

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**PROPUESTA DE LABORATORIO DE PRUEBAS DE  
MÁQUINAS ELÉCTRICAS**

PRESENTADO POR:

**CLAUDIA MARINA GONZÁLEZ AQUINO**

**NOEL ANTONIO RAMOS AYALA**

**HENRY DAVID TREMINIO**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2016

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR INTERINO :**

**LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN**

**SECRETARIA GENERAL :**

**DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DECANO :**

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**SECRETARIO :**

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**DIRECTOR :**

**ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Título :

**PROPUESTA DE LABORATORIO DE PRUEBAS DE  
MÁQUINAS ELÉCTRICAS**

Presentado por :

**CLAUDIA MARINA GONZÁLEZ AQUINO**

**NOEL ANTONIO RAMOS AYALA**

**HENRY DAVID TREMINIO**

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docente Asesor :

**ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN**

San Salvador, Septiembre de 2016

Trabajo de Graduación Aprobado por:



Docente Asesor :

**ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN**

## ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, martes 13 de septiembre de 2016, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 4:30 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón  
Director

Firma:   
Firma:   


2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia  
Secretario

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

1- Ing. Armando Martínez Calderón  
2- MSc. Luis Roberto Chévez Paz  
3- Ing. José Miguel Hernández

Firma:   
  


Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

PROPUESTA DE LABORATORIO DE PRUEBAS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

A cargo de los Bachilleres:

- GONZÁLEZ AQUINO CLAUDIA MARINA
- RAMOS AYALA NOEL ANTONIO
- TREMINIO HENRY DAVID

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.7

(ocho punto siete )

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme completar esta meta de obtener mi titulación profesional de manera exitosa, ya que siempre me ilumino con su palabra y me brindo su fuerza ante los problemas que se presentaron a lo largo de mi carrera.

A mis Padres Marina Y Leonel. Es una bendición la de tenerlos como padres porque siempre conté con su amor, y su fe hacia mi persona, por ser esa fuente de apoyo constante en todos los niveles, que me animaban a continuar aunque todo se viera negro y difícil, siendo través de su esfuerzo y su buen ejemplo que me he convertido a ser una mujer de bien y de buenos valores y que con orgullo y satisfacción dedico este triunfo a ustedes. Nunca podre agradecerles todo lo que me han dado.

A mis Hermanos: Andrea, Patricia, y Leonel, que son una fuente de amor y apoyo incondicional a quien yo puedo recurrir ante un problema y que siempre creyeron en mí y me lo demostraron a través de la comprensión y colaboración a lo largo del trayecto de estudios y de toda mi vida, compartiendo así el privilegio de aprender cosas buenas de ellos.

A Rafael Péñate, ya que al poder contar con su colaboración fui capaz de aprender muchas cosas a su lado y superarme cada día más en el ámbito técnico y personal. También por ser una persona con la que siempre pude contar sin importar la hora o el día, Agradezco tu comprensión, tu apoyo, tus consejos, y por impulsarme siempre que todo se viera difícil.

A nuestro asesor, Ing. Armando Calderón, que con su dedicación y sus conocimientos brindados a este trabajo fue una fuente de aprendizaje que complemento nuestro trabajo de graduación.

A mis Compañeros de tesis, Henry y Noel, que con nuestro esfuerzo y paciencia logramos realizar, incluyendo desveladas y dificultades, este trabajo de graduación y logramos aprender y conocer muchas cosas nuevas. Y que nos permitió sobre todo compartir el éxito de obtener nuestra titulación Profesional.

A los trabajadores administrativos, Sr. Salvador Posada, Sr Juan Carlos Olano y Reina Vides, que con su vital colaboración y siempre su orientación recibida se realizó nuestra investigación y su apoyo brindado durante la realización de mi carrera.

A mis Amigos, Diana Clímaco, Aura Mendoza, Juan Carlos Vásquez, Oscar Martínez, Santiago Palma, Noé Díaz, Edgard Martínez por los buenos y malos momentos que compartimos a lo largo de la carrera por brindarme su apoyo y ayuda con los estudios, sus consejos y su cariño hacia mi persona.

**CLAUDIA MARINA GONZALEZ AQUINO.**

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios todo todopoderoso** por haberme permitido culminar la carrera y darme fuerzas para no desistir en los momentos más difíciles y concluir mi carrera.

**A mi querido padre JUAN ANTONIO RAMOS GRANADOS (Q.D.D.G)**, que aunque presencialmente ya no estas con migo tus enseñanzas y consejos siguen siempre con migo guiando mis pasos, siento que estas con migo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí, tú más que nadie estarías orgulloso de mi triunfo es algo que tú deseabas antes de partir, no lo puedes ver pero donde quieras que estés te dedico mi triunfo. Gracias por confiar siempre en mí papa; hoy puedo decirte MISION CUMPLIDA.

**A mí querida madre MARIA DEL CARMEN AYALA**, por ser el pilar más importante de mi vida, gracias por estar siempre presente en todos los momentos buenos y malos que me ha trazado la vida, gracias por tus consejos y apoyo por creer siempre en mí. Le doy gracias a Dios por tenerte y poder celebrar mi triunfo contigo, gracias por todos tus esfuerzos y sacrificios realizados para que yo pudiera culminar mis estudios, este triunfo es especialmente dedicado a ti mama TE AMO.

**A mis hermanos: WILBER ANTONIO RAMOS, JUAN ANTONIO RAMOS, YESENIA ARELY RAMOS Y EDUARDO LUIS RAMOS** por todo su apoyo económico brindado de forma directa e indirectamente en todos estos años de estudio, por haber creído en mí y brindarme su apoyo de forma incondicional y darme ánimos siempre de seguir adelante.

A mi asesor, **Ing. ARMANDO CALDERON** por darme su apoyo y asesoría para poder así culminar este trabajo de graduación. Así también, a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la FIA que contribuyeron a mi formación profesional

**DIOS LOS BENDIGA SIEMPRE Y DERRAME MUCHAS BENDICIONES EN SUS VIDAS**

**NOEL ANTONIO RAMOS AYALA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo mostrar mis deseos de agradecimiento primeramente a mi familia por todo el apoyo que demostraron a lo largo de mi carrera, mis hermanos y mi madre María Término.

Gracias, a mis amigos por acompañarme a lo largo de mi carrera dándome palabras de apoyo y brindándome incondicionalmente desde un principio su amistad lo que facilito el difícil camino hacia la meta.

A todos mis compañeros que estuvieron a lo largo de mi formación académica, a todos ellos muchas gracias por estar presente en los momentos difíciles y hacerlos menos adversos. Así como también a Reyna Vides por brindarme asesoría en cualquier proceso de tramites en la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

A mi asesor, Ing. Armando Calderón por darme su apoyo y asesoría para poder así culminar este trabajo de graduación. Así también, a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la FIA que contribuyeron a mi formación profesional.

A todos, infinitas gracias. Han sido una parte fundamental de esta etapa de mi vida, han dejado recuerdos inolvidables que me llenan de mucha satisfacción y regocijo.

**HENRY DAVID TREMINO.**

# INDICE

Índice de tablas .....	XIV
Índice de Figuras .....	XVI
INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS.....	2
ALCANCES.....	3
ABREVIACIONES.....	4
GLOSARIO TECNICO.....	5
CAPITULO I: REQUERIMIENTOS EN BASE A NORMAS Y RECOMENDACIONES PRÁCTICAS PARA UN AMBIENTE CONTROLADO EN EL LABORATORIO DE PRUEBAS.....	7
1.0 INTRODUCCION .....	8
1.1 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES.....	8
1.1.1 TEMPERATURA.....	8
1.1.2 HUMEDAD.....	10
1.1.3 PRESIÓN.....	10
1.1.4 PARTÍCULAS DE POLVO.....	11
1.2 REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS.....	12
1.2.1 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.....	12
1.2.2 ILUMINACIÓN.....	20
1.2.3 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA O RED DE TIERRA.....	22
1.2.4 CALIDAD DE ENERGÍA.....	30
1.3 CONDICIONES DE SEGURIDAD HUMANA.....	32
1.3.1 RUIDO ACÚSTICO.....	33
1.3.2 VIBRACIONES.....	36
1.3.3 SEÑALIZACIÓN E INSTALACIÓN DE MOTORES SEGÚN LEY GENERAL DE PREVENCIÓN DE RIESGO.....	38
CAPITULO II: ANALISIS Y COMPARACION DE CONDICIONES AMBIENTALES, ELECTRICAS Y OCUPACIONALES ACTUALES DEL LUGAR DONDE SE IMPLEMENTARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELECTRICAS CON LOS REQUERIMIENTOS EN BASE A NORMA.....	42
2.0 INTRODUCCIÓN .....	43
MEDICION DE ILUMINACION ACTUAL DEL ALA SUR DEL EDIFICIO DE POTENCIA DE LA EIE.....	45
MEDICIÓN 1.....	45
MEDICIÓN 2.....	46

MEDICIÓN 3.....	46
2.2 MEDICIÓN DE TEMPERATURA DEL ALA SUR DEL EDIFICIO DE POTENCIA DE LA EIE. ....	47
2.3 MEDICION DE HUMEDAD RELATIVA DEL ALA SUR DEL EDIFICIO DE POTENCIA DE LA EIE. ....	48
2.4 MEDICIÓN DE RUIDO DEL EDIFICIO DE POTENCIA DE LA EIE. ....	49
2.5 MEDICIÓN DE CALIDAD DE ENERGIA.....	49
2.6 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE TIERRA.....	54
2.6.3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	56
CAPITULO III: PROCEDIMIENTOS QUE SE APLICAN A LAS PRUEBAS DE MÁQUINAS ELECTRICAS. ....	58
3.0 INTRODUCCIÓN .....	59
3.1 CONSIDERACIONES A TOMAR EN CUENA ANTES DE REALIZAR UNA PRUEBA.....	59
3.1.1 FORMA DE ONDA .....	59
3.1.2 VOLTAJES DESBALANCEADOS.....	60
3.1.3 FRECUENCIA. ....	60
3.2 TEMPERATURAS ESTANDARIZADAS .....	60
3.3 MEDICIONES ELÉCTRICAS. ....	61
3.4 MEDICIONES MECÁNICAS.....	62
3.5 TIPO DE PÉRIDIDAS Y SUS PRUEBAS. ....	62
3.5.1 PÉRDIDAS DE ESTATOR $I^2 R$ . ....	62
3.5.1.1 CORECCION DE RESISTENCIAS POR TEMPERATURA. ....	63
3.5.2 PÉRDIDAS DEL ROTOR. ....	63
3.5.3 PRUEBA SIN CARGA .....	65
3.6 PRUEBAS BAJO CARGA. ....	66
3.6.1 CARGA DEL DINAMÓMETRO. ....	66
3.7 PÉRDIDAS INDETERMINADAS.....	68
3.7.1. PÉRDIDAS INDETERMINADAS A FRECUENCIA FUNDAMENTAL.....	68
3.7.2 PÉRDIDAS INDETREMINADAS EN ALTA FRECUENCIA.....	68
3.7.3 CALCULO DE PÉRDIDAS INDETERMINADAS. ....	69
3.7.4 PÉRDIDAS INDETERMINADAS ASUMIDAS (PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN).....	69
3.8.1 PRUEBAS DE IMPEDANCIA.....	71
3.8.2 CALCULO DE PARAMETROS DE IMPEDANCIA .....	72
3.9 PÉRDIDAS EN LAS ESCOBILLAS.....	74
3.10 FACTOR DE POTENCIA .....	74
3.11 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA .....	75

3.12 MÉTODOS DE PRUEBA DE EFICIENCIA .....	75
3.12.1 GUÍA PARA ESCOGER EL MÉTODO DE PRUEBA DE EFICIENCIA.....	76
3.13 MÉTODO DE PRUEBAS DE EFICIENCIA A. ENTRADAS-SALIDAS. ....	76
3.13.1. CÁLCULOS.....	77
3.13.2. CORRECCIONES POR TEMPERATURA.....	77
3.14 MÉTODO DE PRUEBA DE EFICIENCIA B – ENTRADA SALIDAS CON SEGREGACIÓN DE PÉRDIDAS. ....	77
3.14.1 PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS. ....	78
3.14.2 CÁLCULOS.....	78
3.14.3 CORRECCIONES.....	79
3.14.4 EFICIENCIA Y FACTOR DE POTENCIA.....	80
3.15 MÉTODO DE PRUEBA DE EFICIENCIA C- MÁQUINAS DUPLICADAS.....	80
3.15.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.....	80
3.15.3 CÁLCULOS.....	81
3.15.4 EFICIENCIA.....	83
3.15.5 FACTOR DE POTENCIA.....	83
3.16 MÉTODO DE PRUEBA DE EFICIENCIA E O E1- MEDICIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA CON SEGREGACIÓN DE PÉRDIDAS.....	83
3.16.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.....	83
3.16.2 CÁLCULOS.....	83
3.17 MÉTODO DE PRUEBA DE EFICIENCIA F O F1. CIRCUITO EQUIVALENTE. ....	83
3.17.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.....	84
3.17.2 CÁLCULO DEL PAR MÁXIMO.....	84
3.18 MÉTODOS DE PRUEBA DE EFICIENCIA C / F, E / F, O E1 / F1- CIRCUITO EQUIVALENTE CALIBRADOS CON UN PUNTO DE CARGA. ....	85
3.18.1 PÉRDIDAS INDETERMINADAS.....	85
3.19. FORMULARIOS.....	86
3.19.1 FORMULARIOS DE PRUEBA E INFORMACIÓN DE APOYO.....	86
3.19.2. RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS.....	86
CAPITULO IV: PROPUESTA DE DISEÑO DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELECTRICAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO A UTILIZAR.....	87
4.1 MEJORAS DE LA RED DE TIERRA DEL EDIFICIO.....	88
4.1.1 COMPORTAMIENTO DE UNA VARILLA DE PAT.....	89
4.1.2 OBSERVACIONES.....	90

4.2 MEJORAS DEL SISTEMA ELECTRICO .....	93
4.2.1 TRANSITORIO .....	93
4.2.2 INTERRUPCIONES .....	94
4.2.3 BAJADA DE TENSION. ....	94
4.2.4 AUMENTO DE TENSION. ....	95
4.2.5 DISTORSIÓN ARMÓNICA.....	95
4.2.6 VARIACIÓN DE FRECUENCIA. ....	95
4.3 SEGURIDAD INDUSTRIAL .....	97
4.3.1 SITUACIÓN ACTUAL. ....	97
4.3.2 IDENTIFICACIÓN DE RIESGO EN ÁREA DEL LABORATORIO .....	97
4.3.3 SITUACIÓN PROPUESTA.....	98
4.3.4 ALTURA DE LOS EXTINTORES .....	99
4.3.5 SEÑALES REQUERIDAS.....	100
4.3.6 PROPUESTA DE MAPA DE RIESGO .....	102
4.4 PROTECCION PERSONAL.....	103
4.4.1 PROTECCION EN LA CABEZA. ....	103
4.4.2 PROTECCIÓN PARA LA VISTA .....	103
4.4.3 PROTECCIÓN AUDITIVA .....	104
4.4.4 PROTECCIÓN A LAS MANOS .....	104
4.4.5 PROTECCIÓN PARA LOS PIES .....	104
4.5 EQUIPAMIENTO A UTILIZAR. ....	105
4.5.1 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS ACCUDYNO LTI-BR, .....	108
4.5.2 MEDICIÓN AUXILIAR DE TEMPERATURAS MEDIANTE SENSORES PT100 .....	109
4.5.3 DINAMÓMETRO ELÉCTRICO DE CORRIENTES PARÁSITAS REFRIGERADO POR AGUA, MWD NL360 .....	111
4.5.4 TORIN MONTACARGAS PLEGABLE T32001 PARA MOTOR - 2 TONELADAS.....	111
4.5.5 FRENO ELECTROMAGNÉTICO. ....	112
4.5.6 VOLTÍMETRO DIGITAL.....	113
4.5.7 ANALIZADOR DE VIBRACIONES FLUKE 810: .....	117
4.5.8 CÁMARA TERMO GRÁFICA FLUKE 1000.....	119
4.6 Distribución en planta de la maquinaria a ubicar en el laboratorio.....	120
CONCLUSIONES .....	121
RECOMENDACIONES .....	123

REFERENCIAS.....	124
ANEXOS.....	125
ANEXO A1: TABLAS DE RECOPIACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PROPUESTOS .....	125
A.1.1 FORMATO A -MÉTODO A .....	125
A.1.2 FORMATO A2 -MÉTODO A CÁLCULOS.....	126
A.1.3 FORMATO B -MÉTODO B.....	127
A.1.4 FORMATO B2 -MÉTODO B.....	128
A.1.4 FORMATO B1 -MÉTODO B1.....	130
A.1.5 FORMATO B1-2 -MÉTODO B1 .....	131
A.1.6 FORMATO C -MÉTODO C.....	132
A.1.7 FORMATO C2 -MÉTODO C CÁLCULOS .....	135
A.1.8 FORMATO E -MÉTODO E-E1 .....	137
A.1.9 FORMATO E2 -MÉTODO E-E1 CÁLCULOS .....	138
A.1.10 FORMATO F -MÉTODO F, F1, C/F, E/F, Y E1/F1 .....	139
A.1.11 FORMATO F2 -MÉTODO F, F1, C/F, E/F, Y E1/F1 CÁLCULOS.....	140
A.1.12 PRUEBA Y RESULTADOS DE CIRCUITO EQUIVALENTE.....	141
ANEXO A.2 INFORME TÍPICO PARA LAS PRUEBAS DE RUTINA.....	142
ANEXO A3 INFORME TÍPICO DE PRUEBA PARA LAS PRUEBAS DE RUTINA #2.....	143
Anexo A4 (Informativo) .....	144
C.1 Pérdidas indeterminadas asumidas.....	144
C.2 lectura de resistencia al apagar el equipo .....	144

## Índice de tablas

Tabla 1. 1 Características técnicas del generador de impulso de la EIE. ....	12
Tabla 1. 2 Límites para exposición a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10 GHz .....	19
Tabla 1. 3 Niveles máximos establecidos por ANSI/IEEE. Exposición en entorno Ocupacional .....	20
Tabla 1. 4 Niveles de luxes manejados según el lugar que se requiera presentados en pie candela y en lux.....	21
Tabla 1. 5 niveles de luxes manejados según el lugar que se requiera presentados en pie candela y en lux.....	21
Tabla 1. 6 Porcentajes de sobrevivencias a diferentes corrientes de disparo. ....	23
Tabla 1. 7 Efectos cualitativos por contacto eléctrico según Dalziel. ....	25
Tabla 1. 8 Resistividad del terreno .....	28
Tabla 1. 9 Valores de resistencia máximo de subestaciones .....	29
Tabla 1. 10 niveles de variación de voltajes establecidos en la norma de calidad de SIGET .....	30
Tabla 1. 11 niveles de armónicos en la onda de corriente propuesto en la norma de calidad de la SIGET .....	31
Tabla 1. 12 niveles en decibelios permitidos según el espacio. ....	34
Tabla 1. 13 niveles de protección según el nivel de ruido en dB. ....	34
Tabla 1. 14 Colores de la señalización establecida por el reglamento de prevención de riesgos del Ministerio de trabajo de El Salvador .....	39
Tabla 2. 1 Simbología utilizada en el esquema en planta del ala sur de edificio de potencia.....	45
Tabla 2. 2 Datos obtenidos de la medición 1.....	46
Tabla 2. 3 Datos obtenidos de la medición 2.....	46
Tabla 2. 4 Datos obtenidos de la medición 3.....	46
Tabla 2. 5 Datos obtenidos de la medición 3.....	47
Tabla 2. 6 Datos obtenidos de la medición de humedad relativa.....	48
Tabla 2. 7 Datos obtenidos de la medición de intensidad de ruido .....	49
Tabla 2. 8 Promedio de los niveles de tensión y regulación obtenida .....	50
Tabla 2. 9 Resistencia de tierra a diferentes distancias.....	56
Tabla 3. 1 Temperatura especificada para los cálculos de eficiencia cuando la temperatura de la maquina a carga nominal no es medida.....	61
Tabla 3. 2 Valores asumidos de las pérdidas indeterminadas. ....	70
Tabla 4. 1 Datos de Resistividad. ....	88
Tabla 4. 2 Factor multiplicador para múltiples varillas. ....	90
Tabla 4. 3 Conductores del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna. ....	92
Tabla 4. 4 Tabla resumen de los parámetros de diseño de la red de tierra.....	93
Tabla 4. 5 Resumen de perturbaciones con soluciones.....	96
Tabla 4. 6 Identificación de riesgos del ala sur de potencia .....	98
Tabla 4. 7 Clasificación de extintores .....	99
Tabla 4. 8 Señales de prohibición.....	100

Tabla 4. 9 Señales de prohibición.....	101
Tabla 4. 10 Señales de obligación.....	101
Tabla 4. 11 Especificaciones y descripción del equipo de adquisición de datos .....	108
Tabla 4. 12 Especificaciones técnicas del Fluke 289 .....	115
Tabla 4. 13 Especificaciones generales del modelo Fluke 289 .....	116
Tabla 4. 14 Especificaciones técnicas del modelo fluke 810.....	117
Tabla 4. 15 Especificaciones eléctricas del modelo fluke 810 .....	118
Tabla 4. 16 Especificaciones técnicas del sensor del Fluke 8104.5.6 Fluke Tix Series (Tix1000) ....	118
Tabla A3 1 valores asumidos para las pérdidas indeterminadas .....	144
Tabla A3 2 máximo retraso de tiempo en la medición de las mediciones de las resistencias.....	144

## Índice de Figuras

Figura 1. 1 Vista en planta del edificio de Potencia de la EIE.....	14
Figura 1. 2 curvas para el cálculo de la impedancia del ser humano .....	26
Figura 1. 3 Relación de resistividad vs temperatura.....	28
Figura 1. 4 Relación de resistividad vs temperatura.....	29
Figura 1. 5 Señales de extintores.....	40
Figura 1. 6 Señales de prohibición.....	40
Figura 1. 7 Señales de advertencia. ....	40
Figura 1. 8 Señales de obligación .....	41
Figura 1. 9 Señales de emergencia .....	41
Figura 2. 1 Dimensiones Externas .....	43
Figura 2. 2 Dimensiones Internas .....	43
Figura 2. 3 Vista en planta del ala sur del edificio de potencia de la EIE .....	44
Figura 2. 4 Gráfico de temperatura .....	47
Figura 2. 5 Gráfica de humedad relativa. ....	48
Figura 2. 6 Gráfico de intensidad de ruido .....	49
Figura 2. 7 grafico del nivel de voltaje a lo largo de la medición .....	51
Figura 2. 8 Comportamiento de las interrupciones .....	52
Figura 2. 9 Conteo por fase de las interrupciones ocurridas de la medición. ....	53
Figura 2. 10 Método del 62% para medir la resistencia de un sistema de puesta a tierra. ....	54
Figura 2. 11 Principio de una prueba de resistencia de tierra .....	55
Figura 2. 12 62% de DT + 10% del 62 % de DT.....	56
Figura 2. 13 62% de DT    Figura 2. 14 62% de DT-10% del 62% de DT .....	57
Figura 2. 15 Muestra el medidor de tierra a utilizar AEMC 6471, instrumento capaz de medir resistencia de tierra de sistemas de electrodos simples y complejos. ....	57
Figura 3. 1 Circuito Equivalente.....	70
Figura 4. 1 Prueba de resistividad por el método de los cuatro terminales. ....	88
Figura 4. 2 Red de tierra de dos varillas. ....	90
Figura 4. 3 Ubicación de la red de tierra.....	91
Figura 4. 4 Pozo de tierra .....	92
Figura 4. 5 Ubicación de las tomas de corrientes adicionales a instalar. ....	97
Figura 4. 6 Radio mínimo según la norma NFPA 10.....	98
Figura 4. 7 casco indicado para protección personal .....	103
Figura 4. 8 lentes para protección visual .....	103
Figura 4. 9 tapón de polímero resistente a la humedad.....	104
Figura 4. 10 guantes de protección .....	104
Figura 4. 11 botas de protección personal. ....	105
Figura 4. 12 Diagrama practico para las pruebas bajo la norma IEEE-112.....	106
Figura 4. 13 Diagrama descriptivo del equipamiento .....	107
Figura 4. 14 Sistema de adquisición de datos.....	109

Figura 4. 15 Información del dinamómetro y la curva de potencia .....	111
Figura 4. 16 modelo del montacargas torin.....	112
Figura 4. 17 Montajes del freno electromagnético .....	113
Figura 4. 18 Capacidades para los frenos disponibles .....	113
Figura 4. 19 Fluke modelo 289 .....	114
Figura 4. 20 Analizador de vibradores Fluke 810.....	117
Figura 4. 21 Modelo de la cámara termografía de Fluke .....	119
Figura 4. 22 plano descriptivo de la ubicación de los equipos dentro del edificio de potencia .....	120

## INTRODUCCION

Los laboratorios para ensayos de motores eléctricos que se utilizan para verificación de cumplimientos de parámetros mecánicos y eléctricos son desarrollados bajo el cumplimiento de estándares reconocidos que especifican condiciones ambientales, eléctricas y de organización a cumplir en los laboratorios. De manera tal, que los resultados obtenidos tengan sustento (además de procedimientos de prueba) bajo condiciones controladas, valorando así los resultados de las pruebas.

El presente trabajo especifica qué condiciones deben ser cumplidas para la implementación del laboratorio de máquinas eléctricas de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, además considera especificar las características técnicas de los equipos a utilizar para el desarrollo de ensayos de motores eléctricos hasta de 100 Hp.

En el país no existe un laboratorio especializado en la verificación y certificación de parámetros mecánicos y eléctricos, para comprobación de características en motores eléctricos sean nuevos o reparados. La gran cantidad de motores empleados para usos de impulsión motriz en la industria, por lo que se hace necesario que el tema de consumo eficiente de la energía eléctrica sea analizados detenidamente y por tanto el cumplimiento de especificaciones técnicas de los motores eléctricos es de suma importancia principalmente en aquellas máquinas que han sido reparadas.

El laboratorio pretender ser una fuente de consulta y verificaciones para establecer el cumplimiento indicado en los datos de placa del fabricante de los motores eléctricos.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL:

Considerar una propuesta de diseño para la implementación del laboratorio de ensayo de máquinas eléctricas de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, especificando procedimientos y normas a aplicar para la construcción del laboratorio y los procedimientos a desarrollar para ejecutar las pruebas de máquinas eléctricas.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Definir los requerimientos técnicos que se aplican con la implementación de los laboratorios de pruebas en motores eléctricos.
- Establecer los procedimientos de ejecución de pruebas para verificación de parámetros eléctricos y mecánicos en motores eléctricos de hasta 100 HP.
- Especificar las características mecánicas y eléctricas a cumplir por los equipos necesarios para realizar pruebas en motores de hasta 100 HP.

## ALCANCES

Al final de trabajo se obtendrá un documento base para realizar la gestión para la construcción y equipamiento del laboratorio de ensayo de motores eléctricos, así como los procedimientos y normas a aplicar para el correcto desarrollo de las pruebas mecánicas y eléctricas en el laboratorio.

## ABREVIACIONES.

**EIE:** Escuela de Ingeniería Eléctrica.

**IEEE:** Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (siglas en ingles).

**NEMA MG1:** American National Standard Motors and Generators.

**IEC:** International Electrotechnical Commission.

**ISO:** International Organization for Standardization.

**ISA RP52.1:** Recommended Environments for Standards Laboratories.

**EM:** Electromagnético.

**SAR:** Tasa Promedio de Absorción.

**NEC:** Código Eléctrico Nacional.

**SIGET:** Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.

**FP:** Factor de Potencia:

**UPS:** Sistema de Alimentación Ininterrumpida.

**OSHA:** Occupational Safety and Health Administration.

**NRR:** Nivel de Reducción de Ruido.

**HP:** Horse Power.

**HR:** Humedad Relativa.

**THD:** Distorsión Armónica Total.

**VAR:** Voltio Amperios Reactivos.

**$\Omega$ :** Ohmios

**W:** Watt

**PAT:** Pues a Tierra

**NFPA:** Asociación Nacional de Protección contra el Fuego.

## GLOSARIO TECNICO

**Altitud:** Distancia vertical entre un punto situado sobre la superficie terrestre y el nivel del mar.

**Armónicos:** Deformación en la forma de onda del voltaje o corriente ocasionadas por cargas no lineales.

**Blindajes:** Barreras físicas de protección, utilizadas en sistemas.

**Campos electromagnéticos:** Es un campo físico, de tipo tensorial, producido por aquellos elementos cargados eléctricamente, que afecta a partículas con carga.

**Carga estáticas:** Es una acción estacionaria de una fuerza o un momento que actúan sobre cierto objeto

**Conductor eléctrico:** Es un material que ofrece poca resistencia al movimiento de la carga eléctrica.

**Corriente:** Es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material.

**Deslizamiento:** Es la diferencia relativa entre la velocidad del campo magnético (velocidad de sincronismo) y la velocidad del rotor.

**Eficiencia:** Es la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada.

**Equipos de seguridad:** Es la vestimenta especial que se utiliza para proteger a una persona de los riesgos presentes en el área de trabajo.

**Factor de potencia:** Como la relación entre la potencia activa, P, y la potencia aparente.

**Frecuencia:** Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.

**Humedad:** Cantidad de vapor de agua contenida en el aire en cualquier momento determinado.

**Iluminación:** Es el flujo luminoso que incide sobre una superficie.

**Impedancia:** Resistencia aparente de un circuito dotado de capacidad y autoinducción al flujo de una corriente eléctrica alterna.

**Interferencias electromagnéticas:** Es cualquier señal o emisión, radiada en el espacio o conducida a través de un cable de alimentación o señal.

**Umbral de percepción:** Valor mínimo de la corriente que provoca una ligera sensación sobre la persona por la que circula la corriente.

**Mediciones eléctricas:** Son los métodos, dispositivos y cálculos usados para medir cantidades eléctricas.

**Motor eléctrico:** Es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados.

**Partículas de polvo:** Es el polvo que no se ve, sus motas tienen de medias 10 micras (PM10), lo que equivale a la centésima parte de un milímetro.

**Potencia mecánica:** La potencia mecánica es la potencia transmitida mediante la acción de fuerzas físicas de contacto o elementos mecánicos asociados como palancas, engranajes, etc.

**Presión atmosférica:** Fuerza que ejerce la atmósfera que rodea la tierra sobre todos los objetos que se hallan en contacto con ella.

**Presión barométrica:** Presión atmosférica local más la corrección por altitud geográfica.

**Presión:** Fuerza o empuje que se ejerce sobre una cosa.

**Red de tierra:** Es una unión de todos los elementos metálicos que mediante cables de sección suficiente entre las partes de una instalación y un conjunto de electrodos

**Requerimientos ambientales:** Condiciones o valores de parámetros ambientales que se deben cumplir en determinada situación.

**Resistividad:** Resistencia proporcional de un material conductor según su longitud y anchura.

**Ruido acústico:** Niveles de ruido tolerables para la salud humana.

**Temperatura:** Es una magnitud referida a las nociones comunes de calor medible mediante un termómetro.

**Tensión:** Es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

**Vibraciones:** Movimiento de un cuerpo sólido alrededor de una posición de equilibrio.

**CAPITULO I: REQUERIMIENTOS EN BASE A NORMAS Y RECOMENDACIONES  
PRÁCTICAS PARA UN AMBIENTE CONTROLADO EN EL LABORATORIO DE  
PRUEBAS.**

## 1.0 INTRODUCCION

En este capítulo se presenta las condiciones ambientales, eléctricas e incluso ocupacionales con el objetivo de lograr un ambiente seguro, tanto para el equipo como el personal, que realiza las pruebas en el laboratorio. Se enfocan en base a las recomendaciones de algunas normas como: la ISA RP 52.1, IEEE, NEMA, etc. Como una observación especial ya que la ubicación del laboratorio de pruebas se hará en el ala sur del edificio de potencia de la EIE y en el ala norte del mismo se encuentra un generador de impulso de alta tensión, se detallarán condiciones para controlar los parámetros que puedan verse afectados debido a los diversos fenómenos ocasionados por la naturaleza del funcionamiento del generador de impulsos.

### 1.1 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES.

Los laboratorios de pruebas de motores y cualquier otro tipo de laboratorio juegan un papel muy importante dentro de una organización o empresa, ya que son elementos de apoyo para determinar o verificar las propiedades de los equipos de acuerdo a criterios establecidos para garantizar tanto la confiabilidad de los procedimientos de prueba ejecutados como de los resultados obtenidos.

Todos los laboratorios de pruebas o ensayos, deben cumplir exigencias en el entorno donde se desarrollan las pruebas, para garantizar el buen funcionamiento de los equipos que realizan los ensayos, así como también la fidelidad de los resultados de las mismas. Uno de estos requerimientos que se deben tomar en cuenta son las especificaciones técnicas de las condiciones ambientales que deben cumplirse.

Para asegurar la calidad de los servicios de pruebas o ensayos, es necesario controlar y/o monitorear las condiciones ambientales con el fin de asegurar la trazabilidad y la validación de los resultados. Además en la mayoría de los casos ayuda a reducir el número de errores y repetición de pruebas que se realizan en condiciones ambientales adversas.

Se debe tomar en cuenta, que los resultados de pruebas de las máquinas eléctricas que se realicen en el laboratorio en condiciones ambientales adversas o superiores a los límites ambientales que establecen los procedimientos de prueba, deberán ser corregidos como lo establecen dichos procedimientos. Aquí se harán mención algunas variables ambientales importantes, como la temperatura y la humedad etc.

#### 1.1.1 TEMPERATURA.

Para un óptimo funcionamiento de un laboratorio de ensayo o calibración, es necesario el control de las condiciones ambientales y su estabilidad temporal dentro de estrechos rangos de tolerancia, siendo esto además requisitos técnicos que establecen normas internacionales como la ISO/IEC 17025 “Requisitos Generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración” para el funcionamiento y acreditación del laboratorio de ensayos. La calidad del servicio de medición, entendida como la exactitud, veracidad o precisión de los resultados está fuertemente influenciada por las magnitudes de las variables externas, que en la mayoría de los casos la fuente de mayor incidencia es la temperatura en la sala o entorno de medición.

Algunos instrumentos de medición realizan compensaciones térmicas en base a sus sensores, sin embargo, por más que los sensores y los efectos de la compensación sean de alta calidad no están exentos de errores e incertidumbre en los resultados. Aunque se debe tener en cuenta que la condición de compensación de los instrumentos antes mencionada ayuda a solucionar una parte del problema sobre la inexactitud de los resultados, ocasionados por límites fuera de los rangos de temperatura permisibles según recomendaciones y estándares internacionales en cada procedimiento de prueba. Para establecer las restricciones se deberá considerar las siguientes observaciones recopiladas de diversas normas que regulan de manera importante el ambiente de los laboratorios.

En base a la norma MG1-2009 (sección 12.42.3) encontramos la primera restricción de temperatura para el laboratorio, establece que la mayoría de motores están diseñados para trabajar en un ambiente de 40° C. Pero también establece que si hay temperaturas mayores a 40° C. (El incremento de temperatura que se soporta se establecen en los apartados 12.42.1 y 12.42) .También hace la sugerencia de los valores preferidos para el aumento de la temperatura ambiente se centran en los siguientes valores: 50° C, 65° C, 90° C y 115° C.

La segunda consideración sería para un ambiente con una temperatura menor a 40° C (tomado de la sección 12.42.4) ya que los incrementos de temperatura dados en 12.42.1 y 12.42.2, deberán tener un aumento considerando lo siguiente:

1. Si la diferencia entre los incrementos de temperatura y la suma de la temperatura de referencia más los 40° C da menor o igual a 5, deberán de sumarse los grados de la diferencia de la temperatura de referencia (o ambiente) más baja registrada y la temperatura de operación (40° C).
2. Si la diferencia entre los incrementos de temperatura y la suma de la temperatura de referencia más los 40° C da mayor a 5, deberá de tenerse en cuenta la siguiente fórmula para hacer el incremento de temperatura:

$$\text{Incremento de temperatura} = \{40^{\circ}\text{C} - \text{temperatura ambiente registrada}\} \times \{1 - [\text{Temperatura de referencia} - (40^{\circ}\text{C} + \text{incremento de Temperatura limite})] / 80\text{ C}\}$$

Otra restricción de temperatura se toma de la norma IEEE-119 -1974, ya que esta define que se determinara en base a los estándares que el apartado 8.1 establece, pero si en algún caso este no aplica, deberán tomarse como temperatura ambiente lo que establece dicha norma a continuación: “podrá tomarse como temperatura ambiente de referencia el promedio de la temperatura ambiente observada durante los últimos 15 minutos de la prueba y no deberá exceder una variación de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Para esta medición deberán usarse alguno de los equipos especificados en la norma. La norma ISA RP52.1 establece como temperatura para los laboratorios recomendada de  $23^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$  (Ver sección 4.7.2 de la norma para mayor información).

### 1.1.2 HUMEDAD.

Las condiciones de humedad pueden ser un factor clave en los ensayos que se realizan en los laboratorios, ya que pueden afectar algunos parámetros del funcionamiento de las máquinas. En casos muy específicos, cuando un transformador posee humedad puede verse comprometido el estado de las bobinas, por lo tanto sus características magnéticas también se ven afectadas de una manera significativa. De otra perspectiva, si analizamos un motor eléctrico con humedad en sus devanados podemos ver una alteración de las resistencias de sus bobinas.

Como consideraciones sobre límites de porcentaje de humedad, en base a lo establecido dentro de las normas que regulan las buenas prácticas de los laboratorios, establecen una relación entre la temperatura ambiente y la humedad relativa, ya que estas van ligadas estrechamente una con la otra. A continuación se presentan los límites de humedad en base a norma que deben cumplir en un entorno de laboratorio de pruebas.

La norma ISA RP52.1, establece que como buena práctica para los porcentajes de humedad relativa ésta se debe encontrar entre el 20-55% HR cuando la temperatura ambiente sea de 23° C.

### 1.1.3 PRESIÓN.

La presión atmosférica es otra condición ambiental que se debe tomar en cuenta en los laboratorios, esta variable es sumamente importante en los laboratorios donde se dan procesos meteorológicos ya que la variación de presión es un dato clave en dichos procesos. Así como en laboratorios donde se realizan procesos meteorológicos la variable presión se debe monitorear constantemente hay laboratorios de pruebas que no necesitan ese monitoreo, pero si se debe realizar la medición de dichas variables y ser agregado este valor en un apartado de la hoja de resultado de las pruebas.

Se debe considerar que la presión varía según la altitud, cuando se conoce la presión típica en un lugar determinado, es decir, la presión que se tiene por la altitud en que se encuentra ese lugar; analizar los cambios de presión en la mayoría de los casos es relativamente fácil. Para obtener o determinar la presión básica de un lugar basta con tomar una serie de medidas y obtener un promedio.

Se debe tener mucho cuidado de no confundir la presión atmosférica con la presión barométrica a continuación se dan unos conceptos breves;

**Presión atmosférica:** presión que ejerce la atmosfera que rodea la tierra sobre todos los objetos que se hallan en contacto con ella. La presión atmosférica cambia con la altitud, a mayor altitud menor presión, un aumento en altitud de 1000m representa una disminución de presión atmosférica de aproximadamente 100 hPa.

**Presión atmosférica normalizada:** presión ejercida por la atmosfera bajo condiciones normalizadas, igual a 1013.25hPa (760mmHg). La cual idealmente se presenta a una altitud de 0 m.s.n.m, temperatura ambiente de 20 °C, humedad de 65 %HR y densidad de aire de 1.2kg/m³.

**Presión barométrica:** presión atmosférica local más una corrección por la altitud geopotencial local. La presión barométrica oscila alrededor de la presión atmosférica normalizada (1013.25 hPa).

**Altitud:** es la distancia vertical entre un punto situado sobre la superficie terrestre o la atmosfera y el nivel medio del mar.

Algunos laboratorios necesitan corrección en sus resultados debido la temperatura y estas correcciones se deben hacer como lo indica cada procedimiento de prueba, en los casos en que los datos obtenidos en el laboratorio no sean modificados por la influencia de la presión esta solo debe especificarse en la hoja técnica de resultados como se ha mencionado anteriormente.

La norma **ISO 554-1976** “Atmósferas normales para acondicionamiento o prueba” hace mención que la presión atmosférica deberá estar en el orden de 86kPa a 106kPa. Sin embargo es conocido que la presión atmosférica varia con la altitud del lugar por ejemplo para nuestro interés específico San Salvador, El salvador que esta con una altitud de **670 m.s.n.m** y una presión atmosférica del orden de los **93.3kPa**.

NOTA: las condiciones ambientales deben ser calculadas a una presión atmosférica normalizada. Y también deberán de tomarse en cuenta los calentamientos que se producen en el motor por una presión y una altitud mayor a la establecida por el fabricante de la maquina como presión normal.

#### 1.1.4 PARTÍCULAS DE POLVO.

Otro parámetro importante a tomar en cuenta en el ambiente de desarrollo del laboratorio es las partículas de polvo. Las recomendaciones sobre las partículas de polvo están básicamente fundamentadas en mantenimiento higiénico y sus consideraciones, esta es la mejor práctica para evitar los efectos adversos causados por ambientes con polvo. En medidas de baja frecuencia, la acumulación de polvo en superficies aisladas o conductivas, puede influir en las mediciones. Muchos estándares de laboratorio utilizan construcciones de contacto expuesto, haciendo que la limpieza repetida sea necesaria en el área. El polvo puede promover corrosión y desgaste, así como contaminar muestras y mediciones en los laboratorios donde involucren fluidos. La norma **ISA-RP52.1-1975** “Condiciones ambientales para laboratorio (recomendaciones prácticas)” establece recomendaciones sobre este parámetro.

##### **Requerimientos:**

- Menos de  $7 \times 10^6$  partículas/m<sup>3</sup> de más de 1  $\mu\text{m}$ .
- Menos de  $4 \times 10^7$  partículas/ m<sup>3</sup> de más 0.5  $\mu\text{m}$ .
- Inexistencia de partículas más grandes de 50  $\mu\text{m}$ .

Para el cumplimiento de los requisitos antes mencionados una alternativa es la utilización de un filtro HEPA “High Efficiency Particle Arresting”, los filtros HEPA quitan al menos un 99.97 % de partículas de 0.3 micrómetros y son generalmente más eficaces para partículas que son más grandes o ligeramente más pequeños.

Estos filtros se componen de fibras, compuestas por fibra de vidrio y con diámetros entre 0.20 y 0.50 micrones, entrelazadas de forma aleatoria y espaciadas entre si más de 0.3  $\mu\text{m}$ .

## 1.2 REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS.

### 1.2.1 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.

La exposición de las personas como equipos electrónicos en un entorno de campos electromagnéticos no controlados ocasiona daños a estos, por ello a estos espacios donde hay mucha exposición electromagnética se debe prestar mucha atención.

Para poder realizar las pruebas a motores eléctricos se debe tener el grado de familiaridad con los problemas así como las soluciones que ocasionan los campos electromagnéticos, este problema estará presente en el entorno donde se realizaran las pruebas en los motores ya que el laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas se implementara en el ala sur del LABORATORIO DE POTENCIA DE LA ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA. En el ala norte se encuentra instalado el Generador de Impulso equipo que se utiliza para realizar pruebas de impulso de alta tensión.

#### 1.2.1.1 EL GENERADOR DE IMPULSO (PRINCIPIO DE OPERACIÓN)

Un voltaje de impulso es un voltaje unidireccional que se eleva rápidamente a un valor máximo y luego decae en forma lenta hasta cero. Para formar tal forma de onda de voltaje se utiliza lo que conocemos como generador de impulso. El generador de impulso actualmente utilizado para simular las sobretensiones, ya sean de origen interno o externo, está basado en el circuito del generador propuesto por el Dr. Emil Marx en Alemania, en el cual se produce una salida de alto voltaje a partir de un cierto número de capacitores los cuales primeros son cargados en paralelos y luego descargados en serie conforme se van disparando secuencialmente los explosores de esferas colocados entre una y otra etapa.

#### 1.2.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR DE IMPULSO DE LA EIE

El generador de impulso que posee la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador es de tipo GTS, fabricado por PASSONI VILLA, y tiene las siguientes características técnicas enlistadas en la tabla 1.1:

Tensión nominal de carga	400 KV DC
Energía Nominal	10KJ
Numero de Etapas	4
Tensión de carga por etapa	100KV
Ritmo entre impulsos a 400 kV	30s
Inductancia del generador	40uH
Temperatura	0-40°C
Humedad relativa	35-95 %

Tabla 1. 1 Características técnicas del generador de impulso de la EIE.

### **CARACTERÍSTICAS QUE DEBE POSEER UNA INSTALACION QUE CONTIENE UN GENERADOR DE IMPULSO.**

El edificio no posee características especiales tales como:

- EL BLINDAJE ELECTROMAGNETICO. Este consiste de una malla metálica embebida en las paredes del edificio debidamente aterrizada.
- LA MALLA DE TIERRA. Con esta se hace contacto a través de puntos de distribuidos en el piso del laboratorio.

Estas dos características juntas le darían al laboratorio de potencia de la EIE la característica de ser una JAULA DE FARADAY con el cual se evitara la interferencia eléctrica y electromagnética a la sala donde se encuentra el equipo de medición de alto voltaje.

Una vista en planta del edificio de Potencia de la EIE se muestra en la Figura 1.1

#### **MEDIDAS BASICAS DE SEGURIDAD QUE NO POSEE EL LABORATORIO DE IMPULSO DE ALTA TENSION DE LA EIE.**

- Instalar una puerta en la entrada de acceso al laboratorio, la cual debe ir dotada de un interruptor o una chapa eléctrica la cual no permita que se energice el laboratorio cuando esté abierta
- Instalar en la entrada del laboratorio un par de luces que indiquen cuando se realiza y cuando se finaliza la prueba. Para indicar que se está realizando la prueba puede encenderse una luz roja. Para indicar cuando se ha terminado la prueba puede encenderse una luz verde
- La instalación de los vidrios de protección en la sala de observación, las orejeras, lentes para la vista etc.

#### **1.2.1.3 INTERFERENCIAS ELECTROMAGNETICAS.**

Las interferencias electromagnéticas (EMI) se deben al acoplamiento de campos eléctricos (acoplamiento capacitivo), campos magnéticos (acoplamiento inductivo) y campos electromagnéticos (acoplamiento por radiación electromagnética.) un método de protección frente a estos acoplamientos consiste en evitarlos utilizando blindaje o pantallas metálicas. Un blindaje es una superficie metálica dispuesta entre dos regiones del espacio que se utiliza para atenuar la propagación de los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos. Un blindaje sirve tanto para no dejar salir el flujo, como para evitar que una zona protegida por el mismo entre campo alguno.

El ámbito de atenuación de los blindajes abarca un extenso espectro de frecuencias, ya que en el mercado existen materiales para apantallar desde 1 Hz a casi 1 THz. La forma en que se presentan los blindajes son: caja, armarios, juntas eléctricas, compartimientos internos, pinturas conductoras, láminas metálicas, cables apantallados, diferentes tipos de depósito conductores sobre plásticos. Etc.



Figura 1. 1 Vista en planta del edificio de Potencia de la EIE

#### 1.2.1.4 TIPOS DE BLINDAJES ELECTROMAGNETICOS.

##### 1. BLINDAJES CONTRA EL ACOPLAMIENTO CAPACITIVO (ELECTRICO)

Un blindaje capacitivo (electrostático) contra campos eléctricos debe incluir todos los componentes a proteger, debe conectarse a un potencial constante que puede ser la masa del sistema y debe tener alta conductividad. Se debe tener en cuenta que un blindaje mal conectado a la masa de la fuente de alimentación puede a si mismo actuar como antena retransmisora de las radiaciones recibidas por conducción a través de la red y puede resultar perjudicial. Los materiales más usuales para construir estos blindajes son el cobre y el aluminio.

El acoplamiento capacitivo es debido al paso de señales de interferencias a través de capacidades parasitas. Este es el caso de la inestabilidad en frecuencias de un oscilador debida al acercamiento de la mano al mismo. En los sistemas digitales, este acoplamiento provoca intermodulaciones (diafonía) en los cables múltiples.

El modo de bloquear el acoplamiento capacitivo consiste en encerrar el circuito o el conductor que se quiere proteger dentro de un blindaje metálico hermético. Este es llamado blindaje electrostático o de FARADAY. Si su cobertura es del 100% (jaula de Faraday), no es necesario conectarlo a masa pero, usualmente, lo está para asegurar que las capacidades blindaje-circuito lleven señales a masa y no actúen como elemento de realimentación o de intermodulación.

Para evitar el acoplamiento entre un circuito generador de interferencias y un circuito interferido se usa un blindaje de Faraday puesto a masa. En los circuitos digitales de alta velocidad es conveniente utilizarse en forma de planos de masa insertados entre las capas de la placa de circuitos impresos para eliminar las capacidades parasitas entre ellas. Otra aplicación común es la de los transformadores apantallados electrostáticamente.

## **2. BLINDAJE CONTRA EL ACOPLAMIENTO INDUCTIVO (MAGNETICO)**

Un blindaje magnético efectivo debe encerrar totalmente al componente que se requiere proteger y debe tener alta permeabilidad. Con este tipo de blindaje contra el campo magnético es a veces más difícil obtener una buena efectividad en comparación con el blindaje electrostático, porque es más fácil tener alta conductividad en un blindaje eléctrico que alta permeabilidad y alta conductividad al mismo tiempo en un blindaje magnético.

## **3. BLINDAJE DE CAJAS DE PLASTICAS: PLASTICOS CONDUCTORES**

El plástico es popular en las cajas para contener circuitos electrónicos. Para apantallar se deben hacer conductores a estos plásticos y hay dos formas básicas para conseguirlo. Mezclando carga metálica conductora con el plástico en el inyectado del molde o revistiendo el plástico con un material conductor. Los aditivos más utilizados son los compuestos de policarbonato en los que tiene escama de aluminio, fibras de acero inoxidable o de cobre. Las fibras de acero alcanzan eficiencias de apantallamiento superiores a 40 dB con cargas de 50% mientras que las de níquel requieren cargas de 10% para el mismo nivel.

No deben confundirse los plásticos conductores para ser utilizados como blindajes y los que están preparados contra las descargas electrostáticas, por ellos los plásticos conductores utilizados en embalajes antiestáticos no son iguales que los necesarios para apantallar.

## **4. LAMINAS CONDUCTORAS**

Otra alternativa para apantallar puede ser la aplicación de láminas adhesivas metalizadas, especialmente recortadas a medida para encajar en el interior de la caja, pero tienen inconveniente de que los extremos son una fuente de fuga debido al efecto de bordes, rebajando la efectividad. Normalmente son de cobre y aluminio, debidamente aisladas externamente y proporcionan una buena conductividad.

Las láminas adhesivas metalizadas se usan habitualmente, para el apantallamiento electromagnético de equipos e incluso grandes habitaciones. Estas láminas adhesivas tienen la ventaja de poder ser aplicadas sobre un armario o habitación, con lo que pueden ser usadas ante imprevistos. Es común utilizarlas en la fase de experimentación y no son deseables para producción, porque su adhesión es laboriosa y complicada en casos complejos.

## **5. BLINDAJE CON PINTURAS CONDUCTORAS.**

Actualmente existen pinturas conductoras basadas en grafito, cobre, níquel y plata que superan ampliamente con ventaja a otros tratamientos y que aplicadas de forma convencional por aerosol con muy poca o ninguna preparación superficial del plástico, permiten conseguir niveles de apantallamiento de hasta 70 dB con espesores de 50 micras.

Las ventajas de las pinturas conductoras son esencialmente las que se citan seguidamente: su utilización como pinturas ordinarias, aplicaciones por aerosol sin personal muy especializado y secado al aire, no requieren o es mínimo el tratamiento previo de superficie. Se adhieren a casi cualquier tipo de plástico con gran poder de cobertura. Son duras y resistentes a la abrasión y superan las condiciones climáticas extremas, sin que la adherencia y el nivel de apantallamiento sean afectados.

## 6. EL BLINDAJE DE LOS CABLES APANTALLADOS.

Usualmente es seleccionado un cable apantallado como último recurso ante detención de un problema de interferencia electromagnética. En estas circunstancias, si el cable apantallado no da buenos resultados, se piensa que este no es adecuado y, por el contrario, si soluciona el problema, se considera un mal menor y se piensa en que ojalá se hubiera utilizado desde el principio.

Para seleccionar un cable apantallado: identificar anticipadamente el tipo de interferencia determinando su margen de frecuencias; extraer de los catálogos la mejor información sobre el método de prueba más idóneo para la aplicación específica y el cable apantallado más efectivo para solventar el problema específico de interferencia siempre que cumpla con los tres parámetros de diseño siguientes: coste, cobertura y flexibilidad.

Cabe destacar que la efectividad de un blindaje decrece cuando la frecuencia aumenta y. Por ello la efectividad de un cable apantallado a una cierta frecuencia no implica que sea igual en otra. Comparando los cables apantallados en función de la frecuencia, los pares trenzados apantallados son usuales a frecuencias menores de 100 kHz, aunque en algunas aplicaciones pueden llegar a trabajar a 10 MHz. Por encima de 1 MHz, las pérdidas en los pares trenzados apantallados se incrementan considerablemente.

Los pares trenzados apantallados tienen más capacidad que los cables coaxiales y, por ello, no son convenientes a altas frecuencias o en circuitos de alta impedancia. Un cable coaxial es mejor a altas frecuencias.

### 1.2.1.5 EFECTOS DE LAS APERTURAS O AGUJEROS EN LOS BLINDAJES.

Es usual utilizar blindajes agujereados en los equipos electrónicos para que haya ventilación y satisfacer otros requisitos mecánicos. Todos los agujeros, juntas y ranuras reducen la efectividad del blindaje. De forma práctica, en el caso de un blindaje agujereado, la efectividad intrínseca del material tiene menor importancia que la pérdida a través de ranuras y juntas. Las discontinuidades en el blindaje tienen usualmente más efecto en la pérdida de efectividad de apantallamiento magnético que en la de campo eléctrico. En consecuencia, es necesario dar mayor importancia a los métodos de reducción de pérdidas de efectividad de apantallamiento magnético. En casi todos los casos, estos mismos métodos son también adecuados para minimizar las pérdidas de efectividad de apantallamiento eléctrico. La disminución de efectividad en los blindajes con ranuras y juntas con el aumento de frecuencia es debida al paso de las ondas a través de las mismas. Este descenso de efectividad depende principalmente de la máxima dimensiones lineales de la ranura (NO DEL AREA), de la impedancia de la onda incidente y de la frecuencia de la fuente del campo. Es importante tener presente que un número elevado de pequeñas ranuras provocan un descenso menor de efectividad que una gran ranura con la misma superficie.

### 1.2.1.6 LA EFECTIVIDAD DE LOS BLINDAJES.

La efectividad de un blindaje puede especificarse en términos de atenuación en **dB** de la intensidad del campo. Así la efectividad **S** está definida para campos eléctricos

$$S=20 \log (E_0/E_1) \text{ (dB)}$$

Y para campos magnéticos.

$$S=20 \log (H_0/H_1) \text{ (dB)}$$

En las ecuaciones precedentes  $E_0$  ( $H_0$ ) es la intensidad de campo incidente y  $E_1$  ( $H_1$ ) la intensidad de campo que traspasa el blindaje. La efectividad de un blindaje varía con la frecuencia, la geometría del campo, la posición desde donde el campo es medido, con el tipo de campo que está siendo atenuado, la polarización y con la dirección de la incidencia. Los resultados del cálculo de la efectividad sirven para comparar varios materiales en función de la atenuación.

Al incidir una onda electromagnética en una superficie metálica existen dos efectos. La onda es parcialmente reflejada por la superficie, y la parte transmitida (no reflejada) es atenuada al pasar a través del blindaje. Este último efecto provoca las llamadas pérdidas por absorción y con las mismas en los dos tipos de campo: lejano y cercano. Las pérdidas por reflexión dependen del tipo de campo y de la impedancia de onda y, por tanto, no son iguales en los campos cercanos y lejanos.

La energía transmitida puede asimismo reflejarse en la superficie del blindaje contraria a la posición del emisor de campo y volverse a reflejar múltiples veces en las dos superficies. La efectividad total de un blindaje es igual a la suma de las pérdidas por absorción ( $A$ ), más las pérdidas por reflexión ( $R$ ) más un factor ( $B$ ) que contabiliza las múltiples reflexiones en los blindajes. Así se puede escribir la ecuación anterior de  $S$  como:

$$S= A+R+B \text{ (dB)}$$

### 1.2.1.7 ATERRIZAJE PARA CARGAS ESTÁTICAS.

La acumulación de cargas estáticas en exposiciones de campos electromagnéticos en el equipo o materiales y sobre el personal de operación produce un potencial serio en los lugares en los que se encuentran líquidos o gases inflamables, fibras o desperdicios.

La generación de electricidad estática no se puede prevenir, pero se puede mitigar y controlar. Los métodos que se usan son:

- Aterrizaje y conexión. Muchos problemas de estática se pueden resolver uniendo las diferentes partes del equipo y aterrizando el sistema completo.
- La humedad o humedad relativa controla la conductividad de la superficie de estos materiales aislantes. A mayor humedad, mayor conductividad. Cuando la humedad relativa es de 30% o menos, los mismos materiales se secan y se convierten en buenos aisladores; se comienzan a notar las manifestaciones estáticas y se pueden generar chispas estáticas.
- Ionización. En el proceso de ionización, las moléculas de aire están sobre-tensionadas, los electrones se separan de sus moléculas. Los electrones son negativos y las moléculas quedan con cargas positivas.

- Calzado y rodos conductivos. Se usan en combinación con el piso conductivo. El equipo móvil debe tomar contacto directamente con el piso o a través de los rodos conductivos de hule. Se debe verificar su resistencia siempre, antes de entrar a las áreas de trabajo.
- Precauciones especiales. Además de los pisos y calzado conductivos, se pueden considerar otros controles como: usar ropa que produzcan estática baja, establecer procedimientos rígidos de operación.

Si bien en la práctica de la toma de tierra eléctrica Los sistemas están bien establecidos, todas las implicaciones de protección de la electricidad estática no siempre se entienden. El objeto de la protección de la electricidad estática es Proporcionar un medio por el cual cargas de electricidad estática, Separados por la causa que sea, puede recombinarse sin causar daños Antes de la chispas. En orden Para una carga de electricidad estática para convertirse en una fuente de problemas, debe tenerse en cuenta las siguientes condiciones:

- Debe haber un medio de generación de electricidad estática.
- Debe haber un medio de acumulación de una carga estática capaz de producir la ignición.
- Debe haber un medio de descarga de chispa de la carga acumulada.
- Debe haber una mezcla inflamable o la atmósfera en la ubicación de la chispa de descarga para constituir un riesgo de explosión o incendio.
- El potencial estático se debe mantener para constituir un peligro para el personal.
- La carga estática debe llevarse a cabo de forma continua para constituir un compromiso de las comunicaciones clasificadas.

### 1.2.1.8 ATENUACION MINIMA SEGÚN NORMA PARA UN BUEN BLINDAJE ELECTROMAGNETICO

La instalación de blindaje deberá cumplir o superar decibelios mínima atenuación (dB). El sistema de blindaje EM deberá incluir, pero no es limitado a, los siguientes:

- El [acero soldado] [atornillada] blindaje EM.
- blindaje EM de las puertas para el acceso a las instalaciones.
- penetraciones eléctricas y electrónicas del blindaje.
- Ensamblajes de filtro / EM supresores de sobretensiones, incluyendo sus cajas EM.
- blindado EM de cajas de paso y cajas de conexión.
- blindado EM de conducto.
- medidas especiales de protección para equipos de misión esencial fuera del escudo EM.
- penetraciones estructurales.
- penetraciones mecánicas y de servicios públicos (tales como salidas de aire, gas y agua).
- Instrumentación y control.
- Equipo paneles de puerta / acceso.

Se deben hacer pruebas para garantizar el blindaje EM según lo establecido en la std IEEE 299-1997 **“IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures”**

El blindaje Electromagnético completo con todos los filtros, las puertas, y / o guías de onda tendrán la siguiente eficiencia de atenuación mínima de blindaje EM. Mínimo la atenuación del campo magnético será de [20 dB] a los 14 kHz aumentando linealmente hasta [50 dB] [100 dB] al [200 kHz] [1 MHz] respectivamente. El campo Eléctrico tendrá una atenuación mínima de [50 dB] [100 dB] de 14 kHz a [1 GHz] [10 GHz].

### 1.2.1.9 EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SALUD HUMANA.

Estudiar los efectos que tiene la exposición electromagnética También es importante ya que podemos afectar la salud de operador y de las personas que ingresen al laboratorio, por lo tanto traemos a definición el índice SAR. **El SAR** se define como: la tasa promedio en que la energía de los campos electromagnéticos es absorbida en el tejido humano y sus unidades de medida son los watts por kilogramo [**W/kg**]. Las especificaciones para la medición del SAR están estandarizadas por el “Europea Comité foro Electrotécnica Standardization CELENEC”, standard EN 50360 y el “Institute of Electrical and Electronic Engineers IEEE”, Standard IEEE P1528. El procedimiento para medir el SAR en laboratorios utiliza un maniquí llamado “**Maniquí Específico Antropomórfico**” (**SAM**, Specific Anthropomorphic Mannequin por sus siglas en inglés,), el cual representa la cabeza de un hombre adulto basada en una muestra del personal del servicio militar de los E.E.U.U.

A continuación en la tabla 1.2 se presentan límites de la tasa promedio de absorción establecida por normas internacionales.

TIPO DE EXPOSICION	RANGO DE FRECUENCIAS	SAR Promedio en todo el Cuerpo [w/kg]	SAR Localizados en cabeza y tronco [w/kg]
OCUPACIONAL	100 KHz-10MHz	0.4	10
	10 MHz-10GHz	0.4	10
PUBLICO EN GENERAL	100 KHz-10MHz	0.08	2
	10 MHz-10GHz	0.08	2

Tabla 1. 2 Límites para exposición a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10 GHz

**Exposición controlada u ocupacional:** en este entorno las personas están conscientes de la exposición y permanecen lapsos cortos de tiempo bajo ella, debido a esto pueden tener un control de la misma y tomar medidas de seguridad necesarias, generalmente esta exposición se da en ambientes de trabajo. Ejemplo, el personal de mantenimiento de una estación de radio FM que al realizar trabajos preventivos en las cercanías de las antenas están expuesto a radiaciones de campos RF.

**Exposición no controlada o para público en general:** es a la que cotidianamente están sometidas las personas y se da debido a la radiación emitida por estaciones de radio FM, estaciones de telefonía celular, estaciones de televisión inalámbrica, accesos a internet inalámbrica, etc. Generalmente la gente no es consciente de esta exposición y no puede ejercer control sobre ella y por consiguiente tampoco puede tomar medidas de seguridad.

Algunos límites de exposición del ser humano establecidos sobre intensidad de campo eléctrico y magnético por algunas organizaciones extranjeras se presentan en la tabla 1.3.

RANGOS DE FRECUENCIAS [MHz]	INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO E[V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNETICO H[A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m <sup>2</sup> ]
0.1-1.0	1842	16.2/f <sub>M</sub>	(9E10 <sup>3</sup> , 1E10 <sup>5</sup> / f <sub>M</sub> <sup>2</sup> )**
1.0-30	1842/f <sub>M</sub>	16.2/f <sub>M</sub>	(9E10 <sup>3</sup> / f <sub>M</sub> <sup>2</sup> , 1E10 <sup>5</sup> / f <sub>M</sub> <sup>2</sup> )
13-100	61.4	16.2/f <sub>M</sub>	(10, 1E10 <sup>5</sup> / f <sub>M</sub> <sup>2</sup> )
100-300	61.4	4/f <sub>M</sub>	10
300-3000	----	-----	f <sub>M</sub> /30
3000-30000	-----	-----	100
30000-300000	-----	-----	100

Tabla 1. 3 Niveles máximos establecidos por ANSI/IEEE. Exposición en entorno Ocupacional

#### Dónde:

- \*\* Estos valores de densidad de potencia equivalente, aunque no son apropiados para condiciones de campo cercano, ya que no proporcionan un valor verdadero, puede ser usado como dato predictivo.
- La frecuencia **f<sub>M</sub>** esta expresada en **MHz** .

Todos los organismos que presentan límites para la exposición a radiación electromagnética no ionizante se basan en la forma de como interactúa dicha radiación con el cuerpo humano, de acuerdo a esto, los límites se establecen para prevenir dos tipos de efectos, el térmico y el de electro estimulación. Otro aspecto que cabe destacar es que los valores de la intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético y densidad de potencia que aparecen en las tablas, son derivadas de cantidades del SAR y de mediciones en laboratorios.

#### 1.2.2 ILUMINACIÓN

Una adecuada iluminación es primordial en cualquier ambiente de trabajo, ya que ésta permite un mejor registro de los datos, pero también debe de tenerse el cuidado de elegirse una que sea cómoda para trabajar. Ya que si la iluminación es muy cálida podría producir un ambiente propicio para el descanso mientras que si es muy fría podrá volverse un ambiente incómodo para trabajar. Para evitar esto se establecen las recopilaciones en base a normas para lograr el ambiente idóneo dentro del cual se podrán realizar las pruebas de laboratorio.

La norma ISA 52.1 establece en la sección 5.5.1 sección de iluminación podemos ver: “La especificación "general" de 1000 lux (lúmenes por metro cuadrado). Probablemente la consideración más importante que debe tenerse en cuenta son las otras condiciones de laboratorio o equipos y configuraciones que pueden causar degradación en el rendimiento total de medición. “

Es de considerar que debemos combinar luz natural y artificial para poder lograr los niveles establecidos ya que tener tanta iluminación puede producir cambios en la temperatura ambiente.

Otra sugerencia que se permite considerar dentro de esta norma es la siguiente: la iluminación de intensidad variable. En algunos laboratorios a número de mediciones diferentes deba realizarse bajo una fuente de luz. En el cual Podría variar intensidad de esta fuente de luz. Por ejemplo, el requisito de la iluminación para leer un medidor puede ser 125 lúmenes por pie cuadrado mientras que en otro tiempo en el mismo banco un osciloscopio requeriría sólo 30 pie-candela de iluminación.

La tercera edición de la Handbook, (de iluminación IES publicado en 1966), da información reciente en niveles de iluminación recomendados para muchos tipos de iluminación. De los cientos de situaciones de iluminación, ninguno se refiere específicamente a la de un laboratorio de medición. Sin embargo, varios son similares a las condiciones de un laboratorio de medidas físicas y los valores dados pueden servir como una guía se presentan a continuación en la tabla 1.4:

lugar	niveles
<b>Cerca de hospitales, laboratorios, trabajo</b>	1076 lux (f-100C)
<b>Trabajan de oficinas, escritorio de ordinario</b>	1076 lux (f-100C)
<b>Prueba, general</b>	538 lux (50 f-c)
<b>Instrumentos de prueba, extra finos, escalas, etc.</b>	2152 lux (200 f-c)
<b>Talleres, Banco mediano y trabajo de la máquina</b>	1076 lux (f-100C)
<b>Talleres, Banco fina y trabajo de la máquina</b>	2152 lux (200 f-c)

Tabla 1. 4 Niveles de luxes manejados según el lugar que se requiera presentados en pie candela y en lux

El diseño y la instalación deben proveer no sólo una cantidad suficiente de luz, sino también la dirección correcta de la luz, difusión y protección de los ojos. Es conveniente y práctico limitar proporciones de brillo entre las áreas de tamaño considerable a continuación se muestran los niveles de brillos permitidos en la tabla 1.5:

Niveles	Condiciones
<b>3 a 1</b>	entre tarea y alrededores adyacentes
<b>10 a 1</b>	entre la tarea y superficies oscuras más remotas
<b>1 a 10</b>	entre la tarea y superficies más remotas
<b>20 a 1</b>	entre las fuentes de luz o ventanas y superficies junto a ellos
<b>40 a 1</b>	en cualquier lugar dentro del campo de visión normal

Tabla 1. 5 niveles de luxes manejados según el lugar que se requiera presentados en pie candela y en lux

### 1.2.3 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA O RED DE TIERRA.

El cuerpo humano es un buen conductor eléctrico, razón por la cual al verse sometido a una diferencia de tensión se originarían corrientes circulantes a través de él, asimismo la actividad biológica del mismo se encuentra estrechamente relacionada a variaciones de tensión, puesto que cada célula del cuerpo humano se caracteriza por una diferencia de potencial entre la parte externa y la parte interna de su estructura. Por lo mencionado anteriormente podemos concluir que el paso de una corriente de origen externo a través de los órganos del cuerpo humano, pueden alterar las funciones vitales y dañarlos irreparablemente.

Si una persona está en contacto con elementos energizados estará sujeta a sufrir un choque, que no es más que una sensación desagradable ocasionada por el paso de corriente eléctrica en el cuerpo, un paso de corriente menor a 1 amperios por el cuerpo humano puede ocasionar graves daños al organismo. Este riesgo está presente hoy en día bajo múltiple circunstancia, esto debido al uso casi vital de la electricidad en las sociedades humanas para su desarrollo y mejoras en la calidad de la vida. Por lo dicho anteriormente y al no poderse desligar de la fuente de energía eléctrica es necesario crear medios para su generación, transmisión, distribución y consumo de forma segura, para ello surge la necesidad de realizar un buen sistema de puesta a tierra.

#### 1.2.3.1 PELIGROSIDAD DE LA CORRIENTE ELECTRICA EN EL SER HUMANO

Muchas variables se deben tomar en cuenta a la hora de diseñar un sistema de seguridad. Este debe limitar las tensiones a las cuales podría llegarse a ver sometida una persona, y restringir la corriente que pase por el cuerpo, la cual es responsable de lesiones físicas. Los efectos fisiológicos de estas tensiones difieren ya que la corriente circula por caminos diferentes a través del organismo, algunas lesiones que pueden presentarse son: tetanización, Quemaduras, fibrilación ventricular entre otras. La tensión de toque es la más peligrosa de todas, ya que la corriente circula por el tronco de la persona donde se encuentran los organismos vitales, y puede llegar a producir lesiones fatales.

Una corriente de 1 mA es generalmente reconocida como el **umbral de percepción** para un ser humano. Algunos de los efectos o consecuencia que el paso de la corriente eléctrica puede provocar en el ser humano son:

- **LA TETANIZACION.**

Es el fenómeno por el cual las fibras musculares sometidas al paso de una corriente eléctrica se contraen espasmódicamente e involuntariamente, permaneciendo en dicho estado hasta cesar la corriente. Los movimientos que en consecuencia se producen pueden ocasionar graves accidente como efectos secundarios. La pérdida de control, que ocurre entre los 10 y 16 mA de corriente alterna y los 50 y 75 mA de corriente continúan, determina la imposibilidad del individuo de desprenderse por sí mismo del elemento energizado. Se conoce con el nombre de corriente de desprendimiento voluntario al máximo del valor de corriente para el cual el sujeto afectado está en posibilidad de desvincular por sí mismo el elemento energizado. Este valor varía de persona a persona y es menor para las mujeres y los niños y en general para personas de bajo peso corporal.

- **EL CESE DE LA RESPIRACION.**

Sobreviene como consecuencia de la Tetanización de los músculos que intervienen en la respiración, o por valores de corriente que paralizan los centros nerviosos que gobiernan los movimientos musculares de la caja toraxica. El individuo muere asfixiado en 3 o 4 minutos o probablemente presente graves lesiones cerebrales.

- **LA FIBRILACION CARDIACA.**

La fibrilación cardiaca, consiste en contracciones muy frecuentes y desordenadas de las fibras musculares del corazón, lo cual impide que realice sus funciones normales, y por tanto causa la muerte del individuo afectado. Este fenómeno ocurre entre los 60 y 100 mA de corriente alterna. La restitución de las funciones normales del corazón solo es posible mediante la utilización de equipo médico (Desfibrilador).

- **EL CESE DE LAS FUNCIONES DEL CORAZÓN.**

El cese de las funciones del corazón ocurre cuando un sujeto es sometido a elevadas intensidades de corriente (mayores a 500 mA). Si el tiempo de contacto es muy breve el corazón reanudará sus funciones en forma espontánea y requiere de aproximadamente 5 minutos para regresar a la normalidad.

- **QUEMADURAS.**

Quemaduras, que ocurren en los puntos de entrada y salida (de la corriente) del cuerpo, debido a que estos ofrecen un valor de resistencia más elevado que las demás partes del organismo. Puede verificarse la destrucción de tejidos superficiales, de centros nerviosos, e incluso la ruptura de arterias.

En la tabla 1.6 se presentan porcentajes de nivel de sobrevivencias de hombres, mujeres y niños a diferentes corrientes de disparo.

<b>Corriente De disparo</b>	<b>6 mA (rms)</b>	<b>10 mA (rms)</b>	<b>20m A (rms)</b>	<b>30 mA (rms)</b>
Hombres	100%	98.5%	7.5%	0%
Mujeres	99.5%	60%	0%	0%
Niños	92.5%	7.5%	0%	0%

Tabla 1. 6 Porcentajes de sobrevivencias a diferentes corrientes de disparo.

### 1.2.3.2 EFECTOS DE LA FRECUENCIA EN LA PELIGROSIDAD DE LA CORRIENTE EN EL SER HUMANO.

La corriente continua presenta un valor umbral de peligrosidad superior al de la corriente alterna a frecuencia industrial (50 ó 60 Hz). Al atravesar al organismo la corriente continua provoca una sensación de calor debido al efecto joule, y en caso de que la exposición se prolongue en exceso se verificarán fenómenos electrolíticos en la sangre, que producirán embolias gaseosas.

El grado de peligrosidad presentado por la corriente alterna disminuye al aumentar la frecuencia, pero ventajas apreciables en lo que representa a seguridad de los individuos se obtienen sólo a muy elevadas frecuencias (mayores a 100 KHz).

Adicionalmente, el "efecto piel", característico de las corrientes de altas frecuencias, hace que la corriente tienda a fluir a través de partes externas del cuerpo, sin afectar apreciablemente órganos internos.

Intensidades de corriente entre 10 y 16 mA de corriente alterna y entre 50 y 75 mA de corriente continua, resultan peligrosas para el organismo humano. Sin embargo, el grado de peligrosidad de la corriente eléctrica también depende de la duración del contacto entre el individuo afectado y el elemento energizado.

### 1.2.3.3 EECTOS DEL TIEMPO DE EXPOSICION DE LA CORRIENTE.

Las ecuaciones de electrocución fueron originalmente desarrolladas por Charles F. Dalziel, basado en los resultados de pruebas conducidas sobre personas y animales de pesos similares a los de un ser humano adulto normal, efectuadas por investigadores desde 1930 hasta principios de 1950. Dichos investigadores encontraron que los animales estudiados eran menos propensos a experimentar fibrilación ventricular si la duración del contacto era reducida.

En base a análisis estadísticos de la información disponible en aquel tiempo, Dalziel concluyó que la ecuación de la electrocución puede ser definida por una simple curva que es proporcional al peso del cuerpo del sujeto e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la duración de la exposición.

La ecuación mencionada relaciona la magnitud y la duración de una corriente de 50 a 60 Hz que producirá fibrilación ventricular con una probabilidad igual o menor de 0.5%. Dicha ecuación, recomendada para tiempos de exposición entre 0.008 s. y 5 s. se basa en que la energía absorbida por el cuerpo humano responde a la siguiente expresión:

$$SB = (IB)(IB) T_s$$

Donde:

- IB es la magnitud rms de la corriente a través del cuerpo.
- Ts es la duración de la exposición de la corriente en s.
- SB es un constante empírica relacionada con la energía del contacto eléctrico tolerada por un cierto porcentaje de una población dada.

De acuerdo a las conclusiones extraídas por Dalziel, se asume que si el 99.5% de todas las personas pueden soportar en forma segura, sin sufrir fibrilación ventricular, el paso de una corriente de magnitud y duración determinadas por la siguiente relación:

$$IB = k/\sqrt{T_s}$$

Donde:

$$K = \sqrt{SB}$$

Dalziel encontró que la energía que puede soportar el 99.5% de las personas que pesan aproximadamente 50Kg resulta de un valor de  $SB= 0.0135$ . Por tanto, para personas de 50Kg de peso.

$$IB= 0.116/\sqrt{Ts}$$

En la tabla 1.7 se presentan los efectos cuantitativos según los estudios realizados por DALZIEL:

EFECTO	INTENSIDAD (m A)					
	CORRIENTE CONTINUA		CORRIENTE ALTERNA			
			50-60Hz		10.000Hz	
	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER
Ligera sensación en la mano	1	0.6	0.4	0.3	7	5
Umbral de percepción	5.2	3.5	1.1	0.7	12	8
Choque indoloro sin pérdida del control muscular	9	6	1,8	1.2	17	11
Choque indoloro sin pérdida del control muscular	62	41	9	6	55	37
Choque doloroso umbral de cte. LIMITÉ (tetanización)	76	51	16	10.5	75	50
Choque doloroso y grave, contracciones musculares y dificultad de respiración.	90	60	23	15	94	63
Fibrilación ventricular eventual	-	-	-	-	-	-

Tabla 1. 7 Efectos cualitativos por contacto eléctrico según Dalziel.

#### 1.2.3.4 EFECTO DEL NIVEL DE TENSION.

Estudios recientes sugieren que el camino de la corriente depende de la tensión. Las corrientes de baja tensión tienden a tomar el camino de menor impedancia, mientras que las corrientes de alta tensión tienden a tomar, de ser posible, un camino directo entre el punto de contacto y la tierra. La tetanización es un fenómeno típico para tensiones hasta 380 V. Para valores más elevados de tensión, el efecto provocado por la corriente sobre las fibras musculares tiende generalmente a "arrojar" al sujeto el elemento energizado, limitando por tanto el tiempo de contacto y los efectos correspondientes.

#### 1.2.3.5 TRAYECTORIA DE LA CORRIENTE EN EL SER HUMANO.

Para que una corriente eléctrica atraviese el cuerpo humano es preciso que se establezcan al menos dos puntos de contacto. Entre la persona y un cuerpo energizado. Los contactos que involucren la región cardiaca y ciertas partes del sistema nervioso. Las principales trayectorias seguidas por la corriente en los casos más comunes de electrocución, son causadas por contacto de las dos manos, de una mano y los pies, y de los dos pies, con dos puntos de diferentes potenciales.

Los dos primeros casos son los más peligrosos puesto que pueden afectar, en forma más o menos grave, el corazón del sujeto. En el tercer caso, la diferencia de potencial involucrada generalmente es menor en magnitud y la resistencia correspondiente del cuerpo y la corriente permisible por el organismo son mayores que en los casos de contacto de las dos manos y de una mano y los pies. Aunque el contacto con los pies es menos peligroso, ya que no toda la corriente a traviesa la región cardiaca, pueden presentarse como consecuencia problemas renales.

### 1.2.3.6 RESISTENCIA ELECTRICA DEL SER HUMANO.

Un valor típico de resistencia eléctrica del ser humano  $1000\Omega$  que se puede desglosar de la siguiente

- PIEL (ENTRADA Y SALIDA) -----  $200\ \Omega$
- RESISTENCIA INTERNA----- $500\ \Omega$
- CALZADO HUMEDO (MAL AISLAMIENTO) ----- $300\ \Omega$
- TOTAL-----  $1000\ \Omega$

Causas que alteran este valor: edad, raza, humedad, embriaguez, sueño, sexo, ropas, sed, estado de la piel. Etc.

En general la resistencia eléctrica del ser humano varía entre  $1,000$  y  $1,000,00$  ohmios.

La figura 1.2. Muestra curvas para el cálculo de impedancia del ser humano para cuatro estados de piel y diferentes niveles de tensión.

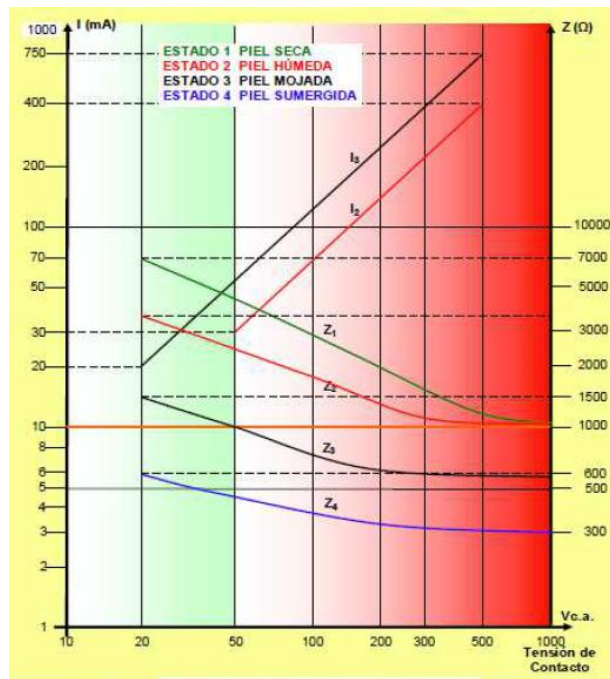


Figura 1. 2 curvas para el cálculo de la impedancia del ser humano

### 1.2.3.7 CONSIDERACIONES A TOMAR EN CUENTA EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.

## CONDUCTOR NEUTRO Y CONDUCTOR DE TIERRA

En el diseño de sistemas de puesta a tierra se tiene que tener cuidado de no confundir o pensar que es lo mismo decir conductor neutro y conductor de puesta a tierra. El conductor neutro es para transportar corrientes de desbalance en los sistemas trifásicos, así como las corrientes de retorno en los sistemas monofásicos, el conductor de tierra su objetivo es proporcionar la conexión a tierra para operación y protección del sistema,

En muchos sistemas eléctricos el neutro se aterriza, Según **NEC** el único punto en donde el neutro debe ser aterrizado es en la barra de neutro del tablero principal de distribución.

## FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA DE TOMA DE TIERRA.

Depende de los siguientes aspectos: Material del terreno, Granulometría del material, Humedad, Temperatura, Salinidad.

Cuando se realiza un diseño de Sistema de puesta a tierra se supone que el diseño es seguro cuando la resistencia de conexión a Tierra es inferior a un valor recomendado.

## RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

La resistividad del terreno es la resistencia que presenta al Paso de la corriente un cubo de terreno de 1 metro de arista. Se mide en  $\Omega$ -m.

Según los cálculos físicos el valor de la Resistencia del material circundante es:

$$\rho = R * A / L (\Omega m^2/m) (\Omega\text{-m})$$

$\rho$  = Resistividad del material

$L$  = Longitud del material

$A$  = Área perpendicular al flujo de corriente.

## ELEMENTOS QUE INFLUYEN LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO:

Los elementos que influyen en la resistividad del terreno son los siguientes: Naturaleza del terreno, Humedad, Temperatura, Salinidad, Estratigrafía (Capas del terreno), Variaciones estacionales y Compactación En la tabla 1.8 se muestra algunos valores típicos de resistividad según el terreno.

## RESISTIVIDAD VS TEMPERATURA.

A medida que disminuye la temperatura aumenta la resistividad. Esto se debe a que el agua en estado sólido se comporta como un conductor de resistividad muy alta. A medida de que la temperatura aumenta el agua pasa de estado sólido a líquido, disminuyendo así su valor de resistividad, esta relación se muestra en la Figura 1.3.

Es importante observar que un aumento de la temperatura no implica que el suelo tenga un valor de resistividad bajo puesto que para ello, se requiere que este posea agua en los poros de las rocas que la conforman.

NATURALEZA DEL TERRENO	Resistividad en $\Omega$ .m
------------------------	-----------------------------

Terreno pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1.500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1.000 a 5.000
Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1.500 a 10.000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

Tabla 1. 8 Resistividad del terreno

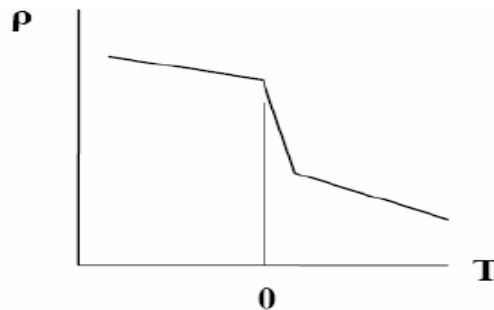


Figura 1. 3 Relación de resistividad vs temperatura.

### RESISTIVIDAD VS PRESIÓN.

El efecto de la presión sobre la resistividad del suelo es opuesto al producto por la temperatura ya que al aumentar la presión, los poros de las rocas contenidas en el suelo se cierran disminuyendo así su humedad produciendo que la resistividad aumente. La relación resistividad vs presión se muestra en la Figura 1.4:

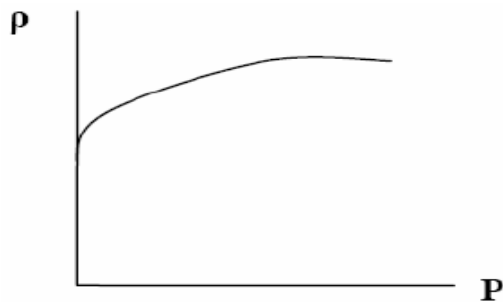


Figura 1. 4 Relación de resistividad vs temperatura.

### 1.2.3.8 RESISTENCIA DE LA RED DE TIERRA SEGÚN EL NEC Y SEGÚN ACUERDO N°29-E-200 DE LA SIGET

La conexión a tierra debe tener una baja resistencia o impedancia, la cual debe ser al menos, menor a (según NEC):

- 10  $\Omega$  para sistemas de potencia.
- 5  $\Omega$  para sistemas de bajo voltaje
- 1  $\Omega$  para sistemas electrónicos

Con esto nos aseguramos que la función básica de la puesta a tierra se cumpla.

En la tabla 1.9 se presentan los valores máximos permitidos de resistencia de tierra de una subestación en función de su capacidad tomadas de la tabla 22 del acuerdo N°29-E-2000 “ Norma técnica de diseño seguridad y operación de las instalaciones de distribución”.

CAPACIDAD DE SUBESTACION (MVA)	RESISTENCIA DE LA RED DE TIERRA ( $\Omega$ )
menor de 0.05	12
0.05-0.1	6
0.1-0.50	2
0.50-1	1.5
ene-50	1
50-100	0.5
mayor de 100	0.2

Tabla 1. 9 Valores de resistencia máximo de subestaciones

## 1.2.4 CALIDAD DE ENERGÍA.

### 1.2.4.1 VARIACION DE VOLTAJE Y ARMONICOS ADMISIBLES.

Al hacer un análisis de los procedimientos de pruebas establecidos, se observa que para el manejo del equipo se debe garantizar ciertos niveles de voltaje, ciertos niveles de armónicas, resaltando la importancia del uso de supresores de transientes, los cuales se muestran como una alternativa viable para proteger el equipo que se instalara ya que este puede resultar con daños irreparables en su funcionamiento. A continuación se plantean los requisitos establecidos por la norma vigente de la SIGET. Con respecto al voltaje y los niveles de armónicos de corriente que se pueden y deben manejarse

En el artículo 23 de la norma de calidad de servicio de los sistemas de distribución **Límites Admisibles**. Los niveles de variación mínima máximo y mínimo de tensión, según las zonas de servicio, en el punto de suministro o entrega al usuario, se indican en la Tabla 1.10:

Niveles de tensión	$\Delta V$		
	urbano	rural	aislado
<b>Baja tensión(<math>\leq 600</math>)</b>	$\pm 6\%$	$\pm 7\%$	$\pm 8.5\%$
<b>Alta tensión(<math>&gt;600</math>)</b>	$\pm 7\%$	$\pm 8\%$	$\pm 8.5\%$

Tabla 1. 10 niveles de variación de voltajes establecidos en la norma de calidad de SIGET

En base a la tabla 1.10 se debe tomar el valor correspondiente de la variación que debemos de tener en la instalación de los equipos de pruebas de laboratorio. Se debe tener en cuenta que en la variación de voltaje la carga en el sistema tiene incidencia. En la tabla (tabla 1.11) se muestran los armónicos permitidos según la potencia demandada y el nivel de tensión establecida por la SIGET, pero esto podrá variar en la etapa de diseño según los requerimientos del equipo.

El artículo 53 de la norma de calidad de servicio de la SIGET establece que la energía eléctrica es de mala calidad cuando en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento (5%) del empleado en las mediciones en el Período de Medición, se compruebe que la Distorsión Armónica de la Corriente de Carga ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

### 1.2.4. 2 SUPRESORES DE TRANSIENTES.

Para regular la calidad de energía, muchas veces se ocupan supresores de transientes de voltaje los cuales podemos definir como: Dispositivo que tiene la función de atenuar los voltajes transitorios de alta magnitud que se presentan en un tiempo muy corto en el orden de los nano o micro segundos. Los transitorios pueden ser internos (75%) o externos (25%).

Los transitorios internos podrán delimitarse como aquellos que pueden originarse por elementos inductivos o capacitivos como motores, interruptores, cortos circuitos, etc. Estos aparatos generan elevaciones de tensión por momentos muy cortos a la hora de ser apagados o encendidos dependiendo del caso.

ORDEN DE LA ARMONICA (n)	P≤10KW V≤600V	P≥10KW 600<V≤115KV
	INTENSIDAD ARMONICA MAXIMA(AMP)	DISTORSION ARMONICA INDIVIDUAL DE CORRIENTE DA II, EN %
<b>IMPARES NO MULTIPLOS DE 3</b>		
5	2.28	12.0
7	1.54	8.5
11	0.66	4.3
13	0.42	3.0
17	0.26	2.7
19	0.24	1.9
23	0.20	1.6
25	0.18	1.6
>25	4.5/n	0.2+0.8*25/n
<b>IMPARES MULTIPLOS DE 3</b>		
3	4.60	16.6
9	0.80	2.2
15	0.30	0.6
21	0.21	0.4
>21	4.5/n	0.3
<b>PARES</b>		
2	2.16	10.0
4	0.86	2.5
6	0.60	1.0
8	0.46	0.8
10	0.37	0.8
12	0.31	0.4
>12	3.68/n	0.3
DISTORSION ARMONICA INDIVIDUAL DE CORRIENTE DA TI, EN %	-	20

Tabla 1. 11 niveles de armónicos en la onda de corriente propuesto en la norma de calidad de la SIGET

Mientras que los transitorios externos son aquellos que se originan por equipos vecinos que emitan transientes, la caída de algún poste, o en el peor de los casos una descarga atmosférica inducida en alguno de los cuatro hilos del transformador o en la estructura del lugar que se quiera proteger.

Estos transientes pueden producir fallas en las tarjetas de computadoras, pérdidas de memoria, operación errática y bloqueos inexplicables, Fallas de controles basados en microprocesadores, Pérdidas o fallas de SCRs, IGBTs, Variadores de Frecuencia, Arrancadores Suaves, PLCs ó Microprocesadores Reducción del rendimiento de motores, compresores, transformadores y equipos relacionados.

Entonces podemos decir que la aplicación apropiada de SUPRESORES DE TRANSIENTES DE SOBREVOLTAJE (TVSS), eficaces y durables mejora la calidad de la energía eléctrica de la planta, convirtiendo la energía común de clase industrial en una energía “limpia” de primera calidad. La inversión en dispositivos TVSS confiables, ya no es un lujo, sino que es imprescindible para la operación de equipos modernos en forma efectiva y beneficiosa.

A continuación enunciaremos algunas de las características debemos de notar en los supresores:

#### **La Degradación del Supresor**

El elemento base de los supresores son los MOVs (Metal Oxide Varistor). Debido a que este elemento tiene que disipar gran cantidad de temperatura cuando recibe un transiente, se va degradando progresivamente, hasta llegar a un extremo de no cumplir su función (Proteger).

#### **Voltaje de Corte**

Magnitud efectiva de voltaje de cresta a la que está expuesta la carga tras la operación del Dispositivo supresor de transitorios Debido a las fallas que se provocan en los sistemas que usan lógica digital (como controladores, PLCs y otros) la mejor alternativa es usar supresores con tecnología de Seguimiento de Onda (sine-wave tracking) que recorta las alzas considerando una envolvente sobre una onda senoidal pura, evitando se presenten voltajes no deseados que modifiquen los bits de la lógica digital.

#### **Modos de Protección**

Los voltajes transitorios no sólo se pueden presentar entre las líneas y el neutro (L-N), además Existen otros caminos, a estos caminos se les llama Modos. Los supresores más básicos son de Modo 4 (L1-N, L2-N, L3-N, N-T). Los supresores presentan una mayor protección son los de modo 10 ya que consideran todos las vías posibles que se pueden presentar. Debido a los 10 modos De protección, operan tanto para tensiones positivas como negativas.

#### **Tiempo de respuesta**

Debido a la gran velocidad de la perturbación transiente, no son efectivos los equipos de protección como automáticos ó UPS. Los supresores son equipos para atenuar las sobretensiones del orden de los nano y micro segundo y a niveles de tensión del orden de los KV. La mejor tecnología considera un tiempo de operación menor a 1 nanosegundo.

#### **Liberación de energía**

Debido a su operación, algunos supresores realmente se llaman “Descargadores a tierra” ya que al recibir el transiente, envían la energía a la línea de tierra. Esto genera problemas ya que por este camino retorna la energía al circuito. Los equipos de mejor tecnología son supresores, es decir eliminan el transiente convirtiendo la energía en calor y liberándola al ambiente

#### **Voltaje remanente**

Todos los supresores, al recibir un transiente, dejan pasar un remanente de voltaje que debe ser Especificado por el fabricante de acuerdo a las pruebas realizadas. El mejor equipo será el que Asegure un menor voltaje remanente y mantenga esta característica durante los años de operación.

#### **Resina de Disipación**

Los equipos de mejor tecnología incorporan una resina de disipación que logra eliminar en forma Más rápida la alta temperatura del supresor que se genera cuando está capturando transientes De sobre voltaje. Esto permite aumentar por mucho la vida útil del equipo.

### **1.3 CONDICIONES DE SEGURIDAD HUMANA.**

Un aspecto que no se ha considerado pero de mucha importancia es lo relativo a condiciones de Seguridad e Higiene en que deben mantenerse en un entorno de un laboratorio, a fin de eliminar o controlar los factores de riesgos en los puestos de trabajo, sean estos de naturaleza mecánica o estructural, física, química, ergonómica, biológica o psicosocial. Todo con el propósito de proteger la vida, salud, integridad física, mental y moral del personal que realice las pruebas.

Por otro lado, también debemos prevenir condiciones de incendios, para lo cual deberán especificarse la ubicación de un sistema anti-incendio el cual nos permita prevenir daños en las personas y el equipo. Además, deberá garantizarse la manera de sujetar el motor para poder evitar cualquier desprendimiento que pueda sufrir el equipo durante la operación o como una consecuencia de la vibración.

En esta sección se describirán tales condiciones que establecen las normas para solventar dichas necesidades.

### 1.3.1 RUIDO ACÚSTICO

Existe preocupación acerca de la exposición a altos niveles de sonido que pueden ser perjudiciales para las personas. Aunque no hay efectos nocivos de carácter duradero se producen ruidos que distraen a los niveles de sonido de la experiencia común, estos ruidos pueden ser psicológicamente dañinos sin que la persona esté consciente del efecto. Estas consideraciones deben ser tenidas en cuenta en el diseño de los laboratorios.

El tamaño de la habitación, el grado de absorción del sonido, el ruido producido por el sistema de acondicionamiento de aire, así como por el equipo de laboratorio, y el número de personas en la zona, serán factores determinantes para los niveles de ruido en condiciones de trabajo. El nivel de sonido puede ser alto, en ocasiones, debido a la actividad normal de trabajo y el ruido de equipos de laboratorio y la oficina.

Se recomienda el uso de materiales de absorción de sonido en las superficies interiores para obtener entorno más agradable mediante la reducción de los efectos del ruido.

Según la norma **OSHA**, define El ruido, como un sonido indeseable que puede afectar el desempeño laboral, la seguridad y su salud. Los efectos psicológicos del ruido incluyen molestia e interrupción de la concentración. Los efectos físicos incluyen pérdida del oído, dolor, náuseas e interferencia con la comunicación si la exposición es severa. Los niveles de ruido se miden en decibeles (dB), siendo que una conversación se mide entre 60 y 65 dB. Los decibeles se miden en una escala similar a la de los terremotos. Así que, a medida que los decibeles aumentan ligeramente, el ruido aumenta de forma dramática. Setenta y tres decibeles es el doble de ruidoso que setenta.

La OSHA dictan por cuánto tiempo se puede exponer a un nivel particular de ruido sin que se necesite protección auditiva estos tiempos se muestra en la tabla 1.12.

Duración por día, hora	Nivel del sonido dBA respuesta despacio
8	90

6	92
4	95
3	97
2	100
1 ½	102
1	105
½	110
¼ o menos	115

Tabla 1. 12 niveles en decibelios permitidos según el espacio.

La protección auditiva es vital cuando la exposición al ruido no puede controlarse en su fuente o no se puede lograr suficiente distancia entre usted y la fuente. Tanto los tapones para oídos como los tapa orejas ofrecen una barrera física que reduce los niveles de ruido en el oído interno y evitan la pérdida del oído. Sin embargo, las personas con frecuencia se niegan a usarlos o los usan de manera incorrecta.

Las personas se niegan a usar protección auditiva más que cualquier otro tipo de equipo de protección personal. Uno de los motivos es que no creen necesitarlos, pero la pérdida del oído sucede tan gradualmente (incluso bajo exposiciones intensas) que para cuando es distinguible, ya ocurrió un daño irreversible.

Los protectores auditivos diseñados, ajustados y limpiados de forma apropiada no son más incómodos para la mayoría de los trabajadores que usar un par de gafas de seguridad. Los tapones para oídos están hechos de un material suave como el neopreno para evitar lesiones en el conducto auditivo. La irritación de la piel, tímpanos lesionados u otras reacciones adversas por usar tapones para oídos suceden con muy poca frecuencia si se les mantiene razonablemente limpio.

En la tabla 1.13 se muestra la reducción de los niveles de ruido al utilizar diferentes tipos de protección.

Sin protección[dB]	Tapones moldeables[dB]	Tapones de espuma [dB]	Orejas [dB]	Orejas + tapones[dB]
81	73	68	62	56
88	80	75	69	63
92	84	79	73	67
94	86	81	75	69
100	92	87	81	75
102	94	89	83	77
104	96	91	85	79
112	104	99	93	87
113	105	100	94	88

Tabla 1. 13 niveles de protección según el nivel de ruido en dB.

### 1.3.1.1 TIPOS DE PROTECCIÓN DEL OÍDO.

Los dispositivos de protección auditiva (DPA) son tapones y orejas. Los primeros se fabrican de espuma o de algún polímero. Los de espuma tienen forma de pequeños cilindros que ruedan y se

comprimen luego insertarse en el canal auditivo. Los de polímero son de "goma" y tienen rebordes o aletas. Las orejeras se han diseñado como copas con cojines que amortiguan el ruido y rodean la oreja aislando el ruido. Algunas están hechas para usarse con cascos.

**NRR significa** nivel de reducción de ruido y es la mayor cantidad de ruido que un dispositivo puede reducir para proteger los oídos. Entre mayor sea el nivel de decibeles que el NRR reduzca significa que habrás mayor protección contra el ruido.

### 1.3.1.2 COMPONENTES DE RUIDO DE UN MOTOR ELÉCTRICO.

Los principales componentes del ruido en un motor son el ventilador y el circuito electromagnético. A altas velocidades y a altas potencias, el ruido del ventilador es predominante; a bajas velocidades predomina el del circuito electromagnético. En los motores de anillos, las escobillas y los anillos suponen un ruido añadido.

#### **Ventilador de motores**

El ruido del ventilador se puede reducir mediante un diseño optimizado del ventilador. Similarmente, un incremento del rendimiento general del motor permite reducir el diámetro del ventilador. Sin embargo, el ventilador debe ser suficientemente grande como para generar el flujo de aire necesario para asegurar una refrigeración adecuada del motor. El nivel de ruido de los motores grandes se puede reducir mediante la incorporación de un silenciador. En los motores grandes de 2 polos, es posible utilizar un ventilador unidireccional que gire solamente en una única dirección, con lo que se generaría menos ruido.

#### **Ruido propagado por aire**

Dependiendo de la aplicación, el ruido propagado por el aire puede reducirse mediante un silenciador, un ventilador unidireccional o mediante la instalación de un motor refrigerado por agua. Por ejemplo, elegir un motor refrigerado por aire y agua proporciona un nivel de ruido mucho más bajo a altas potencias y es mucho más barato que uno de refrigeración aire-aire totalmente cerrado. Un motor totalmente cerrado con una refrigeración por aire con entrada y salida separadas presenta por lo general el mismo nivel de ruido que un motor con refrigeración de agua e incluso cuesta menos. Dado que a menudo los motores grandes se instalan en salas separadas, el nivel de ruido tiene una importancia secundaria.

#### **Ruidos propagados por la estructura**

Un método efectivo para eliminar el ruido propagado por la estructura es montando cuidadosamente unos amortiguadores de vibración dimensionados. Sin embargo, elegir arbitrariamente los amortiguadores de vibración puede empeorar el problema del ruido.

#### **Ruido por Vibraciones**

Según la **ISA RP52.1 –1975** nos habla sobre las vibraciones. En este apartado retomamos los requisitos de vibración aplicables a los laboratorios, Requerimientos: 0.25 micrómetros, (250 nm),

(10 micro-pulgadas) máxima amplitud de desplazamiento de 0.1 Hz a 30 Hz, 0.001 g máximo de 30 Hz a 200 Hz.

### 1.3.2 VIBRACIONES

La razón principal para analizar y diagnosticar el estado de una máquina es determinar las medidas necesarias para corregir la condición de vibración – reducir el nivel de las fuerzas vibratorias no deseadas y no necesarias. De manera que, al estudiar los datos, el interés principal deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes de la vibración, la determinación de las causas, y la corrección del problema que ellas representan.

El mal aislamiento de maquinaria que pueda dañar la infraestructura de la misma y zona aledaña, ruido causada por maquinaria. Son algunos ejemplos, Un fenómeno de la cual las máquinas temen es la llamada resonancia, cuyas consecuencias pueden ser serias.

El análisis de vibración juega un papel importante en el mantenimiento predictivo, este consiste en tomar medida de vibración en diferentes partes de la máquina y analizar su comportamiento.

A continuación se muestra los diferentes causas de vibración y sus consecuencias, lo cual nos ayudara enormemente para interpretar los datos que podamos obtener, determinado así el tipo de vibración que se presenta y buscar así la debida corrección de las mismas.

#### 1.3.2.1 VIBRACIÓN DEBIDA A DESBALANCE

El desbalance de la maquinaria es una de las causas más comunes de la vibración. En muchos casos, los datos arrojados por un estado de desbalance indican:

- 1. La frecuencia de vibración se manifiesta a 1x las rpm de la pieza desbalanceada.
- 2. La amplitud es proporcional a la cantidad de desbalance.
- 3. La amplitud de la vibración es normalmente mayor en el sentido de medición radial, horizontal o vertical (en las máquinas con ejes horizontales).
- 4. El análisis de fase indica lecturas de fase estables.
- 5. La fase se desplazará 90° si se desplaza el captador 90°.

#### 1.3.2.2 VIBRACIÓN DEBIDA A FALTA DE ALINEAMIENTO

En la mayoría de los casos los datos derivados de una condición de falta de alineamiento indican lo siguiente:

- 1. La frecuencia de vibración es de 1x rpm; también 2x y 3x rpm en los casos de una grave falta de alineamiento.
- 2. La amplitud de la vibración es proporcional a la falta de alineamiento.
- 3. La amplitud de la vibración puede ser alta también en sentido axial, además de radial.
- 4. El análisis de fase muestra lecturas de fase inestables.

La falta de alineamiento, aun con acoplamientos flexibles, produce fuerzas tanto radiales como axiales que, a su vez, producen vibraciones radiales y axiales.

**Nota:** Uno de los indicios más importantes de problemas debidos a falta de alineamiento y a ejes torcidos es la presencia de una elevada vibración en ambos sentidos, radial y axial. En general, cada

vez que la amplitud de la vibración axial sea mayor que la mitad de la lectura radial más alta, hay un buen motivo de sospechar la existencia de un problema de alineamiento o eje torcido.

Los tres tipos básicos de falta de alineamiento en el acoplamiento son: **angular**, en paralelo y una combinación de ambos.

Una falta de **alineamiento angular** sujeta principalmente los ejes de las máquinas accionadora y accionada a vibración axial igual a la velocidad de rotación (rpm) del eje.

La falta de **alineamiento en paralelo** produce principalmente vibración radial con una frecuencia igual al doble de la velocidad de rotación del eje.

### 1.3.2.3 FALLA DE RODAMIENTOS – OTRAS CAUSAS

Los rodamientos no fallan prematuramente a menos que alguna otra fuerza actúe sobre ellos; y tales fuerzas son generalmente las mismas que ocasionan vibración.

#### **Causas comunes de fallas en los rodamientos de elementos rodantes:**

- Carga excesiva
- Falta de alineamiento
- Defectos de asientos del eje y/o de las perforaciones en el alojamiento
- Montaje defectuoso
- Ajuste incorrecto
- Lubricación inadecuada o incorrecta
- Sellado deficiente
- Corriente eléctrica

### 1.3.2.4 VIBRACIÓN DEBIDA A AFLOJAMIENTO MECÁNICO

El aflojamiento mecánico y la acción de golpeo (machacado) resultante producen vibración a una frecuencia que a menudo es 2x, y también múltiplos más elevados, del rpm. La vibración puede ser resultado de pernos de montaje sueltos, de holgura excesiva en los rodamientos, o de fisuras en la estructura o en el pedestal de soporte.

La vibración característica de un aflojamiento mecánico *es generada por alguna otra fuerza de excitación*, como un desbalance o una falta de alineamiento. Sin embargo, el aflojamiento mecánico empeora la situación, transformando cantidades relativamente pequeñas de desbalance o falta de alineamiento en amplitudes de vibración excesivamente altas. Corresponde por lo tanto decir que el aflojamiento mecánico permite que se den mayores vibraciones de las que ocurrirían de por sí, derivadas de otros problemas.

**Nota:** Un aflojamiento mecánico excesivo es muy probable que sea la causa primaria de los problemas cuando la amplitud de la vibración 2x el rpm es más de la mitad de la amplitud a la velocidad de rotación, 1x las rpm.

### 1.3.3 SEÑALIZACIÓN E INSTALACIÓN DE MOTORES SEGÚN LEY GENERAL DE PREVENCIÓN DE RIESGO.

#### 1.3.3.1 INSTALACIÓN DE MOTORES

Ley General de Prevención de Riesgos Art. 38. Los motores eléctricos estarán provistos de cubiertas permanentes u otros resguardos apropiados, dispuestos de tal manera que prevengan el contacto de las personas u objetos, a menos que:

1. Estén instalados en locales destinados exclusivamente para el montaje de motores, y aislados de otros puestos de trabajo.
2. Estén instalados en alturas no inferior a tres metros sobre el piso o plataforma de trabajo, o sea de tipo cerrado.

#### **Prohibición sobre motores**

Ley General de Prevención de Riesgos Art. 39. Nunca se instalarán motores eléctricos que no tengan el debido blindaje antideflagrante o que sea de tipo antiexplosivo, probado en contacto en locales cuyos ambientes contengan gases, partículas o polvos inflamables o explosivos.

#### **Datos de los motores**

Ley General de Prevención de Riesgos Art. 40. Los motores deberán llevar una placa de características, con los datos proporcionados por fabricante que entre otros son:

1. Nombre del fabricante y año de fabricación
2. Tensión nominal en Volts e intensidad nominal en Amperes.
3. Frecuencia nominal y número de fases para motores de corriente alterna
4. Velocidad nominal a plena carga
5. Clase de aislamiento
6. Sobre temperatura
7. Potencia nominal del motor, expresada en kW o HP
8. Servicio nominal y factor de servicio
9. Se deberá indicar la letra de código si es un motor para corriente alterna de una potencia nominal de 1/2 HP o más.

#### 1.3.3.2 LAS PUERTAS DE EMERGENCIA.

Ley General de Prevención de Riesgos Art.13.- Las puertas y salidas de emergencias deberán cumplir los siguientes requisitos mínimos:

1. Las salidas y puertas de emergencias de los lugares de trabajo, tendrán acceso visible o debidamente señalizado.
2. En los accesos a las puertas y salidas de emergencia no se permitirán obstáculos que interfieran la salida normal de los trabajadores.
3. El ancho mínimo de las puertas de emergencia será de uno con veinte (1.20) metros.
4. Las puertas de las salidas de emergencia, se abrirán hacia el exterior.
5. Ninguna puerta de emergencia permanecerá con llave de manera que pudiese impedir la evacuación.

6. Las puertas de emergencias que comuniquen a las gradas no se abrirán directamente sobre sus escalones, sino sobre descansos de ancho al menos igual a la de aquéllas.

7. En caso de fallo en el suministro de energía, las vías y salidas de evacuación deberán estar equipadas con iluminación de emergencia.

### 1.3.3.3 EQUIPOS DE SEGURIDAD Y ALGUNAS SEÑALIZACIONES

#### Significado de los colores

Ley General de Prevención de Riesgos Art.104.- Los colores de seguridad, su significado y otras indicaciones sobre sus usos, son los Siguietes presentados en la tabla 1.14:

#### Extintores

El laboratorio debe estar dotado de extintores portátiles, debiendo el personal del laboratorio conocer su funcionamiento a base de entrenamiento. Los extintores deben estar señalizados y colocados a una distancia de los puestos de trabajo que los hagan rápidamente accesibles. Deben ser del tipo de fuego ABCD.

A continuación mostramos la siguiente señalización, que se necesita para mantener debidamente el laboratorio, en la figura 1.5 se muestran las señales para los extintores, en la figura 1.6 las señales de prohibición, en la figura 1.7 se observan las señales de advertencia. Posteriormente presentamos en la figura 1.8 las de obligación y finalmente en la figura 1.9 es la de terremotos.

Color	Significado	Indicaciones y Precisiones
<b>Rojo</b>	Prohibición	Comportamiento peligroso
	Peligro-Alarma	Alto, paradas, dispositivos de desconexión y emergencia
	Material y equipos de extinción de incendios	Identificación y localización
<b>Amarillo o Anaranjado</b>	Advertencia	Atención, precaución. Verificación
<b>Azul</b>	Obligación	Comportamiento o acción específica
		Obligación de equipo de protección personal
<b>Verde</b>	Salvamento o auxilio	Puertas, salidas, pasajes, materiales, puestos de salvamento o emergencia
	Locales	
	Situación de seguridad	Vuelta a la normalidad.

Tabla 1. 14 Colores de la señalización establecida por el reglamento de prevención de riesgos del Ministerio de trabajo de El Salvador



Figura 1. 5 Señales de extintores



Figura 1. 6 Señales de prohibición

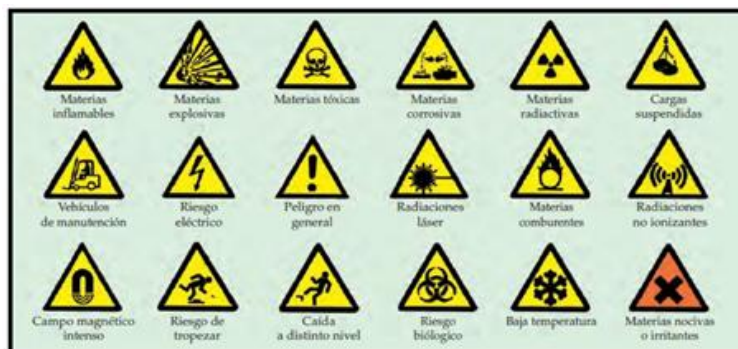


Figura 1. 7 Señales de advertencia.



Figura 1. 8 Señales de obligación



Figura 1. 9 Señales de emergencia

**CAPITULO II: ANALISIS Y COMPARACION DE CONDICIONES AMBIENTALES,  
ELECTRICAS Y OCUPACIONALES ACTUALES DEL LUGAR DONDE SE  
IMPLEMENTARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELECTRICAS CON LOS  
REQUERIMIENTOS EN BASE A NORMA.**

## 2.0 INTRODUCCIÓN

Para poder comenzar la propuesta de diseño del laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas, se efectuó un análisis de las condiciones actuales referenciadas a los parámetros que se presentaron en el capítulo uno, que son humedad, temperatura, calidad de energía, iluminación, resistencia de tierra etc. En base a lo dicho anteriormente se presenta una recopilación de los datos obtenidos en diversas etapas de medición.

A la brevedad posible comenzamos con una descripción del edificio de potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador, que es donde se ubicaría el laboratorio en cuestión. Como podremos ver en la figura 2.1 y figura 2.2 se presentan las dimensiones en planta externas e internas que posee el lugar, con el objeto de darnos una ubicación geográfica de la iluminación que ya posee actualmente el lugar.



Figura 2. 1 Dimensiones Externas

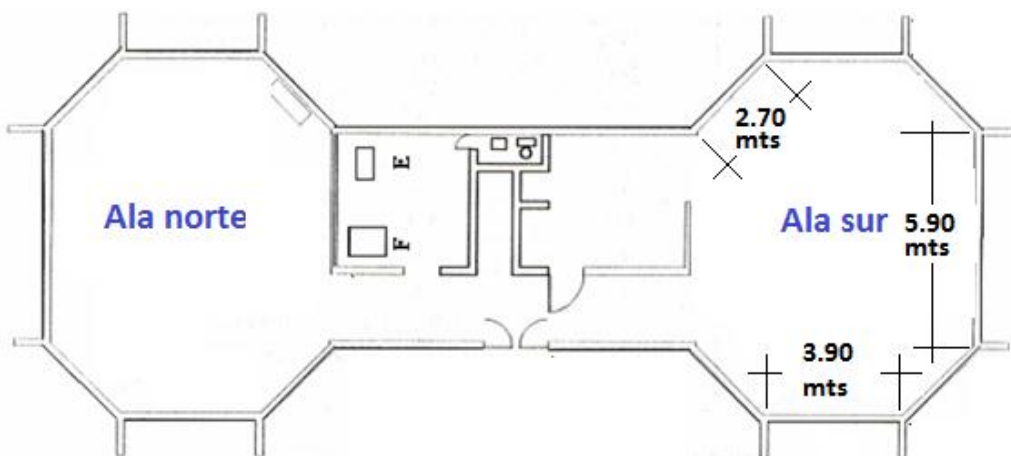


Figura 2. 2 Dimensiones Internas

Continuando la descripción del lugar, se presentan otros datos de dimensiones que resultan de particular interés, entre ellos las alturas a nivel del suelo de las luminarias, etc.

Datos medidos	Unidades	
Altura del edificio	5.10 mts	
Altura de mesas de trabajo con las que cuenta el edificio en el ala sur	0.80 mts	
Altura de los ventiladores con respecto al suelo	4.35 mts	
Dimensiones de la puerta de cortina metálica	Ancho: 3.2 mts	Altura: 3.65 mts
Numero de luminarias existentes	9 luminarias.	
Numero de ventanas que posee el ala sur	18 ventanas.	
Dimensiones de las ventanas	Ancho: 0.70mts ,	Altura: 1.2 mts
Numero de tomas:	3 tomas corrinetes dobles instalados a una altura de 0.30m de piso terminado.	
Area total del ala sur:	72 mts <sup>2</sup> .	

En la figura 2.3, se tiene la vista en planta del ala sur del edificio de potencia de la EIE en el cual se muestra la ubicación actual de las 9 luminarias, de los 3 tomas, de las 18 ventanas y del porton de cortina. En la tabla 2.1 se muestra el significado de cada simbología utilizado en la figura 2.3.

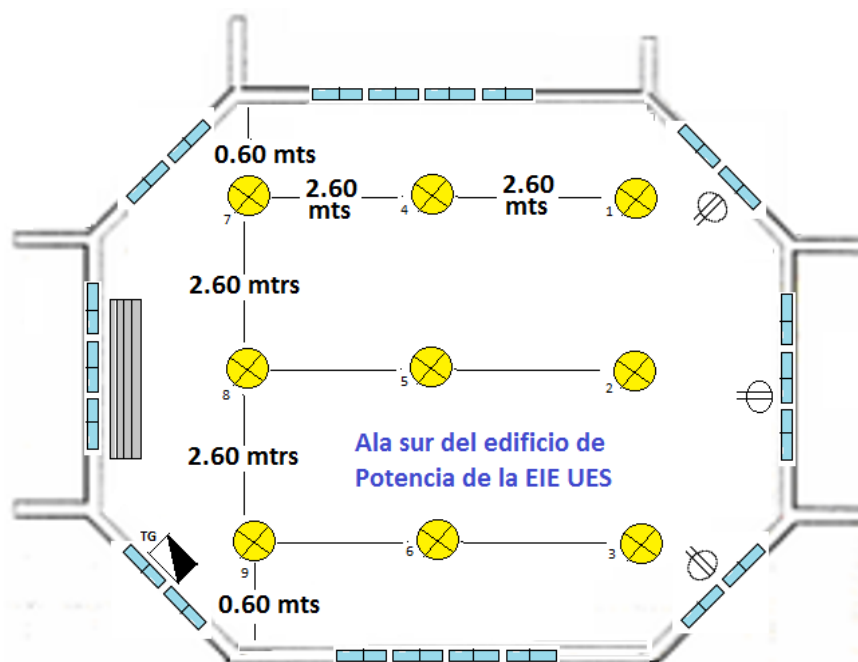


Figura 2. 3 Vista en planta del ala sur del edificio de potencia de la EIE






	Luminarias incandescente
	Toma corriente
	Ventana
	Caja electrica principal
	Puerta de tipo cortina

Tabla 2. 1 Simbología utilizada en el esquema en planta del ala sur de edificio de potencia.

## MEDICION DE ILUMINACION ACTUAL DEL ALA SUR DEL EDIFICIO DE POTENCIA DE LA EIE.

Para medir la intensidad luminosa actual del ala sur del edificio de potencia, se llevó a cabo el siguiente procedimiento: se realizó el muestreo en un día a diferentes horas y además se realizó mediciones de las dimensiones del área de trabajo; las cuales se mencionaron con anterioridad. Para la medición de intensidad de iluminación se utilizó un luxómetro, los horarios de toma de medición que se llevaron a cabo son 9:12 am, 1:40 pm, y 4:55 pm. En cada horario de medición se realizaron tres tomas diferentes de intensidad de iluminación la primera con las luces apagadas y el portón de cortina abierto, la segunda luces encendidas y portón abierto y la tercera medición luces encendidas y portón cerrado. Los puntos de medición de la intensidad luminosa coinciden con los puntos de ubicación de los focos incandescente del diseño de iluminación actual mostrado en la figura2-3. A continuación se muestran los resultados de las tres mediciones realizadas durante el día.

### MEDICIÓN 1.

Para la primera medición se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los puntos de iluminación coinciden donde se encuentra instalados los focos incandescentes actualmente.
- Día nublado
- Hora del día 9:12 am.
- Todas las mediciones en lux
- Medición-1: luces apagadas/ portón abierto.
- Medicion-2: luces encendidas /portón abierto.
- Medicion-3: luces encendidas/portón cerrado.
- El foco ubicado en el punto 3 no enciende.

En la tabla 2.2 se muestran los resultados obtenidos en la medicion 1.

MEDICIÓN	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9
Medición-1	565	654	606	586	655	606	603	906	555
Medición-2	731	820	601	726	890	679	621	1050	550
Medición-3	683	795	567	663	847	595	525	601	479
PROMEDIO	659.67	756.33	591.33	658.33	797.33	626.67	583	852.33	528
<b>PROMEDIO DE TODOS LOS PUNTOS DE MEDICIÓN</b>						672.56			

Tabla 2. 2 Datos obtenidos de la medición 1.

### MEDICIÓN 2.

Para la segunda medición se debe tener en cuenta las misma consideraciones de la medición 1 lo único que difiere es la hora de medición que para esta es 1:40 pm.

En la tabla 2.3 se muestran los resultados obtenidos en la medición 2.

MEDICIÓN	PUNTO1	PUNTO2	PUNTO3	PUNTO4	PUNTO5	PUNTO6	PUNTO7	PUNTO8	PUNTO9
Medición-1	960	1110	881	960	1250	839	850	1620	650
Medición-2	910	1102	784	930	1195	814	960	1597	685
Medición-3	660	820	583	690	965	612	515	683	503
PROMEDIO	843.33	1010.67	749.33	860.00	1136.67	755.00	775	1300.00	612.667
<b>PROMEDIO DE TODOS LOS PUNTOS DE MEDICIÓN</b>						893.63			

Tabla 2. 3 Datos obtenidos de la medición 2.

### MEDICIÓN 3.

Para la tercera medición se debe tener en cuenta las misma consideraciones de la medición 1 lo único que difiere es la hora de medición que para esta es 4:55 pm.

En la tabla 2.4 se muestran los resultados obtenidos en la medición 3.

MEDICIÓN	PUNTO1	PUNTO2	PUNTO3	PUNTO4	PUNTO5	PUNTO6	PUNTO7	PUNTO8	PUNTO9
Medición-1	670	706	625	666	690	575	579	670	500
Medición-2	540	606	534	611	635	640	680	695	493
Medición-3	450	473	422	440	510	430	413	465	408
PROMEDIO	553.33	595.00	527.00	572.33	611.67	548.33	557.33	610.00	467
<b>PROMEDIO DE TODOS LOS PUNTOS DE MEDICIÓN</b>						560.22			

Tabla 2. 4 Datos obtenidos de la medición 3.

Con los resultados antes obtenidos podemos concluir que el diseño del sistema de iluminación actual cumple con los requerimientos mínimos recomendados para la realización de pruebas con un valor de 538 lux según la tabla 1.4 de el capítulo uno, en el apartado de iluminación.

## 2.2 MEDICIÓN DE TEMPERATURA DEL ALA SUR DEL EDIFICIO DE POTENCIA DE LA EIE.

Se realizaron un total doce 12 mediciones de temperatura a diferentes horarios, con el objeto de poder obtener los cambios de temperatura lo largo del día. De esto dependerá cuanto se tendrá que regular la temperatura para mantener el ambiente adecuado para realizar las pruebas en el laboratorio. Las mediciones son tabuladas en la tabla 2.5, en la cual podemos observar que tenemos un promedio de temperatura de 29.07°C.

Medición	Temperatura °C
1	27.8
2	27.5
3	27.5
4	27.7
5	30.5
6	30.1
7	30.1
8	30.6
9	29.4
10	29.1
11	29.3
12	29.2
<b>PROMEDIO</b>	<b>29.07</b>

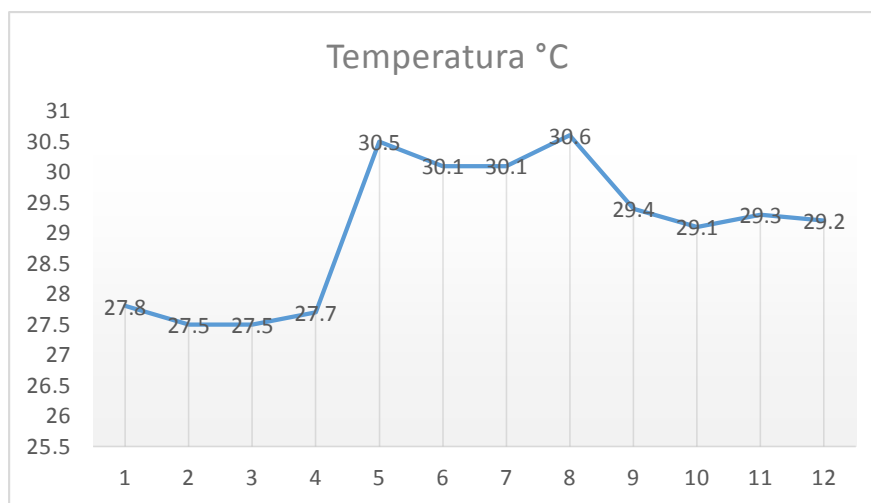


Figura 2. 4 Gráfico de temperatura

Tabla 2. 5 Datos obtenidos de la medición 3.

La grafica de temperatura (figura 2-4) ilustra de manera clave las variaciones en el día, por ejemplo en la mañana vemos que la temperatura se maneja por debajo de los 30°C serán las primeras cuatro mediciones de la grafica. De la numero 5 a la numero 8 son las temperaturas a lo largo de las horas donde el sol esta mas fuerte. Y en las ultimas cuatro mediciones podemos notar que la temperatura desciende esto es la hora donde el sol esta en el horizonte. De manera concluyente, el incremento de temperatura es mas notorio. Bajo la referencia de la norma ISA RP52.1 tendríamos que utilizar un equipo de enfriamiento para poder llegar a los requerimientos de 22 °C. Aunque también deberá considerarse las correcciones respectivas cuando se tenga una temperatura más baja que la normal en la época de vientos o de invierno en el año del año.

Del capítulo uno, en el apartado de temperatura se tiene una restricción importante que considerar. Esta consiste en el ambiente de trabajo para el que se diseñan los motores es de 40 grados Centígrados y es en base a este valor que se calculan los parámetros como la resistencia del aislamiento y los aumentos de temperatura que resiste el aislamiento. Ya que las correcciones varían según aumente o disminuya la temperatura así se elegirá la corrección adecuada para cada situación. En este caso como se tiene una temperatura menor a la de trabajo se corregirán los resultados usando la excepción dos y la fórmula propuesta.

### 2.3 MEDICION DE HUMEDAD RELATIVA DEL ALA SUR DEL EDIFICIO DE POTENCIA DE LA EIE.

Se realizaron un total de 12 mediciones de humedad relativa durante un día nublado. Las mediciones son tabuladas en la tabla 2.6, en la cual podemos observar que en un día nublado el porcentaje de humedad relativa es de 62.78% que esta por encima de los límites establecidos por la norma ISA RP52.1 que establece los límites de (20-55)%HR.

Medición	%H
1	62.2
2	62.9
3	61.9
4	62
5	57.2
6	60.8
7	61.7
8	60.7
9	65.8
10	66.7
11	65.6
12	65.9
<b>PROMEDIO</b>	<b>62.78</b>

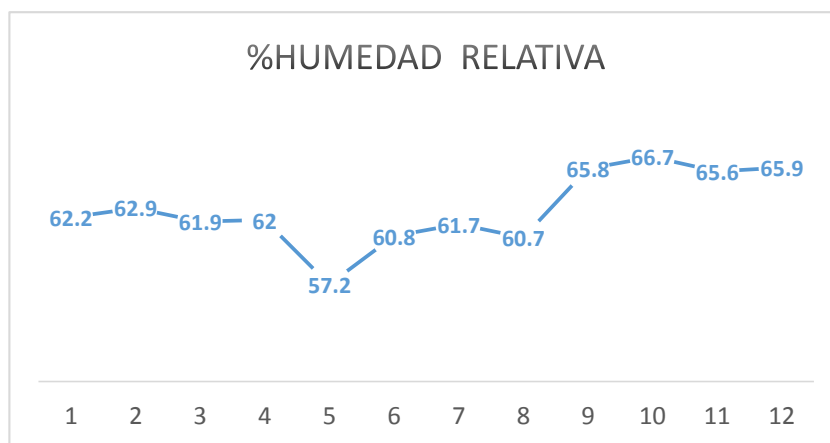


Figura 2. 5 Gráfica de humedad relativa.

Tabla 2. 6 Datos obtenidos de la medición de humedad relativa

La gráfica (figura 2.5) nos muestra la variación de humedad relativa según mediciones realizadas. Como se sabe la temperatura y la humedad van ligadas estrechamente aunque puede ser variable según la época del año, en este caso las mediciones fueron tomadas en época seca por lo tanto los niveles de humedad no fueron tan altos como se esperaría en época de invierno.

Se debe tener en cuenta que los límites establecidos por norma ISA RP52.1 de 55% como máximo. Debera considerarse un equipo que ayude a conservar dichos límites de humedad ya que el resultado de las mediciones nos establecen valores superiores a los límites establecidos por la norma ISA RP52.1.

## 2.4 MEDICIÓN DE RUIDO DEL EDIFICIO DE POTENCIA DE LA EIE.

Se realizaron un total de 5 mediciones de ruido a diferentes horarios del día para poder obtener un promedio del nivel de ruido en el edificio de potencia. Los datos de estas mediciones están tabulados en la tabla 2.7 el cual muestra que el promedio del nivel de ruido durante el día es 63.6 dB. Lo cual está entre los límites permisibles según la norma OSHA.

Medición	Ruido (dB)
1	55
2	65
3	60
4	65
5	73
<b>Promedio</b>	<b>63.6</b>

Tabla 2. 7 Datos obtenidos de la medición de intensidad de ruido

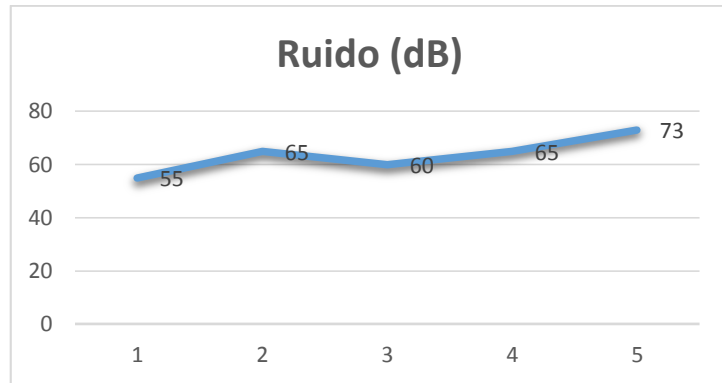


Figura 2. 6 Gráfico de intensidad de ruido

Se deben tener en cuenta que los valores de las mediciones presentadas anteriormente fueron tomadas sin tener en cuenta los ruidos que pueden producirse bajo las pruebas de las máquinas eléctricas que podrían alterar los valores de las mediciones, por tanto estas mediciones representan el ruido externo que afectan en las cercanías del edificio. Para las exposiciones de ruido deberemos mantener las condiciones que establece el reglamento del ministerio de trabajo, que deberán ser menores a 90 dB por hora.

## 2.5 MEDICIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA

En el primer capítulo se expone la necesidad de tener medidas de tensión estables, cuya variación deba respetarse para no tener riesgos de daño del equipo de operación de pruebas. Por lo tanto se hizo uso del analizador de redes Dranetz para obtener datos básicos como las variaciones de tensión, los armónicos de corrientes, el factor de potencia, etc.

Presentando una primera recopilación de resultados tenemos la tabla 2.8 de las variaciones de tensión a lo largo de los siete días. Para cada una de las fases. Como podemos ver las variaciones son mínimas con respecto a la tensión nominal que es de 120V. Según las variaciones nominales establecidas en el capítulo uno del 6% podemos establecer que tenemos una buena calidad de tensión al tener una variación menor al 5%. Para mayores referencias consultar el apartado 1.2.4, en la tabla 1.10. Planteamos la siguiente ecuación para la regulación de tensión:

$$\text{Regulación} = \frac{\text{valor nominal} - \text{valor medido}}{\text{valor nominal}} * 100 \%$$

	Max (V)	Regulacion (%)
<b>AVRms desv</b>	119.1	0.75%
<b>BVRms desv</b>	116.1	3.25 %
<b>CVRms desv</b>	117.7	1.92%

**Tabla 2. 8 Promedio de los niveles de tensión y regulación obtenida**

A continuación presentamos las capturas de los resultados, los cuales están acompañados de la interpretación pertinente. Comenzaremos por presentar los resultados de el comportamiento de la tensión de el edificio a lo largo del 7 días de la medición. Esta presentado por cada fase y de manera total de las mismas en la figura (figura 2.7). Aca se observa que se mantiene estable hasta que se presente un hueco de tensión en ciertas interrupciones de las cuales desconocemos las causas de los momentos en los que se produjeron. También es pertinente observar que las tensiones no son iguales en cada fase. Eso se puede justificar debido a los armónicos que posee la red y los cuales tienen ese efecto. También es de tomar en cuenta que tenemos una conexión tipo estrella delta de la subestacion del edificio así que las relaciones pertinentes se mantienen vigentes. Se podría atribuir también este efecto a la influencia que tiene el generador de impulso con respecto a las demás cargas del edificio. Las tensiones van representadas en valor RMS por lo tanto cada una de las fases A B C y D(tierra) van con su respectivo grafico.

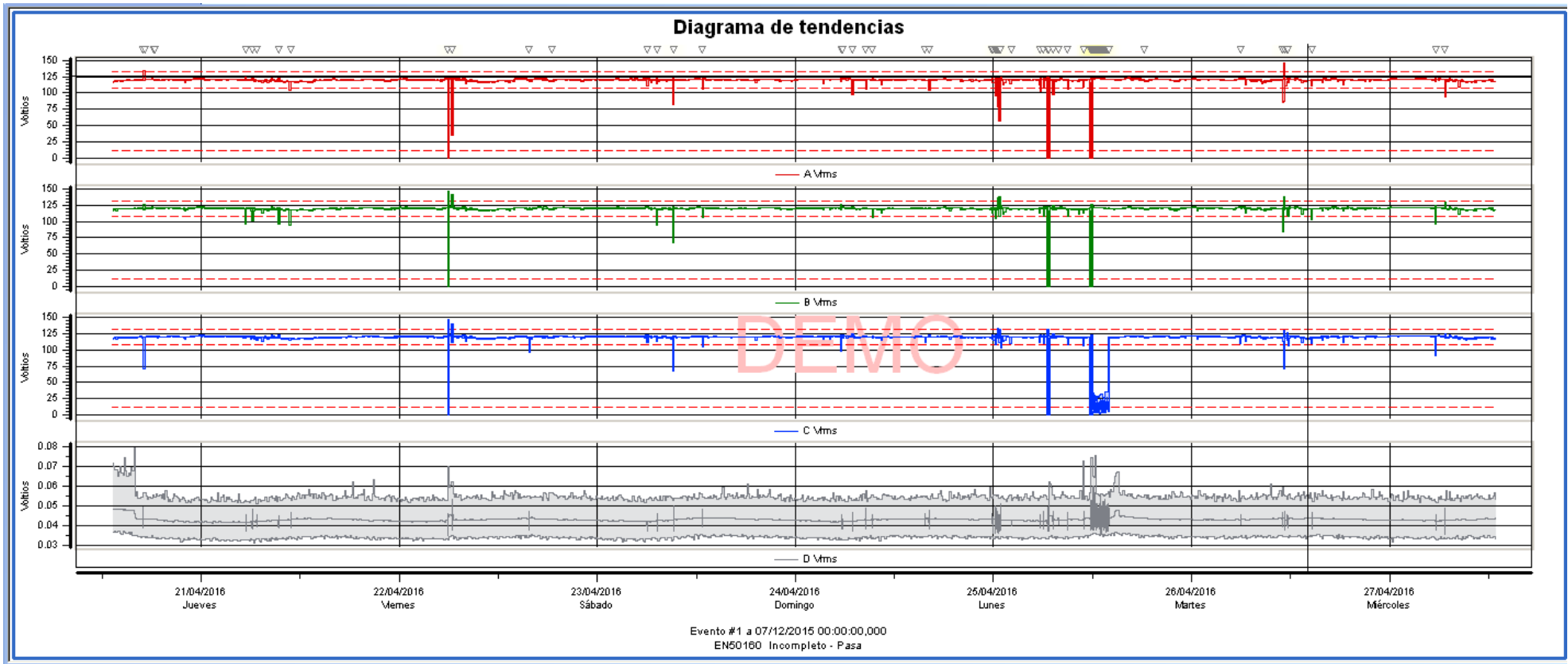


Figura 2. 7 grafico del nivel de voltaje a lo largo de la medición

Para hablar de algunas interrupciones mostraremos el comportamiento de los huecos de tension figura 2.8, la cual permite ver el tiempo de la interrupcion mas grave que se tuvo a lo largo de la medicion. Tambien se observa la deformacion que sufre la onda de voltaje y alguna informacion extra con respecto a esa interrupcion.

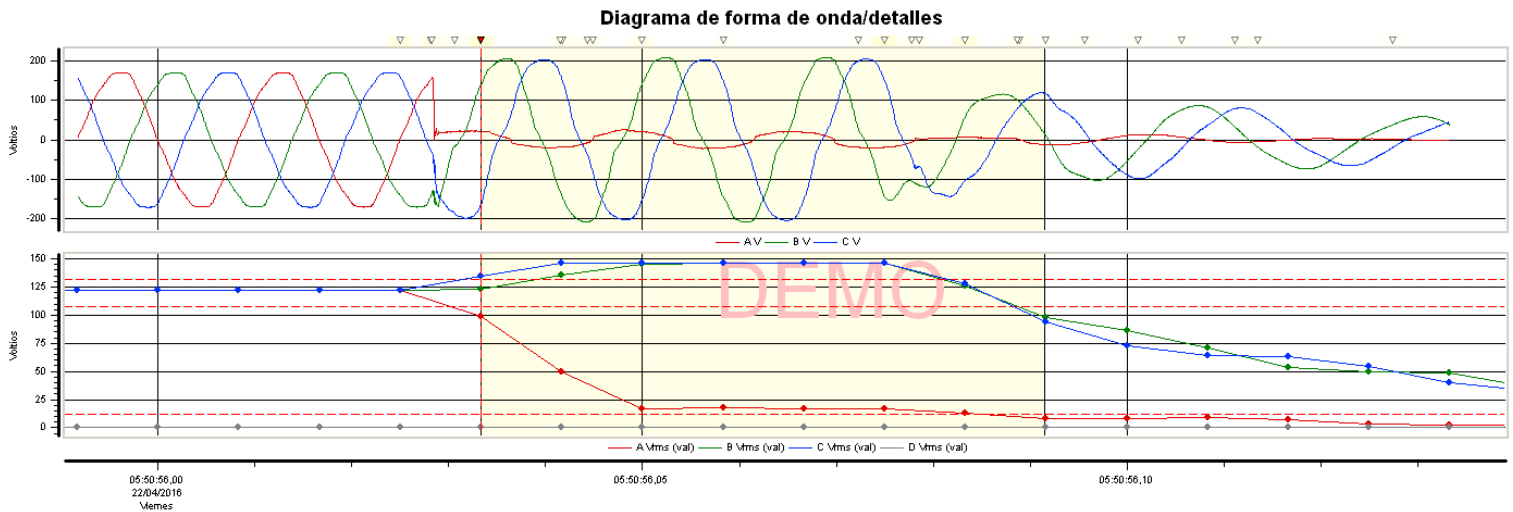


Figura 2. 8 Comportamiento de las interrupciones

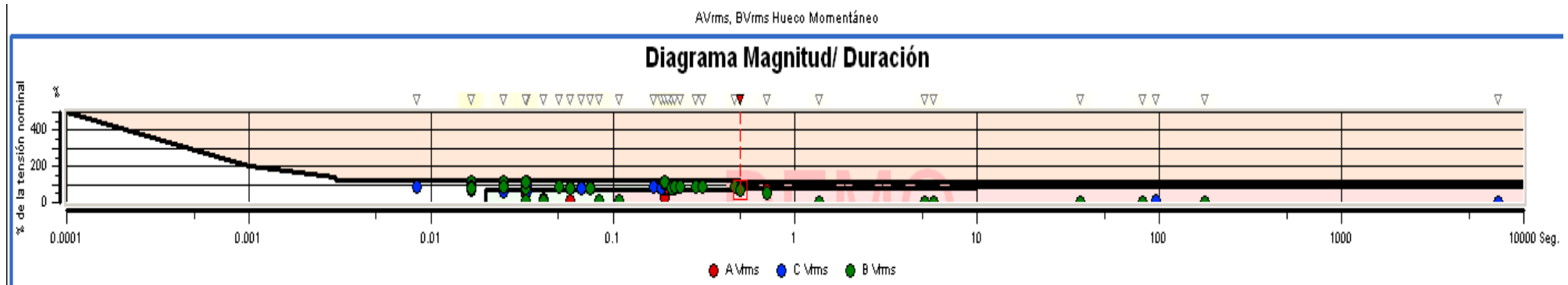
Datos de evento #91 fecha: 22/04/2016 hora:05:50:56

AVrms, BVRms, CVrms Hueco instantáneo

Categoría: Hueco de tensión Instantáneo.

	<b>Av</b>	<b>Bv</b>	<b>Cv</b>
<b>Limite cruzado</b>	108	108	108
<b>Magnitud (V)</b>	8.039	97.56	93.84
<b>RMS Max(V)</b>	98.46	146.2	146.6
<b>Duración(seg)</b>	0.05832	0.05832	0.05832

Como parte del analisis de la calidad de energia , se saco un diagrama con los huecos de tension a lo largo de la medicion. Este nos permite ver cuantas interrupciones de esta clase tenemos a lo largo de un lapso de tiempo y nos permite analizar a su vez si pueden causar algun daño en el equipo ver la figura 2.9. La cual nos presenta el total de 46 variaciones de tension, debajo de la curva de tolerancia lo que nos hace concluir que podemos conectar el equipo de manera segura para evitar algunos daños. La mayoría de estas interrupciones se desconocen sus causas pero se sabe que se usara equipo especializado para minimizar el daño que pueda existir.



Datos de la curva de tolerancia.  
 Tiempo en segundos:  
 CURVA DE TOLERANCIA : ITIC  
 Tensión Nominal (100%) = 120 V  
 Variaciones sobre la Curva de tolerancia 0  
 Variaciones Bajo la curva de tolerancia 46

Figura 2. 9 Conteo por fase de las interrupciones ocurridas de la medición.

## 2.6 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE TIERRA

### 2.6.1 MÉTODO DEL 62%

Este es el método más empleado para la medición de la resistencia de sistemas de tierra. Este método también es conocido por algunos autores como:

1. Método de caída de potencial.
2. Método de los tres puntos.

El medidor de uso común para la prueba de resistencia de tierra es el óhmetro de tierras que debe tener una calibración vigente.

El método consiste en hacer circular una corriente entre dos electrodos: uno llamado **E** que corresponde a la red de puesta a tierra y un segundo electrodo denominado de corriente (**C**) y medir la caída de potencial mediante otro electrodo denominado de potencial (**P**).

La resistencia de los electrodos se desprecia, porque la resistencia del electrodo **C** no tiene determinación de la caída de potencial  $V$ . La corriente  $I$  se comporta como constante. La resistencia del electrodo **P**, hace parte de un circuito de alta impedancia y su efecto se puede despreciar. La figura 2.10 muestra las distancias correctas que deben estar los electrodos.

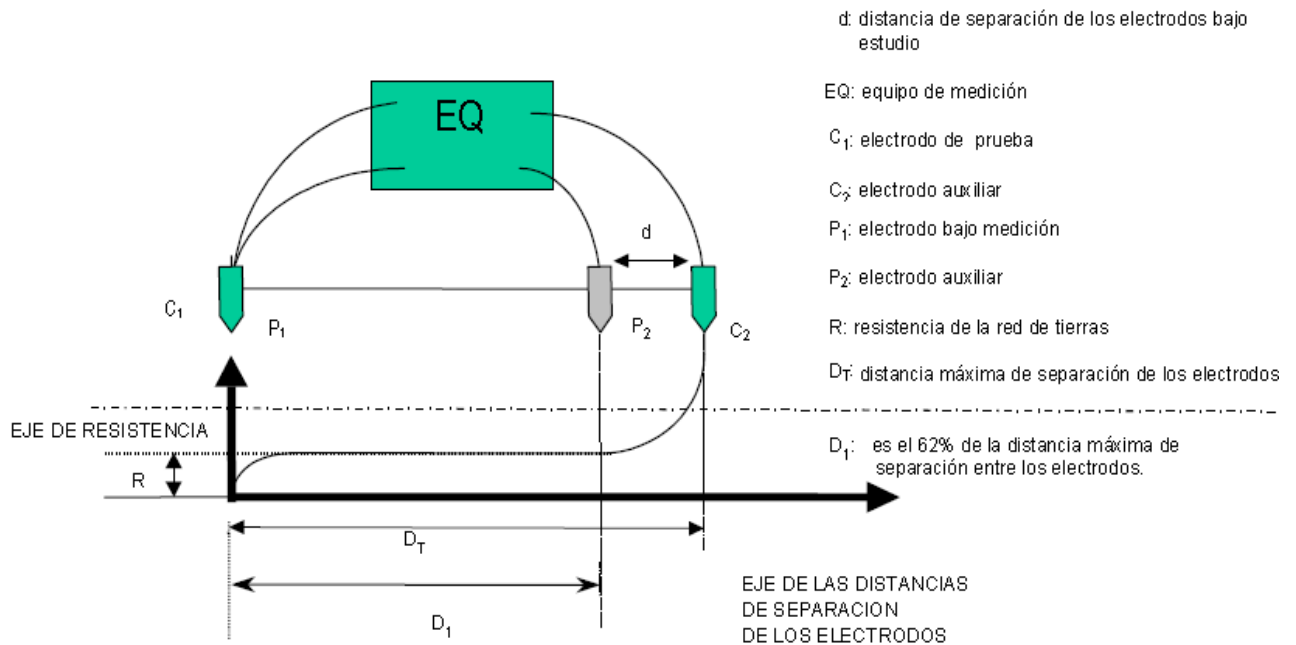


Figura 2. 10 Método del 62% para medir la resistencia de un sistema de puesta a tierra.

## 2.6.2 CÓMO REALIZAR EL METODO DEL 62%.

Los electrodos de potencial y corriente (**C** y **P**) deben clavarse a una profundidad de 20 a 60 cm aproximadamente, y deben estar firmemente clavados en el suelo y tener un buen contacto con tierra. Con el fin de obtener una medida correcta, los tres electrodos deben estar bien alineados y la distancia entre **E** y **P** debe ser un 62% de la distancia entre **E** y **C** (Distancia Total, **DT**). Esta distancia está basada en la posición teóricamente correcta para medir la resistencia exacta del electrodo para un suelo de resistividad homogéneo.

La localización del electrodo **P** (figura 2-11) es muy importante para medir la resistencia del sistema de puesta a tierra. La localización debe ser libre de cualquier influencia del sistema de puesta a tierra bajo medida y del electrodo auxiliar de corriente. La distancia aconsejable entre el electrodo de puesta a tierra **E** y el de corriente **C** es no menos a 20 metros. Para comprobar la exactitud de los resultados y asegurar que el electrodo bajo prueba está fuera del área de influencia del de corriente, se deberá cambiar de posición el electrodo de potencial **P**. La primera medición se hace con el electrodo **P** a la distancia 62% de **DT**. La medición se debe repetir a las distancias de  $62\% \text{ de } DT + 10\% \text{ del } 62\% \text{ de } DT$  y  $62\% \text{ de } DT - 10\% \text{ del } 62\% \text{ de } DT$ . Si los dos resultados obtenidos no difieren en más de un 10 % con respecto a  $0.62 \times DT$ , entonces el primer resultado será el correcto. En caso de una diferencia superior al 10 % se debe incrementar la distancia (**DT**) entre el electrodo de corriente **C** y el electrodo de puesta a tierra bajo prueba **E**, repitiendo el procedimiento anterior hasta que el valor de resistencia medido se mantenga casi invariable.

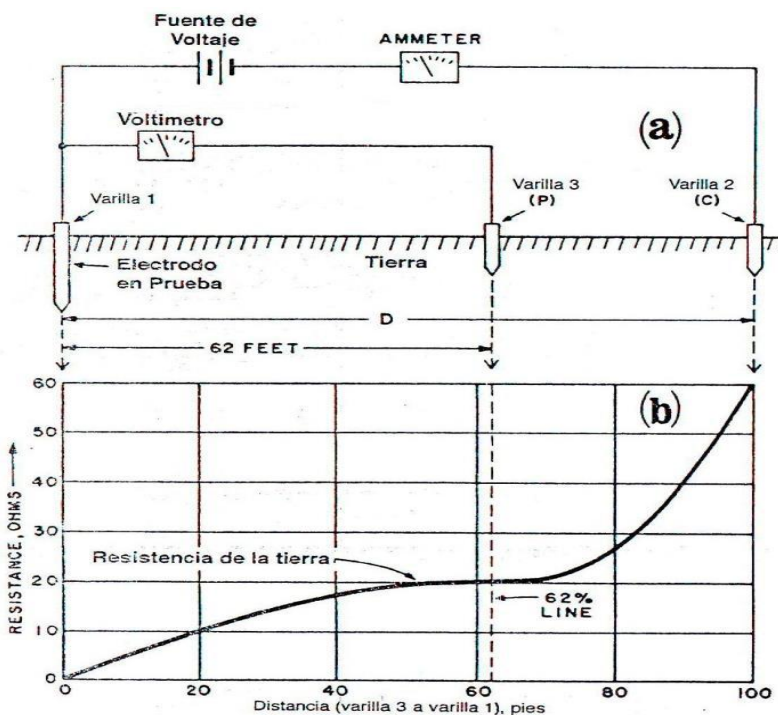


Figura 2. 11 Principio de una prueba de resistencia de tierra

Una excesiva resistencia de los electrodos auxiliares puede impedir que la corriente que debe pasar por el electrodo de corriente **C** pase por el mismo o que no se pueda medir el potencial a través del electrodo potencial **P**. Muchos equipos de medición cuentan con indicadores que parpadean si la medida no es válida.

Esto puede deberse a un mal contacto con el suelo o por elevada resistividad del mismo. En estos casos, se recomienda compactar la tierra que rodea a los electrodos de modo que se eliminen capas de aire entre los mismos y la tierra. Si el problema es la resistividad, se puede mojar el área alrededor del electrodo, con lo que está disminuirá.

### 2.6.3. RESULTADOS OBTENIDOS.

A continuación, se muestra la tabla 2.9 con los resultados obtenidos en la medición de la resistencia de tierra en el edificio de potencia del cual podemos observar que los valores de la resistencia de tierra está dentro del rango establecido por el método, no sobrepasando el 10% con respecto a 62% de la distancia total (DT).

DISTANCIA TOTAL =23m	RESISTENCIA DE TIERRA	Δ DE LAS MEDIONES
+ 10% DEL 0.62XDT=15.7m	3.29Ω	3.29Ω-3.09Ω=0.2Ω
0.62 XDT =14.3m	3.09Ω	
- 10% DEL 0.62XDT=12.8m	2.94Ω	3.09Ω-2.94Ω=0.15Ω

Tabla 2. 9 Resistencia de tierra a diferentes distancias

Para este método se hicieron las mediciones con el medidor de tierra AEMC 6471, se realizaron las tres mediciones respetando las distancias establecidas por el método del 62% en la siguiente figura 2.12 muestra la medición de resistencia de tierra a una distancia de 15.7m.



Figura 2. 12 62% de DT + 10% del 62 % de DT

Las figuras número 2.13 y 2.14 nos muestran la medición de la resistencia de tierra a una distancia de 14.3m y 12.8m.

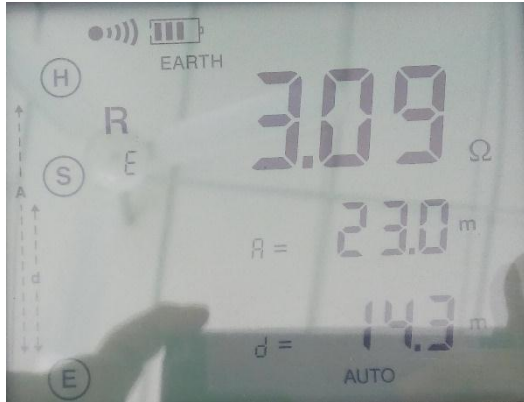


Figura 2. 13 62% de DT



Figura 2. 14 62% de DT-10% del 62% de DT



Figura 2. 15 Muestra el medidor de tierra a utilizar AEMC 6471, instrumento capaz de medir resistencia de tierra de sistemas de electrodos simples y complejos.

Al revisar el apartado 1.2.3.8 del capítulo 1, se presenta la tabla de valores máximos permitidos de resistencia de red de tierra de una subestación en función de su capacidad (tabla 1-9) y teniendo una capacidad de la subestación de 300 kVA tenemos un valor correspondiente de 2 ohm en base a la norma. Con los resultados que obtuvimos que no cumple con el requerimiento establecido por la SIGET.

CAPITULO III: PROCEDIMIENTOS QUE SE APLICAN A LAS PRUEBAS DE MÁQUINAS  
ELECTRICAS.

## 3.0 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se presentan los procedimientos que se aplican a las Pruebas de laboratorio para máquinas eléctricas sean estas motores y generadores, basando estos procedimientos en normas internacionales que nos permitan una normalización en el país para realizar ensayos en las máquinas rotativas tanto de corriente alterna como corriente directa. Las pruebas deben dar como resultado parámetros que permitan determinar el estado funcional y corroborar las características de rendimiento de las máquinas que ya estén operación, así como equipo nuevo que entre en el país para poder verificar sus datos de placa y certificarlos.

En el desarrollo de este capítulo se presentan además los métodos para el cálculo de eficiencia en máquinas de inducción trabajando como motor o generador, basado el análisis en la norma IEEE std 112 **“Procedimientos de pruebas para motores y generadores polifásicos de inducción”**, tomando en cuenta todos aquellos aspectos que de una forma directa o indirecta afectan las mediciones de los diferentes ensayos que se presentan; como lo es la temperatura, distorsión armonía, desbalance de tensiones, rangos permitirles de frecuencia , equipos utilizados para las pruebas entre otros.

Para aquellos casos en los cuales se desconozcan datos suficientes para realizar algún cálculo de parámetros, se establecen valores aceptables para realizar una primera aproximación del cálculo y con el cual se pueden realizar cálculos sucesivos hasta obtener el valor más real posible. Además se establece la metodología de corrección, que se debe seguir en los casos en los cuales los ensayos no se realicen a temperatura ambiente, tensiones reducidas o frecuencia diferente a la nominal.

Los formularios que establece la norma IEEE-112 para para los diferentes ensayos de prueba en los cuales se establecen las mediciones obtenidas y posibles conclusiones de las mismas las cuales permiten tener un parámetro confiables sobres las condiciones de la maquina en prueba se muestran en los anexos A1 de este documento.

Muchas de las pruebas que se describen a continuación se pueden aplicar tanto a motores y generadores, según sea necesario, y no se debe pensar que existen divisiones en el procedimiento de prueba aplicados por separado a los motores o generadores. Siempre que se utilice el término motor, es de entenderse que puede ser sustituido por el término generador. Del mismo modo, siempre que se utilice el término máquina, puede ser sustituido por cualquiera de motor o generador. Dado que los sistemas de energía son casi universalmente sistemas trifásicos, las ecuaciones que a continuación se presentan esta norma se ha específicamente para tres fases. Cuando se realizan las pruebas en que no sea tenga un sistema de tres fases, las ecuaciones se deben modificar de manera apropiada

### 3.1 CONSIDERACIONES A TOMAR EN CUENA ANTES DE REALIZAR UNA PRUEBA.

El rendimiento de una máquina de inducción no solo depende del valor del voltaje de línea y de la frecuencia, sino también de la forma de onda en magnitud y el ángulo de fase del voltaje de línea.

#### 3.1.1 FORMA DE ONDA

A medida de lo posible, la fuente de alimentación deberá proporcionar voltajes balanceados lo más cercano a una forma de onda senoidal. La distorsión armónica total (THD) no debe exceder al 0.05. El THD está definido por la ecuación 3.1.

$$THD = \frac{\sqrt{E^2 - E_1^2}}{E_1} \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

Dónde:

$E_1$ : Valor eficaz o RMS de la onda senoidal fundamental, en voltios (V)

E: Valor medio de la onda de tensión aplicada, en voltios (V).

### 3.1.2 VOLTAJES DESBALANCEADOS

El desbalance del voltaje no debe ser mayor al 0.5%. El desequilibrio máximo se puede calcular de la siguiente manera.

$$\text{Desbalance maximo} = 100 * \frac{\text{desviacion maxima de la tension aplicada}}{\text{voltaje promedio}}$$

Ejemplo: con los voltajes de línea de 220V, 215V y 210V el voltaje promedio es 215 V, la máxima desviación para el voltaje promedio es 5, y el desbalance:

$$\text{desbalance} = \frac{100 * 5}{215} = 2.3\%$$

### 3.1.3 FRECUENCIA.

Para las pruebas en general, la frecuencia debe estar entre  $\pm 0.5\%$  del valor requerido para el ensayo que se realizará, a menos que se especifique lo contrario. Cualquier desviación o variación en la frecuencia especificada durante la prueba afecta directamente a la eficiencia obtenida con los métodos de prueba de eficiencia A, B y B1 que se detallan más adelante. Cuando se utilicen los métodos antes mencionados la frecuencia debe estar dentro del  $\pm 0.1\%$  del valor especificado

**IMPORTANTE:** cambios rápidos de frecuencia no se pueden tolerar durante la prueba debido a que tales variaciones no solo afectan a la maquina a la que se le realiza la prueba, sino también a la salida de los equipos de medición. De existir una variación en la frecuencia durante una prueba, esta no deberá exceder de 0.33% de la frecuencia promedio.

## 3.2 TEMPERATURAS ESTANDARIZADAS

La Temperatura ambiente de referencia será de 25 ° C. Si la Temperatura ambiente durante las pruebas de rendimiento se diferencia de la temperatura de referencia (25°C), las determinaciones de funcionamiento serán corregidas a una Temperatura ambiente de 25 ° C. La Temperatura real de prueba se utilizará en la separación de las pérdidas en la prueba sin carga y para obtener las pérdidas indeterminadas por el método directo. Para determinar la eficiencia de la máquina, con precisión los valores de algunas de las pérdidas de componentes con algunos métodos de ensayo, es necesario que la temperatura real de prueba se utilice en el análisis, si esta temperatura real de ensayo no es igual a la temperatura especificada, se debe realizar correcciones en las pérdidas ( $I^2R$ ), dichas correcciones apropiada a la temperatura real dependerá de la temperatura especificada.

La temperatura especificada se determinará por uno de los siguientes procedimientos.

- a) la temperatura especificada es la elevación de temperatura por resistencia bajo carga nominal más 25 ° C. La carga nominal es el valor identificado en la placa a un factor de servicio de 1.0
- b) cuando no haya temperatura especificada, se seleccionará la temperatura especificada de la tabla 3.1, la selección se realiza en base a la clase de aislamiento de la máquina. Si el sistema de aislamiento de la máquina está construido con varias clases de aislamientos la temperatura de la clase de aislamiento inferior debe emplearse como la temperatura especificada.

**NOTA:** c) no se utilizará en la eficiencia del método de ensayo B; sólo a) es aceptables

Temperatura especificada para los cálculos de eficiencia cuando no se mide la temperatura de la carga nominal de la máquina.

Clase de aislamiento del sistema	Temperatura en ° C (incluyendo los 25°C de temperatura ambiente)
A	75
B	95
F	115
H	130

Tabla 3. 1 Temperatura especificada para los cálculos de eficiencia cuando la temperatura de la máquina a carga nominal no es medida

### 3.3 MEDICIONES ELÉCTRICAS.

Todas las mediciones de tensión y corrientes son valores RMS a menos que se indique lo contrario. Se utilizarán instrumentos, equipos y accesorios de alta precisión calibrados, ya sean estos analógicos o instrumentos digitales que pueden ser utilizados en las pruebas. Los instrumentos llevarán registro de calibración, dentro de los 12 meses de la prueba, lo que indica los límites del error no deben ser superior al  $\pm 0.5\%$  de la escala completa para la prueba general o no mayor al  $\pm 0.2\%$  de la escala completa cuando los resultados de las pruebas son para la prueba de eficiencia del método B. Cuando varios instrumentos están conectados en el circuito al mismo tiempo, pueden ser necesarias correcciones adicionales en los instrumentos.

Cuando se utilizan los transformadores de instrumento de corriente y de potencial, se harán correcciones de errores de relación en las mediciones de tensión y de corriente, y correcciones en mediciones de potencia por relación y ángulo de fase.

La medición de las tensiones de línea a línea se medirá con los cables conectados a los terminales de la máquina. Si las condiciones locales no permiten este tipo de conexiones, la diferencia entre la tensión en los terminales de la máquina y el punto de medición deben de ser evaluados y la lectura debe de ser corregida. La media aritmética se utilizará en el cálculo de rendimiento de la máquina a partir de los datos de prueba.

Las corrientes a cada fase del motor se deben medir de forma simultánea, y el valor promedio aritmético de esas mediciones se utilizará para el cálculo de funcionamiento de la máquina, usando los datos obtenidos de la prueba.

La potencia de salida de un motor trifásico o la potencia de salida de un generador trifásico se puede medir por dos vatímetros monofásicos conectados como en el método de dos vatímetros, uno vatímetro polifásico, o tres vatímetros monofásicos. Lectura de potencia se corregirá por pérdidas metros si son significativos.

Todas las mediciones y los cálculos de potencia, tanto eléctricas y mecánicas, en el presente documento son en vatios. En las máquinas grandes puede ser más práctico trabajar con cantidades potencia expresada en kilovatios. Si se cambia la unidad de medición, se debe tener el cuidado de que todos los valores afectados se conviertan correctamente.

### 3.4 MEDICIONES MECÁNICAS.

La Medición de potencia mecánica se tomará con el mayor cuidado y precisión posible. Si se va a utilizar un freno mecánico y la tara está presente, se determinará con cuidado y deberá de ser compensada. Si se utilizan mediciones de la salida del dinamómetro, las pérdidas de acoplamiento y la fricción del cojinete, deben ser compensadas, también debe de dimensionarse de modo adecuado el tamaño de dinamómetro, de manera que el acoplamiento, la fricción y las pérdidas por ventilación del dinamómetro (véase la nota más abajo) midan la velocidad nominal de la máquina a prueba y este valor no debe ser mayor que el 15% de la potencia nominal de la máquina que está siendo probado.

NOTA: un dinamómetro se define como un dispositivo para aplicar par a la pieza giratoria de la máquina de prueba. Está equipado con medios para indicar el par y la velocidad.

El error de los instrumentos utilizados para medir par mecánico, no deberá ser superior a  $\pm 0.2\%$  de la escala completa.

Para la medición del deslizamiento o velocidad se puede utilizar un estroboscopio o un tacómetro digital. Cuando un identificador de estroboscopio se utiliza para medir deslizamiento, La fuente de alimentación para el estroboscopio tendrá la misma frecuencia que la alimentación del motor. Cuando se mide la velocidad, el instrumento que se usara no debe tener mayor de  $\pm 1.0$  rpm de la lectura

### 3.5 TIPO DE PÉRDIDAS Y SUS PRUEBAS.

En este apartado del capítulo, se identifican las pérdidas de una máquina de inducción se describe las pruebas y cálculos que se usan para determinar estas pérdidas además las características de funcionamiento. Los resultados de estas pruebas son usadas para determinar la eficiencia y funcionamiento en la sección 3.12. No Todas las pruebas y procedimientos presentados en esta sección son requeridas en el cálculo de la eficiencia.

#### 3.5.1 PÉRDIDAS DE ESTATOR $I^2 R$ .

Para una maquina trifásica, la perdida de estator  $I^2 R$ ,  $P_{SIR}$  (W) se calcula como se muestra en la ecuación 3.2

$$P_{SIR} = 1.5 I^2 R = 3 I^2 R_1 \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

Dónde:

I: Es la corriente medida o calculada para los terminales de línea en amperios (A)

R: Es la resistencia DC en ohm, entre cualquier terminal de dos líneas del motor para la apropiada corrección de la temperatura, si se requiere. **Ver sección 3.5.1 .1**

$R_1$ : Es la resistencia DC por fase en ohm. **Ver sección 3.9**

### 3.5.1.1 CORECCION DE RESISTENCIAS POR TEMPERATURA.

Algunos de los resultados de pruebas requieren un ajuste o corrección por temperatura. Con el valor de la resistencia de devanado  $R_a$ , disponible a una temperatura conocida,  $t_a$  el valor de la resistencia a cualquier otra temperatura,  $t_b$  se puede determinar usando la ecuación (3.3)

$$R_2 = \frac{R_a(t_b+k_1)}{t_a+k_1} \quad \text{Ecuación (3.3)}$$

**Dónde:**

$R_a$ : Es conocida como el valor de la resistencia de devanado, en ohm a una temperatura conocida

$t_a$ : Es la temperatura en grados centígrados de la bobina cuando  $R_a$  es medido.  $t_b$ :

Es la temperatura en grados centígrados a la que se corrige la resistencia

$R_b$ : Es la resistencia del bobinado en ohm corregida a la temperatura  $t_b$ .

K: Es 234.5 del 100% de la conductividad el cobre, es de 225 cuando es aluminio basado en una conductividad de 62%.

### 3.5.2 PÉRDIDAS DEL ROTOR.

Las pérdidas del rotor  $I^2 R$ , incluyen las pérdidas en las escobillas para las máquinas de rotor bobinado, estas serán determinadas a partir del deslizamiento usado en la ecuación 3.4 o 3.5 como se indica:

*pérdidas del rotor del motor :*

$$I^2 R = (\text{Pot. en el estator} - \text{pérdidas en el estator} - \text{pérdidas en el nucleo}) * s \quad \text{Ecuación (3.4)}$$

*perdidias del generador:*

$$I^2 R = (\text{Pot. en el estator} + \text{peridas en el estator} + \text{perdidias en el nucleo}) * s \quad \text{Ecuación (3.5)}$$

Donde S es el deslizamiento en por unidad, usando la velocidad síncrona como velocidad base. **Ver ecuación (3.8).**

Todas las potencias están en Watts (W)

### 3.5.2.1 DESLIZAMIENTO.

La velocidad de deslizamiento en rpm, puede ser medida por medios estroboscópicos. Además, puede ser calculado por la velocidad medida. Este valor deberá ser convertido a en por unidad para ser usados en este análisis.

La velocidad de deslizamiento es la diferencia entre la velocidad síncrona y la velocidad medida, en rpm (ver la ecuación 3. 6).

$$\text{velocidad de deslizamiento} = n_s + n_t \quad \text{Ecuación (3.6)}$$

Donde

$$n_s = 120 * \frac{f}{p} \quad \text{Ecuación (3.7)}$$

**n<sub>s</sub>**: Es la velocidad síncrona en rpm

**n<sub>t</sub>**: Es la velocidad medida

**f** : Es la frecuencia en Hertz

**P**: Es el número de polos

El deslizamiento expresado en por unidad esta descrito por:

$$S = \frac{\text{velocidad de deslizamiento}}{\text{velocidad sincrona}} \quad \text{Ecuación (3.8)}$$

**NOTA:** el número de polos se asume conocido. De no ser así el número de polos puede ser determinado usando una prueba sin carga y arreglando la **ecuación 3.7** para resolver **p** (multiplicando la frecuencia de entrada por 120 veces y luego dividirla por la velocidad medida). Este cálculo resultara un valor muy cercano.

### 3.5.2.2. CORRECCIÓN DEL DESLIZAMIENTO POR TEMPERATURA.

El deslizamiento en por unidad, está relacionado directamente con la resistencia del rotor. Así, el deslizamiento puede ser corregido usando la misma relación básica para la resistencia y la temperatura. Este valor corregido de deslizamiento es usado para determinar las pérdidas del rotor I<sup>2</sup>R, en los ajustes finales cuando se utilizan los métodos de prueba de la eficiencia B, B1 y C. usando la ecuación (3.9) para corregir las mediciones para una temperatura especifica del estator.

$$S_s = \frac{S_t(t_s+k_1)}{t_t+k_1} \quad \text{Ecuación (3.9)}$$

Dónde:

S<sub>s</sub>: Es el deslizamiento en por unidad corregido a una temperatura especificada t<sub>s</sub>

$S_t$ : Es el deslizamiento en por unidad medido a una temperatura del devanado  $t_t$

$t_s$ : Es la temperatura especificada para corrección de la resistencia en grados Celsius.

$T_t$ : Es la temperatura observada en el estator durante la prueba en grados Celsius

$K_1$ : es la constante de 234.5 a 100% de la conductividad del cobre o 225 en el caso del aluminio basados en un volumen del 62%.

NOTAS: Para otros materiales de rotor bobinado, se utilizará un valor adecuado de  $k_t$  (temperatura inferior para la resistencia).

### 3.5.3 PRUEBA SIN CARGA.

Esta prueba se lleva a cabo mediante la ejecución de la máquina como un motor a la tensión y la frecuencia nominal, sin carga conectada. En esta prueba se debe leer la temperatura, voltaje, corriente y potencia de entrada a tensión y frecuencia nominales que van desde el 125% de la tensión nominal hasta el punto en la que mayor reducción de tensión aumenta la corriente.

La prueba en vacío o sin carga se hace para la determinación de la pérdida en el núcleo, las pérdidas por efecto del viento y la fricción.

#### 3.5.3.1 ESTABILIZACIONES DE LAS PÉRDIDAS DE RODAMIENTO.

Algunos motores pueden experimentar un cambio en las pérdidas por fricción hasta que los rodamientos no operen en condición estable. Se considera estable hasta cuando no ocurre una variación de más del 3% entre dos lecturas sucesivas al mismo voltaje con intervalos de media hora.

NOTA: El promedio de las corrientes de línea a voltaje nominal es la corriente sin carga

#### 3.5.3.2 LAS PÉRDIDAS EN VACÍO.

La potencia de entrada medida, es el total de las pérdidas del motor en vacío. Estas pérdidas incluyen las pérdidas del estator  $I^2R$ , por fricción (incluyen las pérdidas por fricción en las escobillas en los motores de rotor bobinado), las pérdidas por los arrollamientos y las pérdidas del núcleo.

Las pérdidas por fricción y efecto del viento pueden ser determinadas mediante la realización de un análisis de regresión lineal aplicada la curva del funcionamiento, usando tres o más puntos en la curva de potencia Vs voltaje al cuadrado. Para determinar la pérdida por fricción y resistencia al viento, sustraemos las pérdidas  $I^2R$  del estator (a la temperatura de la prueba) de las pérdidas totales (es decir, potencia de entrada) o cada uno de los puntos de los voltajes de las pruebas y graficando los resultados en la curva de potencia versus voltaje, extendiendo la curva hasta el punto de voltaje cero. El intercepto con el eje de voltaje cero son las pérdidas por fricción y efecto del viento.

#### 3.5.3.3 PÉRDIDAS DEL NÚCLEO.

Las pérdidas en el núcleo  $P_h$  para cada voltaje de ensayo, se obtienen restando el valor de las pérdidas por fricción y efecto del viento determinadas en sección anterior del estator menos la potencia de

entrada menos las pérdidas  $I^2R$  del estator (determinada también en la sección anterior). Se puede graficar una curva de pérdidas del núcleo versus voltaje para determinar las pérdidas del núcleo a cualquier tensión deseada.

### 3.6 PRUEBAS BAJO CARGA.

La mayoría de los métodos de ensayo de eficiencia requieren que se realice una prueba con carga, ya sea para determinar directamente la eficiencia como el descrito por el método de prueba de eficiencia A, o determinar las pérdidas indeterminadas por carga con el método de prueba de eficiencia B, B1 y C.

La máquina esta acoplada a una máquina de carga y es sometida a cargas a cuatro puntos diferentes aproximadamente igual de espaciados a no menos del 25 % de carga y aumentando incluyendo el 100% de la carga, y dos puntos más escogidos adecuadamente por encima del 100% pero sin exceder el límite de 150% de la carga.

Las lecturas de potencia eléctrica, corriente, voltaje, frecuencia, velocidad o deslizamiento, el par, la temperatura del estator o resistencia del devanado del estator y la temperatura ambiente se obtendrán en cada punto de carga. La carga de la máquina, debe comenzar en el valor más alto de carga y se mueven de forma decreciente hasta el punto más bajo de carga.

#### 3.6.1 CARGA DEL DINAMÓMETRO.

Para esta prueba la maquina es cargada mediante un freno mecánico o un dinamómetro. Esta prueba deberá realizarse tan rápido como sea posible para minimizar los cambios de temperatura durante la prueba. Para el método de prueba de eficiencia B, la temperatura del bobinado del estator deberá estar dentro de 10 grados Celsius de la temperatura más alta registrada en las lecturas durante la prueba de temperatura al empezar a recolectar datos durante esta prueba.

##### 3.6.1.1 POTENCIA MECÁNICA.

La potencia en el eje, en W, de la maquina durante la prueba a cada punto de carga es obtenida de la ecuación 3.10 usando los valores de prueba de torque y velocidad. El torque puede requerir una corrección por las pérdidas en el dinamómetro.

$$P = \frac{2n_1 T}{60} = \frac{n_1 T}{K_2} \quad \text{Ecuación (3.10)}$$

Donde:

P = es la potencia del eje en watts

$N_t$  = es la velocidad medida o la velocidad calculada usada en el deslizamiento en rpm.

$K_2$  es 9.549 de torque en newton metros

T= es el torque en Newton metros. **Ver ecuación 3.11** para cando se requiera corrección en el dinamómetro.

$$T = T_t + T_d \quad \text{Ecuación (3.11)}$$

Dónde:

$T_t$ : Es el torque medido en el eje de la maquina

$T_d$ : Es la corrección del dinamómetro de la ecuación 3.12. En newton\* metros.

NOTA-En la ecuación (3.11), utilice el signo más para los motores y el signo menos para los generadores. Los términos de generador y de motor se refieren a la acción de la máquina bajo prueba.

### 3.6.1.2 CORRECCIONES AL DINAMÓMETRO.

Una prueba de dinamómetro sin carga combinada con una prueba de maquina sin carga puede ser usada para determinar la corrección al dinamómetro para compensar el acoplamiento y las pérdidas por la fricción del cojinete del dinamómetro. Se registrara la potencia eléctrica de entrada, corriente, voltaje, deslizamiento o velocidad, torque, la resistencia o temperatura del devanado de estator teniendo acoplada la maquina al dinamómetro. La máquina es desacoplada del dinamómetro y es operada como una maquina sin carga a la tensión nominal y se deben registrar nuevamente la potencia eléctrica, voltaje, corriente, deslizamiento o velocidad y la resistencia o la temperatura del devanado estator. Los datos de prueba desde un punto de prueba sin carga a la tensión nominal se pueden utilizar para los datos sin carga cuando no es práctico desacoplar la máquina desde el dinamómetro para esta prueba. La corrección del dinamómetro en N.m es determinada por la ecuación 3.12.

$$T_D = k_2 \frac{P_A - P_B}{N_A} - T_A \quad \text{Ecuación (3.12)}$$

Dónde:

$$P_A = (P_{INA} - P_{SIRA} - P_H) * (1 - s_A) \quad \text{Ecuación (3.13)}$$

$$P_B = (P_{INB} - P_{SIRB} - P_H) \quad \text{Ecuación (3.14)}$$

Dónde:

$T_d$ : Es la corrección para ser aplicada al torque de carga ante de calcular la potencia de funcionamiento de la **sección 3.6.1.1**

$P_{inA}$ : Es la potencia de entrada en W cuando la maquina bajo prueba es operada como un motor acoplado a un dinamómetro con la armadura a circuito abierto (prueba A).

$P_{SIRA}$ : es la perdida en el estator durante la prueba A

$s_A$ : Es el deslizamiento en por unidad de la prueba A

$T_A$ : Es el torque registrado en N.m en el dinamómetro durante la prueba en A.

$N_A$ : Es la velocidad medida en o calculada usando el deslizamiento medido en la prueba A

$P_{inB}$ : Es la potencia de entrada en W durante la prueba sin carga a voltaje nominal.

$P_{SIRB}$ : Es las pérdidas en el estator en W durante la prueba sin carga a voltaje nominal.

Ph: Es la pérdida del núcleo durante la prueba sin carga a voltaje nominal.

K2: 9.459 para el torque en N.m

### 3.7 PÉRDIDAS INDETERMINADAS

Las pérdidas indeterminadas es una porción de la pérdida total, las pérdidas totales una máquina están dadas por la suma de las pérdidas por fricción y pérdidas por el viento, la pérdida  $I^2R$  estator, y de la pérdida en el núcleo.

Las pérdidas indeterminadas se determinan indirectamente midiendo las pérdidas totales, y restando de estas pérdidas, la suma de la fricción y la resistencia al viento, pérdida en el núcleo, pérdida  $I^2R$  estator, y la pérdida  $I^2R$  rotor. El valor restante es la pérdida indeterminada.

La medición directa de la pérdida indeterminada consiste en medir la componente de las pérdidas indeterminadas a la frecuencia fundamental y los componentes de alta frecuencia y la suma de estos dos componentes es la pérdida indeterminada total.

#### 3.7.1. PÉRDIDAS INDETERMINADAS A FRECUENCIA FUNDAMENTAL

La componente de Las pérdidas indeterminadas que ocurre a la frecuencia fundamental se determina aplicando Voltaje polifásico equilibrado en los terminales del devanado del estator con el rotor bloqueado.

La potencia de entrada menos la pérdida  $I^2R$  del estator a Temperatura de ensayo es igual a la pérdida indeterminada a frecuencia fundamental. Las corrientes utilizadas en esta prueba son descritas en la sección **3.7.2**. Con valores establecidos por la ecuación (3.15) para magnitudes que cubren el rango de cargas de 0.25 a 1.5 veces la carga nominal, como se indica por el procedimiento de prueba apropiado.

$$I_t = \sqrt{(I^2 - I_0^2)} \quad \text{Ecuación (3.15)}$$

Donde.

**$I_t$** : Es el valor de la corriente del devanado del estator en A, obtenido durante la prueba de pérdida indeterminadas

**$I_0$** : Es el valor de la corriente sin carga.

**$I$** : Es el valor de la corriente de línea del estator en funcionamiento dada en A, para el que la pérdida indeterminada pueda ser determinada.

#### 3.7.2 PÉRDIDAS INDETERMINADAS EN ALTA FRECUENCIA

Las pérdidas indeterminadas que ocurren a altas frecuencias se determinan mediante una prueba de rotación inversa. Con el motor completamente montado, aplique voltajes polifásicos equilibrados a frecuencia nominal en los terminales del estator bobinado. El rotor es accionado por medios externos a continuación, en o cerca de la velocidad síncrona en la dirección opuesta a la de la rotación de campo y la potencia de entrada en el devanado del estator se mide.

## PRECAUCIÓN

Se debe evitar el sobrecalentamiento durante esta prueba de máquinas con sistemas de refrigeración unidireccionales. Se recomienda que tales máquinas deban ser accionadas por un medio externo a una velocidad cercana a la velocidad de sincronismo en la dirección normal para una ventilación adecuada y que las conexiones de alimentación al estator deban invertirse para tener el campo del estator rotación opuesta a la de la rotación máquina. Registre la potencia de entrada al estator durante la prueba.

### 3.7.3 CALCULO DE PÉRDIDAS INDETERMINADAS.

Las pérdidas indeterminadas se determinan mediante la combinación de la frecuencia fundamental y los componentes de alta frecuencia. La pérdida de carga parásita (PSL) dado en (W) se calcula mediante la ecuación (3.16)

$$P_{SL} = P_{SLs} + P_{SLr} \quad \text{Ecuación (3.16)}$$

**DONDE:**

$P_{SLs} = (P_s - I^2R)$  (pérdidas del estator) [W] **Pérdida de carga parásita en frecuencia fundamental**

$P_{SLr} = (P_r + P_m) - (P_{rr} - P_{SLs} - \text{pérdidas en en estator } I^2R)$  **Pérdidas en alta frecuencia**

$P_m$ = es la potencia mecánica (W), requerido para hacer girar el rotor sin aplicar voltaje a los terminales de la bobina del estator o estator bobinado.

$P_r$ = es la potencia mecánica (W), requerido para hacer girar el rotor aplicando voltaje a los terminales de la bobina del estator o estator bobinado.

$P_{rr}$ = es la potencia eléctrica de salida (W) en la bobina del estator durante la prueba de rotación inversa

$P_s$ = es la potencia eléctrica de salida (W) en la bobina del estator durante la prueba de rotor bloqueado

**Las pérdidas del estator  $I^2R$  pueden ser calculadas por la ecuación (3.2) usando la corriente y resistencia para cada punto.**

### 3.7.4 PÉRDIDAS INDETERMINADAS ASUMIDAS (PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN)

Un valor supuesto de las pérdidas indeterminadas se utiliza con los métodos de prueba de eficiencia E1, F1 y E1 / F1. Si las pérdidas indeterminadas no se miden y es aceptable por la norma aplicable en las especificaciones del contrato, el valor de la pérdida de carga parásita a la carga nominal se puede suponer el valor como se muestra en la Tabla 3.2.

Rangos de las máquinas en KW	% de pérdidas indeterminadas de la carga nominal
1-90	1.8 %
91-375	1.5%
376-1850	1.2%
1851 y mayores	0.9%

Tabla 3. 2 Valores asumidos de las pérdidas indeterminadas.

### 3.8 CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR DE INDUCCION.

Las características de operación en el método de prueba de eficiencia F y F1 (ver 6.9) se calcula en base al circuito equivalente de una máquina de inducción como el que se muestra en la Figura 3.1. Este circuito también se utiliza en la determinación de la corriente del rotor utilizado en la determinación de las pérdidas por cargas dispersas o (pérdidas de flujo disperso o pérdidas indeterminadas) utilizado en otros métodos de ensayo eficiencia.

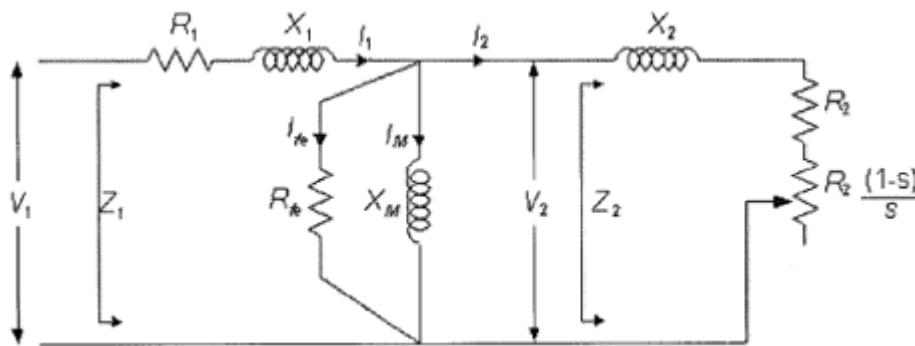


Figura 3. 1 Circuito Equivalente

Las cantidades de la máquina asociadas con el circuito equivalente y con la ecuación (3.17) a la ecuación (3.48) son los siguientes:

- $V_1$ : Es el voltaje de fase en (V)
- $V_2$ : Está Voltaje fase del rotor referida al estator en (V)
- $f$ : Es la frecuencia en (Hz)
- $I_1$ : Es la corriente de línea o corriente del estator en (A)
- $I_2$ : Es la corriente del rotor referido al estator en (A)
- $I_m$ : Es la corriente de magnetización en (A)
- $I_{fe}$ : Es la corriente de pérdidas en el núcleo en (A)
- $m$ : Es el número de fases
- $R_1$ : es la resistencia del estator en (ohm)
- $R_2$ : Es la resistencia del rotor referida al estator en ( $\Omega$ )
- $R_{fe}$ : Es la resistencia de pérdidas en el núcleo en ( $\Omega$ )
- $G_{fe}$ : Es la conductancia de pérdidas en el núcleo en siemens(S)

**X<sub>1</sub>**: Es reactancia de fuga del estator en ( $\Omega$ )

**X<sub>2</sub>**: Es la reactancia de fuga del rotor referida al estator en ( $\Omega$ )

**X<sub>M</sub>**: Es la reactancia de magnetización en ( $\Omega$ )

**B<sub>M</sub>**: Es la susceptancia de magnetización en siemens (S)

**P**: Es la potencia en (W)

**P<sub>h</sub>**: Las pérdidas en el núcleo en (W)

**P<sub>f</sub>**: Es la pérdida por fricción y efecto del viento en (W)

**Q**: Es la potencia reactiva en (VAR)

**Z**: Es la impedancia por fase en ( $\Omega$ )

**Z<sub>2</sub>**: Es la impedancia del rotor por fase referida al estator en ( $\Omega$ )

**S**: Es el deslizamiento en p.u

**Los subíndices son como sigue**

**0**: Cantidades relativas a sin carga

**L**: Cantidades relativas a la impedancia de prueba

#### **NOTAS:**

**1-** *Para una máquina de tres fases, la resistencia del estator en estrella por fase es la mitad de la resistencia de terminal a terminal.*

**2-** *Para una máquina de tres fases, el voltaje de la fase en estrella  $V_1$  es el voltaje de línea a línea dividido entre  $\sqrt{3}$ .*

Los parámetros de la máquina en el circuito equivalente se derivan de los datos de pruebas registrados durante una prueba sin carga descritos en la **sección 3.5.3** y una de las pruebas de impedancia que se describen en la **sección 3.8.1**. El circuito equivalente representa una fase de una máquina conectada en estrella de tres fases y es utilizable incluso si la máquina bajo prueba tiene una conexión interna en delta. Voltaje del rotor, corriente, resistencia y reactancia valores de todos referidos al estator y no son verdaderos valores de rotor pero se pueden utilizar en toda este capítulo donde se especifican los parámetros del rotor.

Una predicción precisa de características de la máquina en el rango normal de funcionamiento dependerá principalmente de la cercanía por el cual  $R_2$  representa la resistencia del rotor real a las corrientes de baja frecuencia y en segundo lugar, sobre la cercanía por el que  $X_2$  representa la reactancia de fuga del rotor real a las corrientes de baja frecuencia..

### **3.8.1 PRUEBAS DE IMPEDANCIA**

Lecturas de Voltaje, corriente, potencia eléctrica de entrada, y la resistencia del estator o estator bobinado deberán ser tomadas en una o más frecuencias, voltajes y / o cargas. Estos datos se refieren

como los datos de impedancia. Si la máquina probada tiene un rotor bobinado, el rotor ha de ser cortocircuitados para la prueba.

Las pruebas para la reactancia se llevarán a cabo a la corriente de carga nominal. Es importante que el valor de la reactancia utilizada en el cálculo circuito equivalente, este en el valor correcto de la saturación y efecto profundo; de lo contrario, el factor de potencia calculado será más alto que el valor verdadero. La reactancia y la impedancia se determinarán en la Temperatura de la máquina en el momento de la prueba. Los valores de resistencia se corregirán a la Temperatura especificada antes de ser registrado como un parámetro de circuito equivalente.

### 3.8.2 CALCULO DE PARAMETROS DE IMPEDANCIA

Prueba de impedancia para rotor bloqueado al máximo de 25% de la frecuencia nominal y corriente nominal.

#### 3.8.2.1 PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO

La impedancia de un motor de rotor bobinado varía con la posición del rotor con relación al estator. Antes de tomar las lecturas en las máquinas de rotor bobinado, el rotor se cortocircuita.

El rotor de un motor de rotor bobinado será bloqueado, de manera que no puede girar libremente, pero puede ser movido; y el Voltaje aplicado a la maquina se aumentará gradualmente hasta que se obtiene una corriente de valor aproximadamente nominal.

El Voltaje y la corriente en todas las fases se leerán y registrarán, y el Voltaje en las distintas fases puede ser balanceadas. Los datos del voltaje, cuando el rotor gira más lentamente y se registrarán además del valor máximo y mínimo de corriente durante un ciclo completo.

El rotor deberá entonces ser bloqueado para las pruebas de impedancia para el punto donde la corriente dada sea igual a la media del mínimo y máximo valor medido previamente.

Para los cálculos se debe trazar Curvas utilizando voltios como abscisas y amperios y la potencia de entrada en ordenadas. La curva de amperios vs voltios por lo general una línea recta, curvándose ligeramente hacia arriba en los valores más altos.

Determinar la resistencia del rotor,  $R_2$  y la reactancia de fuga total,  $X_1 + X_2$ , partir de estos datos usando la ecuación (3.17) hasta la ecuación (3.48). Los cálculos comienzan asumiendo una relación  $X_1/X_2$ . Cuando los detalles de diseño están disponibles, utilice la calculada relación  $X_1 / X_2$ . De lo contrario utilice los siguientes.

$$\frac{x_1}{x_2} = 1.0 \text{ para diseño A, diseño D, y motores de rotor bobinado}$$

$$\frac{x_1}{x_2} = 0.67 \text{ para motores diseño B}$$

$$\frac{x_1}{x_2} = 0.43 \text{ para motores diseño C}$$

**Nota:** Los diseños de motores A, B, C y D son definidos en NEMA MG-1-2003[B3]

Para calcular la potencia reactiva del motor sin carga completa ( $Q_0$ ), y en las condiciones de la prueba de impedancia,  $Q_L$

$$Q_0 = \sqrt{(m V_{10} * I_{10})^2 - P_0^2} \quad \text{Ecuación (3.17)}$$

Y

$$Q_L = \sqrt{(m V_{1L} * I_{1L})^2 - P_L^2} \quad \text{Ecuación (3.18)}$$

**m= número de fases**

El voltaje por fase  $V_1$  utilizado en las ecuaciones (3.17) y (3.18) para una máquina trifásica es.

$$V_1 = \frac{\text{voltaje de línea línea}}{\sqrt{3}} \quad \text{Ecuación (3.19)}$$

**Ver figura 3.1 para la identificación de las cantidades y los subíndices en lo anterior y en las siguientes ecuaciones.**

Calculo de reactancia de magnetización  $X_M$

$$X_M = \frac{m V_0^2}{Q_0 - (m I_{10}^2 X_1)} \times \frac{1}{(1 + \frac{X_1}{X_M})^2} \quad \text{Ecuación (3.20)}$$

Para calcular la reactancia de fuga del estator  $X_1$  a la frecuencia de prueba.

$$X_{1L} = \frac{Q_L}{m I_{1L}^2 - (1 + \frac{X_1}{X_2} + \frac{X_1}{X_M})} \times (\frac{X_1}{X_2} + \frac{X_1}{X_M}) \quad \text{Ecuación (3.21)}$$

Determine la reactancia de fuga del estator a la frecuencia nominal.

$$X_1 = \frac{f}{f_L} \times X_{1L} \quad \text{Ecuación (3.22)}$$

Las ecuaciones (3.20), (3.21) y (3.22) pueden ser resueltas de la siguiente manera.

- 1) Resolver la ecuación (3.20) para  $X_M$ , asumiendo un valor de  $X_1/X_M$  y  $X_1$ .
- 2) Resolver la ecuación (3.21) para  $X_{1L}$ , usando el mismo valor de  $X_1/X_M$  utilizado anteriormente.
- 3) Resolver la ecuación (3.22) para  $X_1$ .
- 4) Resolver la ecuación (3.20) para  $X_M$ , usando  $X_1$  a partir de la ecuación (3.22) y la relación de  $X_1/X_M$  a partir de la ecuación (3.20) y ecuación (3.22).
- 5) Continuar iterando la solución hasta que se obtienen los valores estables de  $X_1$  y  $X_M$  en 0.1%.

$$B_M = \frac{1}{X_M} \quad \text{Ecuación (3.23)}$$

$$X_{2L} = \frac{X_{1L}}{\frac{X_1}{X_2}} \quad \text{Ecuación (3.24)}$$

$$X_2 = \frac{f}{f_L} \times X_{2L} \quad \text{Ecuación (3.25)}$$

$$G_{fe} = \frac{P_H}{m V_{10}^2} \times \left( \frac{X_1}{X_2} + \frac{X_1}{X_M} \right)^2 \quad \text{Ecuación (3.26)}$$

Dónde:

P: Es las pérdidas totales en el núcleo dada en (W), tal como se determina en la **sección 3.5.3.3**.

$$R_{fe} = \frac{1}{G_{fe}} \quad \text{Ecuación (3.27)}$$

$$R_{2L} = \left( \frac{P_L}{m I_{1L}^2} - R_{1L} \right) \times \left( 1 + \frac{X_2}{X_M} \right)^2 - \left( \frac{X_2}{X_1} \right)^2 x (x_{1L}^2 * G_{fe}) \quad \text{Ecuación (3.28)}$$

Dónde:

R<sub>1L</sub>: Es igual a ½ de la resistencia de línea a línea del devanado del estator en ohm en la prueba de temperatura.

Los valores correctos de R<sub>1L</sub> y R<sub>2L</sub> a la Temperatura especificada se deben calcular utilizando la ecuación (3.33) e identificar como R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub>.

### 3.9 PÉRDIDAS EN LAS ESCOBILLAS

Esta medida se usa en los métodos de eficiencia F y F1 que se describen más adelante. Para las máquinas de rotor bobinado, la pérdida de contactos de escobillas está determinada por el producto de la corriente secundaria calculada y una caída de tensión. La caída de tensión en todas las escobillas de la misma fase (entre los anillos en una máquina de tres anillos) puede suponerse que es 1.0V en escobillas de carbono o grafito y 0.3 V para las escobillas de carbón metálico.

### 3.10 FACTOR DE POTENCIA

Al determinar las características de rendimiento de la máquina, el factor de potencia de la máquina se determinará para cada punto de carga utilizando la ecuación (3.29).

$$PF = \frac{P}{\sqrt{3} * VI} \quad \text{Ecuación (3.29)}$$

Donde.

**P:** Es la potencia eléctrica de la maquina dada en (W), entrada para un motor y salida para un generador.

**P<sub>f</sub>:** Es el factor de potencia de la maquina

**V:** Es el voltaje de entrada de línea a línea (V)

**I:** Es la corriente de entrada (A)

**NOTA:** el factor de potencia PF obtenida con la ecuación (3.29) es un valor numérico obtenido de manera de porcentaje multiplicando por 100 el valor numérico.

Otro método más directo para calcular el factor de potencia es Cuando se utiliza el método de dos vatímetros para medir la potencia de entrada de una maquina trifásica el factor de potencia PF en porcentaje se puede comprobar por la ecuación (3.30).

$$PF = \frac{100}{\sqrt{1 + 3\left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}\right)^2}} \quad \text{Ecuación (3.30)}$$

DONDE:

**P<sub>1</sub>**: Es la lectura más alta

**P<sub>2</sub>**: Es la lectura más baja

Si el vatímetro para la lectura  $P_2$  da una lectura negativa, ésta se considerará una cantidad negativa.

Si se utiliza un vatímetro polifásico, los valores de la lectura de dos vatímetros se pueden obtener mediante la apertura por separado cada uno de los circuitos de bobina de tensión del vatímetro polifásico. Con cargas pulsantes, el factor de potencia obtenido por el método directo puede ser más alto que la obtenida por el método indirecto. El valor más alto se considerará la lectura correcta. El factor de potencia en porcentaje puede determinarse también a partir del circuito equivalente multiplicando la resistencia total por 100 y luego dividiendo el resultado por impedancia total.

### 3.11 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA

La eficiencia es un cociente de la potencia de salida y la potencia total de entrada. La potencia de salida es igual a la potencia de entrada menos las pérdidas. Por lo tanto, si dos de estas variables (entrada salidas o pérdidas) son conocidas, la eficiencia puede ser determinada usando las ecuaciones (3.31), (3.32) o (3.23).

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}} \quad \text{Ecuación (3.31)}$$

Una fórmula comúnmente usada para motores.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia de entrada} - \text{pérdidas}}{\text{Potencia de entrada}} \quad \text{Ecuación (3.32)}$$

La fórmula usada para los generadores.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de salida} + \text{pérdidas}} \quad \text{Ecuación (3.33)}$$

A menos que de otra manera se especifique, la eficiencia deberá ser determinada al voltaje y la frecuencia nominal. Cuando un punto de carga esté disponible para otro voltaje del nominal. Puede ser combinado con el circuito equivalente (método F y F1) para calcular el funcionamiento a voltaje nominal.

### 3.12 MÉTODOS DE PRUEBA DE EFICIENCIA

Los métodos de eficiencia son variados y la determinación de pérdidas es identificada a continuación.

- a) **Método A** entrada-salida.
- b) **Método B** entrada salida con la segregación de pérdidas y medición indirecta de las pérdidas indeterminadas.
- c) **Método B1** entrada –salida con segregación de pérdidas, medición indirecta de pérdidas indeterminadas y temperatura determinadas.
- d) **Método C** máquinas dobles con segregación de pérdidas, medición indirecta de las pérdidas indeterminadas.
- e) **Método E** medición de la potencia eléctrica bajo carga con segregación de pérdidas y medición directa de pérdidas indeterminadas.
- f) **Método E1.** Medición de potencia eléctrica bajo carga con segregación de pérdidas y asumiendo un valor de pérdidas indeterminadas.
- g) **Método F** circuito equivalente con medición directa de pérdidas indeterminadas.
- h) **Método F1** circuito equivalente con valor asumido de pérdidas indeterminadas.
- i) **Método C/F** circuito equivalente calibrado por el método C con medición de pérdidas indeterminadas.
- j) **Método E/F** circuito equivalente calibrada por el método E con punto de carga con medición directa de pérdidas indeterminadas.
- k) **Método E1/F1** circuito equivalente calibrado para el método E con punto de carga con un valor indeterminado de pérdidas.

### 3.12.1 GUÍA PARA ESCOGER EL MÉTODO DE PRUEBA DE EFICIENCIA.

El método de las entradas-salidas (método de prueba A) deberá ser limitado a máquinas con rangos nominales menores de 1 kW.

Las máquinas horizontales con un rango de 1-300 kW deberán ser probarse por el método B si la construcción de los rodamientos lo permite. De no ser así, el método E, E1, F, F1 serán usados.

Máquinas con valores nominales mayores de 300 kW deberán ser aprobadas por los métodos B, B1, C, C1, E, E1, F, F1. Dependiendo de la capacidad de la prueba. Cuando las facilidades propias de la prueba están disponibles. El método B será seleccionado cuando la precisión y la respetabilidad del método que sea requerido.

Métodos de pruebas de eficiencia (C/F, E/F, E1/F1) provee el nivel de confianza de las pruebas a carga nominal con la simplicidad de determinar el rendimiento de varias cargas como la solución del circuito equivalente.

### 3.13 MÉTODO DE PRUEBAS DE EFICIENCIA A. ENTRADAS-SALIDAS.

Para este método la eficiencia es calculada como el cociente entre la potencia de salida medida con la potencia de entrada medida. El procedimiento de prueba en este método de eficiencia es el siguiente.

Primero se debe medir la resistencia en frío es decir medir y registrar la resistencia del bobinado incluyendo la temperatura. Luego se debe realizar la prueba sin carga como se indica en la sección 3.5.3 así como también la prueba bajo carga siguiendo el procedimiento descrito en la sección 3.6.

### 3.13.1. CÁLCULOS.

El rendimiento es calculado como se muestra en la forma A en **sección 2.19.3**. Se debe realizar corrección del dinamómetro. Las pérdidas del estator  $I^2R$  y el deslizamiento deberán ser corregidos por temperatura como es indicado con anterioridad.

### 3.13.2. CORRECCIONES POR TEMPERATURA.

La potencia del estator es corregida para una temperatura específica. La cantidad requerida para corregir la potencia es determinada por la ecuación (3.34)

$$P_c = I_t^2 R_s - I_t^2 R_t. \quad \text{Ecuación (3.34)}$$

Dónde:

**P<sub>c</sub>**: Es la corrección de potencia necesaria en W

**I<sub>t</sub>**: Es la corriente de línea en A durante la prueba.

**R<sub>t</sub>**: Es la resistencia promedio en los bobinados en Ohms desconectados

**R<sub>s</sub>**: Es R<sub>t</sub> conectado para temperatura específica ver la ecuación 3.3

La potencia corregida del estator para el motor, es la potencia eléctrica medida durante la prueba más P<sub>c</sub>. La potencia corregida del estator para un generador es la potencia eléctrica medida durante la prueba menos P<sub>c</sub>.

El deslizamiento medido es corregido para una temperatura especificada usando la ecuación (3.9). Usar la potencia corregida mecánica y eléctrica para los cálculos de eficiencia.

## 3.14 MÉTODO DE PRUEBA DE EFICIENCIA B – ENTRADA SALIDAS CON SEGREGACIÓN DE PÉRDIDAS.

Todos los datos que son tomados de la máquina en operación, ya sea como motor o generador, para el cálculo de la eficiencia son requeridos. Las pérdidas totales aparentes (entradas menos salidas) es segregada en los diversos componentes. Las pérdidas indeterminadas se definen como la diferencia entre las pérdidas totales aparentes y la suma de las pérdidas convencionales (las pérdidas del rotor y estator  $I^2R$ , las pérdidas por el núcleo, las pérdidas por fricción y los arrollamientos). El valor de las pérdidas indeterminadas puede ser graficado vs el cuadrado del torque, y una regresión lineal es usada

para reducir el efecto de los errores aleatorios por las mediciones. Las pérdidas indeterminadas suavizadas son las que se usan para el cálculo final de las pérdidas y eficiencia.

### 3.14.1 PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS.

Las pruebas individuales que se realizan por el método B de prueba, deberán de ser realizadas en orden de lista. No es necesario que todas las pruebas sean desempeñadas en una sucesión de tiempo cada una siguiendo inmediatamente la otra. Las pruebas podrán ser realizadas individualmente si la temperatura de operación de la maquina es establecida cerca de la temperatura normal de operación para el tipo de datos previo a obtener los datos de la prueba.

Se debe registrar las resistencias de los devanados a temperatura ambiente, además se deben realizar las pruebas sin carga y bajo carga siguiendo los procedimientos previamente establecidos.

### 3.14.2 CÁLCULOS.

Para motores y generadores realice los cálculos usando el formato B mostrado en **Anexos** como guía, la fuente de cada uno de los ítems del formulario B o del método de cálculo mostrada **en Anexos**.

Se deben registrar las pérdidas en el rotor, el estator y las pérdidas por fricción y devanados, para cada prueba de pérdidas se siguen los procedimientos antes establecidos.

Las pérdidas del estator  $I^2R$ , para cada punto de carga deberán de realizarse usando el promedio de la resistencia del bobinado. Si la resistencia del bobinado es medida en cada punto durante la prueba, pueden ser usadas directamente en la determinación de las pérdidas del estator a cada punto. Si la temperatura del bobinado es obtenida por detectores integrados en el aparato, estas lecturas deberán ser convertidas en un valor equivalente promedio antes de hacer los cálculos de las pérdidas.

Para prueba de la resistencia a temperatura nominal, obtener la resistencia del bobinado desconectado y la temperatura del bobinado apagado con un detector local. Este detector deberá ser el mismo que se use durante la prueba de carga. Un valor aproximadamente cercano al promedio de temperatura puede ser determinado usando ecuación (3.35)

$$T_a = \frac{T_{tr} * T_t}{T_{td}} \quad \text{Ecuación (3.35)}$$

Dónde:

**T<sub>a</sub>**: Es la temperatura promedio desarrollada, en grados Celsius para usar en los cálculos de las pérdidas

**T<sub>tr</sub>**: Es la temperatura total en grados Celsius del aparato desconectado durante la prueba.

**T<sub>t</sub>**: Es la temperatura en grado Celsius en el detector durante la prueba.

**T<sub>td</sub>**: Es la temperatura en grados Celsius usando el detector de apagado en la prueba de temperatura.

La resistencia promedio usada en el cálculo de las pérdidas, pueden ser determinadas usando la ecuación 3 usando  $T_{tr} = T_a = T_b$  y  $R_a$  es igual al valor de la resistencia a temperatura de apagado.

Para este cálculo, el procedimiento es repetido para cada punto de carga.

### 3.14.2.1 PÉRDIDAS DEL ROTOR I<sup>2</sup>R.

**Ver sección 3.5.2.** El primer cálculo de las pérdidas del rotor es basado en la velocidad o deslizamiento actual medido para cada punto de carga y no requiere de ningún ajuste.

### 3.14.2.2. DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS INDETERMINADAS (MÉTODO INDIRECTO)

Las pérdidas indeterminadas deberán ser calculadas separadamente para cada punto de carga, substrayendo de la potencia total aparente las pérdidas del estator a temperatura de prueba, las pérdidas del núcleo, las pérdidas por fricción y arrollamientos y las pérdidas del rotor correspondientes al valor medido del deslizamiento.

### 3.14.2.3. DISMINUYENDO LAS PRUEBAS INDETERMINADAS.

Para disminuir las pérdidas indeterminadas, se puede usar un método de regresión lineal basado en expresar las pérdidas en función del cuadrado del torque. Los resultados del análisis deberán ser mostrados según la ecuación 2.36.

$$P_{SL} = AT^2 + B \quad \text{Ecuación (3.36)}$$

Dónde:

**P<sub>SL</sub>**: Es la pérdida indeterminada graficadas en W vs torque cuadrado.

**T**: Es el torque en N-m

**A**: Es la inclinación

**B**: Es el intercepto en cero con la línea de torque.

Si la inclinación es negativa, o si el factor de correlación es menor de 0.9, borre el peor punto y repita el análisis de regresión. Si este incrementa el factor de correlación es 0.9 o mayor, use una segunda regresión, y si la inclinación aun es negativa, la prueba es insatisfactoria. La fuente de error deberá ser investigada y corregida, y la prueba bajo carga deberá ser repetida.

### 3.14.3 CORRECCIONES.

#### 3.14.3.1 CORRECCIONES DE LAS PÉRDIDAS INDETERMINADAS.

La curva de las pérdidas indeterminadas es corregida moviendo la curva para ir dentro del origen mientras se mantenga la inclinación original. El resultado de la ecuación (3.37) que es usada para determinar el valor correcto de las pérdidas indeterminadas para cada punto.

$$P_{SLC} = AT^2 \qquad \text{Ecuación (3.37)}$$

**T:** Es el torque en N-m para cada punto de carga en **3.14.2.3**.

**A:** Es la inclinación de las pérdidas indeterminadas versus el torque cuadrado definido en **3.14.2.3**

### 3.14.3.2 CORRECCIONES POR TEMPERATURA DE LAS PÉRDIDAS DEL ESTATOR.

Las pérdidas corregidas del estator para cada punto de carga, es calculada usando la resistencia promedio corregida a una temperatura específica. Usando una resistencia y la temperatura total la resistencia desconectada, se corrige esta resistencia usando la ecuación (3.3). Calculando las pérdidas como se indica en la **sección 3.5.1**.

### 3.14.3.3 CORRECCIONES DE LAS PÉRDIDAS DEL ROTOR POR TEMPERATURA

La potencia mecánica (salida) corregida para cada punto de carga para el motor es igual a la diferencia entre la potencia eléctrica medida y las pérdidas totales corregidas. La potencia mecánica corregida en un generador es igual a la suma de la potencia eléctrica medida y las pérdidas totales corregidas.

### 3.14.4 EFICIENCIA Y FACTOR DE POTENCIA

Usar la potencia eléctrica medida y la potencia mecánica corregida para los cálculos de eficiencia. El factor de potencia de la maquina deberá ser determinado usando la ecuación 3.29 ver **sección 3.10**

## 3.15 MÉTODO DE PRUEBA DE EFICIENCIA C- MÁQUINAS DUPLICADAS

Este método para determinar la eficiencia puede ser usado cuando haya máquinas duplicadas disponibles. Dos de las máquinas están acopladas y están conectadas eléctricamente a dos fuentes de energía, siendo la frecuencia de una de ellas ajustable. Las dos fuentes de energía deben reunir los requisitos de las secciones **3.1.2 y 3.1.3** y deberá de ser capaz de entregar y absorber potencia. Las pérdidas indeterminadas deberán ser obtenidas por el Método indirecto.

### 3.15.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

Esta prueba individual constituye el Método C de prueba de eficiencia y deberá de realizarse en el orden listado. No es necesario que estas pruebas se realicen en una orden sucesiva cada una inmediatamente siguiendo a la prueba previa. Estas pruebas deberán realizarse de manera individual si la temperatura de operación de las máquinas está establecida cerca de la temperatura normal de operación para este tipo de prueba antes de obtener los datos de la prueba.

Para conveniencia en la descripción de este análisis, la maquina conectada a la fuente de energía con la frecuencia nominal constante durante la duración de la prueba es identificada como la maquina M1 y la maquina conectada a tensión variable, frecuencia variable es identificada como la maquina M2.

Con las máquinas a temperatura ambiente, medir y registrar las resistencias de los devanados de ambas máquinas y la temperatura ambiente. Además, Realizar la prueba sin carga en ambas máquinas como se indica en la **sección 3.5.3**.

### 3.15.2. PRUEBA BAJO CARGA.

Acople las máquinas juntas y disponga para la maquina M1 para que sea alimentada de la fuente de voltaje a frecuencia nominal y la maquina M2 para operar con la fuente a variable de voltaje. La máquina M1 deberá de ser cargada como un motor y como un generador a la línea de corrientes correspondientes a los cuatro puntos de carga aproximadamente igual espaciados entre ellos no menos del 25% y arriba del 100 de la carga y dos puntos de la carga deberán estar debidamente elegidos para estar por encima del 100 % de carga, pero no excediendo el 150%. Más puntos de carga pueden ser usados si es deseado. Para cada punto de prueba obtenga las lecturas de potencia eléctrica, corriente, tensión, frecuencia y la temperatura del devanado del estator o la resistencia del devanado del estator para ambas máquinas junto con la velocidad y la temperatura ambiente.

La prueba debería empezar con el punto de carga más alto de la maquina M1 operando como motor. Mientras se mantiene una tensión y frecuencia nominal en la maquina M1, disminuya la frecuencia y la tensión de la maquina M2 hasta que la corriente de línea de la maquina M1 sea aproximadamente igual a la del punto de carga más alto. Cuando la tensión de la maquina M2 dividido por la frecuencia es igual al voltaje nominal dividido por la frecuencia nominal, es un punto valido para la prueba y deberán de obtenerse las lecturas anteriores.

Directamente después de obtener las lecturas anteriores, incremente la frecuencia y el voltaje de la maquina M2 antes de la frecuencia nominal hasta que la corriente en la maquina M1, ahora operando como generador, sea la misma que fue obtenida cuando la maquina M1 estaba operando como motor. Cuando la maquina M2 tiene el valor de Voltaje /frecuencia es correcto, este es un punto valido de prueba y se deberán obtener los valores anteriores.

Dos de estos grupos de lecturas, con la maquina M1 operando como un motor y como generador, complete los datos de prueba requeridos para cada uno de los puntos de carga.

### 3.15.3 CÁLCULOS.

Para realizar los cálculos de la maquina se debe usar el formulario del método C mostrado en la sección **Anexos** como guía. Tomar cuidado en la organización de los datos. El análisis requiere el uso de esta información y los datos de ambas máquinas en los cálculos para las dos posiciones de cada punto de carga. La Formulario del método C están organizados para presentar los datos en la secuencia adecuada.

Se deben realizar los cálculos de las pérdidas por fricción y viento, pérdidas del núcleo y pérdidas en el estator siguiendo lo indicado en las **secciones 3.5.3.2, 3.5.3.3 y 3.5.1** respectivamente,

La prueba de medición de temperatura deberá ser usada cuando se ajuste la resistencia del devanado para la determinación de estas pérdidas del estator. El procedimiento para la corrección de temperatura

presentado en **sección 3.14.2** puede ser usado si es deseado, pero solamente cuando una prueba de temperatura es realizada a plena carga en una de las máquinas

### 3.15.3.1 PÉRDIDAS EN EL ROTOR $I^2 R$

**Ver sección 3.5.2.** Este cálculo está basado en la velocidad o deslizamiento actualmente medido por cada punto de carga y en cada parte de la prueba, y no requiere de ajustes. Use la descripción de un punto de carga de la prueba ver **sección 3.15.2**, maquina M1 es un motor y la ecuación (3.38) deberá ser usada mientras la maquina M2 es un generador y aplique la ecuación (3.39). Para la segunda mitad de cada punto, esto cambia con la ecuación (3.39) siendo aplicada a los cálculos de la maquina M1 y la ecuación (3.38) a los cálculos de la maquina M2.

Las pérdidas  $I^2R$  en el rotor del motor son:

pérdidas en el rotor

$$I^2R = \text{deslizamiento}(\text{entrada} - \text{pérdidas } I^2R \text{ del estator} - \text{perdidas del nucleo}) \quad \text{Ecuación (3.38)}$$

Donde la última cantidad, entrada- pérdidas del estator – pérdidas en el núcleo, es la potencia a través del entrehierro del motor y el deslizamiento en por unidad, es el deslizamiento calculado de la velocidad medida y la frecuencia.

Las pérdidas  $I^2R$  en el rotor del generador son:

pérdidas en el rotor

$$I^2R = \text{deslizamiento}(\text{entrada} + \text{pérdidas } I^2R \text{ del estator} + \text{perdidas del nucleo}) \quad \text{Ecuación (3.39)}$$

Donde la última cantidad, entrada+ pérdidas del estator +pérdidas en el núcleo, es la potencia a través del entrehierro del generador y el deslizamiento en por unidad, es el deslizamiento calculado de la velocidad medida y la frecuencia.

### 3.15.3.2 PÉRDIDAS INDETERMINADAS.

Maquina M1 operando como motor.

Las pérdidas indeterminadas son asumidas para ser proporcionales al cuadrado de la corriente del rotor. Las pérdidas indeterminadas son calculadas como se muestran en la ecuación (3.40) y la ecuación (3.41).

Para la maquina M1 (como motor):

$$\text{perdidas indetm} = \text{perdidas del rotor}_{\text{motor}} \times \frac{\text{perdidas indeterminadas combinadas}}{\text{perdidas del rotor}_{\text{motor}} + \text{perdidas del rotor}_{\text{generador}}} \quad \text{Ecuación (3.40)}$$

Para la maquina M2 (como generador)

$$\text{perdidas por carga del generador} = \text{perdidas ind. combinadas} - \text{perdidas ind. del motor} \quad \text{Ecuación (3.41)}$$

Maquina M1 operando como generador.

Repita los cálculos anteriores usando la ecuación (3.40) para M2 y la ecuación (3.41) para M1).

NOTA: se deben realizar correcciones de temperatura en todas aquellas pruebas que lo requieran.

#### 3.15.4 EFICIENCIA.

Use la potencia eléctrica medida y la potencia mecánica corregida para calcular la eficiencia. **Ver sección 3.11**

#### 3.15.5 FACTOR DE POTENCIA.

El factor de potencia de la maquina deberá ser determinado por cada punto de carga usando la ecuación (3.29). **Ver sección 3.10.**

### 3.16 MÉTODO DE PRUEBA DE EFICIENCIA E O E1- MEDICIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA CON SEGREGACIÓN DE PÉRDIDAS.

Este método de prueba mide la potencia de entrada y determina la potencia de salida restando las pérdidas totales de la entrada. Las pérdidas totales son la suma de las pérdidas del rotor y el estator corregidas a una temperatura especificada por corrección de resistencia, las pérdidas del núcleo, las pérdidas por fricción y viento, y las pérdidas indeterminadas.

#### 3.16.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

Se deben realizar las pruebas de medición de la resistencia del devanado, la prueba bajo carga y la prueba sin cargas según lo indicado anteriormente en las secciones correspondientes a estas pruebas.

El valor de las pérdidas indeterminadas a plena carga es usado en el Método de prueba de eficiencia E es determinado por el Método directo. Realice la prueba siguiendo lo establecida en la **sección 3.7.2**. El Método de prueba de eficiencia E1 usa un valor asumido de la **sección 3.7.4** (no se requiere prueba).

#### 3.16.2 CÁLCULOS.

Para calcular el rendimiento del motor o generador se debe seguir el Formulario E. **Anexos**. Como guía. La fuente de cada uno de los puntos del formulario E o el método de su cálculo se muestra en el Formulario E2 en la **Anexos**. El cálculo de pérdidas por viento y fricción, pérdidas en el núcleo, pérdidas del estator, pérdidas indeterminadas y pérdidas del rotor deben hacerse siguiendo lo establecido en la sección 3.5.3.2, sección 3.5.3.3, sección 3.5.4.y sección 3.5.2. Respectivamente las pérdidas del estator  $I^2R$  deberán ser corregidos para una temperatura especificada del devanado. El del deslizamiento deberá ser corregido para un valor específico de temperatura del devanado antes de realizar el cálculo de pérdidas del rotor.

##### 3.16.2.1 PÉRDIDAS TOTALES Y LA POTENCIA DE SALIDA.

Las pérdidas totales de la maquina son la suma de las pérdidas por viento y fricción, las pérdidas del núcleo, las pérdidas  $I^2R$  del estator, las pérdidas  $I^2R$  del rotor y las pérdidas indeterminadas. La potencia de salida en el eje de un motor es igual a la potencia eléctrica de entrada al estator menos las pérdidas totales anteriores. Para un generador, la potencia de salida es igual a la potencia eléctrica de entrada durante la prueba con carga y la potencia de entrada en el eje es igual a la potencia eléctrica de entrada más las pérdidas anteriores.

### 3.17 MÉTODO DE PRUEBA DE EFICIENCIA F O F1. CIRCUITO EQUIVALENTE.

Cuando no se hacen pruebas bajo carga, las características de operación son calculadas en base con el circuito equivalente mostrado en la figura 3.1. Los parámetros de la maquina en el circuito equivalente son derivados de los datos registrados durante una prueba sin carga y una prueba de impedancias.

Una predicción exacta de las características de la maquina en las condiciones normales de operación sobre la proximidad con la que  $R_2$  represente la resistencia real del rotor a las corrientes a baja frecuencia y de segundo lugar, sobre la proximidad con la que  $X_2$  represente la reactancia de fuga real del rotor de corrientes a baja frecuencia. Por lo tanto, es imprescindible que el procedimiento durante la prueba sea cauteloso para poder determinar las características el rotor a baja frecuencia.

### 3.17.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

Con la maquina a temperatura ambiente, se deberá medir y registrar las resistencias de los devanados y la temperatura ambiente. La prueba sin carga se debe realizar en base a lo indicado en la sección 3.5.3. Antes de realizar esta prueba, la maquina deberá estar operando sin carga hasta que la potencia de entrada este estabilizada.

Las pruebas de impedancia, pérdidas por viento y fricción, pérdidas en el núcleo y la determinación del circuito equivalente se deben realizar en base a lo indicado en las secciones correspondientes.

Las pérdidas indeterminadas se deben determinar siguiendo los procedimientos de prueba del método de eficiencias  $F$  Y el método de prueba  $F_1$

#### 3.17.1.1. FORMULARIO DE CÁLCULO.

Los cálculos empiezan con asumir los valores de la velocidad para cada punto de cálculo y procede a lo largo de los pasos mostrados en formulario  $F_2$  de la sección Anexos. Después de complementar la primera serie de cálculos, los resultados deberán ser revisados y los nuevos valores de deslizamiento seleccionados podrán ser más claramente representados en los puntos de cargas deseados. Repita los cálculos para completar el índice de características. Los cálculos iterativos deberán ser usados para determinar el propio valor del deslizamiento. Formularios  $F_2$  y  $F$  son usadas para los cálculos de rendimiento. Los formularios son dispuestos en base constante  $X_1$  y  $X_2$  a lo largo del rango de operación de la máquina. La curva de las corrientes de rotor bloqueado versus voltaje debería partir con una línea recta en el rango de corriente de consideración de la prueba, en cada columna de cálculos del formulario presentado en la sección Anexos deberá usarse los valores de reactancia obtenidos de esta curva con el valor de  $I_1$ .

### 3.17.2 CÁLCULO DEL PAR MÁXIMO

El par máximo o descarga destructiva en un motor puede ser aproximado por el cálculo del procedimiento dado en la sección 3.19.14 utilizando el valor de deslizamiento calculado con la ecuación (3.42).

$$S = \frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2}} \quad \text{Ecuación (3.42)}$$

### 3.18 MÉTODOS DE PRUEBA DE EFICIENCIA C / F, E / F, O E1 / F1- CIRCUITO EQUIVALENTE CALIBRADOS CON UN PUNTO DE CARGA.

Cuando un punto de prueba bajo carga para una temperatura del estator  $t_1$  está disponible, el circuito equivalente se puede calibrar al mejorar los valores para  $R_2$  y  $X_M$ . El siguiente procedimiento se usa después de haber obtenido previamente valores iniciales para los circuitos de los parámetros equivalentes que se han determinado en la sección 3.19.15.

- a) Use los formatos F y F2 (ver la sección 3.19.13 y 3.19.14), pero se debe comenzar con la segunda línea con un valor supuesto de  $R_2 / s$  para el punto de carga de prueba y el valor de  $R_1$  basado en la temperatura  $t_1$  del bobinado del estator. Después de alcanzar el cálculo de la potencia del estator, verifique el valor calculado de la corriente de entrada y la potencia de entrada vs los valores medidos de corriente de entrada y la potencia de entrada.
- b) Ajuste los valores de  $R_2 / s$  y  $X_M$  e iterar hasta que el valor calculado de potencia y corriente de entrada coincidan ambas con el valor medido de la potencia y corriente de entrada actual y del nuevo medido sin haber una diferencia de 1% entre estos valores. Otros parámetros del circuito no deben ajustarse solo los antes mencionados. (la Potencia de entrada es principalmente una función de  $R_2 / s$ ).
- c) Obtener  $R_2$  multiplicando el valor final supuesta de  $R_2 / s$  por el valor medido de deslizamiento en por unidad de velocidad de sincronismo. Este procedimiento establece el valor de  $R_2$  (sin corrección de temperatura) para ser utilizado en el cálculo de las características de rendimiento de carga.
- d) Los valores de  $R_1$  y  $R_2$  deben ser corregidas a la temperatura especificada  $t_s$ . Utilizando la ecuación (3.3), y determinar el rendimiento en los puntos de carga deseados siguiendo el procedimiento del formato mostrado la sección 3.19.3.

#### 3.18.1 PÉRDIDAS INDETERMINADAS.

##### 3.18.1.1 MÉTODO DE ENSAYO C / F

Para el método de C / F, las pérdidas indeterminadas se determinarán de la siguiente manera:

- a) Tanto para el motor y el generador para un punto de carga, determinar el valor promedio de las pérdidas indeterminadas.  $PSL_{avg}$ , siguiendo el procedimiento descrito en la sección 3.15.3.2.
- b) Determinar el valor promedio de la corriente del rotor, tanto para el motor y el generador para puntos de carga diferentes para ambos cálculos. El promedio de estos dos valores es  $I_{2avg}$  para su uso en la ecuación (3.43).
- c) El valor de las pérdidas indeterminadas,  $PSL$ , para cualquier punto de carga se calcula entonces como se muestra en la Ecuación (3.43)

$$PSL = PSL_{avg} \left( \frac{I_2}{I_{2avg}} \right)^2 \quad \text{Ecuación (3.43)}$$

Dónde:

**PSLavg:** Es el valor promedio de las pérdidas de indeterminadas del literal a)

**I2:** Es la corriente del rotor, en A, determinado por solución del circuito equivalente para el punto de carga apropiado.

**I2avg:** Es el valor promedio de la corriente del rotor, en A, del literal b)

El valor de las pérdidas indeterminadas, P'SL, debe corresponder a un valor de I2avg igual al valor promedio de la corriente del rotor determinado a partir del literal b).

### 3.19. FORMULARIOS

#### 3.19.1 FORMULARIOS DE PRUEBA E INFORMACIÓN DE APOYO.

Los procedimientos de prueba no requieren que los formularios de prueba presentados deben ser utilizados, sin embargo, los formularios y la información de apoyo sí muestran la secuencia de pruebas que deben utilizarse y que guían los cálculos con ecuaciones usando números de la línea de posición de los formularios. Se espera que los análisis de prueba se lograrán usando programas de ordenador y en muchos casos con datos obtenidos por medios electrónicos e ir directamente en el programa de análisis.

#### 3.19.2. RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS

Una tabla o lista de resumen de las características es una parte de cada formulario de prueba. Con la mayoría de los métodos de ensayo, los valores a los valores de carga específicos se obtienen a partir de gráficas de los valores calculados de los puntos de prueba. A partir de una curva definida por estos puntos, se pueden obtener los valores de los puntos de interés. Valores de carga de 25, 50, 75, 100,125, y el 150% de la carga nominal se utilizan comúnmente. Cualquier otra carga de interés también puede mostrarse. El factor de potencia aquí se calcula para cada punto de carga precisa utilizando el voltaje, corriente y potencia obtenida a partir de los datos representados. Los gráficos de datos mencionados pueden ser un manual o una trama generada por ordenador o de los valores de datos requeridos en los puntos de carga específicos pueden ser calculados a partir de una curva virtual computarizado si dichos programas están disponibles. Resúmenes de datos para las pruebas Método F pueden ser calculadas para los puntos deseados precisas; un gráfico de los datos no es necesario.

A continuación, se presentan los formularios de los diferentes métodos de ensayo de eficiencia en los anexos A1 de este documento

CAPITULO IV: PROPUESTA DE DISEÑO DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELECTRICAS  
Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL EQUIPO A UTILIZAR.

#### 4.1 MEJORAS DE LA RED DE TIERRA DEL EDIFICIO.

Actualmente el valor de la resistencia de tierra del sistema del edificio de potencia de la EIE es de  $3.09 \Omega$ , un valor que está por encima de los valores máximos permitidos de resistencia de tierra de una subestación en función de su capacidad según lo establecido en el acuerdo N°29-E-2000 “Norma técnica de diseño seguridad y operación de las instalaciones de distribución”, ya que la subestación del edificio es de 300KVA y esta deberá tener un valor de resistencia máximo de  $2 \Omega$ . Por el incumplimiento del valor de resistencia antes mencionada se debe realizar un refuerzo a la red de tierra actual para que esta cumpla el valor máximo de  $2 \Omega$ .

Para un diseño de una red de tierra es importante conocer la resistividad del terreno por ello se realizó la medición de la resistividad utilizando el método de los cuatro terminales o método de wenner, este método utiliza cuatro electrodos de tamaño pequeño enterrados en la mínima cantidad y a distancias iguales entre ellos en una línea recta como se muestra en la figura 4.1.

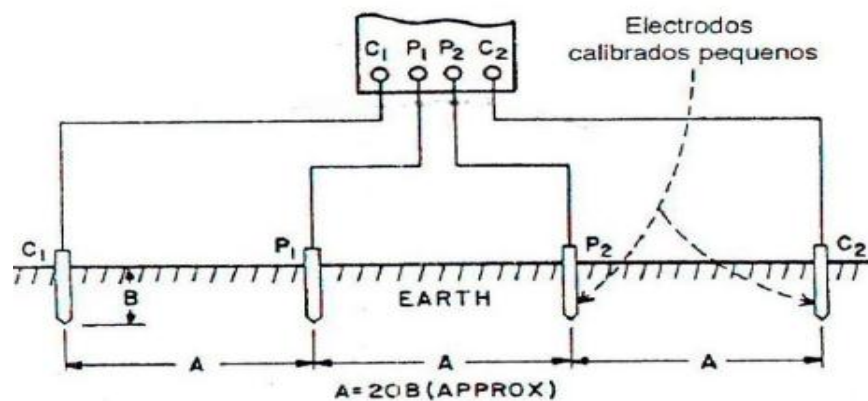


Figura 4. 1 Prueba de resistividad por el método de los cuatro terminales.

Para realizar la prueba de cuatro puntos se enterraron las barrillas a una profundidad de 25cm y separadas primeramente una distancia de 0.50mts y luego aumentando este espaciamiento hasta 2.0mts en incrementos de 0.50mts. Los resultados de estas pruebas se muestran en la tabla 4.1. Los cuales establecen una resistividad aparente promedio de **85  $\Omega$ .m**.

Espaciamiento [m]	Resistencia [ $\Omega$ ]	Resistividad [ $\Omega$ .m]
0.5	33.18	103
1	11.85	73.8
1.5	8.994	84
2	6.358	79.3

Tabla 4. 1 Datos de Resistividad.

Se debe diseñar un arreglo de electrodos que se debe conectar en paralelo con la red de tierra existencia y así lograr la reducción del valor hasta  $2 \Omega$ . Para ello necesitamos saber de cuánto debe de ser el valor de la resistencia del nuevo arreglo de electrodos, este valor lo encontramos con la ecuación 4.1 de resistencia en paralelo.

$$R_T = \frac{R_a * R_n}{R_a + R_n} \quad \text{Ecuación (4. 1)}$$

Donde  $R_T=2 \Omega$ ,  $R_a=3.09 \Omega$ ,  $R_n$ = resistencia del nueva arreglo de electrodos a conectar en paralelo. Sustituyendo valores y despejando para  $R_n$  tenemos.

$$R_n = 5.6 \Omega$$

#### 4.1.1 COMPORTAMIENTO DE UNA VARILLA DE PAT

Para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra para la configuración de una varilla vertical según formula de Dwight establecida en la norma IEEE std 142-1991 "Recommended practice for Grounding of Industrial and commercial Power Systems" tenemos.

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \quad \text{Ecuación (4. 2)}$$

En donde:

$\rho$ : es la resistividad del suelo homogéneo,  $\Omega.m$

$L$ : longitud de la varilla, m

$a$ : radio de la varilla, m

$R$ : es la resistencia de tierra,  $\Omega$

Para el arreglo de puesta tierra se utilizaran varillas de acero recubierta de cobre (Cu) de 5/8" de diámetro y 10' de longitud, conociendo que la resistividad del terreno es  $\rho$ = de **85  $\Omega.m$** . calculando la resistencia de una varilla con las especificaciones anteriores utilizando la ecuación 4.2 tenemos.

$$\rho = 85 \Omega.m$$

$$L = 3.05 \text{ m}$$

$$a = 0.00793 \text{ m}$$

$$R = \frac{85 \Omega.m}{2\pi(3.05m)} \left[ \ln \left( \frac{4*3.05m}{0.00793m} \right) - 1 \right] = 28.47 \Omega$$

La norma IEEE std 142-1991 recomienda utilizar de 2 a 24 varillas en línea en configuración lineal, triangular, circular o cuadrado. Las varillas separadas una distancia equivalente a la longitud de la varilla. La resistencia será el valor de resistencia de una varilla dividida entre "n" (total de varillas) y multiplicada por el factor "F" dado en la tabla 4.2 tomada de la tabla 4.6 de la norma IEEE 142. Para valores de "n" distintos a los de la tabla, se usará una interpolación. La fórmula que establece para el cálculo del valor de la resistencia para n número de varillas se muestra en ecuación 4.3.

$$R_{eq} = F * \frac{R_{varilla}}{n} \quad \text{Ecuación (4.3)}$$

Si utilizamos 12 varillas tenemos.

$$R_{eq} = 1.8 * \frac{28.47}{12} = 4.27 \Omega = R_n$$

N° de barra	Factor (F)
2	1.16
3	1.29
4	1.36
8	1.68
12	1.8
16	1.92
20	2
24	2.16

Tabla 4. 2 Factor multiplicador para múltiples varillas.

Realizando el arreglo de las 12 varillas antes mencionadas y conectando dicho arreglo a la red de tierra existente teóricamente se esperarí un valor de resistencia total de **1.80 Ω** calculado con la ecuación 4.1, que está por debajo del valor máximo permitido. El arreglo anterior es una solución para el cumplimiento de lo establecido en la “Norma técnica de diseño seguridad y operación de las instalaciones de distribución”.

$$RT = \frac{3.09 \cdot 4.27}{3.09 + 4.47} = 1.80 \Omega$$

#### 4.1.2 OBSERVACIONES.

- La separación entre dos varillas como mínimo deberá ser 1.83 m (6 pies) de acuerdo al NEC; “h” (enterramiento de la varilla del nivel del suelo), según el NEC debe ser 0.762 m (2 ½ pies), mínimo. En la figura se establece una recomendación de la norma Mexicana para usar 2L, como separación óptima. Las variables antes mencionadas se muestran en la figura 4.2.
- Existen distintos métodos para lograr la reducción para lograr la reducción de la resistencia eléctrica, aunque todos ellos presentan un punto de saturación que es conveniente conocer para evitar diseños antieconómicos entre ellos están: el aumento de electrodos en paralelo, aumento entre las distancias de los electrodos, aumento de longitud, aumento de diámetro y tratamiento químico.

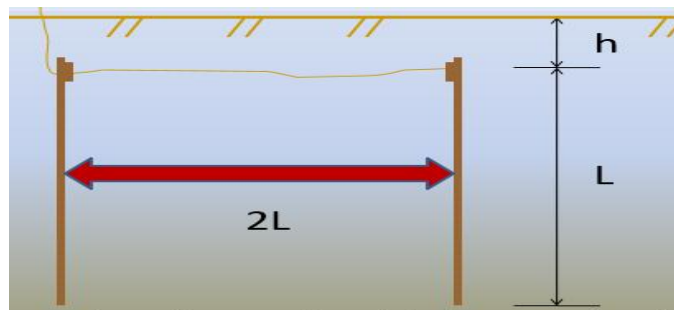


Figura 4. 2 Red de tierra de dos varillas.

**CONEXIÓN Y UBICACIÓN DE LOS ELECTRODOS DE TIERRA.**

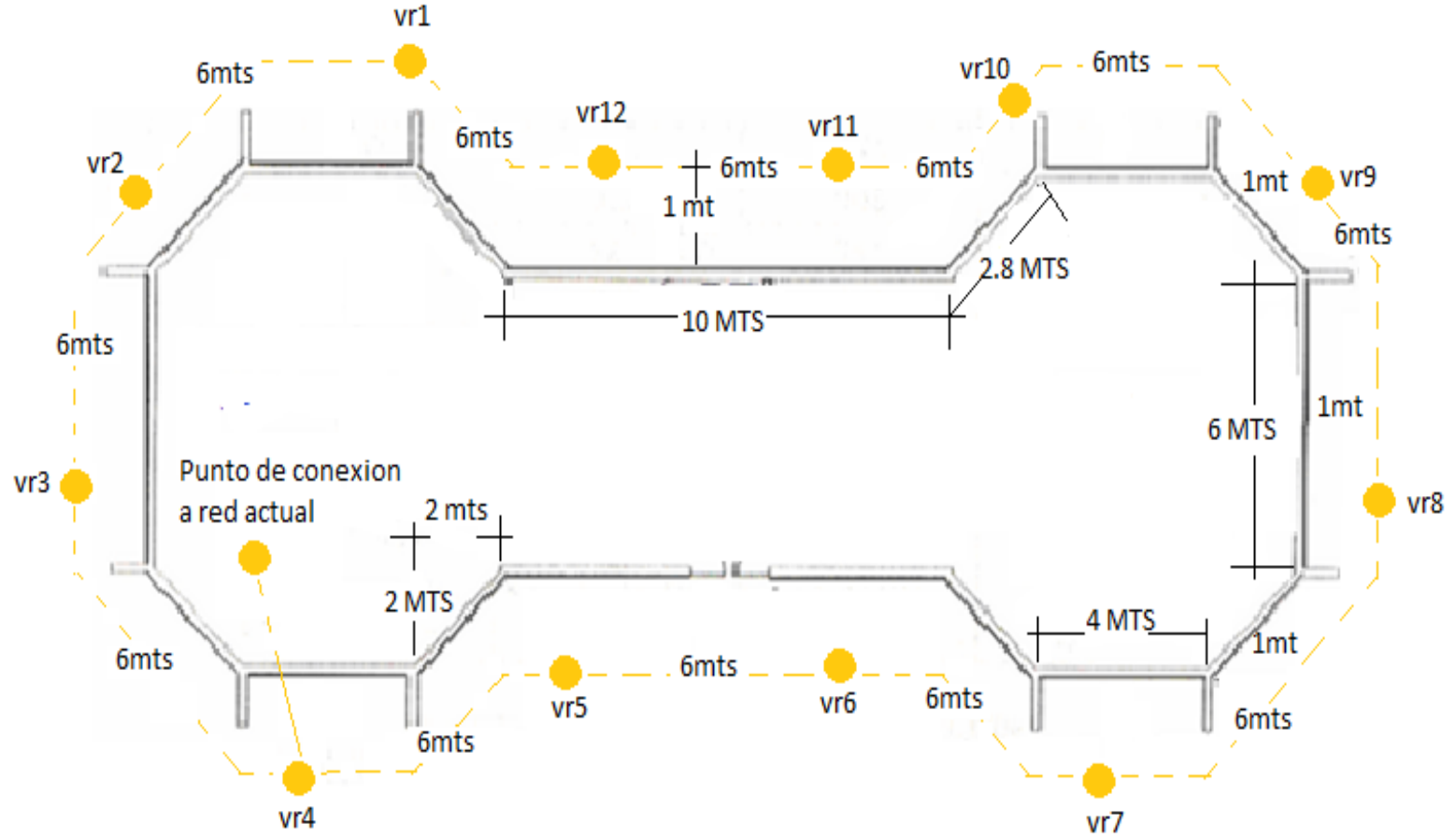


Figura 4. 3 Ubicación de la red de tierra.

En la figura 4.3 se muestra la distribución de las 12 varillas en el perímetro del edificio de potencia. La separación entre cada varia se tomó como la distancia optima dos veces la longitud de las barrillas es decir aproximadamente 6 mts. El conductor del electrodo de puesta a tierra y el mismo que servirá de unión entre los electrodos se calcula en base al calibre del mayor conductor no puesto a tierra de la entrada de la acometida de la subestación que es 2/0 de cobre y utilizando la tabla 4.3 extraída de la tabla 250.66 del NEC se deduce que el cable de puesta a tierra mínimo a utilizar debe de ser calibre #4 AWG.

Calibre del conductor no puesto a tierra de entrada de la acometida		Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra	
Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
2 o menor	1/0 o menor	8	6
1 o 1/0	2/0 o 3/0	6	4
2/0 o 3/0	4/0 o 250	4	2
Más de 3/0 hasta 350	Más de 250 hasta 500	2	1/0
Más de 350 hasta 600	Más de 500 hasta 900	1/0	3/0
Más de 600 hasta 1100	Más de 900 hasta 1750	2/0	4/0
Más de 1100	Más de 1750	3/0	250

Tabla 4.3 Conductores del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna.

En la figura 4.4 se presenta las dimensiones que debe tener el pozo donde se colocaran las varillas, ahí se muestra que este debe de ser de 3.50 metros ya que la profundidad de enterramiento de piso terminado de las varillas debe de ser de 1metro.

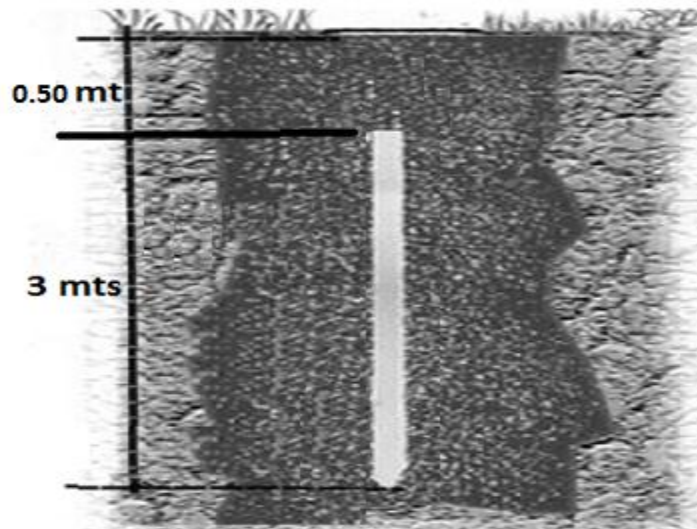


Figura 4.4 Pozo de tierra

En la tabla 4.4 se presenta un resume de los parámetros de diseño de la red de tierra que reforzara la red existente del edificio de potencia de EIE.

<b>ESPECIFICACIONES DE RED DE TIERRA DEL EDIFICIO DE POTENCIA DE LA EIE.</b>	
<b><u>1. CARACTERISTICAS DE LA SUBESTACION</u></b>	
Potencia de la subestación (S)	300KVA
Resistencia de red actual (Rga)	3.09 $\Omega$
Resistividad del terreno ( $\rho$ )	85 $\Omega$ -m
<b><u>2. RED DE TIERRA DE REFUERZO</u></b>	
Separación entre varillas (D)	6 m
Profundidad de enterramiento (h)	0.50 m
Numero de varillas	12
Longitud de conductor enterrado (Lt)	85 m
<b><u>VARRILLAS (ELECTRODOS)</u></b>	
Material cobre suave	
Diámetro	5/8 pulg
Longitud	3 m
<b><u>CONDUCTOR</u></b>	
Material Cobre Suave	
Calibre	4 AWG
Diámetro	0.0052 m

Tabla 4. 4 Tabla resumen de los parámetros de diseño de la red de tierra.

## 4.2 MEJORAS DEL SISTEMA ELECTRICO.

A continuación se presentan las mejoras eléctricas necesarias enfocadas en mantener la calidad de la energía en el edificio de potencia de la EIE, garantizando con ello el buen funcionamiento de los equipos conectados a la subestación del edificio así como las máquinas que serán sometidas a pruebas en el laboratorio de máquinas eléctricas. La mejora de red de tierra del edificio es una de las mejoras eléctricas que deben hacerse al edificio de potencia y fue tratada por separado en la sección anterior, en esta sección nos enfocamos en las perturbaciones en la calidad del suministro eléctrico que la IEEE ha organizado en siete categorías según la forma de onda y que pueden afectar drásticamente los máquinas eléctricas sometidas a prueba en el laboratorio.

1. Transitorios
2. Interrupciones
3. Bajada de tensión
4. Aumento de tensión
5. Distorsión armónica
6. Variaciones de frecuencia

### 4.2.1 TRANSITORIO

Los transitorios, que son potencialmente el tipo de perturbación energética más perjudicial, se dividen en dos subcategorías:

1. Impulsivos
2. Oscilatorios

Los transitorios impulsivos son eventos repentinos de cresta alta que elevan la tensión y/o los niveles de corriente en dirección positiva o negativa. Estos tipos de eventos pueden clasificarse más detenidamente por la velocidad a la que ocurren (rápida, media y lenta). Las causas de los transitorios impulsivos incluyen los rayos, puesta a tierra deficiente, encendido de cargas inductivas, liberación de falla de la red eléctrica y descargas electrostática (ESD).

Dos de los métodos de protección más viables contra los transitorios impulsivos es la eliminación de descargas electrostática potencial y el uso de supresores de sobretensión transitoria TVSS.

Un transitorio oscilatorio es un cambio repentino en la condición de estado estable de la tensión o la corriente de una señal, o de ambas, tanto en los límites positivo como negativo de la señal, que oscila a la frecuencia natural del sistema. En términos simples, el transitorio hace que la señal de suministro produzca un aumento de tensión y luego una bajada de tensión en forma alternada y muy rápida.

Estos transitorios ocurren cuando uno conmuta una carga inductiva o capacitiva, como un motor o un banco de capacitores. El resultado es un transitorio oscilatorio porque la carga resiste el cambio. Por ejemplo, al apagar un motor en rotación, se comporta brevemente como un generador a medida que pierde energía, por lo que produce electricidad y la envía a través de la distribución eléctrica.

Los sistemas UPS son muy eficaces para reducir los daños que puedan causar los transitorios oscilatorios.

#### 4.2.2 INTERRUPCIONES

Una interrupción se define como la pérdida total de tensión o corriente. Según su duración una interrupción se clasifica como instantánea, momentánea, temporal o sostenida. El rango de duración para los tipos de interrupciones es el siguiente.

Instantánea ----- (0.50 a 30 ciclos)

Momentánea----- (30 ciclos a 2 segundos)

Temporal----- (2 segundos a 2 minutos)

Sostenida----- (mayor a 2 minutos)

Las causas de las interrupciones pueden variar, pero generalmente son el resultado de algún tipo de daño de la red de suministro eléctrico, como caídas de rayos, animales, árboles, accidentes vehiculares, condiciones atmosféricas destructivas (vientos fuertes).

Las soluciones para evitar las interrupciones varían tanto en eficiencia como en costo. El primer esfuerzo debería ser eliminar o reducir la probabilidad de problemas potenciales. Una vez reducido el potencial de problemas, se necesitan equipos o métodos de diseño adicionales para permitir que los equipos resistan (permanezcan funcionando en forma constante durante perturbaciones en la calidad del suministro) o que se reinicien después (y durante) interrupciones inevitables. Los dispositivos de reducción más comunes empleados son los sistemas de energía interrumpibles (UPS), los moto generadores, y el uso de técnicas de diseño de sistemas que aprovechan los sistemas redundantes y el almacenamiento de energía.

#### 4.2.3 BAJADA DE TENSION.

Una bajada de tensión es una reducción de la tensión de CA a una frecuencia dada con una duración de 0.5 ciclos a 1 minuto. Las bajadas de tensión suelen ser provocadas por fallas del sistema, y

Frecuentemente también son el resultado de encender cargas con altas demandas de corriente de arranque.

La solución más eficaz a la bajada de tensión es agregar un circuito dedicado para cargas con grandes corrientes de arranque tal vez no siempre sea práctico o económico, especialmente si un establecimiento completo tiene muchas cargas con grandes corrientes de arranque. Otras soluciones para las cargas con grandes corrientes de arranque incluyen métodos alternativos de suministro de corriente que no cargan el resto de la infraestructura eléctrica en el arranque de motores, como arrancadores de tensión reducida, ya sea con autotransformadores o configuraciones de estrella/delta. También está disponible un arrancador suave del tipo estado sólido, eficaz para reducir la bajada de tensión cuando arranca un motor.

#### 4.2.4 AUMENTO DE TENSION.

Un aumento de tensión es la forma inversa de una bajada de tensión, y tiene un aumento en la tensión de CA con una duración de 0.5 ciclos a 1 minuto. En el caso de los aumentos de tensión, son causas comunes las conexiones neutras de alta impedancia, las reducciones repentinas de carga (especialmente cargas grandes) y una falla monofásica sobre un sistema trifásico. Los UPS son una solución factible a este tipo de problemas.

#### 4.2.5 DISTORSIÓN ARMÓNICA.

La distorsión armónica es la corrupción de la onda senoidal fundamental a frecuencias que son múltiplos de la fundamental. (Por ejemplo, 180Hz es la tercera armónica de una frecuencia fundamental de 60Hz). Este fenómeno causa sobrecalentamientos en los conductores y disparos de las protecciones térmicas de la instalación eléctrica.

Uno de los métodos utilizados para mitigar este problema son el sobredimensionamiento de los conductores neutros pero el método más eficaz para su mitigación es la instalación de filtros de armónicos.

#### 4.2.6 VARIACIÓN DE FRECUENCIA.

La variación de frecuencia es muy poco común en sistemas estables de la red eléctrica, especialmente sistemas interconectados a través de una red. Cuando los sitios poseen generadores dedicados de reserva o una infraestructura pobre de alimentación, la variación de la frecuencia es más común, especialmente si el generador se encuentra muy cargado.

Los equipos informáticos no se ven afectados por una reducción de frecuencia pero si todos los equipos con motores. La variación de frecuencia pueden lograr que un motor funcione más rápido o más lento, esto haría que el motor funcionara ineficazmente y/o provocaría más calor y degradación del motor a través de una mayor velocidad del motor y/o un consumo adicional de corriente. Para corregir este problema, se debe evaluar y luego reparar, corregir o reemplazar todos los generadores de alimentación y otras fuentes de alimentación que provoquen la variación de frecuencia.

En **la Tabla 4-5** se resumen las perturbaciones que pueden afectar la calidad de energía en el edificio de potencia de la EIE y se brindan las posibles soluciones para mitigar los efectos que pueden tener estos problemas en las operaciones de los equipos conectados a la subestación del edificio.

PERTURBACIÓN	FORMA DE ONDA	EFFECTOS	POSIBLES CAUSAS	POSIBLES SOLUCIONES
TRANSITORIOS				


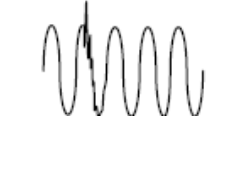
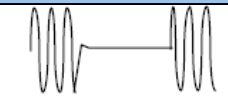

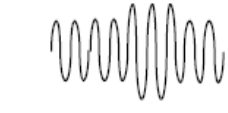

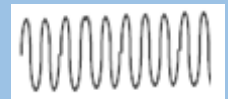
Impulsiva		Pérdidas de datos, posibles daños para el sistema.	Rayos, ESD (descarga electrostática).	TVSS, mantener la humedad entre 35-50 %
oscilatoria		Pérdidas de datos, posible daños	Desconexión de cargas Inductivas o capacitivas	TVSS, UPS, reactores, interruptor de cruce por cero.
<b>INTERRUPCIONES</b>				
		Pérdidas de datos, posible daños	Conmutación y fallas de componentes	UPS
<b>BAJADA DE TENSIÓN</b>				
		Paro del sistema, perdida de datos.	Cargas de arranque, fallas.	Acondicionador de energía, UPS
<b>AUMENTO DE TENSIÓN</b>				
		Disparo por interferencia, daños al equipo/vida reducida.	Cambio de carga y fallas en la red	UPS, transformadores de control ferromagnético.
<b>DISTORSIÓN ARMÓNICA</b>				
		Transformadores calentados, paro del sistema	Cargas electrónicas (cargas no lineales)	Reconfigurar la distribución, instalar filtro.
<b>VARIACIÓN DE FRECUENCIA</b>		Falla de motores, sin efecto sobre los equipos informáticos	Generadores de reserva regulados en forma ineficiente	Actualizar el regulador del generador

Tabla 4. 5 Resumen de perturbaciones con soluciones

Una mejora adicional a las posibles que se deben realizar al presentarse cualquiera de las perturbaciones antes mencionadas es la ubicación de tomas corrientes adicionales en el ala sur del edificio de potencia de la EIE ya que actualmente solo cuenta con tres tomas corrientes y adicionalmente se debe verificar las causas porque unos de los tomas existentes no cuenta con el corriente suministro eléctrico. Se recomienda como mínimo la colocación de tres tomas corrientes. La ubicación de estos se presenta en la figura 4-5.

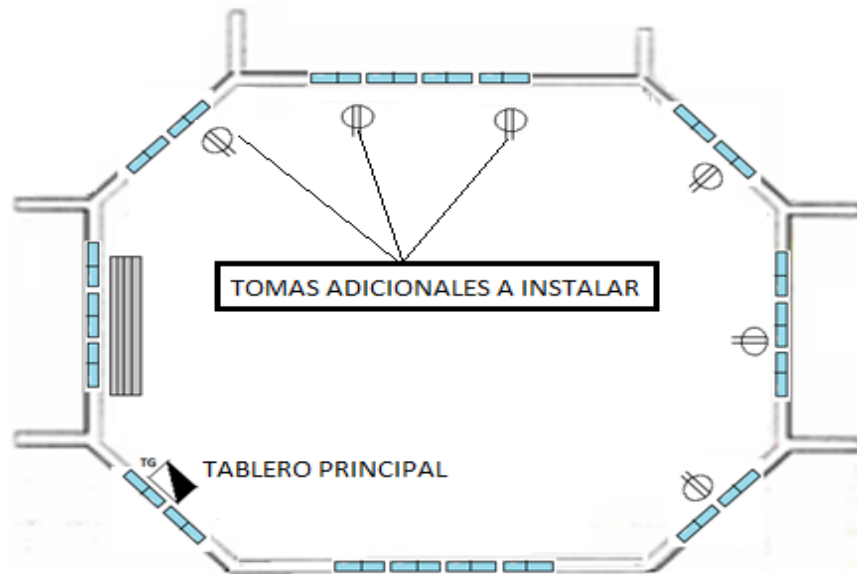


Figura 4. 5 Ubicación de las tomas de corrientes adicionales a instalar.

### 4.3 SEGURIDAD INDUSTRIAL

Los principales riesgos en la industria están vinculados a los accidentes, que pueden tener un importante impacto físico y perjudicar a personas dentro de un determinado radio.

La seguridad industrial, por lo tanto, requiere de la protección de los trabajadores (con las vestimentas necesarias, por ejemplo) y su monitoreo médico, la implementación de controles técnicos y la formación vinculada al control de riesgos.

Cabe destacar que la seguridad industrial siempre es relativa, ya que es imposible garantizar que nunca se producirá ningún tipo de accidente. De todas formas, su misión principal es trabajar para prevenir los posibles accidentes.

#### 4.3.1 SITUACIÓN ACTUAL.

- No se cuentan con todas las señales de obligación, peligro, salidas de emergencia y Extintores.
- Falta de luminarias.
- Ventanas rotas.
- Ventilación en mal estado.
- Puertas en mal estado

#### 4.3.2 IDENTIFICACIÓN DE RIESGO EN ÁREA DEL LABORATORIO.

Descripción con mayor detalle en la tabla 4- 6

Tipo de Riesgo		Agente	Riesgo Identificado	Efectos probables para la salud
<b>Eléctrico</b>		- Toma Corrientes de 110v. - Interruptores eléctricos. - Tablero eléctrico.	- Arco eléctrico - Contacto eléctrico - Incendio	- Parálisis respiratorio - Trastorno del ritmo cardiaco - Muerte
<b>Mecánico</b>		- Puertas en mal estado - Cortina de metal obsoleta	- Cortaduras - Golpes	- Hematomas - Cortes - Perdida de miembros - Fracturas
<b>Físico</b>	- Temperatura	- Ventiladores	- Mala ventilación	- Deshidratación - Dolor de cabeza - Ansiedad
	- Iluminación	- Luminarias	- Desmejora la visibilidad	- Deterioro visual - Influencia negativa en el estado de animo

Tabla 4. 6 Identificación de riesgos del ala sur de potencia

#### 4.3.3 SITUACIÓN PROPUESTA.

##### 4.3.3.1 INSTALACIÓN DE EXTINTORES SEGÚN LA NORMA NFPA 10.

El análisis que se realizará es para una instalación que presenta riesgo ordinario (Moderado) por lo cual y según lo descrito en la norma NFPA 10, es un lugar que contiene más combustibles de Clase A (Sólidos ordinarios como papel, maderas, telas, caucho, plásticos) y Clase B (líquidos combustibles, grasas y gases inflamables) como ejemplo de estas instalaciones se tienen: comedores, tiendas de mercancía, sales de exhibición de autos, etc.

Para proteger a los operadores de los extintores en situaciones donde se podrían encontrar equipos eléctrico vivos, se requieren extintores de Clase Cuando se corta la energía de un equipo eléctrico, el incendio cambia su carácter a Clase A, Clase B o una combinación de A y B, dependiendo de la naturaleza de los elementos eléctricos incendiados.

En función a lo indicado se evaluará y escogerá el tipo de extintor adecuado, considerando la clase de riesgo a prevenir y los materiales que pueden incendiarse. En este caso se utilizara extintores **De Polvo Químico Seco** (PQS) para fuego clase A,B y C esto se explica con más detalle en la tabla 4.3. Cada extintor no debe colocarse a más de 22.9 m de radio según la norma NFPA 10, estándar E3.3. como se muestra en la siguiente figura 4-6 .

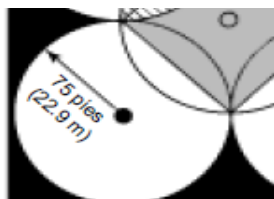


Figura 4. 6 Radio mínimo según la norma NFPA 10





TIPOS DE EXTINTORES	
	<b>AGUA PRESURISADA:</b> Para extinguir fuegos del tipo <b>A</b> (madera, papel, telas etc.). No se debe usar en fuegos del tipo <b>B, C o D</b>
	<b>PQS (POLVO QUIMICO SECO):</b> Para extinguir fuegos del tipo <b>A</b> (Papel, Cartón etc.) Tipo <b>B</b> (Derivados del petróleo) Y tipo <b>C</b> (Equipos eléctricos conectados). No usar en fuegos tipo <b>D</b> <b>Nota: El extintor de tipo PQS es el más adecuado para el laboratorio de máquinas</b>
	<b>CO2:</b> Para extinguir fuegos del tipo <b>B</b> (derivados del petróleo y tipo <b>C</b> (Equipos eléctricos conectados). No se debe usar en fuego <b>A o D</b>
	<b>ESPUMAS:</b> Para extinguir fuegos del tipo <b>A</b> y <b>B</b> .No usar en Fuegos del tipo <b>C o D</b>

Tabla 4. 7 Clasificación de extintores

#### 4.3.4 ALTURA DE LOS EXTINTORES

##### **NFPA 10, estándar 6.1.3.8.1: extintores de menos de 40 libras (18,14 kg)**

Un extintor de incendios que pesa menos de 40 libras (18,14 kg), como los extinguidores que se encuentran en el hogar, se deben colgar de forma que la parte superior no se encuentre a más de cinco pies (1,52 m) por encima del suelo, pero no menos de cuatro pulgadas (10 cm) por encima del suelo, de acuerdo con el Estándar para Extintores de Incendios Portátiles, NFPA-10, de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios.

##### **NFPA 10, estándar 6.1.3.8.2: extintores de más de 40 libras (18,14 kg)**

Los extintores más grandes, aquellos que pesan 40 libras (18,14 kg) o más, no se encuentran en un ambiente hogareño con mucha frecuencia, excepto en un taller. Para hacerlos más accesibles, al lograr que el usuario no tenga que levantarlos y bajarlos desde un sostén muy alto, el estándar de la NFPA dice que la parte superior de estos pesos pesados no puede encontrarse a más de 3,5 pies (1,07 m) del suelo.

##### **NFPA 10, estándar 6.1.3.8.3: altura mínima sobre el suelo**

Ningún extintor de incendios se debe montar a menos de cuatro pulgadas (10 cm) sobre el suelo.

### 4.3.5 SEÑALES REQUERIDAS

Son un conjunto de señales necesarias en un ambiente de laboratorio, las cuales deberá tener el laboratorio de máquinas están especificadas en la tabla 4.8 hasta la tabla 4.10. Ya que estas permitirán hacer consientes a los usuarios de los niveles de riesgos que hay en el laboratorio de pruebas de máquinas. La primera tabla mostrada (4.8) nos da a conocer las señales de advertencias requeridas para la población entre ellas la prohibición de fumar cigarros. La tabla 4.9 nos muestra las señales que se usaran para indicar el plan de evacuación en caso de terremoto o accidente laboral, entre ellas, la señal de botiquín y la de ruta de escape. En la última tabla, la 4.10 se muestra la señal de protección obligatoria que deberán tener los usuarios y visitantes de los laboratorios a la hora de presenciar una prueba.

señal	Tipo	Detalle
	prohibición	No fumar
	Prohibición	No usar agua en caso de incendio
	Prohibición	Solo personal autorizado
	Advertencia	Riesgo eléctrico al contacto con tablero
	Advertencia	Radiación no ionizante
	Equipo de lucha contra incendios	Extintor de incendios
	Equipo de lucha contra incendios	Pulsador de alarma

Tabla 4. 8 Señales de prohibición






Señal	Tipo	Detalle
	Salvamento	Botiquín de primeros auxilios
	Salvamento	Ruta de evacuación en caso de emergencia
	Salvamento	Vía de escape hacia la izquierda
	Salvamento	Vía de escape hacia la derecha
	Salvamento	Vía de escape

Tabla 4. 9 Señales de prohibición







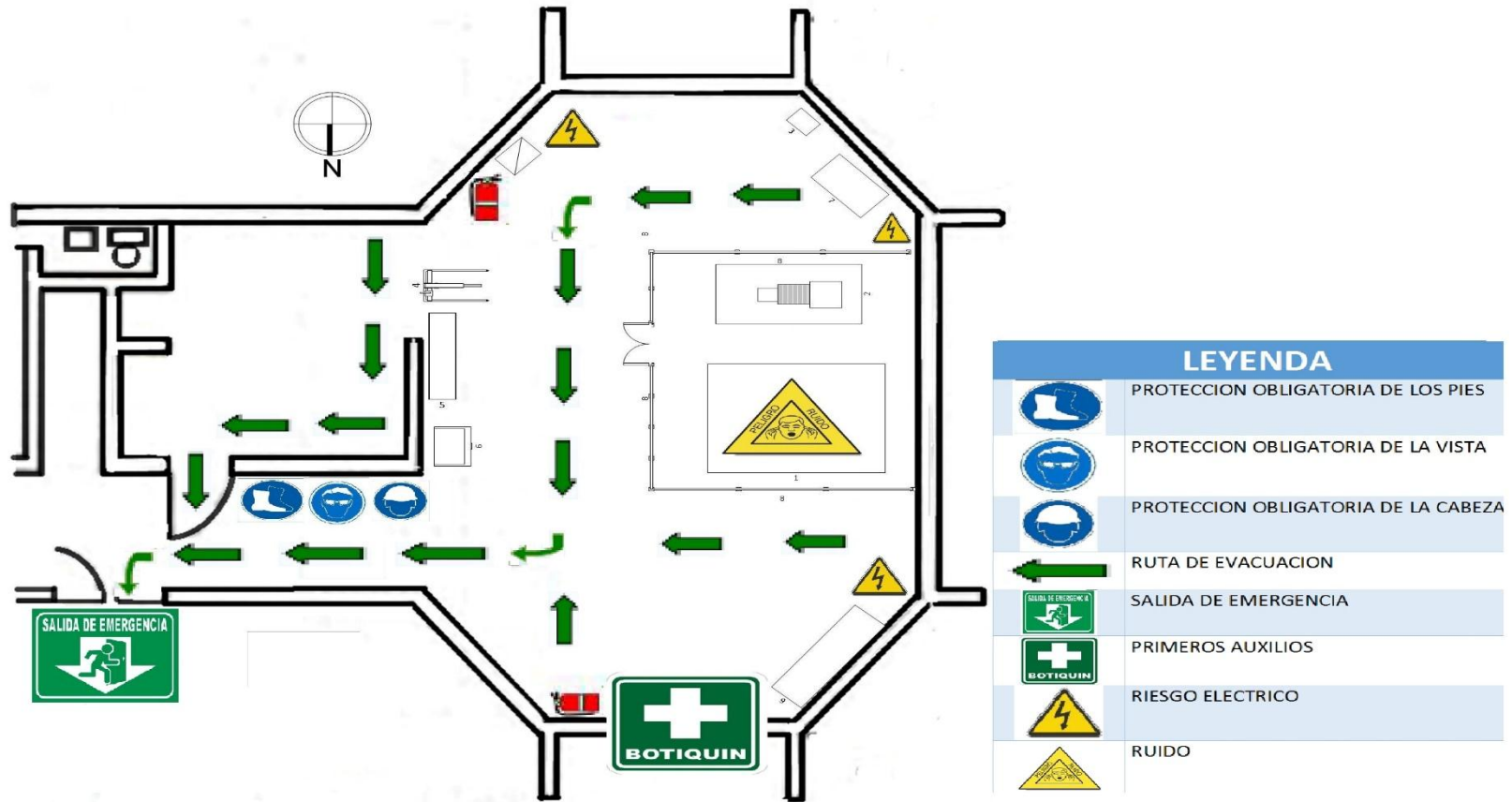
señal	Tipo	Detalle
	Obligación	Uso obligatorio de equipo de protección personal
	Obligación	Protección obligatoria de pies
	Obligación	Protección obligatoria de vista
	Obligación	Protección obligatoria de manos
	Obligación	Protección obligatoria de cuerpo
	Obligación	Protección obligatoria de oído

Tabla 4. 10 Señales de obligación

#### 4.3.6 PROPUESTA DE MAPA DE RIESGO



22757-0973

## 4.4 PROTECCION PERSONAL

### 4.4.1 PROTECCION EN LA CABEZA.

Cascos: El principal objetivo del casco de seguridad es proteger la cabeza de quien lo usa, de peligros y golpes mecánicos. También puede proteger frente a otros riesgos de naturaleza mecánica, térmica o eléctrica.



Figura 4. 7 casco indicado para protección personal

Casco de seguridad mostrado en la figura 4.7 es de tipo cachucha clase “E” resistente hasta 20,000V. Canal de desagüe para que la caída del agua sea por la parte frontal del casco. Con un diseño en el cuello para evitar el desprendimiento del casco. Laterales de 45° para que al momento del impacto el objeto sea desplazado con facilidad.

### 4.4.2 PROTECCIÓN PARA LA VISTA

Lentes de seguridad industrial: Las gafas o anteojos de seguridad tienen el objetivo de proteger los ojos de materiales volátiles o ambientales como virutas o astillas de madera, raspados metálicos, líquidos o reacciones químicas liberadas al aire en la figura 4.8 se muestra detalladamente.



Figura 4. 8 lentes para protección visual

- Lente con armazón de nylon flexible y mica de policarbonato oftálmico.
- Las patas tienen ajuste de estiramiento y retráctil para mejor ajuste.
- Filtro UV 99.97%.
- Protección lateral.
- Resistente a impactos y salpicaduras menores.

#### 4.4.3 PROTECCIÓN AUDITIVA

Tapones de oído: Los protectores auditivos son equipos de protección personal que, debido a sus propiedades para la atenuación de sonido, reducen los efectos del ruido en la audición, para evitar así un daño en el oído. Los tapones de oídos reducen el ruido obstaculizando su trayectoria desde la fuente hasta el canal auditivo. Los protectores auditivos tipo tapón, son desechables y fabricados con espuma de poliuretano. Estos tapones de oídos se ajustan exactamente al canal auditivo gracias a su forma cónica. Están elaborados de material hipo alergénico.



Figura 4. 9 tapón de polímero resistente a la humedad

En la figura 4.9 podemos apreciar Tapón de espuma de polímero Resistente a la humedad que está hecho con espuma preformada al canal auditivo para dar un ajuste cómodo y duradero y se pueden usar con cordón o sin cordón.

#### 4.4.4 PROTECCIÓN A LAS MANOS

Guantes de protección: Un guante es un equipo de protección personal destinado a proteger total o parcialmente la mano. También puede cubrir parcial o totalmente el antebrazo y el brazo. En el lugar de trabajo, las manos pueden hallarse expuestas a riesgos debidos a acciones externas. También es posible que se generen accidentes a causa del uso o la mala elección del propio guante.



Figura 4. 10 guantes de protección

El guante mostrado en la figura 4.10 es de lona doble, un guante diseñado para ser usado en trabajos donde se requiere de una resistencia a las partes de acero o de filo medio, sin afectar la maniobrabilidad y sensibilidad en las manos.

#### 4.4.5 PROTECCIÓN PARA LOS PIES

Botas industriales: La bota industrial como se muestra en la figura 4.10, también conocida como bota de seguridad, es un tipo de calzado que pretende proteger al trabajador de los peligros de su oficio. Dependiendo de las diferentes áreas de trabajo, estos zapatos pueden ser llamados botas mineras, botas navieras, botas dieléctricas, botas farmacéuticas y botas ejecutivas. En el laboratorio de máquinas eléctricas se usarán el tipo II.



Figura 4. 11 botas de protección personal.

#### 4.4.5.1 TIPO I CALZADO OCUPACIONAL

Es aquel destinado a usarse en actividades de trabajo donde el usuario está expuesto únicamente a riesgos menores, tales como cortaduras, laceraciones, golpes contra objetos, entre otros, que no requiere contar con alguna característica especial de protección

#### 4.4.5.2 TIPO II CALZADO CON PUNTERA DE PROTECCIÓN

Es aquel destinado a la protección integral de los dedos de los pies, donde existen riesgos de impacto y compresión.

#### 4.4.5.3 TIPO III CALZADO DE PROTECCIÓN DIELECTRICO

Es aquel destinado a proteger al usuario contra riesgos de choque eléctrico.

#### 4.4.5.4 TIPO IV CALZADO DE PROTECCIÓN METATARSAL

Es aquel destinado a proteger el empeine del pie contra riesgos de impacto directo al metatarso, además de cubrir los riesgos del calzado Tipo II.

### 4.5 EQUIPAMIENTO A UTILIZAR.

Antes de especificar cualquier equipo que se pueda necesitar, se toma como base el torque del motor para poder calcular la carga del dinamómetro necesario que ese necesitaría para

poder funcionar. Se tiene como un límite máximo un motor de las siguientes características: un motor de 100 hp de eje horizontal a 460 voltios a 1800 rpm.

De la ecuación (4.4) de la potencia de un motor tenemos:

$$P = T \omega_{Mec} \quad \text{Ecuación (4.4)}$$

Se requiere obtener el torque para este motor por lo tanto obtendremos la velocidad angular. Por lo tanto en la ecuación (4.5)

$$\omega_{Mec} = \frac{2\pi n}{60} \quad \text{Ecuación (4.5)}$$

Si sustituimos n con el valor de 1800:

$$\omega_{Mec} = \frac{2\pi 1800}{60} = 188.50$$

Y convirtiendo la potencia en watts  $P = 100 * 0.746 = 74.6 \text{ kw}$

Sustituyendo y despejando el torque tenemos lo siguiente:

$$T = \frac{P}{\omega_{Mec}} = \frac{74.6}{188.5} = 407 \text{ N.m}$$

A continuación presentaremos el diagrama conceptual del equipo a necesitar bajo el estándar IEEE-112. bajo el método B denominado entradas y salidas. El cual básicamente es variable según los requerimientos de prueba.

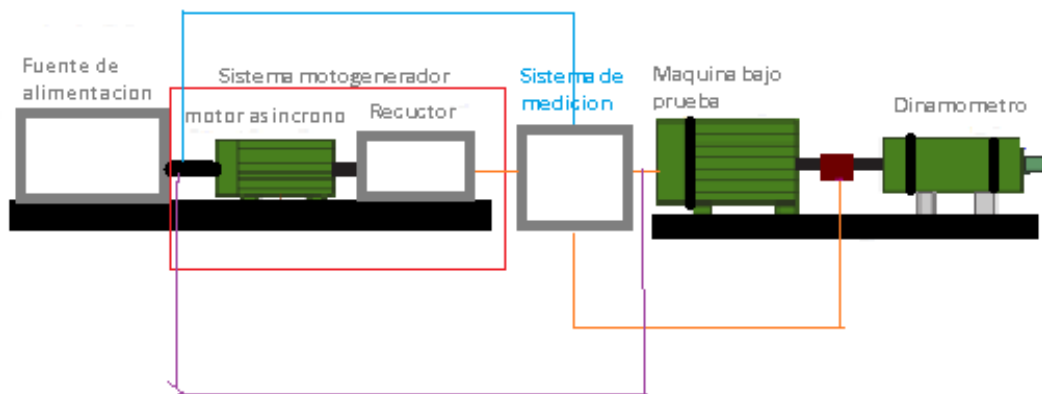


Figura 4. 12 Diagrama practico para las pruebas bajo la norma IEEE-112

Se ve en la figura 4.12 un sistema de alimentación, un sistema moto generador, un sistema de medición la maquina prueba y el dinamómetro utilizado. A continuación se muestra un diagrama de lo que debería incluir cada parte de manera desglosada antes de presentar algunas capacidades del equipo disponible en el mercado.

En la figura hacemos una descripción más detallada de lo que contiene la propuesta del equipo de pruebas, es de aclarar que el sistema moto generador puede ser opcional ya que es para la prueba a baja frecuencia. El sistema de medición de datos debería contar con su propia computadora con el software respectivo para el procesamiento de los datos tomados. Es de resaltar también que las características de precisión son las más importantes del equipo ya que el estándar IEEE-112 requiere tolerancias menores al 2 %.

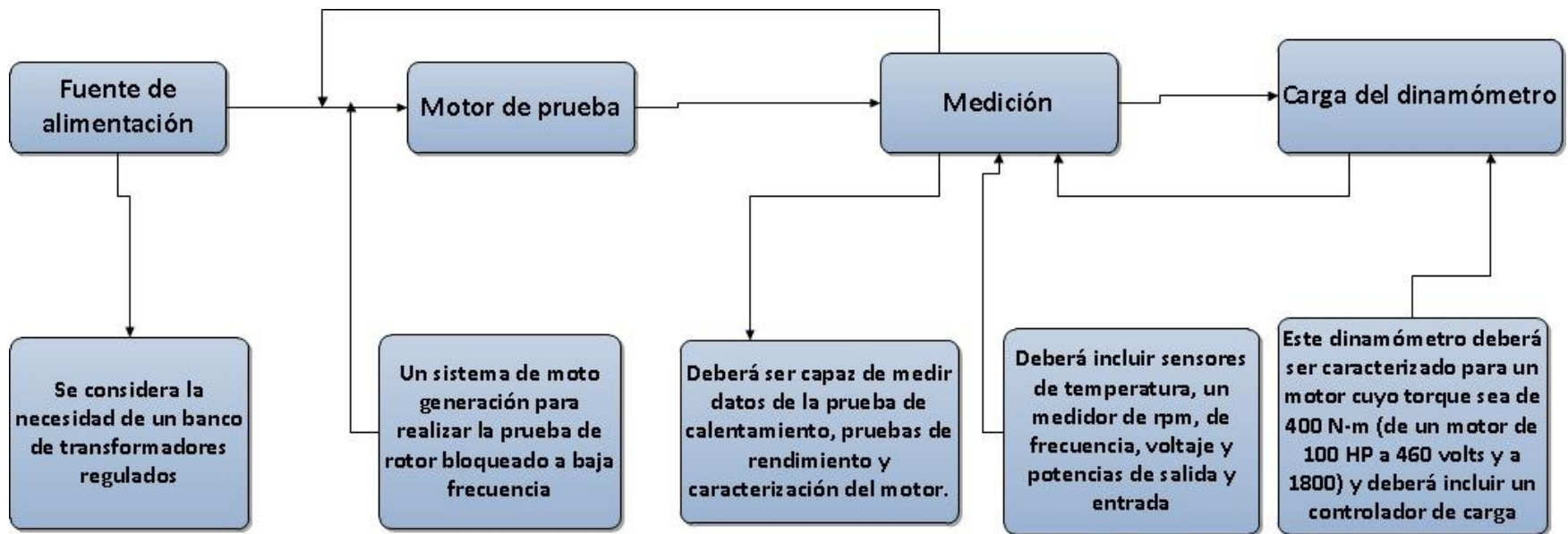


Figura 4. 13 Diagrama descriptivo del equipamiento

#### 4.5.1 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS ACCUDYNO LTI-BR,

Algunos de los datos que puede leer son:

- RPM (del motor y del rodillo o volante)
- Potencias (a la rueda, al motor, potencia leída y potencia corregida climáticamente)
- Pérdidas (medición de la cantidad de HP que se pierden en elementos de la transmisión, como caja, cadena, deformación de la goma)
- Factor de corrección climático corregido por normas internacionales (ingresando temperatura, presión y humedad de forma manual o automática con nuestra central atmosférica)
- Torque
- Velocidad
- Valores promedio. Útiles para evaluar el funcionamiento entre dos valores de RPM.

Incluye lo que se muestra a continuación en la tabla 4.11 a) y 4.12 b) y en la figura 4.14:

cantidad	Descripción
1	Gabinete de adquisición de datos
1	Pendrive de instalación y documentación
1	Guía rápida de instalación
1	Sensor de rpm
1	Imán para sensor de rpm
1	Cable USB
1	Pulsador para control remoto

a)

nombre	Valor
Tipo de medición	Inercial
Entradas de rpm	2 Opción 1 : RPM de volante RPM- de motor Opción 2 (4x4) RPM de rotor delantero- RPM de rotor trasero Opción 3: RPM de Volante- salida para el control del ventilador
Entradas analógicas	2 a 3
Entradas AccuNet	1 ( central meteorológica digital y otros accesorios)
Salidas analógicas	1 (opcional)
interface	USB
Opcionales	Central atmosférica Cable p/sonda Lambda Termocupla

b)

Tabla 4. 11 Especificaciones y descripción del equipo de adquisición de datos

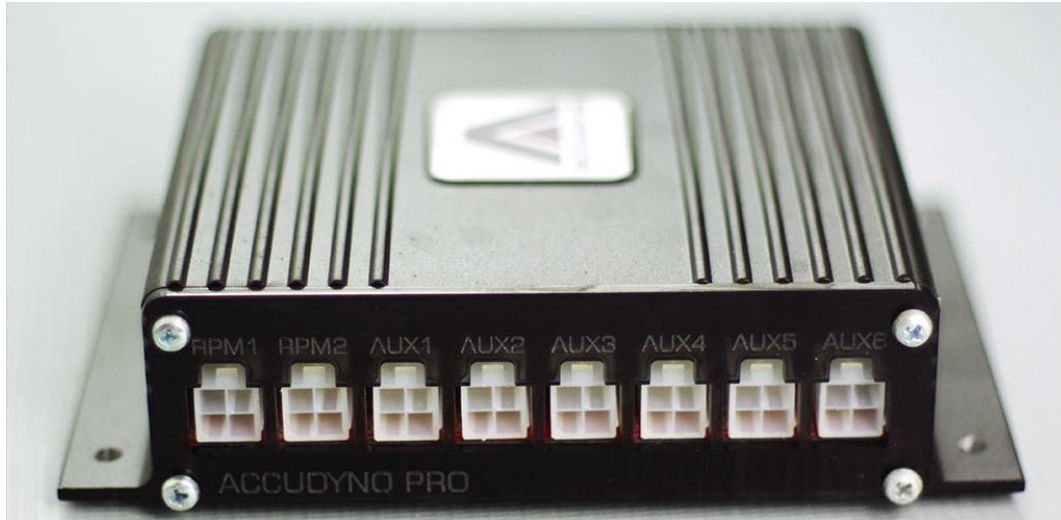


Figura 4. 14 Sistema de adquisición de datos

#### 4.5.2 MEDICIÓN AUXILIAR DE TEMPERATURAS MEDIANTE SENSORES PT100

Los sensores Pt100 son un tipo específico de sensor RTD (detector de temperatura por resistencia). La característica más importante de los elementos Pt100 es que están fabricados con platino con una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de 0 °C y es con diferencia el tipo más común de sensor RTD. El sensor de temperatura Pt500, tendría a su vez, una resistencia de 500 ohmios a 0 °C y un Pt1000 tendría 1000 ohmios de resistencia a 0 °C. Los elementos Pt100 están montados normalmente en algún tipo de vaina o funda protectora para formar una sonda, y éstos se conocen comúnmente como sonda Pt100 (sondas de resistencia Pt100 de platino).

##### **Precisión**

La norma internacional IEC 751 especifica las tolerancias de los sensores RTD industriales. Hay dos tolerancias principales definidas para sondas Pt100: clase A, con una tolerancia de  $\pm 0,15$  °C a 0 °C y clase B, con una tolerancia de  $\pm 0,3$  °C a 0 °C. Hay 2 clases de precisión adicionales para el trabajo de precisión y estos se conocen comúnmente como "1/10 DIN" y "1/3 DIN"; esto significa una tolerancia de 1/10 o 1/3 de la especificación de clase B a 0 °C respectivamente.



##### **Elementos Pt100**

El elemento Pt100 es la forma más sencilla de RTD. Consiste en un trozo de alambre enrollado alrededor de un núcleo de cerámica o vidrio. Debido a su tamaño compacto, los elementos de RTD se usan normalmente cuando el espacio es muy limitado.



### **Elementos de superficie pt100**

Un elemento de superficie es un tipo especial de elemento RTD. Está diseñado para ser tan delgado como sea posible y así proporcionar un buen contacto para la medición de temperatura para superficies planas.

### **Sonda pnt100**

La sonda de temperatura pt100 es la forma más resistente de los RTD. Una sonda consiste en un elemento sensor montado dentro de un tubo metálico, también conocido como funda. La funda protege al elemento del entorno. OMEGA ofrece una amplia variedad de sondas en diversas configuraciones.

### **Sonda de temperatura Pt100**

Un conjunto compuesto por un elemento Pt100, una vaina, un cable conductor, y una terminación o conexión. La sonda RTD OMEGA<sup>®</sup> estándar se hace con un elemento de curva europea de platino 100 ohm ( $\alpha = 0,00385$ ).

### **Sensores RTD de platino**

También conocido como Pt RTD, los sensores de platino son típicamente los más lineales, estables, repetibles y precisos de todos los RTD. El alambre de platino fue elegido por OMEGA, ya que se adapta mejor a las necesidades de termometría de precisión.

### **Elemento RTD de película fina**

Los RTD de película fina se componen de una capa delgada de un metal de base incrustado en un sustrato cerámico y recortado para producir el valor de resistencia deseado. Los pt100 OMEGA se hacen depositando una película de platino sobre un sustrato y luego encapsulando los dos. Este método permite la producción de sensores precisos, pequeños, y de respuesta rápida. Los elementos de película fina se ajustan a las normas de curva europea / DIN 43760 y la tolerancia estándar de "0,1% DIN".

### **RTD Pt100 de clase A**

Mayor tolerancia y precisión de elementos Pt100, clase A (IEC-751),  $\alpha = 0,00385$ .

### **RTD Pt100 de clase B**

Tolerancia y precisión más comunes de elementos Pt100, clase B (IEC-751),  $\alpha = 0,00385$ .

### **Curva 0,00385 alfa**

La curva europea conforme al estándar "0,1% DIN" tolerancia y cumple con la norma DIN 43760.

### **Alambre enrollado**

Los elementos RTD estándares utilizados en los conjuntos de sondas de OMEGA son hechos de hilo de platino puro del 99,99% bobinado sobre un núcleo de cerámica o de vidrio y herméticamente sellado dentro de una cápsula de cerámica o de vidrio.

#### 4.5.3 DINAMÓMETRO ELÉCTRICO DE CORRIENTES PARÁSITAS REFRIGERADO POR AGUA, MWD NL360

La información correspondiente al dinamómetro se presenta a continuación en la figura4-13.

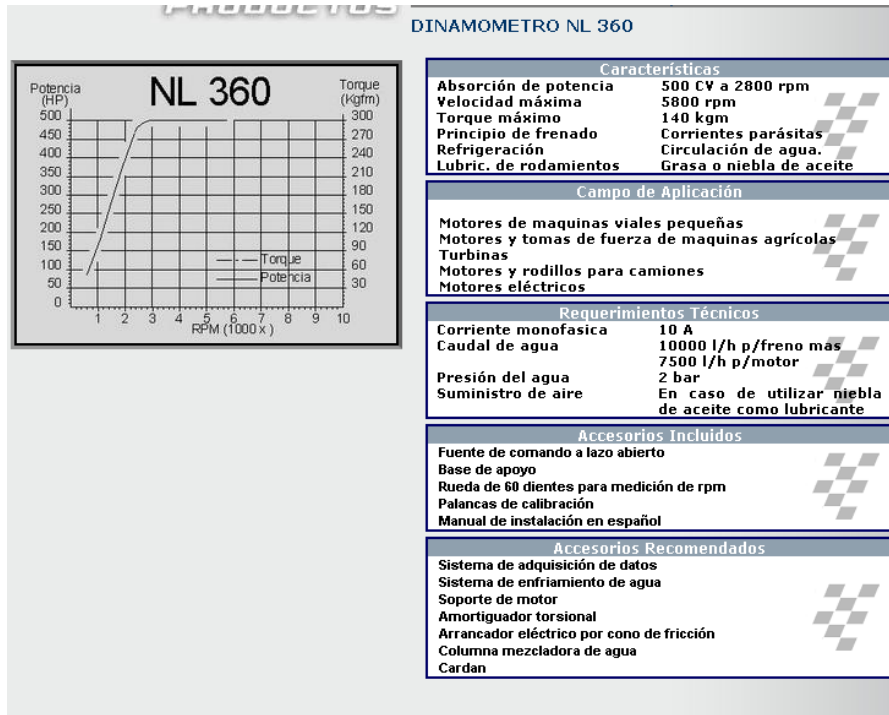


Figura 4. 15 Información del dinamómetro y la curva de potencia

En la información básica del dinamómetro podemos notar que tiene una capacidad de 140 kgm de torque y una velocidad máxima de 5800 rpm y es refrigerado por agua.

#### 4.5.4 TORIN MONTACARGAS PLEGABLE T32001 PARA MOTOR - 2 TONELADAS

El montacargas plegable Torino para motor tiene una capacidad de 2 toneladas y un rango de elevación que va de 2.5 a 200 cm. Incluye un brazo con 4 posiciones de agujero, cilindro largo de alta resistencia de 8 toneladas, 6 ruedas para una mejor movilidad y un diseño plegable para facilitar el almacenaje. El modelo del montacargas se muestra a continuación en la figura 4-16.



Figura 4. 16 modelo del montacargas torin

#### 4.5.5 FRENO ELECTROMAGNÉTICO.

Descripción El embrague electromagnético EIDE tipo FAE está formado básicamente por el núcleo inductor, con la bobina y material de fricción incorporados y del conjunto inducido, compuesto del propio disco inducido con un muelle-membrana (en la construcción 1.1, para ser montado directamente sobre polea, piñón de cadena, etc.) y del buje soporte inducido (en las construcciones 1.2 y 1.3 para ser montado sobre el propio eje que deseamos ejercer la acción frenaste), el núcleo inductor se centra en relación al eje y se fija a la bancada de la máquina. La cota “a” que se indica en la tabla, deberá ser respetada en el montaje. Al aplicarle una tensión (normalizada a 24 V c.c.) a la bobina se forma un campo magnético que atrae al disco inducido provocando una deformación en el muelle-membrana, la cual compensa el entrehierro “a” produciéndose la fricción entre ambas, realizándose el frenado. Al quitar la corriente, la pieza 5 recupera su posición de origen, cesando el frenado y sin par residual. Cuidar de que las dos superficies de fricción estén exentas de grasa o aceites, ya que su presencia disminuye el par de frenada. Estas unidades requieren un pequeño número de actuaciones para que el par alcance su valor nominal. A la polea, piñón o buje a la que se acople, hay que efectuar unos taladros de aprox. un 30% mayores que las cabezas de los remaches 6 (en la tabla se relacionan sus dimensiones) para escamotear su presencia. Mostrados en la figura 4.17. En la figura 4.18 se muestran las diversas capacidades de los frenos disponibles.

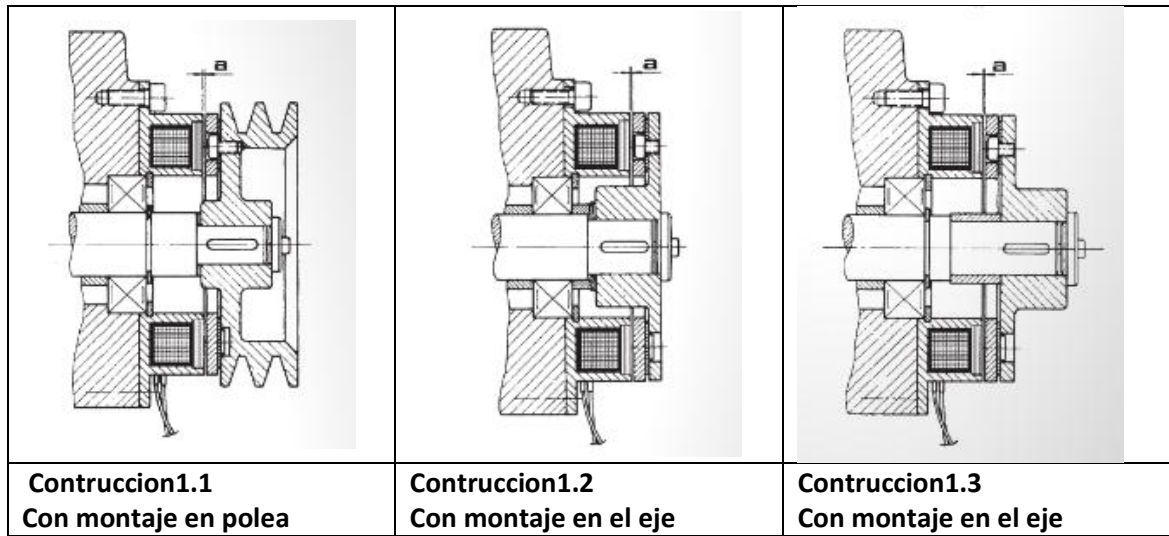


Figura 4. 17 Montajes del freno electromagnético

TAMAÑO		0,15	0,25	0,75	1,5	3	6	12	20	45	70
Par máx.	da. Nm.	0,15	0,25	0,75	1,5	3	6	12	20	45	70
Revoluciones por minuto	n	10.000	8.750	7.000	5.500	4.400	3.500	2.750	2.200	1.750	1.400
Consumo de la bobina (20° C)	Wattios	8	10	12	15	22	28	38	48	60	70
Masa Constr. 1.1 Constr. 1.2 - 1.3	kg	0,12	0,20	0,30	0,50	1	1,70	3,20	6,30	11,70	19,30
		0,14	0,23	0,40	0,70	1,30	2,40	4,70	9,30	17,20	28,50
J Constr. 1.1 Constr. 1.2 - 1.3	kg cm²	0,043	0,091	0,37	1,10	3,75	11,70	40,80	118	353	1012
		0,061	0,137	0,58	1,63	5,67	16,70	56	171	475	1410
Entrehierro "cota a"		0,15	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,8
<b>A</b>		54	65	80	100	125	150	190	230	290	355
<b>L</b>		22,8	25,2	22	24,7	28	31	35	41,5	48	60
<b>L<sub>1</sub></b>		25,4	28,2	25,5	28,7	33	37	42	50,5	59	73
<b>L<sub>2</sub></b>		34,8	37,2	37	44,7	53	61	73	89,5	103	124
<b>b</b>		47	58	72	90	112	137	175	215	270	335
<b>c</b>		19	26	35	42	52	62	80	100	125	160
<b>d*</b>		-	-	-	10	10	14	19	24	32	38
<b>d máx.</b>		10	15	15	25	30	40	50	70	80	120
<b>e</b>		30	38	46	60	76	95	120	158	210	250
<b>f</b>		40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
<b>g</b>		17	24	27	37	42	52	65	83	105	146
<b>h</b>		4 x 3,4	4 x 3,4	4 x 4,5	4 x 5,5	4 x 6,5	4 x 6,5	4 x 9	4 x 9	4 x 11	8 x 11
<b>k</b>		3 x M3	3 x M3	3 x M3	3 x M4	3 x M5	3 x M6	3 x M8	3 x M10	4 x M12	4 x M16
<b>l</b>		20	22	18	20	22	24	26	30	35	44
<b>l<sub>1</sub></b>		2	2	2,5	2,5	3	4	5	5	6	8
<b>l<sub>2</sub></b>		3	3,2	3,5	4,3	5	5,5	6	7	8	9
<b>m</b>		3 x 5	3 x 5	3 x 6	3 x 7	3 x 9	3 x 10	3 x 13	3 x 16	4 x 18	4 x 24
<b>n</b>		1,5	1,5	1,5	1,7	2,1	2,5	3	6,5	8	10
<b>r</b>		12	12	15	20	25	30	38	48	55	64
<b>s</b>		5	5	5	6	6	10	10	15	20	25
<b>t</b>		M4	M4	M4	M5	M5	M6	M8	M8	M10	M12

\*En todos los tamaños, los frenos se entregarán con la cota "d" indicada y sin chavetero.

Figura 4. 18 Capacidades para los frenos disponibles

#### 4.5.6 VOLTÍMETRO DIGITAL

El nuevo 289 representa la próxima generación en multímetros industriales de registro, de alto rendimiento, y está diseñado para resolver problemas complejos en electrónica, automatización de plantas, distribución eléctrica y equipos electromecánicos. Con la capacidad de registrar datos y revisarlos gráficamente en la pantalla, usted podrá resolver problemas con mayor rapidez, ayudando a minimizar el tiempo improductivo por paradas de los equipos. Deje que el nuevo 289 sea el guardián de sus sistemas o procesos mientras usted realiza otras tareas. Ahora se puede comunicar de forma inalámbrica con sus dispositivos iOS y Android con la nueva app para móviles Fluke Connect y el Conector inalámbrico ir3000 FC (se vende por separado). Las siguientes Figuras muestran el modelo elegido (figura 4.19) y algunas especificaciones técnicas de la instrumentación que poseen son mostrados en la tabla (4.12 y 4.13)



Figura 4. 19 Fluke modelo 289

Especificaciones		
Función	Rango y resolución	Exactitud básica
Voltios de CC	50,000 mV, 500,00 mV, 5,0000 V, 50,000 V, 500,00 V, 1000,0 V	0.03%
Voltios de CA		0,4 % (Verdadero valor eficaz)
CC	500,00 $\mu$ A, 5000,0 $\mu$ A, 50,000 mA, 400,00 mA, 5,0000 A, 10,000 A	0.05%
CA		0,6 % (Verdadero valor eficaz)
Temperatura (excluida la sonda)	-200,0 °C a 1.350,0 °C (-328,0 °F a 2.462,0 °F)	1.00%

<b>Resistencia</b>	50,000 $\Omega$ , 500,00 $\Omega$ , 5,0000 k $\Omega$ , 50,000 k $\Omega$ , 500,00 k $\Omega$ , 5,0000 M $\Omega$ , 50,00 M $\Omega$ , 500,0 M $\Omega$	0.05%
<b>Capacidad</b>	1,000 nF, 10,00 nF 100,0 nF, 1,000 $\mu$ F, 10,00 $\mu$ F, 100,0 $\mu$ F, 1000 $\mu$ F, 10,00 mF, 100 mF	1.00%
<b>Frecuencia</b>	99,999 Hz, 999,99 Hz, 9,9999 kHz, 99,999 kHz, 999,99 kHz	0.01%
<b>Conectividad</b>	Conector infrarrojo opcional a través de Fluke ir3000 FC	

**Tabla 4. 12 Especificaciones técnicas del Fluke 289**

<b>Especificaciones generales</b>	
<b>Tensión máxima entre cualquier terminal y tierra</b>	1000 V
<b>Tipo de batería</b>	6 baterías alcalinas AA, NEDA 15A, IECLR6
<b>Duración de la batería</b>	100 horas como mínimo, 200 horas en el modo de registro
<b>Temperatura</b>	Funcionamiento: -20 °C a 55 °C; Almacenamiento: -40 °C a 60 °C
<b>Humedad relativa</b>	0 a 90 % (0 °C a 37 °C), 0 a 65 % (37 °C a 45 °C), 0 a 45 % (45 °C a 55 °C)
<b>Compatibilidad electromagnética</b>	EMC EN61326-1
<b>Vibraciones</b>	Vibración aleatoria según MIL-PRF-28800F Clase 2
<b>Impactos</b>	Caída desde un metro, conforme a IEC/EN 61010-1, 3ª edición
<b>Tamaño (alto x ancho x largo)</b>	22.2 cm x 10.2 cm x 6 cm (8,75 pulg. x 4,03 pulg. x 2,38 pulg.)
<b>Peso</b>	870,9 g (28 onzas)
<b>Varias presentaciones en pantalla</b>	Sí
<b>Banda ancha de CA de verdadero valor eficaz</b>	100 kHz
<b>dBV/dBm</b>	Sí
<b>Resolución de mV de CC</b>	1 mV
<b>Rango de megohmios</b>	Hasta 500 MΩ
<b>Conductancia</b>	50,00 nS
<b>Señal acústica de continuidad</b>	Sí
<b>Acceso a batería/fusible</b>	Sí/Sí
<b>Reloj de tiempo transcurrido</b>	Sí
<b>Reloj de hora del día</b>	Sí
<b>Valores mínimos, máximos y promedios</b>	Sí
<b>Ciclo de trabajo</b>	Sí
<b>Ancho de onda</b>	Sí
<b>Interfaz óptica aislada</b>	Sí
<b>Retención automática/táctil</b>	Sí
<b>Memoria de lectura</b>	Sí
<b>Registro a PC</b>	Sí
<b>Registro de intervalos/eventos</b>	Sí
<b>Memoria de registro</b>	Hasta 15,000 lecturas
<b>Conectividad inalámbrica opcional ()</b>	Sí

Tabla 4. 13 Especificaciones generales del modelo Fluke 289

#### 4.5.7 ANALIZADOR DE VIBRACIONES FLUKE 810:

Controle las paradas no programadas, evite problemas recurrentes, establezca prioridades de reparación y gestione sus recursos con un enfoque completamente nuevo del análisis de vibraciones. El analizador de vibraciones Fluke 810 es el instrumento de resolución de problemas más avanzado para los equipos de mantenimiento mecánico que necesitan una respuesta inmediata. La exclusiva tecnología de diagnóstico lo ayuda rápidamente a identificar y priorizar problemas mecánicos, y pone la experiencia de un analista en vibraciones a su alcance. Se sentirá orgulloso de su instalación, de su equipo y de su trabajo. A pesar de hacer todo lo posible por mantener sus equipos en marcha, a veces no se dispone ni del tiempo suficiente ni de los recursos necesarios para estar al día con la carga de trabajo y, mucho menos, para ser proactivo en el mantenimiento mecánico. Disfrute de la ventaja que le ofrece el analizador de vibraciones Fluke 810 al combinar un poderoso motor de diagnóstico con un sencillo proceso paso a paso para generar informes sobre fallas específicas de la máquina y su gravedad la primera vez que se realizan las mediciones, sin historial de medición previo. Las mediciones de vibración general y los diagramas espectrales les permiten a los técnicos evaluar rápidamente el funcionamiento de la máquina, mientras que los informes mejorados y las recomendaciones prácticas le brindan la confianza que necesita para atender primero los problemas más críticos. El modelo y sus especificaciones se muestran a continuación en la figura 4.20 y sus especificaciones técnicas en la tabla 4.14, en la tabla 4.15 y en la tabla 4.16.



Figura 4. 20 Analizador de vibradores Fluke 810

Nombre del modelo	Descripción
FLUKE-810	<p><b>El analizador de vibraciones incluye:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Analizador de vibraciones con tecnología de diagnóstico</li> <li>* Acelerómetro triaxial, soporte magnético, kit de montaje con adhesivo para el acelerómetro, cable de desconexión rápida del acelerómetro</li> <li>* Tacómetro láser y bolsa de almacenamiento</li> <li>* Batería inteligente con cable y adaptadores</li> <li>* Correa para hombro y correa de mano ajustable</li> <li>* Software Viewer PC</li> <li>* Adaptador de cable mini-USB a USB</li> <li>* Guía rápida de uso, guía rápida de referencia ilustrada</li> </ul>

Tabla 4. 14 Especificaciones técnicas del modelo fluke 810

Especificaciones eléctricas	
Selección de rangos	Automática
Convertidor A/D	4 canales, 24 bits
Ancho de banda útil	2 Hz a 20 kHz
Muestreo	51,2 Hz
Funciones de procesamiento de señales digitales	Filtro anti-aliasing configurado automáticamente, filtro paso alto, decimación, superposición, presentación en ventana, FFT, cálculo de la media
Velocidad de muestreo	2,5 Hz a 50 kHz
Rango dinámico	128 dB
Relación señal/ruido	100 dB
Resolución FFT	800 líneas
Ventanas espectrales	Hanning
Unidades de frecuencia	Hz, órdenes, cpm
Unidades de amplitud	pulg./seg, mm/seg, VdB (EE.UU), VdB* (Europa)
Memoria no volátil	Tarjeta de memoria micro SD, 2GB de memoria interna + almacenamiento adicional a través de ranura accesible para el usuario

Tabla 4. 15 Especificaciones eléctricas del modelo fluke 810

Tipo de sensor	Acelerómetro
Sensibilidad	100 mV/g ( $\pm 5\%$ , 25 °C)
Rango de aceleración	Pico de 80 g
No linealidad en amplitud	1%
Respuesta en frecuencia	2 - 7.000 Hz $\pm 3$ dB 2 - 5.000 Hz $\pm 3$ dB
Requisitos de alimentación (IEPE)	18 V CC a 30 V CC, 2 mA a 10 mA
Tensión de salida de polarización	12 V CC
Conexión a tierra	Carcasa con conexión a tierra
Diseño del elemento sensor	Cerámicas piezoeléctricas/corte
Material del cuerpo	Acero inoxidable 316L
Soporte montaje	Tornillo prisionero de cabeza redonda 10-32, imán de tierras raras de 2 polos (resistencia a la tracción de 21,7 Kg)
Conector de salida	M12 de 4 patillas
Conector de acoplamiento	M12 - F4D
Memoria no volátil	Compatible con TEDS 1451.4
Límite de vibración	Pico de 500 g
Límite de impacto	Pico de 5.000 g
Sensibilidad electromagnética, equivalente en g	100 $\mu$ g/gauss
Sellado	Hermético
Rango de temperatura	-50 °C a 120 °C (-58 °F a 248 °F) $\pm 7\%$
Garantía	Un año

Tabla 4. 16 Especificaciones técnicas del sensor del Fluke 8104.5.6 Fluke Tix Series (Tix1000)

#### 4.5.8 CÁMARA TERMO GRÁFICA FLUKE 1000

- Una resolución 10 veces mayor por los píxeles integrados a la cámara en comparación con las cámaras estándar de 320x240: resolución de 1024x768 píxeles (786.432)
- Mejore tanto la calidad de imagen como la precisión para la medición de la temperatura: obtenga una resolución 4 veces mayor por la cantidad de píxeles integrados en comparación con el modo estándar con Súper resolución (hasta 3.145.728 de píxeles)
- Trabaje desde distancias más seguras. Inspeccione áreas a las que no podría acercarse de otra forma y, aun así, obtenga imágenes infrarrojas espectaculares y detalladas.
- Obtenga una experiencia de visualización en campo de calidad suprema para la rápida identificación de problemas con la gran pantalla LCD de 5,6 pulgadas de alta resolución.
- Realice inspecciones desde una distancia segura y, aun así, obtenga capturas de precisión gracias al zoom digital integrado a la cámara con un rango de 32 aumentos.
- Elija el protocolo para la transferencia de imágenes que le resulte
- más conveniente para su aplicación: puertos de datos de la cámara; transferencia de imágenes; tarjeta SD, USB 2.0, salida de video DVI-D (HDMI). La GigE Visión y el RS232 estarán disponibles en el 2015. Software SmartView®: tarjeta SD. El USB 2.0, la GigE Visión y el RS232 estarán disponibles en el 2015.
- Obtenga las imágenes IR-Fusión con la mayor nitidez posible por medio de una cámara de luz visible de 8 MP.
- Versatilidad de opciones de visualización para ver las imágenes en campo con un visor para uso exterior.
- Botones programables a ser definidos por el usuario, para personalizar el rápido acceso a las características más usadas.
- Las únicas cámaras de mano que ofrecen un sistema de presentación de pequeñas ventanas con una velocidad de cuadro de 240 Hz para las aplicaciones avanzadas (opción complementaria).
- El modelo se presenta en la figura 4.21



Figura 4. 21 Modelo de la cámara termografía de Fluke

#### 4.6 Distribución en planta de la maquinaria a ubicar en el laboratorio.

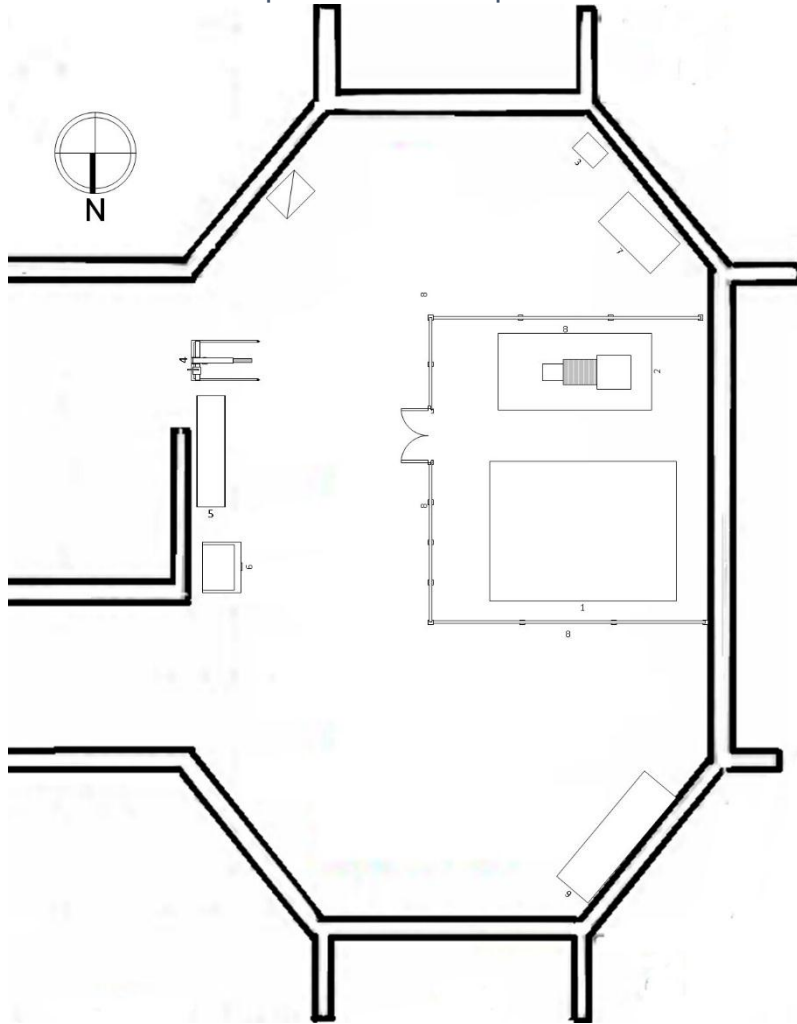


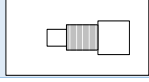

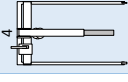



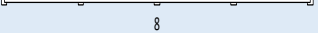



Figura 4. 22 plano descriptivo de la ubicación de los equipos dentro del edificio de potencia

Símbolo y numeración	Descripción del objeto
	Tablero principal del edificio de potencia
	Banco de pruebas de motores, incluiría el dinamómetro y el sistema de adquisición de datos de pruebas
	Sistema de moto generación para alimentar el banco de pruebas
	Horno De secado de bobinas de motores y transformadores
	Pluma para levantar motores eléctricos
	Estante de almacenamiento para motores y otras utilidades
	Gabinete de herramientas
	Almacenamiento de transformadores
	Barandas de restricción para el área de pruebas
	Área de trabajo para desarme y diagnóstico de motores

## CONCLUSIONES

De acuerdo a las investigaciones realizadas se puede concluir lo siguiente.

Los datos de placa de una maquina eléctrica están basados a una temperatura especificada así cuando se realicen las pruebas para verificación de sus parámetros tanto eléctricos como mecánicos y la temperatura de prueba difiera de la temperatura especificada, se deben corregir dichos datos para tener una mayor uniformidad en los resultados para que estos sean los más cercanos posibles a los datos de placa y así realizar un informe adecuado sobre el funcionamiento y parámetros tanto de máquinas eléctricas nuevas o reparadas.

Las mediciones realizadas en el edificio de potencia nos comprueban que tenemos la calidad eléctrica para poder instalar los equipos necesarios al tener una variación de voltaje menor al 5% que es lo que garantiza la norma IEEE 112 para asegurar la viabilidad de las pruebas(sección 2.5) y que las interrupciones mostradas en la medición generalmente son huecos de tensión, este problema nos lleva a establecer entre las mejoras eléctricas los supresores de transientes para combatir los huecos de tensión.

En la medición de la eficiencia por los diferentes métodos que establece la norma IEEE-112 la cual se muestra en la sección 3.12 es importante el análisis de segregación de pérdidas. La eficiencia obtenida por estos métodos son valores muy reales e importantes ya que nos permiten predecir los ahorros energéticos.

El uso de los motores eléctricos representa un porcentaje muy alto en la industria y por tanto el cumplimiento de especificaciones técnicas de las máquinas eléctricas es de suma importancia principalmente en máquina que han sido reparadas. Para la verificación de dichos parámetros se deben considerar las condiciones ambientales del entorno del laboratorio donde se realizan las pruebas, donde las variables que más afectan los resultados son la temperatura y el porcentaje de humedad relativa.

Para poder establecer las condiciones óptimas para un laboratorio de pruebas industriales se deben de tener las siguientes consideraciones: considerar la humedad, ya que con los altos niveles de la misma pueden alterar las mediciones (apartado 1.2), luego considerar la temperatura (apartado 1.1) puede afectar la resistencia del bobinado del motor y habrá que realizar correcciones a los valores dados en la medición, debido a que estas pueden ser una fuente de error a futuro.

La seguridad industrial representa un arma importante en el entorno del laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas, ya que un gran porcentaje de accidentes son causados por desperfectos en los equipos que pueden ser prevenidos. También el mantener las áreas y ambientes de trabajo con adecuado orden, limpieza, iluminación, etc. es parte del mantenimiento preventivo de los sitios de trabajo. Proporcionando herramientas adecuadas y equipos de seguridad con el fin de cuidar la salud laboral de las personas y reducir riesgos en el trabajo por falta de equipo de protección. Para lograr los objetivos que tiene la seguridad industrial se tiene que llevar a cabo una estrategia ya establecida, el mantenimiento de equipos, infraestructuras, herramientas y maquinaria

Las pruebas descritas en el capítulo 3 son aplicables tanto a motores y generadores según sea necesario. Las ecuaciones descritas en todo el capítulo son específicamente para sistemas trifásicos, cuando las pruebas no se realicen con energía trifásica, las ecuaciones se deben modificar adecuadamente para ser aplicables a las nuevas condiciones de energía.

La consideración para especificar el equipo en la sección 4.5 toma como base el método B especificado por la norma IEEE 112 que incluye el dinamómetro como carga y están detallados para poder probar máquinas hasta de 100HP de capacidad nominal. Para los equipos auxiliares planteados como el medidor de vibraciones, la cámara termo gráfica y el multímetro digital pueden ser variados según la necesidad que se presente en la implementación del laboratorio mientras cumplan la precisión requerida en la norma IEEE-112 para el equipamiento.

La calidad de energía, además de la instrumentación son aspectos fundamentales en la realización de ensayos en las máquinas eléctricas, por ello se debe monitorear constantemente. La importancia de la medición de las resistencias tanto del estator como las del rotor, son de vital valor para obtener el circuito equivalente exacto y estos valores son alterados significativamente cuando no se cuenta con la calidad de energía necesaria en el laboratorio donde se realizan las pruebas. Además del monitoreo se debe actualizar todos los parámetros de calidad para que estos cumplan con la normativa vigente nacional de calidad de energía ya que en la parte de las mediciones de los parámetros eléctricos actuales se encontró que el valor de la resistencia de la red de tierra actual no cumple con el valor mínimo establecido por las normas de la SIGET.

## RECOMENDACIONES

Antes de la implementación del laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas en el edificio de potencia de la EIE, se debe garantizar que se cumpla el valor mínimo requerido de la resistencia de tierra establecido en el acuerdo 29E 2000 de la SIGET, tomando en cuenta lo fijado en la sección 4.1

Se debe de mantener un registro y un monitoreo constante de las condiciones ambientales en el laboratorio de la humedad y la temperatura, ya que esto permite mantener patrones de elevaciones de temperatura y permitirá deducir los límites aceptables que pueden tener los resultados de las pruebas que se realicen dentro del laboratorio en cualquier época del año.

Antes de realizar cada prueba en el laboratorio, deberá de revisarse el correcto estado del equipo, incluyendo el estado físico y la calibración del mismo, auxiliándose del historial que se tenga del equipo, ya que esto será una forma de prevenir de errores en las mediciones tomadas de las pruebas.

Se deberá tomar en cuenta que las épocas de verano e invierno las variaciones de humedad relativa es bastante amplia se recomienda que además de realizar un monitoreo constante de dicho parámetro, se instale un equipo que permita regular esta condición y poder mantenerla entre los límites establecidos por este diseño que es el de 55% como máximo (fijado en el apartado 1.1.2).

Cuando se desconozca el número de polos de la maquina sometida a prueba, el número de polos pueden ser determinados usando los datos obtenidos en la prueba sin carga y haciendo uso de los ecuación 3.7 para encontrar su valor.

Cuando se utilicen los métodos de prueba de eficiencia y el valor de las pérdidas indeterminadas no puede ser medidos, es aceptable usar los valores establecidos en la tabla 3.2, el valor asumido dependerá de la capacidad en HP de la máquina que estará siendo sometida a prueba.

La temperatura especificada para los cálculos de eficiencia cuando la temperatura de la maquina a carga nominal no es medida podrá sumirse este valor de acuerdo a la clase de aislamiento del sistema de acuerdo a los valores tabulados en la tabla 3.1.

Los equipos están sujetos a la disponibilidad del fabricante, por lo tanto a la hora de implementar el diseño del laboratorio pueden sufrir variaciones, por lo tanto se recomienda establecer como norma prioritaria la norma IEEE-112 a la hora de plantear el diseño con el fabricante del equipo.

Debido que en algunas pruebas se utilizan tensiones que podrían causar lesiones personales graves, las pruebas debe realizarse solo por personal experimentado, y se deben tomar las precauciones pertinentes de seguridad para evitar lesiones al personal o daños a los equipos utilizados para realizar dichas pruebas.

## REFERENCIAS

- [1] Institute of Electrical and Electronics Engineers National Electrical Manufacturers Association. IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery. 43-2000.
- [2] Institute of Electrical and Electronics Engineers National Electrical Manufacturers Association. IEEE [1] Recommended Practice - General Principles for Temperature Limits in the Rating of Electrical Equipment and for the Evaluation of Electrical Insulation. 1-2000.
- [3] Institute of Electrical and Electronics Engineers National Electrical Manufacturers Association. IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators. 112-1984.
- [4] Institute of Electrical and Electronics Engineers National Electrical Manufacturers Association. IEEE, National Electric Safety Code (R) (NESC(R)). c2-2012.
- [5] Institute of Electrical and Electronics Engineers National Electrical Manufacturers Association. IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems. 493-7.
- [6] Institute of Electrical and Electronics Engineers National Electrical Manufacturers Association. IEEE Master Test Guide for Electrical Measurements in Power Circuits. 120-1989. [7] National Electrical Code. Nec-2008.
- [8] Recommended Environments For Standards Laboratories. ISA RP52.1:1975.
- [9] <http://www.mtps.gob.sv/wp-content/uploads/descargas/InformacionInstitucional/Decretos/decreto-86-reglamento-de-gestion-de-la-prevision-de-riesgos-en-los-lugares-de-trabajo>.
- [10] ANSI/TIA/EIA 607-A-2 Addendum 2 Furnitures Pathways and Spaces. (2000)
- [11] The National Electrical Manufacturers Association (NEMA) has published NEMA MG 1-2009, Revision 1-2010 Motors and Generators.
- [12] National Fire Protection Association. NFPA-2007.
- [13] Institute of Electrical and Electronics Engineers National Electrical Manufacturers Association. IEEE Standard Test Procedure for. Polyphase Induction Motors and. Generators. 112-2004.
- [14] Norma Técnica de Diseño, Seguridad y Operación de las Instalaciones de Distribución Eléctrica. SIGET. 29-E-2000.
- [15] Norma de Calidad de La Energía SIGET

## ANEXOS

### ANEXO A1: TABLAS DE RECOPIACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PROPUESTOS

#### A.1.1 FORMATO A -MÉTODO A

Tipo \_\_\_\_\_ Diseño \_\_\_\_\_ Armazón \_\_\_\_\_ Clasificación \_\_\_\_\_ Fase \_\_\_\_\_  
 Frecuencia \_\_\_\_\_ Voltaje \_\_\_\_\_ Síncrono r/min \_\_\_\_\_ N°  
 Serial \_\_\_\_\_

Aumento de Temperatura (°C) \_\_\_\_\_ Tiempo de prueba \_\_\_\_\_ N° Modelo \_\_\_\_\_

Temperatura Especificada, $t_s$ En(°C)	Velocidad Síncrona, $n_s$ En r/min		Resistencia del estator de terminal a terminal Ohm @ °C			
Punto de Prueba (Motor)(Generación)	1	2	3	4	5	6
Temperatura del devanado del estator, $t_t$ , En °C						
Temperatura Ambiente, En °C						
Voltaje de Línea a Línea , En V						
Frecuencia, En Hz						
Velocidad Observada , En r/min						
Deslizamiento Observado, En r/min						
Deslizamiento Observado, En P.U.						
Deslizamiento Corregido ,En P.U.						
Velocidad Corregida, En r/min						
Torque, En N.m						
Corrección del Dinamómetro, En N.m						
Corrección del Torque , En N.m						
Potencia en el Eje , En W						
Corriente de Línea , En A						
Potencia del Estator , En W						
(a) Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_t$						
(b) Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_s$						
Corrección de la Potencia del Estator = (b)-(a)						
Potencia del Estator Corregida, En W						
Eficiencia, En %						
Factor de Potencia, En %						

Curva de Rendimiento \_\_\_\_\_

#### Resumen de Características

Carga, En % de la Nominal	25	50	75	100	125	150
Factor de Potencia ,En %						
Eficiencia , En %						
Velocidad , En r/min						
Corriente de Línea ,En A						

## A.1.2 FORMATO A2 -MÉTODO A CÁLCULOS

Tipo \_\_\_\_\_ Diseño \_\_\_\_\_ Armazón \_\_\_\_\_ Clasificación \_\_\_\_\_ Fase \_\_\_\_\_

Frecuencia \_\_\_\_\_ Voltaje \_\_\_\_\_ Síncrono r/min \_\_\_\_\_ N° Serial \_\_\_\_\_

Aumento de Temperatura (°C) \_\_\_\_\_ Tiempo de prueba \_\_\_\_\_ N° Modelo \_\_\_\_\_

Temperatura Especificada, $t_s$ (1) En(°C)		Velocidad Síncrona, $n_s$ (2) ,En r/min	Resistencia del estator de terminal a terminal (4) Ohm @ (5) °C			
Item	Punto de Prueba (Motor)(Generación)	Fuente o Calculo	1	2	-	6
5	Temperatura del devanado en estator, $t_t$ , En °C	De cada Punto Prueba de 3.6.1.				
6	Temperatura Ambiente, En °C	De cada Punto Prueba de 3.6.1				
7	Voltaje de Línea a Línea , En V	De cada Punto Prueba de 3.6.1				
8	Frecuencia, En Hz	De cada Punto Prueba de 3.6.1				
9	Velocidad Observada , En r/min	#(9)=(2)-(10)				
10	Deslizamiento Observado, En r/min	#(10)=(2)-(9)				
11	Deslizamiento Observado, En P.U.	#(11)=(10)/(2)				
12	Deslizamiento Corregido ,En P.U.	Ver sección 3.5.2.2				
13	Velocidad Corregida, En r/min	#(13)=(2)* [1-(12) ]				
14	Torque, En N.m	De cada Punto Prueba de 3.6.1				
15	Corrección del Dinamómetro, En N.m	Del cálculo Por				
16	Corrección del Torque , En N.m	Para Motor : (16)=(14)+(15) Para Generación: (16)=(14)-(15)				
17	Potencia en el Eje , En W	(17)=(16)*(13)/9.549				
18	Corriente de Línea , En A	De cada Punto Prueba de 3.6.1				
19	Potencia del Estator , En W	De cada Punto Prueba de 3.6.1				
20	Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_t$	*(20)=1.5*(18) <sup>2</sup> *3*{[ $k_1$ +(5)]/ [ $k_1$ +(4)]}				
21	Resistencia en el Devanado $t_s$	Corrección (3) Usando Ecu.(3)				
22	Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_s$	(22)=1.5*(18) <sup>2</sup> *(21)				
23	Corrección de la Potencia del Estator	(23)=(22)-(20)				
24	Potencia del Estator Corregida, En W	Para Motor : (24)=(19)+(23) Para Generación: (24)=(19)-(23)				
25	Eficiencia, En %	Para Motor : (25)=100(17)/(24) Para Generación: (25)=100(24)/(17)				
26	Factor de Potencia, En %	(26)=100*(24)/ [1.732*(7)*(18) ]				

# Introducir la velocidad de medida o la medida de deslizamiento para cada punto de prueba en la línea correcta y usa formulas siempre a calcular el orden de los parámetros.

\* En (20) seleccionar  $k_1$  basado en el material conductor del estator.

Paréntesis (), Normalmente usado con números de ecuaciones no se utilizan aquí para evitar equivocaciones con la formato del número de ítem.

### A.1.3 FORMATO B -MÉTODO B

Tipo \_\_\_\_\_ Diseño \_\_\_\_\_ Armazón \_\_\_\_\_ Clasificación \_\_\_\_\_ Fase \_\_\_\_\_

Frecuencia \_\_\_\_\_ Voltaje \_\_\_\_\_ Síncrono r/min \_\_\_\_\_ Serial \_\_\_\_\_

Aumento de Temperatura (°C) \_\_\_\_\_ Tiempo de prueba \_\_\_\_\_ N° Modelo \_\_\_\_\_

Resistencia entre los terminales del devanado del estator en frío _____ Ohm@ _____ °C						
Prueba de resistencia entre los terminales del devanado del estator a carga nominal _____ Ohm _____ °C En _____ °C Ambiente						
Prueba de incremento de temperatura del estator a carga nominal _____ °C						
Temperatura del estator total. $t_s$ _____ °C En unos 25°C Ambiente						
Descripción (Motor)(Generador)	1	2	3	4	5	6
Temperatura Ambiente, En °C						
Temperatura del devanado en estator, $t_t$ , En °C						
Frecuencia, En Hz						
Velocidad Síncrona, En r/min						
Velocidad, En r/min						
Velocidad de Deslizamiento, En r/min						
Deslizamiento, En P.U.						
Voltaje de Línea a Línea , En V						
Corriente de Línea , En A						
Potencia del Estator , En W						
Perdida del Núcleo, En W						
Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_t$						
Potencia Atraves del Entre Hierro, En W						
Perdida del Rotor $I^2R$ , En W						
Perdida por fricción y viento, En W						
Pérdidas Convencional Total, En W						
Torque, En W						
Corrección del Dinamómetro, En N.m						
Torque Corregido, En N.m						
Potencia Del Eje, En W						
Perdida Aparente Total , En w						
Perdida Indeterminadas, En W						
Intercepto _____ Inclinación _____ Factor de Correlación _____ Punto eliminado _____						
Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_s$						
Potencia Atraves del Entre Hierro Corregida, En W						
Deslizamiento Corregida, En P.U.						
Velocidad Corregida, En r/min						
Perdida del Rotor $I^2R$ , En W, a $t_s$						
Perdida Indeterminadas Corregida, En W						
Pérdida Total Corregida, En W						
Potencia Del Eje Corregida, En W						
Eficiencia, En %						
Factor de Potencia, En %						

El índice de características puede ser presentado como el formato A de sección 3.19.3.

### A.1.4 FORMATO B2 -MÉTODO B

Resistencia entre los terminales del devanado del estator en frio ___(1)___ Ohms@ ___(2)___ °C		
Resistencia entre los terminales del devanado del estator en caliente ___(3)___ Ohms ___(4)___ °C En ___(5)___ °C Ambiente		
Incremento de la temperatura del estator a carga nominal ___(6)___ °C, (6)=(4)-(5)		$(4 - \frac{(3)}{(1)} * [k_1 + (2)]) - k_1$
Temperatura del estator total. $t_s$ ___(7)___ °C En unos 25°C Ambiente, (7)=(6)+(25)		Si (6)&(7)son igual,(3),(4)&(5) están N/A
Item	Descripción (Motor)(Generador)	Fuente o Calculo
8	Temperatura Ambiente, En °C	Para cada punto de Prueba de 3.6
9	Temperatura del devanado en estator, $t_t$ , En °C	Para cada punto ajustado por 3.14.2
10	Frecuencia, En Hz	Para cada punto de Prueba de 3.6
11	Velocidad Síncrona, En r/min	$= 120 * (10) / \text{Numero de polos}$
12	Velocidad, En r/min	$* = (11) - (13)$
13	Velocidad de Deslizamiento, En r/min	$* = (11) - (12)$
14	Deslizamiento, En P.U.	$= (13) / (11)$
15	Voltaje de Línea a Línea , En V	Para cada punto de Prueba de 3.6
16	Corriente de Línea , En A	Para cada punto de Prueba de 3.6
17	Potencia del Estator , En W	Para cada punto de Prueba de 3.6
18	Perdida del Núcleo, En W	De 5.5.5 este igual al voltaje de (15)
19	Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_t$	$1.5 * (16)^2 * R$ Ajusta R Viendo 3.14.2
20	Potencia Atraves del Entre Hierro, En W	$= (17) - (18) - (19)$ del Motor $= (17) + (18) + (19)$ del Generador
21	Perdida del Rotor $I^2R$ , En W	$= (20) * (14)$
22	Perdida por fricción y viento, En W	De 5.5.4
23	Pérdidas Convencional Total, En W	$= (18) + (19) + (21) + (22)$
24	Torque, En W	De cada punto de prueba, de 3.6
25	Corrección del Dinamómetro, En N.m	Por prueba de 5.6.1.2, si necesario
26	Torque Corregido, En N.m	$= (24) + (25)$
27	Potencia Del Eje, En W	$= (26) * (12) / 9.549$
28	Perdida Aparente Total , En w	$= (17) - (27)$ para Motor $= (27) - (17)$ para Generador
29	Perdida Indeterminadas, En W	$= (28) - (23)$
Intercepto ___(30)___ Inclinación ___(31)___ Factor de Correlación ___(32)___ Punto eliminado ___(33)___ (30),(31),(32)&(33)A partir del Análisis de la Regresión Lineal de(29) & (26)Como entradas Descritas		
34	Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_s$	$1.5 * (16)^2 * (3) * \{ [k_1 + (7)] / [k_1 + (4)] \}$
35	Potencia Atraves del Entre Hierro Corregida, En W	$= (17) - (18) - (34)$
36	Deslizamiento Corregida, En P.U.	$= (14) * [k_1 + (7)] / [k_1 + (9)]$
37	Velocidad Corregida, En r/min	$= (11) * [1.00 - (36)]$
38	Perdida del Rotor $I^2R$ , En W, a $t_s$	$= (35) * (36)$
39	Perdida Indeterminadas Corregida, En W	$= (31) * (26)^2$
40	Pérdida Total Corregida, En W	$= (18) + (22) + (34) + (38) + (39)$
41	Potencia Del Eje Corregida, En W	$= (17) - (40)$
42	Eficiencia, En %	$= 100(41) / (17)$ para un Motor $= 100(17) / (41)$ para un Generador
43	Factor de Potencia, En %	$= (100) * (17) / [1.732 * (15) * (16)]$

\*Introduzca la velocidad medida o la velocidad de deslizamiento medido, para cada punto de prueba en la línea apropiada y uso de formula proporcionado al cálculo de otros parámetros. En (4), (19), (34) y (36) selecciona  $k_1$  basado en el material conductor. Ver 3.19.3 para el índice de características.



### A.1.4 FORMATO B1 -MÉTODO B1

Tipo \_\_\_\_\_ Diseño \_\_\_\_\_ Armazón \_\_\_\_\_ Clasificación \_\_\_\_\_ Fase \_\_\_\_\_

Frecuencia \_\_\_\_\_ Voltaje \_\_\_\_\_ Síncrono r/min \_\_\_\_\_ N° Serial \_\_\_\_\_

Aumento de Temperatura (°C) \_\_\_\_\_ Tiempo de prueba \_\_\_\_\_ N° Modelo \_\_\_\_\_

Resistencia entre los terminales del devanado del estator en frio _____ Ohms@ _____ °C						
Temperatura especificada del estator. $t_s$ _____ °C En unos 25°C Ambiente						
Descripción (Motor)(Generador)	1	2	3	4	5	6
Temperatura Ambiente, En °C						
Temperatura del devanado en estator, $t_t$ , En °C						
Frecuencia, En Hz						
Velocidad Síncrona, En r/min						
Velocidad, En r/min						
Velocidad de Deslizamiento, En r/min						
Deslizamiento, En P.U.						
Voltaje de Línea a Línea , En V						
Corriente de Línea , En A						
Potencia del Estator , En W						
Perdida del Núcleo, En W						
Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_t$						
Potencia Atraves del Entre Hierro, En W						
Perdida del Rotor $I^2R$ , En W						
Perdida por fricción y viento, En W						
Pérdidas Convencional Total, En W						
Torque, En W						
Corrección del Dinamómetro, En N.m						
Torque Corregido, En N.m						
Potencia Del Eje, En W						
Perdida Aparente Total , En w						
Perdida Indeterminadas, En W						
Intercepto _____ Inclinación _____ Factor de Correlación _____ Punto eliminado _____						
Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_s$						
Potencia Atraves del Entre Hierro Corregida, En W						
Deslizamiento Corregida, En P.U.						
Velocidad Corregida, En r/min						
Perdida del Rotor $I^2R$ , En W, a $t_s$						
Perdida Indeterminadas Corregida, En W						
Pérdida Total Corregida, En W						
Potencia Del Eje Corregida, En W						
Eficiencia, En %						
Factor de Potencia, En %						

El índice de las características deberá estar presentado como el Formato A. ver sección 3.19.3

### A.1.5 FORMATO B1-2 -MÉTODO B1

Resistencia entre los terminales del devanado del estator en frío ____ (1) ____ Ohms@ ____ (2) ____ °C			
Temperatura especificada del estator. $t_s$ ____ (3) ____ °C En unos 25°C Ambiente			
Ítem	Descripción (Motor)(Generador)	Fuente o Calculo	
4	Temperatura Ambiente, En °C	Para cada punto de Prueba de 3.6	
5	Temperatura del devanado en estator, $t_t$ , En °C	Para cada punto ajustado por 3.14.2	
6	Frecuencia, En Hz	Para cada punto de Prueba de 3.6	
7	Velocidad Síncrona, En r/min	=120*(6)/ Numero de polos	
8	Velocidad, En r/min	*=(7)-(9)	
9	Velocidad de Deslizamiento, En r/min	*=(7)-(8)	
10	Deslizamiento, En P.U.	=9)/(7)	
11	Voltaje de Línea a Línea , En V	Para cada punto de Prueba de 3.6	
12	Corriente de Línea , En A	Para cada punto de Prueba de 3.6	
13	Potencia del Estator , En W	Para cada punto de Prueba de 3.6	
14	Perdida del Núcleo, En W	De 5.5.5 este igual al voltaje de (11)	
15	Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_t$	$1.5*(12)^2*(1)*\{[k_1+(5)]/[k_1+(2)]\}$	
16	Potencia Atraves del Entre Hierro, En W	=(13)-(14)-(15) del Motor =(13)+(14)+(15) del Generador	
17	Perdida del Rotor $I^2R$ , En W	=(16)*(10)	
18	Perdida por fricción y viento, En W	De 3.5.3.2	
19	Pérdidas Convencional Total, En W	=(14)+(15)+(17)+(18)	
20	Torque, En W	De cada punto de prueba	
21	Corrección del Dinamómetro, En N.m	Por prueba de 5.6.1.2, si necesario	
22	Torque Corregido, En N.m	=(20)+(21)	
23	Potencia Del Eje, En W	=(22)*(8)/9.549	
24	Perdida Aparente Total , En w	=(13)-(23) para Motor =(23)-(13) para Generador	
25	Perdida Indeterminadas, En W	=(24)-(19)	
Intercepto ____ (26) ____ Inclinación ____ (27) ____ Factor de Correlación ____ (28) ____ Punto eliminado ____ (29) ____ (26),(27),(28)&(29)A partir del Análisis de la Regresión Lineal de(25)&(22)Como entradas Descritas			
30	Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_s$	$1.5*(16)^2*(1)*\{[k_1+(3)]/[k_1+(2)]\}$	
31	Potencia Atraves del Entre Hierro Corregida, En W	=(13)-(14)-(30)	
32	Deslizamiento Corregida, En P.U.	=(10)* $[k_1+(3)]/[k_1+(5)]$	
33	Velocidad Corregida, En r/min	=(7)*[1.00-(32)]	
34	Perdida del Rotor $I^2R$ , En W, a $t_s$	=(31)*(32)	
35	Perdida Indeterminadas Corregida, En W	=(27)*(22) <sup>2</sup>	
36	Pérdida Total Corregida, En W	=(14)+(18)+(30)+(34)+(35)	
37	Potencia Del Eje Corregida, En W	=(13)-(36)	
38	Eficiencia, En %	=100(37)/(13) para un Motor =100(13)/(37) para un Generador	
39	Factor de Potencia, En %	=(100)*(13)/[1.732*(11)*(12)]	

\*Introduzca la velocidad medida o la velocidad de deslizamiento medida para cada punto de prueba en la línea apropiada y usar de formula proporcionadas para cálculo de otros parámetros. En (15), (30) y (32) selecciona  $k_1$  basado en el material conductor. Ver 2.19.3. Para el índice de características.

## A.1.6 FORMATO C -MÉTODO C

Tipo \_\_\_\_\_ Diseño \_\_\_\_\_ Armazón \_\_\_\_\_ hp/Kw \_\_\_\_\_ Fase \_\_\_\_\_

Frecuencia \_\_\_\_\_ Voltaje \_\_\_\_\_ Velocidad r/min \_\_\_\_\_ N° Serial \_\_\_\_\_

Aumento de Temperatura (°C) \_\_\_\_\_ Tiempo de prueba \_\_\_\_\_ N° Modelo \_\_\_\_\_

M1	promedio de la resistencia entre terminales del devanado del estator en frio _____ Ohms@ _____ °C											
M2	Promedio de la resistencia entre terminales del devanado del estator en frio _____ Ohms@ _____ °C											
Temperatura total especificada del estator. $t_s$ _____ °C En unos 25°C Ambiente												
Punto de Prueba >	1		2		3		4		5		6	
Descripción	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
<b>Parte A del punto de prueba-Maquina 1 como un Motor y Maquina 2 como un Generador</b>												
Temperatura Ambiente, En °C												
Temp. del devanado en estator, $t_t$ , En °C												
Frecuencia, En Hz												
Velocidad Síncrona, En r/min												
Velocidad, En r/min												
Velocidad de Deslizamiento, En r/min												
Deslizamiento, En P.U.												
Voltaje de Línea a Línea , En V												
Voltios/Hertz												
Corriente de Línea , En A												
Potencia del Estator , En W												
Perdida del Núcleo, En W												
Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_t$												
Potencia Atraves del Entre Hierro, En W												
Perdida del Rotor $I^2R$ , En W												
Perdida por fricción y viento, En W												
Pérdidas Convencional Total, En W												
Corriente del Rotor, En A												
Combinación Perdida Indeterminadas, En W												
Perdida Indeterminadas, En W												
<b>Parte B del punto de prueba- Maquina 1 como Generador Maquina 2 como Motor</b>												
Temperatura Ambiente, En °C												
Temp. del devanado en estator, $t_t$ , En °C												
Frecuencia, En Hz												
Velocidad Síncrona, En r/min												
Velocidad, En r/min												
Velocidad de Deslizamiento, En r/min												
Deslizamiento, En P.U.												
Voltaje de Línea a Línea , En V												
Voltios/Hertz												
Corriente de Línea , En A												
Potencia del Estator , En W												

Perdida del Núcleo, En W													
Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_t$													
Punto de Prueba >	1		2		3		4		5		6		
Descripción	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	
Potencia A través del Entre Hierro, En W													
Perdida del Rotor $I^2R$ , En W													
Perdida por fricción y viento, En W													
Pérdidas Convencional Total, En W													
Corriente del Rotor, En A													
Combinación Perdida Indeterminadas, En W													
Perdida Indeterminadas, En W													
	Maquina 1						Maquina 2						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Corriente del Rotor Promedio, En A													
Perdida Indeterminadas Promedio, En W													
<b>Análisis de Regresión Lineal</b>													
Maquina 1 Intercepto _____ Inclinación _____ Factor de Correlación _____													
Maquina 2 Intercepto _____ Inclinación _____ Factor de Correlación _____													
<b>Valores Corregidos</b>													
Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_s$													
Potencia Atraves del Entre Hierro, En W													
Deslizamiento, En P.U.													
Velocidad, En r/min													
Perdida del Rotor $I^2R$ , En W, a $t_s$													
Perdida Indeterminadas, En W													
Pérdida Total, En W													
Potencia Del Eje, En W													
Eficiencia, En %													

### Resumen de Características Maquina 1

Carga ,En % de la nominal	25	50	75	100	125	150
Factor de Potencia ,En %						
Eficiencia ,En %						
Velocidad , En %						
Corriente de Línea ,En A						

### Resumen de Características Maquina 2

Carga ,En % de la nominal	25	50	75	100	125	150
Factor de Potencia ,En %						
Eficiencia ,En %						
Velocidad , En %						
Corriente de Línea ,En A						



## A.1.7 FORMATO C2 -MÉTODO C CÁLCULOS

Tipo \_\_\_\_\_ Diseño \_\_\_\_\_ Armazón \_\_\_\_\_ hp/Kw \_\_\_\_\_ Fase \_\_\_\_\_

Frecuencia \_\_\_\_\_ Voltaje \_\_\_\_\_ Velocidad r/min \_\_\_\_\_ N° Serial \_\_\_\_\_

Aumento de Temperatura (°C) \_\_\_\_\_ Tiempo de prueba \_\_\_\_\_ N° Modelo \_\_\_\_\_

M1	Promedio de la resistencia entre terminales del devanado del estator en frio (1) _____ Ohms@ (2) _____ °C		
M2	Promedio de la resistencia entre terminales del devanado del estator en frio (3) _____ Ohms@ (4) _____ °C		
Temperatura total especificada del estator. $t_s$ (5) _____ °C En unos 25°C Ambiente			
Item	Punto de prueba>		1, Etc.
M1	M2	Descripción	Maquina 1                      Maquina 2
<b>Parte A del punto de prueba-Maquina 1 como un Motor y Maquina 2 como un Generador</b>			
6	26	Temperatura Ambiente, En °C	Cada punto de Prueba, de 3.15.2                      Cada punto de Prueba, de 3.15.2
7	27	Temp. del devanado en estator, $t_t$ , En °C	Cada punto de Prueba, de 3.15.2                      Cada punto de Prueba, de 3.15.2
8	28	Frecuencia, En Hz	Cada punto de Prueba, de 3.15.2                      Cada punto de Prueba, de 3.15.2
9	29	Velocidad Síncrona, En r/min	(9)=120*(8)/N° de polos                      (29)=120*(28)/N° de polos
10	30	Velocidad, En r/min	Cada punto de Prueba, de 3.15.2                      Cada punto de Prueba, de 3.15.2
11	31	Velocidad Deslizamiento, En r/min	Prueba de 6.6.1.3 O = (9)-(10)                      Prueba de 6.6.1.3 O = (30)-(29)
12	32	Deslizamiento, En P.U.	(12)=(11)/(9)                      (32)=(31)/(29)
13	33	Voltaje de Línea a Línea, En V	Cada punto de Prueba, de 3.15.2                      Cada punto de Prueba, de 3.15.2
14	34	Voltios/Hertz	(14)=(13)/(8)                      (34)=(33)/(28)
15	35	Corriente de Línea, En A	Cada punto de Prueba, de 3.15.2                      Cada punto de Prueba, de 3.15.2
16	36	Potencia del Estator, En W	Cada punto de Prueba, de 3.15.2                      Cada punto de Prueba, de 3.15.2
17	37	Perdida del Núcleo, En W	De 6.6.2.3 para Maquina1                      De 6.6.2.3 para Maquina2
18	38	Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_t$	De 6.6.2.4 para Maquina1                      De 6.6.2.4 para Maquina2
19	39	Potencia Atraves del Entre Hierro, En W	(19)=(16)-(17)-(18)                      (39)=(36)+(37)+(38)
20	40	Perdida del Rotor $I^2R$ , En W	(20)=(19)*(12)                      (40)=(39)*(32)
21	41	Perdida por fricción y viento, En W	De 6.6.2.2 para Maquina1                      De 6.6.2.2 para Maquina2
22	42	Pérdidas Convencional Total, En W	(22)=(17)+(18)+(20)+(21)                      (42)=(37)+(38)+(40)+(41)
23	43	Corriente del Rotor, En A	En Cada Punto de Prueba Usar Ec.71                      Cada Punto de Prueba Usar Ec.71
24		Combinación Perdida Indeterminadas, En W	(24)=(16)-(36)-(32)-(22)-(42)
25	44	Perdida Indeterminadas, En W	(25)=(20*(24)/[(20)+(40)])                      (44)=(24)-(25)
<b>Parte B del punto de prueba- Maquina 1 como Generador Maquina 2 como Motor</b>			
45	63	Temperatura Ambiente, En °C	Cada punto de Prueba, de 3.15.2                      Cada punto de Prueba, de 3.15.2
46	64	Temp. del devanado en estator, $t_t$ , En °C	Cada punto de Prueba, de 3.15.2                      Cada punto de Prueba, de 3.15.2
47	65	Frecuencia, En Hz	Cada punto de Prueba, de 3.15.2                      Cada punto de Prueba, de 3.15.2
48	66	Velocidad Síncrona, En r/min	(48)=120*(47)/N° de polos                      (66)=120*(65)/N° de polos
49	67	Velocidad, En r/min	Cada punto de Prueba, de 3.15.2                      Cada punto de Prueba, de 3.15.2
50	68	Velocidad de Deslizamiento, En r/min	Prueba de 6.6.1.3 O = (49)-(48)                      Prueba de 6.6.1.3 O = (66)-(67)
51	69	Deslizamiento, En P.U.	(51)=(50)/(48)                      (69)=(68)/(66)
52	70	Voltaje de Línea a Línea, En V	Cada punto de Prueba, de 3.15.2                      Cada punto de Prueba, de 3.15.2
53	71	Voltios/Hertz	(53)=(52)/(47)                      (71)=(70)/(65)
54	72	Corriente de Línea, En A	Cada punto de Prueba, de 3.15.2                      Cada punto de Prueba, de 3.15.2
55	73	Potencia del Estator, En W	Cada punto de Prueba, de 3.15.2                      Cada punto de Prueba, de 3.15.2
56	74	Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_t$	De 6.6.2.4 para Maquina1                      De 6.6.2.4 para Maquina2
57	75	Potencia Atraves del Entre Hierro, En W	(57)=(55)+(17)+(56)                      (75)=(73)-(37)-(74)

## De C2, Parte 1

M1	M2	Descripción	Maquina 1	Maquina 2
57	75	Potencia Atraves del Entre Hierro, En W	(57)=(55)+(17)+(56)	(75)=(73)-(37)-(74)
58	76	Perdida del Rotor $I^2R$ , En W	(58)=(57)*(51)	(76)=(75)*(68)
59	77	Pérdidas Convencional Total, En W	(59)=(17)+(21)+(56)+(58)	(77)=(37)+(41)+(74)+(76)
60	78	Corriente del Rotor, En A	Para cada prueba usar Ec.71	Para cada prueba usar Ec.71
61		Combinación Perdida Indeterminadas, En W	(61)=(55)-(73)-(59)-(77)	
62	79	Perdida Indeterminadas, En W	(62)=(61)-(79)	(79)=(76)*(61)/[(58)+(76)]
<b>Datos de Combinación de Parte A y Parte B</b>				
			Maquina 1	Maquina 2
80	82	Corriente promedio del Rotor, En A	(80)=[(23)+(60)]/2	(82)=[(43)+(78)]/2
81	83	Promedio de Pérdidas Indeterminadas, En W	(81)=[(25)+(62)]/2	(83)=[(44)+(79)]/2
<b>Análisis de Regresión Lineal</b>				
Maquina 1 Intercepto ___(84)___ Inclinación ___(85)___ Factor de Correlación ___(86)___				
Maquina 2 Intercepto ___(87)___ Inclinación ___(88)___ Factor de Correlación ___(89)___				
<b>Valores Corregidos</b>				
90	99	Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_s$	Como en (18) con R a $t_s$	Como en (38) con R a $t_s$
91	100	Potencia Atraves del Entre Hierro, En W	(91)=(16)-(17)-(90)	(100)=(36)-(37)-(99)
92	101	Deslizamiento, En P.U.	(12) corregida Como en 5.3.2	(32) corregida Como en 5.3.2
93	102	Velocidad, En r/min	(93)=(9)*[1.00-(92)]	(102)=(29)*[1.00-(101)]
94	103	Perdida del Rotor $I^2R$ , En W, a $t_s$	(94)=(93)*(92)	(103)=(102)*(101)
95	104	Perdida Indeterminadas, En W	(95)=(85)*(80) <sup>2</sup>	(104)=(88)*(82) <sup>2</sup>
96	105	Pérdida Total, En W	(96)=(90)+(94)+(95)+(17)+(21)	(105)=(99)+(103)+(104)+(37)+(41)
97	106	Potencia Del Eje, En W	(97)=(16)-(96)	(106)=(36)-(105)
98	107	Eficiencia, En %	(98)=100*(97)/(16)	(107)=100*(106)/(36)

Paréntesis ( ), Normalmente usado con número de ecuaciones no son usados aquí para evitar confusión con el formato del número de ítem.

## Resumen de Características

Maquina 1[Maquina 2 similares, Pero no se muestra Aquí ver formato C]

Carga ,En % de la nominal	25	50	75	100	125	150
Factor de Potencia ,En %						
Eficiencia ,En %						
Velocidad , En %						
Corriente de Línea ,En A						

Graficar la corriente de línea, velocidad y eficiencia Vs Potencia de Watts y en ese caso seleccionar valores para estas mismas cantidades a puntos de carga precisos para obtener el resumen de características. El factor de potencia es procesado por cada punto de carga preciso, está en amperios, voltios, la entrada potencia en Watts. La potencia de entrada para el factor de potencia es: Entrada de potencia =100\* Potencia de salida en porcentaje de curva/eficiencia.

### A.1.8 FORMATO E -MÉTODO E-E1

Tipo \_\_\_\_\_ Diseño \_\_\_\_\_ Armazón \_\_\_\_\_ Clasificación \_\_\_\_\_ Fase \_\_\_\_\_

Frecuencia \_\_\_\_\_ Voltaje \_\_\_\_\_ Síncrono r/min \_\_\_\_\_ N° Serial \_\_\_\_\_

Aumento de Temperatura (°C) \_\_\_\_\_ Tiempo de prueba \_\_\_\_\_ N° Modelo \_\_\_\_\_

Descripción (Motor)(Generador)	1	2	3	4	5	6
Temperatura Ambiente, En °C						
Temperatura del devanado en estator, $t_t$ , En °C						
Frecuencia, En Hz						
Velocidad Síncrona, $n_s$ En r/min						
Velocidad Observada, En r/min						
Deslizamiento Observado, En r/min						
Deslizamiento Corregido, En r/min						
Velocidad Corregida, En r/min						
Voltaje de Línea a Línea, En V						
Corriente de Línea, En A						
Potencia del Estator, En W						
Perdida del Núcleo, En W						
Resistencia del Devanado Corregida a $t_s$						
Perdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_s$						
Potencia Atraves del Entre Hierro, En W						
Perdida del Rotor $I^2R$ , En W						
Perdida por fricción y viento, En W						
Corriente del Rotor, En A						
Perdida Indeterminadas, En W						
Pérdida Total, En W						
Potencia Del Eje, En W						
Eficiencia, En %						
Factor de Potencia, En %						

$t_t$ =Temperatura del Devanado del Estator, determinado por la resistencia del estator o la temperatura de los detectores durante la prueba.

#### Resumen de Características

Carga ,En % de la Nominal	25	50	75	100	125	150
Factor de Potencia ,En %						
Eficiencia ,En %						
Velocidad , En %						
Corriente de Línea ,En A						

## A.1.9 FORMATO E2 -MÉTODO E-E1 CÁLCULOS

Tipo \_\_\_\_\_ Diseño \_\_\_\_\_ Armazón \_\_\_\_\_ Clasificación \_\_\_\_\_ Fase \_\_\_\_\_

Frecuencia \_\_\_\_\_ Voltaje \_\_\_\_\_ Síncrono r/min \_\_\_\_\_ N° Serial \_\_\_\_\_

Aumento de Temperatura (°C) \_\_\_\_\_ Tiempo de prueba \_\_\_\_\_ N° Modelo \_\_\_\_\_

Resistencia entre los terminales del devanado del estator en frío (1) Ohms@ (2) °C		
Temperatura específica del estator. $t_s$ (3) °C En unos 25°C Ambiente de 3.3.2 c)		
(Prueba)(Estándar) Pérdida Indeterminadas, ( $P'_{SL}$ ) = (4) *In W @, $I'_2$ , (5) A		
Item	Descripción (Motor)(Generador)	Fuente o Calculo
6	Temperatura Ambiente, En °C	De Prueba 3.6
7	Temp. del devanado en estator, $t_t$ , En °C	De cada punto de Prueba 3.6
8	Frecuencia, En Hz	Frecuencia de Línea
9	Velocidad Síncrona, En r/min	=120*(8)/N° Polos
10	Velocidad Observada, En r/min	De cada punto de Prueba 3.6
11	Deslizamiento Observado, En r/min	=[(9)-(10)]/(9)
12	Deslizamiento Corregido, En r/min	(10) Corregido por 3.5.2.2
13	Velocidad Corregida, En r/min	[1-(12)]*(9)
14	Voltaje de Línea a Línea, En V	De cada punto de Prueba 3.6
15	Corriente de Línea, En A	De cada punto de Prueba 3.6
16	Potencia del Estator, En W	De cada punto de Prueba 3.6
17	Pérdida del Núcleo, En W	De 3.5.3.3
18	Resistencia del Devanado Corregida a $t_s$	Justo(1) por 3.5.1.1
19	Pérdida del Estator $I^2R$ , En W, a $t_s$	=1.5*(15) <sup>2</sup> *(18)
20	Potencia Atraves del Entre Hierro, En W	=(16)-(17)-(19)
21	Pérdida del Rotor $I^2R$ , En W	=(12)*(20)
22	Pérdida por fricción y viento, En W	= De 3.5.3.2
23	Corriente del Rotor, En A	De ecuación 23 usar (15) y $I_0$
24	Pérdida Indeterminadas, En W	para Método E o para Método E1
25	Pérdida Total, En W	=(17)+(19)+(21)+(22)+(24)
26	Potencia Del Eje, En W	Para Motor:= (16)-(25) Para Generador:=(16)+(25)
27	Eficiencia, En %	Para Motor:=100*(26)/(16) Para Generador:=100*(16)/(26)
28	Factor de Potencia, En %	=100*(16)/[1.732*(14)*(15)]

$t_t$ =Temperatura del Devanado del Estator, determinado por la resistencia del estator o la temperatura de los detectores durante la prueba.

Paréntesis, (), Normalmente usado con número de ecuaciones no están usado aquí para evitar confusión con el formato del número de ítem.

### A.1.10 FORMATO F -MÉTODO F, F1, C/F, E/F, Y E1/F1

N° Serial \_\_\_\_\_ N° Modelo \_\_\_\_\_

Tipo \_\_\_\_\_ Nominal \_\_\_\_\_ Voltaje \_\_\_\_\_ Velocidad Síncrona \_\_\_\_\_ Fase \_\_\_\_\_ Frecuencia \_\_\_\_\_

Descripción (Motor)(Generador)		1	2	3	4	5	6
S	Deslizamiento En P.U						
$R_2/S$	Resistencia Efectiva del Rotor						
$X_2$	Reactancia del Rotor						
$Z_2^2$	Impedancia del Rotor	z					
$G_1$	Conductancia del Rotor						
$G_{fe}$	Conductancia del Núcleo						
G	Conductancia del Circuito del Rotor & Mag.						
$-B_2$	Susceptancia del Rotor						
$-B_M$	Susceptancia de Magnetización						
-B	Susceptiva del Circuito del Rotor & Magnético						
$Y_2^2$	Admitancia del Circuito del Rotor & Magnetización						
$R_g$	Resistencia del Circuito del Rotor & Magnético						
$R_1$	Resistencia del Estator Por Fase						
R	Resistencia Total						
$X_g$	Reactancia del Circuito del Rotor & Magnético						
$X_1$	Reactancia del Estator						
X	Reactancia Total						
Z	Impedancia Total						
$I_1$	Corrientes del Estator						
$I_2$	Corrientes del Rotor						
	Potencia del Estator						
	Potencia del Rotor						
	Perdida del Estator $I^2R$						
$P_h$	Perdida del Núcleo						
	Perdida del Rotor $I^2R$						
$P_f$	Perdida por fricción y viento						
$P_{SL}$	Perdida Indeterminadas						
	Pérdida Total						
	Potencia Del Eje, En W						
	Eficiencia, En %						
	Factor de Potencia, En %						
	Velocidad En r/min						
	Torque En N.m						

## A.1.11 FORMATO F2 -MÉTODO F, F1, C/F, E/F, Y E1/F1 CÁLCULOS

N° Serial \_\_\_\_\_ N° Modelo \_\_\_\_\_

Tipo \_\_\_\_\_ Nominal \_\_\_\_\_ Voltaje \_\_\_\_\_ Velocidad Síncrona \_\_\_\_\_ Fase \_\_\_\_\_ Frecuencia \_\_\_\_\_

Antes de iniciar el cálculo, llenar en seguimiento del Item, Obtenido de pruebas anteriores: R2=__(1)__V= voltaje de Fase__(2)__P'SL__(3)__a l'2__(4)__y $\pi_s$ __(5)__ Además todos los Item de abajo están marcados con un asterisco.( $n_s = \text{Velocidad Síncrona}$ )			
Asumir un Valor de deslizamiento, s correspondiente a lo esperado de velocidad de carga nominal para punto de carga completa y proporcionar valores para otras cargas. Para operaciones de motor, s es positivo. Para operación de generación, s es negativo. Numero en ( ) <b>representa el número de item.</b>			
Item	Descripción (Motor)(Generador)	Fuente o Calculo	
6	S	Deslizamiento En P.U	Asume valores para cada punto de carga
7	$R_2/S$	Resistencia Efectiva del Rotor	(7)=(1)/(6)
*8	$X_2$	Reactancia del Rotor	De circuito equivalente , ver 3.8
9	$Z_2^2$	Impedancia del Rotor	(9) = (7) <sup>2</sup> + (8) <sup>2</sup>
10	$G_1$	Conductancia del Rotor	(10)=(7)/(9)
*11	$G_{fe}$	Conductancia del Núcleo	De circuito equivalente ,Ver 3.8
12	G	Conductancia del Circuito del Rotor & Mag.	(12)=(10)+(11)
13	$-B_2$	Susceptancia del Rotor	(13)=(8)/(9)
*14	$-B_M$	Susceptancia de Magnetización	De circuito equivalente, Ver 3,8
15	-B	Susceptancia del Circuito del Rotor & Magnético	(15)=(13)+(14)
16	$Y_2^2$	Admitancia del Circuito del Rotor & Magnetización	(16)=(12) <sup>2</sup> + (15) <sup>2</sup>
17	$R_g$	Resistencia del Circuito del Rotor & Magnético	(17)=(12)/(16)
*18	$R_1$	Resistencia del Estator Por Fase	De Prueba ,ver 3.8
19	R	Resistencia Total	(19)=(17)+(18)
20	$X_g$	Reactancia del Circuito del Rotor & Magnético	(20)=(15)/(16)
*21	$X_1$	Reactancia del Estator	Del circuito equivalente, ver 3.8
22	X	Reactancia Total	(22)=(20)+(21)
23	Z	Impedancia Total	(23)= $\sqrt{[(19)^2 + (22)^2]}$
24	$I_1$	Corriente del Estator	(24)=(2)/(23)
25	$I_2$	Corriente del Rotor	(25)=(24)/ $\sqrt{[(9) * (16)]}$
26		Potencia del Estator	(26)=3*(24) <sup>2</sup> * (19)
27		Potencia del Rotor	(27)=3*(25) <sup>2</sup> *(7)
28		Perdida del Estator $I^2R$	(28)=3*(24) <sup>2</sup> * (18)
29	$P_h$	Perdida del Núcleo	(29)=3*(24) <sup>2</sup> * (11)/(16)
30		Perdida del Rotor $I^2R$	(30)=(6)*(27)
*31	$P_f$	Perdida por fricción y viento	De prueba , ver 3.19.15
32	$P_{SL}$	Perdida Indeterminadas	(32)=(3) * [(25)/(4)] <sup>2</sup>
33		Pérdida Total	(33)=(28)+(29)+(30)+(31)+(32)
34		Potencia Del Eje, En W	(34)=(26)-(33)
35		Eficiencia, En %	Para Motor: (35)=100*(34)/(26) Para Generador(35)=100*(26)/(34)
36		Factor de Potencia, En %	(36)=100*(19)/(23)
37		Velocidad En r/min	(37)=(5)*[1-(6)]
38		Torque En N.m	(38)=9.549*(34)/(37)

## A.1.12 PRUEBA Y RESULTADOS DE CIRCUITO EQUIVALENTE

Maquina \_\_\_\_\_ N° Serial \_\_\_\_\_ N° Modelo \_\_\_\_\_

Tipo \_\_\_\_\_ Nominal \_\_\_\_\_ Voltaje \_\_\_\_\_ Velocidad Síncrona \_\_\_\_\_ Frecuencia \_\_\_\_\_ Fase \_\_\_\_\_

### Resumen de Prueba

Sin Carga	
Corriente de línea $I_o$ , En A	Potencia del Estator $P_o$ , En W

### Constantes y Resumen de parámetros de Circuitos Equivalentes.

$V_1$  \_\_\_\_\_ Fase por voltio

$R_1$  \_\_\_\_\_ Ohms

$R_2$  \_\_\_\_\_ Ohms

$R_{fe}$  \_\_\_\_\_ Ohms

$X_1$  \_\_\_\_\_ Ohms

$X_2$  \_\_\_\_\_ Ohms

$(X_1 + X_2)$  \_\_\_\_\_ Ohms

$B_M$  \_\_\_\_\_ Siemens

$G_{fe}$  \_\_\_\_\_ Siemens

$P_f$  \_\_\_\_\_ #watts

$P_h$  \_\_\_\_\_ #watts

$P_{SL}$  \_\_\_\_\_ #\*watts a  $I_2$  \_\_\_\_\_ Amperios

$N_s$  \_\_\_\_\_ r/min

Dato de la Impedancia por Método _____			
Frecuencia $H_z$	Voltaje de Línea $V_L$	Corriente de Línea En A	Potencia del Estator, En W

# Cuando use Método de Pruebas F.F1,C/F,E/F, O E1/F1, Estas cantidades están para el total de máquinas y todas las otras están por Fase.

## ANEXO A.2 INFORME TÍPICO PARA LAS PRUEBAS DE RUTINA.

Nombre de fabricación \_\_\_\_\_

Ciudad de fabricación \_\_\_\_\_ Fecha de prueba \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Orden de fabricación \_\_\_\_\_

Comprador \_\_\_\_\_ N° Orden de comprador \_\_\_\_\_

### Datos de la placa

Nominal Hp/kW	Factor de servicio	Velocidad Nominal rpm	Fase	Frecuencia Hz	Voltaje	Amperios

Tipo	Armazón	$\left( \begin{array}{c} \text{Aumento de} \\ \text{temperatura} \\ \text{por el} \\ \text{metodo indicado} \end{array} \right)$	$\left( \begin{array}{c} \text{Temperatura} \\ \text{ambiente} \\ \text{y clase de} \\ \text{aislamiento} \end{array} \right)$	Tiempo De Prueba	Letra de diseño	Código de letra para Bloqueado kVA/hp

N° de serial	Sin carga					Rotor bloqueado				Voltaje del devanado del rotor en circuito abierto	Prueba de alta potencial	Resistencia del devanado del estator entre terminales	
	Voltaje	Frecuencia	Velocidad r/min	Ampios	Kilowatts	Voltios	Frecuencia	Ampios	Kilowatts			Ohms	Temperatura en °C

\*si se mide, opcional

Fecha sobre prueba de \_\_\_\_\_ maquina      Aprobado por \_\_\_\_\_ fecha \_\_\_\_\_ (esta o duplicado)

## ANEXO A3 INFORME TÍPICO DE PRUEBA PARA LAS PRUEBAS DE RUTINA #2

Nombre de fabricación \_\_\_\_\_ N° Orden de fabricación \_\_\_\_\_

Ciudad de fabricación \_\_\_\_\_ Fecha de Prueba \_\_\_\_\_

N° de Serial \_\_\_\_\_ N° Orden de comprador \_\_\_\_\_

Numero de modelo \_\_\_\_\_ Comprador \_\_\_\_\_

Datos de placa								
Nominal Hp/kW	Factor de servicio	Velocidad Nomina rpm	Fase	Frecuencia Hz	Voltaje	Amperios	Tipo	Armazón
Aumento de la temperatura								
Condiciones de prueba				Aumento de la temperatura _____ °C				
				Estator		Rotor		
					Devanado		Devanado	
Horas trabajando	Voltaje de línea	Corriente de línea	Enfriamiento del aire, °C		*Por método		*Por método	
Características								
Porcentaje nominal del deslizamiento		Corriente de línea sin carga , Amperios		Voltaje secundario en reposo		Corriente secundaria por anillo con carga nominal		Resistencia en 25°C (entre líneas), Ohm
								Prim.
								Sec.
Torque y torque de inicio						Prueba de alta potencia		
torque destructivo en _____ #		torque de rotor bloqueado en _____ #		Corriente de arranque Amperios (rotor bloqueado)		Voltaje AC para _____ Sec.		
Voltaje aplicado con ____%		Voltaje aplicado con ____%		Voltaje aplicado con ____%		Estator		Rotor

### Eficiencia y factor de carga

Eficiencia, porciento			Factor de potencia ,porciento		
Carga nominal	75% carga	50% carga	Carga nominal	75% carga	50% carga

## Anexo A4 (Informativo)

### C.1 Pérdidas indeterminadas asumidas.

Las pérdidas indeterminadas para ser utilizado con máquinas bajo pruebas de eficiencia de los Métodos E1, o F1 E1 / F1 se selecciona de la Tabla C.1 en base a la potencia nominal.

Rango de las máquinas en HP	Pérdidas indeterminadas en % de la carga nominal
1-125	1.8
126-500	1.5
501-2499	1.2
2500 y mayores	0.9

Tabla A3 1 valores asumidos para las pérdidas indeterminadas

El valor de las pérdidas indeterminadas a carga nominal [ $P'SL$ , en la ecuación (22)], en vatios, es igual al producto del valor por ciento de las pérdidas indeterminadas de la Tabla C.2, los hp nominal, y el factor de conversión 745.7 dividido por 100.

### C.2 lectura de resistencia al apagar el equipo

Tabla C.3 muestra el máximo tiempo permitido entre el cierre de la alimentación en la prueba de la temperatura y la obtención de la primera lectura de la resistencia del estator. El retardo máximo se selecciona de la tabla C.3 basado en los hp nominales de la máquina.

Rangos de la maquina en HP	Tiempo de retraso después de apagar la fuente (segundos)
50 o menos	30
De 50 a 200	90
Mayores a 200	120

Tabla A3 2 máximo retraso de tiempo en la medición de las mediciones de las resistencias