto de chips con un controlador PCI y un puente ISA (Industry Standar Architecture), una memoria principal (DRAM -Dynamic Random Access Memory-), L2 Cache (SRAM -System RAM-) y el BIOS ( Basic Input /

Output System). EL software de LabVIEW RT utiliza un sistema de procesamiento embebido para su plataforma de ejecución.

La tarjeta (daughter-6040E) se encuentra embebida en el bus PCI. Esto proporciona un alto desempeño en el sistema de comunicación entre el software ejecutándose en el procesador y la tarjeta (6040E).

La tarjeta del procesador también tiene la memoria compartida que es el medio de comunicación entre la PC y el procesador embebido.

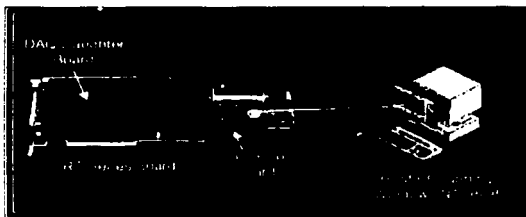


Figura 20. Sistema RT.

#### 4.5.2.2 Tarjeta de adquisición de datos (DAQ)

La tarjeta hija (6040E) en el sistema RT proporciona la funcionalidad de la adquisición de datos. Cada tarjeta de éste tipo es una tarjeta PXI con algunas modificaciones mecánicas que le permiten conectarse a la tarjeta del procesador. Esto quiere decir que se puede esperar el mismo desempeño y las mismas especificaciones de la tarjeta hija que se tendrían en una versión estándar de la tarjeta PXI. Por ejemplo, la tarjeta 7030/6040E tiene las mismas características de adquisición de datos que la PXI-6040E. Por esta razón, se tiene que hacer referencia al manual correspondiente de la tarjeta hija para tener las especificaciones, requerimientos de cableado y los accesorios

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

necesarios. La información adicional a cerca del hardware y configuración del software está disponible en la sección de adquisición de datos DAQ de la referencia en línea de LabVIEW seleccionando Help>>Online Reference.

#### 4.5.3 Comunicación entre la PC y las tarjetas de las series RT

Una tarjeta de la serie RT se comunica con la computadora en la cual se encuentra a través de la memoria compartida en la tarjeta del procesador 7030. La computadora en la cual se encuentra colocada la tarjeta se la denomina "host". Tanto la PC como el procesador embebido tienen acceso a la memoria compartida. La memoria compartida tiene varias tareas. Por ejemplo, LabVIEW RT utiliza parte de la memoria compartida para descargar el software a la tarjeta. Existe un espacio en la memoria destinado al intercambio de información entre la PC y la tarjeta del procesador.

El sistema de desarrollo RT y LabVIEW se pueden comunicar con la máquina RT. Cuando se utiliza el sistema de desarrollo RT todos los VIs se cargan en el hardware RT y son ejecutados por la máquina RT. En otras palabras, el sistema de desarrollo RT y la máquina RT ejecutan diferentes partes del VI, como se muestra en la figura 21.

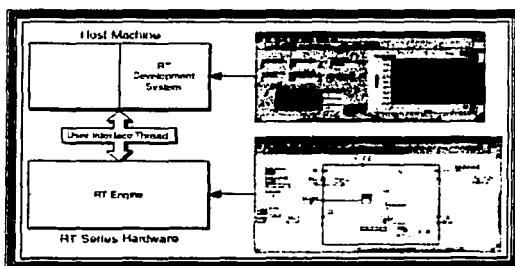


Figura 21. Comunicación entre la PC y las tarjetas RT.

El sistema de desarrollo RT muestra el panel frontal del VI mientras que la máquina RT ejecuta el código del diagrama de bloques. El panel frontal del sistema de desarrollo RT se comunica con la máquina RT a través de la interfase con el usuario.

Durante el desarrollo, al utilizar esta conexión entre la máquina RT y la PC se es muy útil. Después de descargar y ejecutar los VIs se puede mantener el sistema de desarrollo RT abierto para mostrar y operar el panel frontal del VI embebido. Cuando los VIs se ejecutan en la plataforma de la tarjeta, el sistema de desarrollo RT intercambia mensajes con la máquina RT para actualizar los controles e indicadores en el panel frontal. Estas comunicaciones ocurren automáticamente porque son características propias del software del sistema de desarrollo RT y del sistema embebido.

Otra característica útil del sistema de desarrollo RT es que se pueden depurar VIs embebidos de LabVIEW RT mientras se ejecutan en la plataforma de la tarjeta. Se pueden utilizar las herramientas de depuración tales como puntos de prueba, ejecución iluminada, puntos de ruptura y análisis paso a paso para localizar posibles errores en el código del diagrama de bloques en donde el VIs no se esté ejecutando correctamente.

#### 4.5.4 Sistema de integración en tiempo real (RTSI)

El bus del sistema de integración en tiempo real (RTSI™ bus) conecta directamente las tarjetas de adquisición DAQ para que tengan una sincronización de funciones. Toda la funcionalidad del bus RTSI esta disponible en las tarjetas de las series RT. El bus RTSI permite conectar las tarjetas RT a cualquier otra tarjeta DAQ no importando si las demás tarjetas son de las series RT o cualquier otra tarjeta estándar de adquisición DAQ.

Las conexiones RTSI son realizadas a través del trigger bus del PXI para las tarjetas PXI RT. Para las tarjetas PCI RT la conexión se hace con un conector que se encuentra en la parte superior de la tarjeta y un cable RTSI.

#### 4.5.5 LEDs

Hay dos LEDs indicadores en la tarjeta del procesador. Éstos son LEDs controlados por el usuario que se pueden utilizar para indicar el estado de la ejecución de la aplicación. En el módulo PXI-7030 los LEDs pueden verse en la parte frontal. En la tarjeta PCI-7030 los LEDs se encuentran a lo largo de la parte superior de la tarjeta por lo que se tendría que quitar la tapa superior de la PC para poder apreciarlos.

El LED rojo se enciende durante el reestablecimiento de la tarjeta y se apaga cuando éste proceso termina. También se enciende el LED rojo y permanece encendido cuando la máquina RT detecta un error interno.

Se pueden utilizar el VI llamado RT Board LEDs localizado en la paleta Functions>>RT>>Shared Memory Utilities en la aplicación para controlar cada LED independientemente.

#### 4.5.6 Descripción general del software

La mayoría de las aplicaciones en LabVIEW funcionan en sistemas operativos de propósito general tal como Microsoft Windows. Algunas de las aplicaciones de LabVIEW requieren de un desempeño en tiempo real que un sistema operativo como Windows no puede garantizar. LabVIEW Real Time (RT) se enfoca en la necesidad de un desempeño en tiempo real utilizando las características de LabVIEW.



LabVIEW RT combina LabVIEW con el poder de los sistemas en tiempo real por lo que se pueden crear aplicaciones utilizando programación gráfica. Las aplicaciones en tiempo real son realizadas en dispositivos llamados RT que pueden ser dispositivos de adquisición de datos (plug – in) ó dispositivos de red RT. Las aplicaciones embebidas de LabVIEW RT no tienen una interfase con el usuario, por lo que se requiere de una PC como "host" para generar la interfase con el usuario. Se crean aplicaciones en tiempo real a partir de un sistema de desarrollo. El sistema de desarrollo LabVIEW RT corre en Windows tal y como lo hace LabVIEW. Se puede desarrollar código fuente en el sistema de desarrollo LabVIEW RT y descargarlo ya cómo código de tiempo real para correr las aplicaciones embebidas en una tarjeta de adquisición de datos.

Los sistemas operativos de propósito general pueden fallar lo que provoca que los programas detengan su ejecución. Debido a que las aplicaciones embebidas de LabVIEW RT se desempeñan en una plataforma separada, éstas no detienen su ejecución si el sistema operativo de la PC falla.

Se puede reestablecer la PC sin interrumpir las aplicaciones embebidas de LabVIEW RT. Después de reestablecer la PC, se puede reanudar la comunicación entre la PC y la aplicación embebida de LabVIEW RT. También se pueden diseñar aplicaciones para recuperar la información adquirida con hardware de las series RT mientras que la PC no estaba en comunicación con la aplicación embebida de LabVIEW RT.

Los dispositivos de adquisición de datos ( DAQ ) de las series RT combinan la adquisición de datos con el poder del procesamiento de una computadora. Se pueden instalar los dispositivos en una PC o en un sistema PXI ( PCI (Peripheral Component Interconnect) eXtensions for Instrumentation ) el cual es una plataforma modular de instrumentación. Los dispositivos incluyen un procesador el cual se encarga de ejecutar las aplicaciones LabVIEW RT embebidas. Parte de la memoria de la tarjeta ( RAM )

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

puede ser utilizada por la PC y por el dispositivo de la serie RT. La PC y el dispositivo DAQ de la serie RT se comunican utilizando una memoria compartida.

Los dispositivos RT de red se comunican a la PC o a un sistema modular PXI a través de una conexión de Ethernet. Se puede utilizar la PC o el sistema modular PXI para transferir aplicaciones a los dispositivos RT en la red. La PC se comunica con el dispositivo RT a través de la conexión en red.

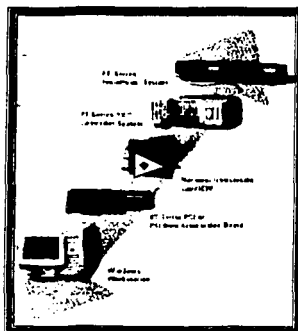


Figura 22. Visión general de un sistema de adquisición de datos.

#### 4.5.7 Arquitectura de LabVIEW RT

LabVIEW RT está formado por los siguientes tres elementos: LabVIEW, el sistema de desarrollo RT y la máquina RT como se muestra en las figuras 23 y 24.

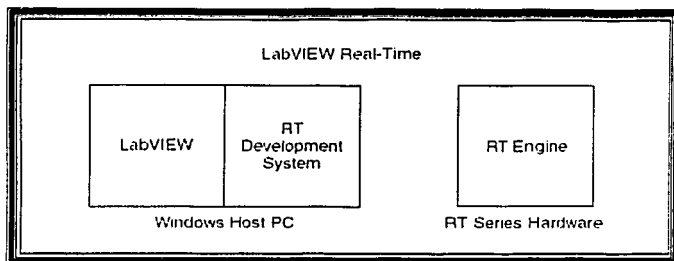


Figura 23. Componentes de LabVIEW RT con dispositivos ( plug-in ) de las series RT.

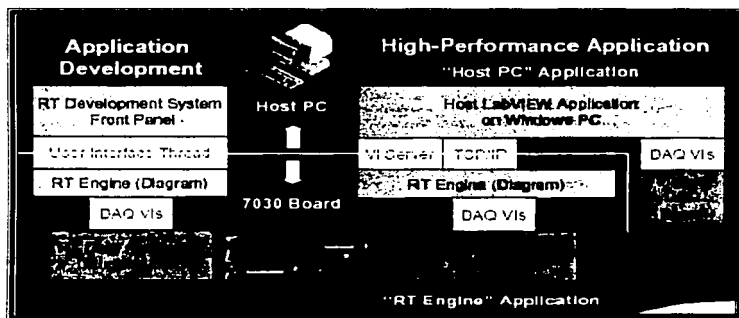


Figura 24. Arquitectura del software de LabVIEW RT.

LabVIEW y el sistema de desarrollo RT son diferentes modos del mismo ejecutable ( labview.exe ). LabVIEW RT le da al LabVIEW ejecutable la habilidad de desempeñarse en diferentes procesadores para su ejecución. El archivo labview.exe esta en el modo LabVIEW cuando se ejecuta en el sistema operativo Windows de la PC. En éste modo el archivo ejecutable de LabVIEW actúa como un archivo normal de

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

LabVIEW corriendo en Windows. Pero cuando se descarga a cualquier tarjeta de las series RT el archivo ejecutable cambia al modo del sistema de desarrollo RT. Dicho de otra forma, el sistema de desarrollo RT y el LabVIEW normal no pueden correr en la misma máquina de Windows al mismo tiempo por que tienen el mismo ejecutable, siendo sólo dos modos diferentes del mismo ejecutable. Contrariamente, la máquina RT es un ejecutable distinto ( embview.exe ), que se ejecuta en hardware específico de las series RT con un sistema operativo en tiempo real ( RTOS- Real-Time Operating System ).

Tanto el sistema de desarrollo RT y LabVIEW pueden comunicarse con la máquina RT. En el modo del sistema de desarrollo RT, todos los VIs son ejecutados por la máquina RT en el hardware de las series RT en donde se tiene el sistema de desarrollo. En otras palabras, el sistema de desarrollo RT y la máquina RT están ejecutando el mismo VI. El sistema de desarrollo RT despliega el panel frontal del programa mientras que la máquina RT ejecuta el código del diagrama de bloques. Así, el sistema de desarrollo RT proporciona la única interfase con los VIs ejecutados por la máquina RT por que el hardware de las series RT no carga el panel frontal en su memoria.

Toda la comunicación es desempeñada a través de la memoria compartida cuando se utilizan los dispositivos DAQ de las series RT como se muestra en la figura 25, y a través de Ethernet cuando se utiliza hardware de red de las series RT, figura 26.

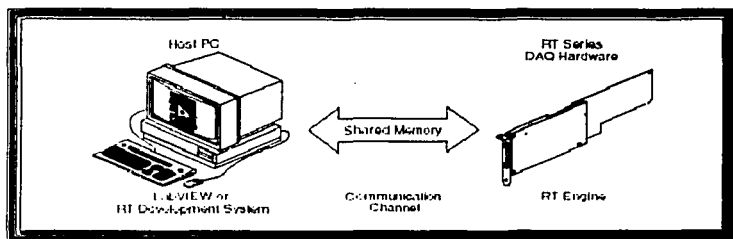


Figura 25. Componentes de LabVIEW RT con dispositivos DAQ de las series RT.

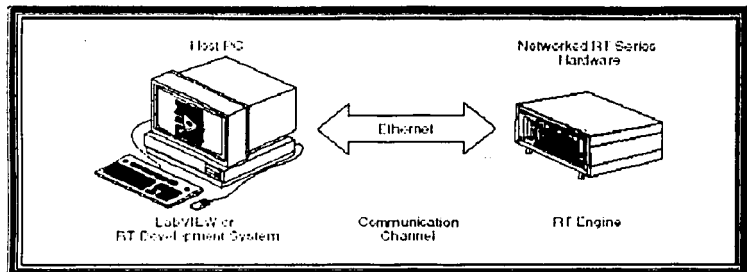


Figura 26. Componentes de LabVIEW con dispositivos de red RT.

LabVIEW se comunica con la máquina RT a través de un control específico tal como TCP/IP, un VI servidor y en el caso de un dispositivo DAQ de la serie RT la memoria compartida es la que se encarga de leer y escribir. Al comunicarse de esta forma LabVIEW está ejecutando un VI diferente que el que está siendo ejecutado por la máquina RT.

Otra distinción importante entre los tres componentes de LabVIEW RT es que LabVIEW puede funcionar independientemente de otros componentes mientras que el sistema de desarrollo RT es dependiente de su correspondiente máquina RT corriendo en un dispositivo de la serie RT.

#### 4.5.8 Sistema de desarrollo RT

El sistema de desarrollo RT es una aplicación de Windows que corre en la PC (host). Al reestablecer la plataforma del dispositivo DAQ de la serie RT por primera vez,

no tiene ningún VI por ejecutar. Se puede utilizar el sistema de desarrollo RT para descargar los VIs a la plataforma RT.

Después de haber descargado y ejecutado los VIs, se puede cerrar el sistema de desarrollo RT. La máquina RT continúa corriendo los VIs embebidos en ella. Se puede mantener el sistema de desarrollo RT abierto para mostrar y operar el panel frontal del VI embebido. Cuando los VIs están siendo ejecutados en la tarjeta, el sistema de desarrollo RT intercambia mensajes con la máquina RT para actualizar los controles e indicadores localizados en el panel frontal. Estas formas de comunicación entre estos dos elementos son construidas dentro del sistema de desarrollo RT y el software embebido por lo que se ejecutan automáticamente. Cuando se abre el panel frontal de un VI embebido de LabVIEW RT, el desempeño en tiempo real del VI no puede ser garantizado.

Se puede utilizar el sistema de desarrollo RT para depurar VIs embebidos mientras los VIs embebidos se ejecutan en la tarjeta DAQ. Se pueden utilizar herramientas de depuración tales como: pruebas, puntos de rompimiento y análisis paso a paso.

#### 4.5.8.1 La máquina RT

La máquina RT en la plataforma de adquisición de datos ejecuta VIs de LabVIEW RT que son cargados a la tarjeta utilizando el sistema de desarrollo RT. La máquina RT puede proporcionar un desempeño en tiempo real por las siguientes razones:

- La máquina RT corre en un sistema operativo de tiempo real el cual asegura que el plan de aplicación y otros servicios del sistema operativo se adhieran a la operación en tiempo real.
- La máquina RT no actúa en la PC (host) pero si en el hardware de las series RT. Aplicaciones que no son necesarias o controladores de dispositivos tales como los

controladores de video no son soportados por el hardware de las series RT. La ausencia de software y controladores irrelevantes significa que un controlador o una tercera aplicación no impide las aplicaciones de LabVIEW.

- La máquina RT es ajustada para un desempeño en tiempo real.
- El hardware de las series RT no utiliza memoria virtual. Al hacer esto una mayor cantidad de acciones impredecibles es eliminada.

#### 4.5.8.2 Tiempo local y del sistema en la máquina RT

Cuando se esta corriendo en Windows una aplicación, algunas funciones de tiempo (date/time) de LabVIEW ajustan valores de tiempo basados en la información del tiempo de zona del sistema operativo. Algunos ejemplos de los ajustes del tiempo de zona del sistema operativo pueden ser vistos al utilizar la función "Seconds to Date/Time" o cuando un indicador del eje de las abscisas ha sido configurado para que muestre la fecha y la hora. Debido a las limitaciones del sistema operativo en tiempo real en los dispositivos de las series RT, la máquina RT no soporta la información del tiempo de zona. Como resultado, el tiempo del sistema y el tiempo local son manejados de la misma forma en la máquina RT. Funciones tales como "Secons to Date/Time" no ajustan los valores de tiempo basados en la zona de tiempo local. Es por esto que las funciones de fecha y hora producen diferentes resultados en la máquina RT que cuando se utilizan en LabVIEW en la PC.

#### 4.5.9 Operación de LabVIEW RT

En esta sección de describen los procedimientos básicos para crear una aplicación en LabVIEW RT.



#### 4.5.9.1 Iniciando LabVIEW RT y descargando VIs

Al iniciar LabVIEW RT aparece la siguiente ventana de dialogo:

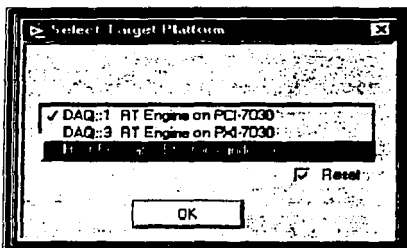


Figura 27. Ventana de dialogo para seleccionar plataforma.

Con el menú que se tiene en la ventana se selecciona en dónde se quieren ejecutar los VIs. Cuando se selecciona una tarjeta de las series RT cualquier VI que se ejecute subsecuentemente es cargado a la tarjeta RT en donde puede ser ejecutado. También se puede seleccionar Host PC (LabVIEW for Windows) la cual abre LabVIEW en la PC sin las propiedades embebidas de LabVIEW RT.

Al seleccionar la casilla del Reset la tarjeta se reestablece. Cualquier VI que se encuentre en la tarjeta seleccionada detiene su ejecución y es removido de la máquina RT cuando se reestablece la tarjeta.

Quando se selecciona una tarjeta RT y se hace clic en OK, el sistema de desarrollo RT establece comunicación con la tarjeta RT que se ha seleccionado. A partir de este momento se pueden abrir VI y accionar el botón "RUN", el sistema de desarrollo RT automáticamente descarga el VI y sus asociados subVIs al hardware RT. La máquina RT ejecuta el VI.



#### 4.5.9.2 Reestableciendo la tarjeta RT

Sólo después de haber encendido el sistema o si la comunicación con la máquina RT no puede ser establecida o se ha perdido, la tarjeta puede ser reestablecida. Se puede también reestablecer la tarjeta cuando se ha cambiado la configuración de adquisición de datos (DAQ) de la tarjeta RT.

#### 4.5.9.3 Descarga de VIs sin ejecutarlos

Se pueden descargar VIs sin necesidad de ejecutarlos seleccionando la opción Operate>>Download Application. Esto se hace cuando se quiere utilizar el mecanismo del VI Server para ejecutar estos VIs posteriormente.

Para ver que VIs han sido descargados al hardware RT se selecciona la opción Project>>Show VI Hierarchy que se tiene en el sistema de desarrollo RT. En esta opción aparece la jerarquía de los VIs con un pin en la esquina inferior izquierda de cada VI. Cuando el pin se encuentra en una posición vertical como se muestra en la figura 28, el VI ha sido cargado a la máquina RT.



Figura 28.

Cuando el pin se encuentra en la posición horizontal como se ve en la figura 29, el VI necesita ser cargado a la máquina RT para su ejecución.



Figura 29.

El VI Server puede ejecutar VIs en una plataforma remota, en este caso en hardware de la serie RT, pero el VI Server no puede descargar VIs. Por lo tanto, esos VIs deben de ser cargados a la plataforma con anterioridad.

#### 4.5.10 Ejecutables independientes utilizando LabVIEW RT

No se pueden construir ejecutables cuando se esta operando LabVIEW en las tarjetas RT. La única forma de construir aplicaciones de este tipo es iniciando LabVIEW RT en la PC desde la ventana de dialogo para seleccionar la plataforma de ejecución (Select Target Platform). Las aplicaciones construidas utilizando el sistema de desarrollo LabVIEW RT se pueden cargar a la tarjeta RT. Al abrir el ejecutable, la ventana de selección de plataforma de ejecución aparece. Se puede seleccionar cualquier tarjeta RT configurada en el sistema para ejecutar la aplicación elaborada.

Para deshabilitar la ventana de dialogo para seleccionar plataforma de ejecución se tiene que especificar el número de la tarjeta en la línea de comandos en el constructor de ejecutables, por ejemplo:

```
c:\mybuiltApp.exe -rte DAQ::3
```

También se puede reestablecer la tarjeta que se ha seleccionado al escribir -rreset como se muestra en el ejemplo:

```
c:\mybuiltApp.exe -rreset DAQ::3
```

#### 4.5.11 Programación en LabVIEW RT

Una aplicación de LabVIEW RT se ejecuta en la tarjeta RT y comúnmente controla o monitorea eventos externos a través de sus entradas y salidas tales como los canales de entrada y salida analógicos y digitales de las tarjeta de adquisición de datos (DAQ).

Debido a que se ejecuta en una plataforma la cual no tiene todos los componentes que se pueden encontrar en una PC, LabVIEW RT carece de algunas características que se tienen en LabVIEW. Por ejemplo, No se cuenta con un disco duro en la tarjeta RT por lo que la entrada y salida de archivos no es posible. Las siguientes funciones de LabVIEW no se pueden realizar en el sistema de desarrollo LabVIEW RT:

- ActiveX
- Data logging
- Dialog boxes
- Ethernet
- File I/O
- Instrument I/O: VISA, 488, Serial
- Printing
- Profiler
- Programmatic Menu

Si se intenta descargar y ejecutar una aplicación en la tarjeta RT que tenga cualquiera de las funciones listadas anteriormente, el VI se ejecuta. Sin embargo, las funciones que no son soportadas por LabVIEW RT no funcionan y se regresa un código de error estándar de LabVIEW.

Existen dos formas de proporcionar la interfase con el usuario para los VI de LabVIEW RT; una es utilizando el sistema de desarrollo RT ó realizando aplicaciones en LabVIEW.

#### 4.5.12 Utilizando el sistema de desarrollo RT

Al utilizar el sistema de desarrollo RT se tiene el mejor camino para proporcionar una interfase con el usuario para las aplicaciones de LabVIEW RT. El sistema de desarrollo RT viene junto con el software de LabVIEW RT, por lo que no se necesita escribir alguna otra aplicación. El sistema de desarrollo RT puede mostrar los controles e indicadores de los VIs de LabVIEW RT embebidos ejecutándose en una tarjeta RT. El usuario puede interactuar con los VIs cambiando los valores de los controles con lo que consecuentemente se pueden actualizar los indicadores.

El sistema de desarrollo RT es mucho más útil durante el proceso de programación y depuración de VIs, pero hay razones por las cuales no pueda ser útil para desplegar aplicaciones embebidas de tiempo real.

Primero se tiene que al intercambiar mensajes entre el sistema de desarrollo RT y la máquina RT, se ejecutan los VIs en una prioridad menor que el algoritmo de tiempo real. Por lo tanto, si una tarea de mayor prioridad utiliza todos los recursos de la tarjeta RT, no habrá recursos disponibles para tareas de prioridad menor lo cual puede ocasionar que la interfase del usuario parezca detenida.

En segundo lugar, en muchas aplicaciones tal vez se quiera hacer más que solo mostrar datos del sistema embebido de LabVIEW RT. Posiblemente se requiera guardar información en disco y posteriormente analizar los datos obtenidos o tal vez controlar el comportamiento de la aplicación embebida de LabVIEW RT basándose en los datos adquiridos. Estas son funciones que el sistema de desarrollo RT no puede desempeñar. El

sistema de desarrollo RT puede mostrar el panel frontal pero no puede ejecutar ningún código.

#### 4.5.12.1 Información de la máquina RT

Para obtener información del número de dispositivo de hardware de la serie RT al cual esta conectado el sistema de desarrollo RT se selecciona la opción Operate>>RT>>Engine Information. El número de dispositivo es también mostrado en la esquina inferior izquierda del panel frontal.

#### 4.5.12.2 Como salir del sistemas de desarrollo RT

Se puede salir des sistema de desarrollo RT sin detener los VIs embebidos de LabVIEW RT ejecutándose en la máquina RT seleccionando la opción File>>Exit Without Closing RT Engine VIs. Al hacer esto se puede salir del sistema de desarrollo RT en la PC pero los VIs ejecutándose en la máquina RT continúan funcionando. Si un VI es descargado pero no ejecutado, el VI permanece en el hardware de la serie RT. Utilizando en VI Server de una aplicación de LabVIEW se puede llamar y ejecutar el VI embebido posteriormente.

Cuando se sale del sistema de desarrollo RT al seleccionar File>>Exit aparece una ventana de dialogo de confirmación preguntando si se desea apagar la máquina RT antes de salir. Si se selecciona la opción OK el sistema de desarrollo RT se cierra al igual que todos los VIs ejecutándose en el hardware RT y apagando la máquina RT.

#### 4.5.12.3 Iniciar LabVIEW RT con VIs embebidos todavía ejecutándose

Si se reinicia LabVIEW RT y se establece la comunicación con el hardware de la serie RT mientras VIs embebidos siguen ejecutándose, el sistema de desarrollo RT es notificado de que hay VIs ejecutándose en la tarjeta. El sistema de desarrollo RT hace el intento de abrir una en la PC del VI embebido para proporcionar el panel frontal de los VIs embebidos. Si las copias de la PC de los VIs han sido movidas o modificadas desde que fueron descargadas a la tarjeta RT, el sistema de desarrollo RT muestra el siguiente panel frontal:

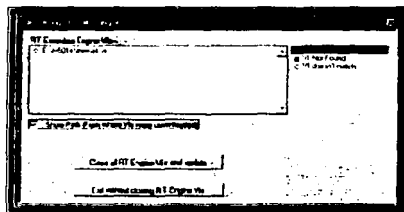


Figura 30. Descarga de VIs embebidos.

La ventana de dialogo muestra el nombre de los VIs e indica ya sea que el sistema de desarrollo RT no puede encontrar los VIs ó que los VIs han sido modificados lo que quiere decir que no corresponden a los VIs ejecutándose en la máquina RT. De ésta ventana de dialogo, se pueden también cerrar los VIs ejecutándose en la tarjeta y actualizarlos con las últimas versiones modificadas de cada VI ó se pueden dejar los VIs embebidos ejecutándose y salir del sistema de desarrollo RT.

#### 4.5.13 Aplicaciones (HOST) en LabVIEW RT

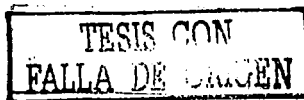
En lugar de utilizar el sistema de desarrollo RT para comunicarse con los VIs embebidos de LabVIEW RT se puede escribir una aplicación host en LabVIEW. Una aplicación host en LabVIEW puede controlar el comportamiento de la aplicación de LabVIEW RT embebida por medio de la programación así como guardar y analizar datos obtenidos por el VI embebido. Una aplicación host de LabVIEW proporciona una interfase con el usuario mientras se comunica con la aplicación embebida de LabVIEW RT.

Se pueden desarrollar aplicaciones host de LabVIEW con LabVIEW RT al seleccionar Host PC (LabVIEW for Windows) en la ventana de dialogo para la selección de plataforma de ejecución. Al hacer esto LabVIEW RT se comporta como lo hace LabVIEW en una PC.

La memoria compartida es el medio físico por el cual la PC y el hardware RT se comunican. Sin embargo, hay protocolos alternativos de alto nivel disponibles para las aplicaciones de LabVIEW y la comunicación con los VIs de LabVIEW RT. Cada protocolo tiene sus ventajas y desventajas. Se puede escoger cualquiera de ellos dependiendo de las necesidades de comunicación.

#### 4.5.14 Memoria compartida

En sistemas operativos como Windows NT/98/95/Me dos procesos o aplicaciones se pueden comunicar entre si utilizando el mecanismo de memoria compartida que el sistema operativo proporciona. De manera similar, las aplicaciones embebidas de LabVIEW RT y las aplicaciones host de LabVIEW se pueden comunicar utilizando VIs



de memoria compartida para leer y escribir en localidades de memoria compartida en el hardware RT.

Los VIs de memoria compartida son menos costosos y son ideales para aplicaciones en tiempo real. Sin embargo, el tamaño de la memoria compartida está limitado a 1 kilo byte por lo que si se necesita transferir varios mega bytes de datos se tiene que dividir la información en pequeños segmentos y así transferirlos. Al hacer esto, se tiene que tener la seguridad de que los datos en la memoria compartida no se están sobrescribiendo antes de ser leídos. Los VIs TCP/IP son mas convenientes para la transferencia de grandes cantidades de información.

#### **4.6 Programación en tiempo real**

También se pueden programar instrumentos virtuales en LabVIEW RT utilizando la prioridad de ejecución de un VI y los métodos de comunicación entre el hardware RT y los VIs host de LabVIEW. Se tiene la posibilidad de tener el mejor desempeño posible en tiempo real en el hardware RT para escribir programas de control de alto desempeño necesarios en ciclos de control donde el tiempo de ejecución es primordial.

##### **4.6.1 Desempeño de los VIs en tiempo real**

LabVIEW RT ejecuta los VIs de una manera determinada. En otras palabras, los VIs se ejecutan con las mismas características de tiempo en cada ejecución del VI. Por ejemplo, los ciclos de control se ejecutan a una frecuencia constante en cada iteración del ciclo. Con la finalidad de alcanzar un desempeño óptimo en tiempo real, es necesario entender ciertos conceptos de programación.



#### 4.6.2 Prioridad crítica de tiempo

En un sistema operativo en tiempo real los eventos e interrupciones tienen cierta prioridad, con algunos eventos teniendo altas prioridades ejecutándose antes que aquellos que tienen prioridades menores.

En un sistema de tiempo real, tal como el que se tiene en el hardware RT, las tareas de prioridad mayor siempre son ejecutadas antes que las que tienen prioridades menores. Por lo tanto, para asegurar que el VI se ejecute de tal forma que el tiempo de ejecución sea crítico se tienen que establecer las prioridades del VI para un desempeño basado en el tiempo de ejecución del programa. Para hacer esto se tienen que seguir los siguientes pasos:

1. Hacer clic en el icono del VI y seleccionar VI Setup....
2. Seleccionar Execution Options de menú.
3. Seleccionar time critical priority (highest)

#### 4.6.3 Ambiente LabVIEW RT en tiempo real

El que en el sistema se este ejecutando un VI con prioridad mayor que la establecida por las condiciones del sistema en sí, significa que, el VI necesita de más recursos del sistema que los que se tienen originalmente dados por el sistema en condiciones normales. Al hacer que un VI sea ejecutado con el modo de prioridad máxima podría traer consecuencias inesperadas. Aunque el ambiente en tiempo real es multifunción, al ejecutar un VI con prioridad en el tiempo crítico de ejecución puede causar que se tenga ocupada la mayor parte de la capacidad del procesador haciendo que otras funciones o tareas no sean ejecutadas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tanto el panel frontal se actualiza en el sistema de desarrollo RT como el VI Server o la comunicación TCP/IP se ejecutan como tareas separadas en el hardware de las series RT. Por lo tanto, un VI que se ejecute con prioridad crítica de tiempo tal vez detenga la ejecución de algunas de esas tareas. Otros VIs escritos por el usuario ejecutándose en el hardware RT podrían ser también afectados.

Algunas funciones de LabVIEW permiten tener características en los VIs que hacen la función de un temporizador el cual permite que un VI se ejecute y que alguna tarea dentro del mismo pueda detenerse por un periodo de tiempo determinado para que otras tareas tengan oportunidad de ejecutarse sin ningún problema. Algunas de estas funciones son "The metronome" y "The stopwatch" que se pueden encontrar en la paleta Function>>Time and Dialog, figura 31.



Figura 31. Funciones de temporización.

En general "The metronome" es preferido más que "The stopwatch" por que puede ser utilizado para establecer un tiempo de ejecución del ciclo conocido o determinado por el usuario ya sea como constante o como una variable. Por ejemplo, colocando "The metronome" en un ciclo "While" dentro de un VI con una constante de 5 conectada a él, ejecutará el ciclo una vez cada 5 ms o con una velocidad de ciclo de 200 Hz. Si el VI se está ejecutando con prioridad de tiempo crítica, esa velocidad del ciclo está garantizada considerando que el ciclo se puede completar en la cantidad de tiempo dada. Cualquier tiempo extra que no se ocupe es regresado al procesador para realizar otras tareas. Si no queda ningún tiempo extra, ninguna otra tarea podrá entonces ejecutarse. De ésta forma, aún un VI el cual espera tal vez sea mucho más complicado que permita que otras tareas sean ejecutadas.

Actualmente no existe algún método que permita que un VI pueda esperar menos de 1 ms. Por lo que, ningún VI con un ciclo de espera dentro puede ejecutar ese ciclo más rápido de 1 kHz.

#### 4.7 Ejecución de un VI con prioridad de tiempo crítica en el sistema de desarrollo RT

Si se ejecuta un VI con prioridad de tiempo crítica en el hardware RT el cual no espera, el VI toma el control del procesador del hardware RT. Esto puede hacer que no se haga posible la interacción con el panel frontal del VI e incluso imposible de detener la ejecución del VI utilizando el botón para detener la ejecución en curso. No existe ningún problema con el VI o con LabVIEW RT si es que esto ocurre. Esto quiere decir que la tarjeta de la serie RT está demasiado ocupada para comunicarse con el sistema de desarrollo mientras que el VI de prioridad de tiempo crítica esta ejecutándose. Para evitar que esto suceda mientras en desarrollo y las pruebas del VI, se pone el VI a la prioridad menor a la que en realidad se desea tenerlo. Después de que se ha terminado la etapa de desarrollo se puede establecer la prioridad mayor adecuada al nivel que se desee.

Al ejecutar un VI que espera una prioridad crítica de tiempo es regularmente aceptable durante el desarrollo al mismo tiempo que el sistema de desarrollo RT puede utilizar el tiempo en el que la tarea espera para realizar las tareas de comunicación. Sin embargo, si el VI es altamente demandante o no es capaz de completar la ejecución en el tiempo permitido, entonces la espera no se realiza y el sistema de desarrollo RT no es capaz de comunicarse con la tarjeta de la serie RT. Aún si el ciclo se alcanza a completar, pero deja sólo una pequeña fracción del tiempo disponible en el procesador para la tarea de comunicación del sistema de desarrollo RT, la interacción con el VI parecerá no responder.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Si el VI embebido de LabVIEW RT utiliza todos los recursos del procesador de la tarjeta de la serie RT, no será posible la comunicación con el VI embebido. El sistema de desarrollo RT muestra una ventana de diálogo que la comunicación entre el sistema de desarrollo RT y la máquina RT se ha perdido. En ésta ventana de diálogo se encuentra el botón Abort el cual cierra el sistema de desarrollo RT para poder así reestablecer la tarjeta RT.

#### **4.8 Ejecución de un VI con prioridad de tiempo crítica sin el sistema de desarrollo RT**

Una forma de mejorar el desempeño del sistema es ejecutando el VI en el hardware RT sin el sistema de desarrollo RT. Cuando se realiza de éste modo, el VI solo necesita ocupar el tiempo que sea requerido para que se realice la comunicación TCP/IP o vía VI Server la cual puede requerir menor tiempo que el requerido por el sistema de desarrollo RT para comunicarse. Un VI puede incluso tener acceso a la memoria compartida de cierta forma que no tenga que consumir tiempo del procesador lo cual le da el mayor desempeño posible del hardware RT. Al leer directamente de la memoria compartida y escribiendo directamente en ella, es comúnmente, una técnica de programación que puede ser especialmente útil para desarrollar aplicaciones en LabVIEW RT. Determinados ciclos de control que excedan 1 kHz son posibles cuando se utiliza éste método.

Mientras que Windows NT no permite la función de leer y escribir en la memoria compartida en la PC, la memoria compartida del procesador RT permite esta acción.

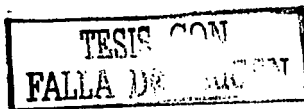
#### 4.9 Consideraciones importantes en la configuración

La máquina RT es descargada al hardware RT cuando el hardware es reestablecido por lo que la información de la configuración es enviada en ese momento. Si se realiza cualquier cambio en la información de la configuración de la tarjeta desde el explorador MAX (Measurement and Automation Explorer) se debe de reiniciar LabVIEW RT y reestablecer el hardware RT para hacer que los cambios se den de alta en el sistema.

Los canales virtuales, SCSI y diferentes accesorios se pueden utilizar en el hardware RT pero sus descripciones son descargadas a la tarjeta cuando ésta es reestablecida. Si se añade un nuevo canal o se cambian los parámetros de uno ya existente utilizando el explorador MAX se debe de reestablecer el hardware RT para que los cambios tengan efecto. Sin embargo, lo contrario a los canales virtuales, los parámetros de la tarjeta o la información de la configuración de los accesorios puede determinarse por programa dentro de un VI sin la necesidad de abrir el explorador MAX. Por lo que, se pueden hacer los cambios a través del programa en el VI sin la necesidad de reestablecer el hardware.

#### 4.10 Desempeño de los VIs de las series RT

Existe un gran número de métodos que se pueden utilizar para mejorar considerablemente el desempeño de cualquier programa de LabVIEW desde que el desempeño y los requerimientos de tiempo crítico van de la mano. Además, desde que las prioridades y la comunicación juegan un papel importante en LabVIEW RT, el entender estos conceptos es importante para cualquier tipo de desarrollo de programas de alto nivel.



#### 4.11 Uso de la memoria compartida

El utilizar las propiedades de lectura y escritura directamente en la memoria compartida ofrece la oportunidad de tener un mejor desempeño. Desde que la memoria compartida puede ser manipulada tanto por una aplicación host de LabVIEW que por un VI embebido de LabVIEW, un programa del estilo de un ciclo de control puede ser escrito el cual no tiene por que hacer más lento el desempeño del sistema o provocar la pérdida de la comunicación con el sistema host.

#### 4.12 Desarrollo de ciclos eficientes

La parte más demandante de tiempo de cualquier operación de adquisición DAQ en el hardware de las series RT en la configuración. Si es posible se tiene que tratar de utilizar los VIs intermedios o avanzados para así poder realizar la configuración afuera del ciclo principal. Si se utilizan los VIs básicos de adquisición de datos, se tiene que conectar el número de iteración del ciclo al VI con lo que la configuración sólo se lleva a cabo una sola vez. Con esto, si un control o un indicador es colocado dentro del ciclo y en VI esta siendo ejecutado en el sistema de desarrollo RT, el VI trata de comunicarse entre el hardware RT y LabVIEW RT ejecutándose en la computadora principal. Esto no afecta el desempeño si el VI se esta ejecutando en prioridad de tiempo crítica, pero afectará el desempeño de la comunicación haciendo parecer al sistema de desarrollo lento y sin capacidad de responder como se mencionó anteriormente.

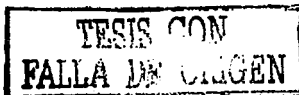
Se tienen que mantener operaciones redundantes e innecesarias fuera del ciclo en donde se necesita tener el desempeño máximo. Por ejemplo, LabVIEW RT proporciona un conjunto de VIs los cuales leen y escriben para pasar arreglos de datos entre la aplicación host y el hardware RT pasando sólo un elemento en cada iteración. El costo de

transferencia de un arreglo en ocasiones mejora el desempeño dramáticamente desde que sólo una lectura o escritura es necesaria por cada iteración del ciclo mas que de varias.

Una de las opciones de prioridad disponibles para subVIs es la subrutina. Un subVI en la prioridad de subrutina se ejecuta en conjunto con el VI al que está asociado: Esto ahorra tiempo en la llamada que hace el VI principal haciendo que se ejecute el VI de manera suave y más rápida. Después de que un subVI es probado se tiene que establecer su prioridad a la de subrutina pero recordando que el VI de mayor nivel no puede tener una prioridad de subrutina por lo que se tiene que establecer como una prioridad de tiempo crítica.

Se tiene que evitar el copiar arreglos ya que puede requerir una cantidad de tiempo constante o lineal. Varias formas de hacer esto es pasar un arreglo inicializado del tamaño deseado a un ciclo de control mas que crear arreglos utilizando la función para crear arreglos en varias ocasiones. Se tiene que probar y experimentar en varias ocasiones para determinar exactamente cuanto tiempo está tomándole a cada iteración hacer su trabajo y si es posible, tratar de proporcionar la cantidad de tiempo suficiente para que se pueda llevar a cabo la comunicación con el hardware RT para que responda lo mejor posible.

Para medir aproximadamente el tiempo que le toma al VI en ser ejecutado se puede utilizar el VI llamado Benchmark Shell localizado en la siguiente dirección: Examples\RT\RTTutorial.llb.



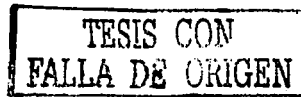
CAPÍTULO 5. IMPLEMENTACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS

**5.1 Introducción**

Las máquinas eléctricas, como siempre, adquieren mayor importancia en la forma como la industria las aplica para sus diferentes procesos y sistemas de diversas características involucrando diferentes tipos de señales como las analógicas y las digitales. El contenido de este trabajo se enfoca hacia los conocimientos básicos y siempre es posible relacionar la teoría con la práctica. Por esto se ha propuesto un método novedoso y mundialmente utilizado en la actualidad en el campo de la instrumentación para solventar el problema que implica el costo y el espacio que pudieran ocupar una diversidad de equipo de medición en un laboratorio; el cual es el diseño de Instrumentos Virtuales que cumplan las funciones de equipos ya existentes en el mercado.

LabVIEW tiene como objetivo ofrecer al usuario las herramientas necesarias para procesar, observar, almacenar y analizar señales reales adquiridas a través de una tarjeta o simuladas por el propio programa. El procesamiento de señales está relacionado a la representación, transformación y manipulación de señales y de la información que contiene. Los campos donde el procesamiento de señales tiene una función fundamental comprende entre otros: Comunicación de Datos, Voz e Imágenes, Biomédica, Acústica, Sonar, Sismología, Explotación Petrolera, Instrumentación, Robótica, Electrónica de Consumo y Multimedia.

El concepto de instrumentación virtual, es cada vez más conocido por las ventajas que esto conlleva. Primordialmente se obtiene la versatilidad al desarrollarse la instrumentación de acuerdo a las necesidades particulares de cada usuario. El medidor virtual se basa en usar la capacidad de procesamiento de una computadora, conjuntamente con una tarjeta de adquisición de datos. Este tipo de instrumento se puede usar para la medición de variables físicas en forma individual, así como para el manejo completo del





proceso de una industria. El instrumento desarrollado permite medir diferentes variables que influyen en el desempeño de un sistema o proceso de control y/o medición, como son voltajes, corrientes, velocidades, potencias, par entre otras. La finalidad de este trabajo es proponer un instrumento virtual para la adquisición y monitoreo de variables físicas dinámicas de máquinas eléctricas rotatorias utilizando un método sencillo y confiable, de igual forma permitir a los estudiantes de ingeniería conocer el desarrollo de este tipo de instrumentos y observar la influencia de la física y las matemáticas en su operación, así como construir un instrumento versátil para el desarrollo de nuevos trabajos de investigación y experimentación sobre máquinas eléctricas específicamente de motores eléctricos.

El concepto de instrumentación virtual nace a finales de la década de los 70, cuando la tecnología del microprocesador permite la idea de cambiar la operación de una máquina al cambiar la programación (software) en ésta.

El instrumento depende de las características de los sensores y de las características de la interfase que lo une con la computadora, esta interfase es la tarjeta de adquisición de datos y su convertidor analógico digital. Esta interfase convierte el valor analógico de un sensor a un valor digital. A su vez, se puede tener el tiempo en el que se desarrolló la medición, si está sincronizada con el reloj interno del microprocesador. Con estas dos entradas, aplicando el algoritmo adecuado el instrumento virtual puede presentar la información en un formato que sea el más conveniente para el usuario. Puede ser en una forma gráfica que sería comparable con la pantalla de un osciloscopio. Puede aplicarse una transformada de Fourier al vector de datos obtenido y presentar la información espectral de la señal capturada, dando los valores de amplitud en función de la frecuencia como lo daría un analizador de espectros o en cualquier formato que se requiera.

Truchard y Kodosky fueron los pioneros en el desarrollo de la instrumentación virtual. Los primeros trabajos se desarrollaron en lenguaje Basic, pero la toma de datos y su posterior tratamiento, análisis de resultados y preparación de informes eran operaciones manuales que consumían una gran cantidad de mano de obra muy calificada y costosa. Se

## CAPÍTULO 5 IMPLEMENTACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS

requería una forma más simple de procesamiento de la información. Esto se logró con el apoyo de la Universidad de Austin, Texas y la compañía National Instrument (NI) al desarrollarse en 1986 el programa LabVIEW. En la actualidad la mayoría de los fabricantes de tarjetas de adquisición de datos ha desarrollado su propio software que permite el desarrollo de instrumentación virtual cada vez más poderoso. En general estos programas permiten la conexión directa de los sistemas de medida a la computadora con una programación gráfica muy sencilla y el tratamiento de la información con toda la versatilidad de los programas informáticos en cuanto a tratamiento de la información y elaboración de informes. La programación es de modo gráfico. Las distintas operaciones vienen representadas por objetos, que se conectan mediante líneas que indican el flujo de los datos a través del programa. La idea principal de este tipo de programas es que los usuarios no necesiten escribir una sola línea de programación. Este tipo de programas da al personal de investigación y pruebas lo que la hoja de cálculo hizo para los contadores, economistas y otros especialistas que realizan cálculos con gran cantidad de datos. Permite recoger datos, almacenarlos, procesarlos con operaciones muy complejas y elaborar informes sin recurrir a programadores. De acuerdo con la capacidad de la PC, se puede llevar a cabo el control automático de procesos productivos. Otras aplicaciones incluyen el diagnóstico de fallos y el mantenimiento preventivo. Primero se plantearan las características del software y el equipo usado, posteriormente se presentará las pantallas del instrumento virtual en operación.

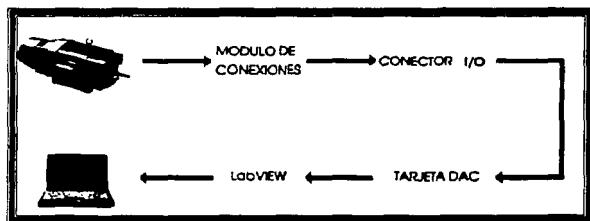
En este trabajo se desarrolló un instrumento virtual para la adquisición y monitoreo de variables físicas dinámicas de motores eléctricos, usando el programa LabVIEW RT versión 5.1 profesional y la tarjeta de adquisición de datos de National Instruments PCI-7030/6040.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**5.2 Descripción del sistema de adquisición y monitoreo**

La aplicación de un software para el monitoreo de señales eléctricas permitirá entender de una forma más sencilla y dinámica el comportamiento de una señal y los cambios que ésta presenta en las diferentes condiciones de operación de la máquina eléctrica; dado a que gracias a la interfaz gráfica se puede observar todos esos detalles importantes de este proceso verificando así las ecuaciones y teoremas que describen el funcionamiento de los motores eléctricos sin tener que lidiar con una gran cantidad de equipo ni conexiones.

La figura 1 muestra el diagrama esquemático del sistema el cual describe la secuencia en la cual las señal adquirida es procesada. Primero se tiene la unidad de prueba que es una máquina eléctrica rotatoria de corriente alterna la cual se conecta al sistema de monitoreo y adquisición mediante un módulo de conexiones que acondiciona la señal para posteriormente enviarla a través del conector I/O hacia la tarjeta de adquisición de datos incorporada a la PC y con ayuda del software de programación LabVIEW se realiza la interacción con el usuario mediante la interfaz gráfica.



**Figura 1. Sistema de monitoreo y almacenamiento de variables eléctricas de una máquina eléctrica rotatoria.**

En la figura 2 se tiene la implementación del sistema en el laboratorio.



**Figura 2. Implementación del sistema de monitoreo y almacenamiento de variables eléctricas.**

### **5.2.1 Módulo de conexiones**

Para realizar las mediciones correspondientes se tienen que acondicionar las señales a los niveles adecuados para el buen funcionamiento de la tarjeta de adquisición. Para este fin se implementó un módulo de conexiones el cual nos permite tener las señales adquiridas dentro de los rangos de entrada de la tarjeta. La siguiente figura muestra el módulo de conexiones.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

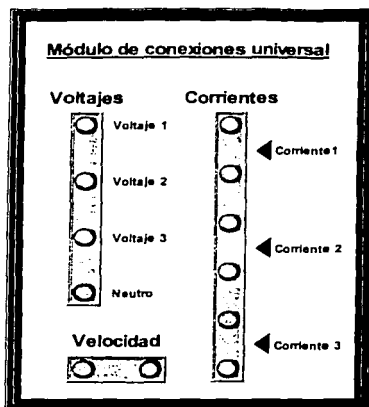


Figura 3. Módulo de conexiones.

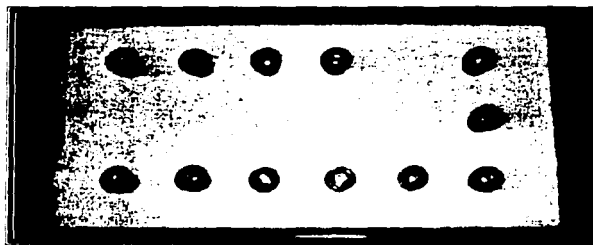


Figura 4. Implementación del módulo de conexiones.

Adicionalmente al módulo de conexiones se utilizaron transductores que nos permitieron transformar las variables a medir en voltajes como fueron el formado por un transformador de corriente y una resistencia de potencia, divisores de voltaje y un generador de corriente alterna.

El transformador de corriente nos permite realizar el acondicionamiento de la señal de corriente de línea de la máquina mediante una resistencia de potencia conectada entre los bornes del secundario del transformador para de ahí tomar la caída de voltaje generada en la resistencia debido a la corriente que pasa a través de ella tomando en cuenta la relación de transformación del TC (Transformador de Corriente) y haciendo la conversión utilizando la Ley de Ohm. El transformador de corriente utilizado es el que se muestra en la figura 5 el cual tiene una relación de transformación de 50/5 que se tomó en cuenta para realizar el cálculo y obtener el valor real de la corriente.



Figura 5. Transformador de corriente.

Para realizar la medición de velocidad se utilizó un generador de corriente alterna que proporciona un voltaje proporcional a la velocidad con que gira su rotor. Utilizamos la escala mayor para evitar manejar voltajes que pudieran exceder los rangos de la tarjeta utilizando un divisor de voltaje. La constante por la que multiplicamos el voltaje generado fue de 250 y por 2 debido al divisor para obtener el resultado que nos diera el valor correspondiente a la velocidad. En la siguiente figura se tiene el generador utilizado para medir la velocidad del motor.

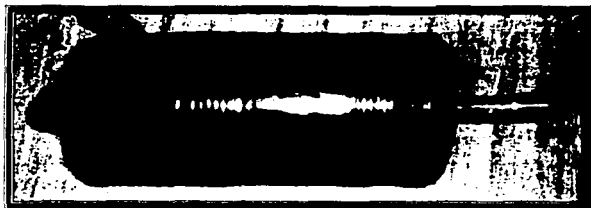


Figura 6. Generador de corriente alterna.

### 5.2.2 Conector I/O

Para que la tarjeta tenga una conexión física en todos sus canales se requiere de un conector de entradas y salidas que proporcione esta función. Para este caso se tiene el conector I/O SCB-68 mostrado en la figura 8.

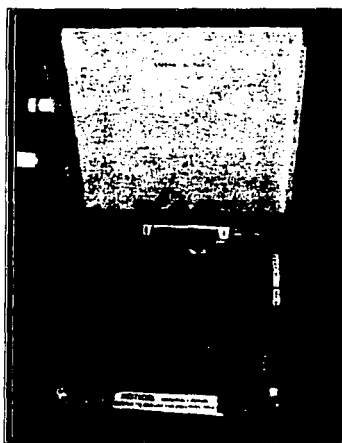


Figura 7. Conector I/O SCB-68.

### 5.2.3 Tarjeta de adquisición de datos

El instrumento virtual desarrollado a través de LabVIEW RT tiene la ventaja de poder observar los procesos matemáticos que se llevan a cabo. El programa LabVIEW RT es un programa de prestigio reconocido para el desarrollo de procesos matemáticos, de control y de monitoreo de la compañía National Instruments. Este programa además de la gran capacidad en el manejo de las operaciones matemáticas cuenta con utilerías de compatibilidad con diferentes programas, así como el enlace a tarjetas de adquisición de datos.

La tarjeta usada es la PCI-7030/6040 cuyas características básicas de entrada son:

Número de canales: 16 sencillos, 8 diferenciales.

Resolución: 12 Bits.

Velocidad de muestreo por canal: 500/250 kS/s.

Voltaje máximo de entrada:  $\pm 0.05$  a  $\pm 10$  V.

Salidas analógicas: 2.

Resolución: 12 bits.

Velocidad de muestreo de salida: 1 MS/s.

Voltaje máximo de salida:  $\pm 10$  V.

I/O digitales: 8.

Contadores y timers: 2, 24-bits.

Triggers: Analógicos y digitales.

Las lecturas se compararon con los instrumentos de medición tradicionales que permiten medir voltaje, corriente, potencias, velocidad y par.

Las figuras 9 y 10 muestran la forma en que la tarjeta de adquisición de datos se coloca dentro de la PC en el puerto PCI.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





Figura 8. Instalación de la tarjeta de adquisición de datos.



Figura 9. Tarjeta de adquisición de datos colocada en el puerto PCI de la PC.

### 5.3 Configuración de canales de entrada

La configuración de los canales de entrada de la tarjeta de adquisición se realiza por medio del explorador de medición y automatización MAX con el que se pueden configurar los canales virtuales utilizados en los VI de adquisición de datos de LabVIEW.

Los pasos a seguir para la configuración de cada uno de los canales se muestran a continuación.

1. Abrir el explorador MAX y seleccionar la carpeta "Data Neighborhood" como se muestra en la figura. Seleccionar la opción de insertar un nuevo canal virtual "Insert a new DAQ virtual channel" dentro de esta misma carpeta.

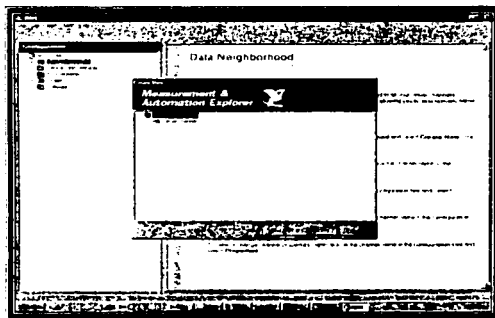
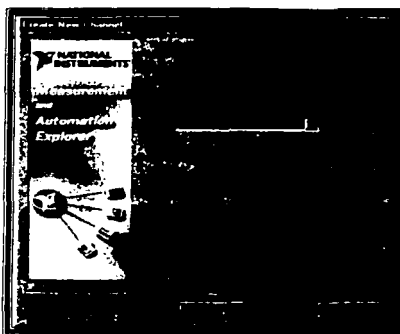


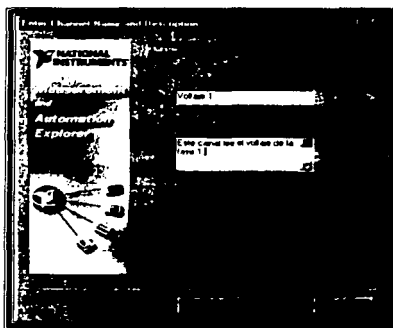
Figura 10. Creación de un canal virtual.

2. Después de haber seleccionado la creación de un nuevo canal virtual aparece la siguiente ventana en donde se especifica el tipo de canal que se desea configurar; en este caso se configuró como canales de entradas analógicas.



**Figura 11. Selección de canal de entrada analógica.**

3. En la siguiente ventana se le asigna un nombre al canal y se da una descripción del funcionamiento del mismo.



**Figura 12. Asignación del nombre del canal.**

4. El siguiente paso es determinar el tipo de sensor y de medición que se va a realizar.



Figura 13. Tipo de sensor y de medición.

5. A continuación se definen las unidades y el rango de la señal de entrada que se está controlando.

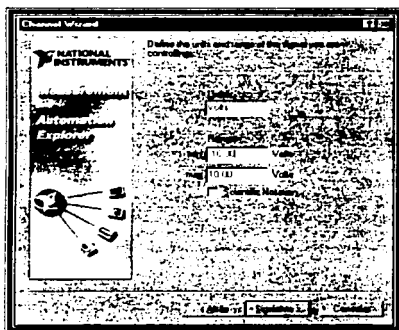


Figura 14. Definición de unidades y rango.

6. Se tiene que definir el tipo de escalamiento de la señal en la siguiente ventana.

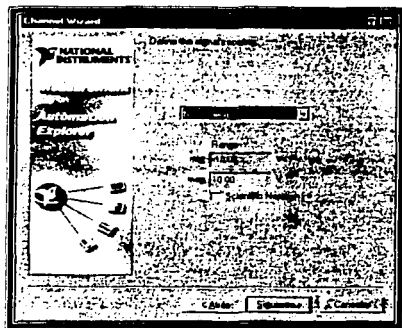


Figura 15. Escalamiento de la señal.

7. La ventana siguiente sirve para determinar el hardware que se está utilizando, en este caso la tarjeta de adquisición 6040E así como también el número de canal a configurar y su modo de conexión.

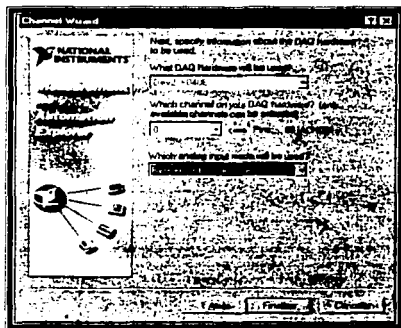


Figura 16. Especificación de hardware, canal y modo de conexión.

De esta forma queda ya configurado el canal especificado para la adquisición de señales. Para cada canal que se configuró se realizó el mismo procedimiento especificando para cada caso los parámetros particulares según el tipo de señal a medir.

#### **5.4 Panel frontal**

El panel frontal principal del sistema de monitoreo de variables está definido como el panel a través del cual se ofrece un acceso organizado hacia la aplicación deseada para el monitoreo y análisis de las señales adquiridas. Su justificación se basa en uno de los objetivos del sistema: ofrecer una interfaz gráfica, de fácil comprensión para un usuario con conocimientos muy generales en el manejo de computadoras.

El sistema de monitoreo y adquisición de variables cuenta con 6 aplicaciones principales y 4 aplicaciones secundarias, sustituyendo así a 11 equipos que cumplan las mismas funciones pero ocupando un mayor espacio y menos flexibilidad en lo que a diseño se refiere. a continuación se da una breve descripción de cada aplicación.

La figura 17 muestra el panel frontal del sistema de monitoreo de variables eléctricas.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

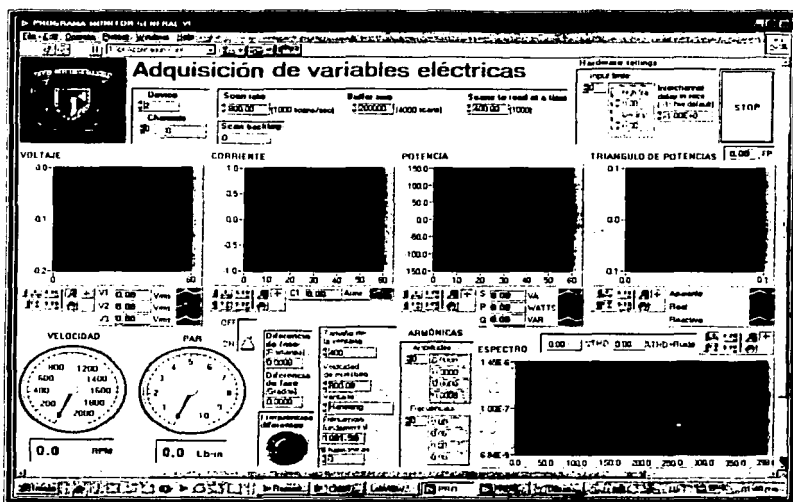


Figura 17. Panel frontal del sistema de monitoreo de variables eléctricas.

Las aplicaciones principales del sistema son:

- Voltaje de CA.
- Corriente de CA.
- Potencias.
- Velocidad.
- Par.
- Frecuencia.

### 5.4.1 Voltaje de CA

Las señales de voltaje son desplegadas en la gráfica que se muestra a continuación.

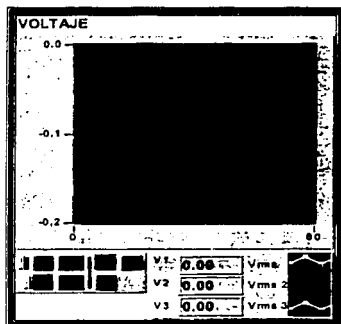


Figura 18. Gráfica de voltajes.

En esta gráfica se tienen diferentes funciones las cuales permiten manipular la señal desplegada para su mejor observación al igual que cuenta con indicadores digitales que muestran los valores RMS de los voltajes adquiridos de cada fase.

El código de programación con el que se realiza la adquisición de voltajes se muestra en la figura 19.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



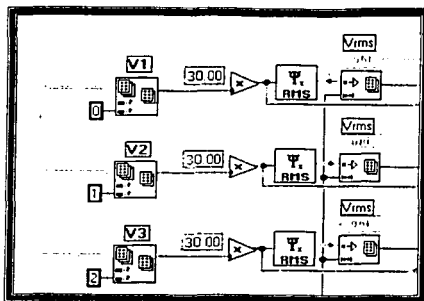


Figura 19. Código de programación para voltajes.

#### 5.4.2 Corriente de CA

La señal de corriente son desplegadas en la gráfica que se muestra a continuación.

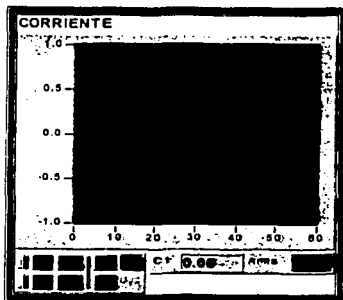


Figura 20. Gráfica de corriente.

Al igual que en la gráfica de voltajes, en ésta se tienen funciones semejantes así como el indicador del valor RMS de la corriente.

El código de programación con el que se realiza la adquisición de corriente se muestra en la figura 21.

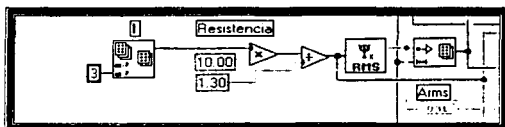


Figura 21. Código de programación para la corriente.

### 5.4.3 Potencias

El despliegue de las señales de potencias se realiza en la gráfica que se muestra en la siguiente figura.

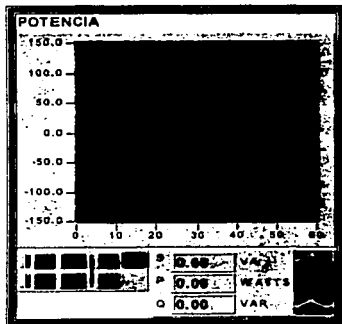


Figura 22. Gráficas de potencias.

Al igual que las gráficas anteriores se puede tener acceso a funciones que permiten observar y manipular la imagen y también se tienen los indicadores digitales que muestran los valores de las potencias aparente (S), real (P) y reactiva (Q).

Para realizar el cálculo de las potencias a través del código de programación se utilizaron los valores de voltaje y corriente adquiridos, el ángulo de desfaseamiento entre ellos y las siguientes fórmulas:

$$S = V_m I_m = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Potencia aparente.

$$P = V_m I_m \cos(\theta)$$

Potencia real.

$$Q = V_m I_m \sin(\theta)$$

Potencia aparente.

Los valores obtenidos de estas ecuaciones son para un sistema monofásico por lo que multiplicamos cada uno de ellos por 3 para así tener los valores para los sistemas trifásicos considerando que éstos están balanceados.

El código de programación con el que se realiza el cálculo de las potencias se muestra en la figura 7.

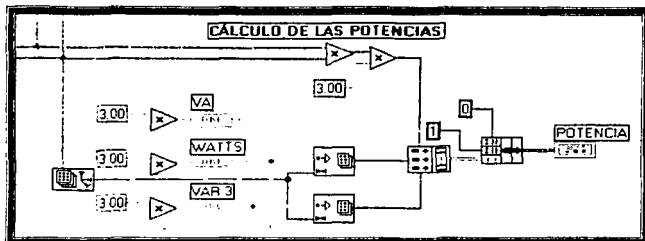


Figura 23. Código de programación para potencias.

#### 5.4.4 Velocidad

La velocidad se puede observar a través del indicador que se muestra en la figura 24.

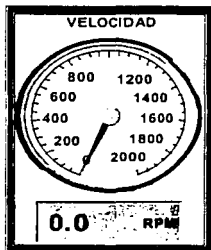


Figura 24. Indicador de velocidad.

El código de programación para la velocidad se muestra a continuación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

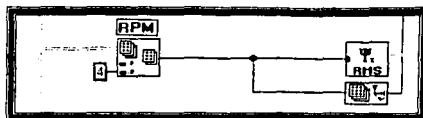


Figura 25. Código de programación para la velocidad.

#### 5.4.5 Par

Para la visualización del valor de par se utiliza un indicador semejante al de la velocidad y se muestra en la figura siguiente.

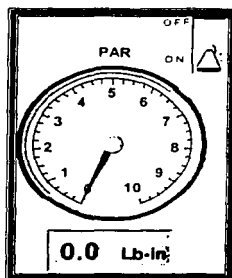


Figura 26. Indicador de par.

Para realizar el cálculo del par se utilizaron los valores de voltaje, corriente, velocidad y la eficiencia de la máquina aplicando las siguientes fórmulas.

$$T = (5252 \cdot HP) / \text{rpm}$$

Par.

$$\text{Eficiencia} = (\text{HP} \cdot 746) / (\text{V} \cdot \text{I})$$

Eficiencia.

$$\text{HP} = (\text{V} \cdot \text{I} \cdot \text{Ef}) / 746$$

Caballos de fuerza.

El código de programación utilizado para el cálculo del par es el que se muestra a continuación.

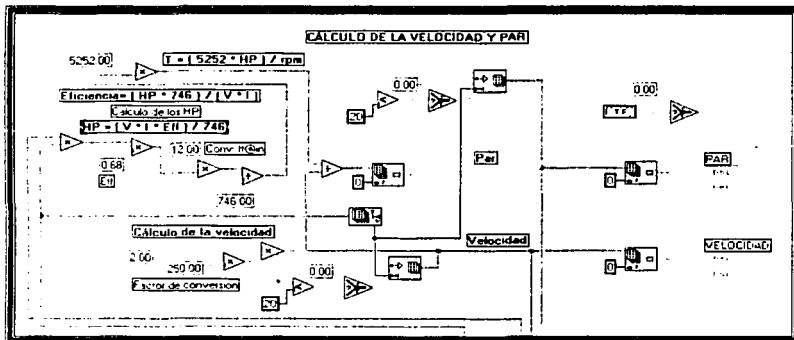


Figura 27. Código de programación para el par.

#### 5.4.6 Frecuencia

El monitoreo de la frecuencia lo llevamos a cabo a través de un indicador digital el cual se muestra en la siguiente figura.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

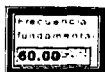


Figura 28. Indicador de frecuencia.

Para realizar el cálculo de la frecuencia se utilizaron subVIs específicos de LabVIEW los cuales se muestran en el siguiente código de programación.

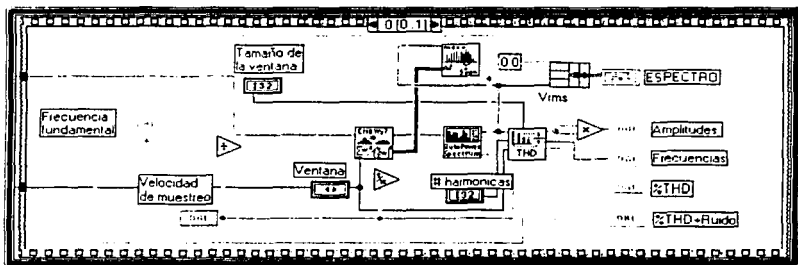


Figura 29. Código de programación para la frecuencia.

Las aplicaciones secundarias del sistema son:

- Factor de Potencia.
- Triángulo de potencias.
- Espectro y análisis armónico de frecuencias.

#### 5.4.7 Factor de potencia

El factor de potencia se visualiza a través de un indicador digital como se muestra en la figura 30.

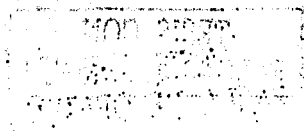




Figura 30. Indicador de factor de potencia.

Para realizar el cálculo del factor de potencia se calculó el ángulo de desfaseamiento ( $\theta$ ) entre las señales de voltaje y de corriente mediante el siguiente código.

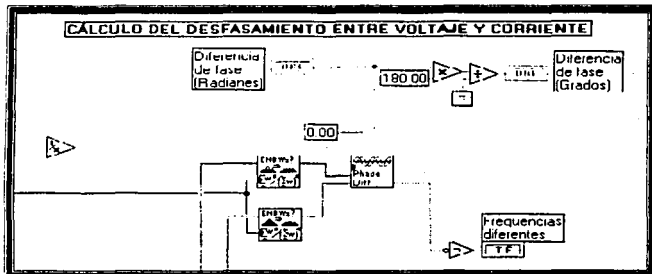


Figura 31. Código de programación para el ángulo de desfaseamiento ( $\theta$ ) entre el voltaje y la corriente.

Los valores obtenidos a través de este cálculo se muestran en el panel frontal mediante los siguientes indicadores mostrados en la siguiente figura.

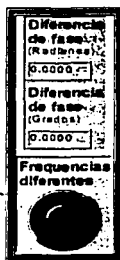


Figura 32. Indicadores del ángulo de desfaseamiento entre voltaje y corriente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Ya con el valor del ángulo de desfase  $\theta$  se calcula el factor de potencia con la siguiente ecuación programada como se muestra en la figura 33.

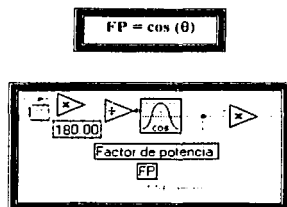


Figura 33. Código de programación para el factor de potencia.

#### 5.4.8 Triángulo de potencias

El tener una gráfica que nos muestre el triángulo de potencias nos permite observar la relación que existe entre las potencias y el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente y esto lo podemos observar a través de la siguiente gráfica que tiene funciones semejantes a las gráficas anteriores.

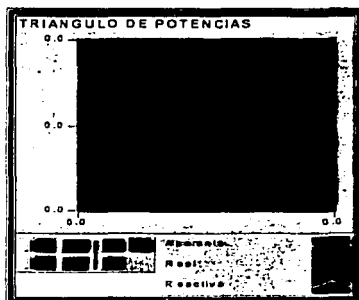


Figura 34. Gráfica del triángulo de potencias.

Para poder desplegar el triángulo de potencias se realiza el cálculo de los vectores que representan a las mismas a través del código que se muestra a continuación.

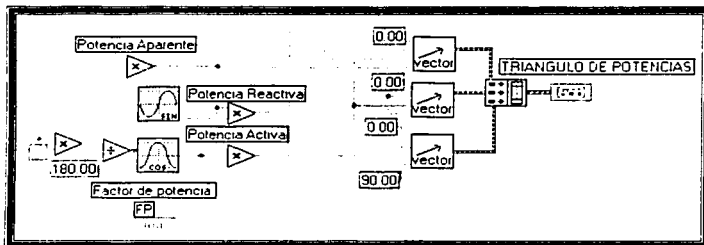


Figura 35. Código de programación para el triángulo de potencias.

#### 5.4.9 Espectro y análisis armónico de frecuencias

Para observar el comportamiento de la señal de corriente se utiliza el espectro de frecuencias y su composición armónica el cual se muestra en la figura .

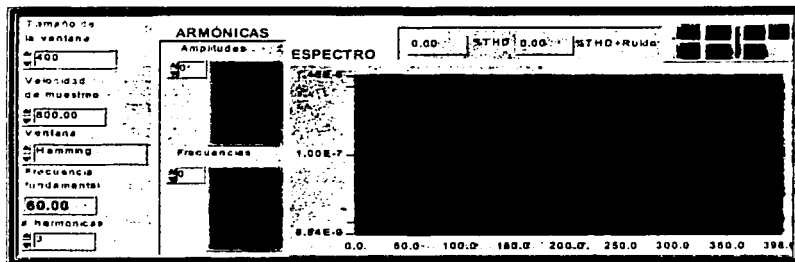


Figura 36. Gráfica e indicadores para el análisis en frecuencias.

## CAPÍTULO 5 IMPLEMENTACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS

En este grupo de indicadores se pueden observar los parámetros necesarios para realizar el análisis en frecuencia como son: número de muestras, velocidad de muestreo, tipo de ventana aplicada a la señal en el dominio del tiempo, frecuencia fundamental, número de armónicas que se quieren calcular así como sus respectivas amplitudes y frecuencias.

El código de programación utilizado para la realización de éste análisis en frecuencias se muestra en la siguiente figura.

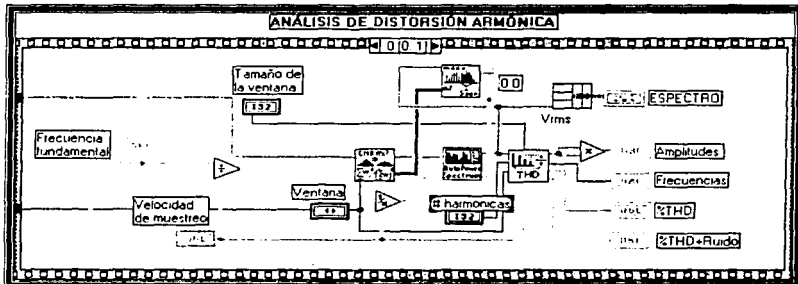


Figura 37. Código de programación para el análisis en frecuencia.

El panel frontal cuenta con otros indicadores y controles que son propios del funcionamiento del sistema y se describen a continuación.

Estos elementos adicionales permiten que el sistema funcione de manera óptima y determinar su configuración; estos son los siguientes: número de dispositivo, canales, velocidad de muestreo, tamaño del buffer, número de muestras, número de muestras no

## CAPÍTULO 5 IMPLEMENTACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS

leídas, los límites de la señal de entrada y el botón de paro. La figura 38 y 39 muestran estos elementos como se tienen en el panel frontal.

The screenshot shows a control panel with the following fields and values:

Device	Scan rate	Buffer size	Scans to read at a time
2	500.00 (1000 scans/sec)	20000.0 (4000 scans)	500.00 (1000)
Channels	Scan backlog		
0 5	0		

Figura 38.

The screenshot shows a control panel titled "Hardware settings" with the following fields and values:

Input time	Interchannel delay in secs	Stop
50	1.00E+000	STOP

Figura 39.

### 5.5 Adquisición de datos

La adquisición de datos se realiza por medio del programa desarrollado en LabVIEW a través del siguiente código programado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

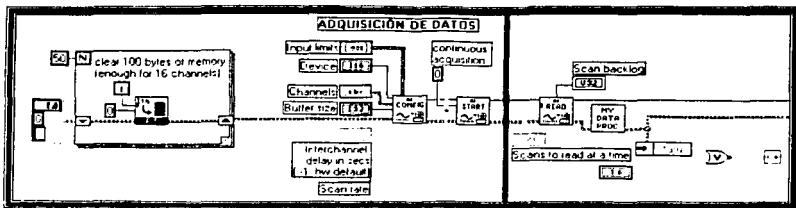


Figura 40. Programa de adquisición de datos.

Primero se realiza la configuración del dispositivo, ya teniendo los parámetros del mismo comienza la adquisición de datos. Posteriormente se almacena en un buffer el cual es leído verificando si la lectura fue completa o no. Si se completó la lectura se toma la información almacenada en el buffer para una nueva adquisición y lectura; en caso de que no se complete la lectura se vuelven a leer los datos del buffer. Este procedimiento se muestra en el siguiente diagrama de flujo.

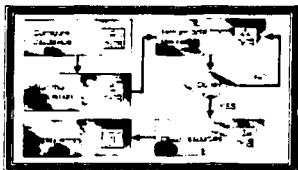


Figura 41. Adquisición continua.

### 5.6 Comunicación con la memoria compartida

Debido a que la tarjeta de adquisición PCI-7030/6040E cuenta con un procesador independiente la aplicación que se ejecuta en la tarjeta tiene que tener comunicación con la aplicación en la PC. Para esto se realiza una programación específica que permite la

comunicación entre estos dos dispositivos. La figura 42 muestra el código de programación para este propósito.

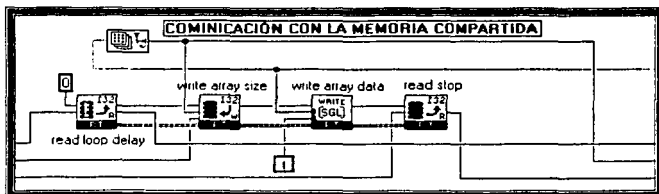


Figura 42. Comunicación con la memoria compartida.

### 5.7 Lectura de datos de la memoria compartida

Para poder tener acceso a los datos que se escriben en la memoria compartida entre la tarjeta y la PC se utilizó un programa el cual lee la información registrada anteriormente para después poder manipularla y guardarla a un archivo.

En la siguiente figura se muestra la parte del código que lee los datos almacenados en la memoria compartida.

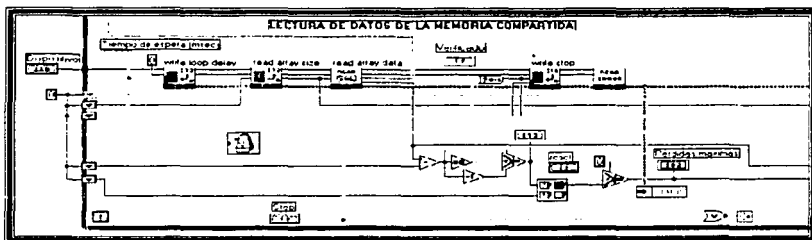


Figura 43. Lectura de datos de la memoria compartida.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**5.8 Almacenamiento de datos en archivo**

Ya realizada la adquisición y manejo de información, LabVIEW por medio de sus funciones nos permite almacenar toda la información en archivos de diferentes tipos como por ejemplo archivos de texto, de hojas de cálculo, etc. Para este sistema se especificó que los datos se guardaran en un archivo de una hoja de cálculo dándole la extensión correspondiente (.xls) como se muestra en la siguiente figura.

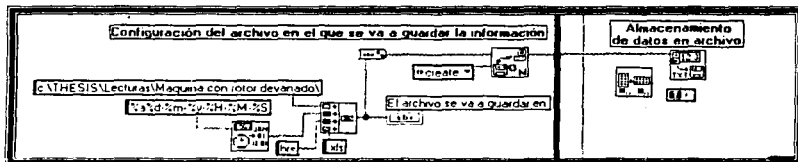


Figura 44. Almacenamiento de datos en un archivo de hoja de cálculo.

Así es como finalmente quedo implementado el sistema de monitoreo y adquisición de variables eléctricas de motores de CA.

MOD 21237  
 2000/01/01

CAPÍTULO 6. PRUEBAS DE MONITOREO Y ADQUISICIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS

Las pruebas se realizaron a cinco diferentes motores eléctricos de CA con la finalidad de observar los diferentes comportamientos de las máquinas en cada caso. Los motores que se utilizaron en las pruebas fueron los siguientes:

- Máquina síncrona
- Motor con capacitor de arranque
- Motor universal
- Motor de inducción con rotor devanado
- Motor de inducción jaula de ardilla

La figura 1 muestra las máquinas eléctricas utilizadas en las pruebas.

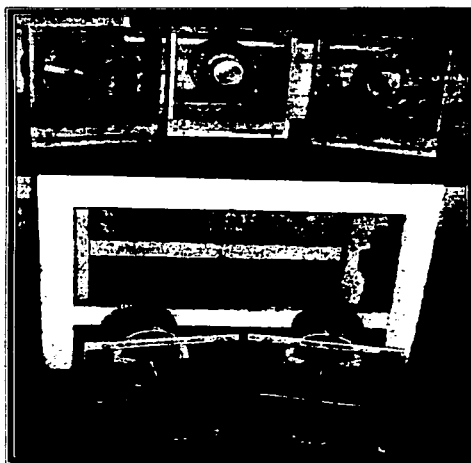


Figura 1. Motores eléctricos utilizados en las pruebas.

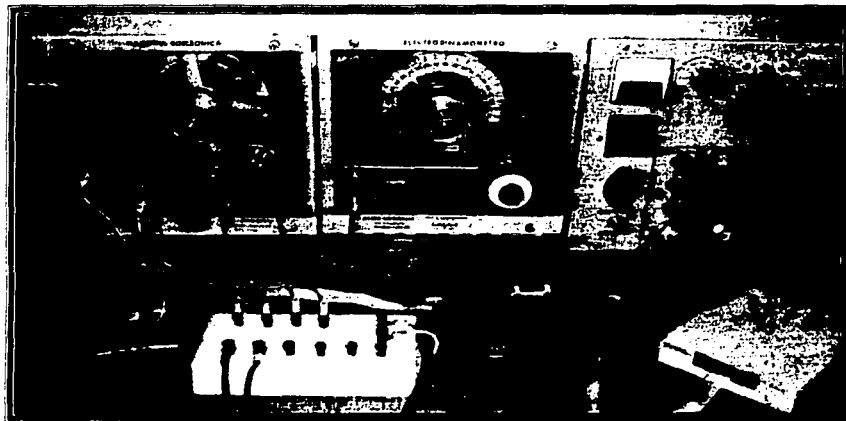
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **6.1 Máquina Síncrona**

“La máquina síncrona tiene la particularidad de que su velocidad es constante en todas las condiciones de carga que haya hasta carga completa. Esta velocidad constante se puede conservar incluso en condiciones en las que el voltaje de línea sea variable. Por lo tanto, se trata de un motor útil para condiciones en donde se requiere conocer con precisión la velocidad y donde ésta debe ser invariable”.<sup>1</sup>

Las figuras 2 y 3 muestran la forma en que se implemento el sistema para es desarrollo de las pruebas a ésta máquina.



**Figura 2. Implementación de la prueba a la máquina síncrona.**

<sup>1</sup> Theodore Wildi, Michel J. de Vito. Experimento con equipo eléctrico. Pág. 23-2



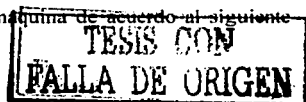
Figura 3. Implementación de la prueba a la máquina síncrona.

### 6.1.1 Valores nominales

HP	1/4	
Voltaje	120	Volts
Corriente	4.6	Amper
Frecuencia	60	Hz
Eficiencia	87	%
Velocidad	1800	RPM

### 6.1.2 Pruebas

Para la realización de esta prueba se conectó la máquina de acuerdo al siguiente diagrama de conexiones.



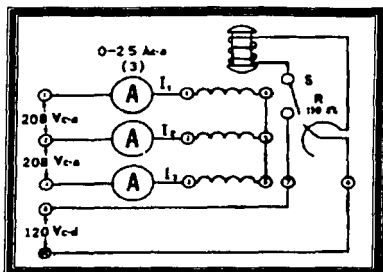


Figura 4. Diagrama de conexiones de la máquina síncrona.

### 6.1.2.1 Prueba sin campo y sin carga

El siguiente panel frontal fue el que obtuvimos al realizar la prueba a la máquina síncrona sin campo y sin carga mostrando las gráficas y valores correspondientes para cada variable.

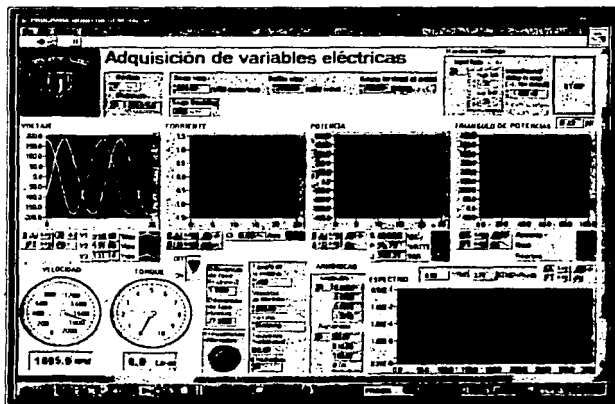


Figura 5. Variables registradas de la máquina síncrona sin campo y sin carga.

Los valores de las variables medidas y calculadas como se mencionó anteriormente son almacenados en un archivo de una hoja de cálculo por lo que nos permite realizar análisis posteriores con los cuales vamos a poder describir el comportamiento de cada variable a través de su representación gráfica.

**6.1.2.1.1 Gráficas de voltajes**

En esta gráfica se observan los valores de los voltajes de las tres fases que alimentan al motor síncrono. En ésta gráfica se pueden observar las formas de onda de las señales y los desfases entre éstas de 120°.

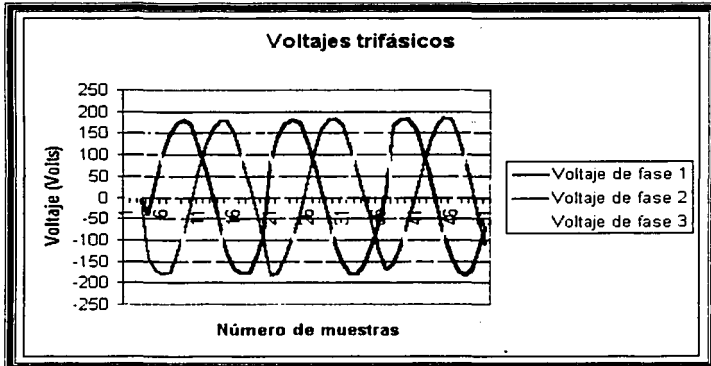


Figura 6. Voltajes trifásicos.

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

**6.1.2.1.2 Gráfica de corriente**

En esta gráfica se muestra que la corriente de arranque alcanza un valor pico aproximado de 5 A que es cuando el motor demanda una gran cantidad de corriente para su arranque estabilizándose rápidamente a un valor pico aproximado de 1.3 A.

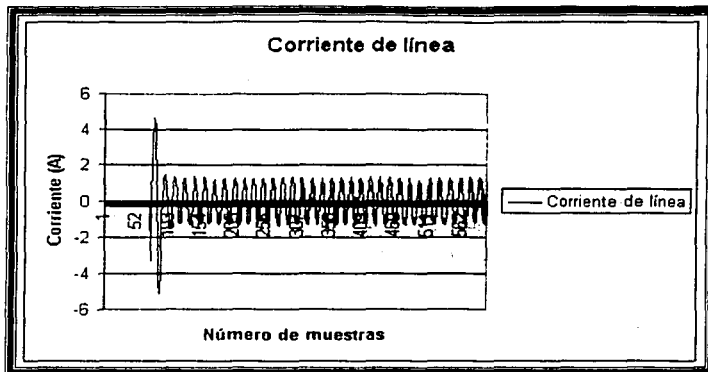


Figura 7. Corriente de línea.

6.1.2.1.3 Gráficas de potencias

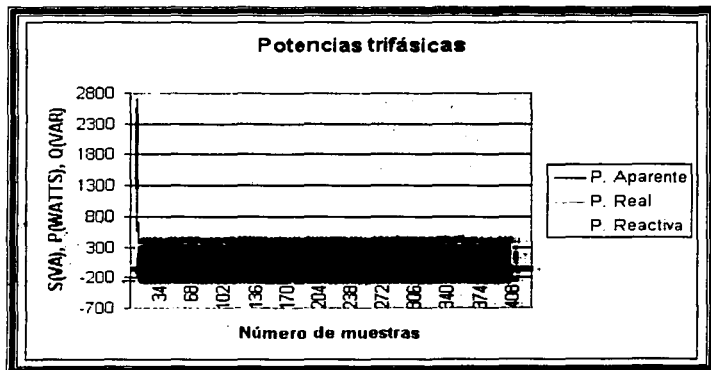


Figura 8. Potencias trifásicas.

En las gráficas se muestran los valores de las potencias calculadas a partir de los valores de voltaje, corriente y el ángulo de desfaseamiento entre ellos. Nótese que la potencia reactiva es mucho mayor a la real. Debido al tipo de carga en este caso un motor que representa una carga inductiva se tiene que la potencia real es pequeña en comparación con la reactiva. El pico de potencia aparente al arranque se debe al incremento de la corriente debido a éste.

**6.1.2.1.4 Gráfica de velocidad**

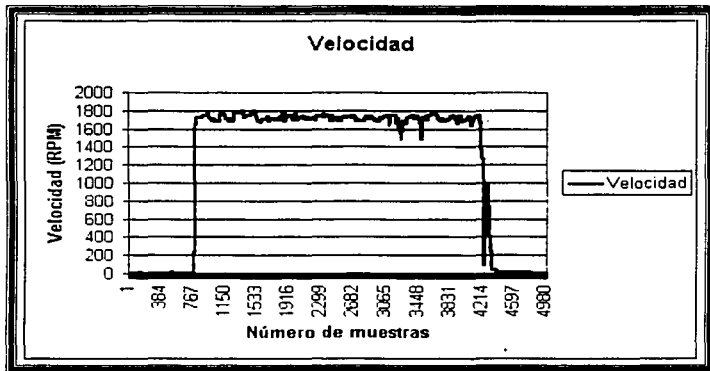


Figura 9. Velocidad.

En esta gráfica de velocidad se observar el comportamiento de la velocidad relativamente constante desde el arranque hasta el paro del motor.

FALTA DE ORIGEN  
TESIS CON

**6.1.2.2 Prueba con campo y sin carga variando la resistencia (mínima y máxima)**

El siguiente panel frontal muestra los valores adquiridos durante esta prueba.

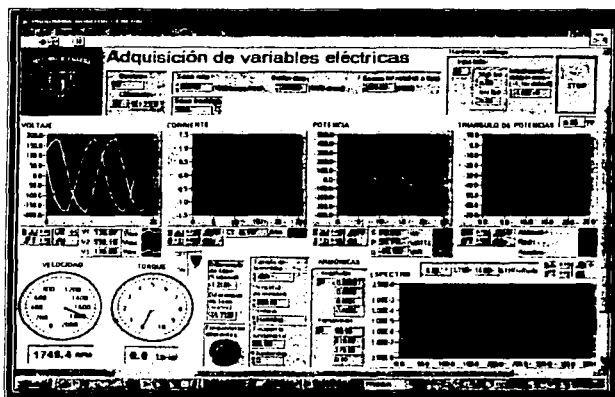
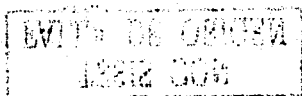


Figura 10. Variables registradas de la máquina síncrona con campo y sin carga(resistencia mínima).

En las gráficas de corriente, potencias y triángulo de potencias se ven cambios con respecto a la condición anterior. El ángulo de desfase cambia de tal forma que el triángulo de potencias refleja el que el motor no representa un comportamiento inductivo.

El siguiente panel frontal muestra la operación de la máquina sin carga con campo y resistencia máxima. Notando que el ángulo de desfase entre voltaje y corriente se invierte siempre que se va de extremo a extremo en los valores de la resistencia.



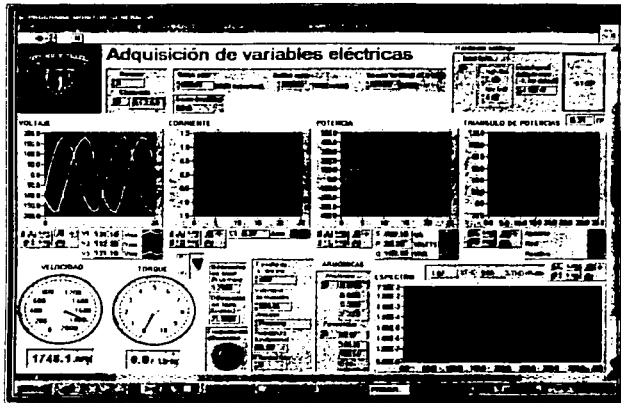


Figura 11. Variables registradas de la máquina síncrona con campo y sin carga(resistencia máxima).

### 6.1.2.2.1 Gráficas de voltajes

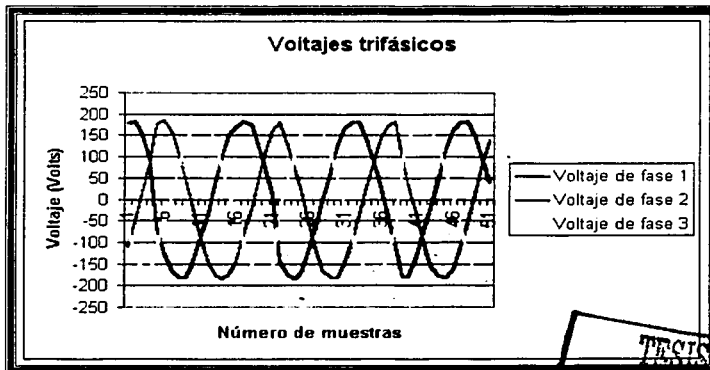


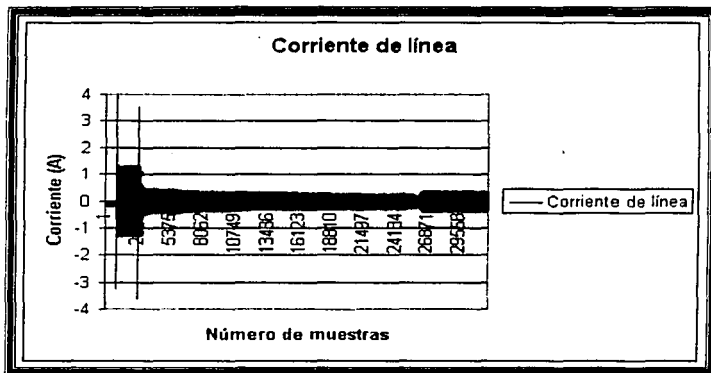
Figura 12. Voltajes trifásicos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Al igual que en la condición de operación anterior, los voltajes de alimentación se mantienen constantes.

**6.1.2.2.2 Gráfica de corriente**



**Figura 13. Corriente de línea.**

Las variaciones de corriente se pueden observar a lo largo de la gráfica debido a las variaciones de la resistencia del campo.

**6.1.2.2.3 Gráficas de potencias**

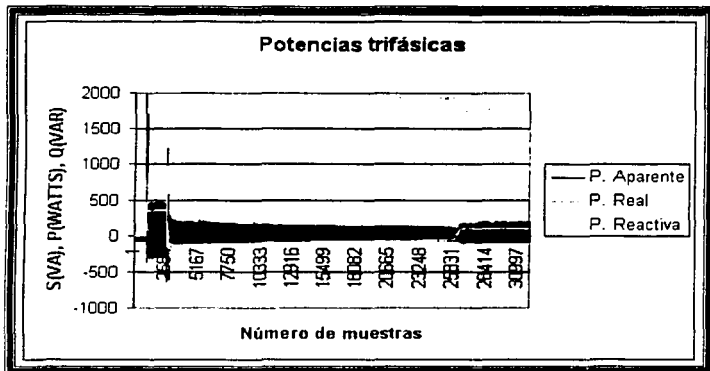


Figura 14. Potencias trifásicas.

En estas gráficas de potencias se ve como al ir modificando la resistencia de campo se varia también el ángulo de desfaseamiento entre voltajes y corrientes con lo que la potencia reactiva cambia de positiva a negativa ya que depende de el valor del ángulo.

**6.1.2.2.4 Gráfica de velocidad**

La siguiente gráfica de velocidad muestra que esta es constante sin importar las variaciones de carga durante la prueba.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

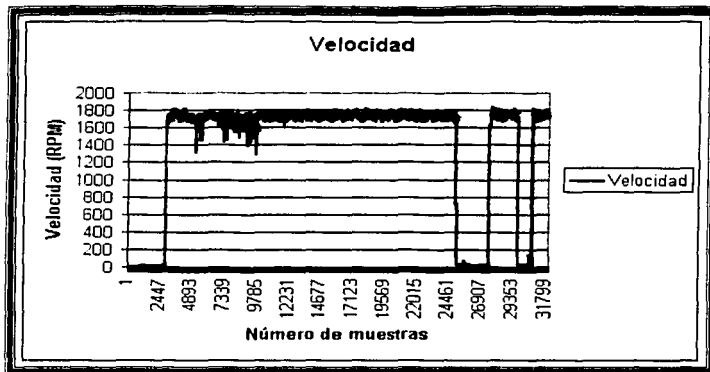


Figura 15. Velocidad.

### 6.1.2.3 Prueba con campo y con carga variando la resistencia (mínima y máxima)

El siguiente panel frontal muestra las variables adquiridas durante esta prueba.

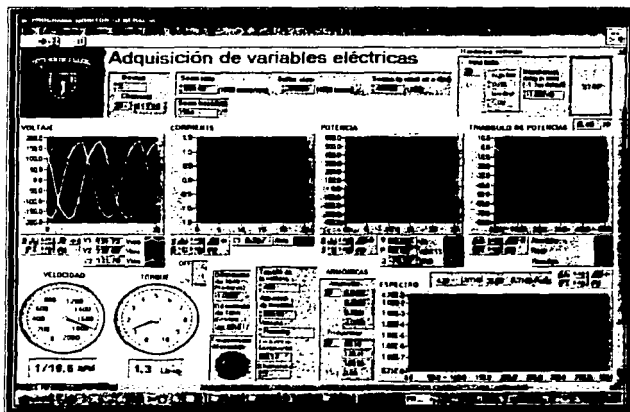


Figura 16. Variables registradas de la máquina síncrona con campo y con carga.

6.1.2.3.1 Gráficas de voltaje

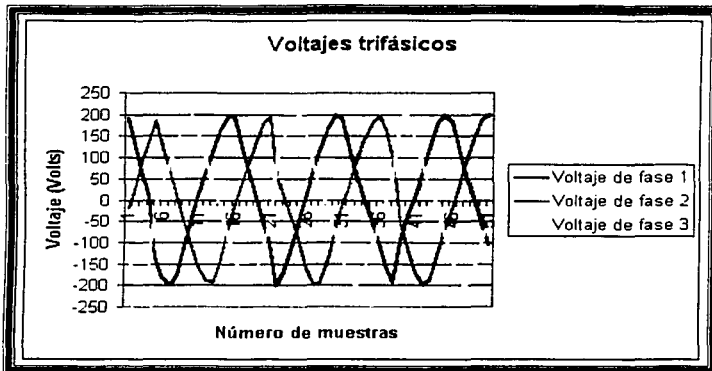


Figura 17. Voltajes trifásicos.

Los valores de voltaje son constantes durante la prueba y con un ángulo de desfaseamiento entre ellos de 120°.

6.1.2.3.2 Gráfica de corriente

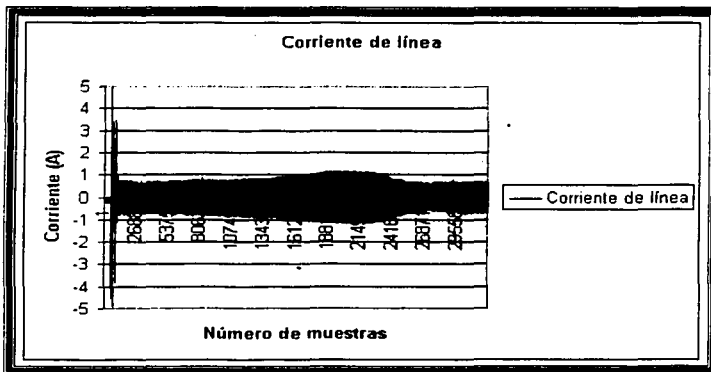


Figura 18. Corriente de línea.

En la gráfica se observa la variación de corriente a lo largo de la prueba de acuerdo a la variación de la carga.

**6.1.2.3 Gráficas de potencias**

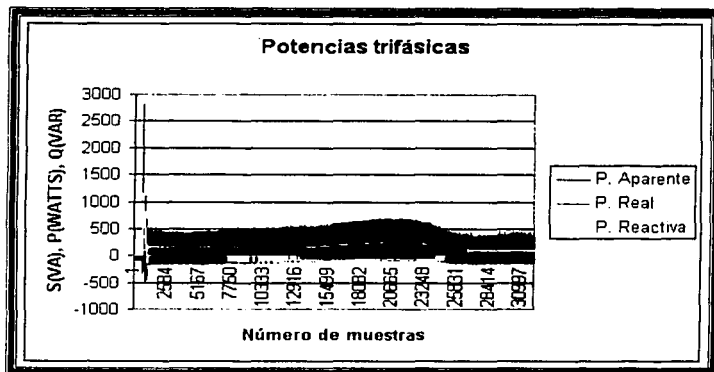


Figura 19. Potencias trifásicas.

La variación de corriente provocada por la variación de la carga produce una variación de potencias como se muestra en las gráficas. La potencia reactiva cambia de acuerdo a las variaciones de la resistencia del campo.

6.1.2.3.4 Gráfica de velocidad

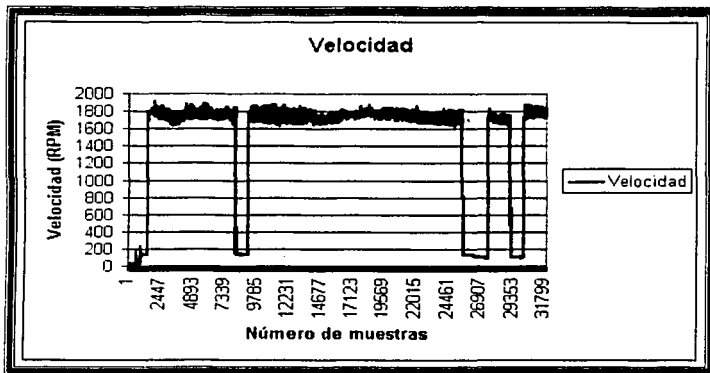


Figura 20. Velocidad.

La velocidad permanece constante a lo largo de la prueba sin importar las variaciones de carga ni de resistencia de campo.

6.1.2.3.5 Gráfica de par

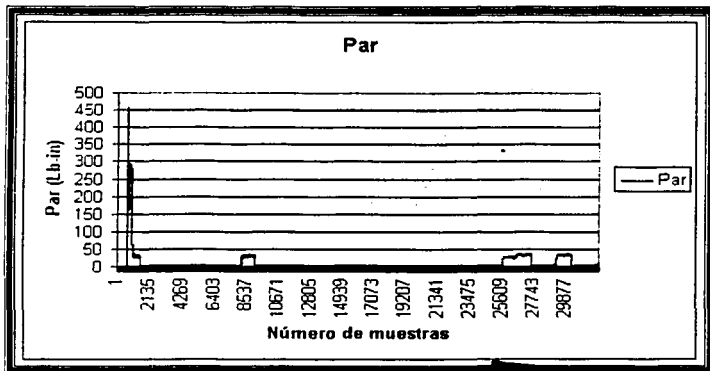


Figura 21. Par.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

En la gráfica anterior del par se puede apreciar la magnitud del par de arranque debido a la magnitud de corriente que demanda el motor en ese instante. La siguiente gráfica muestra la magnitud del par y su comportamiento debido a las variaciones de corriente producidas por el cambio de carga.

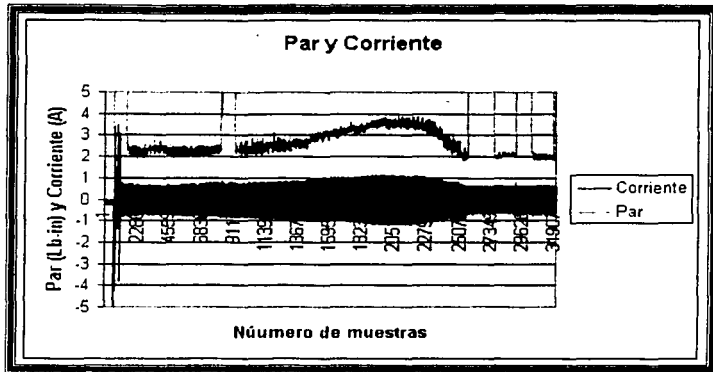


Figura 22. Par y corriente.

### 6.2 Motor con capacitor de arranque

“Se puede obtener la variación de fase más cercana a los 90°, mediante el sistema de arranque por capacitor para crear un campo giratorio en el estator. El capacitor y el devanado de arranque se desconecta mediante un interruptor centrífugo”.<sup>2</sup>

Las figuras 23 y 24 muestran la implementación del sistema para realizar estas pruebas.

<sup>2</sup> Ibid. Pág. 34-2 y 35-2

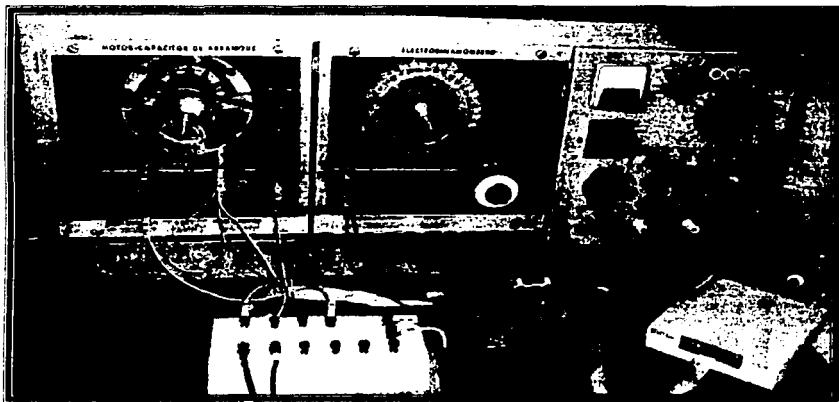


Figura 23. Implementación de la prueba al motor con capacitor de arranque.



Figura 24. Implementación de la prueba al motor con capacitor de arranque.



**6.2.1 Valores nominales**

HP	1/4	
Voltaje	120	Volts
Corriente	4.6	Amper
Frecuencia	60	Hz
Eficiencia	33	%
Velocidad	1715	RPM

**6.2.2 Pruebas**

Para la realización de esta prueba se conectó la máquina de acuerdo al siguiente diagrama de conexiones.

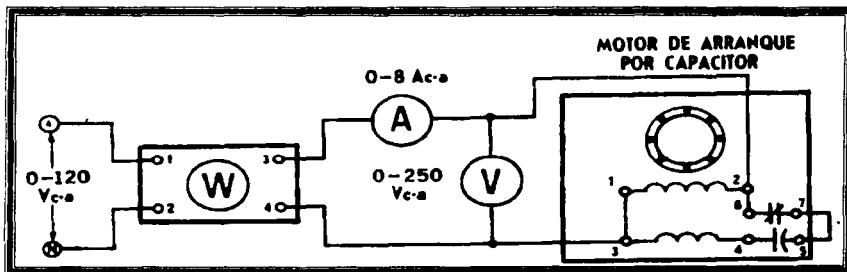


Figura 25. Diagrama de conexiones del motor con capacitor de arranque.

**6.2.2.1 Prueba de arranque con capacitor sin carga**

El siguiente panel frontal muestra las variables medidas durante esta prueba.

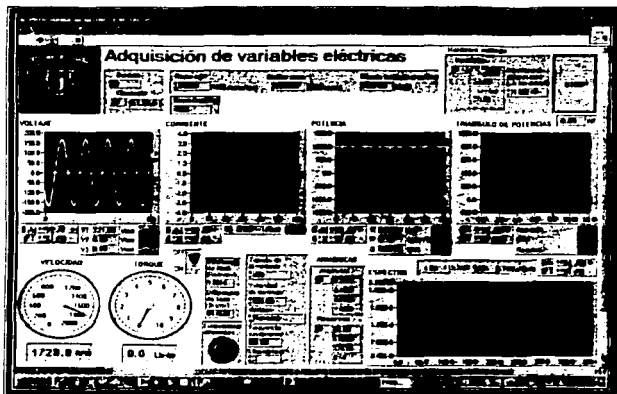


Figura 26. Panel frontal de la prueba de motor con capacitor de arranque sin carga.

### 6.2.2.1.1 Gráfica de voltaje

La prueba se realizó con el valor de voltaje RMS de 120 Vrms.

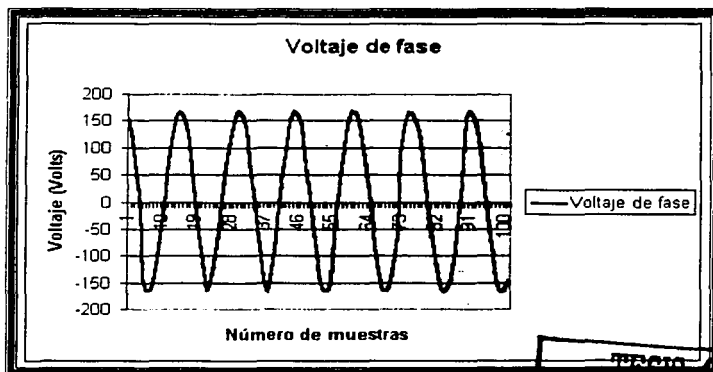


Figura 27. Voltaje de fase.

**TRABAJO CON FALLA DE ORIGEN**

6.2.2.1.2 Gráfica de corriente

La gráfica muestra la corriente de arranque que alcanza un valor aproximado de 4 veces el valor nominal de corriente.

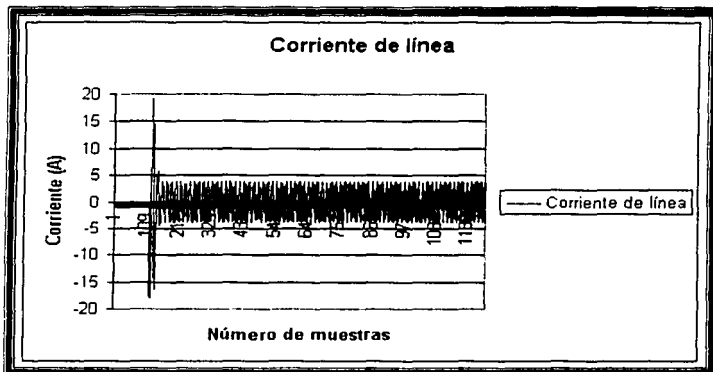


Figura 28. Corriente de línea.

6.2.2.1.3 Gráficas de potencias

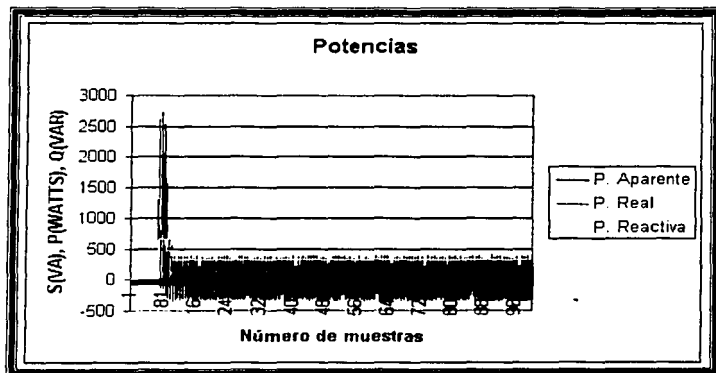


Figura 29. Potencias.

En esta configuración se tiene la variación de potencia aparente al arranque observando que el valor de la potencia reactiva es muy cercano al valor de la potencia aparente por lo que la potencia real es muy pequeña.

**6.2.2.1.4 Gráfica de velocidad**

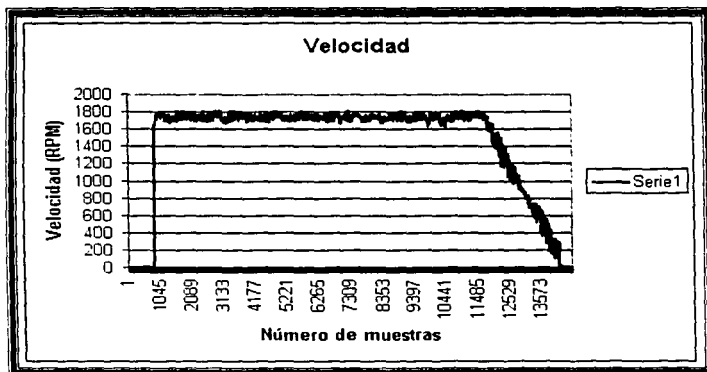


Figura 30. Velocidad.

La velocidad es constante durante la prueba observándose la desaceleración del motor al desconectarse de la alimentación.

**6.2.2.2 Prueba de arranque con capacitor con carga**

A continuación se muestra el panel frontal con las variables obtenidas de ésta prueba.

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

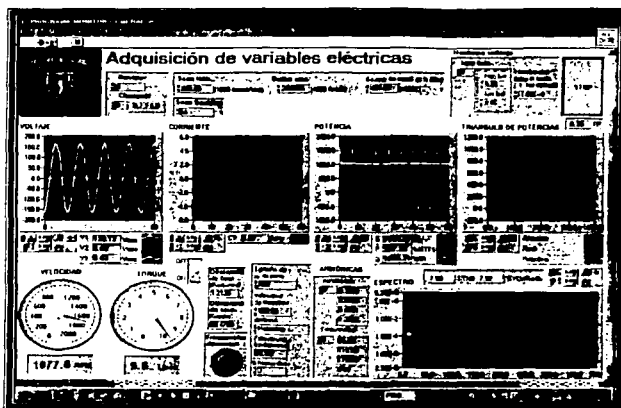


Figura 31. Panel frontal de la prueba con capacitor de arranque con carga.

### 6.2.2.2.1 Gráfica de voltaje

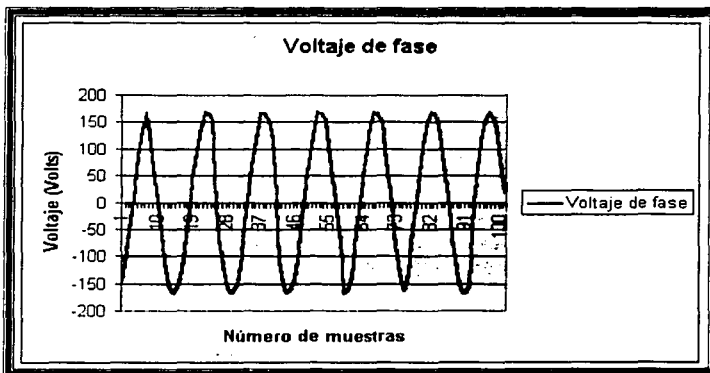


Figura 32. Voltaje de fase.

6.2.2.2.2 Gráfica de corriente

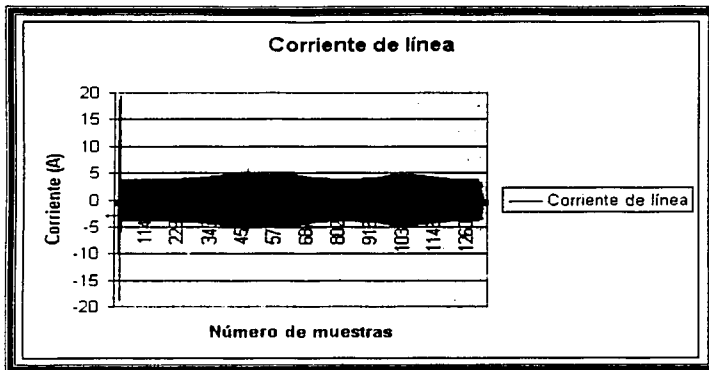


Figura 33. Corriente de línea.

La corriente de línea demandada por la máquina varía de acuerdo a la variación de carga. La corriente de arranque alcanza un valor aproximado alrededor de 4 veces el valor nominal de corriente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

6.2.2.2.3 Gráficas de potencias

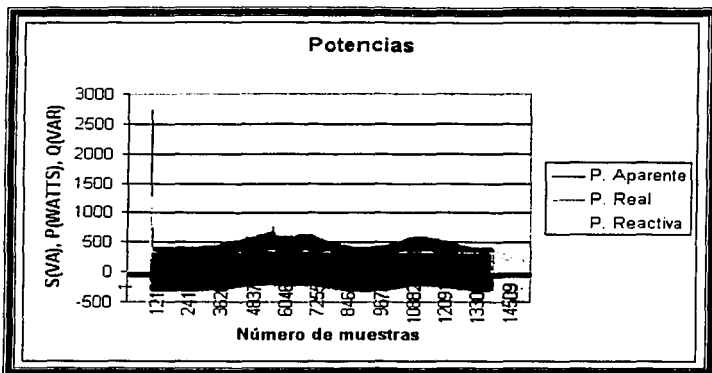


Figura 34. Potencias.

La variación de potencias se realiza de acuerdo a las variaciones de la corriente producidas por la variación de carga.

6.2.2.2.4 Gráfica de velocidad

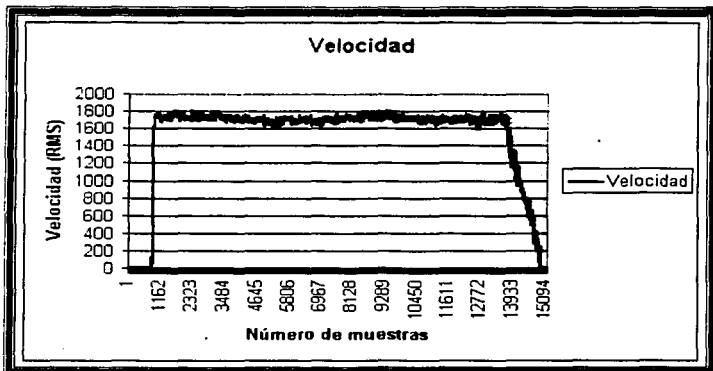


Figura 35. Velocidad.

La velocidad se mantiene constante a lo largo de la prueba sin que le afecte la variación de carga.

**6.2.2.2.5 Gráfica de par**

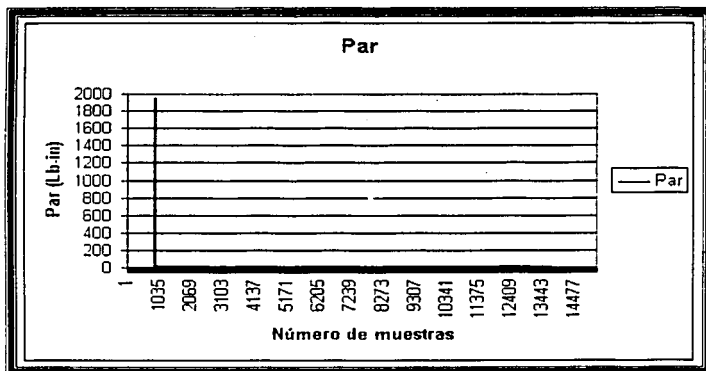


Figura 36. Par.

En esta gráfica se aprecia el par de arranque que alcanza un valor por arriba de los 1900 Lb-in. La siguiente gráfica muestra las variaciones de par y corriente respectivamente al variar la carga.

**TESIS CON  
FALLA DE CARGEN**



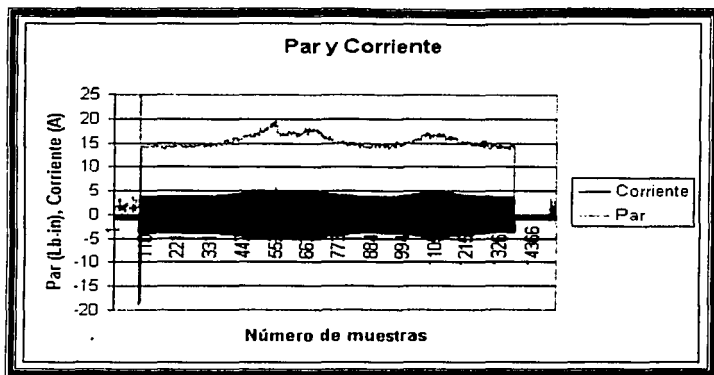
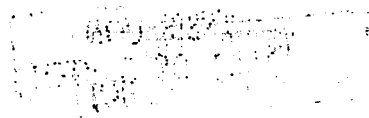


Figura 37. Par y corriente.

### 6.2.3 Motor de operación continua por capacitor

EL motor de operación continua es muy útil en éste tipo de aplicaciones, porque si diseño permite eliminar gran parte de las vibraciones cuando trabaja a plena carga. El capacitor sirve para variar la fase de la corriente de uno de los devanados, de modo que la corriente en un devanado esta desfasada  $90^\circ$  con respecto a la corriente en el otro devanado gracias a la cual el motor de operación continua por capacitor funcione realmente como un aparato bifásico con carga nominal. Puesto que el capacitor forma parte del circuito en todo momento no se requiere de interruptor centrífugo.

Para la realización de esta prueba se conectó la máquina de a cuerdo al diagrama de conexiones siguiente.



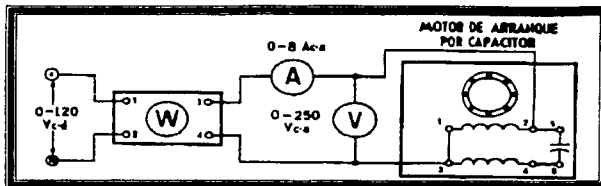


Figura 38. Diagrama de conexiones de la prueba al motor capacitor de arranque operación continua.

### 6.2.3.1 Prueba sin carga

El siguiente panel frontal muestra los datos obtenidos en esta prueba.

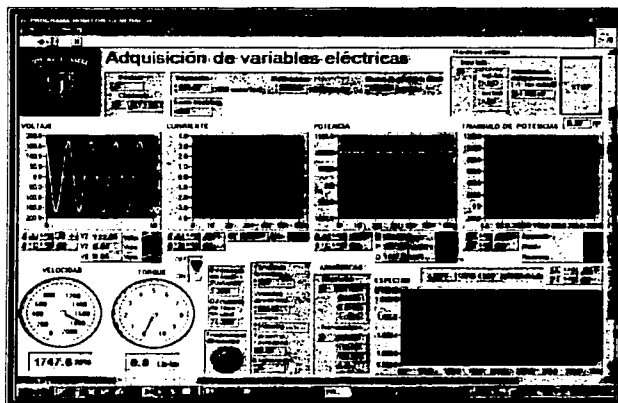


Figura 39. Panel frontal de la prueba del motor con capacitor de arranque de operación continua.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

6.2.3.1.1 Gráfica de voltaje

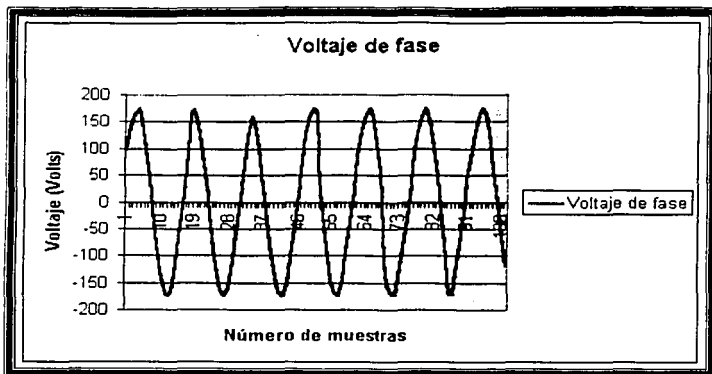


Figura 40. Voltaje de fase.

6.2.3.1.2 Gráfica de corriente

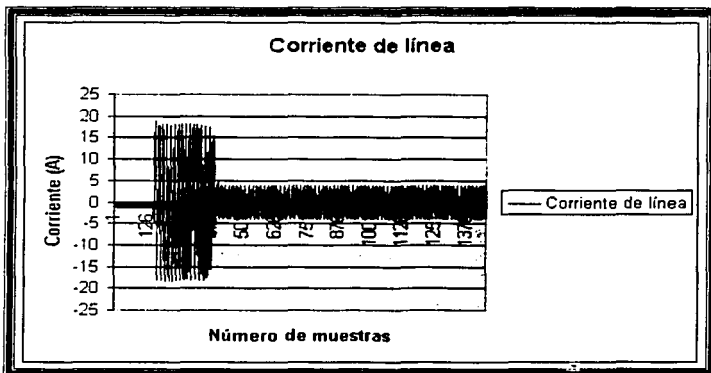


Figura 41. Corriente de línea.

La corriente de arranque se mantuvo durante un periodo mayor para después estabilizarse a su valor nominal.

6.2.3.1.3 Gráficas de potencias

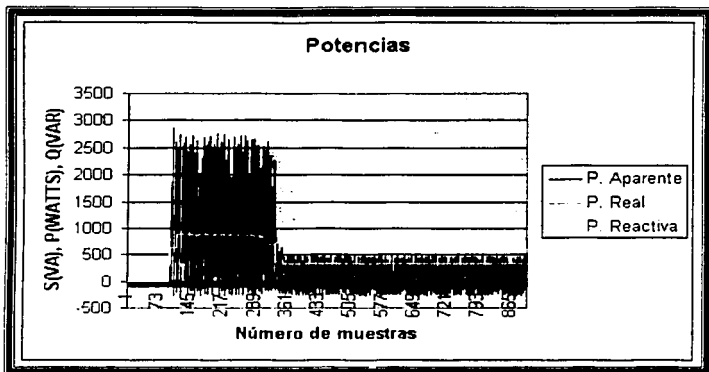


Figura 42. Potencias.

6.2.3.1.4 Gráfica de velocidad

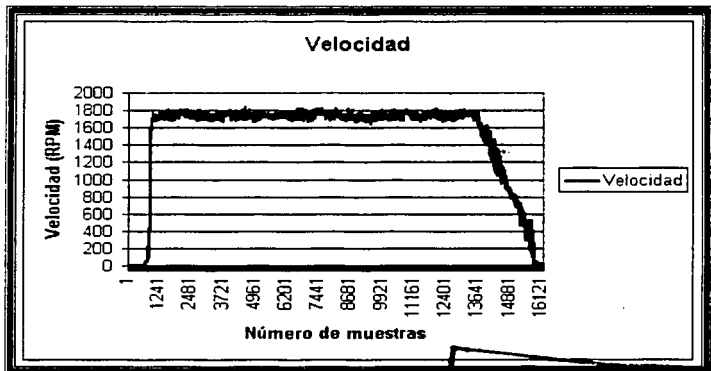


Figura 43. Velocidad.

TESIS CON  
FALLA DE CENSUR

### 6.3 Motor universal

“El motor universal es fundamentalmente un motor de CD diseñado especialmente para funcionar con CA y con CD. Un motor serie normal de CD funciona muy deficientemente en CA, debido sobre todo a dos razones:

- a) La alta reactancia de los devanados de armadura y campo limitan la corriente de CA a un valor mucho menor que la corriente directa (para el mismo voltaje).
- b) Si se usa acero sólido para el marco o yugo del estator, el flujo de CA producirá grandes corrientes parásitas en él y por lo tanto se calentará.

La reactancia del devanado de armadura puede reducirse colocando un devanado de compensación en el estator, de tal modo que los flujos se opongan o se anulen entre sí. Este mismo devanado de compensación se puede conectar en serie con el de armadura en este caso se dice que el motor está conductivamente compensado. En estas condiciones el motor universal tendrá características de operación similares, ya sea que funcione en CA o en CD.

El devanado de compensación puede conectarse en circuito corto para que se comporte como el secundario de un transformador en corto circuito (el devanado de armadura actúa como primario). La corriente inducida de CA en el devanado de compensación produce un flujo que se opone al de la corriente de armadura y se dice que el motor está inductivamente compensado. La reactancia del devanado de campo se puede mantener en un valor bajo limitando el número de vueltas.

El par de arranque de un motor universal queda determinado por la corriente que fluye a través de los devanados de armadura y campo debido a la reactancia inductiva en estos devanados, la corriente de arranque de CA será siempre menor que la corriente de arranque de CD (con el mismo voltaje de fuente). Por lo tanto, el par de arranque en CA será menor que en CD.

El devanado de compensación tiene la función importante de reducir la reactancia general del motor y además, desempeña la función vital de oponerse a la reacción de la armadura, mejorando con esto la conmutación. Un motor universal no compensado pierde casi toda su potencia. Al mismo tiempo, aumenta considerablemente el chisporroteo en las escobillas<sup>3</sup>.

Las figuras 44 Y 45 muestran la implementación del sistema para la realización de las pruebas a ésta máquina.

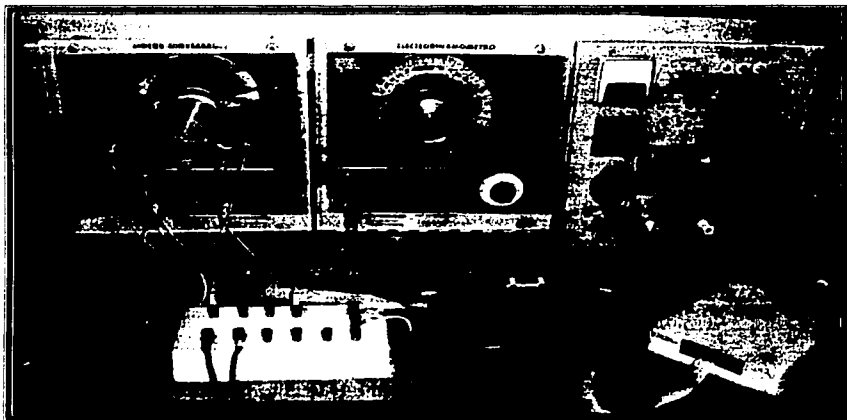


Figura 44. Implementación de la prueba al motor universal.

<sup>3</sup> Ibid. Pág. 36-2 y 37-2

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Figura 45. Implementación de la prueba al motor universal.

### 6.3.1 Valores nominales

HP	¼	
Voltaje	120	Volts
Corriente	3.0	Amper
Frecuencia	60	Hz
Eficiencia	52	%
Velocidad	1800	RPM

### 6.3.2 Pruebas

Para la realización de esta prueba se conectó la máquina de acuerdo al siguiente diagrama de conexiones.

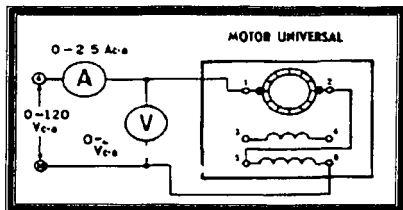


Figura 46. Diagrama de conexiones del motor universal (compensación).

### 6.3.2.1 Prueba del motor universal (compensación) sin carga

El siguiente panel frontal muestra las variables adquiridas en esta prueba.

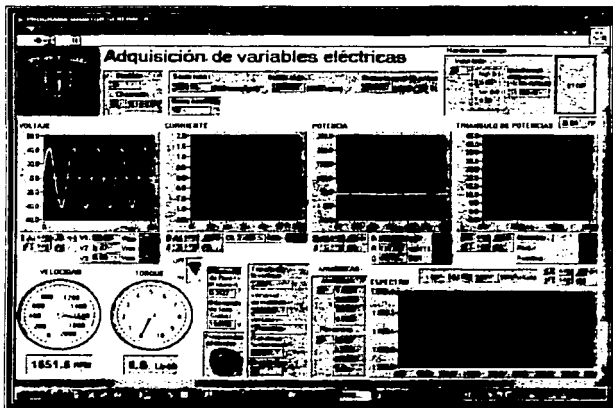
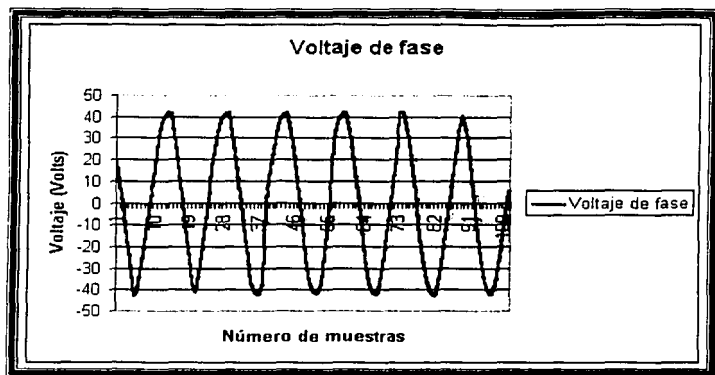


Figura 47. Panel frontal de la prueba al motor universal (compensación) sin carga.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN.



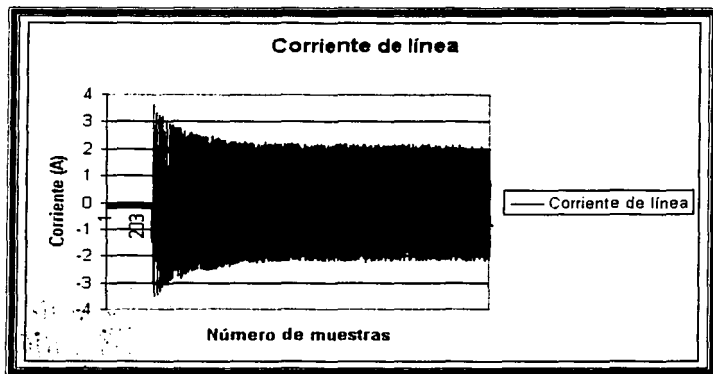
**6.3.2.1.1 Gráfica de voltaje**



**Figura 48. Voltaje de fase.**

La prueba a este motor en esta modalidad se realizó aplicándole un voltaje de alimentación de 30 Vrms.

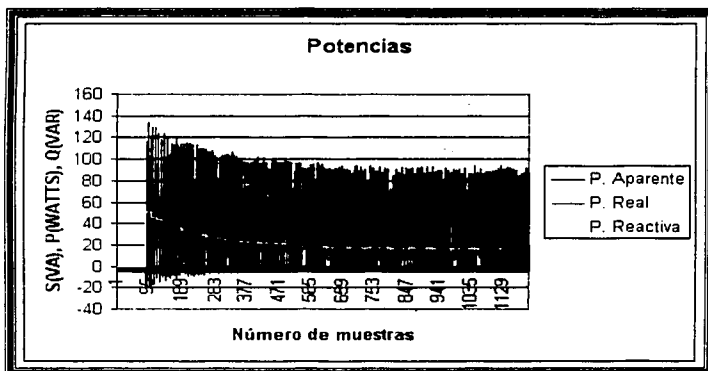
**6.3.2.1.2 Gráfica de corriente**



**Figura 49. Corriente de línea.**

La corriente de arranque en esta prueba de acuerdo al voltaje aplicado alcanza un valor pico aproximado de 3.5 A disminuyendo gradualmente hasta alcanzar un valor pico alrededor de 2 A a lo largo de la prueba.

**6.3.2.1.3 Gráficas de potencias**



**Figura 50. Potencias.**

Las potencias presentan gráficas que varían al arranque debido a la corriente que se tiene en ese instante.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

6.3.2.1.4 Gráfica de velocidad

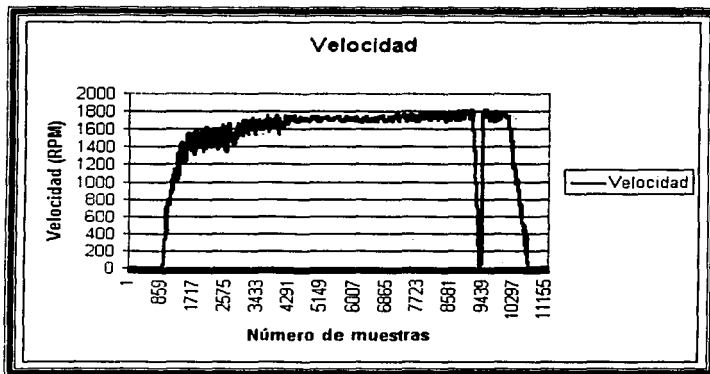


Figura 51. Velocidad.

Al arrancar la máquina la velocidad fue aumentando gradualmente hasta alcanzar un valor cercano a su valor nominal.

6.3.2.2 Prueba del motor universal (compensación) con carga

El panel frontal con las variables registradas de ésta prueba es el que se muestra a continuación.

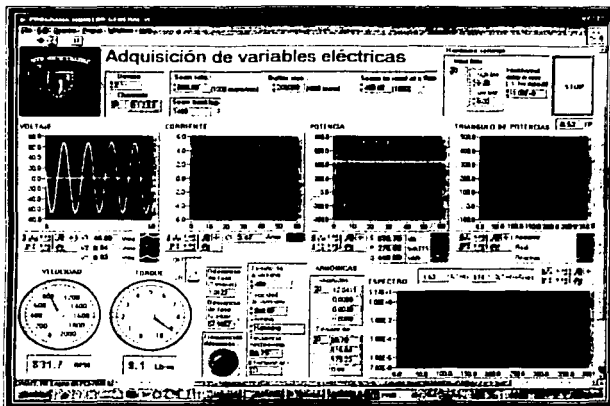


Figura 52. Panel frontal de la prueba al motor universal (compensación) con carga.

### 6.3.2.2.1 Gráfica de voltaje

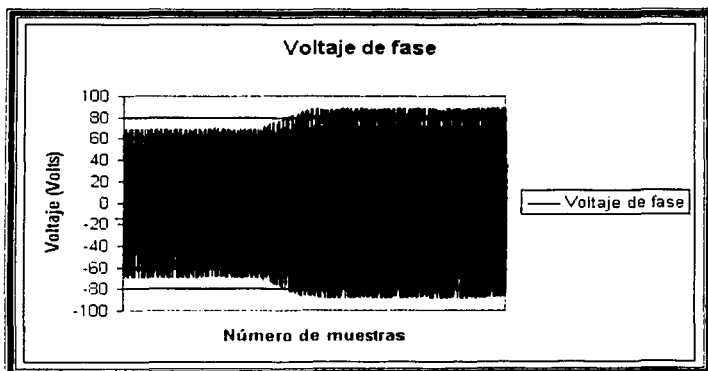


Figura 53. Voltaje de fase.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

En esta prueba se varió el voltaje de alimentación para poder apreciar el comportamiento de la máquina en condiciones de carga variable. Empezando primero con un valor pico aproximado de 70 V variándolo hasta llegar a un valor pico alrededor de los 90 V.

#### 6.3.2.2.2 Gráfica de corriente

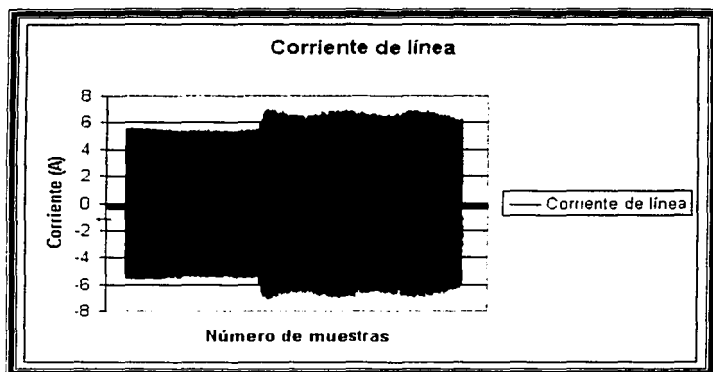


Figura 54. Corriente de línea.

Se puede apreciar que en este caso la corriente de línea no tiene un valor elevado con respecto a la corriente nominal en el momento de arranque. También se aprecian los cambios generados por la variación de voltaje y de carga.

#### 6.3.2.2.3 Gráficas de potencias

Las potencias en el momento de arranque no presentan una variación repentina en este instante solamente se tienen cambios en el momento de variar el voltaje de alimentación y la carga después de este instante.

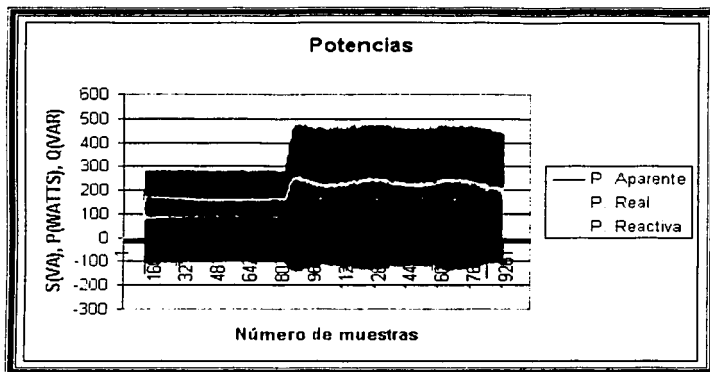


Figura 55. Potencias.

6.3.2.2.4 Gráfica de velocidad

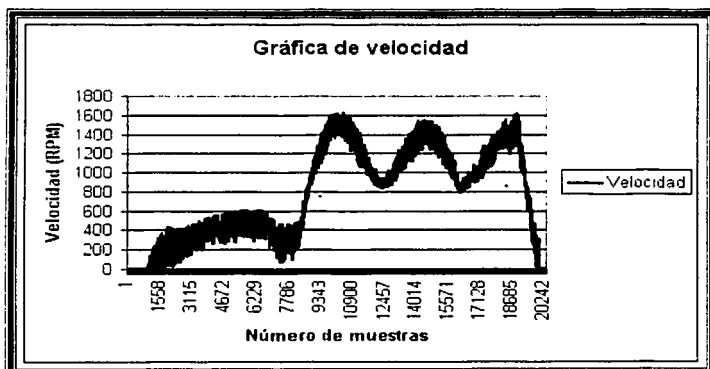


Figura 56. Velocidad.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Los cambios de velocidad que se presentaron fueron debido a la variación de carga y se observa que al arranque se va acelerando gradualmente y no en un instante.

**6.3.2.2.5 Gráfica de par**

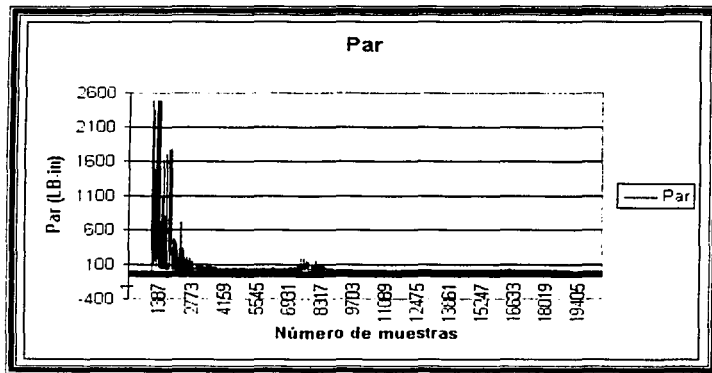
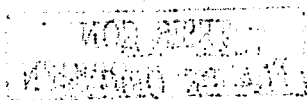


Figura 57. Gráfica del par.

El par de arranque es mayor y va disminuyendo al acelerar la máquina de manera gradual. Los cambios posteriores se deben a la variación de carga.

**6.3.2.3 Prueba del motor universal (serie) sin carga**

El diagrama de conexiones para esta prueba es el que se muestra en la siguiente figura.



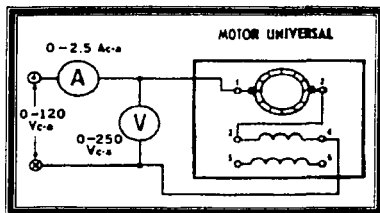


Figura 58. Diagrama de conexiones del motor universal (serie).

El siguiente panel frontal muestra los resultados de esta prueba.

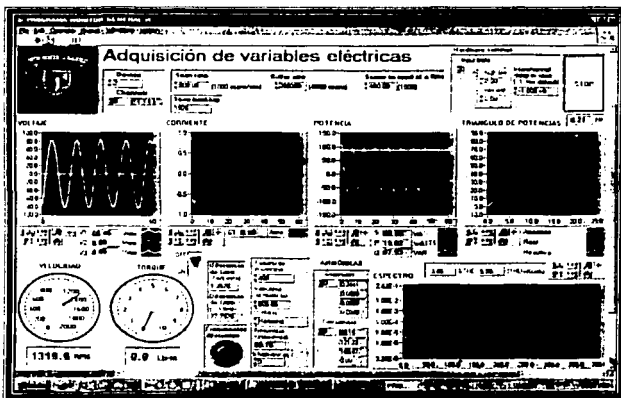


Figura 59. Panel frontal de la prueba del motor universal (serie) sin carga.

### 6.3.2.3.1 Gráfica de voltaje

El voltaje de alimentación se varió durante la prueba de un valor pico de aproximadamente 75 V a un valor pico de 85 V.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



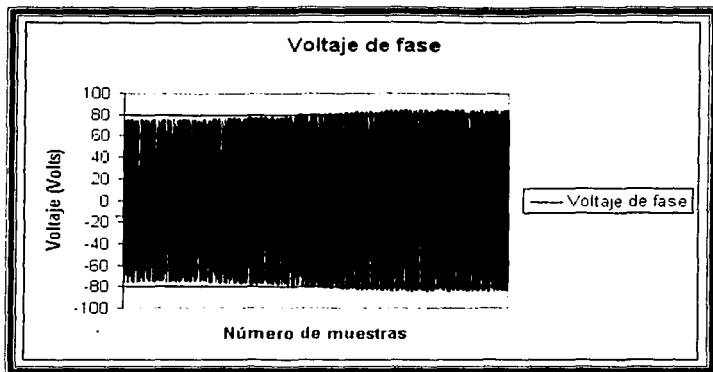


Figura 60. Voltaje de fase.

### 6.3.2.3.2 Gráfica de corriente

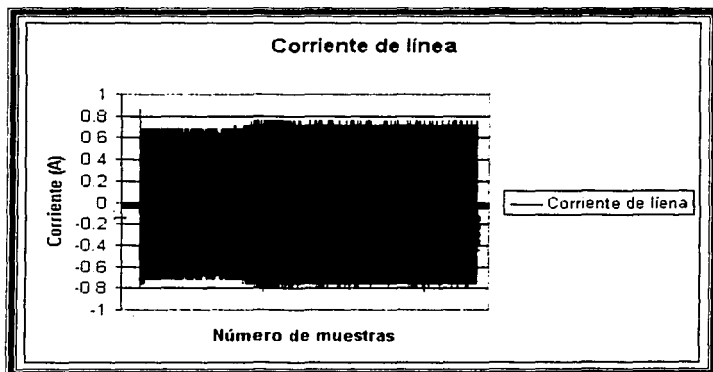


Figura 61. Corriente de línea.

Se puede observar un pequeño pico de corriente al momento del arranque al igual que las variaciones en el momento de variar el voltaje.

### 6.3.2.3.3 Gráficas de potencias

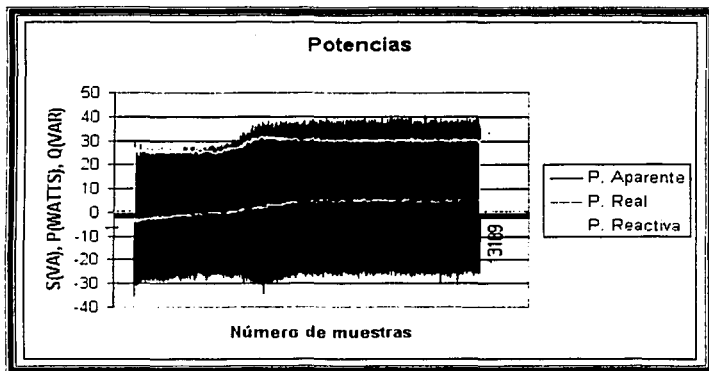


Figura 62. Potencias.

### 6.3.2.3.4 Gráfica de velocidad

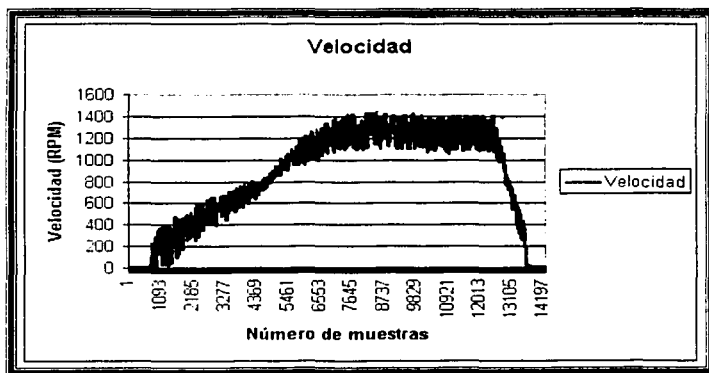


Figura 63. Gráfica de velocidad.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La velocidad va aumentando de manera gradual teniendo una respuesta mas lenta.

### 6.3.2.4 Prueba del motor universal (serie) con carga

El siguiente panel frontal muestra los resultados de ésta prueba.

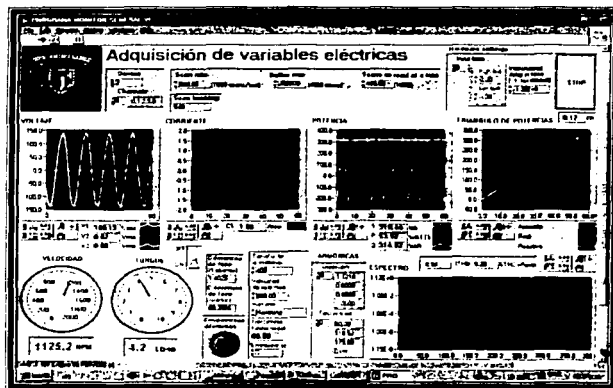


Figura 64. Panel frontal de la prueba del motor universal (serie) con carga.

#### 6.3.2.4.1 Gráfica de voltaje

El voltaje de alimentación se varió para poder apreciar los cambios de las demás variables bajo condiciones de carga.

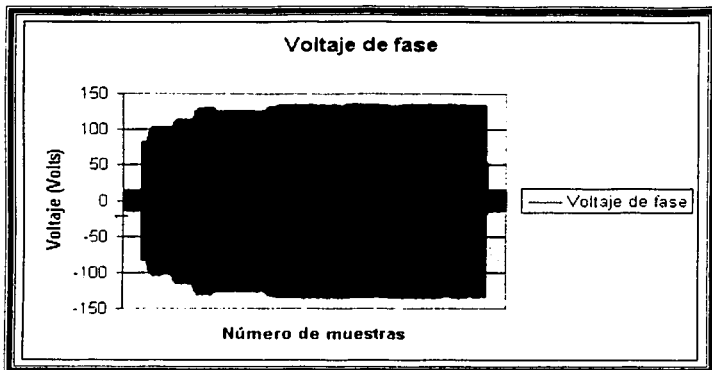


Figura 65. Voltaje de fase.

#### 6.3.2.4.2 Gráfica de corriente

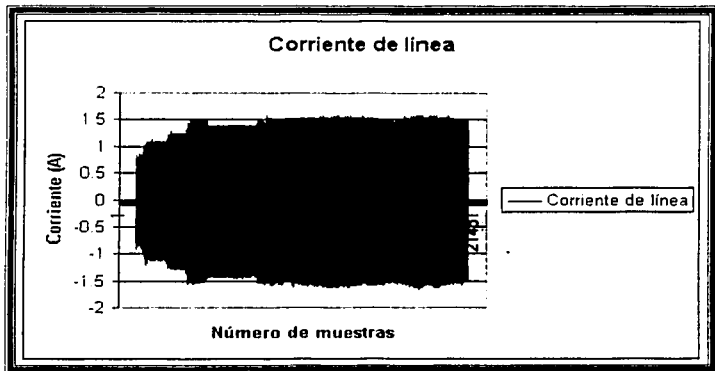


Figura 66. Corriente de línea.

La corriente de línea cambia con respecto a la variación de voltaje y de carga al ser ésta aplicada a la máquina.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

6.3.2.4.3 Gráficas de potencias

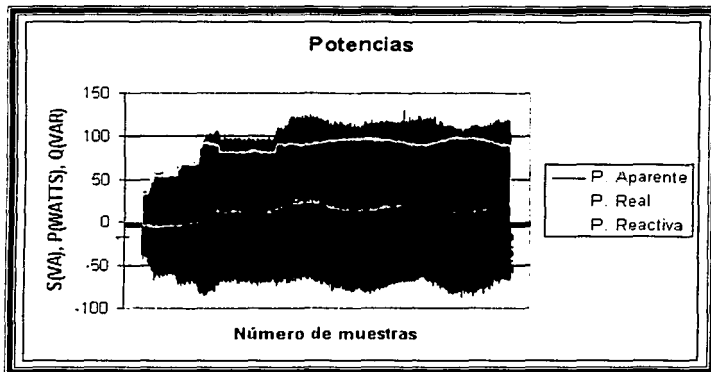


Figura 67. Potencias.

Las variaciones en las potencias son debido a los cambios de voltaje, corriente y carga.

6.3.2.4.4 Gráfica velocidad

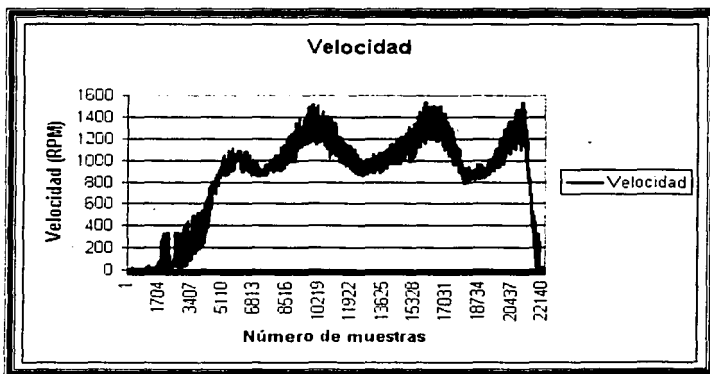


Figura 68. Velocidad.

Los cambios de velocidad corresponden a los cambios de voltaje y carga.

### 6.3.2.4.5 Gráfica de par

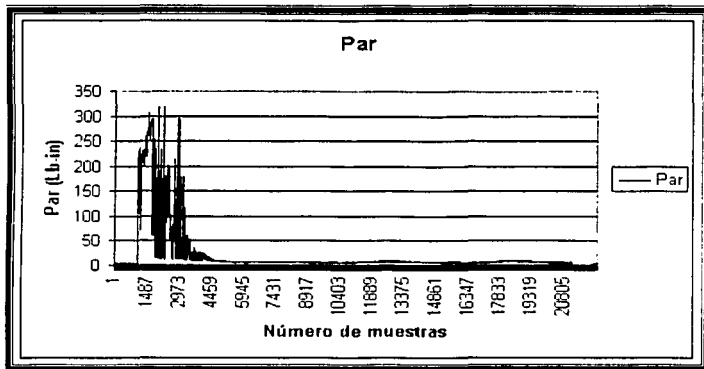


Figura 69. Par.

El par al arranque aumenta para posteriormente disminuir y presentar las variaciones producidas por el cambio de carga.

### 6.3.2.5 Prueba del motor universal (serie-compensación) sin carga

Esta prueba requiere de tener las siguientes conexiones mostradas en la figura.

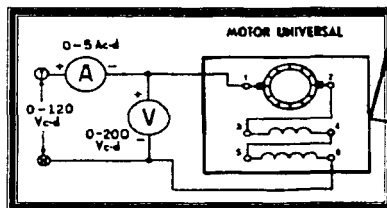


Figura 70. Diagrama de conexiones del motor universal (serie-compensación).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

El siguiente panel frontal muestra los resultados de la prueba.

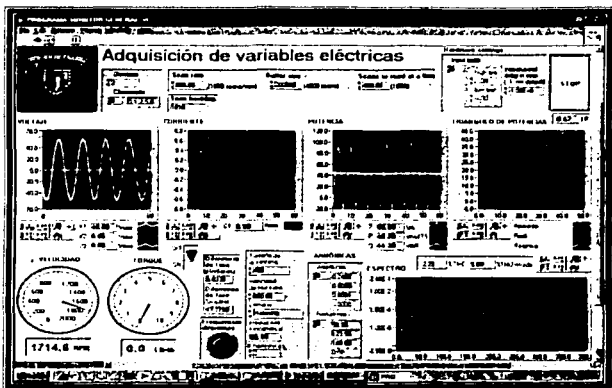


Figura 71. Panel frontal de la prueba del motor universal (serie-compensación) sin carga.

### 6.3.2.5.1 Gráfica de voltaje

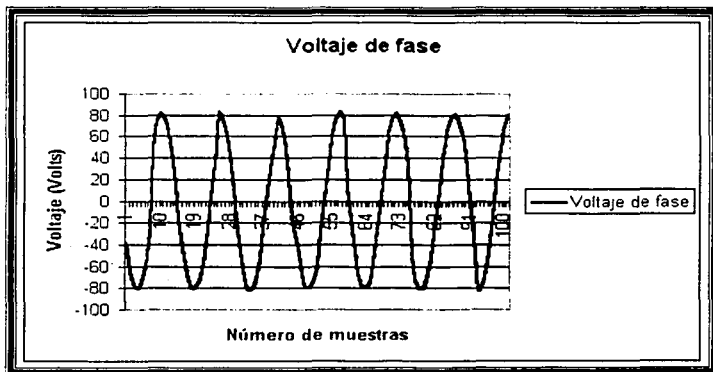


Figura 72. Voltaje de fase.

6.3.2.5.2 Gráfica de corriente

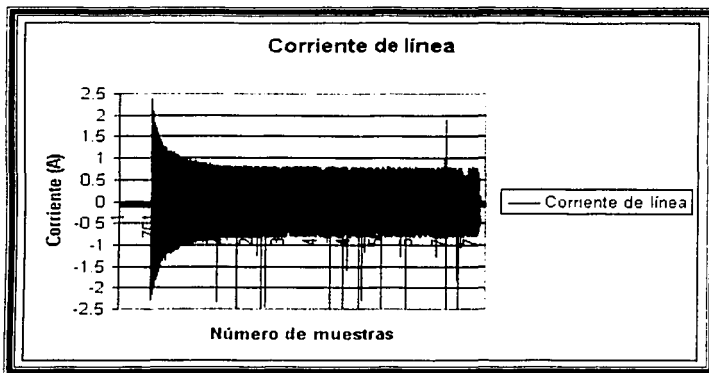


Figura 73. Corriente de línea.

La corriente después del arranque tiende a estabilizarse rápidamente.

6.3.2.5.3 Gráficas de potencias

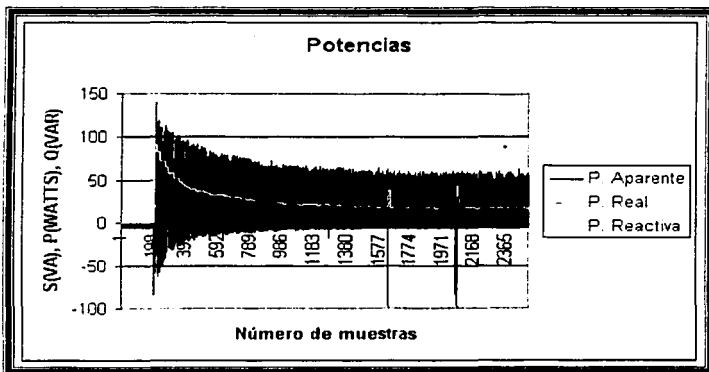


Figura 74. Potencias.



Los valores de las potencias al arranque varían de acuerdo a la corriente en este instante.

### 6.3.2.5.4 Gráfica de velocidad

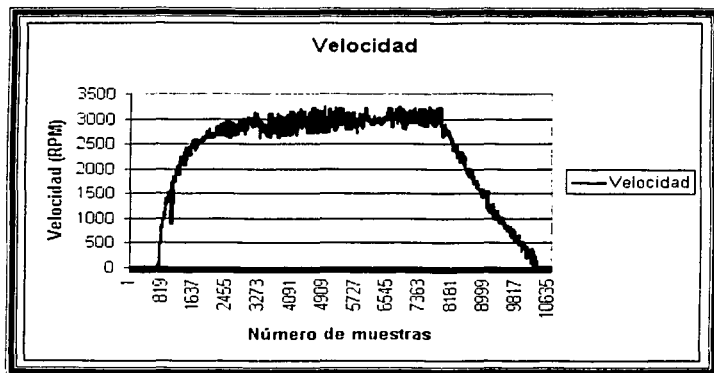


Figura 75. Velocidad.

En este caso la velocidad aumenta mucho más rápido al arranque como se observa en la gráfica.

### 6.3.2.6 Prueba del motor universal (serie-compensación) con carga

El siguiente panel de frontal es el obtenido durante la prueba.

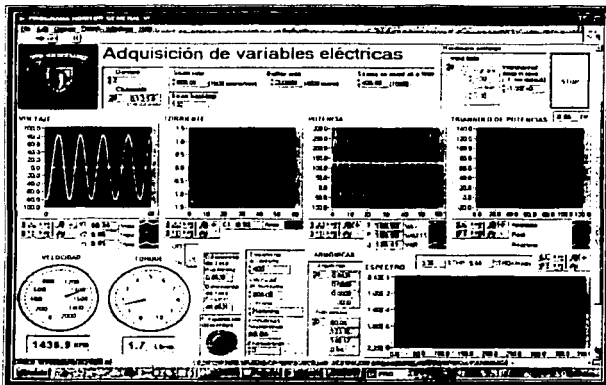


Figura 76. Panel frontal de la prueba al motor universal (serie-compensación) con carga.

### 6.3.2.6.1 Gráfica de voltaje

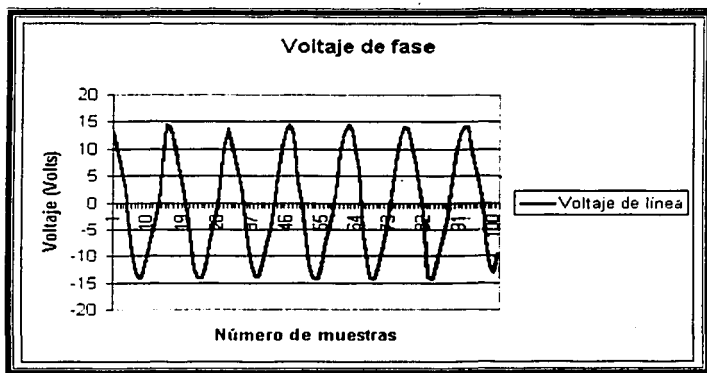


Figura 77. Voltaje de fase.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

6.3.2.6.2 Gráfica de corriente

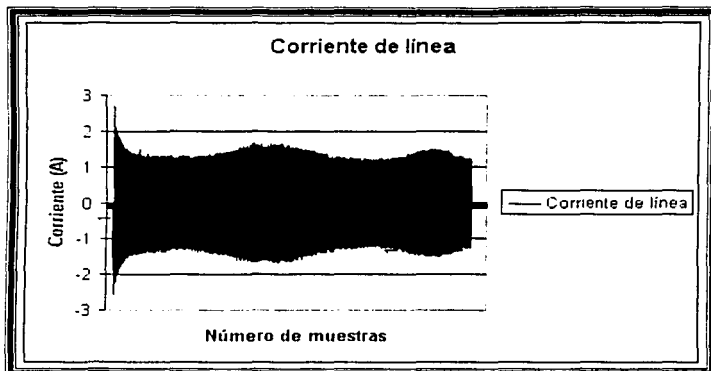


Figura 78. Corriente de línea.

En ésta gráfica se observan los cambios de corriente provocados por la variación da carga durante la prueba.

6.3.2.6.3 Gráficas de potencias

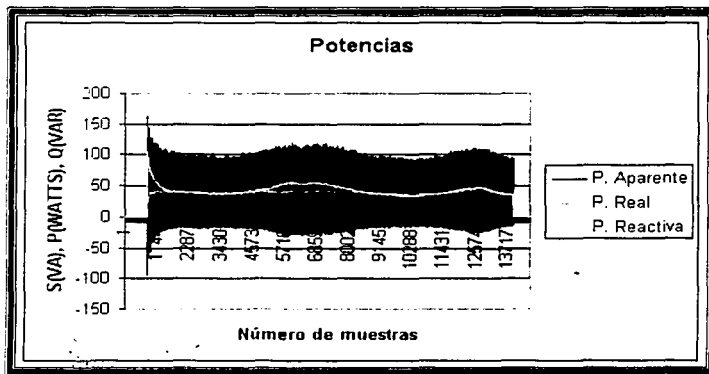


Figura 79. Potencias.

Las variaciones de potencias se aprecian y corresponden a los cambios de corriente al aplicarse las diferentes cargas al motor.

**6.3.2.6.4 Gráfica de velocidad**

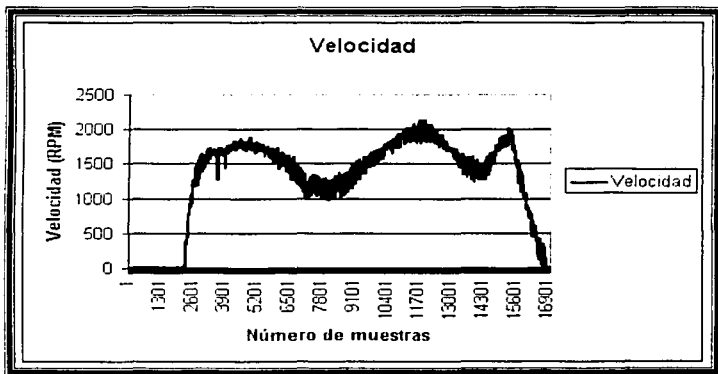


Figura 80. Velocidad.

La velocidad no se mantiene constante debido a las variaciones de carga.

**TESIS CON  
FALLA DE ... EN**

6.3.2.6.5 Gráfica de par

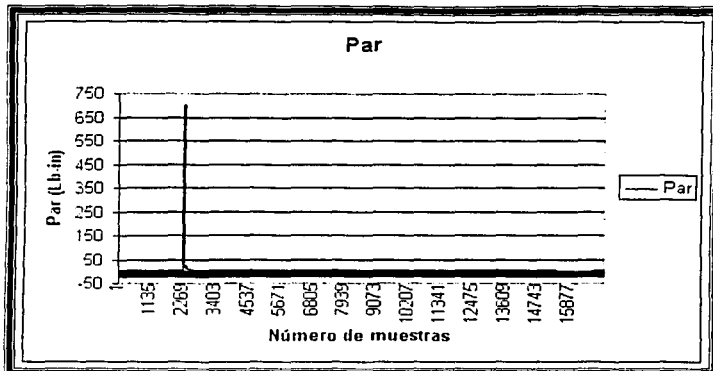


Figura 81. Par.

La siguiente gráfica muestra la relación de corriente y par con sus respectivos cambios debidos a la variación de carga.

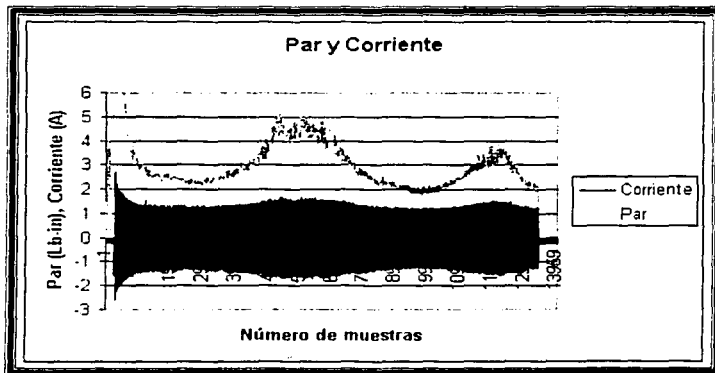


Figura 82. Par y corriente.

### **6.4 Motor de inducción con rotor devanado**

“Cuando se utiliza potencia trifásica para crear un campo giratorio en el estator se aplica un principio semejante al sistema usado en el de funcionamiento por capacitor. En el sistema trifásico se genera un campo magnético giratorio mediante tres fases en lugar de dos. Cuando el estator de un motor trifásico se conecta a una fuente de alimentación trifásica, la corriente pasa por los tres devanados del estator y establece un campo magnético giratorio. Esas tres corrientes de excitación proporcionan la potencia reactiva para establecer el campo magnético giratorio. También proporcionan la potencia que consume el motor debido a las pérdidas en el cobre y en hierro. La velocidad del campo magnético giratorio queda determinada por la frecuencia de la fuente de alimentación trifásica y se conoce como velocidad sincrónica”.<sup>4</sup>

Las figuras 83 y 84 muestran la implementación del sistema para realizar las pruebas a éste motor.

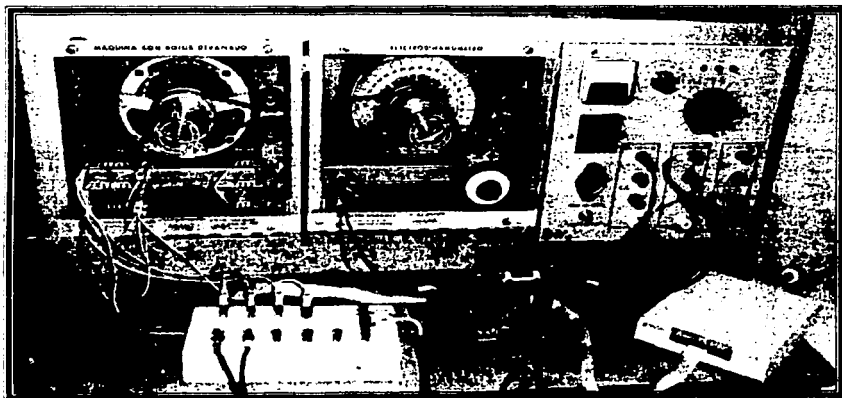


Figura 83. Implementación de la prueba al motor de inducción con rotor devanado.

<sup>4</sup> Ibid. Pág. 49-2



**Figura 84. Implementación de la prueba al motor de inducción con rotor devanado.**

### 6.4.1 Valores nominales

HP	1/4	
Voltaje	208	Volts
Corriente	1.3	Amper
Frecuencia	60	Hz
Eficiencia	68	%
Velocidad	1500	RPM

### 6.4.2 Pruebas

La siguiente figura muestra el diagrama de conexiones para esta prueba.



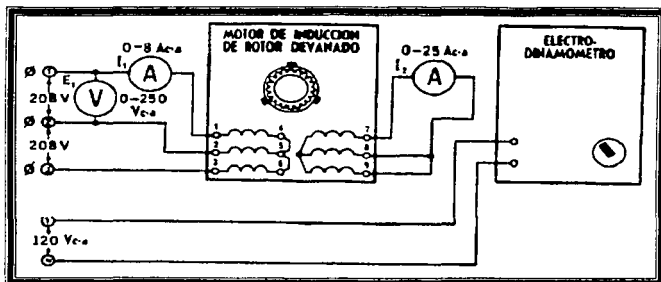


Figura 85. Diagrama de conexiones de la prueba al motor de inducción con rotor devanado.

### 6.4.2.1 Prueba sin carga

El panel frontal mostrado a continuación fue el registrado en esta prueba.

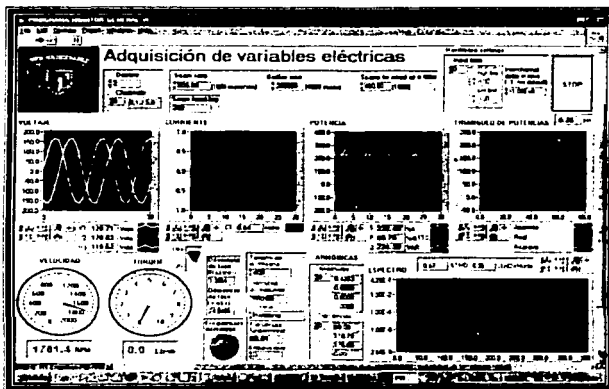


Figura 86. Panel frontal de la prueba del motor de inducción de rotor devanado sin carga.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



6.4.2.1.1 Gráfica de voltaje

El voltaje aplicado en esta prueba fue constante y de un valor de 120 Vrms.

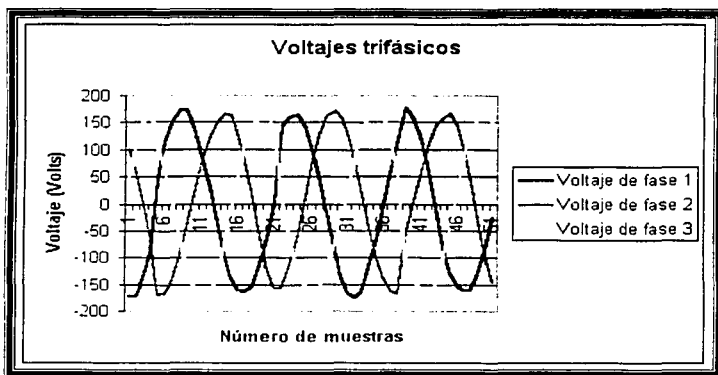


Figura 87. Voltajes trifásicos.

6.4.2.1.2 Gráfica de corriente

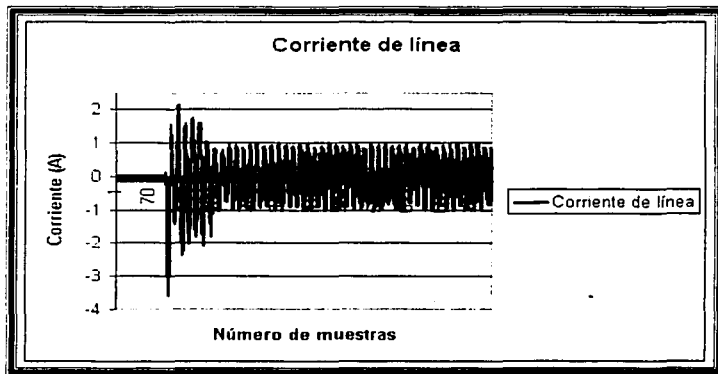


Figura 88. Corriente de línea.

La corriente de línea al arranque se estabiliza rápidamente después de presentar un pico por encima del valor nominal.

**6.4.2.1.3 Gráficas de potencias**

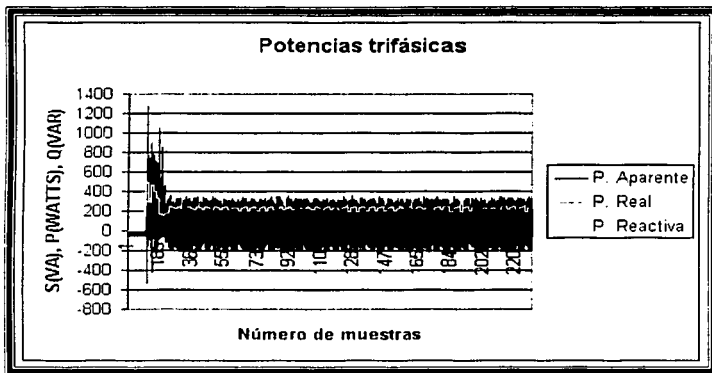


Figura 89. Potencias.

**6.4.2.1.4 Gráfica de velocidad**

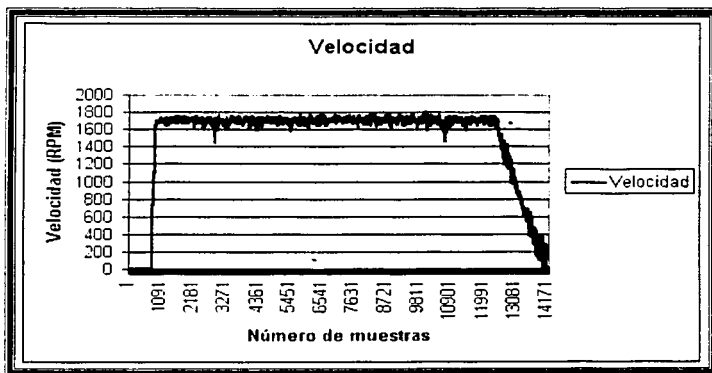


Figura 90. Velocidad.

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

6.4.2.2 Prueba con carga

El panel frontal correspondiente a ésta prueba es el siguiente.

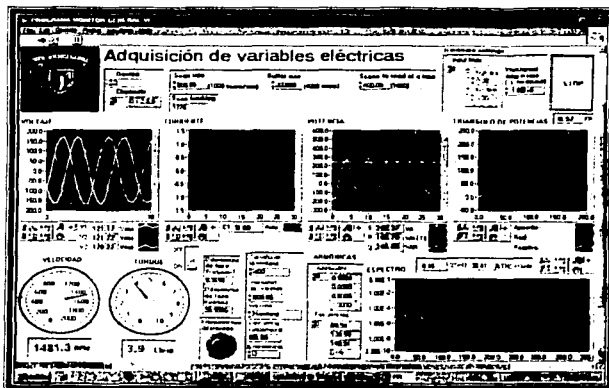


Figura 91. Panel frontal de la prueba del motor de inducción de rotor devanado con carga.

6.4.2.2.1 Gráfica de voltaje

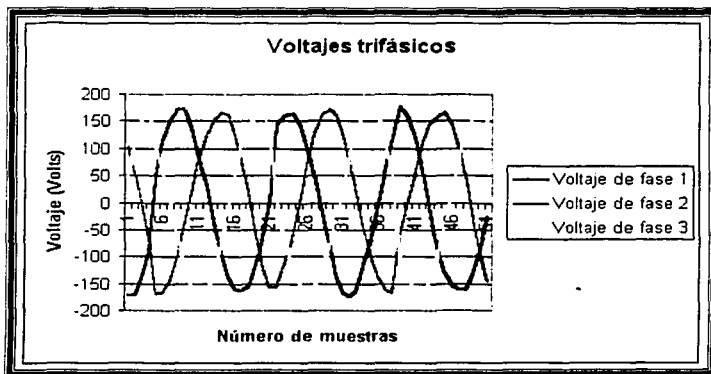


Figura 92. Voltajes trifásicos.

6.4.2.2.2 Gráfica de corriente

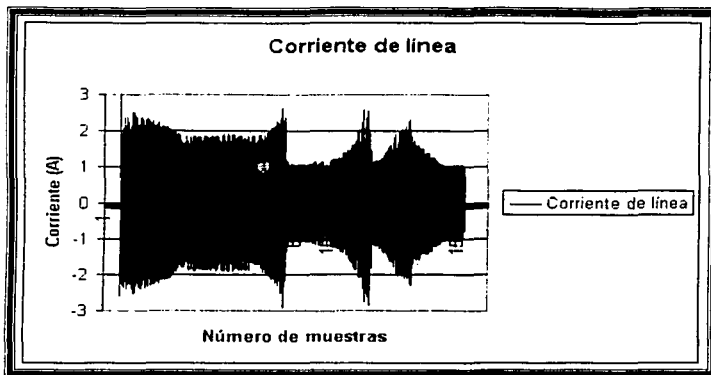


Figura 93. Corriente de línea.

Los cambios del valor de la corriente de línea son debidos a la variación de carga.

6.4.2.2.3 Gráficas de potencias

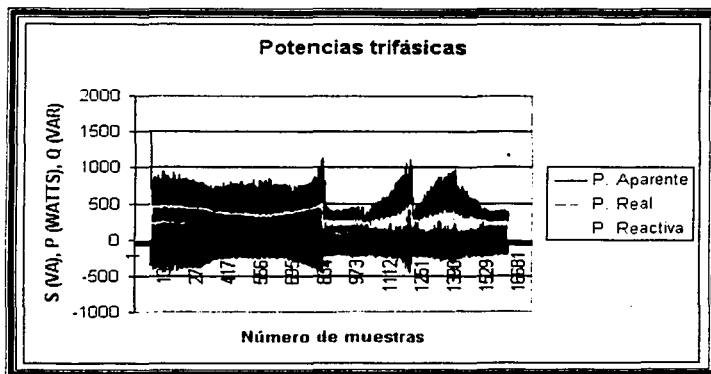
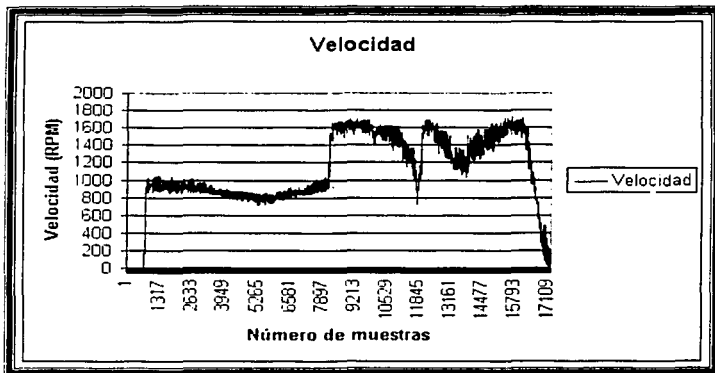


Figura 94. Potencias.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Al igual que en la corriente, las potencias presentan las variaciones observadas en la gráfica originadas por los cambios de carga a lo largo de la prueba.

**6.4.2.2.4 Gráfica de velocidad**



**Figura 95. Velocidad.**

La velocidad cambia dependiendo de la cantidad de carga que se le aplicó como se puede apreciar en la gráfica.

6.4.2.2.5 Gráfica de par

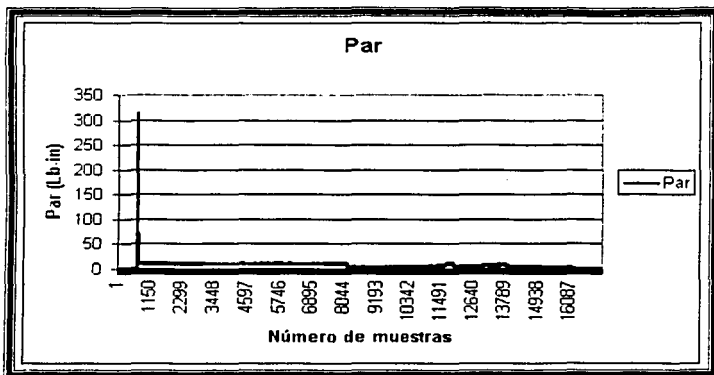


Figura 96. Par.

La siguiente gráfica muestra los cambios del par y la corriente durante la prueba debido a las variaciones de carga.

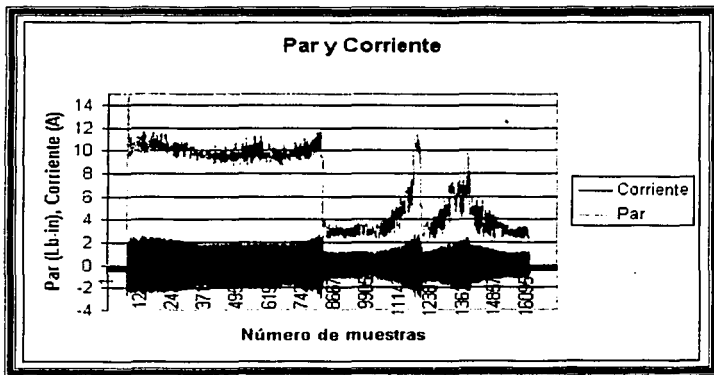


Figura 97. Par y corriente.

### 6.5 Motor de inducción de jaula de ardilla

“El rotor más sencillo y de mayor aplicación en los motores de inducción, es el que se denomina de jaula de ardilla, de donde se deriva el nombre de motor de inducción de jaula de ardilla. El rotor de jaula de ardilla se compone de un núcleo de hierro laminado que tiene ranuras longitudinales alrededor de su periferia. Barras sólidas de cobre o aluminio se presionan firmemente o se incrustan en las ranuras del rotor. A ambos extremos del rotor se encuentran los anillos de corto circuito que van soldados o sujetos a las barras, formando una estructura sumamente sólida. Puesto que las barras en corto circuito tienen una resistencia mucho menor que la del núcleo, no es necesario que se les aisle en forma especial del núcleo. Los elementos de corto circuito, en realidad son vueltas en corto circuito que llevan elevadas corrientes inducidas en ellas, por el flujo del campo del estator”.<sup>5</sup> Las figuras 98 y 99 muestran la implementación del sistema para realizar las pruebas a ésta máquina.

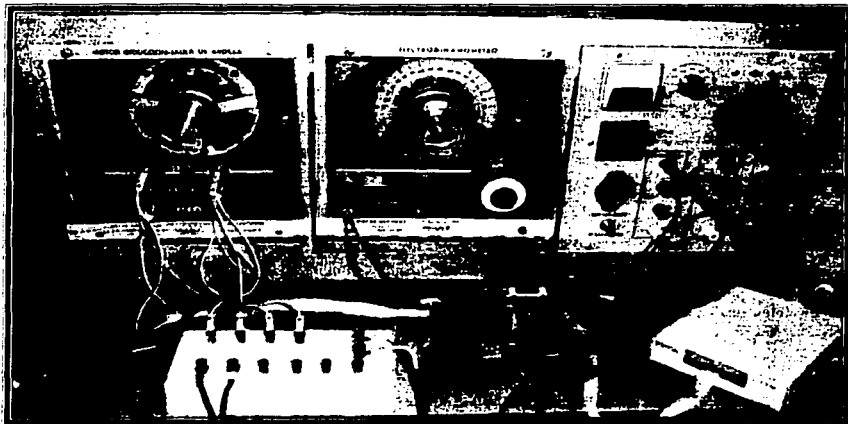


Figura 98. Implementación de la prueba al motor de inducción jaula de ardilla.

<sup>5</sup> Ibid. Pag.52-2



Figura 99. Implementación de la prueba al motor de inducción jaula de ardilla.

### 6.5.1 Valores nominales

HP	¼	
Voltaje	208	Volts
Corriente	1.2	Amper
Frecuencia	60	Hz
Eficiencia	74	%
Velocidad	1670	RPM

### 6.5.2 Pruebas

Para realizar estas pruebas se conectó la máquina como se muestra en el siguiente diagrama.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



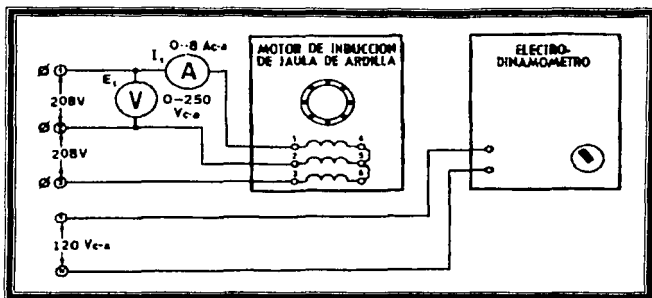


Figura 100. Diagrama de conexiones del motor de inducción jaula de ardilla.

### 6.5.2.1 Prueba sin carga

El panel frontal mostrado a continuación es el correspondiente a esta prueba.

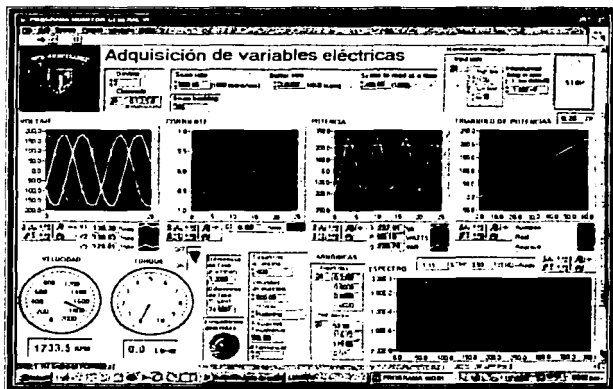


Figura 101. Panel frontal de la prueba al motor de inducción jaula de ardilla sin carga.

6.5.2.1.1 Gráfica de voltaje

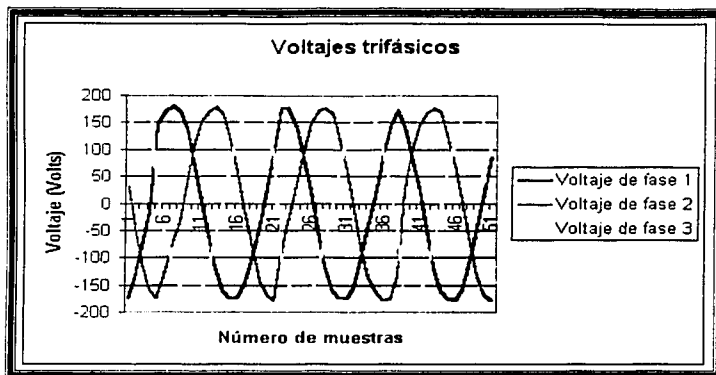


Figura 102. Voltajes trifásicos.

6.5.2.1.2 Gráfica de corriente

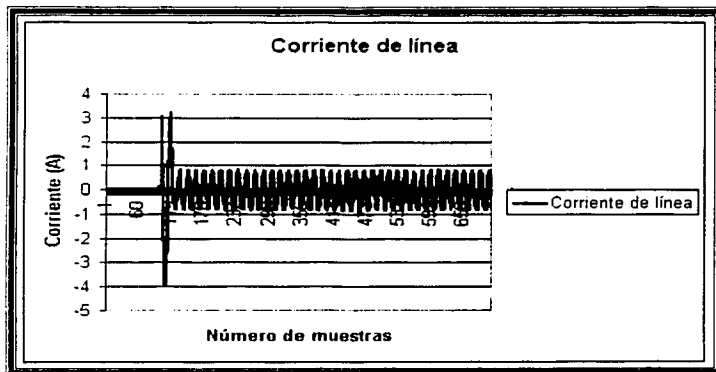


Figura 103. Corriente de línea.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La corriente de arranque en este caso alcanza un valor aproximado pico de 3 A estabilizándose rápidamente para mantenerse constante.

### 6.5.2.1.3 Gráficas de potencias

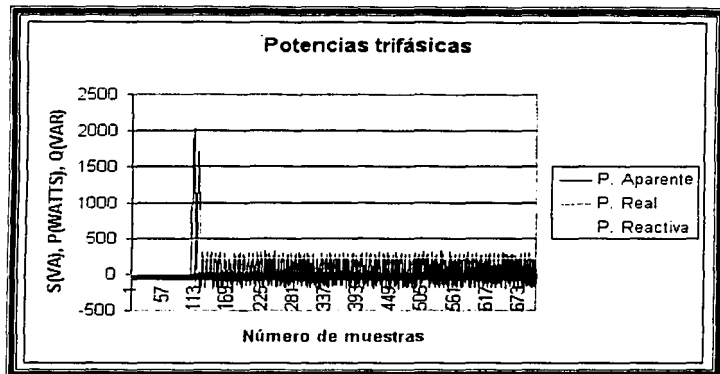


Figura 104. Potencias.

### 6.5.2.1.4 Gráfica de velocidad

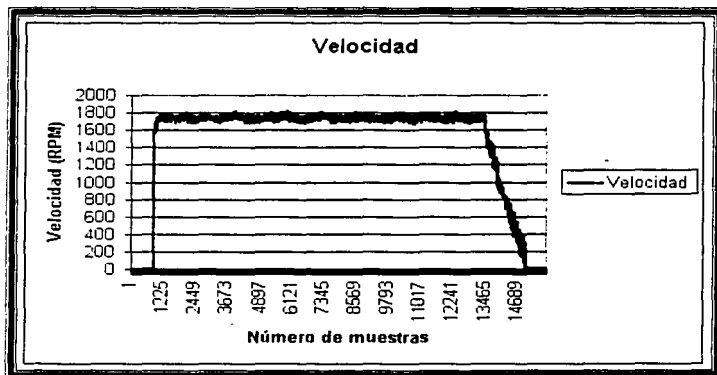


Figura 105. Velocidad.

6.5.2.2 Prueba con carga

El siguiente panel frontal muestra los datos registrados en esta prueba.

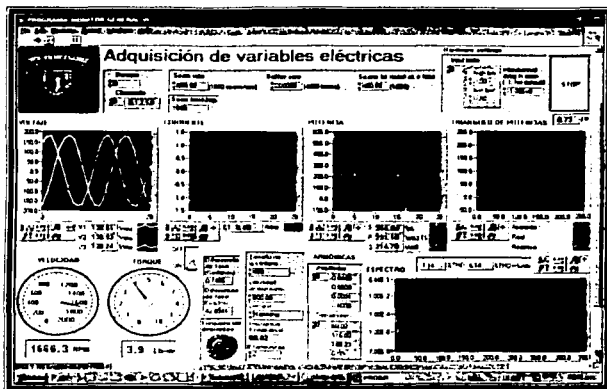


Figura 106. Panel frontal de la prueba al motor de inducción jaula de ardilla con carga.

6.5.2.2.1 Gráfica de voltaje

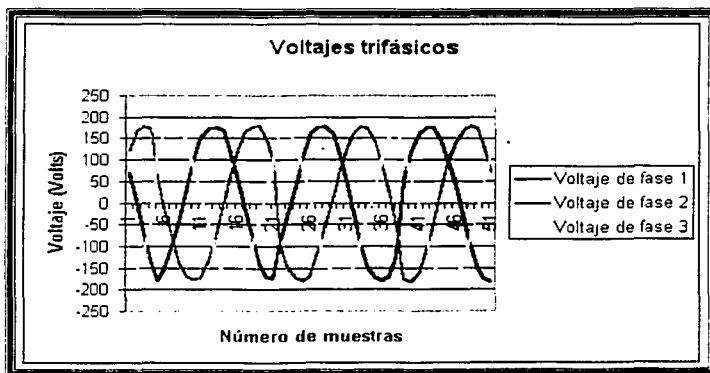


Figura 107. Voltajes trifásicos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

6.5.2.2 Gráfica de corriente

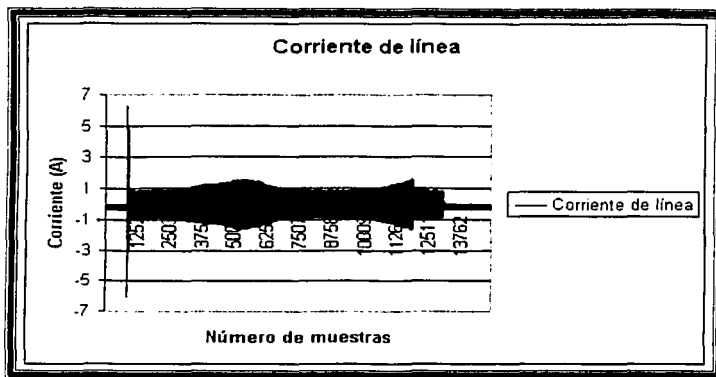


Figura 108. Corriente de línea.

Como en los casos en que se tiene variación de carga, se pueden apreciar los cambios de la corriente de línea.

6.5.2.2.3 Gráficas de potencias

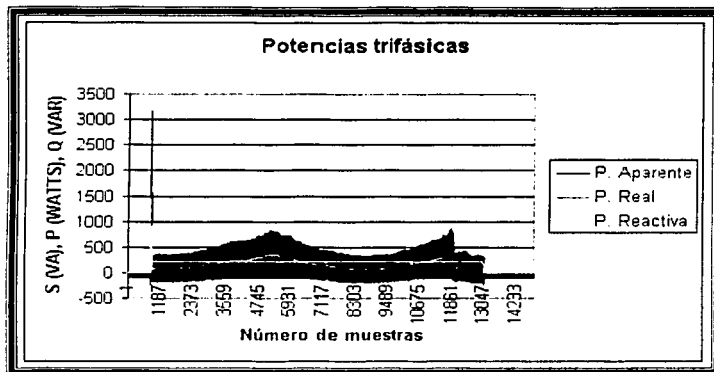


Figura 109. Potencias trifásicas.

Los cambios de potencia corresponden a los de corriente ocasionados por la variación de carga, manteniéndose constante la potencia reactiva.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

6.5.2.2.4 Gráfica de velocidad

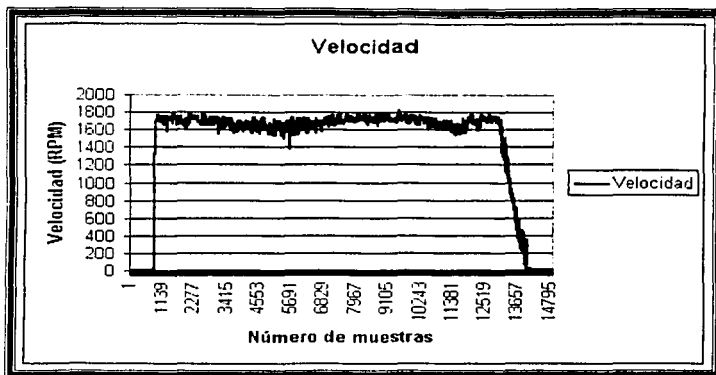


Figura 110. Velocidad.

6.5.2.2.5 Gráfica de par

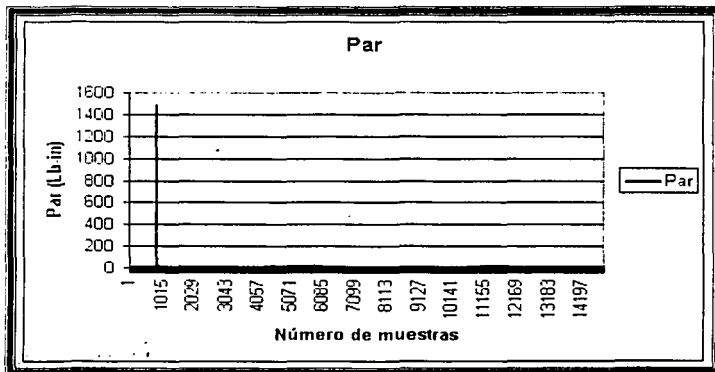


Figura 111. Par.

En esta gráfica se aprecia el par de arranque y en la siguiente se muestran los cambios del par y la corriente debido a la variación de carga.

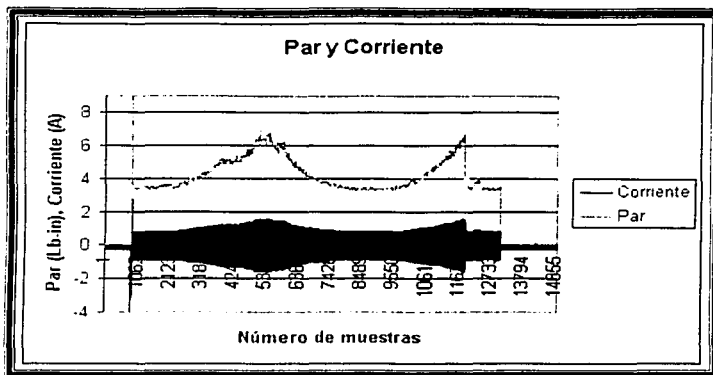


Figura 112. Par y corriente.

Estas fueron las pruebas realizadas a las máquinas de CA de monitoreo y almacenamiento de la información generada de las máquinas sometidas a diferentes condiciones de operación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## CAPITULO 7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Las máquinas eléctricas en general representan dispositivos de gran utilidad a nivel domestico como a nivel industrial, ya que nos ayudan a transformar la energía eléctrica a mecánica y viceversa. Entre la clasificación de las máquinas eléctricas tenemos a los transformadores que son máquinas eléctricas estáticas ya que al desempeñar su función no realiza ningún tipo de movimiento debido a que su funcionamiento está basado en la acción de campos electromagnéticos para realizar cambios de niveles de tensión. Por otra parte, tenemos a las máquinas eléctricas rotatorias las cuales fueron objetivo principal de nuestro trabajo.

Dentro de las máquinas eléctricas rotatorias existen dos tipos diferentes que son las máquinas de corriente alterna (CA) y las de corriente directa (CD). De acuerdo al tipo de aplicación y las condiciones de carga y funcionamiento que se requiera se determina el tipo de máquina a utilizar ya sea de CA o de CD. Para la realización de nuestro trabajo utilizamos las máquinas de CA para poder realizar pruebas para evaluar y observar su comportamiento de acuerdo a las características de cada máquina.

Las maquinas eléctricas rotatorias son reversibles, dependiendo de la acción que realicen al transformar la energía. Tomando en consideración esta característica nosotros utilizamos las máquinas como motores y así fue como se realizaron las pruebas. De acuerdo a los resultados generados para cada motor pudimos observar las diferencias entre ellos con la ayuda de las gráficas obtenidas a través de nuestro sistema de monitoreo.

Con la ayuda del sistema de monitoreo implementado pudimos apreciar algunas de las características más elementales, pero de gran importancia, de los motores bajo prueba como son: los niveles de tensión de la fuente de alimentación actuando sobre el motor ya sea trifásico o monofásico según el caso, las corrientes de línea y su comportamiento, las potencias del sistema, la velocidad de la flecha del motor, el par generado, el factor de

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

potencia, la distorsión armónica de la señal de corriente, la frecuencia del sistema, etc. Todas estas variables fueron monitoreadas en línea y registradas para un análisis posterior.

Las pruebas en laboratorio nos ayudan a determinar condiciones físicas de un motor así como el poder evaluar su desempeño bajo condiciones de operación específicas por lo que es importante contar con el equipo adecuado para la realización de dichas pruebas. Una de las ventajas de la utilización de nuestro sistema fue el que pudimos monitorear, evaluar, interpretar, y registrar por medio de la adquisición y almacenamiento de toda la información generada durante la prueba utilizando un mínimo de equipo comparado con la cantidad de instrumentos de medición convencionales necesarios para obtener la misma información.

En todas las pruebas que se hicieron a las máquinas eléctricas de CA independientemente si fueron trifásicas o monofásicas; los niveles de voltaje se mantenían constantes, en el único que se tuvo que variar el voltaje fue en el motor universal, ya que en su configuración serie y compensación el par de arranque es muy débil por lo que aumentamos el voltaje de alimentación para evitar que la máquina se detuviera al momento de aplicar carga suficiente para ver su comportamiento durante la prueba.

Otro aspecto interesante de analizar y que observamos en los experimentos que realizamos fue la corriente de arranque, donde se vio que la corriente aumenta en un instante de tiempo de una manera considerable alrededor de tres a cinco veces su valor nominal dependiendo de los motores ya que en algunos casos como en el motor universal, ésta corriente no es muy elevada al momento del arranque; posteriormente la corriente se estabiliza. La corriente de arranque elevada se debe a que el motor tiene que generar un par de arranque elevado para poder mover la flecha de acuerdo a la carga. Las variaciones de corriente también se dan en el momento de incrementar o disminuir la cantidad de carga aplicada al motor.

Mientras la carga aumentaba, la corriente aumentaba y viceversa, ya que para mantener el motor su velocidad constante éste demandaba más corriente observando este

mismo efecto en el comportamiento del par. En los motores donde la corriente tardó en estabilizarse fueron en el motor universal y en el motor de rotor devanado, a pesar que la corriente se estabiliza rápido tarda aún mas que en la maquina síncrona y que en el motor de arranque con capacitor tomando en cuenta que la corriente de arranque es menor, puesto que tarda más para que la velocidad se estabilice. A diferencia de la máquina síncrona, ésta alcanza su velocidad constante en un poco tiempo.

Observamos los cambios en las potencias, ya que se comportaban diferentes cada uno de los motores. En la máquina síncrona al variar el campo también se variaban las potencias, es decir, que el motor se comportaba de una manera inductiva y posteriormente de una manera capacitiva. Donde también se observaban las variaciones de potencia real y reactiva fue en el motor de arranque con capacitor, ya que en el momento del arranque estas sufrían variaciones por el capacitor de arranque. Además que las potencias varían en función de la corriente a consecuencia del cambio de carga.

Podemos mencionar que para tener una aplicación adecuada en donde se incluya algún tipo de máquinas eléctricas hay que tomar muy en cuenta sus características y comportamiento, es por ello que al realizar diferentes pruebas podemos observar las principales variables que rigen su comportamiento.

En las pruebas observamos que la máquina eléctrica que tiene mejor comportamiento tanto con carga y sin carga es la máquina síncrona ya que su corriente de arranque es grande por lo tanto el par de arranque también lo es y se estabiliza casi instantáneamente teniendo velocidad constante sin importar las variaciones de carga, de esta forma podemos elegir una de las máquinas eléctricas en general de acuerdo a la función que vaya a realizar si antes conocemos sus características y comportamiento.

Hoy en día los procesos tienen una complejidad mayor a demás que deben contar con una buena calidad, de esta forma es como toma gran importancia el monitoreo, ya que gracias a él podemos observar de una manera constante el desarrollo de cualquier proceso. También gracias al monitoreo podemos evaluar el desempeño y a su vez lograr la

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

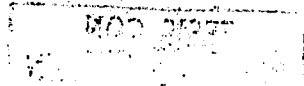
adquisición de las variables de nuestro proceso para poder estudiar su comportamiento y con esto tener la posibilidad de mejorarlo encontrando fallas y logrando que el proceso sea más eficiente.

Debido a que el laboratorio cuenta con equipo convencional ya muy desgastado y antiguo para realizar mediciones; la importancia de nuestro trabajo radica en el hecho de que por medio de la interfaz adecuada podemos estar monitoreando y adquiriendo diferentes variables al mismo tiempo. Es decir que por medio de la PC, la tarjeta de adquisición de datos, el módulo de conexiones y los transductores adecuados podemos convertir las señales que deseamos monitorear a voltajes, de esta manera poder adquirir los valores correspondientes de las variables a medir, hacer su transformación y cálculo por medio del software utilizado.

De esta forma al monitorear las variables de las máquina eléctricas de CA además de medir el valor de las variables en el instante que nosotros deseamos pudimos observar el comportamiento de las máquinas desde su arranque hasta el paro del motor con o sin carga y teniendo toda la información en línea ya que se hacía en el mismo instante de tiempo, además de que se pueden guardar los valores de dichas variables para su estudio y análisis posterior.

El monitoreo de las variables eléctricas de los motores es muy importante ya que nos permite observar en línea o en tiempo real lo que está sucediendo de manera gráfica así como también numérica obteniendo valores reales de las variables analizadas. Todo esto involucra un sistema completo de adquisición de datos formado primeramente por el transductor que es la primera etapa del sistema. Posteriormente el acondicionamiento de nuestras señales para así llevarlas a la tarjeta de adquisición y por medio del software realizar el análisis, la presentación y por último el almacenamiento de la información.

Para el monitoreo y la adquisición de datos utilizamos el programa LabVIEW, puesto que es una herramienta fácil de utilizar, debido a que es un lenguaje de programación gráfica y la interfaz es manejable. Se tiene que a diferencia de otros



lenguajes de programación basados en líneas de texto en donde las expresiones determinan la ejecución del programa, LabVIEW permite que la ejecución del programa sea determinada por flujo de los datos a través del diagrama de bloques en el código del programa.

LabVIEW es un programa utilizado en aplicaciones de monitoreo, automatización y control por lo que nos permitió realizar todas las funciones necesarias para nuestro propósito además de que cuenta con herramientas matemáticas muy poderosas que hacen posible el análisis completo de los datos adquiridos. Además LabVIEW es un programa que nos permite la comunicación con sistemas externos ya sea en línea o en tiempo real, entonces con estas ventajas ofrecidas por el programa pudimos observar los datos en el momento que deseamos por medio de nuestra interfaz gráfica.

Una de las ventajas importantes que ofrece LabVIEW es que cuenta con diferentes formas de transmitir datos ya sea por el puerto serie o paralelo, por TCP/IP, y además cuenta con aplicaciones de red. Con esto es posible expandir el sistema a lugares remotos para realizar el monitoreo de los fenómenos físicos de nuestro interés permitiendo una flexibilidad aún mayor y la conveniencia de utilizar sistemas de desarrollo prácticos y completamente escalables a aplicaciones más complejas sin necesidad de incrementar considerablemente el número de instrumentos de medición ya que todo se hace por medio del uso de instrumentos virtuales.

Al plantearse la puesta en marcha de nuestro proyecto se tuvo como objetivo el desarrollar un sistema basado en una herramienta computacional capaz de lograr la integración de las funciones que realizan varios equipos y así utilizarlo con fines didácticos, de análisis y posiblemente de control para motivar a toda la gente involucrada en el área a aprender más sobre la teoría de las máquinas eléctricas rotatorias, planteándose la necesidad de poseer un software de adquisición, monitoreo, análisis y procesamiento de señales, capaz de generar un cúmulo de datos acerca del comportamiento de las señales y acerca de los cambios más importantes, logrando una aplicación de poco espacio, de bajo

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

costo, eficiente, actualizable y de fácil manejo para un usuario con conocimientos básicos de computación y de la teoría básica de las máquinas rotatorias.

Como resultado final se creó una aplicación amigable, eficiente, actualizable, de bajo costo y capaz de facilitar las tareas de medición, monitoreo, análisis y procesamiento de señales eléctricas al igual que permitirle al usuario asimilar la información adquirida a través de un despliegue gráfico de la misma proveniente del análisis matemático ayudándolo a entender de una forma más sencilla y dinámica el comportamiento de las señales y los cambios que éstas sufren de acuerdo a las diferentes condiciones de operación bajo las cuales fueron sometidas las máquinas.

Este trabajo nos permitió satisfacer esta necesidad de poseer una herramienta que ayude a comprender las técnicas y teoremas que describen el comportamiento de las máquinas eléctricas rotatorias, el cual permitirá mejorar la comprensión y estudio de esta área de la Ingeniería eléctrica.

La utilización de un sistema basado en un software de adquisición, análisis y procesamiento de señales ofrece al usuario, las siguientes facilidades:

- Provee al usuario de una herramienta de adquisición de datos que le permita reunir información acerca de las características de las señales que provienen de algún instrumento, proceso o aplicación.
- Provee una herramienta capaz de emular los procesos a los cuales es sometida una señal en el área de máquinas eléctricas rotatorias.
- Provee una herramienta capaz de almacenar señales para su posterior análisis.
- Provee una herramienta capaz de permitirle al usuario seleccionar como desea realizar la adquisición de la señal (simulada o a través de una tarjeta de adquisición de datos).
- Provee una herramienta capaz de permitirle al usuario ahorrar tiempo en el análisis de una señal, ya que no tiene que lidiar con una gran cantidad de equipos ni conexiones engorrosas.

Se desarrolló un instrumento versátil, que da utilidad tanto para el ingeniero en la industria como para el proceso de enseñanza aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería, en los conceptos de instrumentación virtual. Este instrumento servirá también para el desarrollo de procesos de investigación sobre el comportamiento de las máquinas bajo diferentes condiciones de operación y los efectos armónicos sobre las máquinas eléctricas.

La importancia de poseer y trabajar con sistemas de desarrollo como LabVIEW nos permitió que nuestro sistema sea flexible y escalable a cualquier tipo de aplicación sin importar lo complejo que pueda ser el sistema de monitoreo independientemente del equipo a analizar. Para esto se tienen que tomar en cuenta aspectos como el acondicionamiento de las señales que vamos a monitorear para evitar tener lecturas erróneas y posibles daños al equipo de adquisición utilizado.

Sólo se desarrolló un sistema de monitoreo y adquisición de datos, esperando en un futuro hacer el control de las variables adquiridas y de esta forma tener un sistema más completo tomando en cuenta el propósito del mismo.

Una de las observaciones a cerca de nuestro sistema es el hecho de la elección adecuada del hardware utilizado, ya que depende mucho de la aplicación y del tipo de señales a manejar para la correcta elección del equipo a implementar. Con esto concluimos que se puede implementar un sistema de monitoreo de variables físicas con todas las ventajas que los sistemas de desarrollo como LabVIEW ofrecen, permitiéndonos una gran flexibilidad y confiabilidad en el desempeño de nuestro trabajo.

Una conclusión importante es que con nuestra experiencia adquirida a lo largo del desarrollo de este trabajo es que la importancia que tiene el aprendizaje de aplicaciones y sistemas como éstos tiene que llegar a instituciones como la Facultad de Ingeniería así como otras instancias a fines. Todo esto con la finalidad de preparar adecuadamente a los estudiantes de Ingeniería con herramientas utilizadas actualmente en el área de la medición, instrumentación, monitoreo, automatización y control.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**APÉNDICE A. CONEXIÓN DE SEÑALES**

En este apéndice se describe la forma de conectar señales a los dispositivos de adquisición de datos, específicamente a los dispositivos PCI de las Series E utilizando los conectores I/O (Entrada / Salida).

Device with I/O Connector	Number of Pins	Cable for Connecting to 100-pin Signal Accessories	Cable for Connecting to 68-pin Signal Accessories	Cable for Connecting to 50-pin Signal Accessories
PCI-MIO-16E-1, PCI-MIO-16E-4, PCI-MIO-16NE-10, PCI-MIO-16NE-50, and NI PC-16032E	68	N/A	SH68-68-EP Shielded Cable, SH68-68R1-EP Shielded Cable, R6868 Ribbon Cable	SH6850 Shielded Cable, R6850 Ribbon Cable
NI PC-16031E, NI PC-16033E, and NI PC-16037E	100	SH100100 Shielded Cable	SH1006868 Shielded Cable	R1005050 Ribbon Cable

**Tabla 1. Datos de conectores I/O.**

**Conector I/O**

La figura 2 muestra la asignación de entradas y salidas para el conector I/O de 68 terminales correspondiente a la tarjeta PCI-6040E integrada en la tarjeta RT PCI-7030/6040E.



ACH0	14 54	ACH0
ACH1	11 07	ACH0D
ACH2	32 06	ACH0P
ACH3	11 06	ACH2
ACH4	20 04	ACH0D
ACH5	20 03	ACH11
A_H4	24 02	AISENSE
ACH6	27 01	ACH12
ACH13	26 00	ACH5
ACH8	25 59	ACH0D
ACH9	24 58	ACH14
ACH15	23 57	ACH7
DAUGHT1	22 56	ACH0D
DAUGHT1	21 55	ACH0D
EXTREF2	20 54	ACH0D
EN04	19 53	DAND
DND	18 52	DND
DND	17 51	DND
DND	16 50	DAND
DND	15 49	DND
+SV	14 48	DND
DND	13 47	DND
DND	12 46	~CANCLK
PERTRV11	11 45	EXTSTRGBE'
PERTRIG2	10 44	DND
DND	9 43	PERCINVERT'
+SV	8 42	PERLGPCTR1 SOURCE
DND	7 41	PERLGPCTR1 GATE
PERUPDATE'	6 40	GPCTR1 OUT
PERWTRNG	5 39	DND
DND	4 38	PERSTARTSCAN
PERLGPCTR0 GATE	3 37	PERLGPCTR0 SOURCE
GPCTR0 OUT	2 36	DND
FREQ OUT	1 35	DND

TERMINALES DE ENTRADA  
 TERMINALES DE SALIDA

Figura 1. Asignación de entradas y salidas para el conector I/O de 68 terminales.

### Descripción del conector I/O SCB-68

Las tablas 2, 3 y 4 muestran la descripción de cada uno de las terminales de entradas y salidas del conector I/O SCB-68.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Signal Name	Reference	Direction	Description
AIGND	—	—	AI Ground—These pins are the reference point for single-ended measurements in NRSE configuration and the bias current return point for differential measurements. All three ground references—AIGND, AOGND, and DGND—are connected together on the PCL1 Series device.
ACH<0..15>	AIGND	Input	AI Channels 0 through 15—Each channel pair, ACH< <i>i</i> >+< <i>i</i> > (i = 0..7), can be configured as either one differential input or two single-ended inputs.
ACH<16..63>	AIGND	Input	AI Channels 16 through 63 (NI PCI-6031E, NI PCI-6031E; NI PCI-6071E only)—Each channel pair, ACH< <i>i</i> >+< <i>i</i> > (i = 16..23, 32..39, 48..55), can be configured as either one differential input or two single-ended inputs.
AISENSE	AIGND	Input	AI Sense—This pin serves as the reference node for any of channels ACH<0..15> in NRSE configuration.
AISENSE2	AIGND	Input	AI Sense (NI PCI-6031E, NI PCI-6031E; and NI PCI-6071E only)—This pin serves as the reference node for any of channels ACH<16..63> in NRSE configuration.
DAC0OUT	AOGND	Output	Analog Channel 0 Output—This pin supplies the voltage output of AO channel 0. This pin is <i>not</i> available on the NI PCI-6032E or NI PCI-6033E.
DAC1OUT	AOGND	Output	Analog Channel 1 Output—This pin supplies the voltage output of AO channel 1. This pin is <i>not</i> available on the NI PCI-6032E or NI PCI-6033E.
EXTREF1	AOGND	Input	External Reference—This is the external reference input for the AO circuitry. This pin is <i>not</i> available on the PCI-MIO-16XE-10, PCI-MIO-16XE-50, NI PCI-6031E, NI PCI-6032E, or NI PCI-6033E.
AOGND	—	—	AO Ground—The AO voltages are referenced to this node. All three ground references—AIGND, AOGND, and DGND—are connected together on the PCL1 Series device.
DGND	—	—	Digital Ground—This pin supplies the reference for the digital signals at the I/O connector as well as the +5 VDC supply. All three ground references—AIGND, AOGND, and DGND—are connected together on the PCL1 Series device.
DIO<0..7>	DGND	Input or Output	DIO Signals—DIO6 and 7 can control the up/down signal of general-purpose counters 0 and 1, respectively. DIO7 is the MSB and DIO6 is the LSB.

Tabla 2. Descripción de las terminales de entradas y salidas del conector I/O.



Signal Name	Reference	Direction	Description
GPCTR1_OUT1	DGND	Output	Counter 1 Output—This output is from the general-purpose counter 1 output.
PF18/UPDATE*	DGND	Input Output	PF18/Update—As an input, this is one of the PFI's. As an output, this is the UPDATE* signal. A high-to-low edge on UPDATE* indicates that the AO primary group is being updated.
PF16/WFTRIG	DGND	Input Output	PF16/Waveform Trigger—As an input, this is one of the PFI's. As an output, this is the WFTRIG signal. In timed AO sequences, a low-to-high transition indicates the initiation of the waveform generation.
PF17/STARTSCAN	DGND	Input Output	PF17/Start of Scan—As an input, this is one of the PFI's. As an output, this is the STARTSCAN signal. This pin pulses once at the start of each AI scan in the interval scan. A low-to-high transition indicates the start of the scan.
PF18/GPCTR0_SOURCE1	DGND	Input Output	PF18/Counter 0 Source—As an input, this is one of the PFI's. As an output, this is the GPCTR0_SOURCE1 signal. This signal reflects the actual source connected to the general-purpose counter 0.
PF19/GPCTR0_GATE	DGND	Input Output	PF19/Counter 0 Gate—As an input, this is one of the PFI's. As an output, this is the GPCTR0_GATE signal. This signal reflects the actual gate signal connected to the general-purpose counter 0.
GPCTR0_OUT1	DGND	Output	Counter 0 Output—This output is from the general-purpose counter 0 output.
FREQ1_OUT	DGND	Output	Frequency Output—This output is from the frequency generator output.

Tabla 4. Descripción de las terminales de entradas y salidas del conector I/O.

## Tipos de señales I/O

Las tablas 5 y 6 muestran los rangos de operación de cada terminal de entrada y de salida.

Signal Name	Signal Type and Direction	Impedance Input/ Output	Protection (Volts On/Off)	Source (mV at V <sub>CC</sub> )	Sink (mV at V <sub>CC</sub> )	Rise Time (ns)	Bias
ACH<0..63>	AI	100 Ω <sub>L</sub> in parallel with 100 pF	25/15	---	---	---	±200 pA
AISENSE, AISENSE2	AI	100 Ω <sub>L</sub> in parallel with 100 pF	25/15	---	---	---	±200 pA
AGND	AO	---	---	---	---	---	---
DAC0OUT	AO	0.1 kΩ	Short-circuit to ground	5 at 10	5 at -10	20 V/ps	---
DAC1OUT	AO	0.1 kΩ	Short-circuit to ground	5 at 10	5 at -10	20 V/ps	---
EXTREF	AI	10 kΩ	25/15	---	---	---	---
AGND	AO	---	---	---	---	---	---
DGND	DO	---	---	---	---	---	---
VCC	DO	0.1 kΩ	Short-circuit to ground	1A	---	---	---
DIO<0..7>	DIO	---	V <sub>CC</sub> +0.5	13 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	24 at 0.4	1.1	50 kΩ pu
SCANCLK	DO	---	---	3.5 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	5 at 0.4	1.5	50 kΩ pu
EXTSTROBE*	DO	---	---	3.5 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	5 at 0.4	1.5	50 kΩ pu
PFI0/TRIG1	AI DIO	10 kΩ	±35 V <sub>CC</sub> +0.5	3.5 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	5 at 0.4	1.5	9 kΩ pu and 10 kΩ pu
PFI1/TRIG2	DIO	---	V <sub>CC</sub> +0.5	3.5 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	5 at 0.4	1.5	50 kΩ pu
PFI2/CONVERT*	DIO	---	V <sub>CC</sub> +0.5	3.5 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	5 at 0.4	1.5	50 kΩ pu
PFI3/GPCTR1_SOURCE	DIO	---	V <sub>CC</sub> +0.5	3.5 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	5 at 0.4	1.5	50 kΩ pu

Tabla 5. Rangos de operación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Signal Name	Signal Type and Direction	Impedance Input/Output	Protection (Vols. On/Off)	Source (mV at V <sub>I</sub> )	Sink (mV at V <sub>I</sub> )	Rise Time (ns)	Bias
PE14/GPCTR1_GATE	DIO	-	V <sub>CC</sub> +0.5	3.5 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	5 at 0.4	1.5	50 kΩ pu
GPCTR1_OUT	DIO	---	---	3.5 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	5 at 0.4	1.5	50 kΩ pu
PE15/PEVALL*	DIO	---	V <sub>CC</sub> +0.5	3.5 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	5 at 0.4	1.5	50 kΩ pu
PE16/W1_TRIG	DIO	---	V <sub>CC</sub> +0.5	3.5 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	5 at 0.4	1.5	50 kΩ pu
PE17/STARISCAN	DIO	---	V <sub>CC</sub> +0.5	3.5 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	5 at 0.4	1.5	50 kΩ pu
PE18/GPCTR0_SOURCE	DIO	---	V <sub>CC</sub> +0.5	3.5 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	5 at 0.4	1.5	50 kΩ pu
PE19/GPCTR0_GATE	DIO	---	V <sub>CC</sub> +0.5	3.5 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	5 at 0.4	1.5	50 kΩ pu
GPCTR0_OUT	DIO	---	---	3.5 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	5 at 0.4	1.5	50 kΩ pu
FREQ_OUT	DIO	---	---	3.5 at (V <sub>CC</sub> -0.4)	5 at 0.4	1.5	50 kΩ pu

AI = Analog Input      AO = Analog Output      AI/DIO = Analog/Digital Input/Output  
 DIO = Digital Input/Output      DO = Digital Output      pu = pull down  
 pu = pull up  
 Note: The tolerance on the 50 kΩ pull-up and pull-down resistors is very large. Actual value may range between 17 kΩ and 100 kΩ.

Tabla 6. Rangos de operación.

### Conexión de señales de entrada analógicas

Las entradas analógicas para los dispositivos PCI de las series E son: ACH<0...15>, AISENSE y AIGND. Los puntos ACH<0...15> son conectados a los 10 canales de entradas analógicas del dispositivo PCI de la serie E. En el modo de conexión sencillo las señales conectadas a los canales ACH<0...15> se conectan a la entrada positiva del dispositivo PGIA (Programmable Gain Instrumentation Amplifier). En modo diferencial las señales se

conectan a los canales ACH<0...7> que son los conectados al punto positivo del PGIA mientras que las señales conectadas a los canales ACH<8...15> se conectan al punto negativo del PGIA. Al exceder de los rangos de entrada diferenciales y de modo común distorsiona las señales de entrada. Al exceder al máximo rango de voltaje de entrada puede dañar el dispositivo PCI de las series E así como la PC. Los rangos máximos de voltajes de entrada se listan en la columna de "Protección" de las tablas mostradas anteriormente.

En el modo NRSE (NonReferenced Single-Ended mode) la señal AISENSE es conectada internamente a la entrada negativa del PGIA cuando sus canales correspondientes son seleccionados. En los modos diferenciales y RSE (Referenced Single-Ended mode), ésta señal se deja desconectada.

La señal AIGND es una señal analógica común que se conecta directamente al punto de tierra de la tarjeta. Se puede utilizar este punto como un punto de tierra analógico de propósito general en la tarjeta siempre que sea necesario.

La conexión de las señales analógicas a la tarjeta depende de la configuración de los canales de entradas analógicas que se están utilizando y el tipo de la fuente de la señal de entrada. Con diferentes configuraciones se puede utilizar el PGIA en diversas formas. La siguiente figura muestra un diagrama del dispositivo llamado PGIA de la tarjeta.

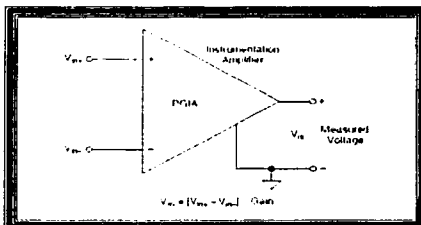


Figura 2. PGIA en la tarjeta PCI de las series E.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El PGIA aplica una ganancia y un rechazo de voltaje en modo común y presenta una alta impedancia a la entrada de las señales conectadas al dispositivo. Las señales se pueden conectar a las entradas positivas y negativas del PGIA a través de multiplexores en el dispositivo. El PGIA convierte dos señales de entrada a una señal que es la diferencia entre dos señales de entrada multiplicadas por la ganancia establecida del amplificador. El voltaje de salida del amplificador es referenciado a la tierra del dispositivo. EL convertidor analógico-digital mide ese voltaje de salida mientras realiza la conversión.

Se tienen que referenciar todas las señales a tierra ya sea a la fuente del dispositivo o al dispositivo en sí. Si se tiene una fuente flotada se tiene que referenciar la señal a tierra utilizando el modo RSE (Referenced Single-Ended) o el modo diferencial con resistores de bias. Si se tiene una fuente referenciada a tierra no se tiene que referenciar la señal al punto AIGND. Se puede evitar hacer esta referencia utilizando el modo diferencial o el modo NRSE.

### Problemas de conexión a tierra

Para medir una señal correctamente, se debe conectar a tierra el sistema apropiadamente. Los dos componentes más importantes son la fuente de señal y el sistema de medición. Un sistema de medición podría incluir hardware de acondicionamiento de señales así como un dispositivo de adquisición de datos DAQ; sin embargo, para esta evaluación de conexión a tierra se asume que el sistema de medición sólo consiste en un dispositivo de adquisición de datos DAQ. Primero, se debe determinar cómo está conectada a tierra la fuente de señal. Entonces, basado en cómo la fuente de señal se conecta con tierra, se puede determinar un modo de conexión a tierra para el sistema de medición. A lo largo de esta evaluación de conexión a tierra, ( $V_s$ ) se refiere al nivel de voltaje de nuestra fuente de señal, y ( $V_m$ ) se refiere al voltaje medido por el dispositivo de adquisición de datos DAQ, figura 3.



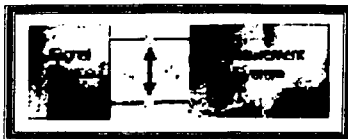


Figura 3. Diagrama simplificado de un sistema de medición.

### Tipos de fuente de señal de entrada

La fuente de señal puede ponerse en una de dos categorías:

- Conectada con tierra
- Flotada

Determinando la fuente de señal correctamente es muy importante porque de la forma en que la fuente de señal se conecta con tierra será la forma en que sea afectado el sistema de medición, figura 4.

	Signal Source Type	
	Floating Signal Source (Not Connected to Building Ground)	Grounded Signal Source
Input	Examples • Ungrounded Thermocouples • Signal Conditioning with Isolated Outputs • Battery Devices	Examples • Plug-in Instruments with Nonisolated Outputs

Figura 4. Clasificación de los tipos de fuentes de señales.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### Fuente de señal conectada a tierra

Una fuente de señal conectada con tierra es la cual las señales de voltaje son referenciadas a un sistema de tierra como se ve en la figura 5. Tiene que tomarse en cuenta que la terminal negativa de la fuente de señal mostrada esta referenciada con respecto a tierra. Los ejemplos más comunes de fuentes de señal conectadas con tierra son los dispositivos como las fuentes de poder y los generadores de señales que son conectados al sistema de tierra de un edificio mediante un conector de pared.

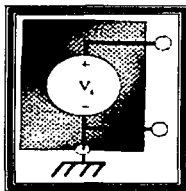


Figura 5. Señal conectada a tierra.

La tierra de dos fuentes de señal independientemente conectadas a tierra, generalmente no estarán al mismo potencial. La diferencia de potencial en la tierra entre los dos dispositivos conectados al mismo sistema de tierra del edificio es típicamente de 10 mV a 200 mV. La diferencia puede ser más alta si no se conectan adecuadamente los circuitos de distribución de energía eléctrica.

### Fuente de señal flotada

Una fuente de señal flotante es en la que la señal de voltaje no es referenciada a ningún sistema de tierra como se muestra en la figura 6. Ni el positivo ni la terminal negativa de la señal no son referenciados con respecto a tierra. Los ejemplos más comunes de fuentes de señal flotantes son las baterías, los termopares, transformadores y amplificadores de aislamiento.

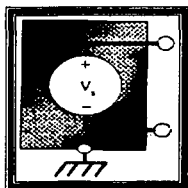


Figura 6. Señal flotada.

### Sistema de medición

Los sistemas de medición tienen tres posibles modos de conexión a tierra: el modo diferencial, los de una sola terminal referenciados (RSE), y los de una sola terminal no referenciados (NRSE), ver figura 7. El modo de conexión a tierra que se elija para el sistema dependerá de cómo la señal sea conectada con tierra.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

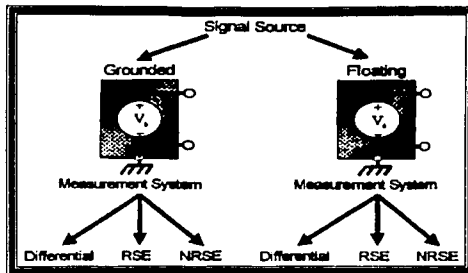


Figura 7. Diferentes sistemas de medición para los tipos de fuentes de señal.

### Modo diferencial

En un sistema de medición diferencial, ni la entrada del amplificador de instrumentación es está referenciada a una tierra del sistema. Como se puede ver en la figura, el conector AIGND y el propio amplificador están referenciados a sistema conectado con tierra, pero ninguno de las referencias de las terminales de entrada están conectadas con tierra de forma alguna. Cuando el dispositivo está en el modo diferencial, está usando dos canales de entrada analógicos para una señal, reduciendo a la mitad el número de canales de entrada del dispositivo de adquisición de datos DAQ. Por consiguiente, un dispositivo de adquisición de datos DAQ de 16 canales se vuelve un dispositivo de adquisición de datos DAQ de 8 canales cuando está en el modo diferencial. Los pares formados por los canales de entrada analógicos se forman de la siguiente manera:

- -ACH terminal positivo (n)
- -ACH terminal negativo (n + 8)

Si se quiere medir una señal en el canal de entrada analógica número 5, se conectará la terminal positiva de la señal a ACH5 y la terminal negativa de la señal a ACH13. Los pares formados por las entradas analógicas son mostrados en la figura 8.

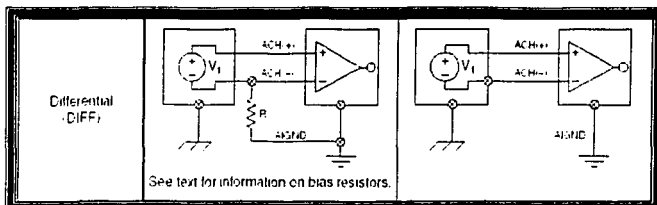


Figura 8. Conexión en modo diferencial.

¿Si el poner el dispositivo de adquisición de datos DAQ en modo de diferencial reduce a la mitad el número de entradas analógicas, por qué sería útil el modo diferencial?

Poniendo el sistema de medición en modo del diferencial nos permitirá tener mejores mediciones y permite al amplificador rechazar el voltaje de modo común y cualquier ruido de modo común que estén presentes en la señal. El voltaje de modo común es cualquier voltaje presente en las entradas del amplificador de instrumentación con respecto a la tierra del amplificador.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

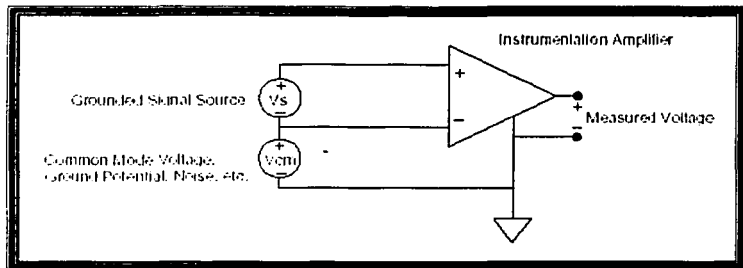


Figura 9. Voltaje de modo común.

La fórmula para calcular la cantidad de voltaje de modo común con respecto a la tierra del dispositivo DAQ es la siguiente :

$$V_{cm} = (V_{pos} + V_{neg}) / 2.$$

donde,

$V_{pos}$  = Voltaje en la terminal positiva del amplificador con respecto a la tierra del amplificador.

$V_{neg}$  = Voltaje en la terminal negativa del amplificador con respecto a la tierra del amplificador.

Un sistema de medición ideal en modo diferencial registra sólo la diferencia de potencial entre las terminales positiva y negativa del amplificador, por lo que rechaza completamente los voltajes de modo común. Sin embargo, los dispositivos prácticos han limitado su capacidad de rechazo del voltaje de modo común. Se puede calcular la cantidad de voltaje de modo común que el sistema puede rechazar con la siguiente fórmula :

$$V_{cm(max)} = \{MVW = [(V_{diff(max)} * (Ganancia))] / 2.$$

donde,

$MVW$  = Máximo Voltaje Activo mencionado en las especificaciones del dispositivo en el catálogo de productos NI.

$V_{diff(max)}$  =  $V_{pos(max)} + V_{neg(max)}$  : es la máxima diferencia esperada a la entrada de las terminales del amplificador de instrumentación.

$Ganancia$  = Es la ganancia determinada en el dispositivo.

### Modo RSE (Referenced Single-Ended)

Un sistema de medición en modo RSE referencia sus mediciones a la tierra del sistema. Como se vio anteriormente, la terminal negativa de la fuente de señal se conecta a la entrada AIGND que a su vez se conecta a la tierra del sistema. Debido a que se está usando la entrada AIGND para la terminal negativa de la señal, sólo se necesita usar un canal de entrada analógico por señal. Un dispositivo de adquisición de datos DAQ de 16 canales de entrada en el modo RSE sigue siendo un dispositivo de adquisición de datos DAQ de 16 entradas analógicas. Si se quiere medir una señal en el canal 10 de entrada analógica, se conecta la terminal positiva de la señal a la entrada ACH9 y la terminal negativa de la señal a la entrada AIGND. Como se puede ver en el diagrama de asignación de entradas del dispositivo de adquisición de datos DAQ, se proporcionan múltiples entradas AIGND para prevenir la superposición de alambres de las entradas que puedan causar interferencia entre las señales. Mientras que el modo RSE mantiene el número de canales de entrada del dispositivo de adquisición de datos DAQ, no rechaza los voltajes de modo común, figura 10. Demasiado voltaje de modo común puede causar errores en la medición y puede dañar el dispositivo.

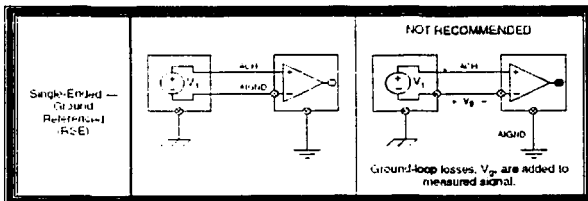


Figura 10. Conexión en modo SRE.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Modo NSRE (Nonreferenced Single-Ended)

Los dispositivos de adquisición de datos DAQ ofrecen una variante en el modo RSE llamada el modo de una sola terminal no referenciada (NRSE). En el modo NRSE, todas las mediciones se hacen todavía con respecto a una referencia en común como en el modo RSE, pero diferente al modo RSE, el voltaje de esta referencia puede variar con respecto a la tierra del sistema. La terminal negativa de la señal se conecta la entrada AISENSE, donde la entrada AISENSE no está referenciada con tierra en absoluto. Como resultado, el voltaje del punto AISENSE está flotando. Como se muestra en la asignación anterior de entradas en la tarjeta de adquisición de datos DAQ, el dispositivo tiene sólo una entrada AISENSE para conectar la fuente de señal porque se necesita asegurar cada señal utilice la misma referencia. Similar al modo RSE, el modo NRSE mantiene el número de canales de entrada del dispositivo de adquisición de datos DAQ y no rechaza los voltajes de modo común. ¿Cuándo utilizar el modo RSE en lugar NRSE? Esa pregunta se contesta al determinar un modo de conexión a tierra para un sistema de medición basado en la forma en que está conectada la fuente de señal con tierra, figura 11.

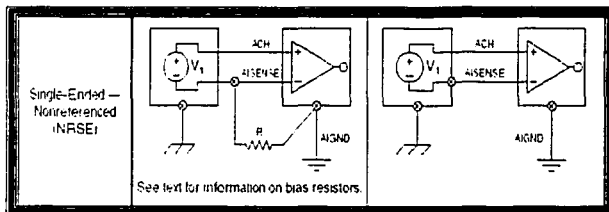


Figura 11. Conexión en modo NSRE.



### Determinando la conexión del sistema de medición

Se sabe ahora si la fuente de señal está conectada con tierra o flotada, y se conocen los tres modos posibles para conectar a tierra el sistema. Luego, se determina el modo de conexión a tierra del sistema de medición apropiado tomando en cuenta si la fuente se conecta con tierra o flotada.

### Opciones de conexión a tierra de las fuentes de señal

Si se asume que se tiene una señal conectada a tierra. ¿Qué modo de conexión a tierra se debe escoger para el sistema de medición? Esta sección discute los beneficios e inconvenientes de cada uno de los tres modos de medición, y proporciona conclusiones acerca de cual modo es mejor para una fuente de señal conectada con tierra.

**El diferencial:** El modo diferencial reduce a la mitad el número de canales de entrada del dispositivo de adquisición de datos DAQ. Las ventajas del modo diferencial son la adquisición de mejores mediciones y permite que el amplificador la instrumentación rechace el voltaje de modo común y cualquier ruido de modo común que estén presentes en la señal.

**RSE:** El modo RSE no se recomienda para el uso con una fuente de señal conectada con tierra. Las tierras de dos fuentes de señal independientemente conectadas a tierra, generalmente no estarán al mismo potencial. Se conectan a tierra la fuente de señal y el sistema de medición. A la diferencia de potencial entre la tierra de la fuente de señal y la tierra de sistema de medición se le llama un ciclo de tierras. Cada vez que se quiera introducir una línea directamente en el diagrama del circuito conectando una tierra en el sistema a otra tierra, se tiene un ciclo de tierras. Un ciclo de tierras puede producir errores en las mediciones introduciendo ruido de CA y ruido de CD en la forma de un línea de potencia en la componente de frecuencia (60 CA de Hz) y errores del desplazamiento (CD).

Si se conecta la terminal positiva de la fuente de señal accidentalmente a la terminal negativa (AISENSE) del sistema de medición RSE, se pondrá en cortocircuito la fuente de señal y posiblemente causará daño permanente a la fuente de señal.

**NRSE:** Diferente al modo RSE, el modo NRSE no causa ciclos de tierras, porque la terminal negativa del sistema de medición está referenciada a la entrada AISENSE que no está directamente referenciada a tierra. El modo NRSE mantiene el número de canales de entrada del dispositivo de adquisición de datos DAQ, pero no rechaza los voltajes del modo común.

### Resistencias de bias

Si se quieren medir las fuentes de señal flotantes con un sistema de medición en el que no se tiene ninguna conexión con tierra (diferencial o NRSE), se podrían encontrar las corrientes de bias. Las corrientes de bias presentes se tienen cuando una fuente de señal flotante excede el voltaje de modo común del amplificador.

Cuando el amplificador de instrumentación se satura, la corriente de bias entra en el sistema y busca un camino para conectarse con tierra. Si no se tiene un camino de conexión con tierra, las corrientes de bias pueden causar mediciones erróneas. Mientras más bajas se tengan las corrientes de bias a la entrada, se tendrá menos voltaje no deseado a la entrada y por consiguiente se tendrá una medición correcta.

En un sistema de medición diferencial o NRSE, ningún camino de conexión con tierra está disponible, para esto se tienen las resistencias de bias para proporcionar un camino a tierra para drenar la corriente de bias fuera del amplificador, ver figura 12. El valor recomendado para las resistencias de bias está entre 10 kilo ohms y 100 kilo ohms. El valor real depende del nivel de impedancia de la fuente de señal. Una sola resistencia de

bias (R2) es suficiente para las fuentes de señal acopladas CD como los termopares. Si su fuente de señal es acoplada CA, se requieren dos resistencias de bias (R1 y R2), y los valores de las resistencias deben ser iguales.

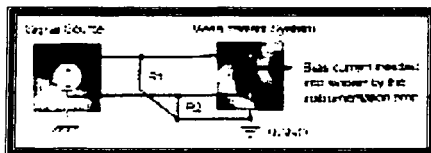


Figura 12. Resistencias de bias.

### Consideraciones de rendimiento

El voltaje de la referencia puede ser una señal interna o una señal externa. El voltaje de la referencia interna es una señal de +10 V. Se puede poner el rango del convertidor A/D como bipolar o unipolar.

**Bipolar:** Una señal bipolar tiene un rango que incluye los valores positivos y negativos. Si usted pusiera su dispositivo en el modo bipolar, el rango del convertidor A/D es determinado como sigue:

- El voltaje máximo = + Vref
- El voltaje mínimo = - Vref

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Por ejemplo, si se está usando el voltaje de +10 V de referencia interna, el rango del convertidor A/D se pondría de -10 a +10 V. Sin embargo, si la señal sólo va de -5 a +5 V, usted no está aumentando al máximo la resolución de su convertidor A/D. Para aumentar al máximo su resolución, usted podría proporcionar un valor de +5 V.

Unipolar: Una señal del unipolar tiene un rango que incluye sólo valores positivos. Si usted pusiera su dispositivo en el modo del unipolar, el rango del convertidor A/D es determinado como sigue:

- El voltaje máximo = + Vref
- El voltaje mínimo = 0 V

Por ejemplo, si se usa el voltaje de +10 V de referencia interna, el rango del convertidor A/D está fijo en 0 V a +10 V. Si la señal es sólo 0 V a 5 V, no se está aumentando al máximo la resolución de su convertidor A/D. Para aumentar al máximo la resolución, usted puede proporcionar un valor de +5 V.

### Consideraciones de conexión para el modo diferencial

Una conexión en modo diferencial como ya se mencionó es cuando la señal de entrada analógica conectada al dispositivo de adquisición de datos tiene su única señal de referencia o su propia trayectoria de regreso. Estas conexiones están disponibles cuando el canal seleccionado se configura de tal modo que se tenga la conexión en modo diferencial. La señal de entrada se conecta a la entrada positiva del PGIA como se mostró anteriormente y su señal de referencia o retorno, se conecta a la entrada negativa del PGIA.

Recordando que, en el modo diferencial los canales de entradas analógicas forman pares dados por ACH<i></i> como las señales de entrada y ACH<i></i> + 8> como las señales de referencia. Por ejemplo, ACH0 forma un par con ACH8, ACH1 con ACH9 y así consecutivamente. Sin embargo, con una configuración en modo diferencial para cada canal se pueden tener hasta 8 conexiones para los dispositivos de 16 entradas analógicas.

Se debe de utilizar las conexiones de modo diferencial para cualquier canal que tenga cualquiera de las siguientes condiciones:

- La señal de entrada es de bajo nivel de voltaje (menor de 1 V).
- Los cables de la conexión a la tarjeta sean mayores de 3 m (10ft).
- La señal de entrada requiera un punto de referencia a tierra por separado.
- La señal de entrada tenga que pasar a través de ambientes ruidosos.

La conexión en modo diferencial reduce los picos de ruido e incrementa el rechazo de ruido en modo común. También permite que las señales floten dentro de los límites de modo común del PGIA.

### Conexiones diferenciales para las fuentes de señales referenciadas a tierra

La figura 13 muestra como conectar una fuente de señal referenciada a tierra a un canal del dispositivo PCI de las series E configurado como entrada en modo diferencial.

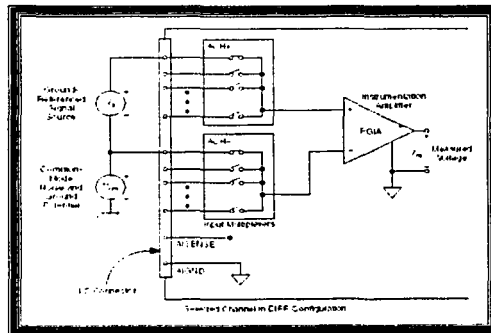


Figura 13. Conexiones de entrada en modo diferencial para señales referenciadas a tierra.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Con éste tipo de conexión, el PGIA rechaza tanto el ruido de modo común en la señal como la diferencia de potencial entre la tierras de la fuente de señal y la tierra del dispositivo PCI. nombrado  $V_{cm}$  en la figura anterior.

### Conexiones diferenciales para las fuentes de señales no referenciadas a tierra

La figura 14 muestra como conectar una señal flotada a un canal del dispositivo PCI de la serie E configurado como entrada en modo diferencial.

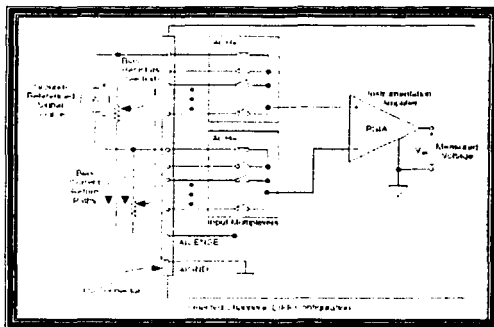


Figura 14. Conexiones de entrada en modo diferencial para señales no referenciadas a tierra.

La figura anterior muestra dos resistencias de bias conectados en paralelo con las conexiones de la señal flotada. Si no se ponen las resistencias y la señal está realmente flotando, la fuente de señal no estará propiamente dentro de los rangos de modo común del PGIA y éste se saturará provocando errores en las lecturas. Se tiene que referenciar la señal al punto AIGND. La forma más simple es simplemente conectar el lado positivo de la señal a la entrada positiva del PGIA y conectar el lado negativo de la señal en la entrada negativa

del PGIA sin ninguna resistencia de bias. Este tipo de conexión trabaja bien para fuentes acopladas de DC con una baja impedancia (menos de  $100\Omega$ ).

Sin embargo, para impedancias mas grandes esta conexión deja la trayectoria de la señal diferencial considerablemente fuera de balance. El ruido que se añade electro estáticamente en la línea positiva no lo hace en la línea negativa porque está conectada a tierra. Por lo tanto, ese ruido aparece como una señal en modo diferencial en lugar de una señal en modo común entonces el PGIA no la rechaza. En este caso, en lugar de conectar directamente la línea negativa al punto AIGND, se tiene que conectar al punto AIGND a través de una resistencia que es alrededor de 100 veces el equivalente de la impedancia de la fuente de señal. La resistencia pone la trayectoria de la señal en mejor balance por lo que la casi la misma cantidad de ruido se acopla a ambas conexiones proporcionando mejor rechazo al ruido adherido electro estáticamente.

Se puede balancear completamente la trayectoria de la señal conectando otra resistencia del mismo valor entre la entrada positiva y el punto AIGND como se muestra en la figura anterior. Esta configuración completamente balanceada ofrece un mejor rechazo al ruido pero tiene la desventaja de reducir la carga de la fuente con la combinación en serie de las dos resistencias. Por ejemplo, si la impedancia de la fuente es de  $2\text{ k}\Omega$  y cada una de las resistencias es de  $100\text{ k}\Omega$  las resistencias bajarán la carga de la fuente con  $200\text{ k}\Omega$  produciendo un error de ganancia del  $-1\%$ .

Ambas entradas del PGIA requieren una trayectoria de DC a tierra para el PGIA para funcionar. Si la fuente de señal es acoplada en AC (capacitivamente), el PGIA necesita una resistencia entre la entrada positiva y el punto AIGND. Si la fuente tiene baja impedancia, se debe de elegir una resistencia que sea lo suficientemente grande (típicamente de  $100\text{ k}\Omega$  a  $1\text{ M}\Omega$ ) para no producir un voltaje de offset como resultado de las corrientes de bias de entrada. En este caso se puede conectar la entrada negativa directamente al punto AIGND. Si la fuente tiene una alta impedancia de entrada, se debe de balancear la trayectoria de la señal como ya se describió anteriormente utilizando el mismo valor de resistencias en las dos entradas, tanto en la positiva como en la negativa. Se tiene

que tener en cuenta que se tiene un error de ganancia al reducir la carga de la fuente de señal.

### Consideraciones de conexión para el modo RSE

La conexión en modo RSE es una tipo de conexión en la cual la señal analógica es referenciada a una tierra que puede ser compartida con otras señales de entrada. La señal de entrada se conecta a la entrada positiva del PGIA y la tierra se conecta a la entrada negativa del PGIA. Cuando cada canal se configura en el modo SE (Single-Ended) se tienen hasta 16 canales de entradas analógicas disponibles.

Se tiene que tener la conexión en modo SE para cualquier señal de entrada que cumpla con las siguientes condiciones:

- La señal de entrada es de alto nivel de voltaje (mayor de 1 V).
- Los cables de la conexión a la tarjeta sean menores de 3 m (10ft).
- La señal de entrada pueda compartir un punto común de referencia con otras señales.

La conexión en modo diferencial es recomendada para una mayor integridad de la señal de entrada para cualquier señal que no cumpla con las condiciones anteriores.

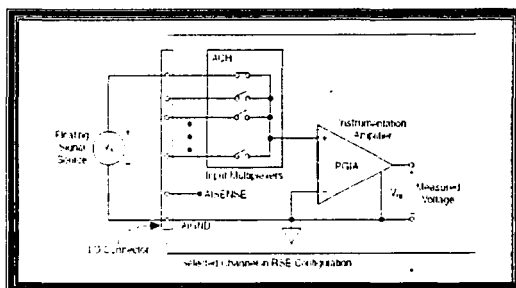
Se pueden configurar a través del software los canales del dispositivo de adquisición de datos para dos tipos de conexiones en modo SE, la configuración en modo RSE y NRSE. La primera se utiliza para fuentes de señal flotadas; en este caso, el dispositivo PCI proporciona el punto de referencia a tierra para la señal externa. La configuración NRSE se utiliza para las señales referenciadas a tierra; en este caso, la señal externa proporciona su propio punto de referencia a tierra y la tarjeta no debe proporcionar uno.



En las configuraciones SE se añade más ruido electro estático y magnético a las conexiones de la señal que en la configuración en modo diferencial. Este acoplamiento se debe a las diferencias en las trayectorias de la señal. El acoplamiento magnético es proporcional al área entre los dos conductores de la señal. El acoplamiento eléctrico es una función de cuánto el campo eléctrico difiere entre los dos conductores.

### Conexiones en modo SE para fuentes de señales flotadas (configuración RSE)

La figura 15 muestra como conectar una señal flotada a un canal del dispositivo de adquisición configurado en el modo RSE.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 15. Conexiones de entrada en modo SE para señales flotadas no referenciadas.

### Conexiones en modo SE para fuentes de señales referenciadas (configuración NRSE)

Para medir una señal referenciada a tierra con una configuración SE se tiene que configurar el canal con el modo NRSE. Entonces la señal se conecta a la entrada positiva del PGA y la señal de referencia local se conecta a la entrada negativa del PGA. El punto

de tierra de la señal debe de ser conectado al punto AISENSE. Cualquier diferencia de potencial entre la tierra de la tarjeta y la tierra de la señal aparece como una señal de modo común tanto en la entrada positiva como en la negativa del PGIA y esta diferencia es rechazada por el amplificador. Si la circuitería de entrada del dispositivo PCI estuviera referenciada a tierra, la diferencia de potenciales aparecería como un error en el voltaje medido.

La figura 16 muestra como conectar una señal referenciada a tierra en un canal de la tarjeta configurado en modo NRSE.

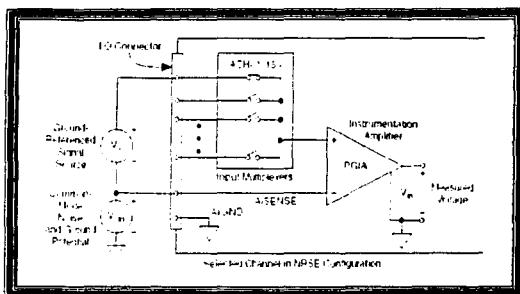


Figura 16. Conexiones de entrada en modo SE para señales referenciadas a tierra.

### Consideraciones para el rechazo de señales de modo común

En los modos de conexión en los cuales se tiene una señal referenciada a tierra en PGIA puede rechazar cualquier voltaje causado por las diferencias de potencial entre la señal de entrada y el dispositivo de adquisición. Además, con las conexiones de entrada diferenciales, el PGIA puede rechazar el ruido en modo común adquirido en las conexiones de la señal con el dispositivo. El PGIA puede rechazar señales de modo común tan grandes como  $V_{in+}$  y  $V_{in-}$  (señales de entrada) ambas hasta  $\pm 11$  V de AIGND.

**APÉNDICE B. ESPECIFICACIONES**

A continuación se presentan las especificaciones del sistema de procesamiento embebido:

**Procesador:**

Procesador.....AMD 486 DX5. Arquitectura de 32 bits.  
 Velocidad del reloj del procesador.....133 MHz.  
 Velocidad del bus del CPU.....33 MHz.  
 Memoria.....8 MB DRAM programable por el usuario, 60 ns, EDO, 5V, 72-PinSODIMM.  
 On-Clip Cache.....16 KB Write-Back.  
 L2 Cache.....256 KB Write-Back.  
 Unidad de punto flotante.....Si.

**Sistema embebido de comunicación:**

**Memoria compartida:**

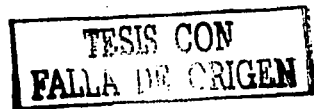
Tipo.....SRAM (Static RAM).  
 Tamaño.....1 KB disponible para el usuario.

**Bus de interfase:**

Tipo.....PCI (Esclavo).

**Requerimiento de energía:**

PCI-7030 ( sin tarjeta hija) 1.9 A @ 5 VDC (±5 %)  
 PXI-7030 ( sin tarjeta hija) 2.0 A @ 5 VDC (±5 %)



Para tener el requerimiento total de energía se tiene que tomar en cuante los requerimientos de la tarjeta del procesador mostrados a continuación para los requerimientos de las tarjetas I/O dados en el manual de tarjetas I/O.

**Dimensiones físicas:**

PCI-7030..... 312.9 X 160.5 cm ( 12.3 X 4.2 in) Un slot PCI.  
PXI-7030..... 16 X 10 cm (6.3 X 3.9 in) Dos slots PXI.

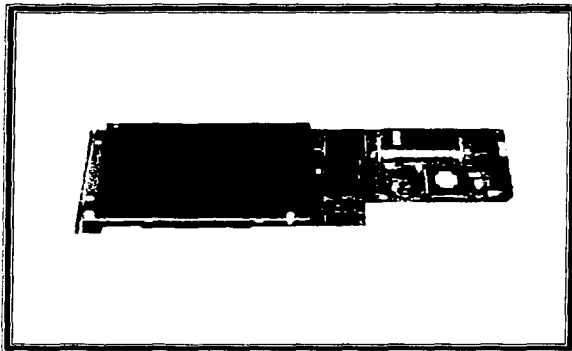


Figura 1. PCI-7030/6040E.

**Condiciones de operación:**

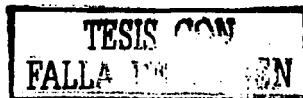
Temperatura de operación.....0° a 55° C.  
Temperatura de almacenamiento..... -20° a 70° C.  
Humedad relativa.....10% a 90% sin condensación.

**Especificaciones de la tarjeta hija (daughter board)/I/O**

Las especificaciones para cada tarjeta se encuentran en el manual correspondiente mostrados en la siguiente tabla.

<b>RT Series Board</b>	<b>DAQ Manual</b>
PXI-7030 6040E	<i>PXI E Series User Manual</i>
PXI-7030 6030E	<i>PXI E Series User Manual</i>
PXI-7030 6533	<i>DIO 6533 User Manual</i>
PCI-7030 6040E	<i>PCI E Series User Manual</i>
PCI-7030 6030E	<i>PCI E Series User Manual</i>
PCI-7030 6533	<i>DIO 6533 User Manual</i>

**Tabla 1. Manuales de referencia.**



**Series E multifunción DAQ (250 kS/s, 12-Bit, 16 Entradas analógicas)**

Los dispositivos de adquisición de datos NI 6040E y 6041E utilizan tecnología de las series E para entregar alto desempeño y una adquisición de datos confiable para reunir una gran variedad de requerimientos en distintas aplicaciones. Se tienen hasta 500 kS/s en un solo canal (escaneo de 250 kS/s), una resolución de 12 bits en 16 entradas analógicas. Dependiendo de la clase de disco duro, estos dispositivos pueden descargar información hacia el disco a velocidades hasta de 250 kS/s. Estos dispositivos de adquisición de datos DAQ tienen la característica de triggering analógico y digital, así como dos contadores y temporizadores de 24 bits a una velocidad de 20 MHz y 8 líneas digitales de entrada y salida (5 V / TTL). Los dispositivos 6040E también constan de salidas analógicas de 12 bits de resolución.

Family	Bus	Analog Inputs	Resolution	Sampling Rate	Input Range	Analog Outputs	Resolution	Output Range	Output Range	Digital I/O	Counters/Timers	Triggers
NIM-6040E	PCI-6040E	16 Sx12 Bx1	12 bit	1000/250/125 S/s	±0.05 to ±10 V	16	12 bit	16x5 V	±5 V	7	2 24-bit	Analog and Digital
NIM-6041E	PCMCIA	16 Sx8 Bx1	12 bit	500/250/125 S/s	±0.05 to ±10 V	16	12 bit	16x5 V	±5 V	5	2 24-bit	Analog and Digital

Tabla 2. Especificaciones de canales, velocidad y resolución para la tarjeta NI 6040E.

Nominal Range (V)	Positive FS	Negative FS	% of Reading		Absolute Accuracy			Relative Accuracy				
			1 Year		1000000 (1000000)			1000000 (1000000)				
			Offset (mV)	Gain (%)	Offset (mV)	Gain (%)	Offset (mV)	Gain (%)	Offset (mV)	Gain (%)		
10	-10	0.0072	0.0714	7.38	1.44	5.27	0.846	3.9010	15.373	0.27	0.77	1.11
5	-5	0.0072	0.0714	1.70	2.22	2.60	0.423	3.0005	5.959	3.14	2.30	0.567
2.5	-2.5	0.0072	0.0714	1.96	1.15	1.54	0.211	3.0010	3.813	1.57	1.62	0.278
1	-1	0.0072	0.0714	0.757	0.464	0.537	0.086	3.0010	1.564	0.627	0.677	0.111
0.5	-0.5	0.0072	0.0714	0.357	0.269	0.269	0.042	3.0010	0.753	0.295	0.290	0.066
0.25	-0.25	0.0072	0.0714	0.206	0.134	0.153	0.021	3.0010	0.405	0.140	0.184	0.028
0.1	-0.1	0.0072	0.0714	0.096	0.096	0.096	0.010	3.0010	0.176	0.058	0.111	0.017
0.05	-0.05	0.0072	0.0714	0.058	0.058	0.076	0.008	3.0010	0.109	0.054	0.091	0.008
10	0	0.0072	0.0714	3.75	2.32	2.65	0.423	3.9995	7.253	3.14	3.32	0.567
5	0	0.0072	0.0714	1.86	1.16	1.54	0.211	3.0010	5.545	1.57	1.60	0.278
2	0	0.0072	0.0714	0.757	0.454	0.537	0.085	3.0010	2.271	0.627	0.677	0.111
1	0	0.0072	0.0714	0.359	0.269	0.269	0.042	3.0010	1.146	0.330	0.330	0.066
0.5	0	0.0072	0.0714	0.275	0.134	0.153	0.021	3.0010	0.583	0.149	0.184	0.028
0.2	0	0.0072	0.0714	0.095	0.076	0.080	0.010	3.0010	0.247	0.088	0.111	0.017
0.1	0	0.0072	0.0714	0.058	0.046	0.049	0.005	3.0010	0.135	0.044	0.051	0.008

Note: Accuracy is valid for measurements taken in an IEEE 488.2 Series Configuration. Absolute numbers assume offset and averaging of 1000 samples/channel (readings). Absolute error accuracy and relative operational temperature is 0.1% of nominal full-scale span and 0.1% of nominal or better, respectively, in temperature. Operational temperature range is not needed. The Absolute Accuracy of the specifications were performed for a maximum range input value. For example, 10 V for the ±10 V configuration (1000000 counts) and 2.5 V for the ±2.5 V configuration (250000 counts).

Tabla 3. Especificaciones de precisión de las entradas analógicas para la tarjeta NI 6040E.

Nominal Range (V)		Absolute Accuracy					Absolute Accuracy at Full Scale (mV)
Positive FS	Negative FS	% of Reading			Temp		
		24 Hrs	90 Days	1 Year	Offset (mV)	Drift (mV/°C)	
10	-10	0.0177	0.0197	0.0219	5.93	0.0005	8.125
10	0	0.0177	0.0197	0.0219	3.49	0.0005	5.685

Note: Temp Drift applies only if ambient is greater than  $\pm 10$  °C of previous external calibration. See page 312 for example calculations.

Tabla 4. Especificaciones de precisión de las salidas analógicas para la tarjeta NI 6040E.

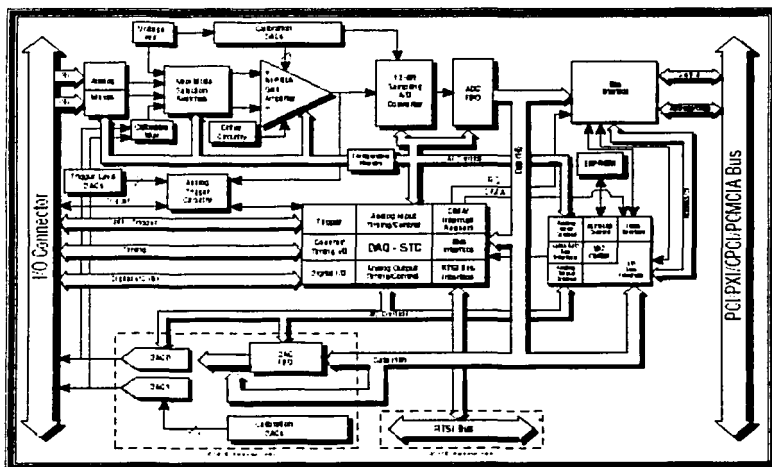


Figura 2. Diagrama de bloques del hardware de la tarjeta NI 6040E.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

**12-Bit E series (NI 607xE, NI 606xE, 604xE, NI 602xE)**

Estas especificaciones son típicamente para condiciones de operación a la temperatura de 25° C a menos de que se indique lo contrario.

**Entradas analógicas**

**Características**

607xE 606xE 6062E 604xE 602xE	16 single-ended or 8 differential (software selectable per channel)
6071E 6061E	64 single-ended or 32 differential (software selectable per channel)

**Tabla 5. Número de canales de entrada.**

Tipo de convertidor analógico-digital.....Aproximaciones sucesivas.  
 Resolución.....12 Bits.

607xE	1.25 MS/s
606xE	500 KS/s
604xE	500 KS/s single-channel scanning 750 KS/s multichannel scanning
6061E	500 KS/s single-channel scanning 333 KS/s multichannel
6023E 6024E 6025E	200 KS/s
6020E 6021E	100 KS/s

**Tabla 6. Máxima velocidad de muestreo.**



607xE	1.25 MS/s
606xE	500 KS/s
604xE	250 KS/s
6023E	200 KS/s
6024E	
6025E	
6020E	100 KS/s
6021E	
<small>STREAMING to disk files do not apply to RT Scales devices.                  Sampled 6020 rates with SCSI or DMA are 111.1 KHz</small>	

Tabla 7. Velocidad de transferencia a disco (depende del sistema).

Device	Range +Software Selectable	Input Range	
		Bipolar	Unipolar
607xE	20 V	±10 V	-
606xE	10 V	±5 V	0 to 10 V
604xE	5 V	±2.5 V	0 to 5 V
6020E	2 V	±1 V	0 to 2 V
6021E	1 V	±500 mV	0 to 1 V
	500 mV	±250 mV	0 to 500 mV
	200 mV	±100 mV	0 to 200 mV
	100 mV	±50 mV	0 to 100 mV
6023E	20 V	±10 V	-
6024E	10 V	±5 V	-
6025E	1 V	±500 mV	-
	100 mV	±50 mV	-

Tabla 8. Rangos de las señales de entrada.

Acoplamiento de entrada..... DC.  
 Máximo voltaje de trabajo ( señal + modo común )..... Hasta ± 11 V con respecto a tierra.

Device	Powered On	Powered Off
607xE	±25 V	±15 V
606xE		
604xE		
6023E	±40 V	±25 V
6024E		
6025E		
6020E	±35 V	±25 V
6021E		

Tabla 9. Protección de sobre tensión.

**FESIS CON FALLA DE ORIGEN**

6070E, 6060E	ACH<0..15>, AISENSE
6062E, 604xE	
602xE	
6071E, 6061E	ACH<0..63>, AISENSE, AISENSE2

Tabla 10. Entradas protegidas.

AT-MIO-16E-1	8 192 samples
DAQCard-6062E	4 996 samples
DAQPad-6020E	4 996 samples
6050E 6051E	2 048 samples
DAQPad-6070E	
DAQCard-6024E	
6041E	1 024 samples
PCI-MIO-16E-1	512 samples
PXI-6070E	
6071E, 6040E	
PCI-602xE	
*except DAQPad,	
PXI-6025E	

Tabla 11. Tamaño del buffer FIFO.

**Transferencia de datos**

PCI, PXI, AT, DAQPad para IEEE 1394..... DMA, interrupciones, salidas y entradas programables.

DAQCards, DAQPad para USB..... Interrupciones, salidas y entradas programables.

**Modos DMA**

PCI, PXI, DAQPad para IEEE 1394..... Scatter-gather ( transferencia individual, demanda de transferencia).

AT..... Transferencia individual, demanda de transferencia.

Tamaño de la memoria de configuración..... 512 palabras.

**Características de transferencia**

Device	Typical Dithered	Maximum Undithered
607xE	±0.5 LSB	±1.5 LSB
606xE		
604xE		
6023E		
6024E		
6025E	±0.2 LSB	±1.5 LSB
6020E		
6021E		

Tabla 12. Precisión relativa.

Device	Typical	Maximum
607xE	±0.5 LSB	±1.0 LSB
6060E		
6051E		
604xE		
6023E PCI-6024E		
6025E	±0.2 LSB	±1.0 LSB
6020E		
6021E		
6022E DACCard-6024E	±0.75 LSB	-0.9, +1.5 LSB

Tabla 13. DNL (Differential nonlinearity).

No hay códigos perdidos..... 12-Bits garantizados.

**Características del amplificador**

Device	Normal Powered On	Powered Off	Overload
6070E 606xE 6040E PCI-6071E PXI-6071E	100 GΩ in parallel with 100 pF	820 Ω	520 Ω
6041E	100 GΩ in parallel with 100 pF	1 kΩ	1 kΩ
602xE	100 GΩ in parallel with 100 pF	4.7 kΩ	4.7 kΩ

Tabla 14. Impedancia de entrada.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Corriente de bias de entrada..... ± 200 pA.

Corriente de offset de entrada..... ± 100 pA.

Device	Range	CMRR
607xE	20 V	95 dB
6060E	10 V	100 dB
6061E	100 mV to 5 V	105 dB
604xE	10 to 20 V	85 dB
6062E	5 V	95 dB
	100 mV to 2 V	100 dB
6023E	10 to 20 V	85 dB
6024E	100 mV to 1 V	90 dB
6025E		
	100 mV to 20 V	90 dB
6020E		
6021E		

Tabla 15. CRIM (relación de rechazo de modo común) de DC a 60 Hz.

Características dinámicas

Device	Small Signal (-3 dB)	Large Signal (1% THD)
607xE	1.5 MHz	1 MHz
6060E/6061E	1 MHz	300 kHz
6062E	1.3 MHz	250 kHz
6041E	900 kHz	400 kHz
6023E	500 kHz	350 kHz
6023E	500 kHz	225 kHz
PCI-6024E		
6025E		
DAQCard-6024E	500 kHz	255 kHz
6021E	150 kHz	120 kHz

Tabla 16. Ancho de banda.

Device	Range	Accuracy		
		$\pm 0.012\%$ ( $\pm 0.5$ LSB)	$\pm 0.024\%$ ( $\pm 1$ LSB)	$\pm 0.098\%$ ( $\pm 4$ LSB)
6070E	20 V	2 $\mu$ s typical 3 $\mu$ s max	1.5 $\mu$ s typical 2 $\mu$ s max	1.5 $\mu$ s typical 2 $\mu$ s max
	10 V	2 $\mu$ s typical 3 $\mu$ s max	1.5 $\mu$ s typical 2 $\mu$ s max	1.3 $\mu$ s typical 1.5 $\mu$ s max
	200 mV to 5 V	2 $\mu$ s typical 3 $\mu$ s max	1.5 $\mu$ s typical 2 $\mu$ s max	0.9 $\mu$ s typical 1 $\mu$ s max
	100 mV	2 $\mu$ s typical 3 $\mu$ s max	1.5 $\mu$ s typical 2 $\mu$ s max	1 $\mu$ s typical 1.5 $\mu$ s max
PCI-6071E PXI-6071E	20 V	3 $\mu$ s typical 5 $\mu$ s max	1.9 $\mu$ s typical 2.5 $\mu$ s max	1.9 $\mu$ s typical 2.5 $\mu$ s max
	10 V	3 $\mu$ s typical 5 $\mu$ s max	1.9 $\mu$ s typical 2.5 $\mu$ s max	1.2 $\mu$ s typical 1.5 $\mu$ s max
	200 mV to 5 V	3 $\mu$ s typical 5 $\mu$ s max	1.9 $\mu$ s typical 2.5 $\mu$ s max	1.2 $\mu$ s typical 1.5 $\mu$ s max
	100 mV	3 $\mu$ s typical 5 $\mu$ s max	1.9 $\mu$ s typical 2.5 $\mu$ s max	1.2 $\mu$ s typical 1.5 $\mu$ s max
6060E	All	2 $\mu$ s typical 4 $\mu$ s max	1.9 $\mu$ s typical 2 $\mu$ s max	1.8 $\mu$ s typical 2 $\mu$ s max
6061E		5 $\mu$ s max	3 $\mu$ s max	2 $\mu$ s max
6062E	All	2.5 $\mu$ s typical 4 $\mu$ s max	2.5 $\mu$ s typical 3 $\mu$ s max	2 $\mu$ s typical 2.5 $\mu$ s max
604xE	All	4 $\mu$ s typical 8 $\mu$ s max	4 $\mu$ s max	4 $\mu$ s max
6023E 6024E 6025E	All	5 $\mu$ s typical	5 $\mu$ s max	5 $\mu$ s max
6020E 6021E	All	10 $\mu$ s max	10 $\mu$ s max	10 $\mu$ s max

Tabla 17. Tiempo establecido a escala completa.

TESIS CON  
FALLA DE INGEN

Device	Range	Drifter Off	Drifter On
6070E	1 to 20 V	0.25	0.5
PCI-6071E	500 mV	0.4	0.6
PXI-6071E	200 mV	0.5	0.7
	100 mV	0.9	0.9
6080E	200 mV	0.3	0.6
6081E	100 mV	0.5	0.7
6082E	1 to 20 V	0.25	0.5
	500 mV	0.4	0.75
	200 mV	0.5	0.8
	100 mV	0.8	1.0
604xE	1 to 20 V	0.2	0.5
	500 mV	0.25	0.5
	200 mV	0.5	0.7
	100 mV	0.9	1.0
6023E	1 to 20 V	0.1	0.6
PCI-6024E, 6025E	100 mV	0.7	0.9
DACC4rd-6024E	10 to 20 V	0.1	0.65
	1 V	0.45	0.55
	100 mV	0.70	0.90
6020E	1 to 20 V	0.07	0.5
6021E	500 mV	0.12	0.5
	200 mV	0.25	0.6
	100 mV	0.5	0.7

Tabla 18. Ruido del sistema.

Device	Adjacent Channels	All Other Channels
607xE, 608xE, 604xE	-75 dB	-90 dB
602xE	-60 dB	-80 dB

Tabla 19. Crosstalk para DC a 100 KHz.

Salidas analógicas

Características de salida

607xE 606xE 6040E 6020E 6021E 6023E 6025E	2 voltage outputs
6041E 6027E	None

Tabla 20. Número de canales.

Resolución..... 12 Bits.  
 Tipo de convertidor digital-analógico..... Doble buffer.

Device	Waveform Generation			
	FIFO Mode		Non-FIFO Mode	
	Internally Timed	Externally Timed	1 Channel	2 Channels
9070E 9080E, 9061E 9040E	1 MS/s	350 KS/s	800 KS/s System dependent	400 KS/s System dependent
9082E	350 KS/s	350 KS/s	800 KS/s System dependent	400 KS/s System dependent
9023E	N/A	N/A	10 KS/s with DMA 1 KS/s with interrupts	10 KS/s with DMA 1 KS/s with interrupts
PCI-9024E 9025E			System dependent	System dependent
DAQCard-9024E	N/A	N/A	1 KS/s with interrupts System dependent	1 KS/s with interrupts System dependent
9020E exact DAQPad-9020E	N/A	N/A	100 KS/s System dependent	100 KS/s System dependent
DAQPad-9020E	N/A	N/A	20 S/s System dependent	20 S/s System dependent

Tabla 21. Velocidad máxima de actualización.

9070E exact	2048 samples
9040E	512 samples
9020E	None

Tabla 22. Tamaño del buffer FIFO.

**Transferencia de datos**

PCI, PXI, AT, DAQPad para IEEE 1394..... DMA, interrupciones, entradas y salidas programables.  
 DAQCards, DAQPad, para USB.....Interrupciones, entradas y salidas programables.

**Modos DMA**

PCI, PXI, DAQPad ..... Scatter-gather ( transferencia individual, demanda de transferencia ).  
 AT..... Transferencia individual, demanda de transferencia.

**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**

**Voltaje de salida**

607xE, 6060E 6061E, 6040E 6020E, 6021E	±10 V, 0 to 10 V, ±EXTREF, 0 to EXTREF, software selectable
6062E	±10 V, ±EXTREF, software selectable
6020E, 6021E 6024E, 6025E	±10 V

Tabla 23. Rangos de voltajes de salida.

Acoplamiento de salida..... DC.  
 Impedancia de salida..... 0.1 Ω máx.  
 Corriente..... ±5mA máx.  
 Protección..... Corto circuito a tierra.  
 Estado de salida al encender..... 0 V ( ± 200 mV).

**Referencia de entrada externa**

Rango..... ±11 V.

607xE 606xE 604xE	±25 V powered on, ±15 V powered off
602xE	±35 V powered on, ±25 V powered off

Tabla 24. Rangos de voltajes de salida.

**Rangos de voltajes de salida**

Impedancia de entrada..... 10 KΩ.



607xE	1 MHz
6060E, 6061E	
604xE	
6062E	50 kHz
602xE	300 kHz

Tabla 25. Ancho de banda (-3dB).

**Características dinámicas**

Device	Settling Time for Full-Scale Step	Slew Rate
607xE	3 $\mu$ s to $\pm 0.5$ LSB accuracy	20 V/ $\mu$ s
606xE		
6040E		
602xE	1.0 $\mu$ s to $\pm 0.5$ LSB accuracy	10 V/ $\mu$ s

Tabla 26. Tiempo establecido y slew rate.

Ruido..... 200 $\mu$ Vrms, DC a 1 MHz.

**Problemas de energía ( transición a media escala)**

Device	Resitching Disabled	Resitching Enabled
DAU/Pd-6070E	$\pm 20$ mV	$\pm 4$ mV
PCI-M10-16E-1		
PCI-6071E		
PXI-6070E		
PXI-6071E		
AI-M10-16E-1	$\pm 200$ mV	$\pm 30$ mV
6060E, 6061E		
604xE		
PCI-6024E	$\pm 12$ mV	N/A
6025E		
DAU-210-6024E	$\pm 13$ mV	N/A
6020E	$\pm 100$ mV	N/A
6021E		
6062E	$\pm 30$ mV	$\pm 50$ mV

Tabla 27. Magnitud.

6072E 6090E, 6061E 6044E	1.5 $\mu$ s
6024E 6025E	2 $\mu$ s
6021E 6052E	3 $\mu$ s

Tabla 28. Duración.

Estabilidad

Coefficiente de ganancia de temperatura

Referencia externa.....  $\pm 25$  ppm/°C.

Digital I/O

6021E 6025E	32 input/output
All others	8 input/output

Tabla 29. Número de canales.

Compatibilidad..... 5 V/TTL.

Estado de encendido..... Entrada, alta impedancia.

Level	Minimum	Maximum
Input low voltage	0 V	0.8 V
Input high voltage	2 V	5 V
Output low voltage (I <sub>OL</sub> = 24 mA)	-	0.4 V
Output high voltage (I <sub>OH</sub> = 13 mA)	4.35 V	-
Level	Minimum	Maximum
Input low voltage	0 V	0.3 V
Input high voltage	2 V	5 V
Output low voltage (I <sub>OL</sub> = 2.5 mA)	-	0.4 V
Output high voltage (I <sub>OH</sub> = 2.5 mA)	3.9 V	-

Tabla 30. Niveles digitales lógicos.

6021E	Interrupts, programmed I/O
6025E	
All others	Programmed I/O

Tabla 31. Transferencia de datos.

Dirección..... Entrada ó salida.

Modos..... 2-wire.

**Velocidades de transferencia (1 palabra = 8 bits)**

DALPad-6079E	5 kwords/s
All others	50 kwords/s

Tabla 32. Valores máximos con NI-DAQ™, depende del sistema.

Velocidad constante mantenida..... De 1 a 10 kwords/s, valor típico.

**Requerimientos de energía**

Device	+5 VDC I <sub>max</sub> *	Power Available at I/O Connector
607xE	1.1 A	+4.65 to +5.25 VDC, 1 A
6060E, 6061E, 6040E	1.0 A	+4.65 to +5.25 VDC, 1 A
602xE, (except DALPad and DAQCard)	0.7 A	+4.65 to +5.25 VDC, 1 A
DAQCard-60E2E	340 mA typical 750 mA maximum	+4.65 to +5.25 VDC, 250 mA
DAQCard-6024E	270 mA typical 750 mA maximum	+4.65 to +5.25 VDC, 250 mA
DAQCard-AI-16E-4	280 mA typical 400 mA maximum	+4.65 to +5.25 VDC, 250 mA

Tabla 33. Requerimientos de energía.

Device	Power	Power Available at I/O Connector
DAQPad-6020E	15 W, +9 to +30 VDC	+4.65 to +5.25 VDC, 1 A
DAQPad-6070E	17 W, +9 to +25 VDC	+4.65 to +5.25 VDC, 1 A

Tabla 34. Requerimientos de energía.

**Tiempo de descarga con un set de baterías BP-1**

(No incluye el consumo de energía a través de los conectores I/O)

- DAQPads IEEE 1394 ..... 2.5 horas, valor típico.
- DAQPads USB.....3 horas, valor típico.

**Dimensiones físicas**

- PCI ..... 17.5 X 9.9 cm (6.9 X 3.9 in).
- PXI .....16.0 X 10.0 cm (6.3 X 3.9 in).
- AT(largo).....33.8 X 9.9 cm (13.3 X 3.9 in).
- AT(corto).....17.5 X 9.9 cm (6.9 X 4.2 in).
- DAQPad (Cubierta de 30 cm).....25.4 X 30.5 X 4.6 cm (10 X 12 x 1.8 in).
- DAQPad (Cubierta de 15 cm).....14.6 X 21.3 X 3.8 cm (5.8 X 8.4 X 1.5 in).
- DAQCard.....Tipo II Tarjeta PC.

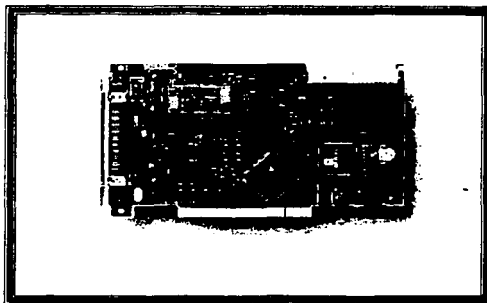


Figura 3 . PCI-6040E.

6070E 6060E 6040E 6020E 6020E PCI-6024E	68-pin male 0.050 D-type
DAQCard-6062E DAQCard-6024E	68-pin female VHD CI
6071E 6061E 6021E 6025E	100-pin female 0.050 D-type
DAQCard-4I-16E-4	68-pin female PCMCIA

Tabla 35. Conector I/O.

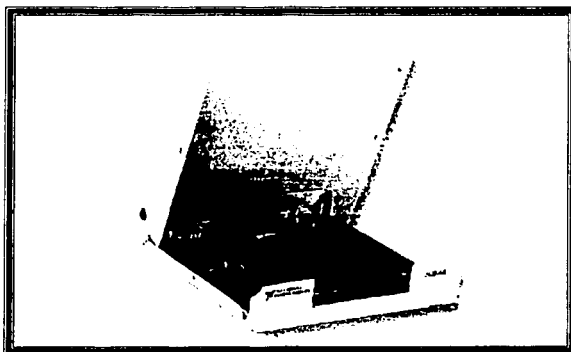


Figura 4. Conector I/O SBC-68.

Condiciones de operación

Temperatura de operación..... 0 a 55 ° C.  
 Temperatura de almacenamiento..... -20 a 70 ° C.  
 Humedad relativa..... 10 a 90% sin condensación.

TESIS CON  
 FALTA DE ... GEN

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Continuous Waveform Acquisition - Tutorial - Development Library - National Instruments.
2. Continuous Waveform Acquisition Using an Event or Occurrence - Tutorial - Development Library - National Instruments.
3. Data Acquisition Fundamentals - Tutorial - Development Library - National Instruments.
4. Data Acquisition Specifications -- a Glossary - Tutorial - Development Library - National Instruments.
5. <http://www.ni.com/Diagnóstico de Motores Eléctricos Mediante Análisis Espectral de Corrientes - OfficeInfo - Américas - National Instruments.htm>
6. <http://www.ni.com/Five Critical Accuracy Technologies for Data Acquisition - News - National Instruments.htm>
7. Graphical Object-Oriented Programming In LabVIEW - Tutorial - Development Library - National Instruments.
8. <http://www.ni.com/How Much Memory Does Each Numeric Representation Require Using LabVIEW - KnowledgeBase - Support - National Instruments.htm>
9. <http://www.ni.com/How to Determine if an Input Signal is Ground-Referenced or Floating - KnowledgeBase - Support - National Instruments.htm>
10. Improving Accuracy through Averaging - Tutorial - Development Library - National Instruments.
11. LabVIEW Data Storage - Tutorial - Development Library - National Instruments.
12. LabVIEW for Measurement and Data Analysis - Tutorial - Development Library - National Instruments.
13. LabVIEW Real-Time Architecture and Good Programming Practices - Tutorial - Development Library - National Instruments.
14. <http://www.ni.com/LabVIEW RT Shared Memory Examples Do Not Synchronize Host with Engine - KnowledgeBase - Support - National Instruments.htm>

15. Measure Apparent Power with a Digital Multimeter - Tutorial - NI Developer Zone - National Instruments.
16. Measure Reactive Power with a Digital Multimeter - Tutorial - Development Library - National Instruments.
17. Measure Real Power with a Digital Multimeter - Tutorial - Development Library - National Instruments.
18. <http://www.ni.com/Monitoreo en Línea de Transformadores de Potencia - OfficeInfo - Américas - National Instruments.htm>
19. <http://www.em.com/Motor Characteristics.html>
20. <http://www.em.com/Motor Formulas.htm>
21. Phase Delay Measurement (Two channels) - Tutorial - Development Library - National Instruments.
22. Principles of Analog Signal Conditioning - Tutorial - Development Library - National Instruments.
23. Real-Time tutorial - Tutorial - Development Library - National Instruments.
24. Signal Conditioning Fundamentals for Computer-Based Data Acquisition Systems - Tutorial - Development Library - National Instruments.
25. [http://www.ni.com/Stream Scaled Data \(Voltages\) to a Spreadsheet File.htm](http://www.ni.com/Stream Scaled Data (Voltages) to a Spreadsheet File.htm)
26. Tachometers - Tutorial - Development Library - National Instruments.
27. The Basics of Making Accurate Measurements - Tutorial - Development Library - National Instruments.
28. <http://www.ni.com/Using Shared Memory Between an RT Series DAQ Device and its Host Machine -.htm>
29. Virtual Instrumentation - Tutorial - Development Library - National Instruments.
30. <http://www.ni.com/Acquire a Single-Shot Waveform - Example - Development Library - National Instruments.htm>
31. <http://www.ni.com/Continuously Acquire Analog Data.htm>
32. <http://www.ni.com/Acquired Scaled Data from File - Example - Development Library - National Instruments.htm>
33. <http://www.ni.com/Read, Display, and Output Analog Data from File - Example - Development Library - National Instruments.htm>

34. [http://www.ni.com/Stream Scaled Data \(Voltages\) to a Spreadsheet File - Example - Development Library - National Instruments.htm](http://www.ni.com/Stream%20Scaled%20Data%20(Voltages)%20to%20a%20Spreadsheet%20File%20-%20Example%20-%20Development%20Library%20-%20National%20Instruments.htm)
35. DAQ Basics Manual.
36. Data Acquisition Basics Manual.
37. Data Sheet(PCI-6040E).
38. Data Sheet(PCI-7030-6040E).
39. G Programming Reference Manual.
40. LabVIEW Data Acquisition Basics Manual.
41. LabVIEW RT Release notes.
42. LabVIEW RT User manual.
43. Measurement DAQ manual.
44. PCI E Series User Manual.
45. PCI-PXI7030 and LabVIEW User Manual.
46. RT Series DAQ Quick Start Guide.
47. RT Series. DAQ Device User Manual.
48. Electrical circuits and machines laboratory with LabVIEW – Tutorial - National Instruments.
49. Data Acquisition Specifications – Tutorial - National Instruments.
50. LabVIEW Data Storage – Tutorial - National Instruments.
51. The Measurement and Automation Catalog 2003. National Instruments.
52. LabVIEW User Manual. National Instruments.
53. LabVIEW Básico I - Manual del Curso - National Instruments.
54. LabVIEW Data Acquisition Hands-on Course. National Instruments.
55. Máquinas eléctricas. Fitzgerald, Kingsles Jr., Umans, McGraw hill.
56. [http://studies.ac.upc.es/ETSETB/ARISO/Treballs/Tardor2002/EquipoA/TARJETA S%20DE%20ADQUISICION%20DE%20DATOS.htm](http://studies.ac.upc.es/ETSETB/ARISO/Treballs/Tardor2002/EquipoA/TARJETA%20DE%20ADQUISICION%20DE%20DATOS.htm)
57. [http://perso.wanadoo.es/jovilve/sound\\_card/sound.html](http://perso.wanadoo.es/jovilve/sound_card/sound.html)
58. <http://Septiembrede001.Debatiendoelementosclavedelmonitoreoylaverificación.htm>
59. <http://monitoreo/Monitoreodeproyectosdemostrativos/AnexoL.html>
60. <http://tecnicasdemonitoreo.html>
61. <http://www.dimie.uniovi.es/maquinas.html>



62. <http://www.nivies.es/RI/ECTS/1999/etsiii/et.siii.doc>
63. <http://www.Fundamentosdemaquinas.html>
64. Guía de LabVIEW. Programación general y uso en Control Aplicación en Ingeniería. Rubén Trejo Alamaráz.
65. Experimentos con equipo eléctrico. Theodore Wildi Michael J. de Vito. Ed. Limusa. México. 1992.
66. Introducción a la teoría y sistemas de comunicaciones. B. P. Lathi. Ed. Limusa México. 1989.
67. Introducción a señales y sistemas. Edward W. Karmen. Ed. CECSA. México. 1996.
68. Tesis. Diseño e implementación de una terminal de video para comunicaciones y monitoreo. Nava Marino Daniel. 1986.
69. Tesis. Sistema de monitoreo y control de variables físicas. Cruz Morales Carolina, 1989.
70. Tesis. Sistema de monitoreo en tiempo real para es sistema operativo UNIX. Álvarez González Julio C., 1998.
71. Tesis. Diseño, construcción y pruebas de una tarjeta electrónica para el monitoreo de variables adquiridas para el sistema ANEMODATA-IIIE. Noguez Monroy Ma. del Socorro. 1987.