

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD



TRABAJO DE GRADO

**“INFLUENCIA DE LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS SOBRE EL
SISTEMA ELÉCTRICO EN BAJA TENSION DE LOS POZOS ASOCIADOS
A LOS CAMPOS BARE Y ARECUNA PERTENECIENTES AL DTTO. SAN
TOMÉ, DIVISIÓN FAJA DEL ORINOCO”**

Realizado por:
MILÁGIFRED JOSÉ MONTES MARCANO
C.I: 16.315.640

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD



**“INFLUENCIA DE LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS SOBRE EL
SISTEMA ELÉCTRICO EN BAJA TENSION DE LOS POZOS ASOCIADOS
A LOS CAMPOS BARE Y ARECUNA PERTENECIENTES AL DTTO. SAN
TOMÉ, DIVISIÓN FAJA DEL ORINOCO”**

Realizado por:

Milágifred J. Montes M.

C.I: 16.315.640

Ing. Melquíades Bermúdez
Asesor Académico

Ing. Pedro Barroso
Asesor Industrial

Barcelona, Julio de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD



**“INFLUENCIA DE LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS SOBRE EL
SISTEMA ELÉCTRICO EN BAJA TENSIÓN DE LOS POZOS ASOCIADOS
A LOS CAMPOS BARE Y ARECUNA PERTENECIENTES AL DTTO. SAN
TOMÉ, DIVISIÓN FAJA DEL ORINOCO”**

Ing. Melquíades Bermúdez
Asesor Académico

Ing. Pedro Barroso
Asesor Industrial

Ing. Hernán Parra
Jurado Principal

Ing. Manuel Maza
Jurado Principal

Barcelona, Julio de 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado de la Universidad de Oriente.

“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participara al Consejo Universitario”

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro a mis padres, María Marcano y Alfredo Montes; quienes siempre han estado conmigo brindándome su amor y apoyo incondicional. Les regalo este logro, porque ha sido gracias a ustedes.

A mis hermanos Alfredo y Rafael, como parte fundamental en mi vida. Que este logro le sirva para continuar adelante.

A mi abuela Amanda a la cual también le dedico mi logro. Porque sé que desde donde esté, guiará mis pasos.

AGRADECIMIENTOS

Al Corazón de Jesús y a la Virgen por acompañarme en todo momento.

A mis padres María Marcano y Alfredo Montes que los quiero mucho por el amor y apoyo que me han brindado durante toda mi vida. Gracias por ser mis padres.

A mis hermanos Alfredo y Rafael por ser mis compañeros y amigos. Gracias.

A mi abuela Esmeralda, te quiero mucho y gracias por estar siempre allí.

A mis niñas M. Fernanda y Valentina por su amor y alegría.

A mi tía Rosibel, Zulay y María G; que siempre han estado para brindarme su cariño, amistad y apoyo.

A todos gracias...

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
CAPÍTULO 1	20
INTRODUCCIÓN	20
1.1 GENERALIDADES DE PDVSA	20
<i>1.1.1 Reseña Histórica</i>	<i>20</i>
<i>1.1.2 Funciones de PDVSA</i>	<i>20</i>
<i>1.1.3 Objetivos de PDVSA.....</i>	<i>21</i>
1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE PDVSA	21
1.2.1 Descripción General del Área de Estudio	21
1.2.1.1 Ubicación Geográfica	21
1.2.1.1.2 Campo Bare.....	22
1.2.1.1.3 Campo Arcuna.....	22
1.2.1.1.4 Campo Cariña.....	23
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	26
1.4 OBJETIVOS	27
1.4.1 Objetivo General	27
1.4.2 Objetivos Específicos.....	28
CAPÍTULO 2	29
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	29
2.1 INTRODUCCIÓN.....	29
2.2. ARRANCADOR DIRECTO:	29
2.2.1. Interruptores.....	30
2.2.2 Contactor:	32

2.2.3	<i>Relé Térmico</i>	33
2.2.4	<i>Transformador</i>	35
2.2.5	<i>Fusibles</i>	35
2.2.5.1	Fusibles para Baja Tensión:.....	37
2.2.5.2	Clasificación de los Fusibles en Baja Tensión.....	38
2.2.5.2.1	Fusibles Clase G.....	38
2.2.5.2.2	Fusibles Clase H.....	39
2.2.5.2.3	Fusibles Clase J.....	39
2.2.5.2.4	Fusibles Clase K.....	39
2.2.5.2.5	Fusibles Clase R.....	39
2.2.5.2.6	Fusibles Clase L.....	39
2.2.5.2.7	Fusibles Clase T.....	39
2.2.5.2.8	Fusibles de Complemento.....	40
2.2.5.2.9	Fusibles para Condensadores.....	40
2.2.6	<i>Relé de Falla y Fase</i>	40
2.3	VARIADOR DE VELOCIDAD.....	40
2.3.1	<i>Etapas de Conversión</i>	41
2.3.2	<i>Etapas de Filtrado</i>	41
2.3.3	<i>Etapas de Inversión</i>	42
2.3.4	<i>Etapas de Control</i>	42
2.3.4.1	Tarjeta PCB Control.....	42
2.3.4.2	Tarjeta Gate Drive.....	42
2.4	MOTORES ASÍNCRONOS Ó DE INDUCCIÓN	43
2.4.1	<i>Clasificación de los Motores de Inducción Jaula de Ardilla de Acuerdo con el Enfriamiento y el Ambiente de Trabajo:</i>	45
2.4.2	<i>Selección de Velocidades Nominales de los Motores de Inducción Jaula de Ardilla:</i>	46
2.5	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	47
2.5.1	<i>Proceso de Formación del Rayo</i>	47
2.5.2	<i>Efectos Producidos por el Impacto de un Rayo</i>	50
2.5.2.1	Efectos Producidos por el Impacto Directo de un Rayo.....	50
2.5.2.2	Efectos Producidos por el Impacto Indirecto de un Rayo.....	51
2.5.2.2.1	Pulsos Electromagnéticos.....	51
2.5.2.2.2	Corriente de Tierra.....	51
2.5.2.2.3	Carga Electroestática.....	52
2.5.2.2.4	Pulsos Electroestáticos.....	52

2.5.3	<i>Estimación del Número de Descargas de Rayos por Unidad de Área</i>	53
2.6	SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	54
2.6.1	<i>Componentes Principales de un Sistema de Protección contra Descargas</i>	
<i>Atmosféricas</i>		55
2.6.1.1	Dispositivos Supresores:	55
2.6.1.2	Dispositivos Supresores de Tensión Constante	56
2.6.1.2.1	Varistores:	56
2.6.1.2.2	Diodo Zener	58
2.6.1.3	Dispositivos Supresores Crowbar	59
2.6.1.3.1	Tiristores	60
2.7	SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA (SPAT)	62
2.7.1	<i>Componentes del Sistema de Puesta a Tierra</i>	63
2.7.2	<i>Principio de Funcionamiento del Sistema de Puesta a Tierra</i>	63
2.7.3	<i>Clasificación de los Sistemas de Puesta a Tierra de Acuerdo al Uso</i>	64
2.7.3.1	Sistema de Tierra para Protecciones.	64
2.7.3.2	Sistema de Puesta a Tierra para Funcionamiento.	64
2.7.3.3	Sistema de Puesta a Tierra Provisional.	64
2.7.4	<i>Factores Básicos a Considerar en el Diseño de un Sistema de Puesta a Tierra</i>	64
2.7.4.1	Resistividad del Terreno.	64
2.7.4.2	Tamaño o Extensión del Sistema de Puesta a Tierra.	65
2.7.4.3	Resistencia de un Electrodo.	65
2.7.5	<i>Arreglos o Tipos de Sistemas de Puesta a Tierra</i>	66
2.7.5.1	Electrodo Simple	67
2.7.5.2	Electrodo Activo.	68
2.7.5.3	Múltiples Electrodos en Paralelo	68
2.7.5.4	Plato o Placa	69
2.7.5.5	Malla de Puesta a Tierra.	70
2.7.5.6	Anillo de Tierra (Ground Loop).	71
2.7.6	<i>Métodos de Medición de la Resistividad.</i>	72
2.7.6.1	Método de los Dos Puntos.	72
2.7.6.2	Métodos de los Tres Puntos.	72
2.7.6.3	Método de los Cuatro Puntos.	74
2.7.6.3.1	Método Wenner.	74
2.7.6.3.2	Configuración Schumberger.	75
2.8	MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL	76
2.8.1	<i>Bombeo Mecánico.</i>	77
2.8.2	<i>Bombeo por Cavidad Progresiva</i>	77

2.8.3. Bombeo Electro Sumergible	78
2.9 DESCRIPCIÓN DEL PRINCIPIO DE PARETO	79
2.9.1. Aplicaciones	79
2.10. NORMAS UTILIZADAS.....	79
2.10.1 Normas NEMA	79
2.10.1.1 Normas NEMA 1.....	79
2.10.1.2 Normas NEMA 3.....	79
2.10.1.3 Norma NEMA 3R.....	80
2.10.1.4 Norma NEMA 4X	80
2.10.2. Norma IEEE C62.41.....	80
CAPÍTULO 3.....	82
MARCO METODOLÓGICO	82
3.1 INTRODUCCIÓN.....	82
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	82
3.3 ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN	83
3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	83
3.5 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	84
CAPÍTULO 4.....	87
SISTEMA ELÉCTRICO EN BAJA TENSIÓN.....	87
4.1 INTRODUCCIÓN	87
4.2 EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS CAMPOS DE BARE Y ARECUNA, UNIDAD DE PETRÓLEO EXTRAPESADO.	87
4.3 RESULTADOS DE LAS OBSERVACIONES REALIZADAS A LOS ARRANCADORES DIRECTOS Y VARIADORES DE VELOCIDAD INSTALADOS EN LAS ÁREAS DE BARE Y ARECUNA.....	88
4.4 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SUELO	91
4.4.1 Inspección Realizada a los Pozos de Bare y Arcuna.	92
4.4.1.1 Inspección Realizada al Pozo MFB – 550	92
4.4.1.2 Inspección Realizada al Pozo MFB – 346	93
4.4.1.3 Inspección Realizada al Pozo MFB – 626.	94
4.4.1.4 Inspección Realizada al Pozo MFB – 517	95
4.4.1.5 Inspección Realizada al Pozo MFB – 783	95
4.4.1.6 Inspección Realizada al Pozo MFB – 778	96
4.4.1.7 Inspección Realizada al Pozo MFB – 730	97

4.4.1.8 Inspección Realizada al Pozo MFB – 713	98
4.4.1.9 Inspección Realizada al Pozo MFB – 454	99
4.4.1.10 Inspección Realizada al Pozo MFB – 664	100
4.4.1.11 Inspección Realizada al Pozo MFA – 021	101
4.4.1.12 Inspección Realizada al Pozo MFA – 138	102
4.4.1.13 Inspección Realizada al Pozo MFA – 097	103
4.4.1.14 Inspección Realizada al Pozo MFA – 217	104
4.4.1.15 Inspección Realizada al Pozo MFA – 186	105
4.4.1.16 Inspección Realizada al Pozo MFA – 232	106
4.5 ANÁLISIS DE LOS HISTORIALES DE LAS FALLAS DE LOS ARRANCADORES DIRECTOS OCURRIDAS EN LOS AÑOS 2006, 2007 Y 2008 EN LAS ZONAS DE BARE Y ARECUNA.	107
4.6 ANÁLISIS DE LOS HISTORIALES DE LAS FALLAS DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD OCURRIDAS EN LOS AÑOS 2006, 2007 Y 2008 EN LAS ZONAS DE BARE Y ARECUNA.	110
4.7 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	113
4.8 RELACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y LAS PÉRDIDAS ASOCIADAS	116
CAPÍTULO 5	123
PROPUESTA	123
5.1 SELECCIÓN DE LA PROTECCIÓN PARA LOS ARRANCADORES DIRECTOS.	123
5.2 SELECCIÓN DE LAS PROTECCIONES CONTRA SOBRETENSIONES PARA LOS VARIADORES DE VELOCIDAD.....	125
5.3 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DEL PROYECTO	130
5.3.1 <i>Costo Total de la Propuesta</i>	131
CONCLUSIONES.....	133
RECOMENDACIONES.....	135
BIBLIOGRAFÍA	136

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES COMERCIALES DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA DE ACUERDO CON LA CLASIFICACIÓN EN LETRAS NEMA. (FUENTE: INTERNET).....	45
TABLA 2.2. RELACIONES EMPÍRICAS ENTRE DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA Y DÍAS DE TORMENTAS ANUALES. (FUENTE: INTERNET).....	53
TABLA 2.3. RELACIONES EMPÍRICAS ENTRE LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA Y DÍAS DE TORMENTAS ANUALES. (FUENTE: INTERNET).....	54
TABLA 2.4. FACTOR DE MULTIPLICACIÓN F PARA MÚLTIPLES BARRAS. (FUENTE: INTERNET).....	69
TABLA 4.1. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO EN EL POZO MFB - 550. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	92
TABLA 4.2. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO EN EL POZO MFB – 346. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	93
TABLA 4.3. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO EN EL POZO MFB - 626. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	94
TABLA 4.4. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO EN EL POZO MFB – 517. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	95
TABLA 4.5. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO EN EL POZO MFB – 783. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	96
TABLA 4.6. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO EN EL POZO MFB - 778. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	97
TABLA 4.7. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO DEL POZO MFB – 730. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	98
TABLA 4.8. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO EN EL POZO MFB – 713. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	99
TABLA 4.9. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO EN EL POZO MFB – 524. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	100

TABLA 4.10. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO EN EL POZO MFB – 664. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	101
TABLA 4.11. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO EN EL POZO MFA – 021. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	102
TABLA 4.12. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO EN EL POZO MFA – 138. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	103
TABLA 4.13. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO EN EL POZO MFA – 097. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	104
TABLA 4.14. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO EN EL POZO MFA – 217. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	105
TABLA 4.15. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO EN EL POZO MFA – 186. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	106
TABLA 4.16. VALORES OBTENIDOS EN LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO EN EL	107
POZO MFA – 232. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	107
TABLA 4.17. ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	114
TABLA 4.17. ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL. (CONTINUACIÓN).....	115
TABLA 4.18. PORCENTAJES DE PÉRDIDAS QUE REPRESENTARON LOS ELEMENTOS DEL ARRANCADOR DIRECTO EN LA PRODUCCIÓN PARA LAS ÁREAS DE BARE Y ARECUNA EN EL AÑO 2008. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	117
TABLA 4.19. PORCENTAJES DE PÉRDIDAS QUE REPRESENTAN LOS ELEMENTOS DEL VSD	118
EN LA PRODUCCIÓN EN LOS PERÍODOS DE VERANO E INVIERNO PARA LAS ÁREAS DE BARE Y ARECUNA EN EL AÑO 2008. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES). 118	
TABLA 4.20. SELECCIÓN DEL 20% DEL TOTAL DE LAS FALLAS DE CADA ELEMENTO DEL ARRANCADOR DIRECTO EN LOS PERÍODOS DE VERANO E INVIERNO EN LAS ÁREAS DE BARE Y ARECUNA PARA EL AÑO 2008. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	119

TABLA 4.21. SELECCIÓN DEL 20% DEL TOTAL DE LAS FALLAS DE CADA ELEMENTO DEL VSD PARA LOS PERÍODOS DE VERANO E INVIERNO EN LAS ÁREAS DE BARE Y ARECUNA PARA EL AÑO 2008. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	120
TABLA 4.21. SELECCIÓN DEL 20% DEL TOTAL DE LAS FALLAS DE CADA ELEMENTO DEL VSD PARA LOS PERÍODOS DE VERANO E INVIERNO EN LAS ÁREAS DE BARE Y ARECUNA PARA EL AÑO 2008. (CONTINUACIÓN).....	120
TABLA 4.22. PÉRDIDAS (BARRILES DE PETRÓLEO) CAUSADAS POR LAS FALLAS EN LOS ARRANCADORES DIRECTOS EN LOS PERÍODOS DE VERANO E INVIERNO PARA LAS ÁREAS DE BARE Y ARECUNA EN EL AÑO 2008. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	121
TABLA 4.23. PÉRDIDAS (BARRILES DE PETRÓLEO) CAUSADAS POR LAS FALLAS EN LOS VSD EN LOS PERÍODOS DE VERANO E INVIERNO PARA LAS ÁREAS DE BARE Y ARECUNA EN EL AÑO 2008. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	121
TABLA 5.1. CARACTERÍSTICAS DEL PARARRAYOS SECUNDARIO DE LA SERIE AG4803C. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	124
TABLA 5.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUPRESORES DE SOBRETENSIONES DE TRANSIENTES DE VOLTAJES SCHNEIDER ELECTRIC PARA LA PROTECCIÓN DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	128
TABLA 5.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUPRESORES DE SOBRETENSIONES DE TRANSIENTES DE VOLTAJES SINETAMER PARA LA PROTECCIÓN DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	129
TABLA. 5.4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS VARISTORES DE ÓXIDO METÁLICO DE LA SERIE HA. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	130
TABLA 5.5. COSTOS DE MANO DE OBRA DEL SISTEMA PROPUESTO (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	131
TABLA 5.6. COSTOS DE INSUMOS Y MATERIALES DEL SISTEMA PROPUESTO (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	131
TABLA 5.7. COSTOS DE ADIESTRAMIENTO DEL SISTEMA PROPUESTO (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	132

**TABLA 5.8. TOTAL DE COSTOS DEL SISTEMA PROPUESTO (FUENTE:
MILÁGIFRED MONTES)..... 132**

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. UBICACIÓN DE LA DIVISIÓN FAJA DEL ORINOCO. (FUENTE: PDSA	22
 DIVISIÓN FAJA DEL ORINOCO).....	22
FIGURA. 1.2. SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ZONA OPERATIVA BARE. (FUENTE: PDVSA	25
 DIVISIÓN FAJA DEL ORINOCO).....	25
FIGURA 2.1. MODELO DE UN ARRANCADOR DIRECTO. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	30
FIGURA 2.3. INTERRUPTOR. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	31
FIGURA 2.4. CONTACTOR. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	33
FIGURA 2.5. RELÉ TÉRMICO. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	34
FIGURA 2.6. TRANSFORMADOR DE CONTROL. (FUENTE: INTERNET)	35
FIGURA 2.7. FUSIBLES. (FUENTE: INTERNET).....	36
FIGURA 2.8. RELÉ DE FALLA Y FASE. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	40
FIGURA 2.9. VARIADOR DE VELOCIDAD. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)..	41
FIGURA 2.10. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD. (FUENTE: MANUAL DE VARIADORES DE VELOCIDAD).....	43
FIGURA 2.11. MOTOR ASÍNCRONO JAULA DE ARDILLA. (FUENTE: MANUAL DE MOTORES ELÉCTRICOS)	43
FIGURA 2.12. IMAGEN DE UNA DESCARGA ATMOSFÉRICA. (FUENTE: INTERNET)	47
FIGURA 2.13. FASES DE UN RAYO. (FUENTE: DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL RAYO. PARÁMETROS).....	49
FIGURA 2.14. TÍPICA FORMA DE LA ONDA DE CORRIENTE DE RETORNO DEL RAYO. (FUENTE: DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL RAYO. PARÁMETROS).....	50

FIGURA 2.15. UBICACIÓN DEL DISPOSITIVO SUPRESOR. (FUENTE: INTERNET)	55
.....	
FIGURA 2.16. A. EN REPOSO; B. ACTÚA LA PROTECCIÓN. (FUENTE: INTERNET)	56
.....	
FIGURA 2.17. VARISTOR DE OXIDO DE METAL. (FUENTE: CATÁLOGOS DE PRODUCTOS ABB)	57
.....	
FIGURA 2.18. DIODO ZENER. (FUENTE: INTERNET)	59
.....	
FIGURA 2.19. TIRISTORES. (FUENTE: INTERNET)	60
.....	
FIGURA 2.20. ELECTRODO SIMPLE. (FUENTE: INTERNET)	67
.....	
FIGURA 2.21. MÚLTIPLES ELECTRODOS EN PARALELO. (FUENTE: INTERNET)	68
.....	
FIGURA 2.22. PLATO O PLACA. (FUENTE: INTERNET)	70
.....	
FIGURA 2.23. MALLA DE PUESTA A TIERRA. (FUENTE: INTERNET)	71
.....	
FIGURA 2.24. MÉTODO DE LOS DOS PUNTOS. (FUENTE: INTERNET)	72
.....	
FIGURA 2.25. MÉTODO DE LOS TRES PUNTOS. (FUENTE: INTERNET)	73
.....	
FIGURA. 2.26. MÉTODO DE LOS CUATRO PUNTOS. CONFIGURACIÓN WENNER.	75
.....	
(FUENTE: INTERNET)	75
.....	
FIGURA.2.27. MÉTODO DE LOS CUATRO PUNTOS. CONFIGURACIÓN SCHLUMBERGER.	76
.....	
(FUENTE: INTERNET)	76
.....	
FIGURA 2.28. SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL POR BOMBEO MECÁNICO.	77
.....	
(FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	77
.....	
FIGURA 2.29. UNIDAD DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL POR CAVIDAD PROGRESIVA.	78
.....	
(FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	78

FIGURA 2.30. UNIDAD DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL ELECTRO SUMERGIBLE.....	78
(FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	78
FIGURA 4.1. OBSERVACIONES REALIZADAS A LOS ARRANCADORES DIRECTOS (BM) DEL ÁREA DE BARE. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	89
FIGURA 4.2. OBSERVACIONES REALIZADAS A LOS ARRANCADORES DIRECTOS (BM) DEL ÁREA DE ARECUNA. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	89
FIGURA 4.3. OBSERVACIONES REALIZADAS A LOS VARIADORES DE VELOCIDAD (BCP) DEL ÁREA DE BARE. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	90
FIGURA 4.4. OBSERVACIONES REALIZADAS A LOS VARIADORES DE VELOCIDAD (BCP) DEL ÁREA DE ARECUNA. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	90
FIGURA. 4.5. OBSERVACIONES REALIZADAS A LOS VARIADORES (BES) DEL ÁREA DE BARE. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	91
FIGURA 4.6. TOTAL DE ARRANCADORES DIRECTOS INSTALADOS EN LOS CAMPOS DE BARE Y ARECUNA PARA EL AÑO 2008. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	107
FIGURA 4.7. INCIDENCIA DE LAS FALLAS EN LOS ARRANCADORES DIRECTOS OCURRIDAS POR MES EN LOS AÑOS 2006, 2007 Y 2008. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	108
FIGURA 4.8. NÚMERO TOTAL DE FALLAS OCURRIDAS EN EL PERÍODO DE VERANO Y EN EL PERÍODO DE INVIERNO. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	109
FIGURA 4.9. DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS DAÑADOS EN LOS ARRANCADORES DIRECTOS PARA LOS PERÍODOS DE VERANO E INVIERNO EN LAS ZONAS DE BARE Y ARECUNA EN EL AÑO 2008. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES). 	109
FIGURA 4.10. DISPOSITIVOS DE LOS ARRANCADORES DIRECTOS MÁS FALLADOS EN EL PERÍODO DE INVIERNO. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	110
FIGURA 4.11. CANTIDAD DE VARIADORES DE VELOCIDAD INSTALADOS EN LAS ÁREAS DE BARE Y ARECUNA. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	110
FIGURA 4.12. INCIDENCIA DE LAS FALLAS DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD OCURRIDAS	111

POR MES PARA LAS ZONAS DE BARE Y ARECUNA EN LOS AÑOS 2006, 2007 Y 2008.....	111
(FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).....	111
FIGURA 4.13. NÚMERO TOTAL DE FALLAS OCURRIDAS EN EL PERÍODO DE VERANO Y EL PERÍODO DE INVIERNO. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	112
FIGURA 4.14. DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS DAÑADOS EN LOS VARIADORES DE VELOCIDAD EN LOS PERÍODOS DE VERANO E INVIERNO EN LAS ZONAS DE BARE Y ARECUNA EN EL AÑO 2008. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES).	112
FIGURA 4.15. DISPOSITIVOS DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD MÁS FALLADOS EN EL PERÍODO DE INVIERNO. (FUENTE: MILÁGIFRED MONTES)	113
FIGURA 5.1. DISEÑO GENÉRICO DE LA PROTECCIÓN DE LOS ARRANCADORES DIRECTOS.....	123
FIGURA 5.2. DISEÑO GENÉRICO DE LA PROTECCIÓN DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD.	125

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades de PDVSA

1.1.1 Reseña Histórica

A principio del siglo XX sorprende a Venezuela la era petrolera y el conocimiento de la existencia de enormes yacimientos de hidrocarburos en su territorio; a partir de allí se acentuó la explotación del petróleo y durante años la industria ha mantenido un crecimiento sostenido en la aplicación de técnicas orientadas a mejorar y optimizar sus procesos con un alto sentido de rentabilidad. Muchas son las nuevas tecnologías que permiten la integración de los más altos niveles técnicos disponibles en el mundo con las actividades propias de las corporaciones petroleras como PDVSA.

1.1.2 Funciones de PDVSA

Petróleos de Venezuela S.A es la corporación estatal de la República Bolivariana de Venezuela que se encarga de:

- Realizar la exploración, producción, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos, de manera eficiente, rentable, segura, transparente y comprometida con la protección ambiental.
- Motorizar el desarrollo armónico del país y afianzar el uso soberano de los recursos naturales.
- Potencial del desarrollo endógeno del país.
- Creación e innovación de tecnologías de factura nacional, con vista hacia la generación de empleos de calidad, crecimiento económico y la creación de riqueza y bienestar para el pueblo venezolano.

1.1.3 Objetivos de PDVSA

- Servir como institución puente entre sus empresas filiales y el gobierno venezolano.
- Lograr una explotación petrolera con alta eficiencia operacional, mediante el uso de las mejores prácticas.
- Propiciar el incremento del valor agregado nacional y del aprovechamiento de sinergias con socios y filiales, optimizando el uso de las instalaciones existentes.

1.2 Ubicación Geográfica de PDVSA

PDVSA cuenta con instalaciones en casi todo el territorio nacional, la sede principal está ubicada en la avenida Libertador, Edificio Petróleos de Venezuela, Torre Este, La Campiña, Caracas, Distrito Capital. Actualmente tiene la Faja del Orinoco, el cual comprende tres distritos: San Tomé, Morichal y Cabrutica.

1.2.1 Descripción General del Área de Estudio

1.2.1.1 Ubicación Geográfica

El Distrito San Tomé comprende la mayor parte del sur de los estados Anzoátegui y Guarico. Se extiende hasta Casma – Soledad en el estado Monagas, con un área aproximada de 24.000 Km², entre las zonas se encuentra: Bare, Arecuna y Cariña.



Figura 1.1. Ubicación de la División Faja del Orinoco. (Fuente: PDSA División Faja del Orinoco)

1.2.1.1.2 Campo Bare

El Campo Bare está ubicado geográficamente en el estado Anzoátegui, a unos 40 Km aproximadamente, al Sur de la ciudad del Tigre y a unos 70 Km al Norte del Rio Orinoco. Abarca una superficie de unos 486 Km² con una longitud de 27 Km y un ancho de 18 Km. Se encuentra en el sector Nor – Occidental del Área Ayacucho, en la Faja Petrolífera del Orinoco, presentado un rumbo Este – Oeste. Limita al Norte con los Campos Miga y Yopales Sur, al Este por los Cuadrángulos Cariña e Irapa, al Oeste con el Cuadrángulo Arcuna y al Sur con el Cuadrángulo Huyapari.

1.2.1.1.3 Campo Arcuna

El campo Arcuna se encuentra ubicada en la región Nor – Occidental del Área Ayacucho, en la Faja del Orinoco. Cuenta con una superficie aproximada de 475 Km². Está localizado a 60 Km al Suroeste de la población de San Tomé. Limita al Norte con el Campo Yopales Sur, al Este con el Cuadrángulo Bare, al Oeste con el Área de Junín y al Sur con el Cuadrángulo Guahibo.

1.2.1.1.4 Campo Cariña

El Campo Cariña está ubicado geográficamente en el estado Anzoátegui, a unos 60 Km aproximadamente, al Sureste de la ciudad del Tigre. Abarca una superficie de unos 231 Km². Se encuentra en el Sector Nor – Occidental del Área de Ayacucho, en la Faja del Orinoco, presentando un rumbo Este – Oeste. Limita al Norte con el Campo Melones, al Este con el Cuadrángulo Irapa.

En cuanto al Sistema Eléctrico del Distrito San Tomé está conformado por: sistema de transmisión y subtransmisión. Estos alimentan a los circuitos de distribución, los cuales alimentan las distintas cargas de producción, bombeo, almacenamiento, combustible, oficina, residencial y hospital.

El sistema de transmisión y subtransmisión del Distrito San Tomé está conformado por 15 Km de líneas de 34.5 KV, 461.5 Km de 69 KV, 298 Km de 115 KV y 1683.2Km de 13.8 KV.

Los puntos de interconexión del sistema eléctrico de San Tomé con los sistemas externos de EDELCA y Anaco son:

EDELCA: Subestación BARE y DOBOKUBI a través de dos líneas de doble terna desde la subestación la Canoa 115 KV – Bare 115 KV y la Canoa 115 KV – Dobokubi 115 KV.

Sistema Anaco: Subestación Mapiri, a través de la línea Mapiri – Criogénico San Joaquín. La condición normal de operación de esta línea es interconexión abierta.

Los niveles de voltaje en la subestación la Canoa se reduce de 400 KV a 115 KV y se interconectan dos hacia la Subestación Bare y dos a la subestación Dobokubi. Adicional existen dos líneas de 115 KV que van desde la subestación de Bare a la subestación de Arecuna. En las subestaciones Bare y Dobokubi, el voltaje se reduce de 115 KV a 69 KV y de 115 KV a 13.8 KV, a través de cuatro transformadores instalados en estas subestaciones de los cuales dos son de 115/69 KV y otros de 115/13.8 KV conectados en configuración $\Delta - Y$ a tierra. Los transformadores de Bare y Dobokubi están equipados con cambiadores de tomas automáticos que permiten regular los niveles de voltaje en el sistema.

La subestación de Arecuna forma parte de la expansión del sistema Eléctrico – Producción de PDVSA y su función es de suministrar energía eléctrica a los diferentes equipos destinados a la extracción de crudo, tales como: bombas de cavidad progresiva, electro sumergible, balancines, así como estaciones de descarga y de agua salada. El tipo de subestación es del tipo intemperie, de alto perfil con arreglo de barra principal seccionada y seccionadores de “by – pass” para los interruptores a 115 KV, con excepción de los correspondientes a los transformadores.

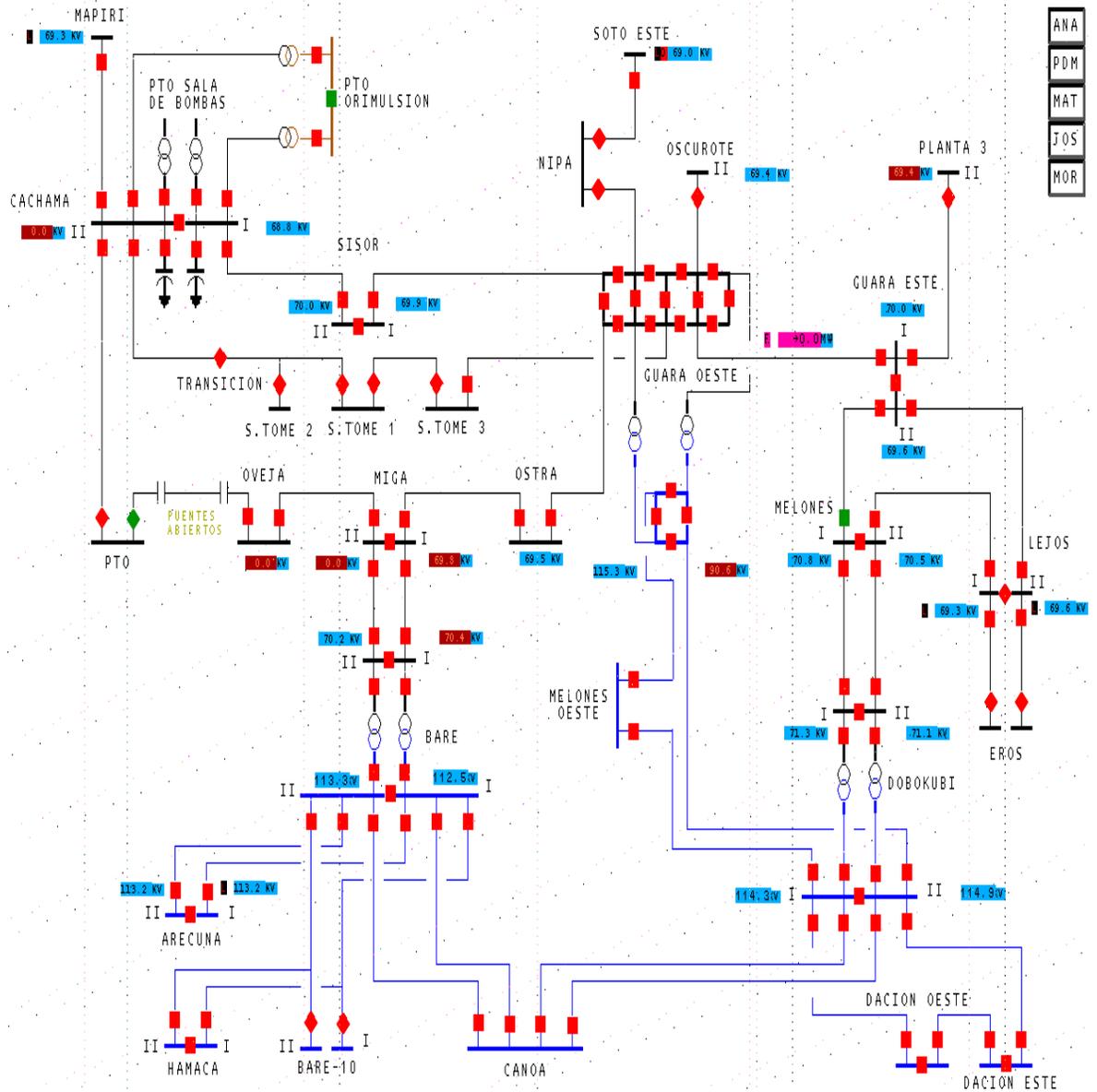


Figura. 1.2. Sistema Eléctrico de la Zona Operativa Bare. (Fuente: PDVSA División Faja del Orinoco)

1.3 Planteamiento del Problema

Petróleos de Venezuela, S.A (PDVSA); inició sus operaciones el 1 de Enero de 1976, es la corporación estatal de la República Bolivariana de Venezuela que cumple con todas las actividades propias del negocio petrolero, constituyéndose en una corporación integrada que abarca todos los procesos desde la exploración hasta la comercialización de los hidrocarburos gaseosos, no gaseosos y sus derivados.

PDVSA dentro de sus campos de explotación incluye el Distrito San Tomé, el cual abarca 1192 Km en el sur del Edo Anzoátegui y entre sus unidades de producción se encuentra la de Extrapesado.

En la unidad de petróleo Extrapesado los equipos de levantamiento artificial requieren de sistemas eléctricos. El sistema de transmisión y distribución del Distrito San Tomé está compuesto por dos transformadores de 400/115 KV; pertenecientes al sistema interconectado nacional (EDELCA) ubicado en la subestación La Canoa, del cual salen dos líneas de 115 KV (doble terna); una hacia Dobokubi que alimenta el área de Melones y otra al área de Bare y Arecuna. Dichas subestaciones subtransmiten en 69 KV a subestaciones menores que distribuyen a 13.8 KV a los transformadores reductores llevando al sistema eléctrico de baja tensión a 480 V.

Cabe destacar, que el sistema eléctrico en baja tensión alimenta a los diferentes elementos de las unidades de bombeo tales como: a).- unidad de bombeo mecánico, la cual requiere de: un sistema de arranque a plena carga, conformado por: breaker principal, contactor, relé térmico, protector de falla y fase, transformador de control, portafusibles y un selector (swicher); b).- unidad de bombeo por cavidad progresiva, la cual utiliza: un breaker principal y un variador de velocidad constituido por un sistema de electrónica de potencia; c).- unidad de bombeo electro sumergible, la cual requiere de: breaker principal, variador de velocidad y un transformador elevador. Además, estas unidades de bombeo requieren de motores inductivos jaula de ardilla trifásico de diferentes potencias.

Las zonas geográficas como los campos operacionales de Bare y Arecuna (áreas donde se desarrolla la investigación) según datos estadísticos; poseen mayor incidencia de descargas eléctricas, además de baja densidad poblacional lo que implica que la mayoría de los servicios eléctricos y de telecomunicaciones van en sistemas aéreos lo que las hace especialmente sensibles a ser afectados por eventos atmosféricos como los rayos.

Las descargas atmosféricas son una fuente de perturbación para la operación normal de los sistemas eléctricos, sobre todo si estos están conformados por sistemas electrónicos. El mal direccionamiento a tierra de estas descargas pueden ocasionar el deterioro de los equipos electrónicos debido a las sobretensiones que ellas originan, esto se traduce en gastos e inversiones para la reactivación del sistema afectado y la operatividad del pozo donde se produce la falla, y como consecuencia pérdidas en la producción.

Por lo antes expuesto, en la Gerencia de Producción de PDVSA – Distrito San Tomé División Faja del Orinoco; se realizará un análisis para determinar la influencia de las descargas atmosféricas sobre el sistema eléctrico en baja tensión. A través de la revisión de datos estadísticos de ocurrencia de fallas, mediciones de aterramiento, revisión de los componentes del sistema, condiciones físicas de los equipos, con el fin de elaborar una propuesta que ayude a minimizar el impacto de dichas descargas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Determinar la influencia de las descargas atmosféricas sobre el sistema eléctrico en baja tensión de los pozos asociados a los campos BARE y ARECUNA pertenecientes al Distrito San Tomé, División Faja del Orinoco.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Describir las condiciones actuales de operación del sistema eléctrico en baja tensión para las unidades de: Bombeo Mecánico, Cavidad Progresiva y Electro Sumergible.
- Identificar los elementos del sistema eléctrico en baja tensión que son afectados durante las descargas atmosféricas.
- Analizar los aspectos que influyen sobre el sistema eléctrico en baja tensión durante una descarga atmosférica.
- Establecer una relación entre la afectación del sistema eléctrico en baja tensión y el aporte de la producción.
- Elaborar una propuesta que minimice el impacto de las descargas atmosféricas desde el punto de vista técnico y económico.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Introducción

Dada la importancia cada vez mayor para la sociedad moderna el asegurar el funcionamiento ininterrumpido de un creciente número de equipos eléctricos y electrónicos destinados a dar soporte a diversas actividades, fundamentales para ella, cobra una particular importancia el poder brindar a estos equipos un suministro eléctrico confiable y de calidad.

El presente capítulo tiene la finalidad de ofrecer información básica sobre los equipos en baja tensión tales como arrancadores directos y variadores de velocidad (VSD), el funcionamiento de los diferentes elementos que lo conforman; además tratar de familiarizarnos con los aspectos más resaltantes de las descargas atmosféricas y las protecciones necesarias para el buen funcionamiento de los quipos.

2.2. Arrancador Directo:

Es un arrancador que aplica tensión de alimentación en los terminales del motor en una sola maniobra.

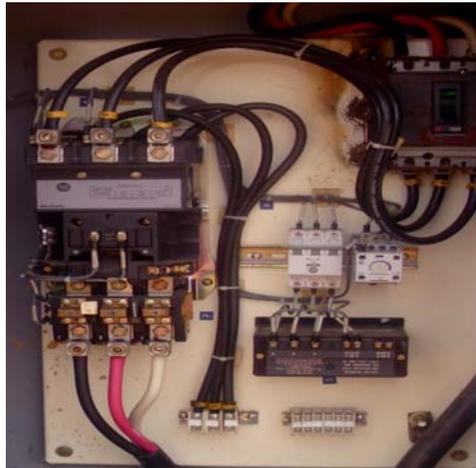


Figura 2.1. Modelo de un Arrancador Directo. (Fuente: Milágfred Montes)

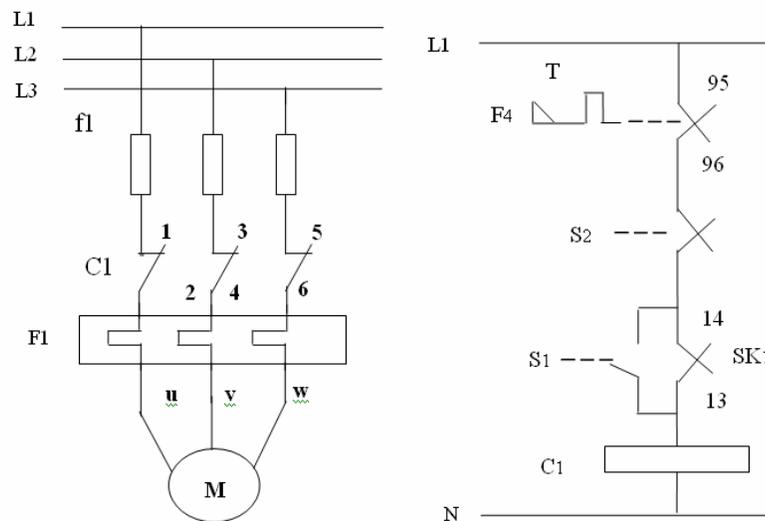


Figura. 2.2. a. Diagrama de Potencia; b. Diagrama de Control. (Fuente: Manual de Arranadores Directos)

Entre los elementos que componen un arrancador directo, tenemos:

2.2.1. Interruptores

El interruptor de potencia es el dispositivo encargado de desconectar una carga o una parte del sistema eléctrico, tanto en condiciones de operación normal (máxima

carga o en vacío) como en condición de cortocircuito (en cualquier punto de la instalación). La operación de un interruptor puede ser manual o accionada por la señal encargado de vigilar la correcta operación del sistema eléctrico, donde está conectado.

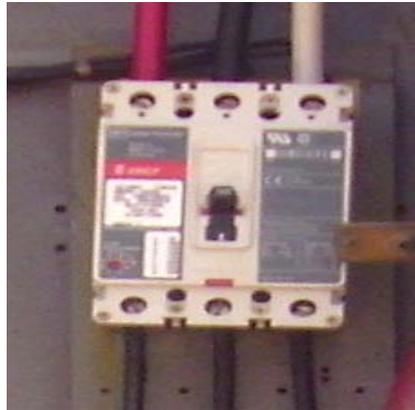


Figura 2.3. Interruptor. (Fuente: Milágfred Montes)

Las especificaciones que podemos encontrar en los interruptores termomagnéticos son:

- Voltaje Máximo de Trabajo: Es el voltaje con el que trabaja el dispositivo.
- Poder de Corte: Es la intensidad de corriente que el interruptor puede interrumpir, al superar estos valores pueden presentarse arcos eléctricos que impedirían la apertura de los contactos de la protección.
- Poder de Cierre: Es la corriente máxima que puede circular a través de la protección sin que ocurra un fenómeno de choque.
- Cantidad de Polos: Número de polos que maneja la protección.

Según sea su capacidad así variará su curva de disparo de acuerdo al circuito o instalación que quiera proteger. Pueden ser de curva tipo: B, C, D, MA y Z.

Curva B: Interrumpen del 1,1 a 1,4 veces la corriente nominal que circula por su parte térmica. Y un 300, 320 y 500 veces la corriente nominal que pasa por la parte magnética, permitiendo realizar protecciones de personas para longitudes mayores que los tipos de curvas "C".

Curva C: Operan cuando fluye una corriente del 1,13 a 1,45 veces la corriente nominal en la parte térmica, y en la parte magnética de 5 y 10 o 7 y 10 veces la corriente nominal en la parte magnética; ideal para instalaciones tipo línea-receptores.

Curva D: Operan si en la parte térmica fluye una intensidad de corriente desde el 1.1 a 1.4 veces la corriente nominal, y 10 a 14 veces la corriente nominal en la parte magnética. Ideal para protección de cargas que tengan puntas de arranque altos.

Curva MA: Estos termomagnéticos no poseen sistema de disparo térmico, por lo tanto solo trabajan con la parte magnética, operan con 12 veces la corriente nominal, es el indicado para proteger motores.

Curva Z: Son de tipo magnético y manejan 2.4 y 3.6 veces la corriente nominal y es ideal para instalaciones con receptores eléctricos.

2.2.2 Contactador:

Es un mecanismo cuya misión es la de cerrar unos contactos, para permitir el paso de la corriente a través de ellos. Esto ocurre cuando la bobina del contactor recibe una corriente eléctrica, comportándose como electroimán y atrayendo dichos contactos.



Figura 2.4. Contactor. (Fuente: Milágifred Montes)

El contactor está formado por las siguientes partes:

- **Contactos principales:** 1-2, 3-4, 5-6. Tienen por finalidad abrir o cerrar el circuito de fuerza o potencia.
- **Contactos auxiliares:** 13-14 (NO). Se emplean en el circuito de mando o maniobras. Por este motivo soportarán menos intensidad que los principales.

Circuito electromagnético: Consta de tres partes.

- El núcleo, en forma de E. Parte fija.
- La bobina: A1-A2.
- La armadura. Parte móvil.

2.2.3 Relé Térmico

Es un mecanismo que sirve como elemento de protección del motor. Su misión consiste en desconectar el circuito cuando la intensidad consumida por el motor, supera durante un tiempo corto, a la permitida por este, evitando que el bobinado se quemara. Esto ocurre gracias a que consta de tres láminas bimetálicas con sus correspondientes bobinas calefactoras que cuando son recorridas por una determinada intensidad provocan el calentamiento del bimetálico y la apertura del relé.

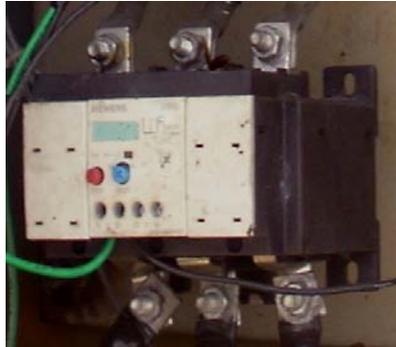


Figura 2.5. Relé Térmico. (Fuente: Milágfred Montes)

Partes del Relé Térmico:

- Plaquita de características.
- Conmutador selector RESET manual/automático.
- Tecla de STOP.
- N° de pedido completo en el frontal del aparato.
- Indicación del estado de conexión y función de prueba TEST.
- Cubierta transparente precintable (para proteger el tornillo de ajuste de la intensidad, la función TEST y posicionamiento de RESET manual/automático).
- Tornillo de ajuste de la intensidad.
- Borne de repetición de bobina (con montaje a contactor).
- Borne de repetición de contactos auxiliares (con montaje a contactor).

Se debe regular (tornillo 7), a la Intensidad Nominal del motor (I_n), para el arranque directo. Esta intensidad deberá venir indicada en la placa de características del motor.

2.2.4 Transformador

El transformador es un dispositivo que no tiene partes móviles, el cual transfiere la energía eléctrica de un circuito u otro bajo el principio de inducción electromagnética. La transferencia de energía la hace por lo general con cambios en los valores de voltajes y corrientes.

Un transformador de control son transformadores de aislamiento de tensión constante y tipo seco. Generalmente se usan con los devanados primarios conectados a circuitos de distribución de baja tensión de 600 voltios o menos. La elección adecuada de un transformador de control facilitará la alimentación con la potencia correcta a tensión reducida para cargas de alumbrado y control hasta 250 VA.

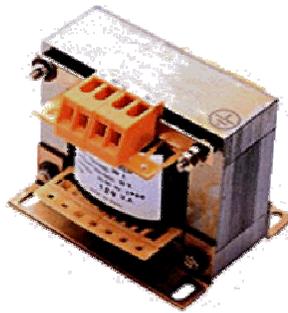


Figura 2.6. Transformador de Control. (Fuente: Internet)

2.2.5 Fusibles

El fusible es un dispositivo protector, cuyo principio de interrupción se basa inicialmente en la fusión de un elemento conductor. Una vez iniciado el proceso de fusión, se produce el arco eléctrico dentro del fusible, siendo posteriormente apagado por medio del material de relleno.



Figura 2.7. Fusibles. (Fuente: Internet)

El fusible presenta un comportamiento resistivo dentro de un circuito eléctrico, generalmente de bajo valor, y como tal ocasiona un consumo de potencia y energía la que finalmente es transformada en calor (energía absorbida), según la ley de Joule. Este calor se desarrolla en torno al elemento fusible, y gracias a la buena capacidad de absorción de energía que posee la sílice, este calor es disipado al medio que rodea al fusible (energía disipada). Además, existe un valor de energía necesaria para provocar la fusión del elemento fusible y por consiguiente, la interrupción de la corriente que lo circula. Esta diferencia entre energías es la que caracteriza a cada régimen operativo.

La primera condición bajo la cual puede estar trabajando un fusible es el régimen permanente. Durante este régimen, la energía térmica debida a la circulación de la corriente, menos la cantidad de energía disipada al medio que rodea al fusible, es menor a la energía necesaria para fundir el elemento fusible. Este régimen se conoce como condición normal de operación.

El régimen de sobrecarga está caracterizado por la interrupción de la corriente que circula por el fusible en un tiempo prolongado (régimen no-adiabático). La energía generada por el fusible producto de esta corriente de sobrecarga, menos la

cantidad de energía que se disipa al medio por las paredes del cuerpo, es mayor que la energía térmica necesaria para provocar la fusión del elemento fusible.

La tercera condición corresponde al régimen de cortocircuito, donde la corriente que circula por el fusible es de gran magnitud, y la energía térmica generada por esta corriente es enteramente utilizada para fundir el elemento fusible, sin disipar al medio que lo rodea (régimen adiabático).

2.2.5.1 Fusibles para Baja Tensión:

- Fusibles especificados bajo recomendaciones de Underwriter Laboratories poseen las siguientes características generales de operación:
- Deben ser capaces de soportar un 110% de la corriente nominal en forma permanente.
- Si la corriente nominal fluctúa entre 0 y 60 A, deben operar después de 1 hora con 1.35 In y de 2 horas para fusibles con corriente entre 61 y 600 A.
- Fusibles con corriente nominal superior a 600 A deben operar en 4 horas con 1.5 In.
- Fusibles con diferentes voltajes y corrientes deben tener diferentes dimensiones físicas para evitar confusiones.
- Corriente de Interrupción: Los fusibles de baja tensión tienen capacidades de ruptura elevadas, lo que les permite interrumpir con alta eficiencia y confiabilidad altas corrientes de cortocircuitos. En resumen, para los diferentes tipos de fusibles existentes para uso en baja tensión, las capacidades de ruptura son las siguientes:
 - ✓ Fusibles Clase H: Inferior a 10 KA.
 - ✓ Fusibles Clase K: 50, 100 o 200 KA.

- ✓ Fusibles Clase RK₁ y RK: 200 KA.
- ✓ Fusibles Clase RK₁ y RK con tiempo de retardo: 200 KA
- ✓ Fusibles Clase J, CC, T y L: 200 KA.

Características Tiempo-Corriente: Las curvas tiempo-corriente entregadas por los fabricantes muestran los tiempos de operación de los fusibles para diferentes valores de corrientes. El valor de tiempo indicado en las curvas puede corresponder al tiempo mínimo de fusión del fusible, o bien tiempo promedio de fusión, o tiempo total de apagado de la corriente. En caso de no indicarse específicamente a que valor corresponde, se asume un valor promedio de tiempo de fusión.

Este valor promedio asume una tolerancia de 10% en la corriente para un tiempo de operación definido. Por lo tanto, el tiempo mínimo de fusión se considera inferior en un 10% en corriente al valor promedio. Para tiempos superiores a 0.1 segundo, el tiempo máximo de fusión se considera igual al tiempo total de despeje de la falla. Para tiempos entre 0.1 y 0.01 segundos, el tiempo de despeje se considera mayor al tiempo de fusión debido al tiempo de apagado del arco, que en este caso adquiere importancia. Para tiempos de operación muy cortos, el valor del I^2t (energía disponible como resultado del paso de corriente durante el tiempo de operación) adquiere relevancia para definir criterios de coordinación y asegurar una protección efectiva.

2.2.5.2 Clasificación de los Fusibles en Baja Tensión.

La forma como se clasifican los fusibles en baja tensión, de acuerdo a sus características de operación y constructivas son las siguientes:

2.2.5.2.1 Fusibles Clase G

Son de 0-60 A y 300 V, de dimensiones pequeñas para uso en instrumentos de medidas, equipos electrónicos, etc. Disponibles en 4 tamaños diferentes 15, 20, 30 y 60 A con capacidad de ruptura de 100 KA.

2.2.5.2.2 Fusibles Clase H

Capacidad nominal de 0-600 A y 600V. Son fusibles encapsulados con capacidad de ruptura máxima de 10 KA rms simétricos.

2.2.5.2.3 Fusibles Clase J

Capacidad nominal de 0-600 A, 600 V. Tienen dimensiones físicas menores a las de un fusible clase H. Estos fusibles se clasifican como fusibles rápidos, limitadores de corriente y con capacidad de ruptura de 200 KA rms simétricos.

2.2.5.2.4 Fusibles Clase K

Capacidad nominal 0 - 600 A, 250 y 600 V. Poseen las mismas dimensiones físicas que los fusibles clase H y tienen capacidades de interrupción entre 50, 100 KA y 200 KA simétricos.

2.2.5.2.5 Fusibles Clase R

Capacidad nominal 0 - 600 A, 250 y 600 V. Son fusibles limitadores de corriente con capacidad de ruptura de 200 KA simétricos RMS.

2.2.5.2.6 Fusibles Clase L

Capacidad nominal de 601 - 6000 A, 600 V y capacidad de ruptura de 200 KA efectivos simétricos.

2.2.5.2.7 Fusibles Clase T

Capacidad nominal de 0 - 600 A, 250 y 600 V. Son fusibles limitadores de corriente compactos con 200 KA rms simétricos de ruptura.

2.2.5.2.8 Fusibles de Complemento

Capacidad nominal de 0 - 60 A y 0 - 600 V. Se usan para proveer protección adicional a equipos energizados por circuitos que ya poseen protección de sobre - corriente. Por ejemplo en tubos fluorescentes, paneles de control para soldaduras, etc.

2.2.5.2.9 Fusibles para Condensadores

Capacidad nominal de 0 - 250 A, 250 y 600 V. Se usan en conjunto con condensadores de potencia para aislar una unidad fallada del resto del banco. Para proveer buena protección, la corriente nominal del fusible debe especificarse de acuerdo a la capacidad de sobrecarga del fusible, generalmente especificado en función de los KVA_r que puede entregar. Se debe tener especial cuidado con los voltajes post falla inducidos entre los terminales del fusible para evitar el reencendido del arco.

2.2.6 Relé de Falla y Fase

Es un relé trifásico para la protección contra fallas de fase, basado en tecnología de microcontroladores, diseñado específicamente para proteger la carga conectada a la red de distribución contra los daños causados por fallas comunes de voltaje.



Figura 2.8. Relé de Falla y Fase. (Fuente: Milágifred Montes)

2.3 Variador de Velocidad

El variador de velocidad es un control para el motor de inducción tipo jaula de ardilla. Es el único control que energiza, protege y permite la variación de la

velocidad en un motor, sin ningún accesorio extra entre el motor y la carga.



Figura 2.9. Variador de Velocidad. (Fuente: Milágifred Montes)

El variador de velocidad está constituido básicamente por la etapa de conversión, etapa de filtrado, etapa de inversión y la etapa de control.

2.3.1 Etapa de Conversión

La etapa de conversión convierte la alimentación DC en AC; la cual está constituida por un módulo encapsulado de diodos en configuración tipo puente. En esta etapa de potencia entra una onda sinusoidal trifásica de $480 \text{ VAC} \pm 10\%$ a $60 \text{ Hz} \pm 5\%$ y es convertida en $700 \text{ VCD} \pm 10\%$ con un bajo contenido de rizado.

2.3.2 Etapa de Filtrado

Está compuesta por un filtro LC pasabajas que se encuentra conectado en serie con la barra DC. El propósito de este inductor es de aplanar el rizado de la corriente continua que sale del convertidor y se incrementa con la carga.

A parte del inductor, el otro componente encargado de filtrar es el banco de condensadores o de capacitores, conectado en configuración serie paralela, la conexión en serie es para lograr el rango de voltaje y la conexión en paralelo para la

capacidad requerida. El banco de condensadores se encarga de atenuar cualquier fluctuación de voltaje a través de la barra del bus DC.

2.3.3 Etapa de Inversión

Esta etapa se encuentra formada por 3 módulos IGBT (transistores); donde cada uno de los módulos cuenta con dos transistores bipolares de compuerta aislada. Cada módulo tomará la tensión DC, suministrada desde el bus DC y la transformará a un nivel de tensión y frecuencia requerido para el proceso.

2.3.4 Etapa de Control

Esta etapa está formada por dos tarjetas; la PCB Control y la Gate Drive.

2.3.4.1 Tarjeta PCB Control

Se encarga de controlar todas las funciones que se llevan a cabo dentro del variador, entre las cuales tenemos la modulación de la señal de entrada a 60 Hz, con la señal de la portadora (generada en la PCB Control). Por otra parte recibe y procesa toda la información suministrada a través del display.

2.3.4.2 Tarjeta Gate Drive

Se encarga de recibir y enviar las señales tanto del variador como de la tarjeta PCB Control; esta tarjeta recibe alimentación DC directamente de las barras del bus DC.

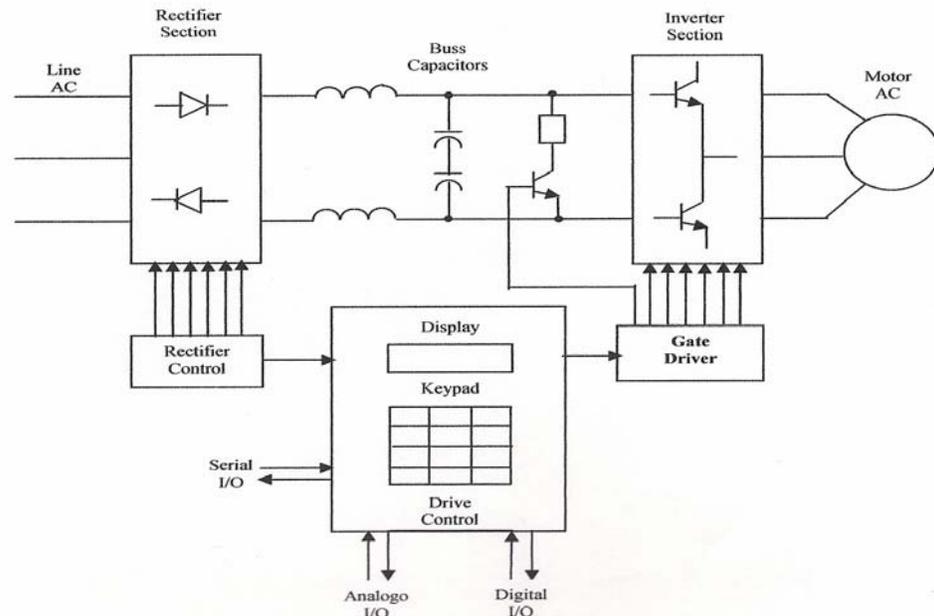


Figura 2.10. Diagrama de Bloques de un Variador de Velocidad. (Fuente: Manual de Variadores de Velocidad)

2.4 Motores Asíncronos ó de Inducción

Los motores asíncronos ó de inducción están basados en el accionamiento de una masa metálica por acción de un campo giratorio; formados por dos armaduras con campos giratorios coaxiales: una es fija y la otra es móvil. También se les llama, respectivamente, rotor y estator.



Figura 2.11. Motor Asíncrono Jaula de Ardilla. (Fuente: Manual de Motores Eléctricos)

Se utilizan dos tipos de devanados del rotor: 1. Devanado trifásico convencionales de alambre aislado, y 2. Devanados jaula de ardilla. El tipo de devanado da lugar a dos clases principales de motores: motores de inducción de jaula de ardilla y motores de inducción de rotor devanado.

El devanado del motor que conduce la corriente alterna que se produce por inducción desde el devanado del estator, conectado directamente, consiste de conductores de cobre o de aluminio vaciados en un rotor de laminaciones de acero. Se instalan anillos terminales de cortocircuito en ambos extremos en el caso del “motor jaula de ardilla” o bien en uno de los extremos en “motores rotor devanado”.

La característica esencial que distingue a una máquina de inducción de los demás motores eléctricos es que las corrientes secundarias son creadas únicamente por inducción.

Para distinguir entre diversos tipos de motores disponibles, la National Eléctrica Manufacturers Association (NEMA) ha desarrollado un sistema de identificación con letras en la cual cada tipo de motor comercial de inducción de jaula de ardilla, se fabrica de acuerdo con la determinada norma de diseño y se coloca en determinada clase, identificada con una letra. Las propiedades de la construcción eléctrica y mecánica el rotor, en las cinco clases NEMA de motores de inducción de jaula de ardilla se resume en la siguiente tabla:

Tabla 2.1. Características de los Motores Comerciales de Inducción de Jaula de Ardilla de Acuerdo con la Clasificación en Letras NEMA. (Fuente: Internet)

Clase NEMA	Par de Arranque (# de veces el voltaje nominal)	Corriente de Arranque	Regulación de Velocidad (%)	Nombre de Clase del motor
A	1.5 – 1.75	5 – 7	2 – 4	Normal
B	1.4 – 1.6	4.5 – 5	3.5	De propósito general
C	2 – 2.5	3.5 – 5	4 – 5	De doble jaula alto par
D	2.5 – 3.0	3 – 8	5 – 8, 8 – 13	De alto par, alta resistencia
F	1.25	2 – 4	Mayor de 5	De doble jaula, bajo par y baja corriente de arranque

2.4.1 Clasificación de los Motores de Inducción Jaula de Ardilla de Acuerdo con el Enfriamiento y el Ambiente de Trabajo:

Los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla, y en general todos los motores eléctricos, se pueden clasificar de acuerdo al ambiente en que funcionan y también en los métodos de enfriamiento.

La temperatura ambiente juega un papel importante en la capacidad y selección del tamaño de armazón para una dinamo, parte importante del motivo es que la temperatura ambiente influye en la elevación permisible de temperatura por sobre los 40 °C normales.

También se hizo notar que la hermeticidad de la máquina afecta a su capacidad. Una máquina con un armazón totalmente abierto con un ventilador interno en su eje, permite un fácil paso de aire succionado y arrojado. Esta caja origina una temperatura final de trabajo en los devanados, menor en comparación que la de una máquina totalmente cerrada que evita el intercambio de aire con el exterior.

2.4.2 Selección de Velocidades Nominales de los Motores de Inducción Jaula de Ardilla:

Dado que el deslizamiento de la mayor parte de los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla, a la velocidad nominal en general de alrededor de un 5%, no se pueden alcanzar velocidades mayores a 3600 r.p.m. A 60 Hz, las velocidades son múltiplos de los inversos del número de polos en el estator: 1800, 1200, 900, 720 r.p.m, entre otras. En general, se prefieren los motores de alta velocidad a los de baja velocidad, de la misma potencia y voltaje, debido a que:

- ✓ Son de tamaño menor y en consecuencia de menor peso.
- ✓ Tienen mayor par de arranque.
- ✓ Tienen mayores eficiencias.
- ✓ A la carga nominal, tienen mayores factores de potencia.
- ✓ Son menos costosos.

Por estas razones se suele dotar de cajas de engranes o embragues a los motores de inducción de jaula de ardilla para permitir velocidades de eje cerca sobre los 3600 r.p.m. y por debajo de 200 r.p.m. En muchos usos o aplicaciones comerciales particularmente en capacidades de menor potencia, la caja de engranes o de embrague va incorporada en la caja del motor, formando parte integral con este.

2.5 Descargas Atmosféricas

Se le conoce como descarga atmosférica a la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra ó entre nubes. Y es consecuencia de la saturación de cargas electrostáticas que han sido generadas y acumuladas progresivamente durante la activación del fenómeno eléctrico de una tormenta. Popularmente se conoce a las descargas atmosféricas como “rayos”, ellos presentan las características propias de un fenómeno climático, es decir con estacionalidad del momento del año en el que pueden ocurrir con mayor probabilidad, pero con mucha variabilidad de acuerdo al tipo, cantidad o intensidad de sus descargas.



Figura 2.12. Imagen de una Descarga Atmosférica. (Fuente: Internet)

Existen básicamente cuatro tipos de descargas atmosféricas: Descargas dentro de la nube, descargas entre nubes, descargas nube – ionosfera y descargas nube – tierra, estas últimas son las más perjudiciales, pues producen daños a animales, estructuras y personas.

2.5.1 Proceso de Formación del Rayo

En una primera fase el canal se propaga desde la nube hasta tierra en una serie de pasos discretos. El canal se ha iniciado en el interior de la nube a partir de un

proceso preliminar de ruptura dieléctrica, aunque no existe en la actualidad un acuerdo sobre la forma exacta y localización de este proceso.

El canal se propaga a una velocidad media de aproximadamente 2×10^5 m/s. La corriente media del canal se encuentra entre 100 y 1000 A. Mientras la punta del canal se acerca a tierra, el campo eléctrico en objetos puntiagudos de tierra o en irregularidades de la superficie aumenta hasta que ocurre la ruptura dieléctrica del aire. En ese momento se inician descargas desde esos puntos hasta que contactan con el canal. Una vez que el canal ha contactado con tierra, comienza a descargarse por medio de una onda ionizante que se propaga hacia la nube a lo largo del canal previamente ionizado. Este proceso se conoce como primera descarga de retorno.

La velocidad de la corriente de retorno del rayo típicamente toma valores de $1/3$ a $1/2$ de la velocidad de la luz en el vacío, y decrece con la altura. El tiempo total transcurrido en la propagación de tierra a la nube es del orden de 70 ms. La primera descarga de retorno produce un pico de corriente del orden de 30 KA.

Cuando la descarga de retorno cesa, el proceso que envuelve al rayo, incluyendo varios procesos de descarga en el interior de la nube, podría finalizar. En este caso, este proceso es llamado rayo de un único impacto. Por otro lado, si la nube dispone todavía de carga adicional, otro canal continuo puede propagarse hacia abajo a lo largo del primer canal residual e iniciar otra descarga de retorno. Algunos de estos segundos canales actúan como los primeros porque no siguen el canal de retorno previo.

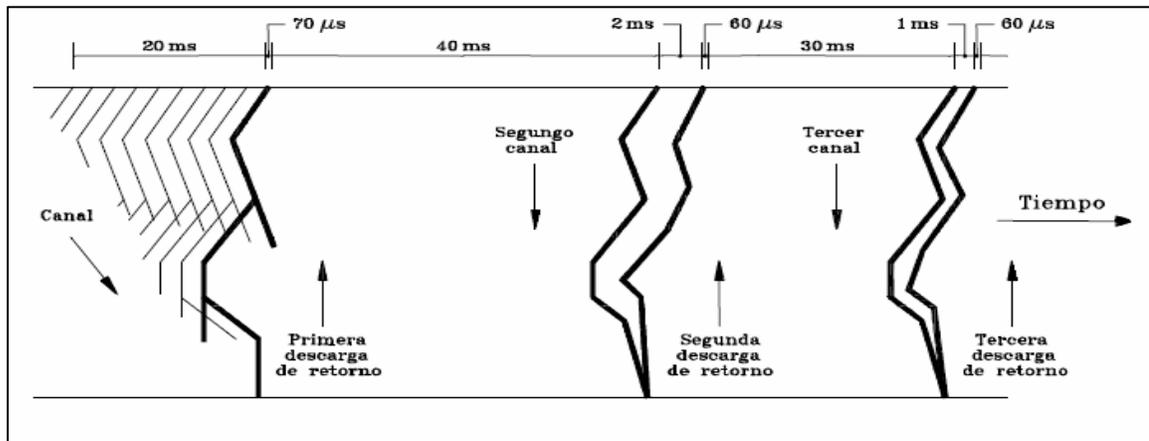


Figura 2.13. Fases de un Rayo. (Fuente: Descripción Física del Rayo. Parámetros).

Los rayos positivos contienen normalmente una única descarga de retorno seguida de un periodo de corriente continua. La mayoría de rayos positivos a tierra ocurren durante las tormentas de invierno, aunque estas tormentas producen pocos rayos en general, y es relativamente raro que ocurran en tormentas de verano, no más de un 15% de los rayos, aunque tormentas con carga predominantemente negativa acaban a menudo con descargas positivas.

El porcentaje de descargas positivas en tormentas de verano aparentemente incrementa la latitud geográfica y la altura del terreno, es decir, cuanto más cerca está la carga de la nube de la tierra existe mayor probabilidad de que ocurran descargas positivas, aunque en la actualidad no se tiene suficientemente conocimiento sobre descargas positivas como para decir que esto es siempre una condición necesaria.

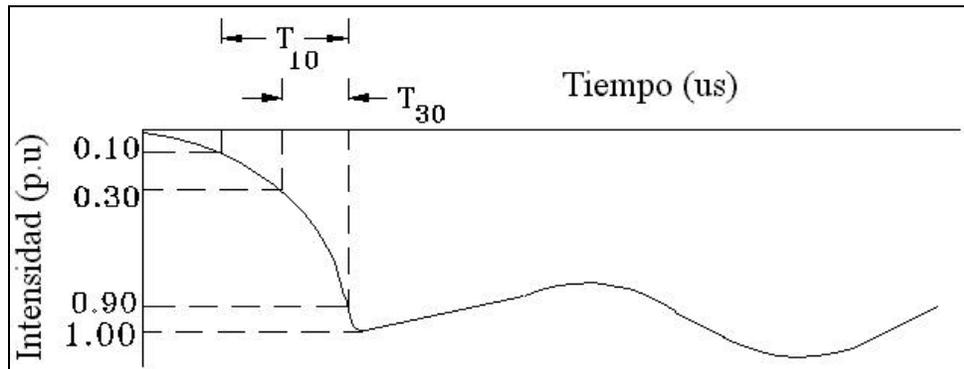


Figura 2.14. Típica Forma de la Onda de Corriente de Retorno del Rayo. (Fuente: Descripción Física del Rayo. Parámetros)

2.5.2 Efectos Producidos por el Impacto de un Rayo

El impacto directo de un rayo puede tener consecuencias catastróficas para estructuras, personas o animales, debido a la desproporcionada y devastadora energía que transfiere; sin embargo los daños por impactos indirectos suelen ser más numerosos y con cuantiosas pérdidas económicas.

2.5.2.1 Efectos Producidos por el Impacto Directo de un Rayo

Los efectos directos de un rayo son las destrucciones físicas de estructuras, causada por el impacto, de los que pueden resultar incendios. También en las personas o animales pueden causar:

- Quemaduras en la piel.
- Parálisis.
- Roturas del tímpano.
- Lesiones pulmonares.
- Lesiones óseas.
- Muerte por fulminación; cuando esto ocurre la descarga del rayo circula por el cuerpo, y la muerte aparece por los efectos térmicos y eléctricos

instantáneos. Si bien la caída directa de un rayo sobre el cuerpo humano es la más devastadora, también es la más improbable.

2.5.2.2 Efectos Producidos por el Impacto Indirecto de un Rayo

Los rayos son señales eléctricas de alta frecuencia, gran potencial y alta corriente, por ello, son causa de interferencias en sistemas electrónicos. Actualmente los equipos más utilizados son PCS, sistemas informáticos que manejan grandes máquinas, procesos automáticos y complejos, los sistemas microprocesados comandan sistemas inteligentes en áreas como las telecomunicaciones, industria, electromedicina, broadcasting (radiodifusión), centros de cómputos, entre otros. Los impactos indirectos de descargas atmosféricas pueden causar:

2.5.2.2.1 Pulsos Electromagnéticos

Los pulsos electromagnéticos, son el resultado de los campos electromagnéticos generados por las corrientes que fluyen por el canal de descarga del rayo. Después que se establece el canal de descarga del rayo entre la nube y la tierra, llega a formarse un camino tan conductivo como un conductor eléctrico. Ya que las corrientes de descargas crecen rápidamente y alcanzan corrientes pico de cientos de miles de amperios.

2.5.2.2.2 Corriente de Tierra

La corriente transitoria de tierra es el resultado directo del proceso de neutralización que sigue a un impacto de rayo. El proceso de neutralización, es consumado por el movimiento de la carga a lo largo o cerca de la superficie de la tierra, desde el punto donde se induce la carga, hasta el punto donde termina el rayo. Cualquier conductor enterrado o cercano a esta carga, proveerá un camino más conductivo desde el punto de vista donde se inicia, al punto donde termina el rayo. Este induce un voltaje en relación con la carga, que se maneja en esos conductores, lo cual está relacionado con la cercanía donde impactó el rayo. A este voltaje inducido

se le denomina “corriente transitoria de tierra” y aparece en alambres conductores, tuberías y otras formas de conductores.

2.5.2.2.3 Carga Electroestática

La célula de la carga induce una carga estática en cualquier estructura inmersa en la tormenta. Esta carga estática estará relacionada con la carga de la célula de tormenta. Por esto se inducirá una diferencia de potencial en la estructura o conductor con respecto a tierra que será un posible causante de interferencia. Como consecuencia de la carga electroestática se producen los arcos secundarios que es una de las interferencias más frecuente.

2.5.2.2.4 Pulsos Electroestáticos

Los transitorios atmosféricos o pulsos electroestáticos, son el resultado directo de la variación del campo electrostático que acompaña a una tormenta eléctrica. Cualquier conductor suspendido sobre la superficie de la tierra, está inmerso dentro de un campo electrostático y será cargado con un potencial en relación a su altura, sobre la superficie de la tierra. Entre estos pulsos tenemos:

- **Sobretensiones:** Se denomina sobretensión a todo aumento de tensión capaz de poner en peligro el material o el buen servicio de una instalación eléctrica. Las sobretensiones pueden producir descargas que, además de destruir o averiar seriamente el material, también pueden ser la causa de nuevas sobretensiones. Muchas veces, los peligros de esta no se deben solamente a su magnitud, sino también a la forma de onda. Las sobretensiones producidas por fenómenos atmosféricos llegan hasta las instalaciones de tres formas:
- **Sobretensión conducida:** El rayo puede caer directamente en las líneas aéreas, propagándose la sobretensión a lo largo de varios kilómetros;

llegando al usuario y derivándose a tierra a través de sus equipos, produciéndoles averías o su total destrucción.

- **Sobretensión inducida:** La radiación emitida por el impacto del rayo sobre un objeto (poste, árbol, pararrayos, entre otros) próximo a líneas eléctricas o telefónicas, induce corrientes transitorias en éstas, transmitiéndose al interior de las instalaciones, provocando averías o destrucción de los equipos conectados.

2.5.3 Estimación del Número de Descargas de Rayos por Unidad de Área

Es preferible usar datos reales para la densidad de relámpagos a tierra si se disponen de éstos. De lo contrario, la densidad del relámpago a tierra se toma como aproximadamente proporcional a la actividad de la tormenta eléctrica, medida en días de tormentas. Se han desarrollado formulas empíricas de acuerdo a regiones en particular, como vemos en la tabla 2.2. Para zonas templadas; y la tabla 2.3. Para zonas tropicales.

Tabla 2.2. Relaciones Empíricas entre Densidad de Descargas a Tierra y Días de Tormentas Anuales. (Fuente: Internet)

LUGAR	N1	REFERENCIA
India	$0.1 T$	Aiya (1.968)
Rodesia	$0.14 T$	Anderson y Jenner (1954)
Sudáfrica	$0.04 T * e^{(1.25)}$	Eriksson (1.987)
Suecia	$0.004 T * e^{(2)}$	Muller-Hillebrand (1.964)
Reino Unido	$a T * e^{(b)}$	Stringfello (1.974) [a = $2.6 \pm 0.2 * e^{-2}$] [b = 1.9 ± 0.1]
Estados Unidos	$0.1 T$	Anderson y otros (1.968)
Estados Unidos	$0.15 T$	Brown y Whitehead (1.969)
Rusia	$0.036 T * e^{(1.3)}$	Kolokolov y Paulova (1.972)

Tabla 2.3. Relaciones Empíricas entre la Densidad de Descargas a Tierra y Días de Tormentas Anuales. (Fuente: Internet)

LUGAR	N1	REFERENCIA
México	$0.024 T^*e(1.12)$	De la Rosa (1.991)
Brasil	$0.003 T^*e(1.12)$	Dinitz y M.G (1.989)
Colombia	$04 * (1 + 035 * \text{sen}(\theta))$ T	Torres y Barreto (1.996)
Venezuela	$12.21 T^*e(0.48)$	UNEXPO (2.003)

- N1 = Densidad de descargas a tierra por km² por año.
- T = Número de días de tormentas.
- θ = Latitud en grados.

Debe acentuarse que las formulas anteriores solo deben considerarse como un promedio aproximado solamente en vista de que la actividad de la tormenta eléctrica puede variar de un año a otro y también pueden variar la actividad de rayos en un día de tormenta.

2.6 Sistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas

Las descargas atmosféricas son una condición especial del clima y han sido objeto de análisis, experimentación y observación científica en los últimos siglos, pues traen serias consecuencias; un sistema de protecciones tiene el objetivo básico de dirigir a tierra las altas corrientes y los gradientes de tensión que se hacen presente durante el proceso de descarga de un rayo, lejos de elementos susceptibles y mantener los niveles de corriente y tensión en valores que no representen un riesgo para el personal. Un sistema de protección contra descargas atmosféricas es un sistema completo que comprende desde terminales de impacto, conductores, electrodos de puesta a tierra, conectores dispositivos de supresores de sobrecarga, entre otros.

Un sistema de protección adecuado debe dotar una estructura de dos sistemas de protección: Protección externa contra directos de rayo, y protección interna contra sobretensiones provocadas por caída del rayo en cualquier tendido del cable. Para efectos de esta tesis, el estudio estará enfocado hacia el sistema de protección interno.

2.6.1 Componentes Principales de un Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas

Un sistema de protección contra descargas atmosféricas debe incluir:

2.6.1.1 Dispositivos Supresores:

Los transitorios que aparecen en las líneas pueden verse, desde el equipo a proteger como una fuente de tensión con una cierta impedancia finita conectada en serie. Esta impedancia será una combinación de la del generador de la inductancia de la línea y de sus características reales como líneas de transmisión.

La función de un circuito ó elemento supresor debe ser limitar la tensión a partir de un cierto nivel, haciéndose conductor y estableciendo un divisor entre su propia impedancia y la impedancia de la línea, y limitando así el valor de la tensión que lleva al equipo.

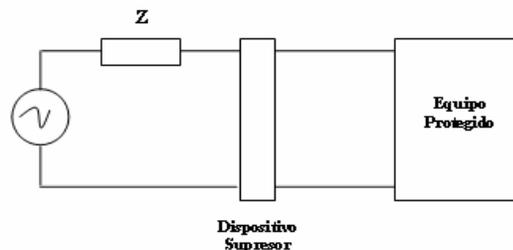


Figura 2.15. Ubicación del Dispositivo Supresor. (Fuente: Internet)

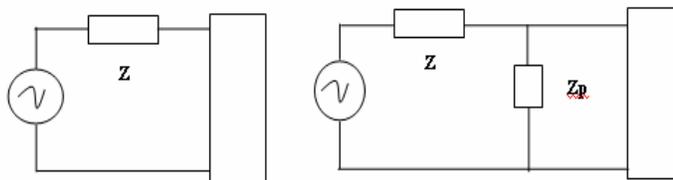


Figura 2.16. a. En reposo; b. Actúa la protección. (Fuente: Internet)

En reposo debe presentar una impedancia elevada que no altere el funcionamiento del sistema.

Cuando actúa la protección disminuye su impedancia para absorber la energía de la perturbación y limitar la tensión en el equipo que protege.

Antes que la tensión llegue a ese nivel de actuación del dispositivo supresor, este debe, sin embargo, presentar una impedancia lo más elevada posible de modo que su presencia no altere el funcionamiento de la línea.

Los dispositivos supresores se pueden clasificar en dos grupos según su forma de funcionamiento en un circuito:

2.6.1.2 Dispositivos Supresores de Tensión Constante

Presentan una impedancia muy elevada para tensiones inferiores a un determinado valor, pero por encima de éste la impedancia disminuye extraordinariamente. Sin embargo, cuando la tensión desciende de nuevo a valores normales, la impedancia se recupera y vuelve a ser elevada y el dispositivo prácticamente no conduce, recuperando totalmente sus características. Dentro de este grupo se encuentran la mayoría de componentes desarrollados específicamente para este fin: Varistores, Diodo Zener, entre otros.

2.6.1.2.1 Varistores:

Un varistor de óxido de metal y óxido (MOV, por metal-óxido varistor) está formado por una variedad de materiales que se incorporan en el proceso de

manufactura, que proporcionan las propiedades eléctricas deseadas al varistor. Estas propiedades eléctricas no existen en estas materias primas. En otras palabras, las propiedades eléctricas del producto final dependen completamente del proceso de fabricación. Se ha dedicado un gran esfuerzo de investigación al logro de las propiedades eléctricas del varistor para que sean cercanas a la del dispositivo ideal de protección.

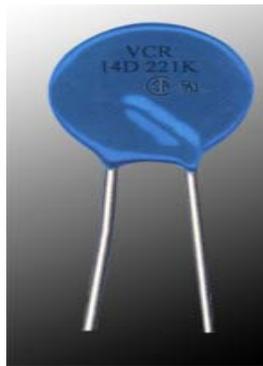


Figura 2.17. Varistor de Oxido de Metal. (Fuente: Catálogos de Productos ABB)

La estructura típica de un varistor de metal y óxido o de óxido metálico, consta de partículas diminutas de óxido, conductoras en alto grado (por lo general de óxido de zinc, ZnO) suspendidas en un material semiconductor. Este proceso de fabricación determina el tamaño de las partículas de óxido metálico, así como el espesor y la resistividad del material semiconductor. La clave para un proceso de manufactura es que las partículas conductores de óxido metálico no se toquen entre sí, sino que queden separadas por material semiconductor. Esta estructura da al varistor las propiedades de un par de diodos Zener conectados espalda con espalda.

Además de esta característica, es necesario que el MOV sea capaz de absorber pérdidas de energía durante la conducción. La capacidad promedio de absorción de un varistor convencional de ZnO es de alrededor de 150 a 200 J/cm³. Adelantos recientes logrados en la tecnología del MOV bajo el patrocinio del Electric Power

research Institute (EPRI) han resultado en nuevas formulaciones y procesos de manufactura para los MOV. Los nuevos son capaces de absorber 4 a 5 veces más la energía por volumen que la indicada anteriormente.

Los primeros diseños de supresores MOV tuvieron problemas. Los más comunes eran desacoplamiento térmico y fallas debidas a ingreso de humedad que da lugar a fallas de aislamiento. El desacoplamiento técnico puede ocurrir porque un MOV se aplica típicamente al conductor energizado sin un descargador (descarga disruptiva) en serie, y pasa siempre una pequeña corriente eléctrica y deje pasar más corriente, con lo que ocurra una elevación adicional de la temperatura hasta que se produzca una falla. Sin embargo las mejoras logradas en los materiales del óxido metálico y en lo de empaque, han dado lugar a supresores MOV robustos.

Los últimos adelantos y las propiedades superiores de los MOV los convierten en el dispositivo de protección por excelencia.

2.6.1.2.2 Diodo Zener

Es un dispositivo formado por una unión de cristales semiconductores de silicio que tiene dos terminales denominados Ánodo A o terminal positivo (+), y Cátodo C o terminal negativo (-). Deja que la corriente circule a su través en el sentido Ánodo a Cátodo ($A \rightarrow C$). Este sentido aparece indicado con una flecha sobre el propio semiconductor.

Si se aplica la tensión en el sentido opuesto ($A \leftarrow C$), el diodo bloquea el paso de la corriente. Su empleo principal se da en los rectificadores no controlados, además se usa para funciones auxiliares en los circuitos de potencia. En el sentido de bloqueo (interruptor abierto), el diodo tiene unos valores máximos que puede tolerar, y éstos son tensiones e intensidades tales como:

- U_{RRM} Tensión de pico inversa repetitiva.
- U_{RMS} Tensión de pico inversa no repetitiva (transitoria).
- I_{RRM} Valor pico para la intensidad de fugas con U_{RRM} .



Figura 2.18. Diodo Zener. (Fuente: Internet)

Las características en sentido directo o de conducción son las siguientes:

- $I_{F(AV)}$. Intensidad directa media. De un ciclo de corriente de 50/60 Hz semionda senoidal. Con temperatura del cuerpo del diodo determinada.
- $I_{F(RMS)}$. Intensidad directa eficaz. De un ciclo de corriente de 50/60 Hz semionda senoidal. Con temperatura del cuerpo del diodo determinada.
- I_{FSM} . Intensidad directa instantánea máxima. No repetitiva. Medida en una semionda de un solo ciclo.

2.6.1.3 Dispositivos Supresores Crowbar

Por el contrario, tienen también un nivel muy elevado de impedancia por debajo de un cierto nivel de tensión, pero al ser este sobrepasado, adopta un estado de baja impedancia y permanecen en él creando un cortocircuito o camino de baja impedancia a través de la línea, hasta que la corriente que circula por ellos disminuya por debajo de un determinado nivel. Este tipo de dispositivo evita que la tensión supere un valor generando un cortocircuito, y el valor elevado de intensidad que se origina hará que abra algún otro elemento de protección más lento (fusible, magnético, entre otro). Por lo tanto, dejan fuera de servicio al equipo que protegen hasta que se produzca una intervención exterior. Dentro de este grupo se incluyen fundamentalmente los circuitos basados en Tiristores ó Dispositivos Semiconductores.

2.6.1.3.1 Tiristores

Se le denomina también rectificador de silicio controlado o SCR que es un acrónimo ligado a la versión inglesa del término anterior.



Figura 2.19. Tiristores. (Fuente: Internet)

Tiene dos terminales principales Ánodo A o terminal positivo (+), y Cátodo C o terminal negativo (-). Dispone de otro auxiliar para el disparo llamado puerta G.

Cuando la puerta no está excitada el tiristor se bloquea en ambos sentidos, siempre que las tensiones aplicadas sean inferiores a las que provocan la ruptura. Para que exista conducción se han de dar simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Tensión aplicada directa de sentido Ánodo A a Cátodo C.

Pulso de intensidad adecuado en la puerta.

Una vez lograda la conducción se mantiene en ella aunque se elimine la intensidad de puerta. Ahora la puerta ha perdido el control del tiristor.

Para que el tiristor pase al estado de bloqueo hay que reducir la intensidad anódica i_A por debajo del valor determinado y durante un tiempo dado.

En el sentido inverso Cátodo C a Ánodo A siempre se bloquea con independencia de la excitación aplicada a la puerta.

En la zona de bloque inverso, si se supera la tensión de ruptura inversa, el tiristor se destruye, esto en la zona de bloqueo directo significa el paso a la zona de conducción. La corriente que se establece en este caso viene limitada por la

impedancia del circuito externo al tiristor, y si no supera a sus valores de diseño hace que el tiristor pueda funcionar normalmente.

De forma abreviada las conmutaciones de los tiristores se denominan de la forma siguiente:

- **Disparo:** Paso del estado de bloqueo (tiristor abierto), al de conducción estable.
- **Bloqueo:** Paso del estado de conducción estable al de bloqueo o de conducción.

Los modos de disparo son los siguientes:

- **Por exceso de tensión:** Tiene lugar cuando la tensión ánodo cátodo sobrepasa la tensión de ruptura directa del tiristor. No es un modo anormal, más bien es un régimen anormal del funcionamiento a evitar.
- **Por derivada de tensión anódica:** Cuando aplicamos un escalón brusco de tensión entre ánodo y cátodo que supera al valor crítico, indicado en las especificaciones del tiristor. Para lograr superar estos valores el frente de subida de tensión tiene que ser en microsegundos. Para que se dé este disparo no hace falta que suba mucho el valor de la tensión anódica sino su derivada temporal.
- **Por radiación luminosa en tiristores fotosensibles:** Se da en los tiristores tipo LASCR acrónimo de Light Activated SCR, que son sensibles a la luz. Se fabrican en calibres pequeños y se emplean fundamentalmente en dispositivos para transmitir información sin conexión galvánica, son sensibles para la radiación en torno a 800 nanómetros.
- **Por impulso en la puerta:** Para lograr el disparo se da en la puerta *G* un impulso de intensidad entrante, mientras a la vez se mantiene el ánodo polarizado positivamente respecto al cátodo.

2.7 Sistemas de Puesta a Tierra (SPAT)

Un buen sistema de puesta a tierra es necesario para mantener buenos niveles de seguridad del personal, operación de los equipos y desempeño de los mismos.

En sistemas de potencia de puesta a tierra mantiene una referencia necesaria. La forma en el que el sistema se conecta a tierra que deben ser mantenidos en condiciones normales y bajo condiciones transitorias. En sistemas no puestos a tierra, algunas tensiones pueden provocar fallas en el aislamiento de los equipos y sistemas. La puesta a tierra del neutro del sistema permite la operación de los sistemas de protección basados en la detección de corrientes que circulan por la misma, despejándose así el circuito bajo falla.

La puesta a tierra de los equipos se refiere a la conexión intencional de las carcasas o estructuras metálicas no portadoras o transmisores de la corriente de los mismos, para lograr los siguientes propósitos:

- Mantener una diferencia de potencial baja entre las diferentes estructuras metálicas con lo que se busca resguardar al personal de cualquier choque eléctrico. En el momento de una falla de un elemento energizado a un bastidor, por ejemplo el voltaje de dicho bastidor tiende a igualarse al del conductor energizado, si el primero no está debidamente conectado a tierra; constituyendo un serio peligro para el personal del área. Por supuesto, esto debe combinarse con buenos relés de protección de falla a tierra.
- Contribuir a un mejor desempeño de los sistemas de protección.
- Evitar incendios provocados por materiales volátiles o la combustión de gases al proveer un camino efectivo y seguro para la circulación de corrientes de falla, descargas atmosféricas y estáticas, para así eliminar los arcos y elevadas temperaturas en los equipos eléctricos, que pueden provocar tales incendios.

- Buen desempeño de los equipos. En los equipos o redes de computación una buena puesta a tierra no solo mantiene la seguridad del personal y provee de un camino de baja impedancia para las corrientes de falla, sino que también mantiene el mismo nivel de potencial de tierra en todas las unidades del sistema, si estas están conectadas entre sí a tierra al mismo tiempo.

Estas son entre otras las razones de la necesidad de un buen sistema de puesta a tierra, así como de su mantenimiento.

2.7.1 Componentes del Sistema de Puesta a Tierra

- Conductores de puesta a tierra.
- Conectores de los electrodos.
- Electrodos de aterramiento.
- El suelo en contacto con el electrodo.

2.7.2 Principio de Funcionamiento del Sistema de Puesta a Tierra

La tierra es un conjunto se clasifica propiamente como un conductor y por conveniencia se supone su potencial como cero. Cuando un objeto metálico se conecta a tierra por medio de un electrodo de puesta a tierra y/o un conductor a tierra del equipo, entonces se fuerza a tener el mismo potencial cero de tierra. Cualquier intento de elevar o bajar el potencial del objeto con respecto a tierra, da como resultado la circulación de una corriente que pasa a través de la conexión a tierra hasta que el potencial del objeto y el de la tierra se igualen.

2.7.3 Clasificación de los Sistemas de Puesta a Tierra de Acuerdo al Uso

2.7.3.1 Sistema de Tierra para Protecciones.

Significa drenar a tierra las corrientes de falla de todos los elementos metálicos (no conductores) que formen parte de la instalación eléctrica, incluyendo equipos para la protección de personas.

2.7.3.2 Sistema de Puesta a Tierra para Funcionamiento.

Se refiere a que una parte del sistema eléctrico debe mantenerse a potencial de tierra para su buen funcionamiento; en los sistemas de distribución, los neutros de los transformadores, generadores, bases de los pararrayos, los circuitos de comunicación para eliminar ruidos e interferencias; en los circuitos electrónicos, para señal de referencia, entre otras.

2.7.3.3 Sistema de Puesta a Tierra Provisional.

Es una puesta a tierra con carácter provisional que debe garantizar seguridad a la integridad física de las personas. Es común utilizarla en trabajos de mantenimiento de elementos eléctricos, que normalmente se hallan energizadas y temporalmente fuera de servicio.

2.7.4 Factores Básicos a Considerar en el Diseño de un Sistema de Puesta a Tierra.

Algunos de los factores que tienen un papel importante en el diseño del sistema de tierra son los siguientes:

2.7.4.1 Resistividad del Terreno.

Esta cantidad se expresa en ohm – m, y se representa la resistencia de un metro cúbico de tierra, medida entre la superficie superior y opuestas. La resistividad del terreno

depende directamente de factores ambientales característicos de la zona donde se piensa desarrollar el sistema de puesta a tierra.

2.7.4.2 Tamaño o Extensión del Sistema de Puesta a Tierra.

Este es un factor importante, ya que si el sistema es muy pequeño para manejar grandes corrientes de falla, pueden existir gradientes de potencial sobre la superficie, haciendo riesgoso esto para el contacto. En forma ideal, la resistencia de un sistema de tierras debería ser cero ohm para reducir cualquier voltaje o gradiente potencial, debido a las corrientes de fuga esto es prácticamente imposible.

2.7.4.3 Resistencia de un Electrodo.

La resistencia de tierra de un electrodo está compuesta de tres factores:

- Resistencia del propio electrodo (metal).
- La resistencia de contacto del electrodo con la tierra.
- La resistencia del suelo, desde la superficie del electrodo hacia fuera, en el espacio por donde circula la corriente, tierra circundante, desde el electrodo hacia el infinito.

La resistencia del electrodo y su conexión es muy baja ya que los electrodos son hechos de un material bastante conductivo y de resistencia baja, como el cobre. La resistencia de contacto con la tierra es bastante baja si el electrodo está libre de pintura, grasa y pintura está firmemente enterrada.

En cuanto a la resistencia circundante, se tiene que ésta es la que tiene mayor valor de las tres. Este valor es el resultado de la suma de las resistencias en serie de los conos concéntricos espaciados progresivamente alrededor del electrodo. Los conos más cercanos al electrodo encierran un área menor y por lo tanto, contribuyen con mayor resistencia. A medida que nos alejamos del electrodo, los conos poseen un área mayor y por ende, una menor resistencia. Finalmente hay un punto donde la

suma de los conos más lejanos no implica un aumento apreciable en la resistencia total del electrodo de tierra.

Factores como la longitud del electrodo, profundidad a la que es enterrado y el diámetro del mismo afectan la resistencia total del sistema. Como es sabido, los suelos de la superficie se encuentran sujetos a cambios considerables respecto al contenido de humedad y a la temperatura. Lo cual no ocurre en las capas del subsuelo; por lo que se obtienen mejores resultados si la varilla se entierra dentro del subsuelo preferiblemente en el nivel de humedad constante. La resistencia del sistema de puesta a tierra cambia muy poco al variar el diámetro del electrodo. El diámetro de la jabalina se escoge principalmente para darle una rigidez mecánica apropiada para facilitar el enterramiento.

Otro factor a tomar en cuenta se trabaja con electrodos tipo jabalina, es la proximidad de unos con otros. Al trabajar en un arreglo de varios electrodos en paralelo, la resistencia total no se ve disminuida si estos están muy próximos entre sí. Esto se debe a que la corriente que circula por cada electrodo hace que se eleve el voltaje en las áreas más cercanas a estos. Como el voltaje es incrementado por el mismo valor de corriente, la resistencia total es aumentada por la resistencia mutua entre los electrodos. Este fenómeno se debe tener en cuenta no solo al diseñar el arreglo sino también en el momento de colocar los electrodos de prueba para realizar las mediciones de resistencia de un sistema de puesta a tierra.

2.7.5 Arreglos o Tipos de Sistemas de Puesta a Tierra.

Existen dos tipos de sistemas de puesta a tierra: simples y complejos. Los simples consisten en un electrodo aislado enterrado. Generalmente es el sistema más utilizado. Los sistemas complejos consisten en un conjunto de electrodos interconectados, mallas, platos de tierra, lazos o anillos de tierra. Esos últimos son instalados normalmente en subestaciones, oficinas centrales y centros de telecomunicaciones.

2.7.5.1 Electrodo Simple

Es la forma más común de electrodos, cuando no se requiere controlar los potenciales de superficie. Su costo de instalación es relativamente bajo y pueden utilizarse para alcanzar en profundidad, capas de terreno de baja resistividad.



Figura 2.20. Electrodo Simple. (Fuente: Internet)

La barra de cobre puro o de acero recubierto de cobre (Copperweld). El tipo recubierto se usa cuando la barra se entierra por medios mecánicos (impacto) ya que el acero empleado tiene alta resistencia mecánica. La capa de cobre debe ser de alta pureza y aplicada electrolíticamente para que no se deslice al enterrar la barra. Las barras están disponibles en diámetros de 15 mm a 20 mm (cobre sólido) y 9,5 a 20 mm (acero recubierto de cobre) y longitudes de 1,2 a 3 metros. La resistencia de una barra vertical enterrada desde la superficie en un terreno de resistividad equivalente es:

$$R = \frac{\rho_e}{2\pi} \cdot \left[\ln \left(\frac{4l}{a} \right) - 1 \right] \quad \text{Ec.2.1}$$

Donde:

R : Resistencia de puesta a tierra [Ω].

ρ_e : Resistividad equivalente del terreno [$\Omega \cdot \text{m}$].

l : Longitud de la barra [m].

a : Radio de la barra [m].

2.7.5.2 Electrodo Activo.

Consiste de un tubo de cobre llenado parcialmente con sales o sustancias conductoras, con perforaciones en los extremos superiores (para ventilación) e inferiores (para drenaje) y sellados ambos extremos con tapas.

La humedad existente en el aire ingresa por las perforaciones de ventilación, entra en contacto con la sal o sustancia conductiva formando una solución electrolítica que escurre hacia la parte inferior del tubo y fluye a través de las perforaciones de drenaje hacia el suelo circundante, mediante osmosis. De este modo, el electrolito forma raíces en el terreno lo rodea, las cuales ayudan a mantener su impedancia en un nivel bajo. Es una alternativa atractiva cuando no se dispone de mucho terreno y se desea obtener bajo valor de impedancia, (se estima del orden o inferior a 10Ω) pero tiene el inconveniente de que requiere mantenimiento.

2.7.5.3 Múltiples Electrodo en Paralelo.

La conformación de un sistema de puesta a tierra con múltiples electrodos en paralelo otorga una resistencia menor que un electrodo simple. Se usan principalmente en instalaciones de alta capacidad en las que se requiere de una resistencia de puesta a tierra baja.



Figura 2.21. Múltiples Electrodo en Paralelo. (Fuente: Internet)

La colocación de una segunda barra no reduce a la mitad la resistencia que provee una barra simple, a menos que las dos estén separadas varias veces por la longitud de la barra. Sin embargo, existe una regla muy útil para conocer rápidamente la resistencia del sistema conformado con múltiples barras en paralelo.

La regla es aplicable para sistemas compuestos entre 2 a 24 barras, separadas por una longitud parecida a la del electrodo. La colocación puede ser lineal, triangular o circular. El valor final será igual a la resistencia de puesta a tierra dividida por el número de barras colocadas, multiplicado por el factor F tomado de la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Factor de Multiplicación F para Múltiples Barras. (Fuente: Internet)

Nº de Barras	F
2	1.16
4	1.36
8	1.68
16	1.92
20	2.00
24	2.16

2.7.5.4 Plato o Placa

Los electrodos de placa son de cobre o acero galvanizado. Las planchas de acero galvanizado tienen un mínimo de 3 mm de espesor y son cuadradas de 915 mm ó 1220 mm por lado. Las planchas de cobre son típicamente cuadradas de 600 mm ó 900 mm de lado y entre 1.6 mm y 3 mm de espesor.



Figura 2.22. Plato o Placa. (Fuente: Internet)

Una expresión simplificada para determinar su resistencia de puesta a tierra es:

$$R = \frac{0,8 \rho_e}{L} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

R : Resistencia de puesta a tierra [Ω].

ρ_e : Resistividad equivalente del terreno [$\Omega \cdot \text{m}$].

L : Profundidad máxima [m].

2.7.5.5 Malla de Puesta a Tierra.

Es un reticulado formado por la unión de conductores horizontales, normalmente según direcciones perpendiculares y uniformemente espaciados, incluyendo eventualmente conductores verticales (barras). Se utiliza especialmente cuando el objetivo principal de la puesta a tierra es mantener un control de potenciales en la superficie del terreno, con un bajo valor de resistencia.



Figura 2.23. Malla de Puesta a Tierra. (Fuente: Internet)

Para efectuar un cálculo aproximado de su resistencia de puesta a tierra, se utiliza la expresión de Laurent:

$$R = \frac{\rho_e}{4\sqrt{S/\pi}} + \frac{\rho_e}{L} \quad \text{Ec.2.3}$$

Donde:

ρ_e : Resistividad equivalente del terreno [$\Omega \cdot m$].

S : Superficie que cubre la malla [m^2].

L : Longitud total de conductor de la malla [m].

2.7.5.6 Anillo de Tierra (Ground Loop).

Un anillo de tierra consiste en un conductor de cobre desnudo, de sección transversal no menor al calibre 2 AWG (por resistencia mecánica), longitud no menor a 6 m, enterrado a una profundidad de 80 cm, y que rodee el edificio o la estructura. Estos anillos de tierra se emplean frecuentemente circundando una fábrica o una instalación de telecomunicaciones, para proveer un plano equipotencial alrededor de edificios y equipos.

2.7.6 Métodos de Medición de la Resistividad.

A continuación se describen los métodos de medición más empleados para determinar la resistividad del terreno:

2.7.6.1 Método de los Dos Puntos.

Con este método se pueden realizar medidas de resistividad aproximadas de un terreno imperturbable. El aparato (medidor de resistividad del suelo) consiste de un pequeño electrodo de hierro y otro más pequeño del mismo material, unidos ambos a una barra aislada. El material positivo de una batería se conecta a través de un miliamperímetro al electrodo más pequeño, y el terminal negativo al otro electrodo, tal como se muestra en la figura 2.26. El aparato puede ser calibrado para medir ohmios por centímetro para el voltaje nominal de batería.

Con este método se obtienen mediciones aproximadas para pequeños volúmenes de suelo en un corto tiempo, llevando los electrodos dentro de la tierra o en las paredes o fondos de las excavaciones.

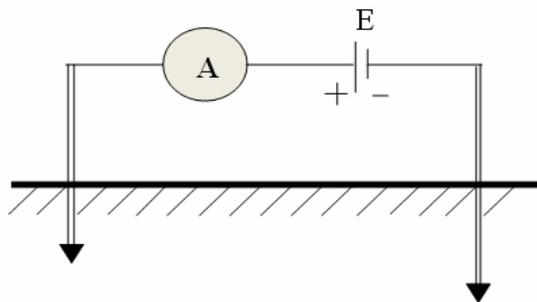


Figura 2.24. Método de los Dos Puntos. (Fuente: Internet)

2.7.6.2 Métodos de los Tres Puntos.

Este método consiste en la aplicación del método de caída de tensión para la determinación de la resistencia de puesta a tierra de un electrodo cuyas dimensiones son conocidas y es colocado a diferentes profundidades, conectado a dos electrodos adicionales que actúan como electrodo de tensión y de corriente.

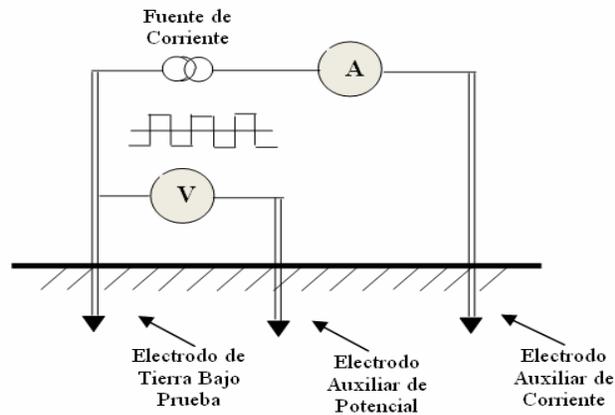


Figura 2.25. Método de los Tres Puntos. (Fuente: Internet)

La resistividad equivalente del terreno es calculada despejando el valor de la misma ecuación 2.4, la cual nos da a conocer el valor de la resistencia de puesta a tierra de una varilla metálica, suponiendo suelo homogéneo.

$$R = \frac{\rho}{(2 * \pi * L)} \ln \left(\frac{2L}{a} \right) \quad \text{Ec.2.4}$$

Despejando a ρ , queda:

$$\rho = \frac{(2 * \pi * L * R)}{\ln \left(\frac{2L}{a} \right)} \quad \text{Ec.2.5}$$

Donde:

L : Longitud [m].

a : Radio de la barra [m].

R : Resistencia de puesta a tierra de la barra [Ω].

ρ : Resistividad del terreno.

Este método también llamado el método de la variación de la profundidad, da una útil y aproximada información de la naturaleza del suelo en los alrededores de la barra (5 a 10 veces la longitud de la barra). Posee desventajas para investigar un gran volumen de suelo ya que la conducción de barras largas no es práctica.

2.7.6.3 Método de los Cuatro Puntos.

El método más exacto en la práctica de medición de resistividad promedio de grandes volúmenes de terreno, es el método de los cuatro pequeños hoyos en el terreno, en línea recta, todos a una profundidad “b”. Una corriente de prueba “T” es pasada entre los dos electrodos exteriores mientras que el potencial “V” entre los dos electrodos interiores se mide con potenciómetro o voltímetro de alta impedancia. Entonces al calcular V/I se obtiene la resistencia en ohmios. Los electrodos exteriores son llamados “electrodos de corriente” y los electrodos interiores son llamados “electrodos de potencial”. Generalmente el equipo utilizado para la medición da directamente el valor de resistencia “R”.

Para la medición de este método de medición de la resistividad (método de los cuatro puntos), se pueden emplear dos configuraciones: Wenner y Schumberger.

2.7.6.3.1 Método Wenner.

En la configuración Wenner, los electrodos están igualmente espaciados, tal como se muestra en la figura 2.26. Siendo “a” la distancia entre dos electrodos adyacentes; entonces. La resistividad “ρ” en ohmios por metro es obtenida de la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{(4 * \pi * R * a)}{1 + \frac{2a}{\sqrt{(a^2 + 4b^2)} - \frac{a}{\sqrt{(a^2 + b^2)}}} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Como en la práctica los electrodos son enterrados, en forma simplificada nos queda:

$$\rho = (2 * \pi * R * a) \quad \text{Ec. 2.7}$$

Si graficamos los valores de resistividad obtenidos para diferentes suelos y tener una idea de sus respectivas resistividades y profundidad.

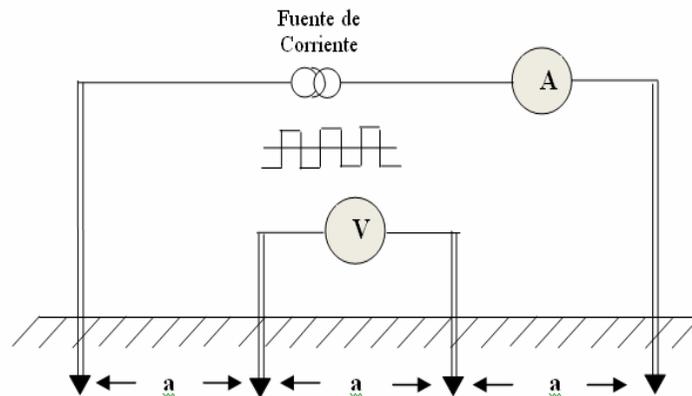


Figura. 2.26. Método de los Cuatro Puntos. Configuración Wenner.
(Fuente: Internet)

2.7.6.3.2 Configuración Schumberger.

Un defecto del método Wenner es el rápido crecimiento en la magnitud del potencial en los dos electrodos internos cuando su espaciamento se aumenta a valores relativamente grandes. A menudo, los instrumentos comerciales son inadecuados para medir tales valores de potenciales tan altos. La manera más idónea de medir resistividad con grandes espaciamentos entre electrodo de corriente es usando este tipo de configuración.

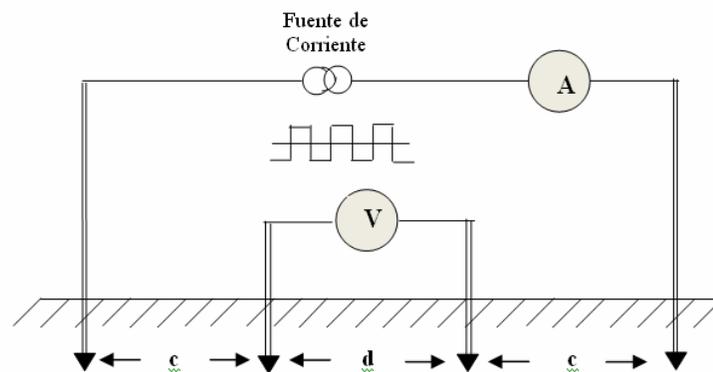


Figura.2.27. Método de los Cuatro Puntos. Configuración Schlumberger.
(Fuente: Internet)

2.8 Métodos de Levantamiento Artificial

La fuerza de empuje que desplaza el petróleo de un yacimiento viene de la energía natural de los fluidos comprimidos almacenados en el yacimiento. La energía que realmente hace que el pozo produzca es el resultado de una reducción en la presión entre el yacimiento y la cavidad del pozo. Si la diferencia de presión entre el yacimiento y las instalaciones de producción de la superficie es lo suficiente grande, el pozo fluiría naturalmente en la superficie utilizando solamente la energía natural suministrada por el yacimiento.

Cuando la energía asociada al petróleo no se produce con presión diferencial suficientemente grande entre el yacimiento y la cavidad del pozo como para levantar fluidos del yacimiento hasta la superficie y las instalaciones, o si no lo levanta a la superficie en cantidad suficiente, la energía del yacimiento debe ser suplementada con alguna forma de levantamiento artificial.

Existen diversos Métodos de Levantamiento Artificial, entre los cuales se encuentran: Bombeo Mecánico (BM), Bombeo Cavidad Progresiva (BCP), Bombeo Electro Sumergible (BES), entre otros.

2.8.1 Bombeo Mecánico.

El sistema de levantamiento artificial por bombeo mecánico es el más antiguo, y más utilizado en el mundo, debido principalmente a los bajos costos operativos, facilidad de producción y bajo riesgo de derrames por ser una operación a baja presión.



Figura 2.28. Sistema de Levantamiento Artificial por Bombeo Mecánico.
(Fuente: Milágifred Montes)

2.8.2 Bombeo por Cavidad Progresiva

El Bombeo por Cavidad Progresiva proporciona un método de levantamiento artificial que se puede utilizar en la producción de fluidos muy viscosos y posee pocas partes móviles por lo que su mantenimiento es relativamente sencillo. Consta básicamente de un cabezal de accionamiento en superficie y una bomba de fondo compuesta de un rotor de acero, en forma helicoidal de paso simple y sección circular, que gira dentro de un estator de elastómero vulcanizado.



Figura 2.29. Unidad de Levantamiento Artificial por Cavity Progressiva.
(Fuente: Milágifred Montes)

2.8.3. Bombeo Electro Sumergible

Este método de levantamiento artificial consiste en una bomba centrífuga multietapa con un motor eléctrico de fondo acoplado, la cual es capaz de levantar fluido desde el fondo del yacimiento hacia la superficie, mediante la rotación centrífuga de los impulsores de la bomba, lo que permite que el fluido ascienda a través de las etapas de la bomba centrífuga y llegue a la superficie con suficiente energía.



Figura 2.30. Unidad de Levantamiento Artificial Electro sumergible.
(Fuente: Milágifred Montes)

2.9 Descripción del Principio de Pareto

Pareto enunció el principio basándose en el denominado conocimiento empírico. Observó que la gente en su sociedad se dividía naturalmente entre los “pocos de mucho” y los “muchos de poco”; se establecían así dos grupos de proporciones 80 – 20 tales que el grupo minoritario, formado por un 20% de población, ostentaba el 80% de algo y el grupo mayoritario, formado por un 80% de población, el 20% de ese mismo algo.

2.9.1. Aplicaciones

Después de que Pareto anunciara el principio, se ha constatado que es aplicable a muchas y diversas situaciones. El principio dice que el 20% de una acción producirá el 80% de los efectos, mientras que el 80% restante solo origina el 20% de los efectos.

Para un reparto equitativo hay que conseguir minimizar el principio de Pareto, de forma que el reparto esté lo más alejado posible de una distribución de proporciones 80 – 20.

2.10. Normas Utilizadas

2.10.1 Normas NEMA

2.10.1.1 Normas NEMA 1

Para Uso en interiores, con condiciones normales de medio ambiente. Proporciona protección limitada contra la entrada de basura y tierra suelta.

2.10.1.2 Normas NEMA 3

A prueba de agentes exteriores. Para uso a la intemperie. Proporciona protección limitada contra la lluvia, granizo, nieve y daños causados por la formación de hielo en el exterior de la caja.

2.10.1.3 Norma NEMA 3R

A prueba de lluvia. Para uso a la intemperie. Evita la entrada de agua de lluvias intensas; y protege del granizo, nieve y daños causados por la formación de hielo en el exterior.

2.10.1.4 Norma NEMA 4X

A prueba de agua. Para uso en interiores o la intemperie. Protege contra la corrosión y contra ventiscos de polvo o de lluvia; así como daños causados por la formación de hielo en el exterior de la caja. No permite la entrada de agua aun cuando se aplique chorro directo.

2.10.2. Norma IEEE C62.41

Los niveles de exposición de acuerdo a la IEEE C62.41 2002 son los siguientes:

- **NIVEL C:** Es el nivel de mayor exposición de transitorios externos, por lo general es el área de acometidas, de alimentadores aéreos, subestaciones y tableros generales en baja tensión. Los equipos colocados en este nivel deben ser de alta capacidad de supresión, ya que están expuestos a transitorios destructivos, por lo general se utilizan equipos que van de 160 KA a 480 KA de supresión. Es preferible que también el supresor de esta zona tenga módulos de supresión por fase, porque al haber más transitorios externos es común que alguna fase se vea más afectada que las otras.
- **NIVEL B:** Es el nivel de exposición media. Son las áreas de cableado y equipos de distribución, así como fuentes de transitorios internos como compresores, soldadoras, entre otras. Es el área de sub-tableros generales, alimentadores, UPS, centro de control de motores, transformadores de alumbrado, así como cargas finales de gran potencia

dentro de la instalación. Los transitorios en esta zona se dan en las tres fases del sistema y por lo general basta con equipos de 120 KA a 240 de supresión.

- **NIVEL A:** Es el nivel de exposición bajo. Es el área de tableros de distribución que alimentan cargas finales, también es el área de circuitos derivados que alimentan cargas críticas como PLC's, computadoras, servidores, cargas altamente electrónicas, entre otras. En este nivel se cuida más el filtrado que la supresión, debido a que el rizado del transitorio llega minimizado si se cuenta con equipos importantes del proceso.

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Introducción

El contenido del presente capítulo comprende todo lo relacionado a la descripción metodológica y el diseño utilizado en la realización de este trabajo de investigación; en el que se manifiesta.

3.2 Tipo de Investigación

La presente investigación se enmarcó bajo la modalidad de proyecto factible, el cual es apoyado en una investigación de campo de carácter descriptivo, ya que busca proponer un mejoramiento de las condiciones operativas de los arrancadores directos para el arranque de motores que accionan Bombas Mecánicas y los Variadores de Velocidad utilizados con controladores de velocidad, en los motorreductores que accionan las Bombas de Cavidad Progresivas y en los motores para las Bombas Electro Sumergibles instalados en los pozos de las zonas de Bare y Arecuna, el cual está definido en el Manual de Trabajo de Grado y Especialización y Maestría y Tesis Doctorales de la UPEL. “El Proyecto Factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales” (p.7).

La modalidad se apoyó en una investigación de campo de carácter descriptiva, la cual según el manual antes mencionado, comprende: “el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia” (p.5), por lo este trabajo recogió los datos reales en los variadores instalados en los pozos de petróleo Extrapesado de las zonas de Bare y

Arecuna en la Faja Petrolífera del Orinoco del Estado Anzoátegui, por lo que obtuvo información confiable.

3.3 Área de la Investigación

La investigación se desarrolló en el área de potencia, en la rama de electrónica de potencia y, para efectos de la aplicación de la investigación se realizó en la Gerencia de la Unidad de Producción de Extrapesado, ubicados en las zonas de Bare y Arecuna de la Faja Petrolífera del Orinoco en el Estado Anzoátegui.

3.4 Técnicas de Recolección de Datos

Las técnicas de recolección de datos son esencialmente efectivas, pero su eficiencia se hace relativa dependiendo de la situación para la cual es utilizada. En el caso de esta investigación serán utilizadas las siguientes: la observación directa, revisión de registros, revisiones bibliográficas y entrevistas estructuradas y no estructuradas al personal de la Unidad de Mantenimiento Operacional (Departamento de Electricidad) que labora en el Centro Operacional BARE (COB), que tenga relación directa tanto con Arrancadores Directos, como con los Variadores de Velocidad Unico, Magnetek, TB Wood's, Centrilift, Yaskagua, BCP-VEN y Well Max.

La observación directa, es una técnica de recopilación de información de gran importancia, ya que ayuda a obtener información a través de visitas al área de estudio, lo que permitirá el levantamiento directo de los datos relevantes.

Revisión de registros, consistirá en la revisión de la información que se encuentra en la empresa, tal como reportes de fallas, estadísticas de falla, normas de diseño, se examinarán datos y descripciones que ya estaban escritos o registrados, en relación con el estudio.

La revisión bibliográfica, será realizada para sustentar el marco teórico, para lo cual se procederá al análisis del material escrito encontrado en la empresa, así como documentos, textos, normas, cuyo contenido conduce al entendimiento y a una mayor compenetración con el área de estudio durante su desarrollo.

La entrevista estructurada a los técnicos de Mantenimiento Operacional de Electricidad y a los Técnicos e Ingenieros de las Empresas de Servicios.

También se realizaron entrevistas no estructuradas a los técnicos de la Sección de Mantenimiento Operacional de Instrumentación, a los Operadores y Custodio de los Pozos.

3.5 Etapas de la Investigación

Para llevar a cabo la elaboración del presente proyecto de investigación, se desarrollarán una serie de pasos los cuales se describen a continuación:

Etapas I: Revisión Bibliográfica

Se utilizará para sustentar el marco teórico, por lo que se procederá al análisis del material encontrado en la empresa como: textos, revistas, trabajos de grado, entre otros que permitan de una manera eficiente obtener una información más precisa y así lograr una mayor compenetración con los sistemas eléctricos en baja tensión.

Etapas II: Condiciones Actuales de Operación del Sistema Eléctrico en Baja Tensión

En esta etapa se realizó un levantamiento físico de los aspectos más resaltantes observados en las visitas hechas a los pozos ubicados en Bare y Arecuna.

Para el desarrollo de la presente fase se utilizó la técnica estadística del Principio de Pareto para la selección de los pozos a estudiar; en el cual se seleccionó el 20% del total de cada equipo de levantamiento artificial por Bombeo Mecánico, Bombeo por Cavidad Progresiva y Electro Sumergible.

Etapas III: Elementos del Sistema Eléctrico en Baja Tensión que son Afectados por las Descargas Atmosféricas

Se estudiaron las fallas que presentaron los arrancadores directos y variadores de velocidad a través de Registros de la Unidad de Mantenimiento Operacional de la

Unidad de Petróleo Extrapesado de PDVSA en las zonas de Bare y Arecuna; y de las empresas de servicios.

Este análisis se realizó mediante la observación de libros de registros de fallas pertenecientes a la Unidad de Mantenimiento Operacional, Sección de Programación, a la Sala de Control; y a los libros de registros de fallas de las empresas de servicios. A través de entrevistas no estructuradas al personal a fin de que se obtuvieran datos estadísticos que ayudaron a establecer las causa y efectos de las fallas presentadas por los arrancadores directos y variadores de velocidad.

Etapas IV: Relación Entre la Afectación del Sistema Eléctrico en Baja Tensión y el Aporte de la Producción

En el desarrollo de esta etapa se realizó entrevistas estructuradas al personal de Mantenimiento Operacional de la Unidad de Petróleo Extrapesado para determinar los tiempos aproximados que pueden permanecer las fallas o paradas no programadas que presentan los elementos que forman los arrancadores directos y variadores de velocidad, tiempos registrados en los reportes de servicio, además saber la producción de los pozos y con estos datos calcular un promedio de las pérdidas ocasionadas por dichos eventos.

Etapas V: Propuesta para Minimizar la Afectación de las Descargas Atmosféricas

En esta etapa se tomó en cuenta todos los requerimientos necesarios para mejorar condiciones de operación de los arrancadores directos y variadores de velocidad. Partiendo de los datos proporcionados por las fases anteriores, sustentadas en los basamentos y criterios del Código Eléctrico Nacional y Petróleos de Venezuela S.A, y normas; permitirá que estos equipos operen dentro de los parámetros de calidad, continuidad y flexibilidad establecidos por la empresa.

Etapa VI: Evaluación Técnico – Económico

En esta etapa se realizó el análisis Técnico - Económico, el cual permitió estimar los gastos a incurrir en la ejecución de la solución que mejore las condiciones de operación de los arrancadores directos y variadores de velocidad.

CAPÍTULO 4

SISTEMA ELÉCTRICO EN BAJA TENSIÓN

4.1 Introducción

Los diferentes sectores de la industria y el comercio se ven afectados por causas naturales y personales, sobretensiones originadas por las descargas atmosféricas entre otras de forma más o menos importante, que son las primeras causas físicas de averías a estos equipos y de mayor importancia para los problemas de funcionamiento. Así, por ejemplo, la caída de un rayo induce daños de considerable cuantía en la mayoría de regiones del mundo a dichos sectores.

El presente capítulo tiene como objetivo de indicar la afectación en el Sistema Eléctrico en Baja Tensión de la Unidad de Petróleo Extrapesado del Distrito San Tomé.

4.2 Equipos utilizados en los campos de Bare y Arecuna, Unidad de Petróleo Extrapesado.

Los arrancadores directos empleados en estas áreas son de diferentes tamaños.

- Arrancadores Directos Tamaño 3 para motores de 50 a 75 HP.
- Arrancadores Directos Tamaño 4 para motores de 75 a 100 HP
- Arrancadores Directos Tamaño 5 para motores de 100 a 125 HP.

En cuanto a los variadores de velocidad dispuestos se tienen los de la marca Unico, BC- PVEN, Centrilitf, TB Wood's, Siemems y Magnetek; cuya potencia varía entre 100 y 150 HP. Cabe destacar que los variadores de velocidad más utilizados son los de la marca Unico.

Entre los motores usados podemos mencionar Flender, Siemens, Weg, Bardor y el Lincoln Motors, cuya potencia nominal de dichos equipos varía desde 50 HP (37 KW) hasta 125 HP (93 KW).

4.3 Resultados de las Observaciones Realizadas a los Arrancadores Directos y Variadores de Velocidad Instalados en las Áreas de Bare y Arecuna

Al determinar el tamaño de la muestra necesaria para realizar el estudio de las condiciones actuales de operación del sistema eléctrico en baja tensión se seleccionó el 20% del total de los arrancadores directos y variadores de velocidad utilizados en el proceso de extracción de petróleo por bombeo mecánico, cavidad progresiva y electro sumergible, respectivamente; instalados en las áreas de Bare y Arecuna para la aplicación del Principio de Pareto descrito en la sección 2.9.

De las muestras seleccionadas al realizar el levantamiento de las condiciones actuales de operación del sistema eléctrico en baja tensión, se encontró lo siguiente:

En los arrancadores directos instalados en el campo de Bare se observó la falta de aterramiento tanto en los motores como en el panel arrancador representando el 26% del total de todas las observaciones realizadas, siendo este el mayor. Por otro lado la presencia de polvo, animales tales como: insectos, roedores, reptiles, entre otros; debido a la falta de hermeticidad con 23%, seguido del 21% de los equipos que carecen de protecciones contra las descargas atmosféricas por la falta de supresores de voltajes.

En el área de Arecuna estos equipos también mostraron las mismas características en el orden antes mencionado, con porcentajes de 33 y 31% respectivamente; con la diferencia, que la falta de supresores de voltaje para la protección contra descargas atmosféricas y el uso inadecuado de los breakers obtuvieron 14%; lo cual podemos verificar por medio de las figuras 4.1 y 4.2; donde se muestra de forma gráfica las observaciones realizadas a los arrancadores directos instalados en las áreas de Bare y Arecuna.

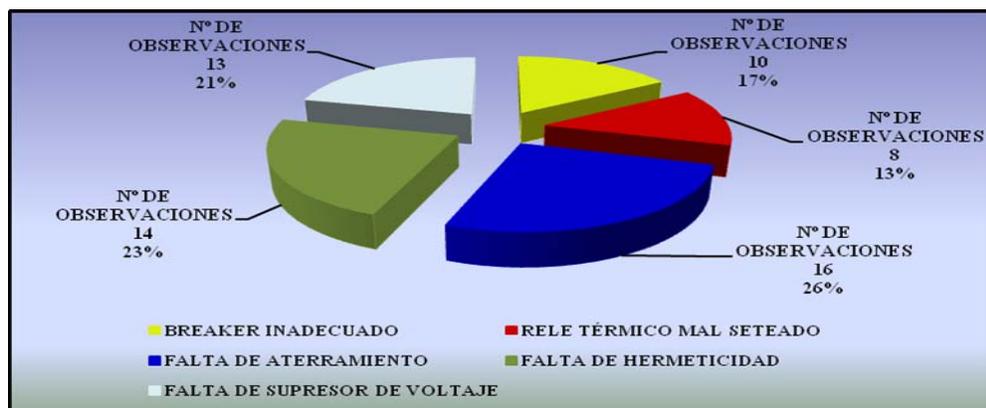


Figura 4.1. Observaciones Realizadas a los Arrancadores Directos (BM) del Área de Bare. (Fuente: Milágifred Montes)

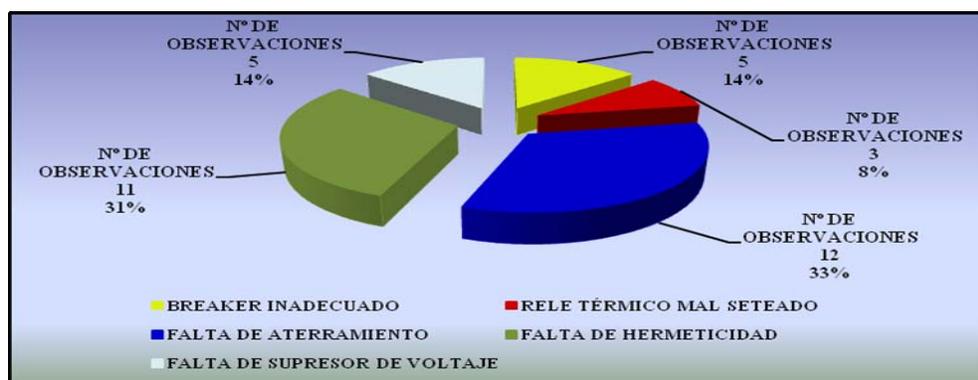


Figura 4.2. Observaciones Realizadas a los Arrancadores Directos (BM) del Área de Arcuna. (Fuente: Milágifred Montes)

Por otro lado, el estudio realizado a los variadores de velocidad instalados en la zona de Bare usados en el método de levantamiento artificial por cavidad progresiva señalaron que el 43% presentaron falta de hermeticidad, el cual se pudo verificar a través de la presencia de polvo y animales tales como: insectos, roedores, reptiles, entre otros; encontrados en su interior. En la figura 4.3, se grafican las observaciones realizadas a los variadores de velocidad del área de Bare.

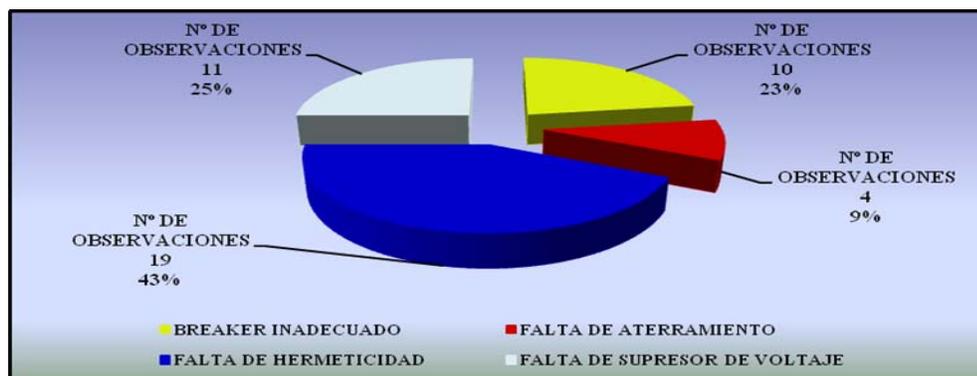


Figura 4.3. Observaciones Realizadas a los Variadores de Velocidad (BCP) del Área de Bare. (Fuente: Milágifred Montes)

En el campo de Arecuna los mismos equipos demuestran que el 39% de las observaciones pertenecían a la falta de hermeticidad con las mismas características encontradas en los variadores de velocidad del área de Bare, continuando con la falta de supresores de voltajes para la protección contra descargas atmosféricas y falta de aterramiento de estos equipos, ambos con un porcentaje del 26%. Lo cual significa que esta cantidad de elementos carecen de total protección contra sobretensiones. Esto se puede comprobar mediante la figura 4.4, donde se grafican las observaciones realizadas a los VSD para el área de Arecuna.

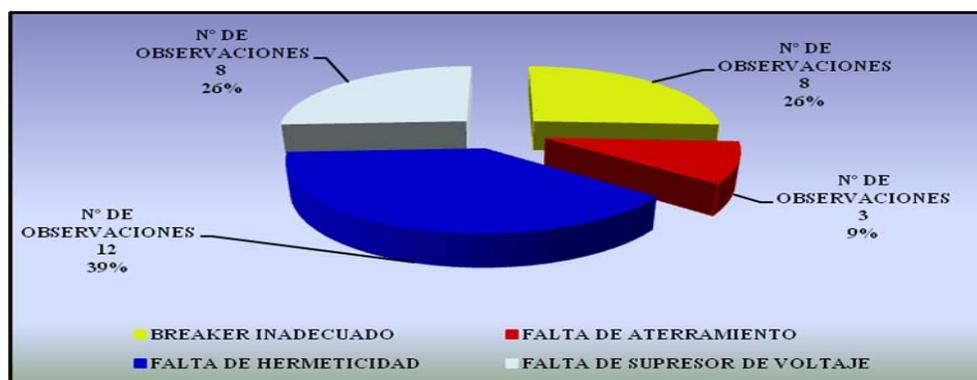


Figura 4.4. Observaciones Realizadas a los Variadores de Velocidad (BCP) del Área de Arecuna. (Fuente: Milágifred Montes)

Las observaciones realizadas a los variadores de velocidad utilizados en el método de levantamiento artificial electro sumergible (BES) del área de Bare se determinó que el mayor porcentaje representado por un 44% de estas, corresponden a la falta de supresores de voltajes para la protección contra descargas atmosféricas de estos equipos, siguiendo con un 24% pertenecientes al uso inadecuado de los breaker, es decir con un valor superior al requerido por estos para la protección del motor. Lo antes mencionado se puede visualizar a través de la figura 4.5, donde se grafican estas observaciones para los variadores de velocidad utilizados por las BES en el área de Bare.

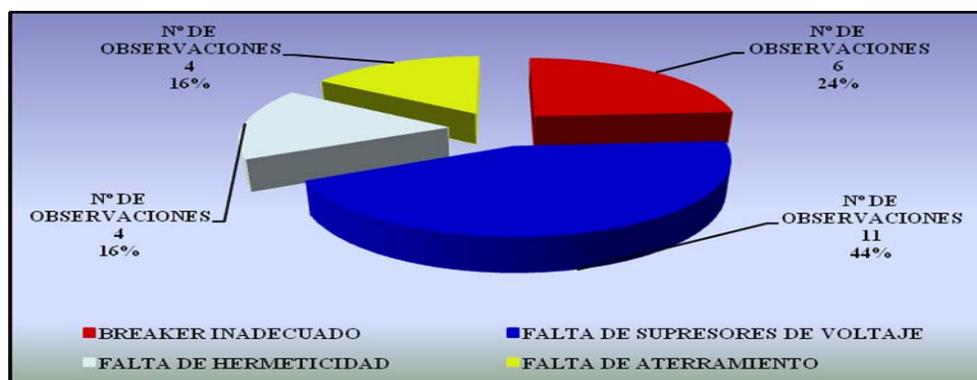


Figura. 4.5. Observaciones Realizadas a los Variadores (BES) del Área de Bare. (Fuente: Milágfred Montes)

4.4 Medición de la Resistencia del Suelo

La medición de la resistencia del suelo se realizó empleando el método de la caída de potencial ó método del 62%, en el cual se utilizó un medidor de tierra GOEHM 40D. Estas se llevaron a cabo siguiendo las siguientes recomendaciones:

En caso de realizar las mediciones en áreas donde se encuentren objetos metálicos enterrados (cabillas, tuberías, entre otras) se requiere realizar mediciones ortogonales, para poder eliminar de la medición la influencia de estos objetos metálicos.

La presencia de líneas energizadas de alta tensión en las cercanías del área donde se está llevando a cabo la medición, afecta la calidad de la misma. Para evitar esta interferencia se debe realizar la medición en una dirección perpendicular a la línea de transmisión.

4.4.1 Inspección Realizada a los Pozos de Bare y Arecuna.

4.4.1.1 Inspección Realizada al Pozo MFB – 550

El pozo MFB – 550, encontrado en la zona de Bare y el mismo descarga la producción en la estación de descarga BARED – 10.

En el MFB – 550, está instalado un arrancador directo tamaño 3 utilizado en el método de Levantamiento Artificial por Bombeo Mecánico, alojado dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 3 y ubicado a la intemperie.

Los valores de resistencia del suelo obtenidos en la medición de este pozo son bajos en comparación con los demás y están comprendidos entre 1.5 y 18.6 Ohm, esto se puede comprobar a través de la tabla 4.1; a continuación se muestran los valores de las resistencias del suelo obtenidos en la medición del área del pozo MFB – 550.

Tabla 4.1. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo en el Pozo MFB - 550. (Fuente: Milágifred Montes)

DISTANCIA (Mts)	RESISTENCIA (Ohm)
10	14,8
20	1,5
30	4,5
40	18,6
50	10,6

Se observó que la guaya utilizada para el aterramiento del panel arrancador es de calibre #2 AWG y conectada a la base del panel (Tubo de acero de 2" diámetro) a través de una conexión de soldadura no exotérmica.

Por otra parte la conexión a tierra del motor instalado en este pozo se encontró desconectada debido a la ausencia del conductor y conector adecuado.

4.4.1.2 Inspección Realizada al Pozo MFB – 346

El pozo MFB – 346, se halla ubicado en la zona de Bare y descarga su producción en la estación de descarga BARED – 05.

En el MFB – 346, está instalado un arrancador directo tamaño 5 para la Unidad de Bombeo Mecánico, el cual está alojado dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 3, ubicado a la intemperie.

Los valores de resistencia del suelo obtenidos en la medición de este pozo son elevados y están comprendidos entre 34 y 71 Ohm, esto se puede verificar por medio de la tabla 4.2; donde se muestran los valores de resistencias del suelo obtenidos en la medición del área del pozo MFB – 346.

Tabla 4.2. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo en el Pozo MFB – 346. (Fuente: Milágfred Montes)

DISTANCIA (Mts)	RESISTENCIA (Ohm)
10	51,3
20	34,0
30	57,3
40	71,6
50	48,5

Sé observó que la guaya utilizada para el aterramiento del arrancador directo es de calibre #2 AWG, el cual está conectada a la base del panel (tubo de acero de 2" de diámetro) mediante una conexión de soldadura no exotérmica. Por otra parte la

conexión a tierra del motor instalado en este pozo se encontró desconectada debido a la ausencia del conector necesario.

4.4.1.3 Inspección Realizada al Pozo MFB – 626.

El pozo MFB – 626, situado en la zona de Bare y el mismo descarga su producción en la estación de descarga BARED – 10.

En el MFB – 626, está instalado un arrancador directo tamaño 3, el cual está alojado dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 3 y ubicado a la intemperie.

Los valores de resistencia del suelo obtenidos en la medición de este pozo están contenidos entre 25 y 38 Ohm, lo que se puede comprobar a través de la tabla 4.3; donde se observan los valores de resistencias del suelo hallados en la medición del área del pozo MFB – 626.

Tabla 4.3. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo en el Pozo MFB - 626. (Fuente: Milágfred Montes)

DISTANCIA (Mts)	RESISTENCIA (Ohm)
10	25,8
20	34,0
30	34,5
40	38,6
50	30,6

Cabe destacar que la guaya utilizada para el aterramiento del panel arrancador es de calibre #2 AWG y conectada a la base del panel (Tubo de acero de 2" diámetro) a través de una conexión de soldadura no exotérmica.

En este pozo se encontró instalado un motor marca Weg de 50 Hp sin conexión a tierra.

4.4.1.4 Inspección Realizada al Pozo MFB – 517

El pozo MFB –517, situado en la zona de Bare y el mismo descarga su producción en la estación de descarga BARED – 05.

En el MFB – 517, está instalado un arrancador directo tamaño 3, el cual está alojado dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 3 y ubicado a la intemperie.

Los valores de resistencia del suelo obtenidos en la medición de este pozo están comprendidos entre 24 y 53 Ohm, lo que se puede comprobar mediante la tabla 4.4; donde se muestran los valores de resistencias del suelo obtenidos en la medición del área del pozo MFB – 517.

Tabla 4.4. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo en el Pozo MFB – 517. (Fuente: Milágfred Montes)

DISTANCIA (Mts)	RESISTENCIA (Ohm)
10	53,1
20	32,3
30	38,2
40	37,4
50	24,7

Se encontró que la guaya para el aterramiento del panel arrancador es de calibre #2 AWG conectada a la base del panel (Tubo de acero de 2” diámetro) a través de una conexión de soldadura no exotérmica.

En este pozo está instalado un motor de 75 Hp marca WEG con ausencia de los elementos básicos para su aterramiento.

4.4.1.5 Inspección Realizada al Pozo MFB – 783

El pozo MFB – 783, se encuentra ubicado en la zona de Bare y el mismo descarga su producción en la estación de descarga BARED – 06.

En el MFB – 783, está instalado un variador de velocidad BCP – VEN de 150 Hp utilizado en el Método de Levantamiento Artificial por Cavidad Progresiva; el cual está alojado dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 1 y ubicado a la intemperie.

Los valores de resistencia arrojados en la medición están comprendidos entre 35 y 40 Ohm, lo que se puede comprobar por medio de la tabla 4.5; donde se muestran los valores de resistencias del suelo obtenidos en la medición del área del pozo MFB – 783.

Tabla 4.5. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo en el Pozo MFB – 783. (Fuente: Milágfred Montes)

DISTANCIA (Mts)	RESISTENCIA (Ohm)
10	35,0
20	37,1
30	38,0
40	35,7
50	40,0

La guaya utilizada para el aterramiento del variador de velocidad es de calibre #4 AWG y conectada al gabinete del mismo mediante un conector mecánico atornillable. Por otro lado, en los dos motores instalados en este pozo faltaban los elementos básicos para la conexión a tierra.

4.4.1.6 Inspección Realizada al Pozo MFB – 778

El pozo MFB – 778, situado en la zona de Bare, descarga su producción en la estación de descarga BARED – 06.

En el MFB – 778, está instalado un variador de velocidad marca BCP – VEN de 150 Hp utilizado en la Unidad de Bombeo por Cavidad Progresiva, el cual está alojado dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 1 y ubicado a la intemperie.

Los valores de resistencia del suelo obtenidos en la medición de este pozo están comprendidos entre 30 y 42 Ohm, esto se puede verificar mediante la tabla 4.6; donde se muestran los valores de resistencias del suelo obtenidos en la medición del área del pozo MFB – 778.

Tabla 4.6. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo en el Pozo MFB - 778. (Fuente: Milágifred Montes)

DISTANCIA (Mts)	RESISTENCIA (Ohm)
10	30,0
20	35,0
30	40,9
40	41,0
50	42,0

En este pozo la guaya utilizada para el aterramiento es de calibre #2 AWG y es conectada al gabinete del variador con conexión mecánica atornillable. Cabe destacar que esta conexión estaba en malas condiciones, ya que la misma se encontraba floja y no había conexión de aterramiento de los motores, debido a la ausencia de los elementos necesarios para la conexión.

4.4.1.7 Inspección Realizada al Pozo MFB – 730

El pozo MFB – 730, localizado en la zona de Bare y este descarga su producción en la estación de descarga BARED – 06.

En el MFB – 730, está instalado un variador de velocidad marca Unico de 125 Hp para el Método de Levantamiento Artificial por Cavidad Progresiva, el cual está alojado dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 1 y ubicado a la intemperie.

Los valores de resistencia obtenidos en la medición están comprendidos entre 38 y 40 Ohm, el cual se puede apreciar a través de la tabla 4.7, donde muestran

los valores de resistencias del suelo obtenidos en la medición del área del pozo MFB – 730.

Tabla 4.7. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo del Pozo MFB – 730. (Fuente: Milágifred Montes)

DISTANCIA (Mts)	RESISTENCIA (Ohm)
10	38,0
20	40,0
30	38,3
40	38,0
50	39,6

Además se observó que el variador de velocidad estaba conectado a tierra por medio de una guaya calibre #2 AWG y un conector mecánico atornillable.

Por otro lado se encuentra conectado 1 motor de 125 Hp con un aterramiento, mediante guayas calibre #2 AWG y conectores mecánicos atornillables.

4.4.1.8 Inspección Realizada al Pozo MFB – 713

El pozo MFB – 713, hallado en la zona de Bare y el mismo descarga su producción en la estación de descarga BARED – 10.

En el MFB – 713, está instalado un variador de velocidad marca TB Wood's de 150 Hp, el cual está alojado dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 1 y colocado a la intemperie.

Los valores de resistencia del suelo obtenidos en la medición de este pozo están comprendidos entre 7 y 14 Ohm, lo que se puede verificar mediante la tabla 4.8; donde se visualizan los valores de resistencias del suelo obtenidos en la medición del área del pozo MFB – 713.

Tabla 4.8. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo en el Pozo MFB – 713. (Fuente: Milágifred Montes)

DISTANCIA (Mts).	RESISTENCIA (Ohm)
10	14,5
20	7,9
30	12,1
40	10,3
50	8,4

También se observó una guaya calibre #2 AWG conectada con un conector mecánico atornillable al gabinete del variador de velocidad para su aterramiento. En este pozo se encontraron instalados dos motores de 75 Hp, aterrados a través de guayas calibre #2 AWG y conectores mecánicos atornillables.

4.4.1.9 Inspección Realizada al Pozo MFB – 454

El pozo MFB – 454, localizado en la zona de Bare descarga su producción en la estación de descarga BARED – 05.

En el MFB –454, está instalado un arrancador directo tamaño 3 para la Unidad de Levantamiento Artificial por Bombeo Mecánico, el cual está alojado dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 3 y ubicado a la intemperie.

Los valores de resistencia del suelo obtenidos en la medición de este pozo están contenidos entre 23 y 42 Ohm, lo que se puede comprobar por medio de la tabla 4.9; donde se muestran los valores de resistencias del suelo obtenidos en la medición del área del pozo MFB – 424.

Tabla 4.9. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo en el Pozo MFB – 524. (Fuente: Milágifred Montes)

DISTANCIA (Mts)	RESISTENCIA (Ohm)
10	38,1
20	32,7
30	23,2
40	42,5
50	40,2

Se observó que la guaya utilizada para el aterramiento del arrancador directo es de calibre #2 AWG y conectada a la base del panel (Tubo de acero de 2" diámetro) a través de una conexión de soldadura no exotérmica.

En este pozo está instalado un motor de 75 Hp marca WEG conectado a tierra a través de una guaya calibre #2 AWG y conector mecánico atornillable.

4.4.1.10 Inspección Realizada al Pozo MFB – 664

El pozo MFB – 664, está localizado en la zona de Bare y el mismo descarga su producción en la estación de descarga BARED – 10.

En el MFB – 664, está instalado un variador de velocidad marca Centrlitf de 454 KVA, este es utilizado en la Unidad de Levantamiento Artificial Electro Sumergible, el cual está alojado dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 1 y ubicado a la intemperie.

Los valores de resistencia del suelo obtenidos en la medición de este pozo están comprendidos entre 15 y 24 Ohm, esto se puede verificar por medio de la tabla 4.10; donde se observan los valores de resistencias del suelo obtenidos en la medición del área del pozo MFB – 664.

Tabla 4.10. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo en el Pozo MFB – 664. (Fuente: Milágifred Montes)

DISTANCIA (Mts)	RESISTENCIA (Ohm)
10	21,0
20	15,4
30	19,8
40	23,2
50	24,5

Además se encontró que el aterramiento del variador de velocidad consistía de una guaya calibre #2 AWG conectada al gabinete del mismo y a través de conexión mecánica atornillable.

4.4.1.11 Inspección Realizada al Pozo MFA – 021

El pozo MFB – 021, se encuentra ubicado en el campo de BARE y el mismo descarga su producción en la estación de descarga BARED 08.

En el MFB – 021, está instalado un arrancador directo tamaño 3 para el Método de Levantamiento Artificial por Bombeo Mecánico, alojado dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 3 y ubicado a la intemperie.

Los valores de resistencia del suelo obtenidos en la medición de este pozo están comprendidos entre 12 y 35 Ohm, lo que se visualiza mediante la tabla 4.11; donde se muestran los valores de resistencias del suelo obtenidos en la medición del área del pozo MFA – 021.

Tabla 4.11. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo en el Pozo MFA – 021. (Fuente: Milágifred Montes)

DISTANCIA (Mts)	RESISTENCIA (Ohm)
10	21,0
20	12,5
30	34,6
40	32,2
50	35,5

Por otra parte que la guaya utilizada para el aterramiento del panel arrancador es de calibre #2 AWG y conectada a la base del panel (Tubo de acero de 2" diámetro) a través de una conexión de soldadura no exotérmica. También se visualizó la ausencia del aterramiento para el motor de 50 HP marca WEG instalado en este pozo.

4.4.1.12 Inspección Realizada al Pozo MFA – 138

El pozo MFA – 138, hallado en el área de Arecuna, descarga su producción en la estación de descarga ARED04.

En el MFA – 138, está instalado un arrancador directo tamaño 3 para la Unidad de Bombeo Mecánico, introducido dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 3 y colocado a la intemperie.

Los valores de resistencia del suelo obtenidos en la medición de este pozo están contenidos entre 15 y 25 Ohm, lo que se observa mediante la tabla 4.12; donde se muestran los valores de resistencias del suelo obtenidos en la medición del área del pozo MFA – 138.

Tabla 4.12. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo en el Pozo MFA – 138. (Fuente: Milágifred Montes)

DISTANCIA (Mts)	RESISTENCIA (Ohm)
10	23,5
20	15,6
30	18,9
40	21,4
50	25,1

Se encontró que la guaya utilizada para el aterramiento del panel arrancador es de calibre #2 AWG y conectada a la base del panel (Tubo de acero de 2" diámetro) a través de una conexión de soldadura no exotérmica. Además el motor instalado en este pozo no está aterrado, debido a la falta del conductor y conector necesario.

4.4.1.13 Inspección Realizada al Pozo MFA – 097

El pozo MFA – 097, hallado en el área de Arecuna, descarga su producción en la estación de descarga ARED04.

En el MFA – 097, está instalado un arrancador directo tamaño 3 para la Unidad de Bombeo Mecánica, introducido dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 3 y colocado a la intemperie.

Los valores de resistencia del suelo obtenidos en la medición de este pozo están contenidos entre 10 y 25 Ohm, lo que se observa mediante la tabla 4.13; donde se muestran los valores de resistencias del suelo obtenidos en la medición del área del pozo MFA – 097.

Tabla 4.13. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo en el Pozo MFA – 097. (Fuente: Milágifred Montes)

DISTANCIA (Mts)	RESISTENCIA (Ohm)
10	10,5
20	15,6
30	18,9
40	21,4
50	25,1

Se encontró que la guaya utilizada para el aterramiento del panel arrancador es de calibre #2 AWG y conectada a la base del panel (Tubo de acero de 2" diámetro) a través de una conexión de soldadura no exotérmica. Además el motor instalado en este pozo no está aterrado, debido a la falta del conductor y conector necesario.

4.4.1.14 Inspección Realizada al Pozo MFA – 217

El pozo MFA – 217, se encuentra ubicado en el área de Arcuna y el mismo descarga su producción en la estación de descarga ARED04.

En el MFA – 217, está instalado un variador de velocidad marca Unico de 50 Hp utilizado en la Unidad de Levantamiento Artificial de Bombeo por Cavidad Progresiva, el cual está alojado dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 1 y ubicado a la intemperie.

Los valores de resistencia del suelo obtenidos en la medición de este pozo están comprendidos entre 18 y 34 Ohm, lo que se observa mediante la tabla 4.14; donde se muestran los valores de resistencias del suelo obtenidos en la medición del área del pozo MFA – 217.

Tabla 4.14. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo en el Pozo MFA – 217. (Fuente: Milágifred Montes)

DISTANCIA (Mts)	RESISTENCIA (Ohm)
10	34,1
20	21,3
30	25,1
40	20,6
50	18,1

Por otra parte la guaya utilizada para el aterramiento del variador de velocidad era calibre #2 AWG y estaba conectada al gabinete del mismo a través de una conexión mecánica atornillable.

De igual manera se evidenció que el motor instalado en este pozo presentaba una conexión a tierra floja mediante una guaya calibre #2 AWG y un conector mecánico atornillable.

4.4.1.15 Inspección Realizada al Pozo MFA – 186

El pozo MFA –186, se encuentra colocado en el área de Arcuna y el mismo descarga su producción en la estación de descarga ARED04.

En el MFA –186, está instalado un variador de velocidad marca Unico de 125 Hp utilizado en la Unidad de Levantamiento Artificial por Cavidad Progresiva, introducido dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 1 y asentado a la intemperie.

Los valores de resistencia del suelo obtenidos en la medición de este pozo están contenidos entre 14 y 26 Ohm, lo que se observa por medio de la tabla 4.15; donde se muestran los valores de resistencias del suelo obtenidos en la medición del área del pozo MFA – 186.

Tabla 4.15. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo en el Pozo MFA – 186. (Fuente: Milágifred Montes)

DISTANCIA	RESISTENCIA
(Mts)	(Ohm)
10	14,9
20	20,1
30	23,5
40	25,2
50	26,5

También se evidenció que el aterramiento del variador de velocidad constaba de una guaya calibre #2 AWG conectada al gabinete del mismo a través de una conexión mecánica atornillable. Además la conexión a tierra de los motores presentes en este pozo se hallaban aterrados con un conductor del calibre antes mencionado, pero con conectores mecánicos a compresión.

4.4.1.16 Inspección Realizada al Pozo MFA – 232

El pozo MFA – 232, se encuentra ubicado en el área de Arcuna y el mismo descarga su producción en la estación de descarga ARED04.

En el MFA – 232, está instalado un variador de velocidad marca Unico de 150 Hp utilizado en la Unidad de Levantamiento Artificial de Bombeo por Cavidad Progresiva, el cual está alojado dentro de un panel con encerramiento Nema Tipo 1 y ubicado a la intemperie.

Los valores de resistencia del suelo obtenidos en la medición de este pozo están comprendidos entre 12 y 28 Ohm, lo que se puede verificar mediante la tabla 4.16; donde se observan los valores de resistencias del suelo obtenidos en la medición del área del pozo MFA – 232.

Tabla 4.16. Valores Obtenidos en las Mediciones de Resistencia del Suelo en el Pozo MFA – 232. (Fuente: Milágifred Montes)

DISTANCIA (Mts)	RESISTENCIA (Ohm)
10	23,4
20	12,1
30	20,5
40	28,4
50	27,9

Sé pudo visualizar que el aterramiento del variador de velocidad constaba de una guaya calibre #2 AWG conectada al gabinete del mismo a través de una conexión mecánica atornillable. El aterramiento de los motores de este pozo también era con un conductor del calibre antes mencionado y conector mecánico a compresión.

4.5 Análisis de los Historiales de las Fallas de los Arrancadores Directos Ocurridas en los Años 2006, 2007 y 2008 en las Zonas de Bare y Arecuna.

En la Unidad de Petróleo Extrapasado de la Gerencia de Operaciones en los campos de Bare y Arecuna contaba con un total de 200 Arrancadores Directos instalados para el año 2008. Lo que se puede observar a través de la figura 4.6, donde se grafica la cantidad de arrancadores directos instalados por área.

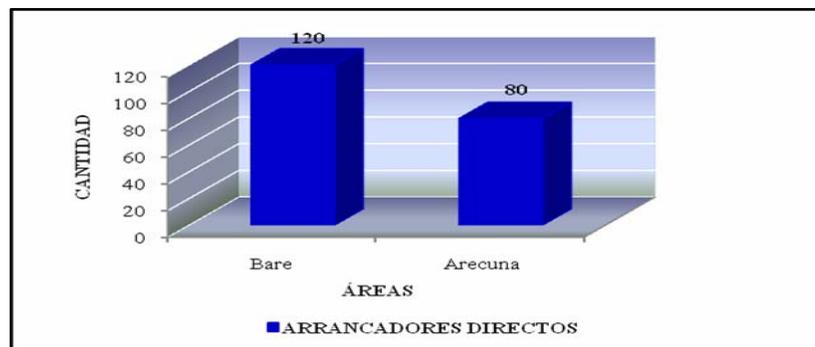


Figura 4.6. Total de Arrancadores Directos Instalados en los Campos de Bare y Arecuna Para el Año 2008. (Fuente: Milágifred Montes)

Los registros de fallas para los años 2006, 2007 y 2008 (VER ANEXO A) demuestran que este último presentó el mayor número de paradas no programadas con un total de 671, seguido del año 2006 con 374 eventos; lo que se puede verificar a través de la figura 4.7; donde se grafica la incidencia de fallas en los arrancadores directos ocurridos por mes en los años 2006, 2007 y 2008.

Estos registros fueron suministrados por la sala de programación del Centro Operativo BARE (COB), en el cual podemos encontrar el pozo donde ocurrió la falla, la fecha y el elemento que afectado.

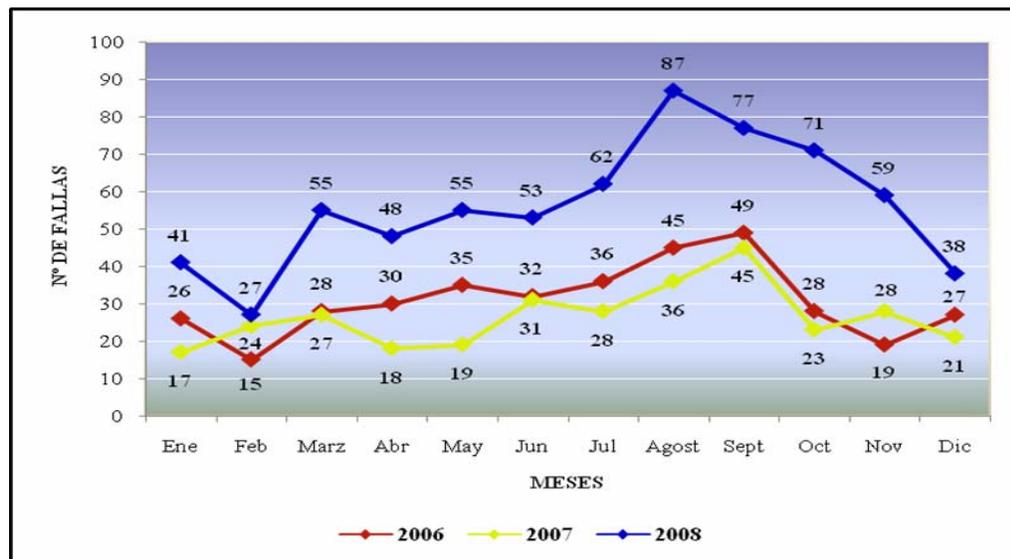


Figura 4.7. Incidencia de las Fallas en los Arrancadores Directos Ocurridas por Mes en los Años 2006, 2007 y 2008. (Fuente: Milágfred Montes)

De acuerdo a la investigación realizada se determinó que en el período de invierno comprendido entre los meses abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre, se presentó el mayor índice de fallas o paradas no programadas; acentuándose estas en los dos últimos meses.

El año 2008 reflejó un 14% de fallas por encima, con respecto a la época de verano. Lo que se puede verificar mediante la figura 4.8, donde se muestra de forma gráfica la cantidad de fallas en el período de verano e invierno para el referido año.



Figura 4.8. Número Total de Fallas Ocurredas en el Período de Verano y en el Período de Invierno. (Fuente: Milágifred Montes)

Cabe destacar que los elementos de los arrancadores directos con mayor número de fallas en el período de invierno son los fusibles, el cual indicó el 50% de las fallas, seguido del relé térmico con el 45% y el contactor con 36%, por encima de los valores obtenidos en el verano. Esto se puede ratificar a través de la figura 4.9, donde se grafica la distribución de los elementos dañados para los períodos de verano e invierno, y la figura 4.10 en la que se determinan los elementos más fallados en el período de invierno.

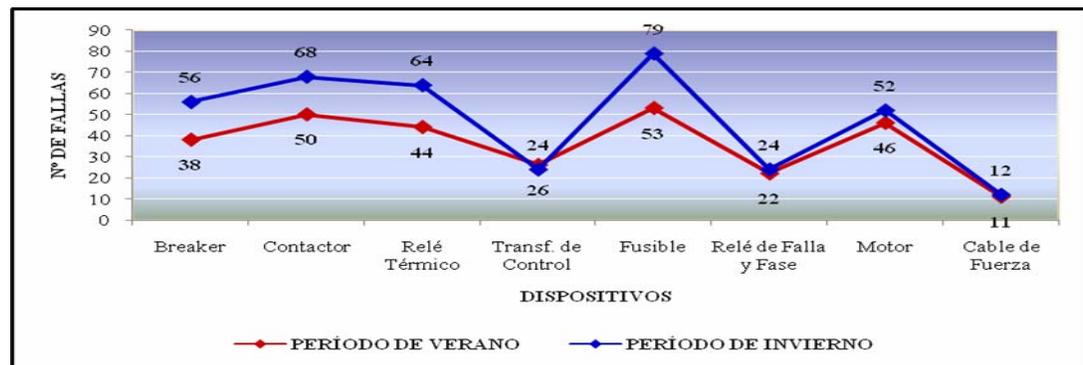


Figura 4.9. Distribución de los Elementos Dañados en los Arrancadores Directos Para los Períodos de Verano e Invierno en las Zonas de Bare y Arcuna en el Año 2008. (Fuente: Milágifred Montes)

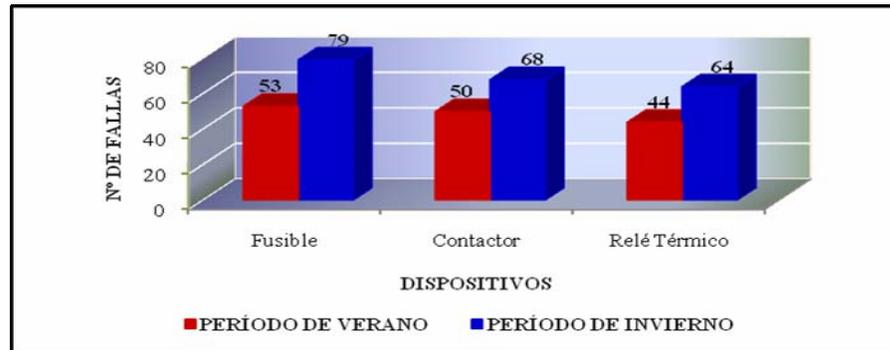


Figura 4.10. Dispositivos de los Arrancadores Directos más Fallados en el Período de Invierno. (Fuente: Milágfred Montes)

4.6 Análisis de los Historiales de las Fallas de los Variadores de Velocidad Ocurridas en los Años 2006, 2007 y 2008 en las Zonas de Bare y Arcuna.

Para el año 2008, la Unidad de Extrapasado de la Gerencia de Operaciones contaba con un total de 180 variadores de velocidad instalados en las zonas de Bare y Arcuna. A través de la figura 4.11; se puede observar de una forma gráfica la cantidad de variadores de velocidad instalados para el referido año.

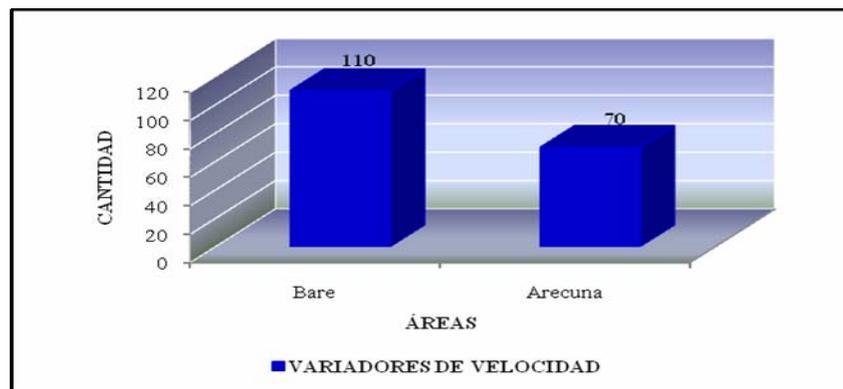


Figura 4.11. Cantidad de Variadores de Velocidad Instalados en las Áreas de Bare y Arcuna. (Fuente: Milágfred Montes)

Estos equipos han venido incrementando el número de fallas operacionales por año; el cual se puede verificar a través de la figura 4.12; donde se grafican las fallas ocurridas en los variadores de velocidad por año. Esto se determinó mediante los

historiales de fallas de los años 2006, 2007 y 2008 (VER ANEXO B) suministrado por la Unidad de Programación del Centro Operativo de BARE. Estos registros indican la fecha cuando ocurrió la falla y el pozo donde se encuentra instalado el variador que falló.

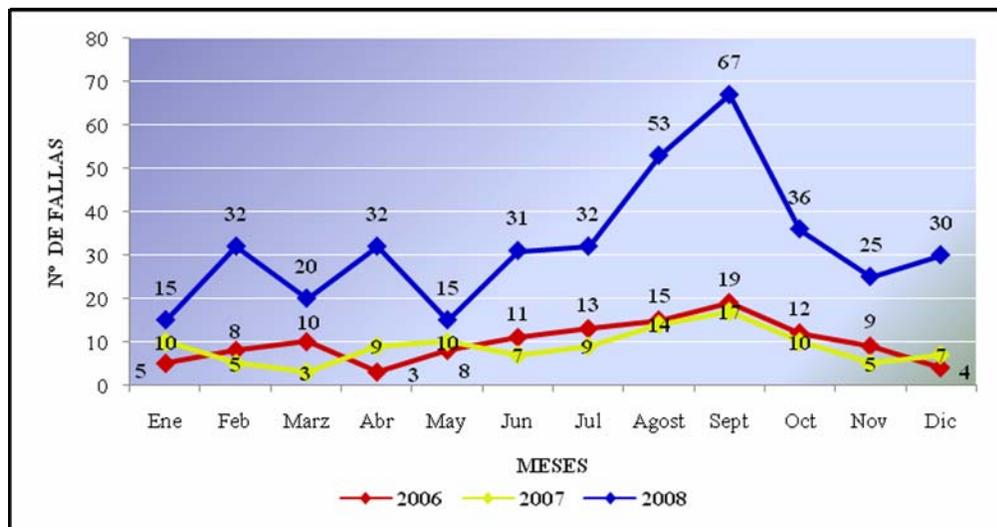


Figura 4.12. Incidencia de las Fallas de los Variadores de Velocidad Ocurridas por Mes Para las Zonas de Bare y Arecuna en los Años 2006, 2007 y 2008.
(Fuente: Milágfred Montes)

Los registros de fallas ocurridas por mes en los años 2006, 2007 y 2008, demuestran que los meses con mayor incidencia de fallas son los meses del período de lluvia; siendo estos, agosto y septiembre los que presentaron la más alta tasa de paradas no programadas con 82 y 102 respectivamente. El cual coinciden con los meses de mayores precipitaciones.

Por otra parte para el año 2008, el porcentaje de fallas en el período de lluvia se incrementó en un 20 % con respecto al período de verano; lo que se puede comprobar por medio de la figura 4.13, aquí se puede verificar el número de fallas por período para las zonas de Bare y Arecuna.



Figura 4.13. Número Total de Fallas Ocurridas en el Período de Verano y el Período de Invierno. (Fuente: Milágfred Montes)

Entre los dispositivos de los variadores de velocidad más fallados tenemos: la tarjeta DSP CTRL, Power Board y los Diodos; el cual nos indica que estos son los elementos más susceptibles a las sobretensiones causadas por las descargas atmosféricas. La cantidad de elementos fallados se puede apreciar en la figura 4.14, donde se indica de forma gráfica la distribución de los elementos dañados de los variadores de velocidad en el período de verano e invierno y en la figura 4.15 se grafican los elementos más fallados en el período de invierno.

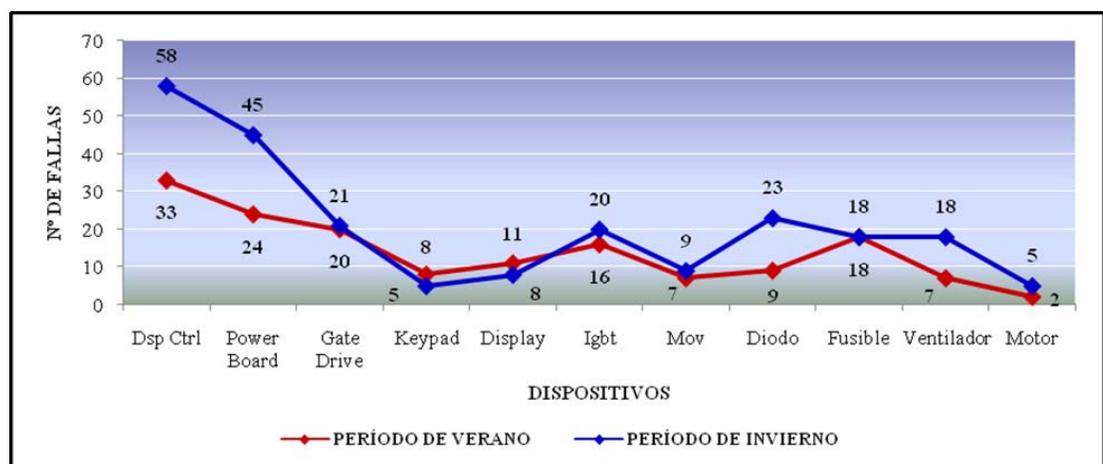


Figura 4.14. Distribución de los Elementos Dañados en los Variadores de Velocidad en los Períodos de Verano e Invierno en las Zonas de Bare y Arcuna en el Año 2008. (Fuente: Milágfred Montes)

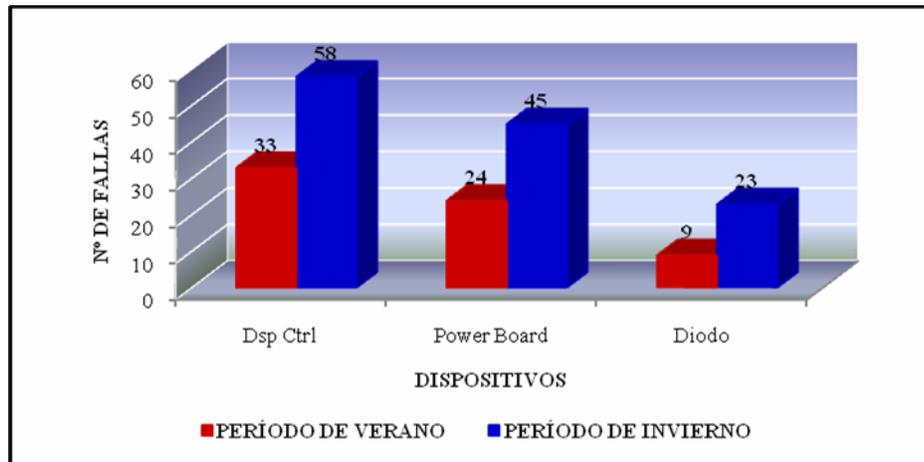


Figura 4.15. Dispositivos de los Variadores de Velocidad más Fallados en el Período de Invierno. (Fuente: Milágfred Montes)

Es de hacer notar que el número de fallas en el período de invierno en estas áreas se incrementan, debido a la cantidad de descargas atmosféricas que inciden en las referidas zonas.

4.7 Análisis de la Situación Actual

Una vez efectuado el levantamiento de la información, se realizó un análisis de las condiciones de operación del sistema y de los dispositivos que lo conforman, obteniéndose del mismo los resultados mostrados en la tabla 4.17.

Tabla 4.17. Análisis del Sistema Actual. (Fuente: Milágfred Montes)

Sistema	Situación Actual	Requerimientos
Protección Contra Sobretensiones	<p>La resistencia de los sistemas de puesta a tierra existentes es elevada, esto se comprobó en las mediciones realizadas en campo, siendo la máxima de 5 Ohm (según norma PDVSA) para realizar la conexión de los descargadores de sobretensiones al sistema de puesta a tierra.</p>	<p>Los arrancadores directos y los variadores de velocidad deben tener protección contra sobretensiones y buenos aterramientos para drenar a tierra las sobretensiones a través de pararrayos ó descargadores a gas.</p>
Conexiones al Sistema de Puesta a Tierra	<p>Las conexiones a tierra de los equipos involucrados en el proceso, se realizan en la mayoría de los casos a través de conductores no adecuados y conectores mecánicos; los cuales originan falsos contactos por la producción de óxido e inciden directamente en un aumento de resistencia de la Puesta a Tierra.</p>	<p>Las conexiones (barras de la Puesta a Tierra, conductores, panel del variador, panel arrancador) deben realizarse a través de soldadura exotérmicas. El calibre del conductor que conecta la red de la Puesta a Tierra con el variador debe tener una sección mínima de 14 mm² (#6 AWG).</p>

Tabla 4.17. Análisis del Sistema Actual. (Continuación)

Sistema	Situación Actual	Requerimientos
Resistividad de los Suelos en las Zonas de Bare y Arecuna	Los suelos de las zonas de Bare y Arecuna presentan una resistividad entre 8000 y 12000 Ohm.m; siendo el tipo de suelo arenoso.	Las barras a instalarse en este tipo de suelo, debe ser capaz de proporcionar una resistencia de puesta a tierra, según la norma de PDVSA al menor costo.
Seguridad	El actual sistema de puesta a tierra no brinda la protección necesaria, ya que no es capaz de eliminar la diferencia de potencial producida entre la carcasa del panel y tierra.	Se debe conectar la carcasa del panel a tierra para evitar la diferencia de potencial entre esta y la tierra, así se le brindará la protección necesaria al personal contra voltajes que puedan producirse al momento de manipular un equipo.

Por lo antes expuesto, cabe destacar que los aspectos más resaltantes en la afectación de los equipos en baja tensión a causa de las descargas atmosféricas son los siguientes:

- Producto de las altas resistividades del terreno, las resistencias de puesta a tierra del sistema eléctrico de los campos de Bare y Arecuna, Unidad de Petróleo Extrapesado presentan valores muy elevados en comparación con los valores utilizados comúnmente en la industria. Estos niveles de resistencia sumados al nivel ceraúnico (el cual se define como el número de días al año que una tormenta ha afectado una zona definida; se representa en mapas de nivel Isoceraúnico) de la zona en estudio son los principales causantes de la alta tasa de salida de las líneas y daños en los equipos, tales como variadores de velocidad, arrancadores directos, entre otros.

- Se evidenció la protección de la línea de alimentación en alta tensión de un cable de guarda y protección contra descargas atmosféricas de impacto directo (Pararrayos), que pudiera brindar alguna protección, sin embargo la mayoría de las estructuras metálicas de los arrancadores directos y variadores de velocidad e infraestructuras del área están totalmente desprotegidas.
- También se observó una conexión a tierra a la carcasa de los equipos, por lo que se requiere solicitar al fabricante los planos o diagramas de los variadores, para definir su conexión a tierra con base en particulares requerimientos de operación.
- Se pudo apreciar la utilización de conexiones metálicas de tornillo, no adecuadas para este tipo de instalación, las cuales no garantizan la continuidad galvánica de los elementos protegidos.

4.8 Relación de la Producción y las Pérdidas Asociadas

Cada falla tiene un tiempo de duración estimado donde se incluye el tiempo para diagnosticarla, tiempo de traslado al sitio, tiempo para la localización del elemento afectado y tiempo para reponer el equipo. Ver anexo E, donde se muestran los tiempos estimados de las fallas que representa cada elemento. Con estos tiempos se realiza un análisis en la producción de los diferentes pozos, del cual se obtienen las pérdidas que representaron la falla del elemento y se calculó de la siguiente manera:

$$\mathbf{PÉRDIDAS = (TEF * BNPD) / 1440 \text{ min}} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde:

TEF: Tiempo Estimado de la Falla por Elemento

BNPD: Barril Neto de Petróleo por Día

Y luego se realizó el cálculo del porcentaje de las pérdidas por elemento, por medio de la siguiente expresión:

$$\% \text{ PÉRDIDAS} = (\text{PÉRDIDAS} * 100\%) / \text{BNDP} \quad \text{Ec. 4.2}$$

En los Arrancadores Directos el elemento que representó el porcentaje de pérdidas más alto en el área de Bare fue el cable de fuerza con 22,9 % para el período de verano y 27 % en invierno, seguido de los motores con 18 % y 22,2 % respectivamente.

De igual manera se observó que para la zona de Arecuna estos elementos representaron los mayores porcentajes de pérdidas. Esto se puede verificar a través de las tabla 4.18; donde se aprecia de manera tabular el porcentaje de las pérdidas producidas por los elemento del Arrancador Directo para los períodos de verano e invierno para las áreas de Bare y Arecuna respectivamente.

Tabla 4.18. Porcentajes de Pérdidas que Representaron los Elementos del Arrancador Directo en la Producción Para las Áreas de Bare y Arecuna en el Año 2008. (Fuente: Milágfred Montes)

ELEMENTO	% DE PÉRDIDAS EN EL PERÍODO DE VERANO (BARE)	% DE PÉRDIDAS EN EL PERÍODO DE INVIERNO (BARE)	% DE PÉRDIDAS EN EL PERÍODO DE VERANO (ARECUNA)	% DE PÉRDIDAS EN EL PERÍODO DE INVIERNO (ARECUNA)
BREAKER	13,1 %	17,3 %	20,1 %	24,3 %
CONTACTOR	13,1 %	17,3 %	20,1 %	24,3 %
RELÉ TÉRMICO	11,1 %	15,2 %	18,0 %	22,2 %
TRANSF. DE CONT.	10,4 %	14,5 %	17,3 %	21,5 %
FUSIBLES	9,5 %	13,6 %	16,4 %	20,6 %
RELE DE F. F.	11,1 %	15,2 %	18,0 %	22,2 %
MOTORES	18,0 %	22,2 %	25,6 %	29,8 %

CABLE DE FUERZA	22,9 %	27,0 %	28,4 %	32,6 %
------------------------	--------	--------	--------	--------

Por otro lado se observa mediante las tabla 4.19; en el cual se presentan los porcentajes de pérdidas de los elementos del VSD por período en las zonas de Bare y Arecuna; que los fusibles obtuvieron un porcentaje de 13,8 % y 16,6 % para dichos períodos en el área de Bare, estas son las cantidades más altas en comparación con los demás elementos. Para la zona de Arecuna estos valores fueron de 15,9 % y 18,8 % representados por los IGBT para los períodos de verano e invierno.

Tabla 4.19. Porcentajes de Pérdidas que Representan los Elementos del VSD en la Producción en los Períodos de Verano e Invierno Para las Áreas de Bare y Arecuna en el Año 2008. (Fuente: Milágfred Montes)

ELEMENTO	% DE PÉRDIDAS EN EL PERÍODO DE VERANO (BARE)	% DE PÉRDIDAS EN EL PERÍODO DE INVIERNO (BARE)	% DE PÉRDIDAS EN EL PERÍODO DE VERANO (ARECUNA)	% DE PÉRDIDAS EN EL PERÍODO DE INVIERNO (ARECUNA)
DSP CTRL	6,9%	9,0%	10,4%	13,1%
POWER BOARD	10,4%	12,5%	13,8%	16,6%
GATE DRIVE	4,1%	6,9%	5,5%	8,3%
KEYPAD	12,5%	8,3%	11,8%	14,5%
DISPLAY	7,7%	10,5%	11,8%	14,5%
IGBT	12,8%	9,3%	15,9%	18,8%
MOV	4,1%	6,2%	7,6%	10,4%
DIODOS	4,8%	6,9%	8,3%	11,1%
FUSIBLES	13,8%	16,6%	15,6%	18,4%
VENTILADORES	7,6%	10,4%	10,7%	13,5%
MOTORES	21,2%	23,9%	22,4%	25,2%

Una vez obtenido este dato se realizó la selección del 20% de las fallas por elemento ocurridas en los períodos de Verano e Invierno por medio de la herramienta

estadística del Principio de Pareto descrita en la sección 2.9; lo que podemos visualizar mediante la tabla 4.20, donde se indica de forma tabular la selección del 20% del total de las fallas por cada elemento del Arrancador Directo para dichos períodos en el área de Bare y Arecuna; y la tabla 4.21 para cada elementos del VSD.

Tabla 4.20. Selección del 20% del Total de las Fallas de Cada Elemento del Arrancador Directo en los Períodos de Verano e Invierno en las Áreas de Bare y Arecuna Para el Año 2008. (Fuente: Milágifred Montes)

ELEMENTO	SELECCIÓN DE FALLAS EN EL PERÍODO DE VERANO (BARE)	SELECCIÓN DE FALLAS EN EL PERÍODO DE INVIERNO (BARE)	SELECCIÓN DE FALLAS EN EL PERÍODO DE VERANO (ARECUNA)	SELECCIÓN DE FALLAS EN EL PERÍODO DE INVIERNO (ARECUNA)
BREAKER	6	8	1	3
CONTACTOR	8	10	2	3
RELÉ TÉRMICO	8	10	1	2
TRANSF. DE CONT.	5	4	1	1
FUSIBLES	8	14	2	2
RELE DE F. F.	4	3	1	1
MOTORES	7	8	2	2
CABLE DE FUERZA	2	2	1	1

Tabla 4.21. Selección del 20% del Total de las Fallas de Cada Elemento del VSD Para los Períodos de Verano e Invierno en las Áreas de Bare y Arcuna Para el Año 2008.
(Fuente: Milágifred Montes)

ELEMENTO	SELECCIÓN DE FALLAS EN EL PERÍODO DE VERANO (BARE)	SELECCIÓN DE FALLAS EN EL PERÍODO DE INVIERNO (BARE)	SELECCIÓN DE FALLAS EN EL PERÍODO DE VERANO (ARECUNA)	SELECCIÓN DE FALLAS EN EL PERÍODO DE INVIERNO (ARECUNA)
DSP CTRL	5	8	2	4
POWER BOARD	4	6	1	3
GATE DRIVE	3	3	2	1
KEYPAD	1	1	1	1
DISPLAY	2	2	1	0

Tabla 4.21. Selección del 20% del Total de las Fallas de Cada Elemento del VSD Para los Períodos de Verano e Invierno en las Áreas de Bare y Arcuna Para el Año 2008.
(Continuación)

ELEMENTO	SELECCIÓN DE FALLAS EN EL PERÍODO DE VERANO (BARE)	SELECCIÓN DE FALLAS EN EL PERÍODO DE INVIERNO (BARE)	SELECCIÓN DE FALLAS EN EL PERÍODO DE VERANO (ARECUNA)	SELECCIÓN DE FALLAS EN EL PERÍODO DE INVIERNO (ARECUNA)
IGBT	3	3	1	1
MOV	1	1	1	1
DIODOS	1	3	1	2
FUSIBLES	3	3	1	1
VENTILADORES	1	3	1	1
MOTORES	1	4	1	1

Cabe destacar que el 20 % de las fallas ocurridas en los Arrancadores Directos para el año 2008 fue de 2.737,6 Barriles de Petróleo entre las áreas de Bare y Arecuna; esto se puede visualizar a través de la tabla 4.22; donde se muestran las pérdidas (barriles de petróleo) causadas por las fallas en los Arrancadores Directos en los períodos de verano e invierno para las áreas de Bare y Arecuna.

Tabla 4.22. Pérdidas (Barriles de Petróleo) Causadas por las Fallas en los Arrancadores Directos en los Períodos de Verano e Invierno Para las Áreas de Bare y Arecuna en el Año 2008. (Fuente: Milágfred Montes)

ÁREA	VERANO (Barriles de Petróleo)	INVIERNO (Barriles de Petróleo)
BARE	718,4	1.383,5
ARECUNA	198,3	437,2

En el caso de los VSD se obtuvo 2.968,03 barriles de petróleo en pérdidas en las áreas de Bare y Arecuna que solo representaron el 20 % de las pérdidas totales durante el año 2008. A continuación se presenta de manera tabular el total de pérdidas (Barriles de Petróleo sin producir) por área para los períodos de verano e invierno en los variadores de velocidad.

Tabla 4.23. Pérdidas (Barriles de Petróleo) Causadas por las Fallas en los VSD en los Períodos de Verano e Invierno Para las Áreas de Bare y Arecuna en el Año 2008. (Fuente: Milágfred Montes)

ÁREA	VERANO (Barriles de Petróleo)	INVIERNO (Barriles de Petróleo)
BARE	600,1	1.301,1
ARECUNA	479,2	587,5

Por otra parte, en el campo de Bare el elemento del variador de velocidad que generó mayores pérdidas ó barriles de petróleo sin producir fue la Power Board con un total de 413,1; siendo estas superiores en el período de invierno con un porcentaje de 57,4%.

No obstante en la zona de Arecuna la tarjeta Dsp Ctrl fue el dispositivo que causó un elevado número de paradas no programadas con 238,7 barriles de petróleo sin producir, en el cual su mayor parte se produjeron en el período antes mencionado con un 63%. Lo que nos indica la gran sensibilidad de estos elementos ante las sobretensiones de origen atmosféricos.

CAPÍTULO 5

PROPUESTA

Una vez realizada la descripción de los Arrancadores Directos y Variadores de Velocidad del Sistema Eléctrico en Baja Tensión; se propone utilizar equipos que proporcionen la protección adecuada contra los efectos de las sobretensiones, de acuerdo a lo establecido en las normas PDVSA sección 17.7.2.

5.1 Selección de la Protección para los Arrancadores Directos.

La mayor parte de los arrancadores directos instalados en los pozos pertenecientes a los campos de Bare y Arcuna carecen de una protección contra sobretensiones adecuada. Estos equipos poseen una misma arquitectura; por lo que se propone un diseño genérico, el cual consiste en la conexión de un descargador de sobretensiones en la entrada de alimentación trifásica de los equipos antes mencionados; el mismo deberá ser conectado al sistema de puesta tierra ya existente, lo que se puede observar a través de la figura 5.1, donde se presenta el diseño del sistema de protecciones para el arrancador directo.

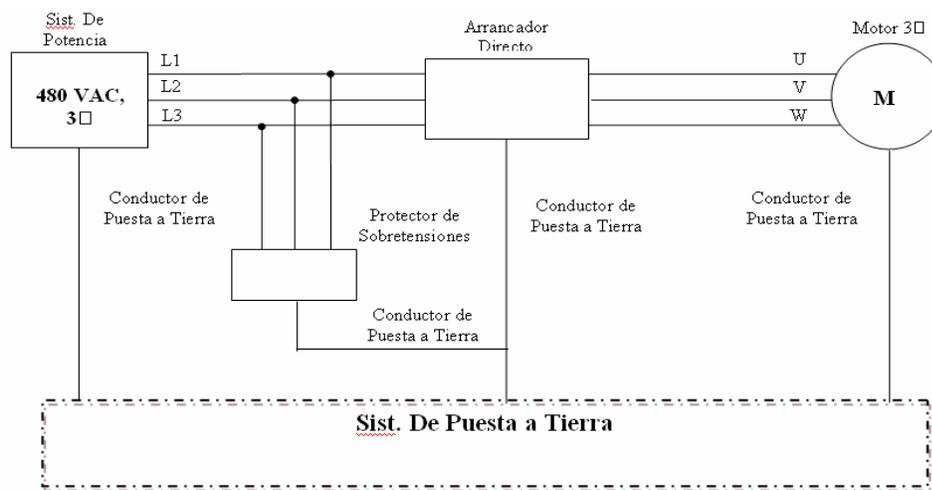


Figura 5.1. Diseño Genérico de la Protección de los Arrancadores Directos.

Debido a que la mayoría de los elementos del arrancador directo son mecánicos se seleccionó un pararrayos secundario de la serie AG4803C; basado en tecnología de varistores de óxido metálico (MOV's) que tienen la propiedad de presentar una resistencia muy elevada para las tensiones normales del circuito, mientras que cuando presentan una sobretensión, la resistencia del varistor se hace muy pequeña derivando esta a tierra y protegiendo el equipo.

Este dispositivo tiene una tensión nominal de 480 VAC y un rango de frecuencia de 48 – 62 Hz, el cual cumple con las normas ANSI / IEEE C62.11, C62.34, C62.41.1 y C62.41.2, descritas en el capítulo 2 sección 2.10; para las localizaciones de categoría "C" y sin degradación de los componentes. Además posee

una tensión de funcionamiento continuo (MCOV) de 550 V de corriente alterna entre fase y tierra. La instalación de este elemento se realiza en paralelo con el equipo a proteger.

Al ser sometido a una prueba de impulso de 8x20 mS, el pico de sujeción tensión no será mayor de 490 voltios para 1500 A, 980 V para 5.000 A o 1.410 V a 10.000 A. Mediante la tabla 5.1; se puede apreciar algunas características del pararrayo secundario de la serie AG4803C.

Tabla 5.1. Características del Pararrayos Secundario de la Serie AG4803C. (Fuente: Milágfred Montes)

Tensión de Operación	480 VAC, 3Φ
Frecuencia de Operación	48 – 60 Hz
Modos de Protección	L-L, L-G
Garantía	2 Años

5.2 Selección de las Protecciones Contra Sobretensiones Para los Variadores de Velocidad.

De igual manera se propone un diseño genérico para los variadores de velocidad ubicados en estas áreas, debido a que estos tienen básicamente la misma arquitectura.

Cabe destacar que la sensibilidad de los componentes de estos equipos obliga a la selección de dos protectores contra sobretensiones, los cuales serán instalados en las siguientes secciones: Se conectará uno en la entrada de alimentación trifásica y varistores de óxido metálico (MOV's) en la entrada de la etapa de rectificación descrita en la sección 2.3.1. Mediante la figura 5.2, se puede apreciar el diseño para la protección del variador de velocidad.

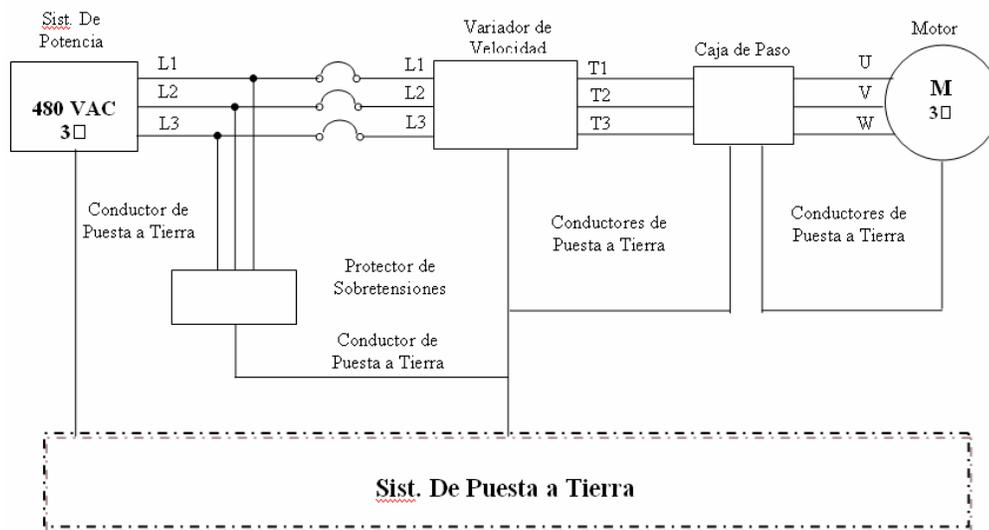


Figura 5.2. Diseño Genérico de la Protección de los Variadores de Velocidad.

Para la selección de las protecciones contra sobretensiones (DPS) se tomaron en cuenta aspectos geográficos, económicos, además de los tópicos que se describen a continuación, basados en la normativa ANSI/IEEE C62.41 descrita en la sección 2.10.2 del capítulo 2.

- **Nivel de Exposición:** La norma IEEE C62.41 determina 3 categorías de utilización de los supresores que depende del área donde serán instalados.
- **Tensión y Conexión:** El nivel de tensión y el grupo de conexión son fundamentales y es evidente discernir si la instalación es monofásica o trifásica y así mismo su nivel a 208 V o 480 V, entre otros. De la misma manera una vez que se establece el nivel de tensión es esencial determinar si es conexión “Y” o “ Δ ”.
- **Clamping:** El clamping se define como la tensión remanente o residuo del transitorio cuando el DPS desvía a tierra la sobretensión. Para asegurar que ante una sobretensión elevada (intensidad elevada) el protector puede derivar la corriente a tierra, y que además, la tensión que deje pasar no sea superior a la que soportan los equipos más sensibles, normalmente no se puede realizar con un solo DPS, sino que habrá que utilizar al menos dos escalones de protección.
- **Corriente de Cortocircuito de la Instalación:** Los DPS se instalan normalmente en paralelo antes del primer medio de desconexión y esta conexión se realiza inmediatamente aguas arriba de la protección magnetotérmica, es decir interruptores magnetotérmicos. Dentro del proceso de filiación y selectividad en la coordinación de protecciones debe existir perfecta correlación entre las protecciones (DPS) y las protecciones magnetotérmicas, para lo cual es de vital importancia considerar la capacidad interruptiva de estos.
- **Tiempo de Respuesta Inferior a 15 nanosegundos:** Es una magnitud que caracteriza, fundamentalmente, el comportamiento de respuesta del elemento de protección.

- **Los 10 Modos de Protección:** En conexiones sistema trifásico en estrella (tres fases con neutro, tres fases con tierra, neutro – tierra y fases entre sí).
- **Corriente Máxima de Descarga:** Es el valor máximo de la corriente que el equipo puede derivar de forma totalmente segura.

Adicional a esto se procedió a llenar un cuestionario diseñado por Schneider Electric para la selección del equipo adecuado en la protección contra transitorios. En dicho cuestionario se presenta el mapa con el promedio anual de tormentas eléctricas en Venezuela para el período 1998 – 2002; del cual se obtuvo que el promedio del nivel isoceraúnico del Estado Anzoátegui $T = 45$; este representa un valor importante con respecto a los demás estados. En el anexo I, se puede observar el cuestionario realizado por Schneider Electric para la Selección de los Protectores Contra Sobretensiones.

Una vez obtenida esta cantidad se procedió al cálculo del grado de actividad eléctrica anual (N_g) a través de la siguiente ecuación:

$$N_g = 0.04 * T1 * 25 \text{ (Descargas al Año)} \quad \text{Ec. 5.1}$$

El total de la suma de N_g y la puntuación obtenida por las respuestas de las preguntas realizadas en el cuestionario es el índice de exposición calculada; en el cual se obtuvo un resultado de 43 lo que representa una capacidad de supresión de 240 KA/FASE ubicado en la categoría “C”.

La serie EBA de los productos ofrecidos por Schneider Electric proporcionan esta capacidad de supresión (240 KA/FASE) para la protección de los equipos, además de las características antes mencionadas.

Dichos dispositivos son supresores de transitorios construidos con un módulo reemplazable por sistema/equipo, conexión en paralelo con la instalación eléctrica, que cuenta con un circuito multietapas formado por MOV de respuesta rápida. Alta

capacidad de supresión desde 120KA hasta 240KA por fase, tienen modos de supresión individualmente protegidos por fusible interno; operan con un voltaje de 480 VAC 3 ϕ y una frecuencia de operación entre 50 – 60 Hz. Se conectan entre línea y tierra en el alimentador que va de la fuente a la carga, por lo tanto la corriente de carga no pasa a través del equipo.

Tabla 5.2. Características de los Supresores de Sobretensiones de Transientes de Voltajes Schneider Electric Para la Protección de los Variadores de Velocidad. (Fuente: Milágfred Montes)

Tensión de Operación	480 VAC, 3 ϕ Δ
Frecuencia de Operación	50 – 60 Hz
Corriente de Cortocircuito	200 KA
Tiempo de Reacción	< 1 nanosegundo
Modos de Protección	L-L, L-G
Corriente Máxima de Descarga	240 KA/Fase
Garantía	5 Años

Por otro lado se estudiaron las características de los supresores contra sobretensiones de SineTamer con el mismo nivel de supresión de 240 KA; el cual fue consultado previamente con el proveedor tomando en cuenta las características del equipo a proteger y las condiciones geográficas donde se encuentra ubicado.

La serie ST-LSEA de SineTamer es el más versátil y efectivo dispositivo de nuestra línea de productos. Este duradero, dispositivo de alta performance, fue diseñado para aplicación en equipos sensibles y críticos, en paneles de distribución principales, paneles de sub distribución, centros de control de motores y cargas individuales. Este supresor de sobretensiones se conecta en paralelo con el equipo a proteger, posee en su interior fusibles térmicos incorporando un verdadero diseño híbrido para todos los modos de protección (10 modos para unidades trifásicas en estrella), además de

utilizar encapsulados de resina para su mayor durabilidad. Mediante la tabla 5.2, se pueden observar las características para la selección de los TVSS SineTamer.

Tabla 5.3. Características de los Supresores de Sobretensiones de Transientes de Voltajes SineTamer Para la Protección de los Variadores de Velocidad. (Fuente: Milágifred Montes)

Tensión de Operación	480 VAC, 3 ϕ Δ
Frecuencia de Operación	50 – 60 Hz
Voltaje Residual	1.395 V
Corriente de Cortocircuito	200KA
Tiempo de Reacción	< 1 nanosegundo
Modos de Protección	L-L, L-G
Corriente Máxima de Descarga	240 KA/Fase
Garantía	15 Años

Realizada la comparación de costos entre los equipos de la serie EBA de Schneider Electric y los SineTamer, los primeros son menos accesibles por la Unidad de Petróleo Extrapesado.

Por lo antes expuesto se propone la selección de los SineTamer, ya que proporcionan la protección adecuada en la entrada de alimentación de los Variadores de Velocidad, debido a que entre sus características técnicas tienen un menor voltaje residual, una garantía de 15 años libre de mantenimiento y el costo de adquisición del mismo es menor.

Por otra parte se propone la selección de varistores de óxido metálico (MOV's) de la serie HA de Littelfuse; el cual son supresores de sobretensiones transitorias de la serie HA, industriales de alta energía. Están diseñado para proporcionar protección contra sobretensiones secundaria en el servicio de entrada (cuadros de distribución), en

aplicaciones industriales para el control de motores y las fuentes de alimentación utilizadas en la extracción de petróleo, la minería, y los campos de transporte.

Tabla. 5.4. Características Técnicas de los Varistores de Óxido Metálico de la Serie HA.
(Fuente: Milágfred Montes)

Rango de Voltaje	110 VAC – 750 VAC
Capacidad de Corriente de Pico	25 KA - 40 KA
Temperatura sin reducción de Potencia	80 °C
Temperatura de Operación	- 55 °C - 85 °C

5.3 Análisis Costo Beneficio del Proyecto

Esta técnica es utilizada para analizar la viabilidad económica del proyecto, con ello se intenta identificar y valorar los costes y beneficios que van a producirse durante la ejecución del mismo. Dicho análisis pretende demostrar de manera teórica y numérica la rentabilidad del proyecto a través de un estudio de costo tanto de desarrollo como de operación y utilización.

Antes de realizar el análisis respectivo, es necesario definir los siguientes términos, según T. Horngren Charles – Foster Goerge (2000):

- **Costo Directo:** Unidad de costo que puede ser identificada de forma especial con un único objetivo de costo basándose en el contenido real del recurso consumido por dicho objetivo.
- **Costo Indirecto:** Son aquellos costos comunes a un conjunto múltiple de los objetivos de costos no indirectamente asignables en un período de tiempo específico.

Para determinar la factibilidad económica del proyecto se tomaron en cuenta los siguientes costos:

- Costos Iniciales

- Costos de Instalación
- Costos de Desarrollo: Estos se determinan por los costos de personal y los costos de insumos.

5.3.1 Costo Total de la Propuesta

Tabla 5.5. Costos de Mano de Obra del Sistema Propuesto (Fuente: Milágfred Montes)

Descripción	Cantidad Horas Hombres	Costo Bs. F/ Hora	Monto Total Bs.F
Diseño	15	100,00	1.500,00
Montaje	90	70,500	6.345,00
Total de Costos Mano de Obra			7.845,00

Tabla 5.6. Costos de Insumos y Materiales del Sistema Propuesto (Fuente: Milágfred Montes)

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario Bs.F	Monto Total Bs.F
Pararrayo Secundario de la Serie AG4803C	Pieza	30	2.150,00	64.500,00
Supresores de Sobretensiones de Transientes Sinetamer	Pieza	22	14.910,00	328.020,00
Varistores de Óxido Metálico (MOV's) Littelfuse	Pieza	30	110,50	3.315,00
Total de Costos de Insumos y Materiales				395.835,00

Tabla 5.7. Costos de Adiestramiento del Sistema Propuesto (Fuente: Milágifred Montes)

Usuarios	Cantidad Usuarios	Costo Bs.F/Hora	Cantidad Horas Usuarios	Monto Total Bs.F
Ingenieros	1	60,00	8	480,00
Técnicos	4	60,00	32	1.920,00
Total de Costos de Insumos y Materiales				2.400,00

Tabla 5.8. Total de Costos del Sistema Propuesto (Fuente: Milágifred Montes)

Descripción	Total Bs.F
Costo de Mano de Obra	7.845,00
Costo de Materiales e Insumos	395.835,00
Costo de Adiestramiento	2.400,00
Total de Costos del Sistema Propuesto	406.080,00

Con la implementación de la propuesta se tiene la probabilidad de disminuir las fallas de los equipos del sistema eléctrico en baja tensión, y como consecuencia de ello las pérdidas en la producción.

CONCLUSIONES

Finalizado el estudio de la situación actual de operación de los arrancadores directos y variadores de velocidad se concluye lo siguiente:

- Surge la necesidad de mantener en óptimas condiciones de operación los sistemas de puesta a tierra donde se encuentran conectados los arrancadores directos, variadores de velocidad y descargadores de sobretensiones; el cual representa la base fundamental del sistema de protecciones contra sobretensiones externas tanto para el equipo, como para el personal que manipula dichos equipos.
- Basada en la información antes mencionada y en fundamentos teóricos, fue propuesta la implementación de supresores de sobretensiones contra transitorios de voltajes colocados en cascada para la protección de los variadores de velocidad de tal manera que se pueda proporcionar un servicio confiable y eficiente, disminuyendo el riesgo de operación y aumentando la seguridad del mismo.
- Debido a que los componentes de los arrancadores directos son mecánicos en su mayoría se seleccionó un pararrayos secundario, aunque tenga un tiempo de respuesta menos rápido que los DPS se consideró una buena protección siguiendo lo establecido en las normas PDVSA.
- Los suelos de las áreas de Bare y Arecuna poseen características muy pobres de difícil trabajo para la obtención de unos bajos niveles de resistencia, básicamente compuestos por arena, muy secos y adicionalmente con poca humedad.
- Las pérdidas obtenidas en el año 2008 causadas solo por el 20% de las fallas producidas en la época de invierno de los elementos más fallados

es un poco menor que el valor de la propuesta realizada. Por lo que esta es factible y rentable para la producción.

RECOMENDACIONES

Una vez desarrollada la propuesta para mejorar las condiciones de operación del sistema eléctrico en baja tensión en la Unidad de Petróleo Extrapesado de PDVSA, se realizan las siguientes recomendaciones:

- Realizar mejoras en el sistema de puesta a tierra que permitan bajar los niveles de resistencia del suelo, ya que los mismos presentan valores inadecuados para la protección contra descargas atmosféricas.
- Proveer de un buen sistema de ventilación que garantice el flujo de aire en el interior del panel que resguarda el variador de velocidad, debido a que las altas temperaturas generadas por los transistores de compuerta aislada (IGBT); debe ser disipada de una forma eficiente.
- Realizar informes de las actividades desarrolladas en el día por parte del personal técnico de la Unidad de Electricidad, donde se registrará el tipo de trabajo, los materiales utilizados, la descripción del equipo reparado y cualquier otra información relevante importante para crear una base de datos.
- Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo, de tal manera que se garanticen las condiciones óptimas para el funcionamiento de los equipos instalados en dichas áreas.
- Utilizar conectores mecánicos atornillables protegidos contra la corrosión con un revestimiento de estaño; debido a que los mismos presentan corrosión y falso contacto en las conexiones.

BIBLIOGRAFÍA

- “Manual y Catálogo del Electricista” Schneider Electric. (2009).
- Mejías, R. “Diseño de un Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas para el Edificio Sede PDVSA Guaraguao Estado Anzoátegui”. Trabajo de grado, Universidad de Oriente. Anzoátegui, Venezuela (2007).
- Martínez. L, M. “Protección contra Descargas Atmosféricas”. Universidad Simón Bolívar. Caracas. Venezuela (2004).
- Bernais. G, Victor. “Propuesta Para la Corrección de las Fallas en los Variadores de Velocidad Marca Magnetek Utilizados en las Bombas de Cavidad Progresiva, de la Gerencia de la Unidad de Extracción y Yacimiento Extrapesado de PDVSA. En las Zonas de Bare y Arcuna del Distrito San Tomé”. Trabajo de Grado, Universidad Bicentenario de Aragua, Venezuela (2002).
- “Manual Para la Instalación y Mantenimiento de Variadores de Velocidad Unico” (2000).
- “Código Eléctrico Nacional” Codelectra (1999).
- PDVSA. “Obras Eléctricas n-201” (1993), [Intranet]. Disponible en: http://ineweb/3070electricidad/normas/NORMAS_PDVSA/Electricidad/n201.PDF.
- “Supresores de Sobretensiones Sinetamer”. [Internet]. Disponible en: www.sinetamer.com.
- “Supresores de Sobretensiones Littelfuse”. [Internet]. Disponible en: www.littelfuse.com.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO:

TÍTULO	Influencia de las descargas atmosféricas sobre el sistema eléctrico en baja tensión de los campos asociados Bare y Arecuna pertenecientes al Distrito San Tomé División Faja de Orinoco.
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Montes M., Milágifred J.	CVLAC: 16.315.640 E MAIL: milagifredmontes@gmail.com

PALABRAS O FRASES CLAVES:

Descargas Atmosféricas

Sistema Eléctrico en Baja Tensión

Sobretensiones

Arrancadores Directos

Variadores de Velocidad

Fallas

Período de Invierno

Período de Verano

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Eléctrica
Ciencias Administrativas	
Ciencias de la Salud	

RESUMEN (ABSTRACT):

Las sobretensiones (aumento de tensión capaz de poner en riesgo el material o el servicio eléctrico) producto de las descargas atmosféricas son unas de las principales causas de averías tanto para los equipos eléctricos como electrónicos. Por tal motivo en la actualidad es fundamental proporcionar el funcionamiento ininterrumpido de los mismos, ya que representan el soporte de diversas actividades en la industria y el comercio. Para ello se necesitan equipos que garanticen una protección adecuada contra los efectos de las sobretensiones ocasionadas por los rayos que puedan minimizar el impacto de las mismas; entre las cuales podemos mencionar: los sistemas de puesta a tierra, instalación de supresores de sobretensiones, pararrayos, entre otros.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO:**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS x	TU	TU
Bermúdez., Melquiades.	CVLAC	3.486.726			
	E_MAIL	mbermudezianz.udo.edu.ve			
	ROL	CA	AS	TU x	TU
Barroso., Pedro.	CVLAC	14.468.671			
	E_MAIL	barrosop@cantv.net			
	ROL	CA	AS	TU	TU x
Parra., Hernán.	CVLAC	4.362.464			
	E_MAIL	hernanparra@cantv.net			
	ROL	CA	AS	TU	TU x
Maza., Manuel.	CVLAC	8.266.951			
	E_MAIL	ingmanuelmaza@gmail.com			

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN

2010	07	22
------	----	----

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO:**ARCHIVO(S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Influencia de las Descargas. doc	

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: Diez meses (10) (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Electricista

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado.

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Electricidad.

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente / Núcleo Anzoátegui.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**DERECHOS**

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente:

“Los Trabajos de Grado son propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo el cual participará al Consejo Universitario”.

Montes M., Milágifred J.

AUTOR

Bermúdez, Melquíades

TUTOR

Parra, Hernán

JURADO

Maza, Manuel

JURADO

Mercado, Verena

POR LA SUBCOMISION DE TESIS