

**ANÁLISIS Y ESTUDIO DE DAÑOS EN LA RED DE DATOS OCASIONADO
POR TRANSITORIOS EN EL EDIFICIO MATRIZ DE LA COOPCCP**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA

**Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO
ELÉCTRICO**

TEMA:

**“ANÁLISIS Y ESTUDIO DE DAÑOS EN LA RED DE DATOS OCASIONADO POR
TRANSITORIOS EN EL EDIFICIO MATRIZ DE LA COOPCCP”**

AUTOR:

CARLOS BOLÍVAR CORONEL ZHINGRE

DIRECTOR:

DIEGO FRANCISCO CARRIÓN GALARZA

Quito, junio de 2013

DECLARATORIA DE AUTORÍA:

Yo, Carlos Bolívar Coronel Zhingre, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, 17 de Junio del 2013

Carlos Bolívar Coronel Zhingre

CC: 1719974501

AUTOR

CERTIFICA:

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos del informe de tesis titulada; “Análisis y estudio de daños en la red de datos ocasionado por transitorios en el edificio matriz de la COOPCCP”, realizada por el señor: Coronel Zhingre Carlos Bolívar, previa la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Ing. Diego Francisco Carrión Galarza

DIRECTOR

DEDICATORIA.

Carlos Bolívar Coronel Zhingre

Este proyecto es dedicado

Con mucho amor principalmente a Dios que ha sido mi escudo y fortaleza en la vida diaria, también a la memoria de mi padre, al apoyo constante brindado por parte de mi madre, mis hermanos, mi esposa e hijo que a pesar de los momentos difíciles siempre han podido estar prestos a través de consejos y una motivación constante, a fin de que pueda ser una persona de bien para la sociedad culminando una vez más una nueva etapa en mi vida.

AGRADECIMIENTO.

Carlos Bolívar Coronel Zhingre

Los más sinceros agradecimientos de mi parte son a todos los docentes del campus Kennedy de la especialidad de Ingeniería Eléctrica, que han tomado parte en el transcurso de mi formación profesional, contribuyendo en mi superación académica con sus óptimos conocimientos para forjar un profesional de éxito y competente, principalmente al Ingeniero Diego Carrión director de tesis quien ha impartido sus conocimientos para lograr el objetivo de culminar con el proyecto propuesto, al Ingeniero Esteban Inga por el apoyo incondicional como director de carrera, y en especial al Magíster Fernando Beltrán quien fue el precursor del desarrollo de mi tesis.

Por toda la paciencia y la perseverancia brindada gracias.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

ESTUDIO DE LA GENERACIÓN DE TRANSITORIOS	2
1.1. Transitorios.....	2
1.2. Origen de la generación de transitorios	4
1.2.1. Causas más comunes de la generación de transitorios	6
1.2.1.1. Transitorios externos.....	6
1.2.1.2. Transitorios internos	8
1.2.1.3. Generación de transitorios por causa de ruido eléctrico	10
1.3. Amplitud, duración, prolongación, atenuación y control de los transitorios en la red de datos.....	10
1.3.1. Amplitud, duración y prolongación	11
1.3.1.1. Transitorio impulsivo	14
1.3.1.2. Transitorios oscilatorios.....	15
1.3.1.3. Variaciones de corta duración.....	16
1.3.1.3.1. Interrupciones	16
1.3.1.3.2. Sag	17
1.3.1.3.3. Swell.....	18
1.3.1.4. Variaciones de larga duración.....	18
1.3.1.5. Desbalance de voltaje	19
1.3.1.6. Distorsión de la forma de onda	20
1.3.1.7. Fluctuaciones	21
1.3.1.8. Variaciones de frecuencia.....	22
1.3.2. Atenuación y control.....	22
1.3.2.1. Lugar de instalación de equipos de transmisión de datos.....	22
1.3.2.2. Uso del cableado para transmisión de datos	23
1.3.2.3. Protección física.....	23
1.3.2.4. Uso de supresores de transitorios.....	24
1.3.2.4.1. Características.....	24
1.3.2.5. Norma (ANSI) UL 1449, 3ª edición	25
1.4. Causas y efectos que ocasionan la aparición de transientes en la red de datos	28
1.4.1. Transitorios destructivos.....	30
1.4.2. Transitorios degradativos.....	30
1.4.3. Causas de la presencia de transitorios.....	31
1.4.4. Efectos de la presencia de transitorios.....	32
1.4.5. Presencia de transitorios en la red de datos	33
CAPÍTULO II	
ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LA MALLA A TIERRA	34
2.1. Sistemas de puesta a tierra.....	34

2.1.1.	Características eléctricas del suelo.....	35
2.1.1.1.	Factores que influyen en la resistividad del suelo	36
2.1.1.1.1.	Compactación y salinidad.....	36
2.1.1.1.2.	Humedad y temperatura.....	36
2.1.1.2	Factores que ayudan a disminuir la resistencia del terreno.....	37
2.1.2.	Resistividad del terreno (ρ).....	38
2.1.2.1.	Método de Wenner.....	39
2.1.2.2.	Método de Schlumberger	41
2.1.3.	Resistencia de puesta a tierra.....	41
2.1.3.1.	Método de caída de potencial	42
2.1.4.	Barra equipotencial	43
2.1.5.	Electrodos	43
2.1.5.1.	Tipos de electrodos.....	43
2.1.5.2.	Uso de varios electrodos.....	45
2.1.5.3	Incremento de la profundidad de enterramiento de una varilla en suelo no uniforme	46
2.1.6.	Conductor de puesta a tierra	47
2.1.6.1.	Calibre de los conductores de puesta a tierra	48
2.1.6.2.	Conductores de puesta a tierra para CC	49
2.1.7.	Diseño de puesta a tierra tipo malla.....	49
2.1.8.	Tipos de uniones.....	52
2.2.	Normas necesarias en la investigación del trabajo	53
2.2.1.2	Barras de tierra para telecomunicaciones (TGB).....	54
2.2.1.3	Backbone de tierras (TBB)	54
2.2.2.	Norma NEC	54
2.2.3.	Norma IEEE.....	55
2.2.4.	Norma Ecuatoriana de construcción NEC 10	55
2.3.1.	Pruebas de calidad	56
2.3.2.	Pruebas de funcionamiento.....	61
2.4.1.	Medida de la resistividad del terreno	66
2.4.1.1.	Telurímetro	67
2.4.1.1.1.	Características técnicas del telurímetro MTD-20KWe	67
2.4.2.	Rediseño de la malla de tierra de protección del data center bajo normas	70
2.4.2.1.	Diseño de la malla de tierra para protección del circuito eléctrico.....	70
2.4.3.	Unión entre las mallas	73
2.4.4.	Conexión a tierra de equipos electrónicos.....	74
CAPÍTULO III		
ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN.....		
3.1.	Sistema de protección.....	76
3.2.	Inconvenientes encontrados en la red.....	79
3.2.1.	Protección a tierra.....	80
3.2.2.	Protector contra transitorios.....	81

3.2.3.	Distribución de cables	82
3.2.4.	Ruido	87
3.2.5.	Desbalance de carga	89
3.3.	Estudio del cableado estructurado	89
3.3.1.	Introducción al cableado estructurado	90
3.3.1.1.	Cableado horizontal	90
3.3.1.2.	Cableado vertical	91
3.3.2.	Estado del cableado estructurado de la entidad	91
3.3.2.1.	Tipo de cable	91
3.3.2.2.	Administración de cables.....	92
3.3.2.3.	Interferencias electromagnéticas	94
3.3.2.3.	Rotulación detallada	97
3.3.2.4.	Distribución y colocación.....	98
3.4.	Diseño de planos unifilares del correcto sistema de protección.....	102
CAPÍTULOIV		
ANÁLISIS		
4.1	Calidad de energía	108
4.1.1	Consumos lineales	109
4.1.2	Consumos no lineales	110
4.1.2.1.	Uso de fuentes de poder no interrumpidas	111
4.1.2.2.	Uso de alumbrado fluorescente	111
4.1.3.	Regulación de voltaje	112
4.1.4.	Factor de potencia.....	112
4.1.4.1.	Potencia activa, reactiva y aparente.....	112
4.2.	Análisis de la calidad de energía aportada por el ups, generador y red eléctrica	115
4.2.1.	Equipo usado para realizar el monitoreo de la calidad de energía.....	115
4.2.2.	Datos obtenidos y pantallas capturadas sobre la calidad de energía.....	116
4.2.2.1.	Tablero principal de ingreso de energía proveniente de la empresa eléctrica	116
4.2.2.2.	Tablero secundario alimentado por la red eléctrica y el generador	122
4.2.2.3.	Tablero de distribución bifásico alimentado por el ups.....	127
4.2.2.4.	Tablero trifásico para alimentación de aires acondicionados	131
4.3.	Pruebas de funcionamiento con analizador de señal	133
4.3.1.	Certificación de red del cableado estructurado en la entidad financiera COOPCCP	134
4.3.1.1.	Equipo usado para obtener el estado de la calidad de transmisión de datos a través del cableado estructurado	134
4.3.1.1.1.	Comprobación del cableado	138
4.3.1.1.2.	Comprobación de longitud	138
4.3.1.1.3.	Comprobación de NEXT, ACR-F (ELFEXT).....	139
4.3.1.1.4.	Comprobación de PS NEXT, PS ACR-F	140
4.3.1.1.5.	Comprobación de atenuación	140
4.3.1.1.6.	Comprobación de pérdida de retorno	140

4.3.1.1.7. Comprobación de ACR-N (ACR) Y PSACR-N (PSACR)	141
4.3.1.2. Análisis de resultados de certificación de red.....	141
4.4. Verificación de la hipótesis	144
4.5. Análisis costo beneficio.....	147
4.5.1. Evaluación financiera	149
4.5.1.1. Cálculo del valor presente o actual neto.....	149
4.5.1.2. Tasa interna de retorno	150
Conclusiones.....	154
Recomendaciones	156
Referencias	158
Anexos	164

ÍNDICE DE FIGURAS

figura 1.1: Transitorio de voltaje ocasionado por switcheo de un interruptor.....	2
figura 1.2: Transitorio detectado en pico de corriente.....	3
figura 1.3: Transitorios por maniobra y descarga atmosférica.	4
figura 1.4: Fuentes que ocasionan disturbios en la carga.	5
figura 1.5: Ejemplo de aparición de transitorios.....	5
figura 1.6: Secuencia típica de operación de un reconectador (recloser).	7
figura 1.7: Efectos del switcheo de capacitores.....	9
figura 1.8: Ejemplo de ruido en la red eléctrica y de datos.	10
figura 1.9: Ejemplo de combinación de onda de voltaje en circuito abierto.	12
figura 1.10: Ejemplo de combinación de onda de corriente de cortocircuito.....	13
figura 1.11: Ejemplo de forma de onda oscilatoria amortiguada.	13
figura 1.12: Ejemplo de un transitorio impulsivo.....	14
figura 1.13: Ejemplo de transitorios oscilatorios causado por switcheo de capacitores.....	15
figura 1.14: Ejemplo de transitorios de baja frecuencia por energización de un banco de capacitores.	16
figura 1.15: Ejemplo de interrupciones en el sistema.....	17
figura 1.16: Ejemplo de interrupción momentánea debido a un fallo y operación del reconectador posterior.	17
figura 1.17: Ejemplo de formación de onda de cresta.	18
figura 1.18: Ejemplo de desequilibrio de voltaje en porcentaje.	19
figura 1.19: Ejemplo de corriente armónica.....	20
figura 1.20: Ejemplo de hendiduras.....	21
figura 1.21: Ejemplo de fluctuaciones de tensión (flicker).	21
figura 1.22: Distribución de los SPD´s basado en el uso de la norma UL 1449.	27
figura 1.23: Ejemplo de conexión de un spd con breaker independiente.....	27
figura 1.24: Ejemplo de error de datos por de causa de disminución de voltaje.	30
figura 2.1: Efecto de la humedad, temperatura y sales en la resistividad de suelo.....	33
figura 2.2: Disposición esquemática de los electrodos para el método de wenner.	40
figura 2.3: Método schlumberger.....	41
figura 2.4: Medición de la resistencia de puesta a tierra con dos picas.....	42
figura 2.5: Variación de la resistencia dependiendo al número de electrodos.	45
figura 2.6: Resistencia vs longitud de barra.....	47
figura 2.7: Resistencia combinada de dos barras verticales en función de la separación entre ellas.....	51
figura 2.8: Cable de unión de malla desconectado.....	56
figura 2.9: Cable de conexión a tierra sin contacto con la malla de protección.	57
figura 2.10: Unión de cable de tierras sin considerar norma adecuada.....	58
figura 2.11: Cable de conexión a tierra desconectado.....	58
figura 2.12: UPS sin conexión de protección a tierra.....	59

figura 2.13: Diseño de la malla a tierra actual sin debidas normas establecidas.....	60
figura 2.14: Unión de tipo compresión sin un ajuste adecuado.....	60
figura 2.15: Telurímetro earth resistance tester 382252.....	61
figura 2.16: Conexión telurímetro earth resistance tester 382252.....	61
figura 2.17: Conexión de picas y cables del telurímetro tester 382252.....	62
figura 2.18: Conexión de picas y cables del telurímetro tester 382252.....	63
figura 2.19: Conexión del cable del telurímetro con el de conexión a tierra de la malla del data center.	63
figura 2.20: Medición del valor de resistencia de la malla a tierra para el data center.	64
figura 2.21: Conexión del cable del telurímetro con el de conexión a tierra de la malla del circuito eléctrico.	64
figura 2.22: Medición del valor de resistencia de la malla a tierra para el circuito eléctrico.	65
figura 2.23: Función de controles del panel.	67
figura 2.24: Colocación de las picas de cobre con sus respectivos cables.	68
figura 2.25: Medición de la resistividad aparente del terreno	69
figura 2.26: Rediseño de la malla vista superficialmente desde la parte superior.....	72
figura 2.27: Unión de dos mallas por medio de una bobina de choque.....	73
figura 3.1: Ejemplo de dimensiones de perforaciones la tgb.....	77
figura 3.2: Ejemplo de dimensiones de perforaciones la tmgb.....	78
figura 3.3: Unión de puesta a tierra para los equipos de potencia de servicio.....	78
figura 3.4: No existe la presencia de puesta a tierra en los racks.	80
figura 3.5: Cable de unión a tierra en contacto con carcasa metálica, expuesta a riego para el personal.....	81
figura 3.6: Indebida adecuación de los cables.	82
figura 3.7: Cableado de energía eléctrica sin conexión y sin aislante en los empalmes.	83
figura 3.8: Tableros de distribución secundarios descubiertos.....	84
figura 3.9: Cable de red y de energía sobrante e inutilizada.....	84
figura 3.10: Incorrecta distribución de cables en el interior del data center.....	85
figura 3.11: Distribución indebida de todo tipo de cables por una sola canaleta.	86
figura 3.12: Fuentes generadora de ruido presentes en la entidad financiera.....	87
figura 3.13: Uso de aires acondicionados en la entidad financiera.	88
figura 3.14: Desbalance de cargas.	89
figura 3.15: Cables colocados sin respetar radio de curvatura máxima.	92
figura 3.16: Indebida administración del cableado estructurado en canaletas.	93
figura 3.17: Ejemplo de cable utp cat. 5e awg 24 con doble apantallado.	94
figura 3.18: Cable de datos instalado cerca a la lámpara fluorescente, posible causa de ingreso de ruido.	95
figura 3.19: Unión de cables eléctricos y de datos.	96
figura 3.20: Falta de rotulación en los extremos del cableado estructurado.....	97
figura 3.21: Incorrecta colocación de cableado vertical entre pisos de la entidad.	98
figura 3.22: Presencia de cables mal distribuidos bajo el piso flotante del data center.....	99

figura 3.23: Falta de sujetadores de cables en los racks.	100
figura 3.24: Presencia de cables tensos en el rack.	100
figura 3.25: Patch cords diseñados manualmente colocados en el rack.	101
figura 3.26: Presencia de cables de telecomunicaciones empalmados de manera antitécnica.	101
figura 3.27: Diagrama de colocación óptima de los spd's para protección de la red eléctrica de la entidad financiera COOPCCP.	103
figura.3.28: Modelo de spd marca sinetamer.	104
figura 4.1: Ejemplos de perturbaciones en la red de baja tensión.	109
figura 4.2: Ejemplo de carga lineal, consumo presentado por un motor.	110
figura 4.3: Triángulo de potencias.....	114
figura 4.4: Analizador de carga instalado en el tablero de ingreso de la acometida.	117
figura 4.5: Presencia de transitorios captados por medio de pantallas.	117
figura 4.6: Pantallas de voltaje y corriente capturadas en la red de energía.....	118
figura 4.7: Analizador de carga conectado al tablero trifásico alimentado por la empresa distribuidora de energía y el generador.	122
figura 4.8: Tablero de transferencia automática activado.....	123
figura 4.9: Pantallas capturadas de cambios descendentes de voltaje.....	123
figura 4.10: Aumentos de voltajes repentinos.....	124
figura 4.11: Pantallas capturadas de subidas de tensión.....	124
figura 4.12: Presencia de transitorios en la calidad de energía aportada por el generador.....	125
figura 4.13: Analizador conectado en el tablero alimentado por el ups.	127
figura 4.14: Desconexión del ups que sule de energía al rack del data center.	128
figura 4.15: Cambios ascendente de voltaje.	128
figura 4.16: Cambios descendentes de voltaje.....	129
figura 4.17: Presencia de transitorios en la calidad de energía aportada por el ups.	129
figura 4.18: Conexión del analizador en tablero trifásico de alimentación para aires acondicionados.	131
figura 4.19: Presencia de transitorios debido al funcionamiento de airea acondicionados.	132
figura 4.20: Disminución de voltaje.....	132
figura 4.21: Certificador lantek II 1000 de ideal industries.....	135
figura 4.22: Estructura típica de comprobación del cableado de datos.	136
figura 4.23: Instalación del comprobador de cableado en el rack de la entidad financiera COOPCCP.....	136
figura 4.24: Gráfico de comprobación de cableado.....	138
figura 4.25: Gráfico de la comprobación de longitud.....	139
figura 4.26: Puntos de transmisión de datos analizados por el certificador.	142
figura 4.27: Error de falla en la comprobación de tipo next.....	143
figura 4.28: Error de falla en la comprobación de tipo ps next.....	143
figura 4.29: Ejemplo del ingreso de perturbación conducida.....	145
figura 4.30: Equipos dañados en la entidad por diversas anomalías.	148

ÍNDICE DE TABLAS

tabla 1.1: Clasificación y características típicas de los disturbios.....	11
tabla 1.2: Valores de nivel y medida de duración de los transitorios oscilatorios según la frecuencia.....	15
tabla 1.3: Clasificación de las variaciones de larga duración.	18
tabla 1.4: Derivaciones provocadas por la distorsión de la forma de onda.	20
tabla 1.5: Causas de la presencia de fenómenos transitorios.....	31
tabla 1.6: Efectos de la presencia de transitorios.....	33
tabla 2.1: Características de los materiales que ayudan a la disminución de la resistencia del terreno.....	37
tabla 2.2: Resistividad para distintas clases de terrenos.	38
tabla 2.3: Tipos de electrodos.....	44
tabla 2.4: Valores de factor multiplicativo f con respecto al número de electrodos.....	46
tabla 2.5: Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra.....	54
tabla 2.6: Mínimo tamaño del conductor a tierra para puesta a tierra de bandejas porta cable y equipos.....	48
tabla 2.7: Tipos de uniones.....	52
tabla 2.8. Simbología de los materiales y gráficos usados en la FIGURA 2.28	85
tabla 2.9: Medida del TBB en base a la longitud.	75
tabla 3.1: Separación entre cables de par trenzado y cables de potencia apantallados en el data center.	95
tabla 3.2: Especificaciones eléctricas del spd, modelo ST-R120/240, marca Sinetamer.	105
tabla 3.3: Especificaciones eléctricas del spd, modelo RM-ST403y1, marca Sinetamer.....	105
tabla 4.1: Información obtenida mediante el uso del analizador de carga fluke 435.	119
tabla 4.2: Valores de la distorsión total armónica de voltaje obtenida mediante el análisis de calidad de energía.	120
tabla 4.3: Datos obtenidos de la calidad de energía aportada por el generador.....	125
tabla 4.4: Valor de la THD de voltaje.....	126
tabla 4.5: Datos obtenidos de la calidad de energía aportada por el ups.	130
tabla 4.6: Valor de la THD de voltaje.....	130
tabla 4.7: Gastos incurridos en la entidad durante un año.....	151
tabla 4.8: Costo estimado de la implementación de spd's y malla a tierra.....	151

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I CARACTERÍSTICAS SPD'S	165
ANEXO II ANÁLISIS DE CARGA EN TABLERO DE EEQ	166
ANEXO III ANÁLISIS DE CARGA DEL GENERADOR	167
ANEXO IV ANÁLISIS DE CARGA EN EL UPS	168
ANEXO V CERTIFICACIÓN DE PUNTOS DE RED.....	169
ANEXO VI COTIZACIÓN MALLA DE TIERRA.....	170
ANEXO VII COTIZACIÓN SPD'S	171

GLOSARIO DE TÉRMINOS

μs	Microsegundo
AC	Corriente Alterna
ACR	Attenuation to cross talk ratio
ACR-F	Attenuation cross talk ratio Far-End
ACR-N	Attenuation cross talk ratio near
ANSI	American National Standards Institute (Organización de estándar)
AWG	American Wire Gauge (calibre de alambre Estadounidense)
BT	Baja Tensión
CC	Corriente continua
COOPCCP	Cooperativa Construcción Comercio y Producción
Cos phi	Ángulo de desfase entre la corriente y la tensión
CPU	Unidad Central de Procesos
dB	Decibelio
DC	Corriente Directa
DH	Terminal portátil con pantalla
ELFEXT	Equal Level Far End Cross Talk (diafonía extremo remoto de igual nivel)
EMI	interferencias electromagnéticas
FEXT	Far End Cross Talk
Hz	Hertzio (unidad de frecuencia)
I	intensidad de corriente
Icc	Corriente de cortocircuito
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
In	corriente nominal
Isec	Corriente del secundario
kA	Kilo ampere (unidad de intensidad de corriente eléctrica)

Kcmil	Kilo Circular mil (unidad de medida)
MCOV	voltaje máximo de operación continua
MOV	Varistor de óxido metálico
NEC	National Electrical Code (normativa)
NEXT	Near End Cross Talk (diafonía extremo cercano)
NVP	velocidad nominal de propagación
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
P	Potencia activa
p.u	per unit (sistema por unidad)
PF	El factor de potencia
pH	potencial hidrógeno (medida de acidez o alcalinidad de una disolución)
PLC	Control Lógico Programable
PS	Power Sum
P_{st}	Índice de severidad del flicker de corta duración
Q	Potencia reactiva
Rack	Soporte metálico destinado a alojar equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones
RBC	Relación Beneficio Costo
RH	Terminal remoto
S	Potencia aparente
S.E.C	Superintendencia de Electricidad y Combustibles (norma Chilena)
SAD	Diodos supresores avalancha
SPD	Surge Protective Device
STP	Shielded Twisted Pair (Par trenzado con blindaje)
TBB	Backbone de tierra
TGB	Barra de tierra para telecomunicaciones
THD	Total Harmonic Distortion (Distorsión total armónica)

TIA	Asociación de la Industria de Telecomunicaciones (normas de telecomunicaciones)
TIR	Tasa interna de retorno
TMGB	Barra principal de tierra para telecomunicaciones
TVSS	Transient Voltage Surge Suppressor
UL	Underwriters Laboratories (normativa)
UPS	Uninterruptible Power Supply (sistema de alimentación ininterrumpida)
UTP	Unshielded Twisted Pair (Par trenzado sin blindaje)
VAN	Valor actual neto
ρ	Resistividad del terreno

Resumen

ANÁLISIS Y ESTUDIO DE DAÑOS EN LA RED DE DATOS OCASIONADO POR TRANSITORIOS EN EL EDIFICIO MATRIZ DE LA COOPCCP

Carlos Coronel

Carlos_bcz@hotmail.com

Universidad Politécnica Salesiana

Resumen— La presente tesis realiza el análisis y estudio de daños en la red de datos ocasionado por transitorios en el edificio matriz de la entidad financiera COOPCCP, haciendo énfasis en conocer el estado y calidad actual que posee el cableado estructurado así como las falencias presentes con respecto a la protección frente a anomalías que puedan suscitarse en la red eléctrica y en la red de datos, como son: la aparición de transitorios debido a diversas causas, además de fenómenos que influyen en la calidad de energía ya sean flickers, armónicos, interferencias electromagnéticas, etc., que puedan ser causa de generar inconvenientes al momento de transmitir información, el primer capítulo es una breve introducción acerca de los fenómenos transitorios y electromagnéticos basándose en la generación y consecuencias de su presencia en la red, el segundo capítulo trata sobre los sistemas de puesta a tierra, un estudio acerca de la calidad y funcionamiento de la malla de protección a tierra instalada en la entidad, a más del rediseño de la malla de tierra, el tercer capítulo describe el entorno de la calidad y estado del cableado estructurado que posee la entidad, se exponen los inconvenientes encontrados a través del transcurso de un seguimiento factible, el cuarto capítulo se expresa sobre la calidad de energía que posee la entidad, así como el estado del cableado estructurado para transmitir datos, logrando el propósito planteado se exponen los datos obtenidos a través del uso de equipos específicos como telurímetro, analizador de energía, certificador de red.

Índice de Términos— analizador de energía, armónicos, cableado estructurado, calidad de energía, certificador de red, COOPCCP, flickers, interferencias electromagnéticas, malla de protección a tierra, sistemas de puesta a tierra, telurímetros, transitorios.

INTRODUCCIÓN

La COOPCCP, se encuentra ubicada en la ciudad de Quito en la Avenida 10 de Agosto N34-115 y Atahualpa, es una entidad que presta servicios financieros a sus clientes, pero eventualmente en la red de datos de la entidad se presentan disminución y decaimiento de la señal de transmisión de datos, y además sufre constantes daños a los equipos electrónicos.

Partiendo de estos inconvenientes suscitados en la entidad y con el propósito de lograr lo orientando y justificando la realización del tema propuesto se procedió efectivamente a un minucioso estudio de calidad y estado de la malla de protección a tierra, de energía eléctrica y del cableado estructurado que posee la entidad en la actualidad, obteniendo resultados no muy favorables debido a que se pudo determinar a través de una certificación de red que todos los puntos de red de datos puestos en medición presentaron errores, además que con el estudio de la malla a tierra que sirve de protección para el data center, se determinó falencias en su diseño puesto que no se ha optado por tomar en cuenta ninguna norma establecida, además la malla que sirve de protección para el sistema eléctrico en la entidad no se encuentra en funcionamiento, por lo que urge un rediseño de la malla aplicando normas que proporcionen un adecuado funcionamiento, respecto a la calidad de la energía no se encontraron mayores inconvenientes más que la mala distribución presente de cargas en cada una de las fases, que debería ser corregido para evitar mayores inconvenientes futuros.

Para lograr lo descrito en los párrafos anteriores se recopiló información a través de los equipos empleados, ya que por medio de estos análisis se permitió centrar la finalidad propuesta en el tema sugerido, puesto que la red de datos es la base central de la investigación, debido a que por ser una entidad financiera la infraestructura informática es la razón principal de estudio a fin de corregir urgentes anomalías encontradas para obtener una señal más eficiente y segura.

CAPÍTULO I

ESTUDIO DE LA GENERACIÓN DE TRANSITORIOS

En este capítulo se tratará conceptos acerca de los fenómenos transitorios y sus diversos tipos, así también sobre los fenómenos electromagnéticos, las causas que producen su aparición en la red, las consecuencias que generan su presencia, los medios y equipos usados para lograr su mitigación.

1.1. Transitorios

Muchas veces puede ser observado el switcheo que genera el accionamiento de un simple switch produciendo un pequeño arco voltaico, también al usar una soldadora eléctrica, en ambos casos se ocasiona el mismo efecto, tomando en cuenta la carga que cada dispositivo posee, pues todo equipo o dispositivo que genere una conmutación produce picos de tensión o corriente resultantes que son reflejados en la onda senoidal normal en forma de pico [1], ver ejemplo de la figura 1.1 [2].

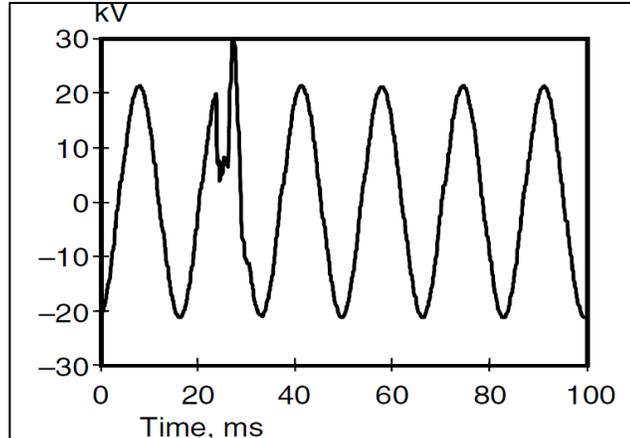


Figura 1.1: Transitorio de voltaje ocasionado por switcheo de un interruptor.

Fuente: [2] R. C. Dugan, . M. F. McGranaghan y S. Santoso, *Electrical Power Systems Quality*.

Cuando existe el switcheo se produce un disturbio en la onda senoidal normal, ya que en ese instante el voltaje o la corriente aumenta su valor en un determinado porcentaje y debido a este cambio que enfrenta el sistema se genera un pico de sobrevoltaje o sobrecorriente [12], este pico se va atenuando gradualmente hasta que la onda senoidal regresa a su estado de equilibrio inicial, a estos picos se lo conoce como transientes o

transitorios ya que se trata de un brusco aumento de nivel de tensión o corriente u ambos valores en una o varias fases del circuito.

No obstante la presencia de un transitorio genera un aumento en el nivel del voltaje y corriente con duración de tiempo dentro del orden de nanosegundos o billonésimas de segundo, pueden contener polaridad positiva o negativa, los niveles de tensión y corriente a los que oscilan varían dependiendo de la fuente que genera su presencia. Estos fenómenos que poseen una alta cantidad de energía son conducidos a través de la red eléctrica causando daños a los equipos más sensibles de la instalación.

En la figura 1.2 [2], se puede apreciar la presencia de un transitorio de corriente en una fase del circuito.

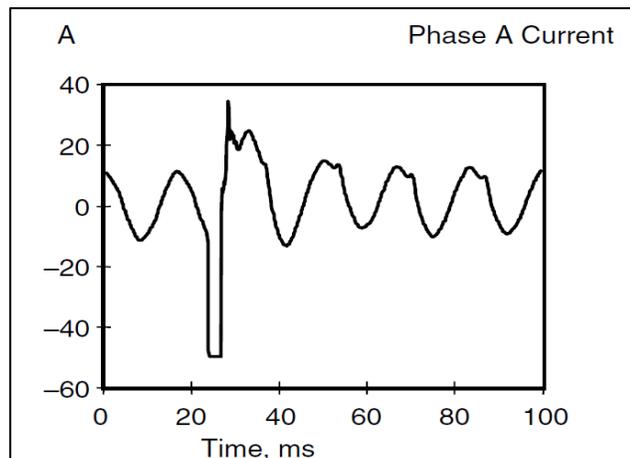


Figura 1 .2: Transitorio detectado en pico de corriente.

Fuente: [2] R. C. Dugan, . M. F. McGranaghan y S. Santoso, *Electrical Power Systems Quality*.

Los fenómenos transitorios se pueden dar simplemente con accionar cualquier dispositivo eléctrico o electrónico, que muchas veces ocasionan que los equipos más sensibles como computadoras, PLC's, monitores, sean proclives a una mala operación o que puedan sufrir daño alguno [1].

1.2. Origen de la generación de transitorios

Acorde con la norma IEEE 1100-2005 la cual habla acerca de los sistemas de energía industriales y comerciales, nos brinda las recomendaciones prácticas destinadas a mejorar el rendimiento del equipo a partir de una buena alimentación eléctrica, y además hace mención a los transitorios que son generados debido a fuentes externas (descargas atmosféricas) e internas (conmutación debido a la conexión o desconexión de equipos en un sistema) [4], ver ejemplo mostrado en la figura 1.3.

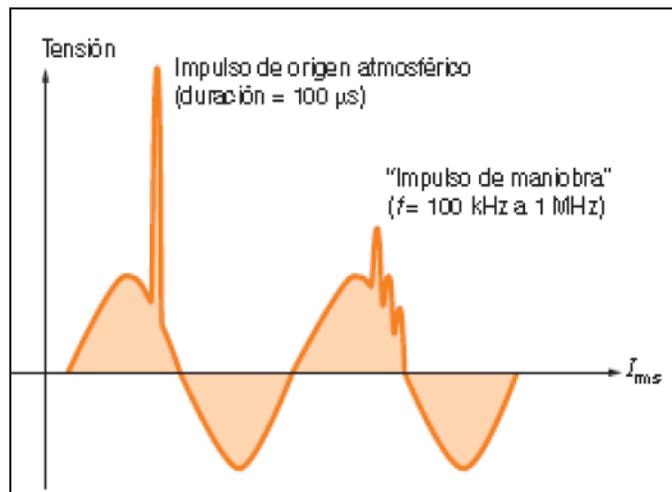


Figura 1.3: Transitorios por maniobra y descarga atmosférica.

Fuente: [5] http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/11059/1/PFC_Agustin_AlcaideFernandez.pdf

Los transitorios que más daño ocasionan son generados debido a la presencia de descargas atmosféricas, puesto que suelen dañar el aislamiento de motores, transformadores, cables e incluso llegan a generar fallas en líneas de transmisión eléctrica, por razón de ser un tipo de anomalías que poseen mayor amplitud de energía.

También las maniobras que producen cambio de estado (ON / OFF) como son los interruptores, breakers, la energización de transformadores, etc., generan la aparición de transitorios dañinos de gran amplitud [1].

Las fuentes que suelen ocasionar disturbios y daños a la carga son las descargas atmosféricas, cortocircuitos, las interferencias electromagnéticas (EMI), el aumento del

diferencial de potencial a tierra, etc., en la figura 1.4 se ilustra un ejemplo de los tipos de cargas y fallas que generan la aparición de transitorios en la red de energía.

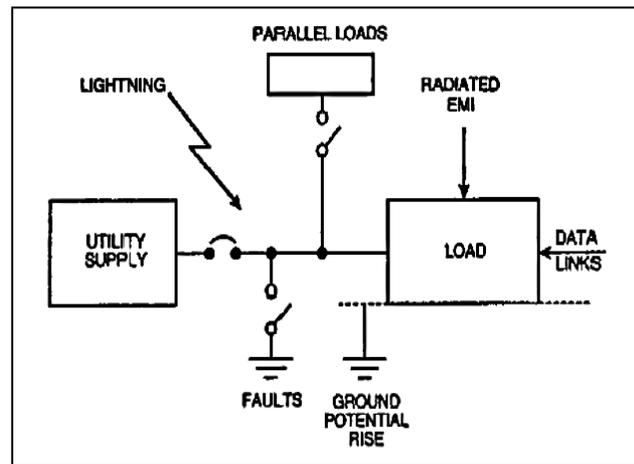


Figura 1.4: Fuentes que ocasionan disturbios en la carga.

Fuente: [4] IEEE Std. 1100, IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment.

Tras el uso de motores, variadores de velocidad, aires acondicionados se pueden generar picos de voltaje continuos, debido a las conmutaciones que genera su funcionamiento por naturaleza, en la figura 1.5 se puede observar la aparición de varios tipos de transitorios generados por diversas causas.

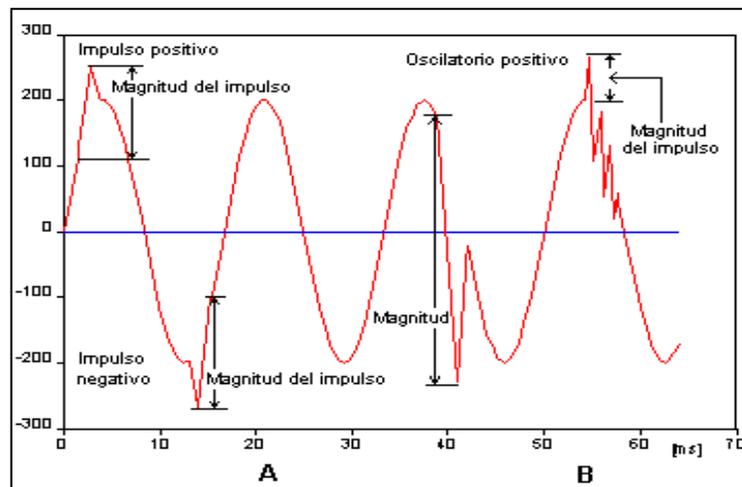


Figura 1.5: Ejemplo de aparición de transitorios.

Fuente: [7] S. Ramírez Castaño y E. A. Cano Plata, calidad del servicio de energía eléctrica.

La EMI genera interferencia en la red de datos, ya que suele presentarse en cualquier momento causando distorsión al momento de transmitir información, generando muchas veces daños y pérdidas imprevisibles en los equipos usados en informática y telecomunicación, se manifiestan a causa de una fuente emisora electromagnética como puede ser, una emisora de televisión o de radio [4], suelen estar presentes de manera continua pero son de baja energía repetitiva [8].

Parte de los fenómenos transitorios son originados en el interior de las mismas instalaciones debido al funcionamiento de equipos usados en las industrias, transitorios que se propagan a través de todos los equipos que se encuentran conectados al mismo segmento de la red.

1.2.1. Causas más comunes de la generación de transitorios

La presencia de transitorios, se deben particularmente por causa de tres grupos de generación [7]:

- Generación de transitorios por causa del voltaje de interferencia que proviene de todos los componentes usados en el mismo circuito.
- Generación de transitorios debido a la presencia de descargas atmosféricas que suelen producir picos de voltajes en fuentes de alimentación.
- Generación de transitorios por causa del ruido proveniente por switcheos, radio comunicaciones, entre otros.

Los transitorios son generados debido a fuentes externas e internas y por presencia de ruido.

1.2.1.1. Transitorios externos

Se originan fuera de la instalación eléctrica, siendo los menos frecuentes pero los que generan mayor daño. Este tipo de transitorios causan daños o bien destrucción a equipos sensibles y suelen generarse ante la operación y manejo de cargas en la red eléctrica, que al

instante de su descarga generan impulsos de corta duración, tal como se ilustra en la figura 1.6.

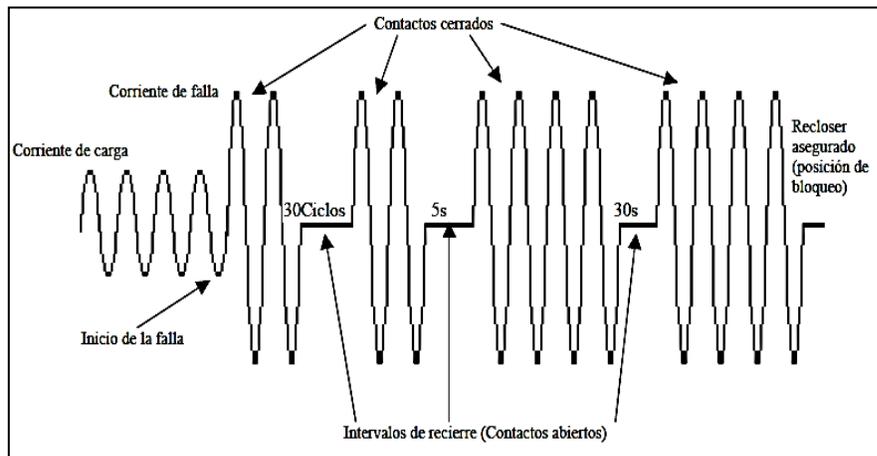


Figura 1.6: Secuencia típica de operación de un reconectador (Recloser).

Fuente: [7] S. Ramírez Castaño y . E. A. Cano Plata, *calidad del servicio de energía eléctrica*.

La mayor cantidad de causas que producen la presencia de transitorios externos, son generadas fuera de las instalaciones eléctricas del consumidor, ya sea por causas ambientales o por maniobras que realiza la empresa distribuidora de energía.

Ambientales[12]

- Descargas atmosféricas que aparecen cerca de las instalaciones produciendo electromagnetismo induciendo voltajes por medio de los conductores en los circuitos primarios y secundarios [9].
- Descargas atmosféricas directamente a tierra, que provocan que la corriente que fluye a través del suelo pueda acoplarse a la malla de protección a tierra, generando así diferencias de voltaje.
- Descargas atmosféricas directas hacia circuitos de baja tensión, que generan resultantes niveles elevados de corriente y voltaje que generalmente suelen superar la capacidad de soporte a la cual está diseñado el equipo [9].

Compañía de Energía [9]

- Switcheo en la red.
- Arranque de motores o transformadores.

- Conmutación de redes de distribución eléctrica.
- Arranque de cargas industriales computarizadas.
- Operación de fusibles y protectores de circuitos.
- Rebote de conmutación en un circuito inductivo.

Los factores que aumentan la capacidad de generación de transitorios externos se presentan por:

- Regiones proclives a la incidencia de descargas atmosféricas.
- El contener estructuras superiores a las construidas de alrededor.

La conmutación puede ser generada debido a causas en condiciones normales u anormales [12]:

- Conmutaciones inferiores tal pueden ser como el apagar múltiples cargas en un sistema individual.
- Durante el funcionamiento de convertidores electrónicos de potencia se suelen generar muescas en el voltaje repetitivamente en cada ciclo.
- La conmutación de bancos de capacitores que suelen usarse a fin de corregir el factor de potencia.

La operación diaria de las empresas de suministro de energía eléctrica también suelen ser causantes de la aparición de transitorios considerables, debido al constante cambio de demanda de energía eléctrica que sufre la red, puesto que las subestaciones se ven en la necesidad de conectar o desconectar el suministro de energía según el aumento de cargas presentadas.

1.2.1.2. Transitorios internos

Los transitorios internos tal como el nombre lo indica son generados por fuentes internas, debido al uso de dispositivos que producen switcheo que son los de mayor recurrencia de las causas de la aparición de transitorios pero poseen una menor magnitud, generalmente no

suelen dañar a los equipos de forma instantánea, pero si los degrada paulatinamente contrayendo la reducción de su vida útil. El uso de motores, aires acondicionados, compresores de aire, variadores de velocidad, y en si todo tipo de equipo que conlleve a la aplicación de su ciclo de encendido y apagado continuo da origen a la generación de transitorios internos, ya que el uso de este tipo de equipos causan una oscilación en la forma de onda de la señal lo suficiente para provocar un daño paulatino o bien la destrucción de los equipos en funcionamiento conectados al mismo segmento de la red de energía [11], en la figura 1.7 se observa un ejemplo de oscilación de la forma de onda nominal.

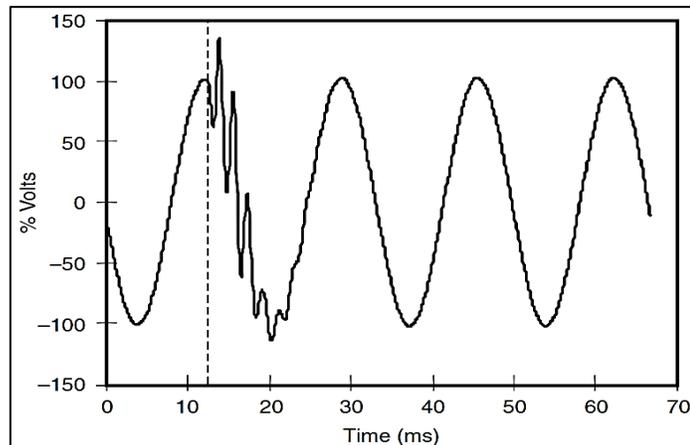


Figura 1.7: Efectos del Switcheo de capacitores.

Fuente: [2] R. C. Dugan, . M. F. McGranaghan y S. Santoso, *Electrical Power Systems Quality*.

La mayor cantidad de transitorios son generados internamente a causa del uso de:

- Aires Acondicionados.
- Motores.
- Sistemas de Refrigeración.
- Balastos.
- Elevadores.
- Banco de condensadores de corrección del factor de potencia.
- Operación de soldadoras.
- Reguladores de intensidad luminosa.
- Equipo de proceso de imágenes.

- Fotocopiadoras
- Equipos médicos.
- Impresoras láser.

1.2.1.3. Generación de transitorios por causa de ruido eléctrico

El ruido eléctrico genera distorsión a la señal de datos causando alteraciones en la información, las causas más comunes de su aparición se deben principalmente al uso de copadoras, generadores eléctricos, scanner, lámparas fluorescentes, etc., y con el transcurso del tiempo el ruido provoca daños paulatinos en los equipos, la figura 1.8 muestra un ejemplo de la presencia de ruido en la red.

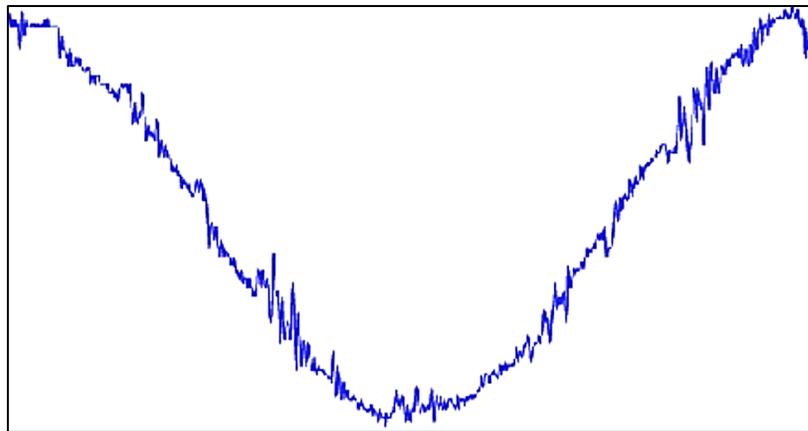


Figura 1.8: Ejemplo de ruido en la red eléctrica y de datos.

Fuente: [7] S. Ramírez Castaño y . E. A. Cano Plata, *calidad del servicio de energía eléctrica*.

1.3. Amplitud, duración, prolongación, atenuación y control de los transitorios en la red de datos

Es importante tomar en cuenta las características de las magnitudes que cada tipo de transitorio posee, con el fin de prever las precauciones necesarias para su correcta atenuación. Posteriormente se dan a conocer las características de cada fenómeno transitorio según el valor que presenta.

1.3.1. Amplitud, duración y prolongación

Cada fenómeno transitorio se caracteriza en su amplitud, duración y prolongación, según su tipo de ocurrencia, a continuación se presentan las clasificaciones y características típicas que posee cada uno de los fenómenos electromagnéticos. En la tabla 1.1 [13], se ilustran los valores de duración, magnitud y contenido espectral de cada tipo de disturbio posee.

Tabla 1.1: Clasificación y características típicas de los disturbios.

categoria	Contenido espectral	Duración	Magnitud de voltaje
Transientes			
Impulsivos			
Nanosegundos	5 ns de elevación	<50 ns	
Microsegundos	1 μ s de elevación	50 ns - 1 ms	
Milisegundos	0.1 ms de elevación	>1 ms	
Oscilatorios			
Baja frecuencia	< 5 kHz	0.3 - 50 ms	0 – 4 p.u
Media frecuencia	5 – 500 kHz	20 μ s	0 – 8 p.u
Alta frecuencia	0.5 – 5 MHz	5 μ s	0 – 4 p.u
Variaciones de corta duración			
Instantáneas			
Sag		0.5 – 30 ciclos	0.1 – 0.9 p.u
Swell		0.5–30 ciclos	1.1 – 1.8 p.u
Momentáneas			
Interrupciones		0.5 ciclos – 3 s	< 0.1 p.u
Sag		30 ciclos – 3 s	0.1 – 0.9 p.u
Swell		30 ciclos – 3 s	1.1 - 1.4 p.u
Variaciones de corta duración			
Temporales			
Interrupciones		3s – 1m	< 0.1 p.u
Sag		3s – 1m	0.1 – 0.9 p.u
Swell		3s – 1m	1.1 – 1.2 p.u
Variaciones de larga duración			
Interrupciones sostenidas		> 1m	0.0 p.u
Bajo voltaje		> 1m	0.8 – 0.9 p.u
Sobrevoltajes		> 1m	1.1 – 12 p.u
Desbalance de voltaje		Estado estable	0.5 – 2 %

Distorsión de forma de onda			
Desplazamiento de C.D		Estado Estable	0 – 0.1 %
Armónicos	0 – 100 th H	Estado Estable	0 – 20 %
Interarmónicos	0 – 6 kHz	Estado Estable	0 – 2 %
Hendiduras		Estado Estable	
Ruidos	Banda Amplia	Estado Estable	0 – 1 %
Fluctuaciones	< 25 Hz	intermitente	0.1 – 7 %
Variación de frecuencia		< 10 s	

Un impulso generado por la inducción de una descarga atmosférica de corta duración toma un valor de aproximadamente $8/20\mu\text{s}$, un impulso de larga duración generado por el switcheo de algún equipo dentro de la instalación eléctrica del usuario toma un valor aproximado de $10/1000\mu\text{s}$. Siendo estos tipos de transitorios los que con mayor frecuencia suelen presentarse en las redes eléctricas [3]. Como ejemplo práctico de una forma de onda en un test de voltaje a circuito abierto, de aumentos y disminuciones de impulsos por causa de descargas atmosféricas [14], el transitorio toma los siguientes valores 1.2 y $50\mu\text{s}$ para el tiempo de ascenso y su duración, tal como se puede apreciar en la figura 1.9 [3][15].

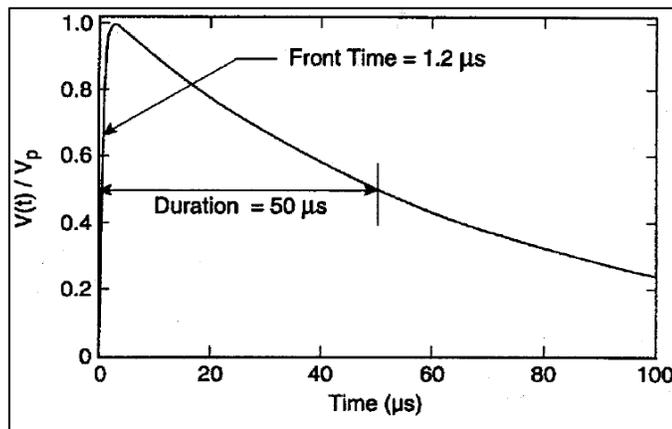


Figura 1.9: Ejemplo de combinación de onda de voltaje en circuito abierto.

Fuente: [3] IEEE Std. 399, IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis

En la figura 1.10[15][9] se ilustra la forma de onda con valores de 8 y $20\mu\text{s}$ para el tiempo de ascenso y duración de un cortocircuito de corriente, pero la diferencia entre las formas

de onda de la figura 1.9 y 1.10, se debe al tiempo de duración que tiene la forma de honda dentro del sistema .

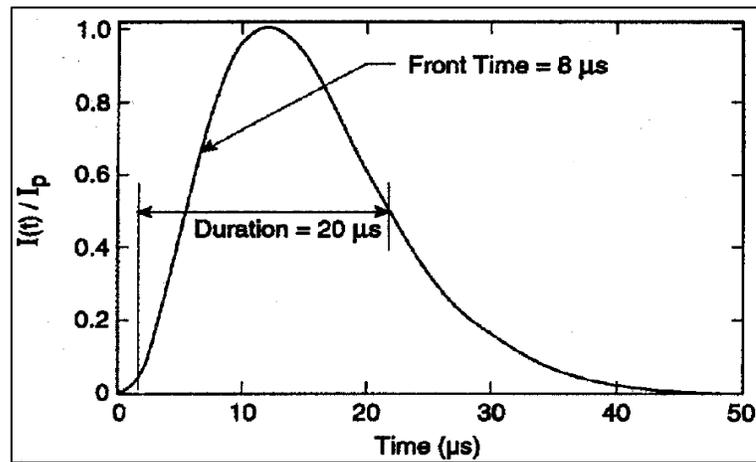


Figura 1.10: Ejemplo de combinación de onda de corriente de cortocircuito.

Fuente: [15] IEEE Std. C62.45, IEEE Recommended Practice on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage (1000 Vand Less) AC Power Circuits.

La amplitud se descompone de manera que es la proporción de la amplitud de los picos adyacentes de polaridad opuesta, la proporción del segundo pico hacia el primer oscila entre un 40%, la relación del tercer pico se proporciona al segundo pico entre un 20% [16], como se muestra en la figura 1.11 [3].

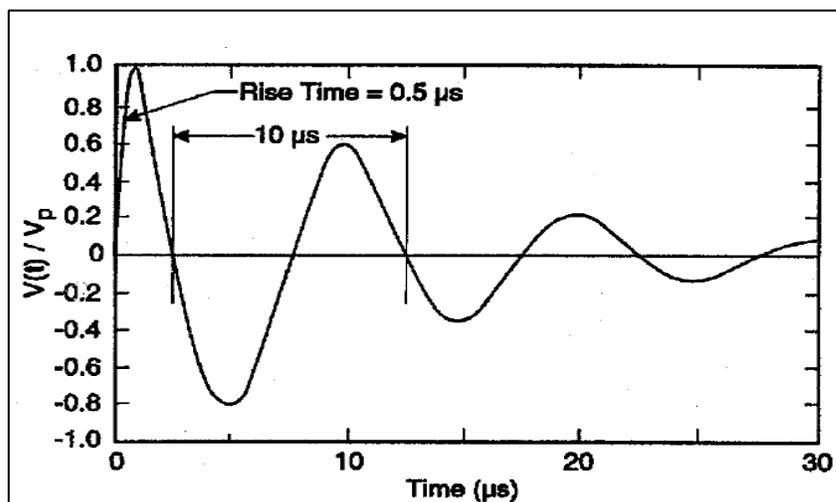


Figura 1.11: Ejemplo de forma de onda oscilatoria amortiguada.

Fuente: [3] IEEE Std. 399, IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis

Una forma de onda oscilatoria amortiguada toma valores de 0.5 y 10 μ s tiempos de ascenso y de duración, tomando en cuenta el valor del tiempo de circulación dependiendo de su magnitud la forma de onda cambia significativamente y el voltaje se ve reducido [4].

Según la IEEE Std. C62.41.2-2002 la cual habla de las características de sobretensiones de bajo voltaje en circuitos de AC, menciona que las formas de onda son usualmente especificadas por dos periodos de tiempo, el incremento del tiempo hacia el valor pico y la caída del tiempo hacia el 50% del valor pico desde el inicio de la onda [9].

1.3.1.1 Transitorio impulsivo

Es generado por causa de un cambio repentino al valor del voltaje y corriente en estado estable siendo de un solo sentido de polaridad [13] dependiendo si se encuentra en estado de ascenso o descenso, su generación es en gran parte debido a la presencia de descargas atmosféricas, además es un disturbio que aparece en el voltaje de alimentación y sus valores de magnitud pueden ser elevados dependiendo de la causa que lo genere, son de corta duración y ocasionan valores de frecuencia diferente al del sistema en estado estable [2]. Por ejemplo un transitorio de 1.2/50 μ s a 2000V se refiere a que el valor del tiempo de ascenso es de 1.2 μ s con un voltaje pico de 2000V y decae a la mitad del valor pico en 50 μ s, la figura 1.12 [2] ilustra el ejemplo.

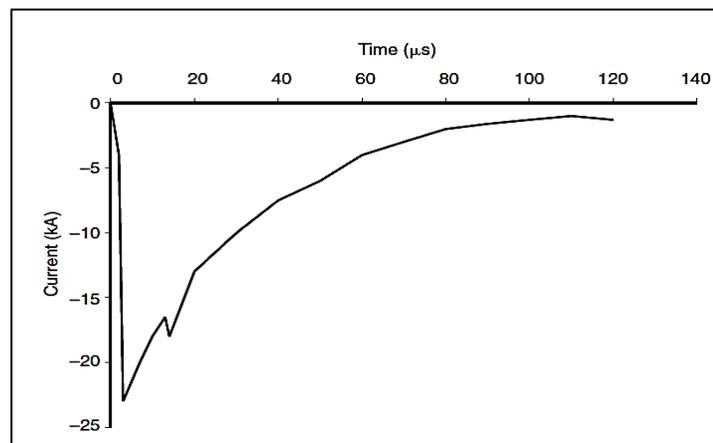


Figura 1.12: Ejemplo de un transitorio Impulsivo.

Fuente: [2] R. C. Dugan, . M. F. McGranaghan y S. Santoso, *Electrical Power Systems Quality*.

1.3.1.2. Transitorios oscilatorios

Presentan cambios continuos, rápidos y repentinos de polaridad, aplicados a los valores ya sea de voltaje o corriente o en ocasiones altera a los dos valores, se subdivide en altas, medias y bajas frecuencias, según se puede apreciar en la tabla 1.2 [13][2] mostrada a continuación.

Tabla 1.2: Valores de nivel y medida de duración de los transitorios oscilatorios según la frecuencia.

Transitorios oscilatorios de alta frecuencia		Transitorios oscilatorios de media frecuencia		Transitorios oscilatorios de baja frecuencia	
nivel	duración	nivel	duración	nivel	duración
500kHz a 5MHz	μ s	5kHz a 500kHz	Décimas de μ s	>5 kHz	0,3 ms a 50 ms

Los rangos de frecuencia varían dependiendo de la fuente que los genere, particularmente son causados por descargas atmosféricas y por switcheos de equipos en el sistema de potencia [13]. Por ejemplo los transitorios de tipo oscilatorios no decaen muy rápidamente en comparación a los transitorios de tipo de impulso, ya que estos continúan oscilando durante un tiempo aproximado de 0.5 a 3 ciclos [2].

La figura 1.13 [2] muestra un ejemplo de transitorios oscilatorios de media frecuencia por causa de maniobras en la red.

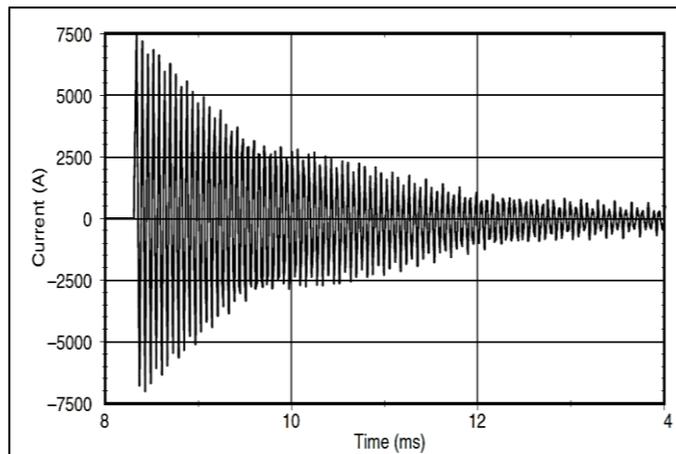


Figura 1.13: Ejemplo de transitorios oscilatorios causado por switcheo de capacitores.
Fuente: [2] R. C. Dugan, . M. F. McGranaghan y S. Santoso, *Electrical Power Systems Quality*.

En la figura 1.14 [2] se puede observar la presencia de transitorios oscilatorios de baja frecuencia, ocasionados por la energización de bancos de capacitores.

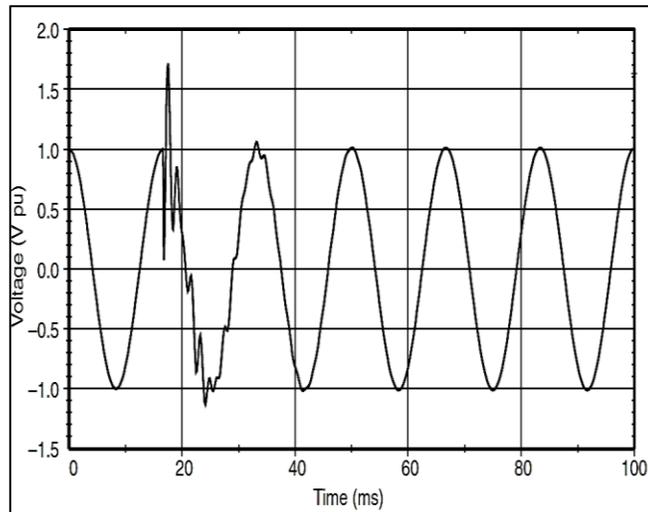


Figura 1.14: Ejemplo de transitorios de baja frecuencia por energización de un banco de capacitores.
Fuente: [2] R. C. Dugan, . M. F. McGranaghan y S. Santoso, *Electrical Power Systems Quality*.

1.3.1.3. Variaciones de corta duración

Son variaciones que contienen un valor de corta duración, y que son conocidas como variaciones instantáneas, momentáneas, y se generan por condiciones de presencia de fallas en la red [2].

1.3.1.3.1. Interrupciones

Aparecen por un periodo de tiempo menor a un minuto y se generan principalmente debido a fallas ocasionadas en el sistema de alimentación y también debido a errores de operación o falla en los equipos de control, provocando una disminución de aproximadamente 0.1 p.u del valor nominal del voltaje o corriente [13][2], en la figura 1.15[2], se muestra un ejemplo de deformación en la onda debido a una interrupción dentro del sistema.

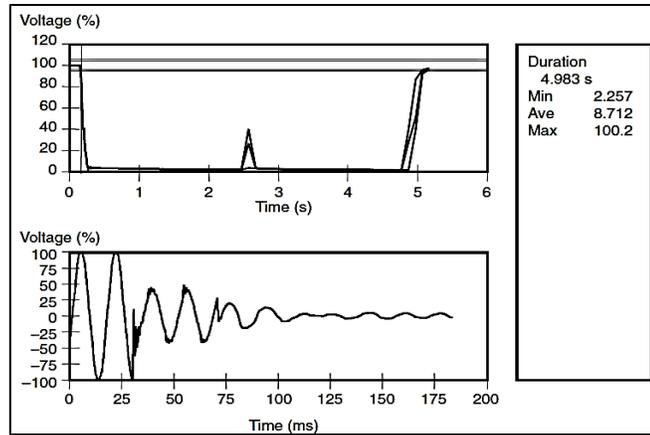


Figura 1.15: Ejemplo de Interrupciones en el sistema.

Fuente: [2] R. C. Dugan, . M. F. McGranaghan y S. Santoso, *Electrical Power Systems Quality*.

1.3.1.3.2. Sag

Los sags, o huecos, dependen de su duración y profundidad, aparecen generalmente en gran magnitud debido a reducciones de energía en la red ocasionados por la conexión de grandes cantidades de cargas y debido al encendido de equipos que poseen un alto nivel de consumo de potencia, su duración generalmente es menor a un minuto y ocasionan la disminución en un rango de 0,1 y 0,9 p.u del valor eficaz en voltaje o corriente con duraciones entre 0.5 ciclos a 1 minuto [13][2]. El valor de su magnitud generalmente toma un valor inferior cuando es ocasionada debido a una desconexión de equipos ligeros como computadoras, PLC's, etc., en la figura 1.16 [2], se puede observar la aparición de sags de voltaje.

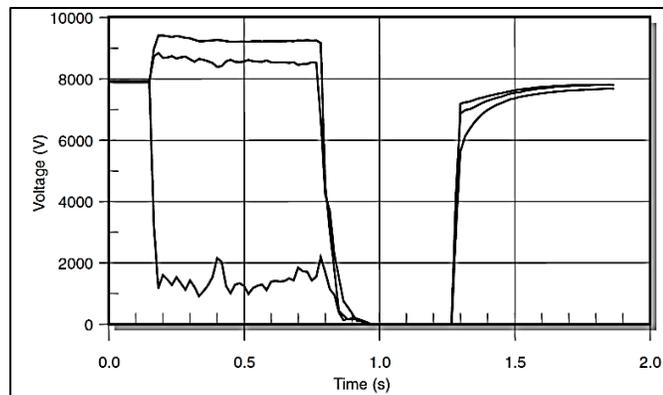


Figura 1.16: Ejemplo de interrupción momentánea debido a un fallo y operación del reconector posterior.

Fuente: [2] R. C. Dugan, . M. F. McGranaghan y S. Santoso, *Electrical Power Systems Quality*.

1.3.1.3.3. Swell

Son conocidas como crestas, se generan debido al aumento de voltaje en las líneas de transmisión de energía, ocasionados generalmente por desconexiones de cargas, su tiempo de duración varia aproximadamente de entre 0,5 ciclos a 1 minuto, y el rango de aumento que ocasiona en el voltaje varía entre 1.1 y 1.8 en p.u [13] la figura 1.17 [2] muestra un ejemplo claro de la forma de onda de cresta.

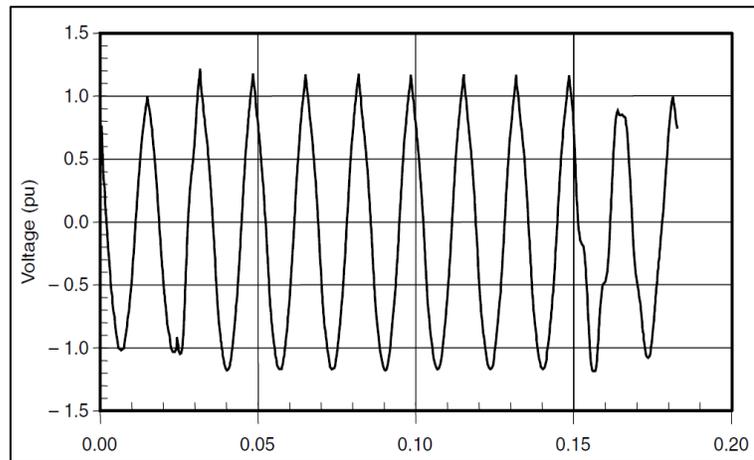


Figura 1.17: Ejemplo de formación de onda de cresta.

Fuente: [2] R. C. Dugan, . M. F. McGranaghan y S. Santoso, *Electrical Power Systems Quality*.

1.3.1.4. Variaciones de larga duración

Las variaciones de larga duración son caracterizadas por poseer un tiempo de duración mayor a un minuto, la tabla 1.3 [13][2] muestra la clasificación de las variaciones de larga duración.

Tabla 1.3: Clasificación de las variaciones de larga duración.

Interrupciones sostenidas	Se generan cuando existe una interrupción de energía que posee un período de tiempo de duración mayor a un minuto o bien se mantiene permanente hasta que el suministro de energía sea restablecido automáticamente o por intervención del personal, generalmente contienen un valor de voltaje igual a cero.
----------------------------------	---

Bajo voltaje	Es la reducción en el voltaje del valor nominal, con una disminución menor al 90%, con una duración superior a un minuto. Los factores que pueden causar una reducción de voltaje, son las operaciones de conexión de carga.
Sobrevoltajes	Es el aumento del valor del voltaje nominal con magnitudes elevadas, con una duración superior a un minuto, y se generan principalmente debido a desconexiones de grandes cargas.

1.3.1.5. Desbalance de voltaje

El desbalance de voltaje es generado a causa de un desbalance de consumo ya sea en un circuito bifásico o trifásico, cuando existe desigualdad de valores entre las fases, el desbalance en un circuito trifásico se ocasiona por conexiones de cargas bifásicas, en la figura 1.18 [13] se observa un ejemplo de desbalance de voltaje.

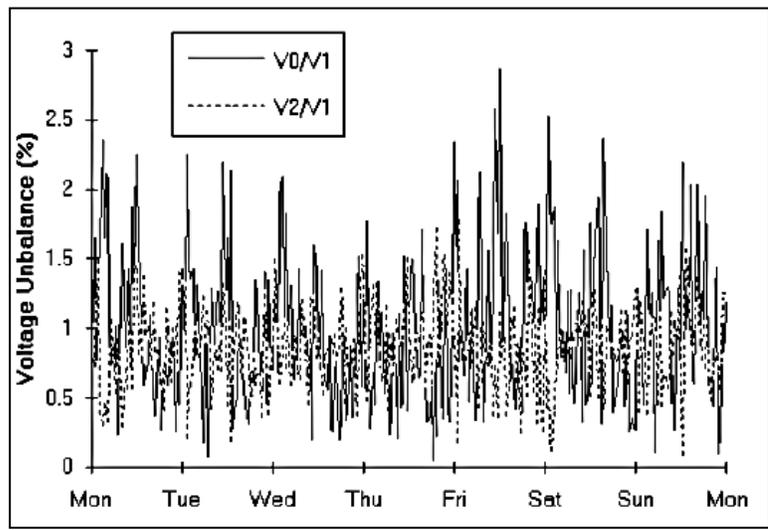


Figura 1.18: Ejemplo de desequilibrio de voltaje en porcentaje.

Fuente: [13] IEEE Std.1159, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.

1.3.1.6. Distorsión de la forma de onda

Se caracteriza por la derivación del estado estable de la forma de onda de la frecuencia [13]. En la tabla 1.4 [13][3][2] se puede apreciar las derivaciones provocadas por la distorsión de la forma de onda.

Tabla 1.4: Derivaciones provocadas por la distorsión de la forma de onda.

<p>Desplazamiento de CD</p>	<p>Conocido también como DC offset, se genera cuando existe la presencia de un voltaje DC en un sistema AC, generalmente debido al uso de la rectificación de media onda para el funcionamiento de equipos electrónicos que funcionan con voltaje DC, esto puede causar un sobrecalentamiento en el transformador, causando su deterioro paulatinamente.</p>														
<p>Armónicos</p>	<p>La distorsión armónica se origina, debido al funcionamiento de cargas no lineales en los sistemas de potencia, como son los variadores de velocidad y balastos electrónicos, entre otros. Ver ejemplo de la figura 1.19 [13][2].</p> <p>La presencia de armónicos genera resultados como., interferencias en el sistema informático y calentamiento en las máquinas rotativas.</p> <div data-bbox="711 1251 1276 1587" data-label="Figure"> <table border="1" data-bbox="1133 1293 1256 1507"> <tr><td>Max:</td><td>313.907</td></tr> <tr><td>Min:</td><td>-171.704</td></tr> <tr><td>Avg:</td><td>33.5332</td></tr> <tr><td>Abs:</td><td>313.907</td></tr> <tr><td>RMS:</td><td>64.3862</td></tr> <tr><td>CF:</td><td>4.87537</td></tr> <tr><td>FF:</td><td>1.92007</td></tr> </table> </div> <p>Figura 1.19: Ejemplo de Corriente Armónica.</p>	Max:	313.907	Min:	-171.704	Avg:	33.5332	Abs:	313.907	RMS:	64.3862	CF:	4.87537	FF:	1.92007
Max:	313.907														
Min:	-171.704														
Avg:	33.5332														
Abs:	313.907														
RMS:	64.3862														
CF:	4.87537														
FF:	1.92007														
	<p>Son conocidas también como muescas de tensión o notching, se generan debido a la conmutación de corriente entre fases, que se ocasiona por el funcionamiento de dispositivos usados en electrónica de potencia, la presencia de este tipo de fenómenos puede causar daños en equipos sensibles ya sea en</p>														

Hendiduras

laptops, CPU e impresoras, ver ejemplo de aparición de hendiduras en la figura 1.20 [13][2].

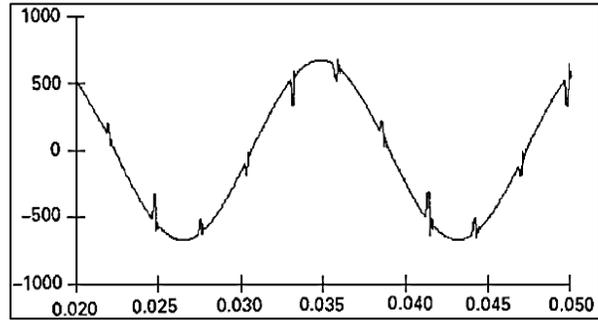


Figura 1.20: Ejemplo de hendiduras.

1.3.1.7. Fluctuaciones

Conocidos también como flickers, son variaciones de cambio de voltaje que no superan valores entre 0.9 a 1.1p.u, las variaciones rápidas en el voltaje son apreciadas como parpadeos en las lámparas de iluminación, y que generalmente son apercibidas por el ojo humano, las fluctuaciones de voltaje son fenómenos electromagnéticos [2], y dependiendo de su magnitud pueden causar efectos de deterioro, en computadoras y equipos de comunicación [3],ver ejemplo de la figura 1.21[2].

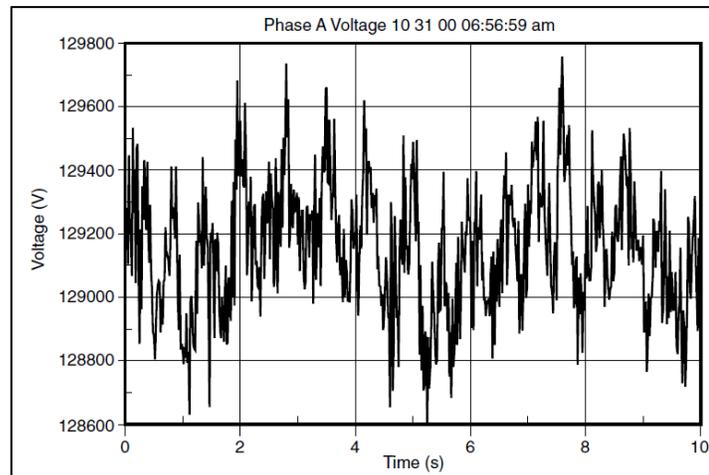


Figura 1.21: Ejemplo de fluctuaciones de tensión (Flicker).

Fuente: [2] R. C. Dugan, . M. F. McGranaghan y S. Santoso, *Electrical Power Systems Quality*.

1.3.1.8. Variaciones de frecuencia

La variación de frecuencia en el sistema de potencia, como lo menciona su nombre es básicamente una variación del valor nominal de la frecuencia, puesto que su valor se relaciona en torno al giro de los generadores que suelen ser usados en las plantas generadoras de electricidad mismos que en ciertos casos suelen salir de sincronismo, no obstante también se producen variaciones de frecuencia ocasionalmente debido a un desbalance entre la generación y la demanda [2].

1.3.2. Atenuación y control

La atenuación de los fenómenos transitorios puede realizarse, a través de un óptimo desempeño de la red eléctrica, evitando por ejemplo conectar cargas de diferente consumo y funcionamiento en el mismo segmento de la red de alimentación de energía, como el conectar aires acondicionados al mismo punto de red de energía donde existen conectados equipos sensibles como computadoras.

No obstante, si se requiere mitigar de forma más efectiva la presencia de transitorios en la red eléctrica, se puede hacer uso de un supresor de transitorios, dispositivos que son diseñados con el fin exclusivo de mitigar en gran manera la existencia de transitorios, que son producidos por diversas causas, los supresores pueden ser instalados en un equipo independiente, en un segmento de red, y hasta en la red eléctrica desde que se inicia el abastecimiento de la energía por completo. Con el fin de disminuir los efectos que causan la presencia de transitorios en la red, se debe tomar en consideración los siguientes aspectos.

1.3.2.1 Lugar de instalación de equipos de transmisión de datos

Al instalar equipos destinados para procesos de transmisión de datos como hubs, switches, etc., se debe evitar la instalación de los mismos en áreas sujetas a fuertes efectos de EMI y además a todo esto se debe comprobar si los equipos instalados cumplen con las normas adecuadas de protección a tierra [4].

1.3.2.2. Uso del cableado para transmisión de datos

Se debe comprobar con anticipación la existencia de fuentes de EMI en el lugar con el uso de equipos diseñados para su estudio, además se debe contar con la conexión a tierra de todos los cables de energía usados y remover los cables que se encuentren fuera de uso, separar el cableado de transmisión de datos [16], telefonía y energía, puesto a que en el instante de transmitir datos y contar con una misma trayectoria para ambos tipos de cableados, puede introducirse ruido en los cables de datos y afectar la señal de envío de datos, este tipo de evento provocan grandes interferencias y disminuye el desempeño del sistema de telecomunicaciones. En caso de tener los cables de diferente función como los de datos y energía eléctrica colocados en una misma trayectoria, se debe usar necesariamente un tipo de cable que posea un apantallamiento con el fin mitigar en gran parte el ingreso de la EMI a la red por medio del cable de transmisión de datos.

1.3.2.3. Protección física

Con el propósito de atenuar las EMI que son provenientes de diversas causas ya sea por medio de fuentes externas y adyacentes a la señal, los cables pueden ser colocados en tuberías metálicas conectadas a tierra, ya que el uso de un material plástico por ser un excelente aislante eléctrico pero no obstante para el uso de este tipo de situaciones no causa ningún efecto contra la mitigación de las ondas electromagnéticas, y además cuenta con la desventaja principal de exponer en riesgo la propagación de incendios y generar humo tóxico que es perjudicial para el personal, debido a que es un material que se quema con facilidad.

Las tuberías fabricadas en acero, normalmente vienen recubiertas con zinc o pintadas. Este tipo de materiales ayudan en gran manera a la mitigación de las EMI, ya que brindan un nivel razonable de blindaje contra el ingreso de las ondas electromagnéticas, el uso de tuberías de aluminio también proveen una protección ante la presencia de las ondas electromagnéticas, ya que este tipo de material también es un gran aislante ante la presencia de EMI [4].

1.3.2.4. Uso de supresores de transitorios

Los supresores de transitorios son dispositivos que tienen la función de limitar los sobrevoltajes que presenta un transitorio [4], gracias a que su estructura cambia el valor de la impedancia reduciéndola ante la presencia de un transitorio y se convierte en un camino de baja impedancia, son instalados con el fin de mitigar y proporcionar protección contra diversos tipos de transitorios que puedan presentarse en la red eléctrica. Un supresor de transitorio limita el pico de elevación que genera la presencia de un sobrevoltaje, dejando pasar únicamente a la red de energía un nivel aceptable con el fin de que los equipos no sufran daño alguno, los supresores son instalados de forma paralela a las cargas a proteger, sólo se activan cuando se produce un evento que supere el voltaje nominal dentro de la instalación.

La mejor protección de los circuitos de alimentación en AC es la aplicación de un supresor de transitorios, siempre que se encuentren debidamente instalados y clasificados según el nivel de protección que proporciona cada tipo de supresor, con el fin de obtener una protección óptima contra las sobretensiones [12].

1.3.2.4.1. Características

Los supresores de transitorios de voltaje como ya se mencionó anteriormente, son equipos diseñados con el fin de mitigar los impulsos de sobrevoltaje y desviar la corriente que presenta el transitorio para evitar que llegue a las cargas y pueda ocasionar algún daño, cuando el transitorio excede el valor nominal de la tensión es activado y ese valor de tensión excedido es considerablemente atenuado [4].

Los SPD's, están compuestos en su interior por diodos supresores avalancha de silicio (SAD's) que son usados para el control de corrientes elevadas y proveer un menor tiempo de respuesta ante la presencia de un transitorio, también se componen de varistores de óxidos metálicos (MOV's), que son usados debido a que presentan una alta impedancia frente a niveles de voltajes elevados y se reduce considerablemente cuando existe un pico

elevado de voltaje en la red, el SPD desvía la corriente transitoria a tierra eliminando el pico de tensión [50][12].

Cuando el transitorio desaparece el SPD se restablece a la condición normal obteniendo nuevamente el valor de alta impedancia, quedando listo para funcionar ante la presencia de un nuevo evento. Los SPD también llevan internamente fusibles térmicos, que son usados con el fin de evitar que lleguen a explotar frente a un pico de sobretensión muy elevado, debido a que los MOV's son dispositivos sensibles que no soportan altas temperaturas, para este inconveniente los SPD's son sumergidos en resina que sirve de disipación de calor con el fin de dar una estabilidad física y térmica al dispositivo.

Los SPD's se instalan tomando en cuenta la susceptibilidad y el grado de fiabilidad requerido para la protección del equipo a ser protegido [12].

Los principales factores necesarios que se deben tomar en cuenta al momento de instalar un SPD son los siguientes [4]:

- a) La capacidad de corriente de sobretensión del SPD, debe ser lo suficientemente alto para la aplicación.
- b) El valor del voltaje de alimentación continuo para su correcto funcionamiento.
- c) El SPD debe apagarse una vez que ya no exista el aumento de tensión por causa de la presencia de una transitorio.

Para mejorar la seguridad y la calidad de los supresores, en nuestro caso será usada como referencia la Norma ANSI UL 1449 3ª edición, ya que es un estándar previsto para el uso de dispositivos de protección contra transitorios.

1.3.2.5. Norma (ANSI) UL 1449, 3ª edición

Antes de la aparición de la norma UL 1449 3ª edición la cual habla de los supresores de transitorios usados en cada sistema a proteger, menciona que los supresores de transitorios

se conocían con anterioridad como TVSS (Transient Voltage Surge Suppressor), pero en la actualidad son conocidos como SPD (Surge Protective Device), el término es debido a que la norma ahora incluye en su campo de aplicación a equipos que incluyen protección contra transitorios desde su fabricación [17].

La UL 1449 3ª edición, clasifica a los SPD's en cuatro tipos para su uso según el grado de protección, y dependiendo del lugar que más proclive a ser afectado por causa de la aparición de transitorios.

1.3.2.5.1. Tipos de supresores según norma UL 1449 3ª edición

La norma UL 1449 3ª edición clasifica el tipo de supresores que se debe instalar tomando en cuenta el voltaje máximo de operación continua (MCOV), que es el voltaje con el que va a estar conectado continuamente el supresor, también se debe tomar en consideración el nivel de corriente de descarga nominal (I_n) que es inyectado en el supresor con el fin de ser puesto a prueba para demostrar su efectividad y durabilidad, este nivel es seleccionado por el fabricante, la norma UL 1449 3ª edición presenta valores de corrientes nominales de descarga para cada tipo de SPD, el de tipo 1, tiene cuenta con una variación entre 10 y 20 kA, el SPD de tipo 2 cuenta con un valor inferior a 3 kA, y los SPD's de tipo 3 generalmente son sometidos a prueba como de tipo 2 [17].

Cada SPD es colocado en el lugar específico a proteger según el tipo.

TIPO 1. Es aquel que se utiliza exclusivamente en el lado de mayor riesgo de contra sobretensiones externas, como por ejemplo entrada entre el transformador y el primer tablero de distribución principal [17].

TIPO 2. Estos SPD's se conectan de manera permanente en el lado carga del dispositivo de protección contra el sobrecorriente, se instalan como protección de alimentadores de gran potencia y a la entrada o salida de tableros de distribución secundarios [17].

TIPO 3. Son instalados en las salidas de los tomacorrientes a fin de proteger directamente a los equipos [17].

TIPO 4. Se refiere a los equipos que cuentan con la protección ya integrada en su interior, viene ensamblada desde la fábrica [17].

En la figura 1.22 [17] se puede apreciar la distribución que cada tipo de supresor posee según su aplicación, para una correcta protección del sistema y equipos electrónicos.

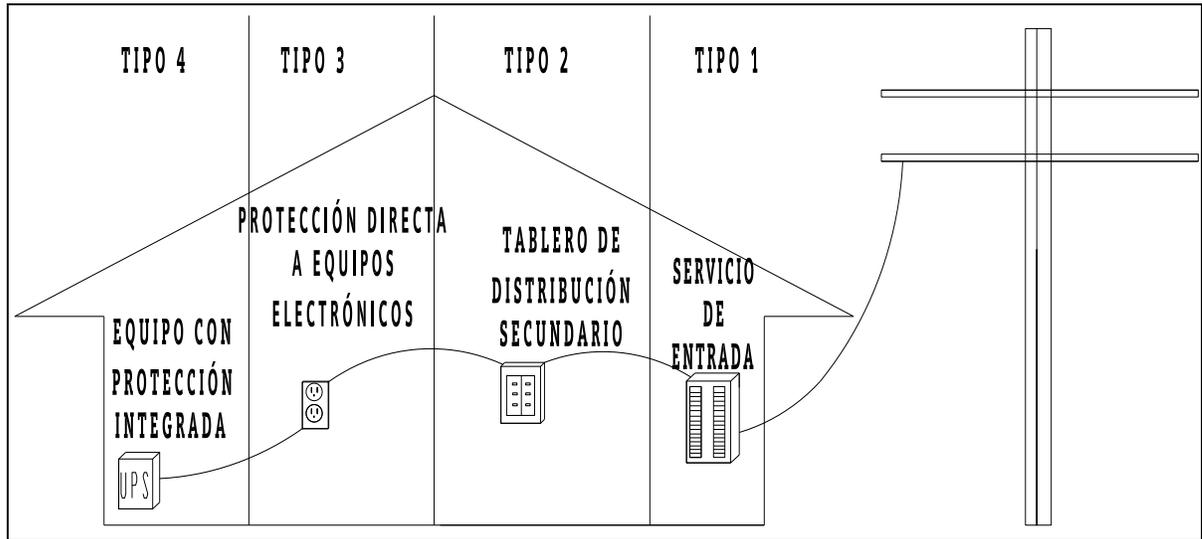


Figura 1.22: Distribución de los SPD's basado en el uso de la norma UL 1449.
Fuente: [17] UL 1449, Standard for Surge Protective Devices, 3rd Edition ed.

En la figura 1.23 [12] se puede observar la conexión de un SPD trifásico que además cuenta con neutro y tierra

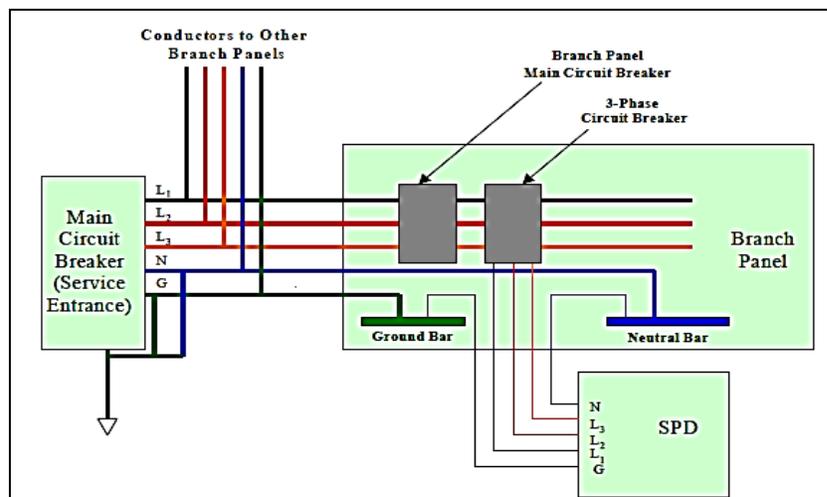


Figura 1.23: Ejemplo de conexión de un SPD con breaker independiente.
Fuente: [12] IEEE Std. C62.72, IEEE Guide for the Application of Surge-Protective Devices for Low-Voltage (1000 Volts or Less) AC Power Circuits.

Para obtener una mejor protección de los equipos se deben instalar los SPD's en cascada ya que asegura una protección adecuada al sistema, acorde a la norma IEEE C62.72 sección 16 que habla acerca de los dispositivo de protección contra sobretensiones, nos dice que el concepto de SPD en cascada se refiere a la instalación y conexión apropiada de dos o más SPD's en diferentes localidades, por ejemplo un SPD puede ser conectado a la entrada de la acometida y otro conectado en el alimentador para el panel de distribución secundario o en el equipo final, a fin de que el primer SPD pueda absorber la energía del transitorio causado a la entrada de la acometida y en caso de existir un voltaje de remanencia alto proporcionado por el primer SPD, el segundo SPD lograría eliminarlo o disminuirlo en gran manera y entregar la señal más segura para que los equipos no sufran ningún daño [12].

1.4. Causas y efectos que ocasionan la aparición de transitorios en la red de datos

Acorde a la norma IEEE Std C62.72 sección 6, la cual expresa acerca los efectos de los transitorios en sistemas de distribución de energía o en equipos de uso final, nos dice que los efectos pueden ser no observables, obvios o pueden causar daños severos. Cuando existe la ausencia de una adecuada protección en la red eléctrica y cambios continuos de equipos, demuestran que esos equipos no eran inmunes a niveles de transitorios, y en algunos casos que no existen daños severos en los equipos o pérdidas de función, pero sin embargo las consecuencias a largo plazo es la degradación de componentes [12].

El aumento y disminución constantemente de voltaje producidas por el encendido y apagado de motores, ocasionan que el software sufra paros involuntarios y además severos daños principalmente en los circuitos electrónicos, el aumento de voltaje momentáneo debidos a cambios de cargas eléctricas, los cortes que son generados por la empresa eléctrica debidos a fallas e interruptores, el descenso de un rayo en las líneas de tensión, son factores que influyen en gran escala a la producción de daños en todos los circuitos electrónicos y además aportan a la presencia de armónicos que ocasionan la interferencia en el sistema informático [3].

Existen perturbaciones que no son inmediatamente detectables y ocasionan daños en los equipos dependiendo del diseño de sus componentes o software, en ciertos casos la información puede ser autorecuperable, pero en otros ámbitos no suele ser recuperable, y que a menudo requieren la intervención de un operador para la programación de las acciones automáticas que hayan sido desprogramadas, estas perturbaciones dependen de su grado de afección si son de grado menor o mayor.

- **Menor:** Se dice que la perturbación posee un menor grado de afección, cuando las pérdidas de datos dentro de la red informática son temporarias [12].
- **Mayor:** Se dice que la perturbación tiende a ser de grado mayor, cuando la operación de los equipos se torna temporalmente defectuosa o en su totalidad, las placas electrónicas sufren algún tipo de daños como, el encontrarse con circuitos quemados, estas consecuencias incluyen la posibilidad de que los equipos sujetos ante la presencia de un transitorio podrían causar daños a su alrededor principalmente explosiones [12].

Al existir un aumento o disminución de voltaje en la red eléctrica, puede ocasionar que los equipos que trabajan con voltaje en corriente continua, se reinicien o bien se quemen, puesto a que funcionan con valores regulados de voltaje, como por ejemplo un valor de voltaje de 12V DC en un equipo electrónico este valor equivaldría a 1 lógico para su correcto funcionamiento, pero al momento de la presencia de una disminución de voltaje este valor de 12V ya no tendría su valor real y contaría con un valor menor, y por ende ya no equivaldría a 1 lógico si no que tendría un valor diferente de uno o bien podría llegar a cero, llegando a apagarse el equipo u ocasionar errores de datos, especialmente si ocurre durante el período de adquisición de información. Por lo tanto si la contaminación es mayor los daños también aumentarían, puesto que los equipos de conversión de voltaje de corriente alterna a corriente continua se degradan rápidamente, llegando hasta causar pérdidas totales de datos y del sistema en el ejemplo de la figura 1.24 [7], se puede observar claramente la variación en el valor de la señal al existir una disminución de voltaje.

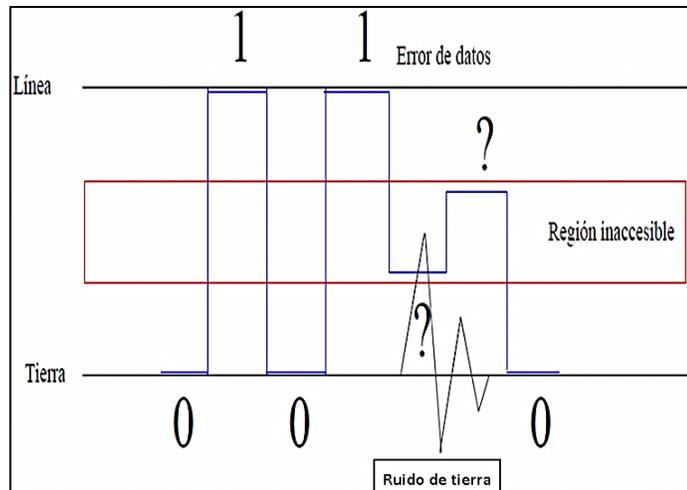


Figura 1.24: Ejemplo de error de datos por de causa de disminución de voltaje.
Fuente: [7] S. Ramírez Castaño y . E. A. Cano Plata, *calidad del servicio de energía eléctrica*.

Los transitorios en muchas ocasiones no son palpables a simple vista pero si suelen provocar múltiples daños ya sean inmediatos o paulatinos en los sistemas eléctricos.

Dependiendo de su magnitud las transitorios se tornan destructivos y degradativos.

1.4.1. Transitorios destructivos

Los transitorios destructivos suelen aparecer como resultado de una falla drástica ocasionando incendios, explosiones o quemaduras en los componentes de los equipos, son evidentes cuando existen descargas atmosféricas que son la principal causa de su generación [11].

1.4.2. Transitorios degradativos

Este tipo de transitorios presentan un bajo nivel impulso pero de mayor frecuencia de generación, disminuyen la vida útil de los equipos e incrementa las pérdidas de producción debido a paradas de máquinas no programadas, ya que suelen ocasionar un mal funcionamiento en los equipos y generan reinicio y pérdidas importantes de datos.

Los efectos más comunes producidos por este tipo de transitorios [3], son los que a continuación se mencionan:

- Recalentamiento en los conductores.
- Disminuye la vida útil de los equipos.
- Operación errónea de los sistemas.
- Incendio.

Se torna de gran importancia el tener en cuenta los daños que ocasionan la presencia de los transitorios, ya que dentro de la industria los más afectados siempre resultan ser los sistemas de baja sensibilidad frente a cambios bruscos de voltaje o corriente, como los equipos electrónicos, ya que estos son severamente afectados generando serios daños a los sistemas informáticos [18].

Se generan daños como:

- Pérdida de archivos.
- Daños severos en equipos electrónicos.
- Caídas del sistema operativo.

1.4.3. Causas de la presencia de transitorios

Los transitorios, el ruido y demás inconvenientes anteriormente mencionados afectan, en gran manera a los equipos electrónicos si no llegan a ser mitigados. En la tabla 1.5 [13] que es mostrada a continuación se mencionan algunas de las causas más comunes que genera la presencia de los fenómenos transitorios.

Tabla 1.5: Causas de la presencia de fenómenos transitorios.

Destrucción	En conexiones de terminales de los componentes y en uniones semiconductoras. En placas o tarjetas de circuitos electrónicos. En elementos electrónicos de potencia.
--------------------	---

Mal funcionamiento	Principalmente en los dispositivos electrónicos. Información errónea en computadoras, PLC's, etc. Errores de recepción y transmisión de datos en los sistemas informáticos.
Envejecimiento prematuro	En equipos sensibles expuestos continuamente a su presencia experimentando la degradación de su vida útil de funcionamiento.

1.4.4. Efectos de la presencia de transitorios

Es apropiado considerar una inversión al costo de la protección del sistema, cuando las consecuencias de una falla representan en gran medida una pérdida económica, tomando en cuenta la posibilidad efectiva de una falla causada por la presencia de los transitorios de gran magnitud, siendo cualquier anomalía la causa de su generación.

Los efectos que producen la aparición de los fenómenos transitorios pueden ser varios como por ejemplo:

- Un punto latente de falla de gran importancia, es que los equipos que suelen estar sujetos a la presencia de transitorios de un bajo nivel de voltaje, que generalmente no causan daño operacional instantáneo en los quipos electrónicos, pero si puedan generan un daño paulatino en sus componentes internos [18].
- Fallas de pérdidas en el procesamiento de información que en algunos casos suelen ser recuperados por software o que necesariamente se requiere de la intervención del personal para restaurar la operación.
- Mal funcionamiento del equipo o un serio daño de algún componente interno que lo conforma, requiriendo necesariamente su reemplazo y ocasionando la indisponibilidad del equipo.
- Daños consecuentes o paros indispuestos a terceros equipos que fueron provocados a causa de un transitorio hacia un primer equipo inicialmente, y que sus errores de procesamiento o daño, provocaron que estos terceros equipos, sufran también fallas o queden indispuestos.

1.4.5. Presencia de transitorios en la red de datos

La presencia de transientes o transitorios en la red de datos pueden causar daños muy severos y en muchos de los casos la destrucción misma de cargas electrónicas, además de una mala operación en sistemas informáticos como problemas asociados en el software, debido a la utilización de copiadoras, e impresoras láser, el sistema informático será víctima de pérdida de información, errores de datos [4], daño en las infraestructuras, afección principalmente a la productividad diaria, y en muchos de los casos hasta la generación de estrés. Los efectos más comunes de la presencia de transitorios se muestra en la tabla 1.6 [2-4][13].

Tabla 1.6: Efectos de la presencia de transitorios.

Destrucción de la información	Con la simple aparición de un transitorio de bajo nivel en el sistema se puede provocar la pérdida de información confidencial o financiera, sin lograr muchas veces el acceso a su recuperación.
Daño en la infraestructura	Los daños en la infraestructura de la red de datos, pueden producirse cada vez que exista un aumento en el valor del voltaje o corriente, ya que estos aumentos permiten la reducción de la vida útil de equipos que son usados principalmente en las redes informáticas como, laptops, servidores, ordenadores, entre otros.
Afección a la productividad y generación de pérdidas	Los problemas eléctricos de diversas magnitudes causados por la presencia de transientes, muchas de las veces interrumpen la continuidad de operaciones diarias dentro de las compañías y también afectan en gran manera a la productividad y con esto a la generación de ingresos, debido a que se pierde material o las máquinas detienen sus operaciones por averías de cualquier equipo que forma parte de la productividad, y necesariamente debe estar sin operar para proceder a sus necesarias reparaciones, esto ocasiona importantes pérdidas en la industria debido a la duración del tiempo invertido en reparación o cambio de cada máquina afectada.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LA MALLA A TIERRA

En este capítulo se trata conceptos acerca del sistema de puesta a tierra, además de los análisis y mediciones realizadas a las mallas actuales diseñadas en la entidad que fueron de gran aporte, con lo que se pudo conocer el estado y con ello poder rediseñar una nueva malla de protección a tierra usando normas establecidas, debido a que las actuales no cuentan con ningún tipo de normas en su diseño.

2.1. Sistemas de puesta a tierra

Un sistema de puesta a tierra hace referencia a la conexión que existe entre cables de unión de tierra con electrodos enterrados en un terreno, que comprenden la protección completa o simplemente de una parte del circuito eléctrico [21].

Un sistema a tierra se desarrolla con el fin de evitar la filtración de altos niveles de sobrecorrientes hacia el circuito, donde estos niveles puedan causar daños principalmente a la salud del personal que labora en la industria, y además afectar el funcionamiento de los equipos [22], ya que ayudan limitando las sobretensiones y sobrecorrientes eléctricas, que son ocasionadas por diversos factores como descargas atmosféricas, transitorios en la red o algún contacto no intencionado en las líneas de alta tensión. El sistema de puesta a tierra ofrece mayor seguridad al personal y al equipo, conduciendo las corrientes eléctricas de falla a través de un camino de baja impedancia [19]. Un sistema de puesta a tierra adecuado evita gastos incurridos por heridas o muerte al personal [29], reparación o reemplazo de equipos y además cese de operaciones del sistema.

Un diseño de puesta a tierra se lo realiza en función de:

- La resistividad del terreno.
- El tipo de material de los electrodos.
- Los Límites de voltajes establecidos para protección de los equipos.
- Nivel de resistencia total de la malla requerido.

Estos valores deben ser considerados por las normas nacionales e internacionales establecidas, los propósitos principales de un sistema de puesta a tierra son:

- Limitar la presencia de sobrevoltajes que sean ocasionadas debido a la unión accidental entre líneas que conduzcan un alto nivel de voltaje [28].
- Proveer baja diferencia de voltaje, con el fin de proteger al personal de riesgos de electrocución ante la presencia de un coche eléctrico entre diferentes estructuras [26].
- Transportar a tierra corrientes elevadas que se generen ya sea por fallas en el sistema o por descargas atmosféricas, de manera que se pueda evitar la presencia un posible incendio debido a equipos diseñados con material volátil [28].

La puesta a tierra de equipos sensibles como los de procesamiento de información que cuentan con líneas de comunicación y de datos, es primordial su implementación, puesto que las líneas que transmiten información generalmente conducen señales de alta frecuencia [29]. Las razones principales de puesta a tierra son:

- Seguridad del personal.
- Protección de los equipos.
- Operación óptima de los equipos.
- Razones económicas.

Para el diseño de una óptima protección a tierra se debe tomar en cuenta los principales factores que influyen en el valor de su diseño, ya sea el tipo de electrodos a usar, así como el conductor de unión de tierra, el tipo de unión y además de las características que posee el suelo en el cual será instalado.

2.1.1. Características eléctricas del suelo

La resistividad que ofrece el suelo es uno de los parámetros que más influye en el diseño del sistema de puesta a tierra, ya que por medio de este valor se puede saber el nivel de conducción de corriente que tiene el suelo, generalmente por naturaleza no posee la

facilidad de conducir electricidad, puesto que muchas veces está compuesto de una gran cantidad de roca o arena que ayudan a elevar el valor de su resistividad [21][40].

2.1.1.1. Factores que influyen en la resistividad del suelo

El tipo de grano que está compuesto el suelo, la retención de agua, el cambio climático, el espesor y la combinación de diversos tipos de capas, implican cambios notables en la resistividad del suelo, los factores que influyen drásticamente en la variación de la resistividad son principalmente la compactación y salinidad, humedad y temperatura [21][25].

2.1.1.1.1. Compactación y salinidad

La compactación del terreno altera el valor de la resistividad, debido al grado de unión de los granos por efecto de la gravedad, ya que si se encuentra más compacto, menor resistividad tendrá y existirá una circulación de corriente de falla más fluida, pero cuando el terreno no se encuentra compacto existen espacios en el terreno que impiden que la corriente eléctrica fluya a través de ella. El contenido de sales también ocasiona una menor resistividad al terreno, debido a que absorbe la humedad que contiene el suelo y al mezclarse con el agua se crea una mayor conducción de corriente [21].

2.1.1.1.2. Humedad y temperatura

La humedad y temperatura del terreno también influyen en gran manera en el valor de la resistividad del suelo, ya que si el suelo posee mayor humedad entonces más baja será el valor de la resistividad, y mejorará notablemente la conductividad, pero si se presenta lo contrario teniendo un suelo seco, entonces se obtendrá un aumento en la resistividad. En otro ámbito la temperatura afecta a la humedad del terreno [21], al contar con temperaturas bajas la resistividad llegaría a elevarse, debido a que la cantidad de agua en estado de

congelación aumentaría, y se imposibilita el movimiento de los electrolitos, que son los que influyen en la resistividad del suelo, y lo contrario ocurre ante la presencia de temperaturas altas [40].

2.1.1.2 Factores que ayudan a disminuir la resistencia del terreno

La resistividad del suelo se puede mejorar simplemente con el uso de materiales que permitan la disminución de la resistividad del suelo, siempre que el suelo no presente una baja resistividad por naturaleza propia, generalmente se suele aplicar sales, geles o abonado electrolítico, que ayuden a obtener la disminución de la resistividad necesaria, los materiales que suelen emplearse principalmente son; bentonita, marconcita y yeso, ver tabla 2.1 [23][25][26].

Tabla 2.1: Características de los materiales que ayudan a la disminución de la resistencia del terreno.

Bentonita	Es un tipo de arcilla que se encuentra en forma natural, que contiene un nivel de pH de 8-10, no es corrosiva, cuenta con una baja resistividad de alrededor de $2.5\Omega m$, es usada en lugares húmedos debido a que absorbe una gran cantidad de humedad de alrededor del terreno y así llega a expandir su volumen, no es efectivo su uso en lugares extremadamente secos puesto que puede resquebrarse y no se obtiene un adecuado contacto con el electrodo.
Marconcita	Provoca poca corrosión y baja resistividad de $2\Omega m$, es un concreto mezclado con carbonáceo y tiene forma cristalina de carbón y pese a estar en lugares muy secos mantiene su humedad.
Yeso	Su nombre químico es sulfato de calcio, se lo encuentra en forma natural tiene una baja resistividad, alrededor de 5 a $10\Omega m$ y un nivel de pH de 6.2 y 6.9m, generalmente se usa como material de relleno.

2.1.2. Resistividad del terreno (ρ)

La resistividad del terreno se mide en (Ω -m), y depende de algunos parámetros prácticos [19][27]:

- Tipo de terreno.
- Temperatura y estación del año.
- Contenido de humedad.
- Contenido de sales.

En la tabla 2.2 [21], que es presentada a continuación se muestran los diversos valores de resistividad que varían conforme al tipo de suelo presente.

Tabla 2.2: Resistividad para distintas clases de terrenos.

Naturaleza del terreno	Resistividad en Ω-m ym^2
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceo	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1500 a 10000
Granitos y gres muy alteradas	100 a 600

En la figura 2.1 [26] se observa un ejemplo de la variación de la resistividad del terreno en función del aumento de sales, temperatura y humedad.

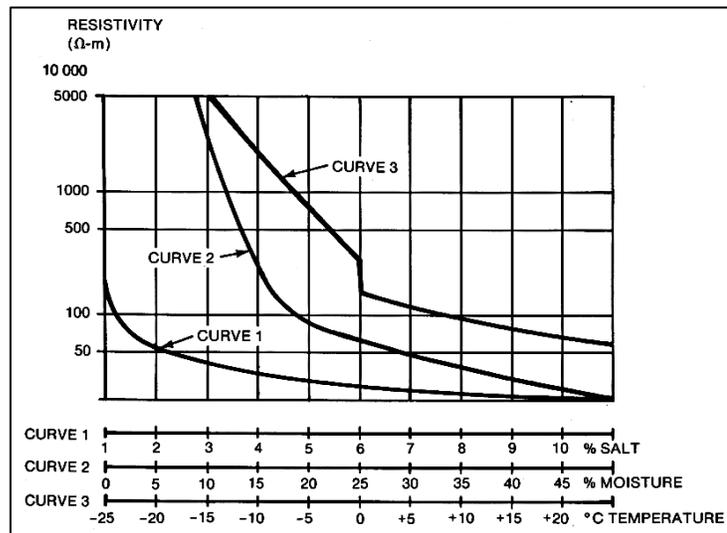


Figura 2.1: Efecto de la Humedad, temperatura y sales en la Resistividad de suelo.

Fuente: [26] IEEE Std. 80, Guide for Safet.,

Con la medida de la resistividad del terreno se puede obtener el lugar más óptimo para la implementación de la red de tierra, además se puede obtener fácilmente el tipo de materiales a usarse en el diseño de la protección a tierra.

La resistividad del suelo puede ser obtenida usando diversos métodos, pero los más comunes son conocidos como el método de Wenner y de Schlumberger que se obtienen por medio del uso de un telurímetro.

2.1.2.1. Método de Wenner

Para este tipo de medición se utiliza cuatro picas H, S, ES, E, que son colocadas en línea, y enterradas a una misma profundidad, donde las picas H y E serían picas de corriente, S y ES picas de potencial, las mediciones dependerán de la distancia entre cada una de ellas y de la resistividad del terreno, mas no depende del tamaño y del material de las picas [26][40]. Con el uso del método de Wenner se introduce una intensidad de corriente (I) a través de la tierra, por medio del telurímetro a través de las picas H y E, mientras que

obtendremos una diferencia de potencial entre las picas S y ES [19]. La razón voltaje sobre corriente $\left(\frac{V}{I}\right)$, es conocida como la resistencia aparente. En la figura 2.2 [34] se puede apreciar la instalación esquemática de las picas, donde la resistividad aparente (ρ) se da por medio de (2.1), con una distancia menor y de igual valor entre las tres picas y además tomando en cuenta la profundidad de enterrado [26][27].

$$\rho = \frac{4\pi R d}{1 + \left(\frac{2d}{(d^2 + 4p^2)^{0.5}}\right) - \frac{d}{(d^2 + p^2)^{0.5}}} \quad (2.1)$$

Dónde:

d → distancia entre picas en m.

p → profundidad enterrado de las jabalinas en m.

R → lectura de la resistencia en el telurímetro en Ω .

π → valor constante 3.1416.

Si las tres distancias tienen el mismo valor y la profundidad de enterrado es despreciable en comparación con la distancia entonces (2.1) se ve simplificada en (2.2) [26][27]:

$$\rho = 2\pi R d \quad (2.2)$$

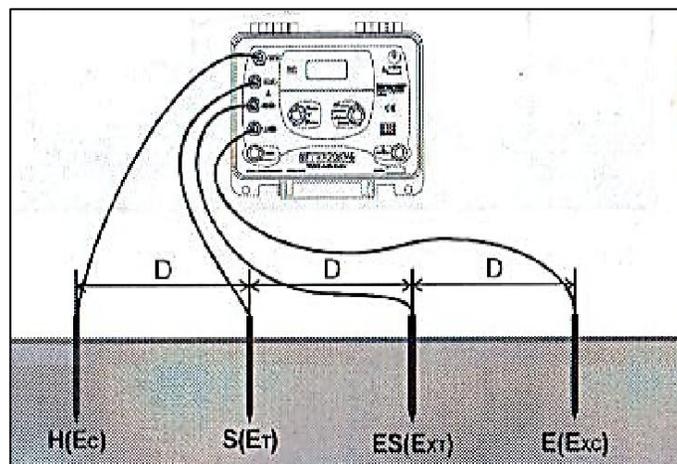


Figura 2.2: Disposición esquemática de los electrodos para el método de Wenner.

Fuente: [27] IEEE Std. 81, "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System"

2.1.2.2. Método de Schlumberger

Está basado en el método de Wenner, debido a que de igual manera se emplean cuatro picas, pero la diferencia está en que en este método la separación (a) entre las picas centrales se mantiene, y únicamente se varia la distancia (L) de las picas exteriores [27], ver ejemplo de la figura 2.3 [34].

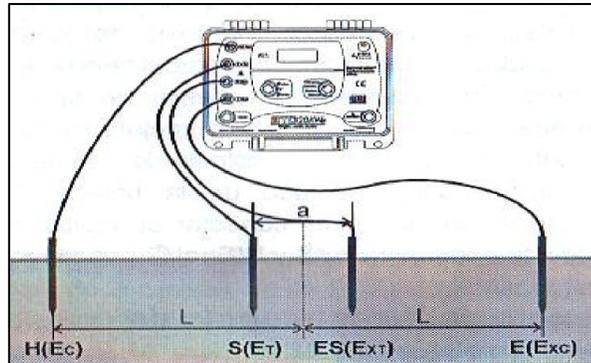


Figura 2.3: Método Schlumberger.
Fuente: [34] MEGABRAS, manual de uso MTD-20KWe.

La resistividad es calculada usando (2.3) [26]:

$$\rho = (2\pi R)\left(\frac{a}{2}\right)\left(L^2 - \frac{1}{4}\right) \quad (2.3)$$

Dónde:

a → distancia entre jabalinas internas en m.

L → distancia desde las jabalinas interiores hasta las exteriores en m.

R → lectura de la resistencia en el telurímetro en Ω .

2.1.3. Resistencia de puesta a tierra

La resistencia de puesta a tierra suele ser medida con ayuda del telurímetro. Este dispositivo ocupa los tres terminales con el fin de medir la resistencia de tierra y para esto se clava en el suelo dos picas auxiliares (E3) y (E2), en línea con el electrodo o varilla de la

mallas (E1) de puesta a tierra a ser medida. Entre el electrodo y la pica más distante el telurímetro inyecta una corriente alternada, y entre el electrodo a medir y la pica auxiliar central se toma la tensión existente, ver ejemplo en la figura 2.4 [34], se obtiene un circuito equivalente a la ley de ohm de voltaje sobre corriente, para obtener el valor de la resistencia.

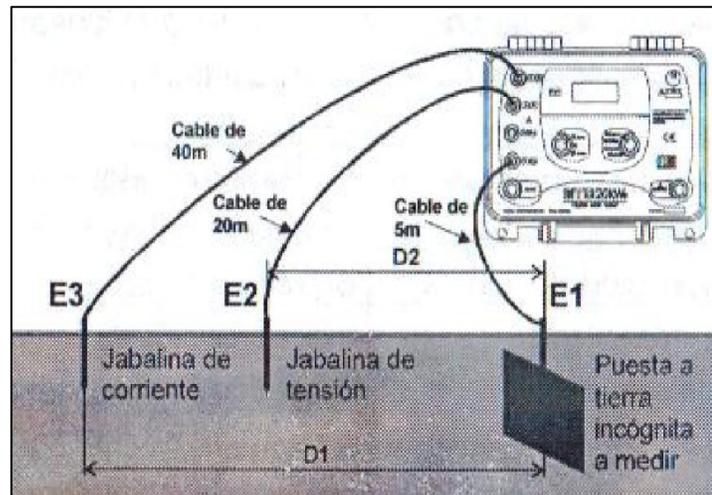


Figura 2.4: Medición de la resistencia de puesta a tierra con dos picas.
Fuente: [34] MEGABRAS, manual de uso MTD-20KWe.

La figura 2.4 nos ayuda apreciar la conexión esquemática del telurímetro para realizar la correcta medición de la resistencia de la puesta a tierra usando dos picas.

2.1.3.1. MÉTODO DE CAÍDA DE POTENCIAL

Este tipo de método consiste básicamente en que la corriente (I) que genera el telurímetro se inyecta por el electrodo o malla de tierra (Ee), y se regresa por el electrodo auxiliar de corriente (Ec), que se encuentran espaciados a una distancia (d), al pasar la corriente por la tierra se va a producir una caída de voltaje (V) entre (Ee) y (Ep) [24][25] y finalmente se halla la resistencia desconocida por medio de la ley de ohm voltaje sobre corriente. Dónde el valor del voltaje, sería el valor tomado entre el electrodo (Ee) y (Ep), y el valor de la corriente, sería el valor inyectado por el telurímetro [40].

2.1.4. Barra equipotencial

La barra equipotencial es la que se usa con el fin de poder unir todos los cables de tierra que son provenientes de los diversos equipos electrónicos o eléctricos, y consta básicamente de una simple barra de cobre que posee varias perforaciones.

Cada conexión a la barra debe estar cubierta con grasa antioxidante con el fin de evitar que su oxidación, y en cada perforación de la barra únicamente se puede albergar a un solo cable. En caso de no contar con un espacio requerido disponible en la barra actual, se puede adicionar otra barra pero deben interconectarse ambas entre sí, mediante el uso de un conductor de cobre de calibre generalmente no menor al número 2 AWG.

La barra debe ser aislada del soporte por medio de accesorios que eviten la continuidad eléctrica entre ellas [25][29].

2.1.5. Electrodo

Los electrodos disminuyen la resistencia de la puesta a tierra y transmiten la corriente de falla a tierra de manera segura, los tipos de electrodos suelen encontrarse de forma artificial, o ya sean constituidos por barras, tubos, cables y otros elementos metálicos usados para su aplicación [29].

2.1.5.1. Tipos de electrodos

Los electrodos deben estar diseñados de un material que posea una buena conductividad eléctrica y sobretodo que no tiendan a oxidarse con facilidad. Generalmente los materiales aplicados para su fabricación son el cobre, el acero inoxidable, el acero galvanizado, la tabla 2.3 [21][24] muestra los tipos de electrodos que existen.

Tabla 2.3: Tipos de electrodos.

Electrodos de tipo natural	Dentro de los electrodos naturales se tiene por ejemplo las tuberías metálicas de agua, que se usan en el caso de tener al menos 3m en contacto directo con la tierra y que se encuentren eléctricamente continuas hasta el punto de conexión, también se tienen las estructuras metálicas de los edificios, que tienen una impedancia a tierra baja.
Electrodos de tipo de varilla	Se encuentran disponibles en acero revestido de cobre o cobre sólido, según la norma IEEE 142-2007 la cual habla acerca de la manera de conexión a tierra en sistemas comerciales e industriales, nos dice que las varillas son fabricadas con diámetros de 9.53, 12.7, 15.88, 19.05, y 25.4mm, y sus longitudes van desde 1.5m hasta 12.2m, este tipo de electrodos deben ser enterrados al menos a 2.44m de su longitud. En ciertos casos las varillas se suelen enterrar dobladas, esto cuando se cuenta con terrenos rocosos. Si se encuentra una roca a menos de 2.40 m, estos electrodos se pueden enterrar en diagonal con un ángulo de que no supere los 45°.

El cálculo de la resistencia de una varilla está dado por la fórmula de Dwight ver (2.4) [24][26].

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \left(\ln \left(4 \cdot \frac{L}{r} \right) - 1 \right) \quad (2.4)$$

Dónde:

$\rho \rightarrow$ resistividad del terreno en $\Omega \cdot m$.

L → largo de la varilla en m.

r → radio de la varilla en m.

2.1.5.2. Uso de varios electrodos

Cuando se procede a enterrar dos electrodos que contengan igual diámetro y longitud, y que además se encuentren conectados en paralelo, para así sumar el valor de sus resistencias en paralelo [19][31], se obtendrá una reducción de la resistencia aproximadamente del 40%. Si usamos tres electrodos la reducción de la resistencia se aproximaría al 60%, y si se usa cuatro electrodos la reducción de la resistencia sería de alrededor del 66% [25].

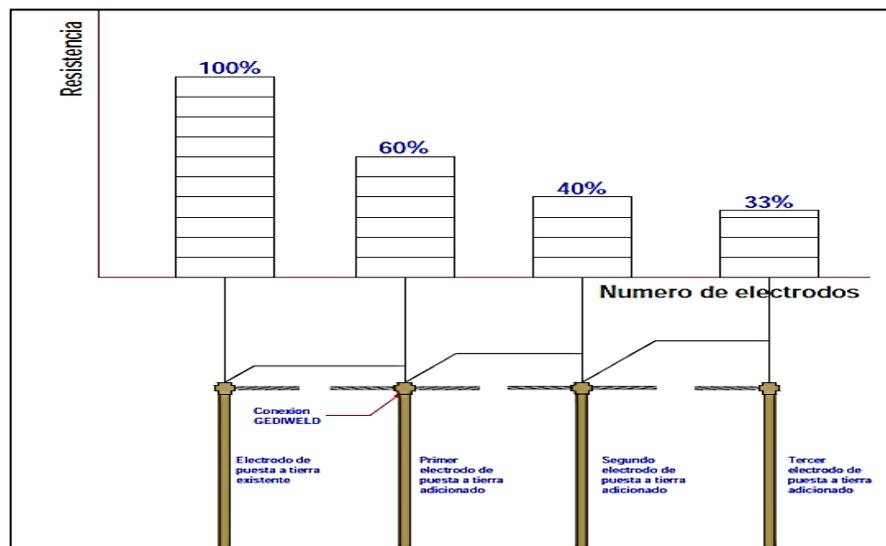


Figura 2.5: Variación de la resistencia dependiendo al número de electrodos.
Fuente: [36] Ing. G. Rojas, "MANUAL DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA."

Como se puede apreciar en la figura 2.5 [36], cuando se adicionan más electrodos al terreno la resistencia va disminuyendo en los porcentajes indicados.

En (2.5), se evalúa la resistencia de puesta a tierra con varios electrodos colocados en diversas formas, esto según la IEEE 142-2007 [24].

$$R = \frac{R_1}{N} F \quad (2.5)$$

Dónde:

R1, resistencia de un solo electrodo.

N, número de electrodos.

F, factor multiplicativo tomado de la tabla 2.4 [24].

Tabla 2.4: Valores de factor multiplicativo F con respecto al número de electrodos.

Número de electrodos	Factor multiplicativo F
2	1.16
3	1.29
4	1.36
8	1.68
12	1.80
16	1.92
20	2.00
24	2.16

2.1.5.3 Incremento de la profundidad de enterramiento de una varilla en suelo no uniforme

En suelos que contienen varios tipos de capas con diferente resistividad, se puede mejorar la resistividad simplemente incrementando el valor de la longitud de la varilla enterrada, por ejemplo en un suelo no uniforme que contenga tres tipos de capas diferentes, teniendo así que las primeras dos capas poseen una resistividad relativamente alta en comparación a la última, y si la varilla se encuentra enterrada a la profundidad de las dos primeras capas, su resistencia va a ser alta debido a que se encuentra en contacto con las capas de mayor resistencia, pero si su longitud supera estas capas a fin de obtener contacto con la última capa que posee menor resistencia, su resistencia se verá disminuida en relación al contacto que tenga con esta última capa [21].

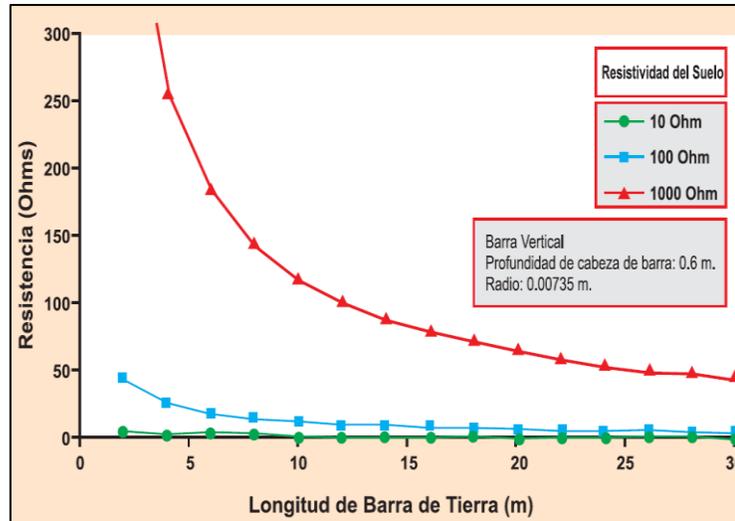


Figura 2.6: Resistencia vs longitud de barra.

Fuente: [23] N. M. O. Ingeniero Civil Electricista, *Sistemas de Puesta a Tierra*.

La figura 2.6 [23] muestra la relación que se obtiene al aumentar la longitud de la varilla, con la disminución de la resistencia. Debido a que la varilla se entierra a más profundidad, y tiene contacto con la capa más profunda que contiene la menor resistividad.

2.1.6. Conductor de puesta a tierra

El conductor de puesta a tierra se encarga de unir el sistema exterior con la barra equipotencial, para de ahí ser distribuido a los equipos [29]. Este conductor debe ser fabricado de material de cobre, aluminio o aluminio revestido de cobre, de preferencia se suele usar el cobre [26], además no debe contener empalmes y suele dimensionarse tomando en cuenta la cantidad de amperios que van a fluir por él, cuándo exista la presencia de una corriente de falla simétrica que es la de mayor valor, tomando también en consideración el tiempo de despeje de la falla y la magnitud de temperatura que produce la circulación de dicha corriente en el conductor, posteriormente en (2.8) y (2.9) [25] se observan las ecuaciones para obtener el valor de la corriente de falla o de cortocircuito.

2.1.6.1. Calibre de los conductores de puesta a tierra

El tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra se usa teniendo en cuenta lo propuesto en la tabla 2.5 [28], según lo dispuesto en la norma NEC sección 250.66 B, la cual especifica los requisitos generales de un sistema de puesta a tierra.

Tabla 2.5: Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra.

Tamaño del mayor conductor de servicio de entrada. CONDUCTOR DE COBRE AWG/kcmil	Tamaño del conductor del electrodo de puesta a tierra. CONDUCTOR DE COBRE AWG/Kcmil
2 o menor	8
1 0 1/0	6
2/0 o 3/0	4
Mayor de 3/0 a 350	2
Mayor de 350 kcmil a 600	1/0
Mayor de 600 kcmil a 1100	2/0
Mayor de 1100	3/0

El calibre del conductor de puesta a tierra puede ser dimensionado de igual forma por medio de la tabla 2.6 [28] tomado de la NEC sección 250.122, teniendo en cuenta la cantidad de corriente que va a fluir a través del cable [28].

Tabla 2.6: Mínimo tamaño del conductor a tierra para puesta a tierra de bandejas porta cable y equipos.

Amperios	Tamaño (AWG o Kcmil) cobre	Tamaño (AWG o Kcmil) Aluminio o cobre cubierto con aluminio
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8

100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	800
5000	700	1200
6000	800	1200

2.1.6.2. Conductores de puesta a tierra para CC

En un sistema eléctrico de corriente continua ya sea trifásico y que se encuentren sus cargas distribuidas correctamente. El conductor del electrodo de puesta a tierra no debe ser menor al del conductor de mayor tamaño del suministro de energía, y en ningún caso menor al número 8 AWG de cobre o al número 6 AWG de aluminio [28].

2.1.7. Diseño de puesta a tierra tipo malla

Se conforma de electrodos y conductores enterrados a una profundidad aproximada de 0.5m de la superficie del suelo y separados a una distancia mínima de 1.8m, según la

sección 250.53 (B) de la norma NEC la cual trata todo lo referente a conexiones a tierra [28], que especifica que los electrodos y cables son colocados paralela y perpendicularmente con un espaciado mínimo igual a la longitud del electrodo.

El cable que forma la unión exterior de la malla no debe tener empalmes para evitar concentraciones de corriente, las esquinas y los cruces de los conductores de la malla deben de estar conectados entre sí [31], por medio del uso de conectores o de preferencia con soldadura exotérmica. El material de los cables empleados en las mallas de tierra debe ser elegido en base a la resistencia a la corrosión del mismo [28].

Se debe considerar el valor del diámetro y de la longitud del electrodo observando la resistividad y profundidad de las capas del terreno, la resistencia de un electrodo puede calcularse mediante (2.6) [26]:

$$R = \left(\frac{\rho}{2\pi L} \right) \left[\ln \left(\frac{8L}{d} \right) - 1 \right] \quad (2.6)$$

Dónde:

d → diámetro del electrodo en m.

L → longitud del electrodo en m.

ρ → resistividad del terreno en $\Omega \cdot m$.

La separación entre electrodos también es un factor muy importante que influye en la variación de la resistencia de la malla a tierra, ya que si se desea obtener una mayor disminución de la resistencia se deben colocar a una longitud máxima posible, tomando en cuenta la disponibilidad del terreno, cuando existe un solo electrodo con un valor de resistencia a tierra mayor que 25Ω [28], debe aumentarse un electrodo adicional.

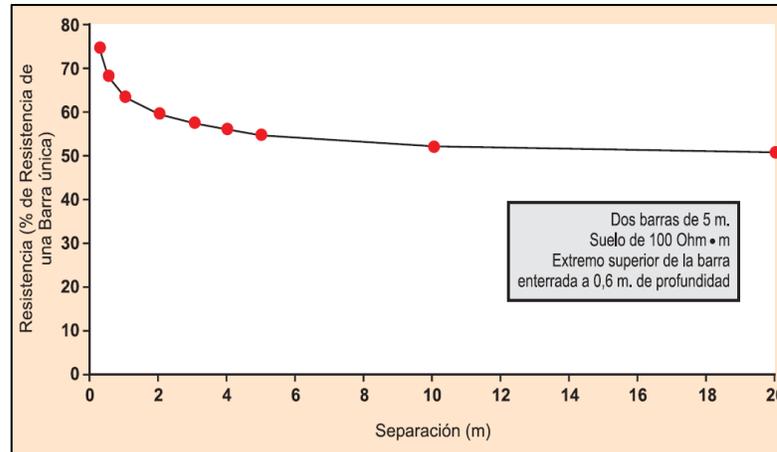


Figura 2.7: Resistencia combinada de dos Barras verticales en función de la separación entre ellas.

Fuente: [23] N. M. O. Ingeniero Civil Electricista, *Sistemas de Puesta a Tierra*.

La figura 2.7 [23], muestra cómo la resistencia total de dos varillas de 5 metros de longitud colocadas verticalmente, varía a medida que aumenta la distancia entre ellas.

Los valores máximos que debe tener la resistencia a tierra según la normativa IEEE 142-2007, la cual habla acerca de las conexiones a tierra en sistemas de potencia industriales y comerciales, nos dice que son de 1 ohm para grandes subestaciones, estaciones de generación y líneas de transmisión, entre 1 y 5ohms para subestaciones de plantas industriales, edificios y grandes instalaciones comerciales, y 25 ohm para un electrodo simple [24].

La sección del conductor de la malla a tierra según la S.E.C (superintendencia de electricidad y combustibles) norma chilena, que habla acerca de cómo realizar las instalaciones de consumo en baja tensión, nos dice que es aconsejable colocar una sección mínima de 21mm² para conductores de puesta a tierra de material de cobre [39].

El cálculo de la resistencia de puesta a tierra tipo malla con una profundidad de enterramiento de la malla entre 0.25m y 2.5m, se puede calcular a través de la fórmula de Sverak mostrada en (2.7) [26][32].

$$R = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left[1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right] \right] \quad (2.7)$$

Dónde:

L, es el producto entre el número de varillas colocadas y la longitud de las mismas, más la de la longitud del conductor enterrado en m.

A, área de la malla de puesta a tierra en m².

h, profundidad de enterramiento de la malla en m.

2.1.8. Tipos de uniones

Las uniones deben ser robustas mecánicamente, ser resistente a la corrosión y sobre todo contar con una baja resistividad, estos son factores muy importantes en el diseño de una malla a tierra [23]. El tipo de unión depende de la temperatura máxima de fusión, con esto se toma en cuenta el valor de la sección y también el tipo de cable que se debe aplicar, mismo que debe ser capaz de soportar tal cantidad de temperatura, existen varios métodos para realizar la unión de la malla, ver tabla 2.7 [25].

Tabla 2.7: Tipos de uniones.

Unión mecánica	La unión se logra por medio de pernos y por compresión hidráulica, la máxima temperatura permisible para uniones apernadas es 250°C.
Unión bronceada	Se aplica en cobres y aleaciones de cobre, la máxima temperatura permisible es de 450 °C, La unión adecuada y resistencia contra la corrosión se logra teniendo la superficie de los materiales a unir lo más limpio y plano posible.
Unión exotérmica	Proporciona una excelente unión fija, resiste en gran manera a la corrosión, efectúa conexiones usando un polvo metálico, se llena un molde de grafito, y se inicia la combustión, alcanza temperaturas de 4,000-5,000 °F.
Unión con soldadura autógena	Emplea alta temperatura y material de relleno, la máxima temperatura permisible para uniones soldadas es de 750 °C.

2.2. Normas necesarias en la investigación del trabajo

Las normas proporcionan y definen los parámetros apropiados de diseño que deben ser tomados en cuenta en todo tipo de instalaciones eléctricas con el fin de satisfacer la óptima necesidad de protección tanto para los equipos como para el personal, además explican los aspectos prácticos de como diseñar los sistemas de puesta a tierra.

Las normas que se tomaran en cuenta para el desarrollo del diseño del sistema de puesta a tierra serán la NEC artículo 250, ANSI/J-STD-607-A y la norma 80 IEEE, debido a que contienen claras especificaciones técnicas, criterios precisos y guías que sirven para asegurar que los materiales empleados en el diseño de una protección eléctrica cumplan efectivamente su función asignada, que es la de proteger tanto a personas como a los equipos, las normas IEEE, generalmente proveen ecuaciones factibles para realizar cálculos que son necesarios en la implementación.

2.2.1. ANSI/J-STD-607-A tierras y aterramientos para los sistemas de telecomunicaciones de edificios comerciales

El estándar ANSI/J-STD-607-A se publicó en Octubre del 2002, y brinda criterios basados principalmente para la protección a tierra en sistemas de telecomunicaciones y la correcta implementación de aterramiento para edificios comerciales, este estándar es basado en una actualización del estándar ANSI/TIA/EIA-607 publicado en Agosto de 1994 [33].

2.2.1.1 Barra principal de tierra para telecomunicaciones (TMGB)

La TMGB, es prácticamente el punto de conexión principal de tierra dentro de sistemas de telecomunicaciones que aloja a todos los cables que provengan desde las otras barras de tierra de telecomunicaciones.

Suele estar ubicado en el ingreso de las instalaciones, o en el interior del data center. Por lo general se suele colocar una sola TMGB por cada edificio, ubicada a una distancia la más

corta posible que una el conductor de tierra con el punto de aterramiento principal del edificio.

La TMGB está compuesta de una barra de cobre, con un espesor no menor a 0.6cm, y 10cm de ancho mínimo, su longitud es proporcionada tomando en cuenta el número de cables a colocar en ella, esta barra debe contener perforaciones [33].

El cable usado para la conexión del punto de puesta de tierra general con la TMGB es de calibre numero 6 AWG con aislamiento de color verde para su fácil identificación [33].

2.2.1.2 Barras de tierra para telecomunicaciones (TGB)

La TGB también es una barra de cobre, que también contiene perforaciones, y que debe tener como mínimo 5cm de ancho, 0.6cm de espesor, y su longitud debe ser adecuado para alojar a todos los cables que lleguen desde los equipos de telecomunicaciones cercanos y al cable que sirve de interconexión con el TMGB. Si existe un adecuado aterrizamiento en las estructuras de los edificios, que es fácil de acceder, la TGB puede ser conectada a estas usando un conductor número 6 AWG [33].

2.2.1.3 Backbone de tierras (TBB)

El TBB se extiende desde la TMGB y cada una de las barras de TGB con el fin de lograr su conexión. El TBB es un conductor con aislamiento instalado dentro de las canalizaciones de telecomunicaciones, debe poseer un calibre mínimo número 6 AWG y no debe encontrarse empalmes en ningún punto de su recorrido [33].

2.2.2. Norma NEC

Fue publicada en 1897, se modifica según las diferentes ediciones, es un código usado para instalaciones eléctricas, protección de vidas humanas, la protección de los equipos, y un

aprovechamiento eficiente de la energía, además sirve como guía confiable para ejecutar e inspeccionar que las instalaciones eléctricas se encuentren en un buen estado. El código NEC provee los requisitos eléctricos de seguridad, para evitar problemas futuros. La sección 250 describe específicamente los sistemas de puesta a tierra y unión de los cables y varillas [28][30].

En sus apéndices se toma en cuenta las siguientes acotaciones.

- Requisitos generales para la puesta a tierra.
- Conexión del equipo de puesta a tierra y de conexión equipotencial.
- Puesta a tierra de circuitos y sistemas.
- Sistema del electrodo de puesta a tierra y conductor del electrodo de puesta a tierra.
- Puesta a tierra del cable, encerramientos y canalizaciones de la acometida.
- Métodos de puesta a tierra del equipo.

2.2.3. Norma IEEE

La norma IEEE será usada con la finalidad de obtener fórmulas y gráficas para los cálculos necesarios en el diseño de la puesta a tierra, las versiones que se usaran son las siguientes:

- IEEE practice for grounding of industrial Power Systems, IEEE green book, Std 141-1993.
- ANSI/IEEE Std.80-1986, IEEE Guide for safety in AC Substation Grounding.
- IEEE Grounding of Industrial and Commercial Power Systems, IEEE green book, Std. 142-2007.
- IEEE Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems, IEEE Std. 242-2001.

2.2.4. Norma Ecuatoriana de construcción NEC 10

La norma ecuatoriana NEC 10, será aplicada debido a que provee especificaciones de seguridad que deben disponer las instalaciones eléctricas en bajo voltaje, especificaciones

que será de gran aportación en el diseño de la puesta a tierra de la entidad, la parte 9-1 de la NEC 10, especifica las instalaciones electromecánicas instalaciones eléctricas en bajo voltaje [20].

2.3. Pruebas de la calidad y funcionamiento

Las pruebas de calidad y funcionamiento se procedieron por medio de revisiones totales a toda la trayectoria del cable de conexión a tierra entre la malla actual instalada en la entidad y los equipos eléctricos conectados a ella.

2.3.1. Pruebas de calidad

Para obtener conocimiento acerca de la calidad que posee la malla a tierra se procedió a realizar un seguimiento del conductor a tierra que sirve de unión entre la malla y el circuito eléctrico que es protegido por la misma.



Figura 2.8: Cable de unión de malla desconectado¹

¹ FUENTE: Propio del autor.

Los resultados fueron sorprendentes al constatar que el cable se encontraba desconectado y situado en el interior del data center, más que únicamente un extremo del cable de unión se conectaba a la malla.

Se pudo observar además que en el tablero de distribución secundario trifásico que se encuentra instalado en el interior del data center, se conecta el conductor de unión de la malla para protección a tierra al borne del neutro en un extremo, y el otro extremo se encuentra desconectado a la intemperie, ocasionando que pueda llegar a tener contacto con algún otro cable que este energizado, ya que el cable es desnudo y cuenta con la presencia de más cables de energía eléctrica a su alrededor conectados al mismo tablero de distribución, tal error se observa en la figura 2.9.

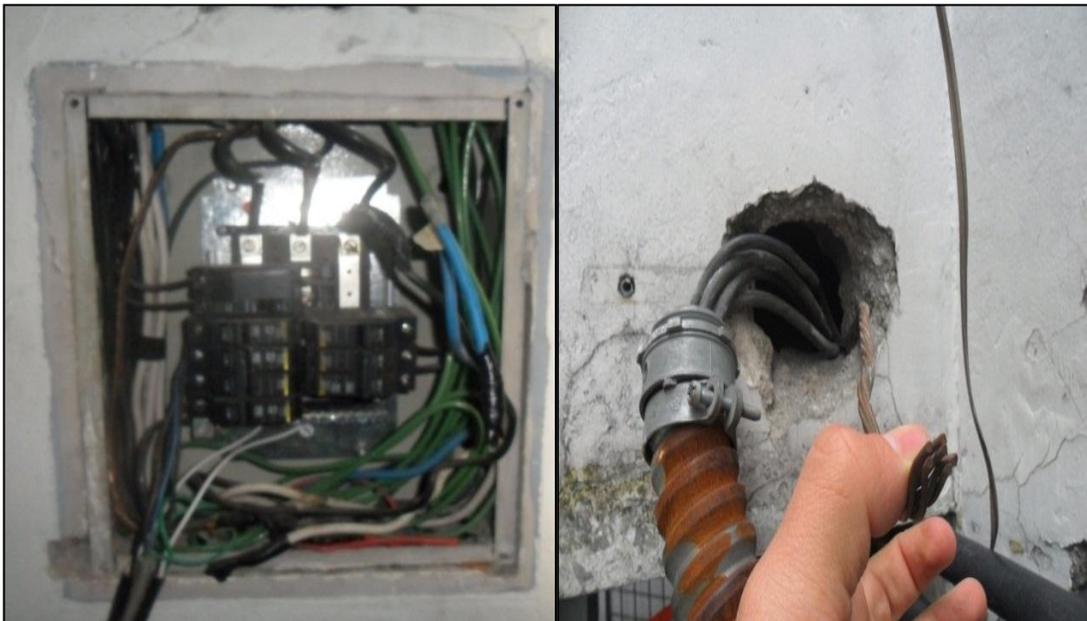


Figura 2.9: Cable de conexión a tierra sin contacto con la malla de protección.²

Otro inconveniente que se pudo observar, es que los equipos albergados en el rack, no cuentan con la debida conexión a tierra para su óptima protección y además que un solo cable proveniente del rack se une al cable de tierra encontrado en el tablero de distribución instalado en el interior del data center, unido con un empalme que no cumple ninguna norma de protección, esto se puede observar en la figura 2.10.

² FUENTE: Propio del autor.



Figura 2.10: Unión de cable de tierras sin considerar norma adecuada³

En el segundo tablero de distribución bifásico instalado en el interior del data center, también tiene una conexión a tierra que sale del borne del neutro, pero no contiene ninguna unión en el otro extremo del cable únicamente se encuentra ocupando espacio.

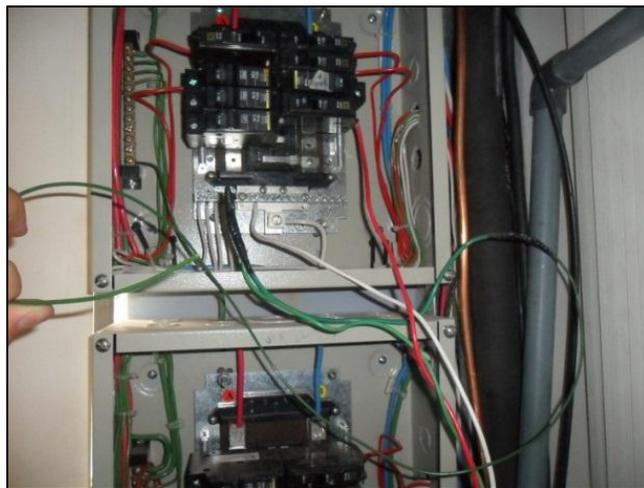


Figura 2.11: Cable de conexión a tierra desconectado.⁴

El tener cables sin unión en ambos extremos y expuestos a la intemperie, se genera un riesgo que pueda ocasionar algún cortocircuito, pudiéndose unir con otros cables energizados, y que cualquier personal que ingrese al data center pueda ser proclive a un riesgo de electrocución.

³ FUENTE: Propio del autor.

⁴ FUENTE: Idem.

Los UPS's que proveen energía a los equipos del rack y computadoras de la entidad, tampoco cuentan con una efectiva conexión a tierra, únicamente se encuentran los cables de conexión para la protección a tierra que provienen de los mismos, pero no tienen unión alguna a la malla de tierra.



Figura 2.12: UPS sin conexión de protección a tierra.⁵

La calidad de la malla de la entidad no cuenta con las normas respectivas, empezando con el tratamiento del terreno usado para obtener una disminución de la resistividad del mismo, ya que en lugar de usar un material de buena calidad que ayude efectivamente a la disminución de la resistividad, como puede ser el uso de bentonita o yeso, etc., se ha procedido a colocar carbón de manera artesanal.

Tampoco se respetan las distancias entre electrodos, ya que cada uno se encuentra separado con una valor de 50cm lateralmente, en la parte posterior y frontal de la malla se tiene una separación de 75cm, el cable que sirve de unión para formar la malla con los electrodos es de cobre desnudo con un calibre número 8 AWG, en la figura 2.13, se puede observar cómo se encuentra diseñada la malla de protección a tierra exclusiva para el data center.

⁵ FUENTE: Propio del autor.



Figura 2.13: Diseño de la malla a tierra actual sin debidas normas establecidas.⁶

La unión entre la varilla y el cable está realizada por medio de unión de tipo compresión de manera no efectiva, puesto a que no se encuentran unidos en su totalidad dejando espacio entre el cable y la varilla.

La figura 2.14 ilustra la unión del electrodo con el cable de unión de la malla pudiéndose observar el espacio que existe entre el cable y la varilla.



Figura 2.14: Unión de tipo compresión sin un ajuste adecuado.⁷

⁶ FUENTE: Propio del autor.

⁷ FUENTE: Idem.

2.3.2. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento de las mallas actuales que se encuentran diseñadas en la entidad financiera COOPCCP, fueron realizadas con la ayuda del dispositivo de medición de resistencia de puesta a tierra, el EARTH RESISTANCE TESTER 382252, que es de propiedad de la empresa Construlec Cia. Ltda.



Figura 2.15: Telurímetro EARTH RESISTANCE TESTER 382252⁸

Se procedió a usar la configuración descrita en el manual de uso del dispositivo ver figura 2.16 [35].

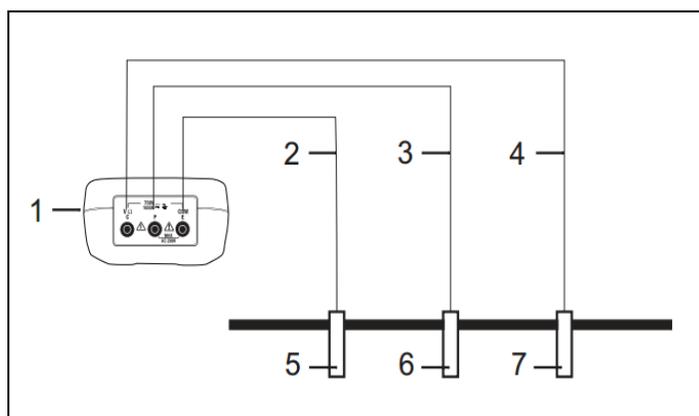


Figura 2.16: Conexión telurímetro EARTH RESISTANCE TESTER 382252.

⁸ FUENTE: Propio del autor.

Características:

1. 382252 Medidor.
2. Punta de prueba verde.
3. Punta de prueba amarilla.
4. Punta de prueba roja.
5. Tierra existente.
6. P1 pica auxiliar enterrada en el terreno.
7. C1 pica auxiliar enterrada en el terreno.



Figura 2.17: Conexión de picas y cables del telurímetro TESTER 382252.⁹

Tomando en cuenta el diagrama mostrado por el manual de uso del medidor se procedió a colocar las dos picas en el terreno, y otra punta se conectó al cable de la malla de tierra existente, con el fin de proceder con su respectiva medición.

⁹ FUENTE: Propio del autor.



Figura 2.18: Conexión de picas y cables del telurímetro TESTER 382252.¹⁰

La medición de la resistencia a tierra fue realizada usando el método de caída de potencial en dos puntos.

La figura 2.18 y 2.19 muestran la conexión entre las picas enterradas al suelo y las puntas de prueba.



Figura 2.19: Conexión del cable del telurímetro con el de conexión a tierra de la malla del data center.¹¹

La gráfica 2.19, muestra cómo está conectada la tercera punta de prueba de al cable de la tierra proveniente de la malla, para obtener el valor de la resistencia de la primera malla que sirve de protección exclusivo para el data center.

¹⁰ FUENTE: Propio del autor.

¹¹ FUENTE: Idem.



Figura 2.20: Medición del valor de resistencia de la malla a tierra para el data center.¹²

La figura 2.20, muestra el valor obtenido de la resistencia de la malla, que es de 1.58Ω , considerando que la malla se encuentra en un rango aceptable de funcionamiento pero como se pudo constatar anteriormente, la malla de tierra se encuentra diseñada artesanalmente sin respetar ninguna norma establecida que rige la distancia entre electrodos y el tipo de conductor de puesta a tierra, ya que un calibre número 8 AWG es un calibre bajo que pueda soportar en su totalidad una corriente de falla, ya que si existe la presencia de una corriente elevada de falla el cable puede sufrir quemadura y perder la efectividad de su conductividad.



Figura 2.21: Conexión del cable del telurímetro con el de conexión a tierra de la malla del circuito eléctrico.¹³

¹² FUENTE: Propio del autor.

¹³ FUENTE: Idem.

La entidad financiera cuenta con una segunda malla para protección del circuito eléctrico, esta malla no se procedió a ser descubierta para la investigación de su configuración, pero si se procedió a la respectiva medición del valor de su resistencia, por medio del cable de unión entre la malla y el circuito de protección tal como se aprecia en la figura 2.21.

El valor medido se lo realizo de igual forma con el uso del método de caída de potencial, y su valor fue de 32.7Ω , tal resultado se muestra la figura 2.22, con lo que se puede demostrar que esa malla se encuentra fuera del rango aceptable para la protección a tierra y su funcionamiento es prácticamente nulo ya que su valor debería ser inferior a 5Ω .



Figura 2.22: Medición del valor de resistencia de la malla a tierra para el circuito eléctrico.¹⁴

Cálculo de la corriente de falla que se puede suscitar en la entidad tomando en cuenta los parámetros del transformador este cálculo se lo realiza por medio de (2.8) y (2.9) [37][38]:

$$I_{sec} = \frac{KVA}{VLL\sqrt{3}} \quad (2.8)$$

El valor de la corriente en el secundario del transformador es obtenida a través de (2.8), y el valor obtenido es igual a 137.46 A.

$$I_{cc} = I_{sec} \frac{100\%}{Z\%} \quad (2.9)$$

¹⁴FUENTE: Propio del autor.

Una vez obtenida el valor de I_{sec} , se puede obtener el valor de la corriente de cortocircuito usando (2.9), con lo que obtenemos un valor resultante de 10258.6 A.

Tomando en cuenta los siguientes aspectos:

I_{sec} , corriente máxima en el secundario

I_{cc} , corriente simétrica máxima.

KVA, potencia del transformador.

VLL, voltaje en el lado de baja tensión.

Z%, impedancia del transformador.

La corriente de falla, ha sido encontrada en base a los parámetros del transformador que actualmente tiene instalado la entidad financiera COOPCCP.

2.4. Estudio del diseño

El estudio del diseño de la malla de protección a tierra se lo realizara tomando en consideración lo que establece las normas que fueron anteriormente mencionadas con el fin de que se pueda obtener un diseño satisfactorio y sobretodo efectivo al momento de que exista una falla en el circuito eléctrico.

2.4.1. Medida de la resistividad del terreno

La medida de la resistividad del terreno puede ser obtenida a través del uso tablas que indiquen el tipo de suelo que contiene el lugar donde será diseñada la malla, y también se la puede obtener mediante la aplicación de dispositivos de medida como el telurímetro.

En nuestro caso se ha optado por usar un telurímetro con el fin de obtener un valor más adecuado y exacto del terreno.

2.4.1.1. Telurímetro

Es un instrumento usado con el fin de obtener mediciones de resistencia del sistema de puesta a tierra, de la resistividad específica del terreno e incluso las tensiones espurias provocadas por las corrientes parasitas presentes en el suelo. El telurímetro consta de filtros activos y pasivos que ayuda a ser inmune a las interferencias eléctricas, con el fin de obtener mediciones mucho más confiables aun cuando exista la presencia de altas tensiones parásitas [34].

2.4.1.1.1. Características técnicas del telurímetro MTD-20KWe

Tiene un amplio rango de medición (desde $0,01\Omega$ hasta $20k\Omega$) con pantalla digital y dotado de las siguientes características para su óptima utilización ver figura 2.23 [34].

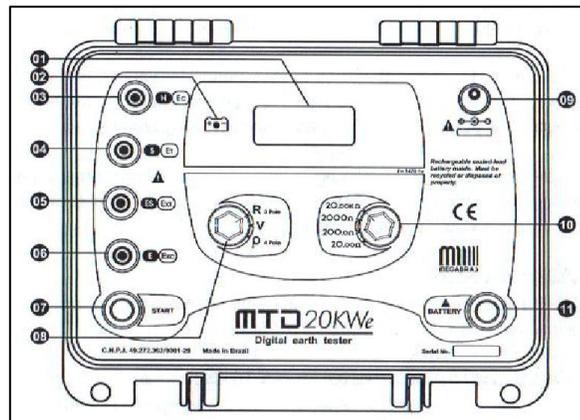


Figura 2.23: Función de controles del panel.

Cuenta con las siguientes características:

- 1) Display de $3\frac{1}{2}$ que muestra los valores de medición.
- 2) Figura que muestra la carga de la batería.
- 3) Borne H (Ec) para conectar cable.
- 4) Borne S (Et) para conectar cable.
- 5) Borne ES (Ext) para conectar cable.
- 6) Borne E (Exc) para conectar cable.

- 7) Pulsador START.
- 8) Selector de función:
 - R (3 Pole) = Medición de resistencia con 3 electrodos.
 - V = Voltímetro AC.
 - ρ (4 Pole) = Medición de Resistividad (4 electrodos).
- 9) Entrada de fuente de alimentación.
- 10) Selector de rango.
- 11) Pulsador BATTERY (estado de batería).

El telurímetro se usó con el fin de obtener una medida más exacta de la resistividad del terreno donde se procederá al diseño de la malla a tierra, es un dato importante ya que influye en su totalidad en la resistencia de tierra de la malla una vez diseñada. El telurímetro digital MTD-20KWe nos permite medir resistencias de puesta a tierra, la resistividad del terreno a través de los métodos de Wenner y Schlumberger.



Figura 2.24: Colocación de las picas de cobre con sus respectivos cables.¹⁵

¹⁵ FUENTE: Propio del autor.

La medida de la resistividad media se efectuó con la condición de terreno seco a una temperatura ambiente de 25°C, antes de empezar con la implementación del diseño completo de la malla a tierra, usando el método de Wenner a través de 4 picas de cobre de 50cm enterradas en el suelo de las instalaciones de la entidad financiera COOPCCP, colocadas a una distancia de 3.8m cada una con sus respectivas pinzas. Las picas fueron colocadas en lugares estratégicos donde no se encontraba el terreno con capas de cemento con el fin de no causar perforaciones en él.

En la figura 2.24 se ilustra la colocación de las picas en el terreno de la entidad a fin de obtener la medición de la resistividad del terreno.

El valor obtenido mediante el telurímetro fue de 2,20Ω, tal se muestra en la figura 2.25.

Este valor fue fácil de obtenerlo debido a que el tipo de terreno que posee la entidad financiera es uniforme, es decir contiene una sola capa.



Figura 2.25: Medición de la resistividad aparente del terreno¹⁶

A partir de este valor obtenido por medio del telurímetro, valor que es considerado como la resistencia aparente (R), mismo que sirve para obtener el valor de la resistividad en Ω-m usando (2.2).

El valor de la resistividad del terreno es de 52.53 Ω-m.

¹⁶ FUENTE: Propio del autor.

Conociendo este valor podemos partir a obtener los demás datos para el diseño de la malla.

2.4.2. Rediseño de la malla de tierra de protección del data center bajo normas

Como se comentó anteriormente la malla a tierra de protección exclusiva para el data center diseñada en las instalaciones de la COOPCCP se encuentra efectuada sin tomar en cuenta normas establecidas para un correcto funcionamiento, a pesar de que su valor de resistencia se encuentre dentro de un rango aceptable, el calibre del cable usado es bajo, de debe usar al menos un calibre 1/0 AWG con el fin que pueda soportar a una corriente de cortocircuito.

El tipo de unión que se usó en la malla está mal efectuado ya que no se encuentra unido en su totalidad el cable con la varilla, dejando espacios entre ellos, esto ocasiona que sea más vulnerable a la corrosión y que su vida útil disminuya, con todo esto también su efectividad a futuro. Se debería proceder a su correcta unión a medida de que el cable y el electrodo que conforman la malla sean sujetos de manera efectiva sin dejar espacio alguno entre ellos. Ninguna de las mallas cuentan con una caja de revisión periódica que sirvan para obtener valores fácilmente a futuro con el fin de constatar si la malla tiene aún su valor de resistencia inicial, y para el caso de no ser así, proceder con tratamientos como colocar un electrodo adicional para no dañar la malla o bien proceder a retirar la malla diseñada y en su lugar diseñar otra que si cumpla con todas las normas establecidas, a fin de obtener una protección efectiva de los equipos y sobretodo evitar accidentes al personal que labora en la entidad.

2.4.2.1. Diseño de la malla de tierra para protección del circuito eléctrico

La calidad de la malla de protección a tierra del circuito eléctrico debe estar diseñada con capacidad de que pueda soportar fallas de corriente de cortocircuito asimétricas que son las más severas, ya que la entidad cuenta con un transformador trifásico y dichas fallas se presentan en un sistema de tres fases, como se pudo observar anteriormente el calibre usado

para las dos mallas es de número 8 AWG, mismo que no se encuentra en el rango especificado por la norma, se debería usar al menos un calibre número 1/0 AWG de cobre, para que pueda soportar la corriente de falla que circule en él, además de la temperatura que esta genera por un lapso de tiempo.

Otro aspecto importante que se debe tomar en cuenta es que se deben unir las mallas diseñadas en un edificio con el fin de evitar una diferencia de potencial.

La norma NEC 10 parte 9-1, dispone que se debe diseñar una puesta a tierra exclusiva para telecomunicaciones en edificios comerciales, con el fin de obtener un correcto funcionamiento y vida útil de los equipos electrónicos usados en el data center, por tanto se debe realizar un sistema de puesta a tierra independiente exclusivo para el sistema eléctrico y para el data center.

El rediseño de la malla a tierra para protección exclusiva del circuito eléctrico en base a obtener un rango aceptable de resistencia se procederá a realizarla de la siguiente forma:

Usando el mismo valor de la resistividad del terreno ya que es un terreno homogéneo uniforme se parte con los cálculos de la malla.

$$\rho = 52.53 \Omega\text{-m}$$

Usando la fórmula de Sverak para cálculo de la resistencia de puesta a tierra de tipo malla encontrada en la IEEE Std 80-200 [26], por medio de (2.7) procedemos con los respectivos cálculos.

Teniendo en cuenta que se va a proceder a colocar 12 varillas de cobre de 1.8m en longitud y de 16mm de diámetro, estas medidas son propuestas por razones de disminuir el costo en la implementación de la malla a tierra, se tomara un espacio de 1.8m por cada varilla colocada en paralelo, la malla quedaría de la siguiente manera teniendo una vista superficial sobre la malla.

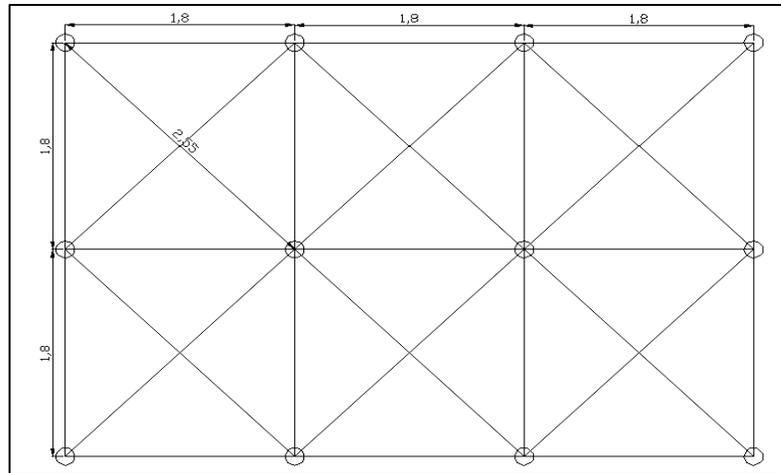


Figura 2.26: Rediseño de la malla vista superficialmente desde la parte superior.¹⁷

La malla contaría entonces con un valor en el ancho de 3.6m y de largo de 5.4m, debido a los espacios colocados entre cada varilla.

Por lo tanto obtendríamos un área A de 19.44m^2 .

Con una longitud de conductor propuesta de 61m, y una profundidad 0.5m de colocación de la malla bajo el suelo.

Tenemos entonces procediendo con los respectivos cálculos que el valor de la resistencia de la malla a ser igual a 4.5Ω .

Valor de resistencia de malla aceptable dado a que se encuentra dentro del rango como lo establece la norma IEEE 80, para una protección a tierra de un edificio, el conductor tendría un valor de calibre número 1/0 AWG de cobre con el fin de que pueda soportar la corriente de cortocircuito que fue calculada usando (2.8) y (2.9), que pueda presentarse dentro de la instalación, las varillas y el cable deberán ser unidos por medio del uso de suelda, con el fin de obtener una mayor efectividad y resistencia a la corrosión y se pueda prolongar la vida útil de la malla, ya que el suelo que posee la entidad es un suelo uniforme húmedo.

Los espacios considerados para la distancia de cada varilla, se optaron tomando en consideración que la COOPCCP no cuenta con espacio suficiente para expandir más dichas

¹⁷ FUENTE: Diseño propio del autor.

distancias, y la cantidad de varillas colocadas muestran que son suficientes para obtener un valor deseado de resistencia, se puede reducir el número de varillas y la longitud del cable, si se realiza un efectivo tratamiento químico del suelo colocando materiales que ayuden a disminuir la resistividad del mismo.

2.4.3. Unión entre las mallas

Según la norma NEC 10 parte 9-1 la cual habla de fijar las condiciones mínimas de seguridad que deben cumplir las instalaciones eléctricas en bajo voltaje, menciona se deben unir los sistemas de puesta a tierra cuando exista más de uno en un edificio [20], para poder conectar las dos mallas a tierra que están instaladas en la entidad, se puede usar una bobina de choque o descargador de equipotencialidad, con el fin de obtener una conexión adecuada entre las dos mallas. La bobina de choque ofrece una baja impedancia cercana a cero en estado activo de servicio normal, y su impedancia aumenta cuando existe la presencia de impulsos de alta frecuencia que puedan aparecer en cualquiera de las dos mallas de tierra, con el fin de mantener la equipotencialidad entre las mismas, y de aislar las corrientes de falla para que no se transfieran de una malla a otra, su instalación es sencilla únicamente se deben conectar a las dos mallas por medio de la bobina a través del mismo calibre de cable con que está diseñada la malla a tierra, generalmente la bobina de choque se conecta a una distancia igual a la separación que contiene cada varilla entre sí.

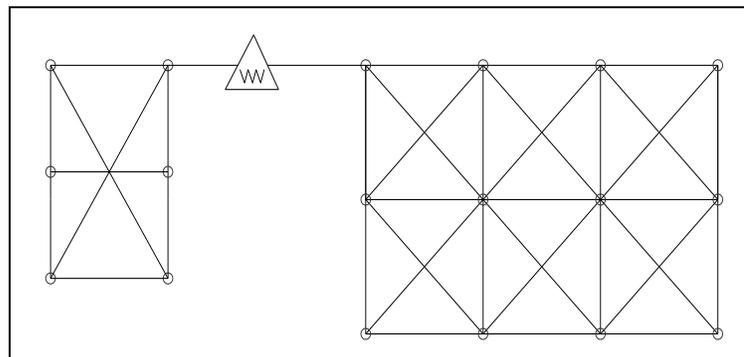
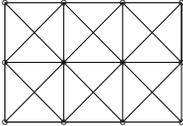


Figura 2.27: Unión de dos mallas por medio de una bobina de choque.¹⁸

¹⁸FUENTE: Diseño propio del autor.

En la tabla 2.7 se muestra la simbología que sirve de guía para interpretar la figura 2.28.

Tabla 2.8. Simbología de los materiales y gráficos usados en la figura 2.28.¹⁹

Simbología	
	Malla rediseñada para protección a tierra del circuito eléctrico, área de 19.44m ² .
	Malla actual situada en la entidad para protección del data center.
	Varillas de cobre, 1.8m de longitud y 16mm de diámetro en malla rediseñada para circuito eléctrico, para malla actual del data center no se especifica.
	Cable de cobre para unión entre varillas, número 1/0 AWG en malla rediseñada y también para unión entre mallas con bobina de choque, número 8 AWG para malla actual data center,
	Bobina de choque para evitar diferencia de potencial entre mallas.

2.4.4. Conexión a tierra de equipos electrónicos

El data center de la entidad financiera COOPCCP presenta deficiencias en cuanto a la disponibilidad de aterrizar los equipos que se encuentran en el interior del mismo, ya que no cuenta con la disposición de una TMGB, TGB ni mucho menos con TBB, tal como lo especifica la norma J-STD-607-A, que nos dice que en las conexiones a tierra para edificios

¹⁹ FUENTE: Propio del autor.

comerciales, se debe conectar un TMGB con el fin de que se exista un punto de puesta a tierra y se pueda conectar a él todos los TGB's que provengan de los diversos pisos del edificio a través del TBB, esto con el fin de evitar que las cargas que se usan en el data center y los equipos electrónicos y de comunicación que están conectados en todo el edificio puedan sufrir algún daño por una corriente de falla, además es importante recalcar que los diferentes sistemas de tierra se deben desarrollar con conductores independientes tal como lo recomiendan las normas, donde el único punto de conexión debe ser la malla de tierra específica para el data center y equipos electrónicos.

El conductor de equipotencialidad (TBB) debe ser continuo sin empalmes de un calibre mínimo 6 AWG como lo menciona la norma J-STD-607-A, se lo utiliza con el fin de disminuir las diferencias de potenciales entre sistemas de telecomunicación, su diámetro varía en función de la longitud a usarse, la tabla número muestra que diámetro se debe usar de acuerdo a la necesidad de su distancia.

La norma J-STD-607-A, también especifica que el TMGB y el TGB deben ser barras de cobre sólido con perforaciones, con el fin de que se puedan conectar fijamente todos los cables a través de pernos.

En la tabla 2.9 [33], se pueden observar las medidas del calibre que toma la TBB cuando su longitud varia.

Tabla 2.9: Medida del TBB en base a la longitud.

Longitud lineal del TBB en (m)	Medida en (AWG)
menor a 4	6
4-6	4
6-8	3
8-10	2
10-13	1
13-16	1/0
16-20	2/0
más de 20	3/0

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN

En este capítulo se trata todo acerca de las falencias que presenta el sistema de protección a tierra fin de tener en cuenta el nivel de protección que poseen los equipos electrónicos situados en los racks del data center y además de todo el sistema eléctrico, así también del estado actual del cableado estructurado como se encuentra distribuido a nivel de todo el edificio de la entidad y en el mismo data center.

3.1. Sistema de protección

El sistema de protección en un data center debe ser efectiva, ya que de esto depende la continuidad operativa con la que debe contar el servicio de una entidad financiera, puesto que su continuidad provee la capacidad para ejercer cualquier actividad sin tener interrupciones en su funcionalidad diaria.

Para la protección de los equipos albergados en el data center se debe efectuar la implementación de un óptimo sistema de puesta a tierra ya que es una parte esencial e integral en la implementación del cableado de telecomunicaciones, sirve de protección para el equipo y el personal frente a riesgos de voltajes, un propósito primordial del sistema de puesta a tierra es reducir la interferencia electromagnética, una incorrecta conexión a tierra puede ocasionar voltajes inducidos, y estos voltajes pueden interrumpir a los circuitos de telecomunicaciones [41].

El sistema de protección debe estar diseñado a fin de tolerar fallas ante eventos críticos no previstos suscitados ya sea por error en la red de energía eléctrica o por una mala maniobra en las instalaciones del edificio, el contar con un efectivo sistema de protección no solo permite la continuidad del servicio en una entidad financiera, sino que además garantiza la seguridad del personal y la vida útil de los equipos electrónicos, puesto que se mitigan de gran manera los picos de energía que pueden presentarse en la red, de manera que el equipo informático y el personal no sean afectados por estas y muchas otras anomalías, ya que de no ser así puede efectuarse lo contrario, echándose a perder los equipos y verse afectado

alguna persona que labore en la entidad, trayendo consigo consecuencias de pérdidas económicas.

El sistema de puesta a tierra en el diseño de un data center es un tema que no se debe pasar por alto, a pesar de tratarse de un sistema que funciona a bajos niveles de voltaje, no obstante aún dada esta consideración debe estar adecuadamente configurado.

Generalmente la causa deficiente de red en una sala de cómputo es debido a una mala calidad de protección a tierra. Sin embargo es uno de los temas más obviados del cableado estructurado.

El propósito principal de la puesta a tierra en un data center es crear un camino corto y de menor impedancia a fin de que sirva para que fluyan por el corrientes y voltajes no deseados.

La protección a tierra para el sistema de informática involucra disponer de una barra principal de tierra para telecomunicaciones (TMGB) y barras de tierra para telecomunicaciones (TGB), donde los equipos de telecomunicaciones, marcos de los equipos y gabinetes deben ser conectados a estas barras, por medio de backbone de tierras (TBB), mismo que es aislado y debe identificarse poseyendo el color verde generalmente [33]. En la figura 3.1 [33] se puede apreciar las dimensiones de la TGB según la norma ANSI-J-STD-607-A.

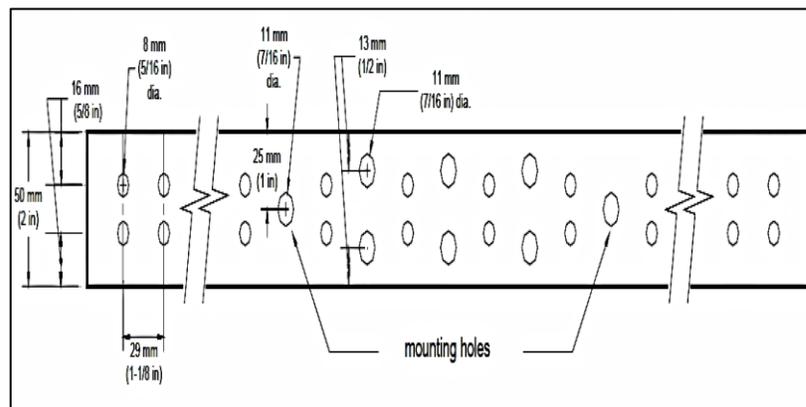


Figura 3.1: Ejemplo de dimensiones de perforaciones la TGB.

Fuente: [33] ANSI-J-STD-607-A, "Commercial Building Grounding (Earthing) and Bonding Requirements For Telecommunications."

La barra principal de tierra para telecomunicaciones debe ir conectada directamente con la malla a tierra diseñada específicamente para telecomunicaciones y debe existir una sola TMGB por cada edificio, esto quiere decir que servirá como punto de conexión principal para todas las puestas de tierra de telecomunicaciones que provengan de todo el edificio, a través de la barra de tierra (TGB) que es la que une a todos los equipos electrónicos usados en la sala de cómputo y su medio de conexión es el backbone de tierras, que se fijan a estas barras por medio de pernos, necesariamente las barras deben poseer perforaciones con el fin de albergar con seguridad a los cables que se alojen en las mismas ver figura 3.2 [33]. El TMGB deberá aislarse de su soporte un mínimo de 50 mm (2 in) de separación de la pared para permitir el acceso a la parte trasera de la barra [33].

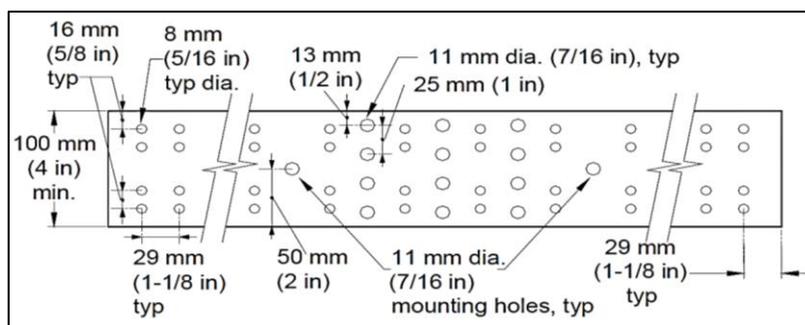


Figura 3.2: Ejemplo de dimensiones de perforaciones la TMGB.

Fuente: [33] ANSI-J-STD-607-A, "Commercial Building Grounding (Earthing) and Bonding Requirements For Telecommunications."

La figura 3.3 [33], muestra la correcta conexión a tierra entre la barra TMGB, el TBB y el equipo de potencia según la norma ANSI-J-STD-607-A [33].

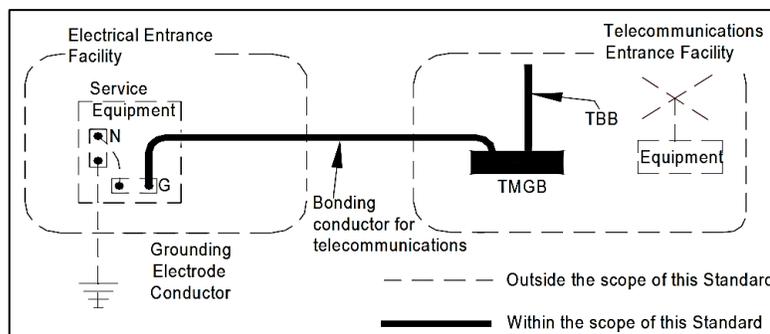


Figura 3.3: Unión de puesta a tierra para los equipos de potencia de servicio.

Fuente: [33] ANSI-J-STD-607-A, "Commercial Building Grounding (Earthing) and Bonding Requirements For Telecommunications."

Todo rack debe contener una TGB colocada en la parte superior trasera para de ahí unirse a la TMGB por medio del TBB que debe ser lo más corto y recto posible con el fin de reducir en gran manera las diferencias de potencial de todos los sistemas de telecomunicaciones que son enlazados por medio de él. Toda canalización metálica para cableado de telecomunicaciones debe también estar unida al TMGB [33].

Otro aspecto importante que se debe tomar en cuenta en los sistemas de protección para telecomunicaciones es el uso de un adecuado cableado estructurado, que contenga apantallamiento con el fin de evitar el ingreso de interferencias electromagnéticas y ruido, que puedan fluir a través de este llegando a los equipos informáticos y puedan causar pérdida de datos, información errónea o incompleta. El uso de supresores de transitorios también se suma a la calidad efectiva de protección, que se debe contar en las instalaciones de un edificio que posea infraestructura informática.

Los supresores de transitorios son instalados en el ingreso de la alimentación de energía con el fin de que al momento de existir un incremento de corriente, pueda ser mitigado por el supresor y no fluya hasta los equipos informáticos y ocasione daños en este. Como ya se mencionó en otras ocasiones se debe colocar a tierra toda estructura metálica del edificio, y también las canaletas, por medio del uso de cable de cobre mínimo número 6 AWG [33] con el fin de evitar las descargas debido a una acumulación estática, además todas las salidas eléctricas de las computadoras deben ser necesariamente polarizadas y su polarización de tierra llevada a una tierra común.

3.2. Inconvenientes encontrados en la red

Los inconvenientes encontrados en la red de la entidad financiera COOPCCP, fueron varios que se mencionan seguidamente.

- Protección a tierra.
- Protectores de transitorios.
- Distribución de cables.
- Ruido.

- Desbalance de carga.

3.2.1. Protección a tierra

Existe una gran falencia sobre todo en la parte de protección a tierra, ya que es muy perceptible el incumplimiento de los estándares que garantiza el óptimo rendimiento y seguridad de los equipos y del personal, a fin de mantener una buena confiabilidad a largo plazo en las instalaciones, recalcando lo mencionado anteriormente que los racks en un data center deben estar colocados a tierra para mitigar corrientes de falla que puedan verse presentes en los equipos, la norma ANSI/TIA-942 que es un estándar que habla de la infraestructura en un data center, nos dice que la estructura del rack y los equipos encontrados al mismo, deben poseer una conexión a tierra usando un cable de cobre desnudo o de color verde aislado con un calibre como mínimo número 6 AWG, los equipos deben tener protección a tierra a través del chasis [43]. Los racks que se encuentran en el data center de la entidad no cuentan con protección a tierra, ni mucho menos los equipos alojados en ellos. La figura 3.4 muestra que no existe ningún cable que provenga del rack hacia la TGB con el fin de que sirva de protección a tierra y mitigar voltajes y corrientes no deseadas.

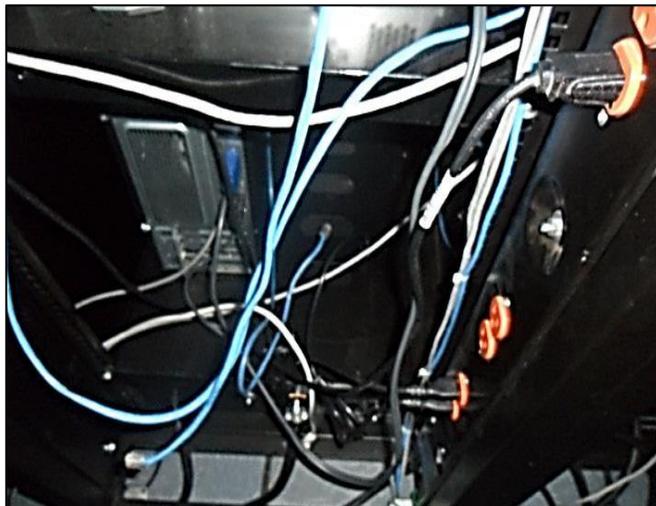


Figura 3.4: No existe la presencia de puesta a tierra en racks.²⁰

²⁰FUENTE: Propio del autor.

Otro inconveniente que afecta la calidad de las instalaciones en la entidad financiera, es que el cable de conexión a tierra que une la malla de tierra con los equipos, se encuentra distribuido en las mismas tuberías que llevan los demás cables de energía, y posteriormente hace contacto con la carcasa de la caja térmica, tal como se muestra en la figura 3.5.

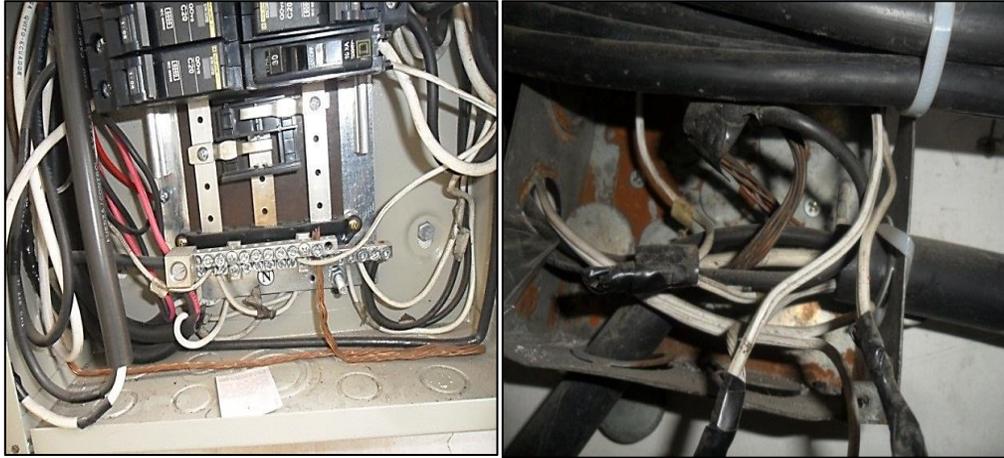


Figura 3.5: Cable de unión a tierra en contacto con carcasa metálica, expuesta a riesgo para el personal.²¹

Las consecuencias que conlleva al tener contacto entre el cable desnudo de unión a tierra y una carcasa metálica que se encuentra a la intemperie de las instalaciones es muy riesgosa, ya que si existe una descarga eléctrica que tenga contacto con el suelo, o se produzca un cortocircuito en alguna parte del sistema y la corriente generada se transporta por el cable de conexión a tierra, puede circular en la carcasa metálica y causar un riesgo para el personal que pueda hacer contacto con la carcasa, además se puede inducir el voltaje a los equipos conectados al cable de unión de tierra, porque como se observa el cable de puesta a tierra se encuentra unido con el neutro de la red, causando así que se quemen los equipos.

3.2.2. Protector contra transitorios

Usualmente en todo edificio que haga uso necesario de equipos electrónicos sensibles como los usados en telecomunicaciones, este tipo de equipos son de importancia primordial y suelen ser protegidos en gran manera ante la presencia de picos elevados no deseados,

²¹FUENTE: Propio del autor.

gracias al uso de protectores de transitorios, la entidad financiera no cuenta con una protección para este tipo de eventos, ya que existen varios equipos dentro de la entidad que pueden ocasionar estos picos de voltaje, como son los aires acondicionados, el generador eléctrico, y principalmente la alimentación de energía desde la red eléctrica, este tipo de transitorios generalmente ocasionan daños a las tarjetas digitales y además causan efectos de distorsión a la lógica del software.

3.2.3. Distribución de cables

La administración de cables tanto de energía eléctrica como de telecomunicaciones que forma parte de la estructura en la entidad financiera, es de poca fiabilidad y sin consideración a normas establecidas para su correcta distribución y operación, ya que los cables no cuentan con un debido orden de colocación tal se muestra en la siguiente figura 3.6.

Se puede observar que no existe una adecuada distribución de cables, además que el uso de algunos cables no es factible en cuanto a su longitud ya que esta excedida para una aplicación de corta distancia, y de aquí este inconveniente es solucionado enrollándolo.

La figura 3.6 muestra tal inconveniente.

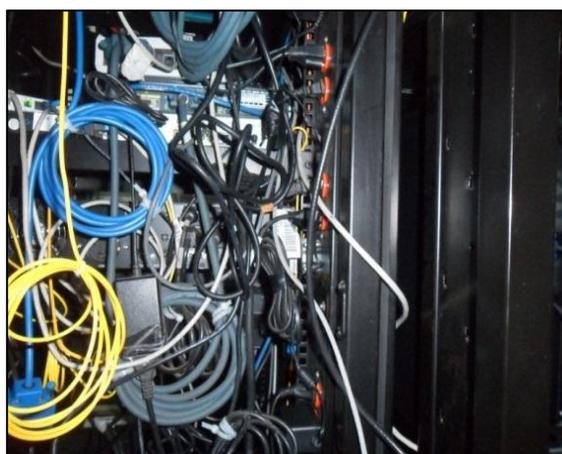


Figura 3.6: Indebida adecuación de los cables.²²

²²FUENTE: Propio del autor.

El excedente de cable debería ser retirado y únicamente colocar un cable que se ajuste exactamente a la medida necesaria, porque además de ocupar espacio dificulta la correcta distribución.

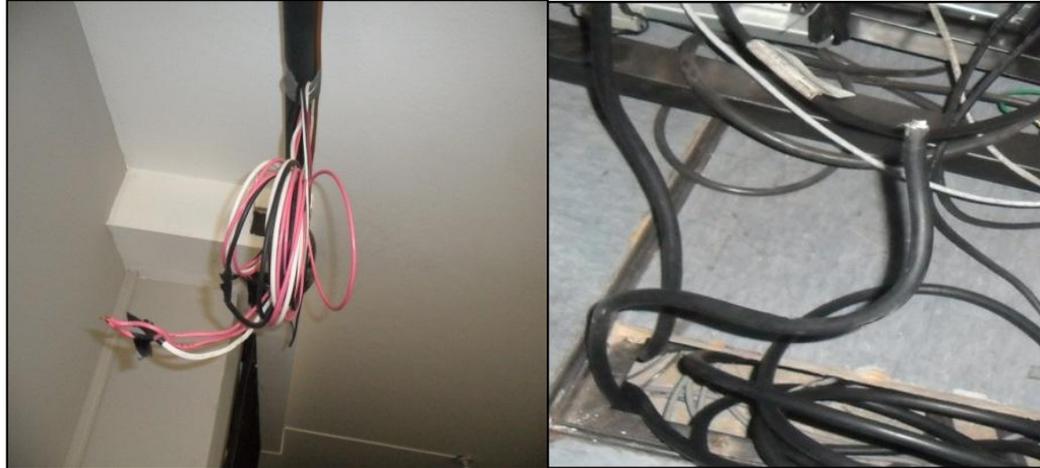


Figura 3.7: Cableado de energía eléctrica sin conexión y sin aislante en los empalmes.²³

En la figura 3.7 se puede ver claramente que en el interior del data center, existe cableado de energía eléctrica sin conexión, proveniente de algún sitio y no se conecta en lo absoluto, esto puede ocasionar una falla eléctrica severa, ya que en el caso de encontrarse energizado y que por varias razones llegaría a tener contacto ya sea con la carcasa del rack o con algún otro cable que este desnudo, la falla se pronunciaría instantáneamente, causando que se quemen equipos y que el personal que ingrese al interior del data center pueda ser víctima de electrocución.

De igual manera se observa que en el exterior de las instalaciones eléctricas, existe cableado de energía con empalmes sin ser aislados y expuestos a contacto de alguna persona que circule por los alrededores, esto puede atraer un riesgo principalmente para el personal ya que si logran hacer contacto con dicho empalme descubierto, pueden sufrir algún tipo de daño.

²³FUENTE: Propio del autor.

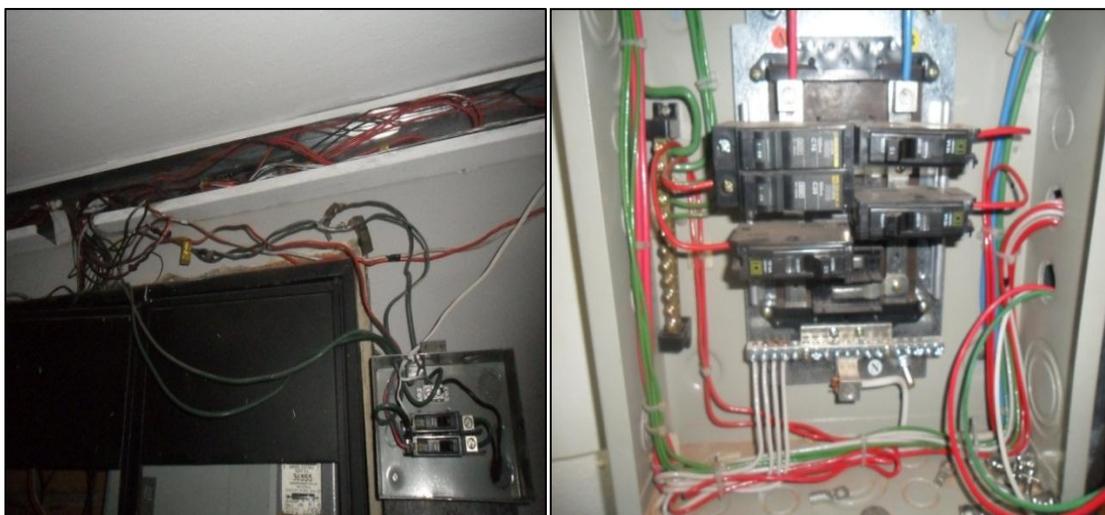


Figura 3.8: Tableros de distribución secundarios descubiertos.²⁴

En la figura 3.8, se tiene que algunos de los tableros de distribución secundarios instaladas en el interior de la entidad no llevan su respectiva tapa de cubierta que se coloca con el fin de evitar que personal se acerque y puedan hacer contacto con los cables energizados o desactivar la alimentación por medio de la desactivación del breaker, ya que sin darse cuenta y al no tener conocimiento alguno de la función del tablero de distribución, pueden ocasionar una falla en el circuito o peor aún que puedan dejar sin alimentación a equipos importantes que almacena datos constantemente.

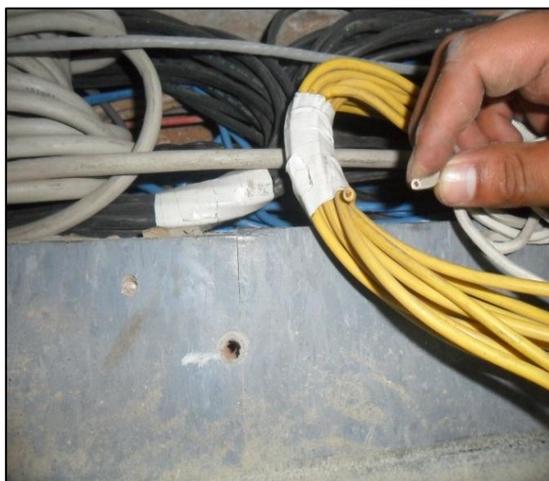


Figura 3.9: Cable de red y de energía sobrante e inutilizada.²⁵

²⁴FUENTE: Propio del autor.

²⁵FUENTE: Idem.

En las canaletas que contienen cableado estructurado para ser distribuido en el edificio de la entidad, se tiene inconvenientes como los que se puede observar en la figura 3.9, ya que existe cable sobrante enrollado, cable inutilizado, se debe hacer mención a las recomendaciones que menciona la norma ANSI/TIA/EIA-568-B.1 pese a ser un estándar que habla del cableado de telecomunicaciones para edificios comerciales, la cual menciona que el cable UTP no debe exceder los 100m de longitud, ya que si esto pasa la señal puede decaer.

Cuando se envía señales de transmisión por medio de largas distancias, estas se exponen a una pérdida de amplitud de la señal, causando la distorsión en la red, ya que si la señal es baja el receptor no podrá captar bien la información y esta será una información será presentada como no reconocida.

Causando que esta información sea errónea y tenga bajo desempeño al momento de recibir y enviar información a nivel de toda la red. Para obtener la señal correcta a largas distancias se suelen emplear amplificadores con el fin de poder sobrepasar los límites de longitud de transmisión de señal del cable, pero en el caso de la entidad no sería necesario ya que las distancias son cortas y únicamente el contener un cable que se encuentre enrollado estaría de más y no obstante causando afección al flujo continuo de señal.



Figura 3.10: Incorrecta distribución de cables en el interior del data center.²⁶

²⁶FUENTE: Propio del autor.

En la figura 3.10, se muestra la mala distribución del cableado que existe en el interior del data center, colocados por encima del rack y acoplados en canaletas que no pueden contener mucha cantidad de cables, causando aún, que no se pueda colocar la tapa para cubrir los cables en la canaleta.

La no adecuada distribución del cableado estructurado es tema que se repite en las instalaciones de la entidad, ya que carece totalmente de acople de canaletas exclusivas para el transporte del cableado, se pueden encontrar cables a simple vista sobre el rack del data center, así mismo cables mezclados de diversas funciones, telefonía, señal de datos y de energía eléctrica, una buena administración del cableado reduce en gran manera el agregado de cables y además aporta a futuras modificaciones en la red.

El unir cables de electricidad con los de telecomunicaciones es parte presente de la estructura del cableado de red en la entidad, ya que se usan canaletas metálicas que no contienen espaciamientos o divisiones para ser separados los diversos tipos de cables ver figura 3.11.



Figura 3.11: Distribución indebida de todo tipo de cables por una sola canaleta.²⁷

Al tener mezclados diversos tipos de cableado como los de datos con los de energía eléctrica, puede existir la inducción de campos electromagnéticos desde los cables de alimentación eléctrica hacia los cables de transmisión de datos, la corriente que fluye a

²⁷FUENTE: Propio del autor.

través de un conjunto de cables puede inducir un voltaje peligroso y/o ruido excesivo en el conjunto de cables.

3.2.4. Ruido

La entidad financiera cuenta con fuentes de generación de ruido y no se usa ningún tipo de protección ante este inconveniente, el ruido puede ser producido por el uso de, copiadoras, fluorescentes y por generadores eléctricos, ver figura 3.12.



Figura 3.12: Fuentes generadora de ruido presentes en la entidad financiera.²⁸

La entidad además cuenta con una gran cantidad de aires acondicionados para su temperatura interna deseada, pero el uso de estos equipos generalmente ocasiona la aparición de flickers debido por el switcheo, encendido y apagado, que estos tipos de

²⁸FUENTE: Propio del autor.

equipos generan al momento de su funcionamiento, lo cual suele provocar paros involuntarios en el software y en equipos electrónicos sensibles, ver la figura 3.13, este tipo de eventos que ocasiona el funcionamiento de los aires acondicionados reduce paulatinamente la vida útil de los equipos.



Figura 3.13: Uso de aires acondicionados en la entidad financiera.²⁹

Se debe evitar conectar cargas de diferente tipo de consumo a un mismo segmento de la red, por ejemplo el evitar conectar la alimentación de los aires acondicionados con la alimentación de las computadoras o servidores, debido a que siempre que la calefacción entre en funcionamiento pueda generar picos de aumento de voltaje en la onda senoidal normal, y estos picos causen afección al funcionamiento o vida útil de los equipos que se encuentren conectados al mismo punto de alimentación de energía.

Otra fuente generadora de flickers se incluye a las fuentes de poder ininterrumpidas (UPS), mismas que poseen rectificadores para la conversión de voltaje.

Este tipo de fluctuaciones generadas pueden afectar el funcionamiento de equipos sensibles como a las computadoras, ordenadores, servidores, etc., además de anomalías en los sistemas de iluminación, debido a la presencia de fluctuaciones rápidas de tensión acumulativa, en la parte de afección del personal se puede presentar cansancio visual contrayendo migrañas, esto suele generar estrés en la parte laboral.

²⁹FUENTE: Propio del autor.

3.2.5. Desbalance de carga

Otro aspecto de importancia que se debe corregir en las instalaciones de energía de la entidad es que existe un desbalance de consumo de corriente en las cargas.



Figura 3.14: Desbalance de cargas.³⁰

En la figura 3.14, se observan los valores que proporciona el tablero de balance de cargas instalado en la entidad, el mismo que detalla que dos fases se encuentran con un balance casi igual de consumo de corriente, mientras que la tercera fase cuenta con un valor más elevado de consumo de corriente, lo cual demuestra que existe un desbalance de consumo de cargas, esto genera que el cable por donde fluye mayor consumo de corriente pueda llegar a sobrecalentarse y ocasionar que el aislante se queme, quedando sin protección y proclive a que se una con otro cable o estructura metálica y se produzca una falla eléctrica en el interior de la instalaciones. La mala calidad de las instalaciones en un edificio presenta una amenaza diaria que puede significar muchos gastos en reparaciones o cambios de equipos sensibles como microprocesadores que suelen quemarse o sufrir severos daños.

3.3. Estudio del cableado estructurado

Para poder obtener todas las posibles fallencias que generan inconvenientes en la red de datos de la entidad financiera COOPCCP, se procedió a realizar una minuciosa observación del estado del cableado estructurado actual que posee la entidad financiera en sus

³⁰FUENTE: Propio del autor.

instalaciones.

3.3.1. Introducción al cableado estructurado

El cableado estructurado es la infraestructura acoplada por cables flexibles, que se usan con el fin de recibir y enviar información a lo largo y ancho del edificio por medio de emisores y receptores, para su desarrollo usualmente se usan combinaciones de cables de cobre como son los llamados pares trenzados sin blindaje (UTP), los que contienen blindaje (STP), y los de fibra óptica conectados con diferentes tipos de conectores y adaptadores [48].

3.3.1.1. Cableado horizontal

El cableado horizontal es una porción del sistema de cableado de telecomunicaciones, que conecta el área de trabajo con el cuarto de telecomunicaciones, con el fin de transmitir señales entre ambas áreas, y se extiende a través de las instalaciones del edificio de manera horizontal, son colocados en contenedores distribuidos por rutas y espacios horizontales que incluyen cajas, placas y conectores [48].

El cableado horizontal debe diseñarse de manera que a futuro, su mantenimiento y localización en las aplicaciones como de comunicación de voz, de datos y redes de área local no sea tarea complicada [41].

Además no debe sobrepasarse una distancia de 90m desde la conexión del área de trabajo al cuarto de telecomunicaciones, y adicionalmente se debe ofrecer 10m adicionales a ser usados en las conexiones para los equipos, tomando en cuenta los cables reconocidos en el uso de cableado horizontal, según la ANSI/TIA/EIA-568-B.1 la cual habla y provee información acerca de los requerimientos generales del planeamiento, instalación y la verificación del cableado estructurado, para edificios comerciales, menciona que se puede usar el tipo de cable de cuatro pares en par trenzado que no posee blindaje con capacidad de 100Ω y calibres 22AWG a 24AWG [42], el de tipo par trenzado con apantallamiento con capacidad de 150Ω de calibre 22 AWG, y también cable fibra óptica de tipo multimodo con

capacidad de 62.5/125 μm o 50/125 μm [41]. El uso del tipo de cable varia conforme a la disponibilidad de capital que posea el edificio a instalar, y a la necesidad de calidad de protección de la señal para la información en la red de datos.

3.3.1.2. Cableado vertical

Es conocido también como cableado backbone, proporciona interconexiones entre salas de telecomunicaciones, cuarto de equipos, el cableado backbone se compone de cables principales, intermedios y principales conexiones cruzadas, además de terminaciones mecánicas y patch cords o jumpers usados para conexión cruzada de backbone a backbone, los cables permitidos para uso de tipo backbone según la norma ANSI/TIA/EIA-568-B.1 son el cable de par trenzado de 100 Ω , el cable de fibra óptica multimodo ya sea 62.5/125 μm o 50/125 μm , cable de fibra óptica monomodo. La longitud máxima de la categoría 5e multipar equilibrado de 100 Ω que soporta aplicaciones de datos hasta 100 MHz, debe ser de 90m y se permite adicionar 5m de cable en los extremos de los equipos [41].

3.3.2. Estado del cableado estructurado de la entidad

El cableado estructurado que se encuentra instalado en el interior de la entidad financiera COOPCCP, se encuentra diseñado sin tomar en consideración algún tipo de normas que rigen una correcta instalación y funcionamiento.

3.3.2.1. Tipo de cable

El tipo de cable aplicado en la entidad para el funcionamiento de todo el sistema informático es de UTP categoría 5e, mismo que no posee blindaje que ayude a disminuir o evitar el ingreso de ruido o interferencias electromagnéticas, los cables se encuentran expuestos a diversas falencias, y para lograr un mayor rendimiento en la transmisión de

datos y futuras aplicaciones de uso de telefonía IP, como lo está estipulando implementar la entidad, debería tomarse en consideración el uso de una categoría superior ya sea de tipo 6 o categoría 6A, teniendo en cuenta que se va a obtener una mayor flexibilidad respecto a los servicios soportados y además se ajustaría a un aumento del número de usuarios que se presentan continuamente con el crecimiento futuro de la entidad.

3.3.2.2. Administración de cables

Una correcta administración del cableado estructurado tanto vertical como horizontal evita muchos inconvenientes. Como ser aplastados si se encuentran en el piso, además se debe tener en cuenta el grado de curvatura máximo que debe tener el mismo para un correcto funcionamiento, la norma ANSI/TIA/EIA-568-B.1, nos dice que el radio de curvatura mínimo para cableado horizontal de tipo par trenzado UTP es de cuatro veces el diámetro del cable y para el de tipo STP es de ocho veces el diámetro del cable. El radio mínimo de curvatura para el cable backbone es de diez veces el diámetro del cable [41].



Figura 3.15: Cables colocados sin respetar radio de curvatura máxima.³¹

En la figura 3.15 se puede observar que en el interior del data center se encuentran a simple vista cables de datos situados en el suelo, con una curvatura de aproximadamente 90°, esto ocasiona que se presente el riesgo de ser pisoteado y generar así un desgaste del aislamiento

³¹FUENTE: Propio del autor.

ya que está colocado a la intemperie del ingreso al data center y además el radio de curvatura es muy elevado, cuando su curvatura máxima debe ser de cuatro veces el diámetro del cable, y la colocación del cableado vertical que ingrese al cuarto de telecomunicaciones debe transportarse por contenedores [48], con el fin de evitar que se pueda disminuir la capacidad del cable para transportar datos.

En la figura 3.16 mostrada a continuación se observa que las canaletas que contienen el cableado estructurado no están acopladas adecuadamente puesto que existe tal cantidad de cables en el interior de la canaleta que no puede ser distribuido correctamente y tiende a salirse quedando expuesto a riesgo de ser pisoteado o desprendido por el personal que circule cerca de ellos.



Figura 3.16: Indebida administración del cableado estructurado en canaletas.³²

Por medio de ese tipo de canaletas mostradas anteriormente es la manera que se extiende el cable horizontal en la entidad, se puede producir un gran descenso en el nivel de señal, por imperfecciones de curvatura en el cable, el sistema debería mostrar trayectos ya sean horizontales o verticales sin complicaciones de manera que se evite dañar el cable y también su curvatura por mal acoplamiento en canaletas.

³²FUENTE: Propio del autor.

3.3.2.3. Interferencias electromagnéticas

Como se mencionó anteriormente, la entidad cuenta con un tipo de cable UTP en su cableado estructurado para transmisión de datos, mismo que no posee apantallamiento, se debería tomar en consideración el uso de cable apantallado con el fin de mitigar la diafonía, el ruido eléctrico causados por el uso de generadores eléctricos, balastos, transformadores, etc., y en sí las interferencias electromagnéticas causadas ya sean por las señales de radiofrecuencia, este tipo de interferencias suelen causar malestar y muchas veces distorsión en la transmisión de señal, problemas en equipos sensibles como computadoras, equipos de comunicación y controles electrónicos [45].



Figura 3.17: Ejemplo de cable UTP Cat. 5e AWG 24 con doble apantallado.

La figura 3.17 [44], muestra un ejemplo de cable de telecomunicaciones que posee doble apantallamiento, óptimo para prevenir el ingreso de ruido o de interferencia electromagnética hacia la red de datos.

En la figura 3.18, mostrada se puede observar una posible causa de ingreso de ruido eléctrico, a través del funcionamiento de las luces fluorescentes por causa del balastro ya que los cables de datos se encuentran muy cercanos a las luces fluorescentes, lo que generalmente suele ocasionarla presencia de este tipo de señales inducidas, cuando funciona el balastro para la luz fluorescente producen un bajo nivel de sonido, y vibraciones en la luminaria [45].

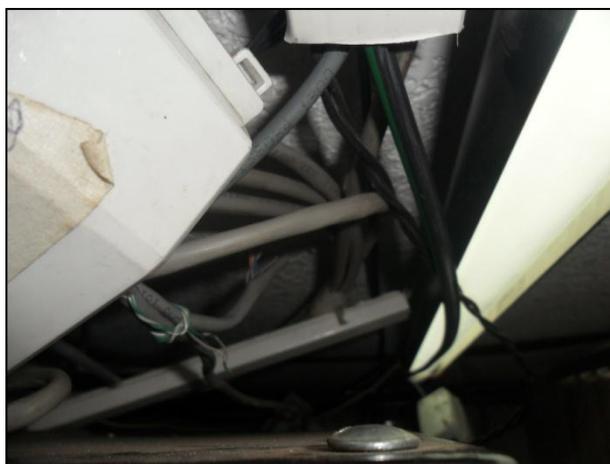


Figura 3.18: Cable de datos instalado cerca a la lámpara fluorescente, posible causa de ingreso de ruido.³³

Otro aspecto de causa de distorsión de la señal en la red se puede generar debido a la unión de cables de datos con los cables de energía eléctrica, donde puede inducirse campos eléctricos desde los cables de energía por causa del flujo de corriente en el conductor, hacia los cables de comunicaciones, ya que en la mayor parte del cableado estructurado de la entidad se puede observar la unión de estos dos tipos de cables. Se debe evitar el colocar el cableado estructurado cerca al cableado de energía que alimenta a motores eléctricos, transformadores, luces fluorescentes, aires acondicionados, ventiladores, teniendo en cuenta un espacio mínimo de separación de 1.2m [48]. La norma ANSI/TIA-942, nos dice que es factible separar el cableado de potencia del cableado de telecomunicaciones tomando en consideración la tabla 3.1 [43] que es mostrada a continuación.

Tabla 3.1: Separación entre cables de par trenzado y cables de potencia apantallados en el data center.

Cantidad de circuitos	Tipo de circuito eléctrico	Distancia de separación en (mm)	Distancia de separación en (in)
1 -15	20A 110/240V 1-fase apantallado o sin apantallamiento	Referirse al 569B del anexo C de la norma TIA-942	Referirse al 569B del anexo C de la norma TIA-942
16 - 30	20A 110/240V 1-fase apantallado	50 mm	2 in
31 - 60	20A 110/240V 1-fase apantallado	100 mm	4 in

³³FUENTE: Propio del autor.

61-90	20A 110/240V 1-fase apantallado	150 mm	6 in
91+	20A 110/240V 1-fase apantallado	300 mm	12 in
1+	100A 415V 3-fases alimentador apantallado	300 mm	12 in

Si los cables de potencia no contienen apantallamiento, entonces las distancias establecidas en la tabla 3.1 serán duplicadas, estas distancias pueden aplicar para los cables de datos o de potencia no apantallados instalados en una bandeja de metal unida a tierra [43].

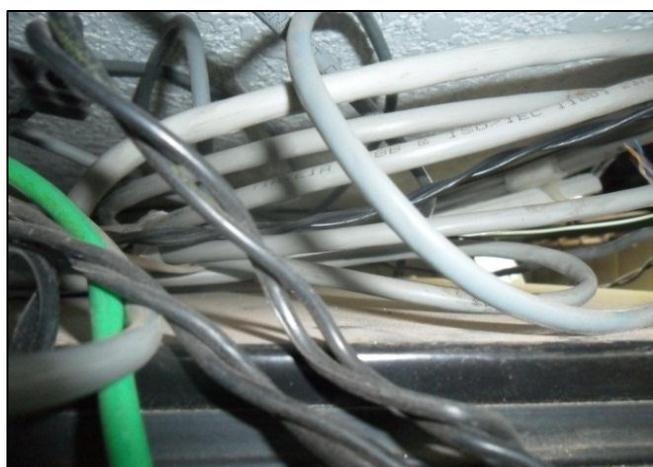


Figura 3.19: Unión de cables eléctricos y de datos.³⁴

En la figura 3.19, se puede apreciar la unión de los dos tipos de cables, de energía eléctrica y de comunicaciones, instalados dentro del data center.

Si no se obtiene la capacidad de colocar un cable blindado en el cableado estructurado de la entidad al menos se debería tratar de separar los cables de red con los de energía eléctrica, por medio del uso de canaletas que tengan separación incluida, la generación de campos magnéticos o eléctricos son muy inevitables puesto a que se generan en todo lugar únicamente con el uso de dispositivos electrónicos como celulares, monitores, etc. La elección del tipo de cable y la manera en que se instala influye en gran medida, ya que así se puede evitar incluso incendios que se puedan propagar en todo el edificio causando

³⁴FUENTE: Propio del autor.

grandes pérdidas materiales. Cuando se proceda al uso de cable apantallado el blindaje de este tipo de cable debe ser unido a un TGB, y la tensión medida entre el blindaje y el cable de tierra proveniente del tomacorriente usado para alimentar los equipos en la estación de trabajo según la norma ANSI/TIA/EIA-568-B.1 no debe exceder los 10V [41].

3.3.2.3. Rotulación detallada

El uso de etiquetas que detallen la función que cumple un cable de datos es de suma importancia, ya que ayuda en gran manera a tener conocimiento previo del grado de importancia que tiene, a medida que cuando se necesite proporcionar un mantenimiento al data center no se tenga inconvenientes y así evitar accidentes o peor aún, que la red de datos no funcione adecuadamente como lo estaba inicialmente. Según la norma ANSI/TIA/EIA-568-B.1 dice que los cables de comunicaciones instalados dentro del área de trabajo deberán ser etiquetados en ambos extremos con un identificador de usuario y un puerto de identificador [41]. En los sistemas de cableado estructurado los cables deben poseer rótulos en los dos extremos para evitar confusión, ya que la TIA/EIA-606-A la cual habla de cómo realizar la administración para la infraestructura de telecomunicaciones para edificios comerciales, menciona que en cada terminación de un cable se debe colocar un identificador marcado sobre la etiqueta exclusiva de dicho cable [49].

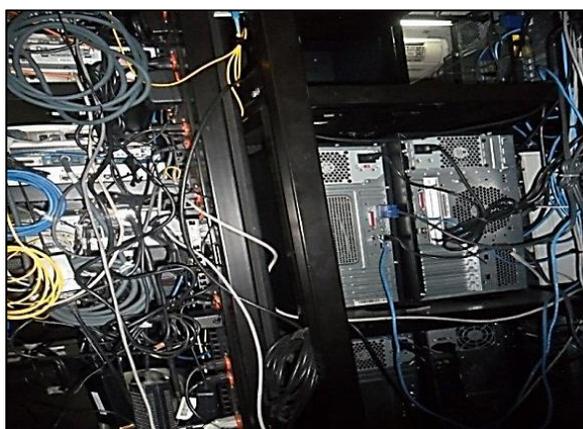


Figura 3.20: Falta de rotulación en los extremos del cableado estructurado.³⁵

³⁵FUENTE: Propio del autor.

En la figura 3.20, mostrada se puede apreciar que el cableado estructurado colocados en los racks del interior del data center, no cuenta con ningún tipo de etiqueta en los extremos de cada cable, esto a más de ser un inconveniente al momento de proceder a un cambio de categoría o mantenimiento del cableado, proporciona una apariencia poco profesional.

3.3.2.4. Distribución y colocación

La distribución y colocación del cableado estructurado en canaletas, es parte importante ya que así se deben colocar el cableado de forma horizontal o vertical para ser distribuido en el interior del edificio. La norma ANSI/TIA-942 menciona que el cableado de telecomunicaciones no debe ser colocado en lugares de acceso público, donde puedan ser aplastados, si su distribución va a ser de forma que el personal circule cerca de ellos, estos cables deberían ir colocados en ductos cerrados [43]. La distribución y colocación dentro de un contenedor evita daños a los cables para de esta forma no perder la conexión ni transmisión de datos. En la mayor parte de instalaciones verticales del cableado estructurado se suele realizar una previa perforación del piso y colocar el cable en conductos, mangas de ductos, con el fin de poder pasar a través de los pisos y tener una buena conexión entre ellos sin causar algún tipo de daño en el cableado. A continuación se muestra el tipo de perforaciones y la forma usual que usa la entidad para transportar el cableado estructurado de un piso hacia otro.



Figura 3.21: Incorrecta colocación de cableado vertical entre pisos de la entidad.³⁶

³⁶FUENTE: Propio del autor.

La figura 3.21, nos permite observar como la entidad conecta entre dos pisos el cableado vertical, sin usar canaletas ni algún tipo de ductos o contenedores, esto puede ocasionar que el recubrimiento de los cables pueda sufrir algún desperfecto, ya que se puede desgastar al frotarse con el piso perforado cuando estos sean movidos, además pueden existir roedores habitando en dichas perforaciones que puedan llegar a destruir el aislante y causar pérdida de conexión.



Figura 3.22: Presencia de cables mal distribuidos bajo el piso flotante del data center.³⁷

Otra observación importante que cabe mencionar es la existencia de cableado de energía eléctrica y de telecomunicaciones en el interior del data center que se encuentran albergados debajo del piso flotante, esparcidos sin tomar medidas preventivas ver figura 3.22, ya que tampoco cuentan con el uso de canaletas y ni mucho menos un adecuado orden de colocación.

La norma ANSI/TIA/EIA-568-B.1 menciona que se deben usar sujetadores de cable con el fin de que se puedan agrupar los cables y permitir la sujeción de estos, y los sujetadores no deben estar muy ajustados de tal forma que cualquier cable pueda deslizarse alrededor del mismo, sin que pueda verse afectado el revestimiento [41].

En la figura 3.23 que es mostrada a continuación se puede observar claramente que no se usan sujetadores de cables para su correcto agrupamiento.

³⁷ FUENTE: Propio del autor.

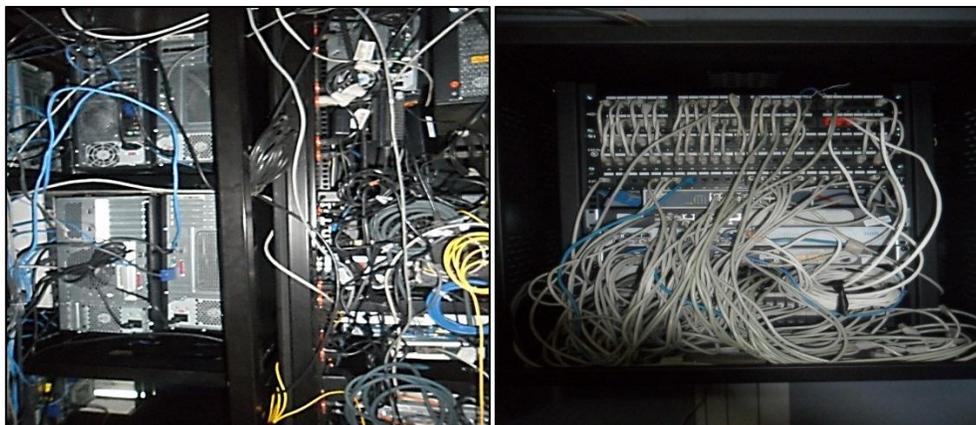


Figura 3.23: Falta de sujetadores de cables en los racks.³⁸

En los racks los cables están distribuidos de la manera menos práctica, ya que tampoco cuentan con organizadores verticales ni horizontales que ayuden a obtener una mejor organización y distribución de los cables de telecomunicaciones, en algunos casos el cable se encuentra tenso y esto puede ocasionar que se dificulte su manipulación y que posiblemente pueda desconectarse en algún extremo, se debería dejar una reserva de cable con el fin de facilitar su manipulación cuando fuese necesario.

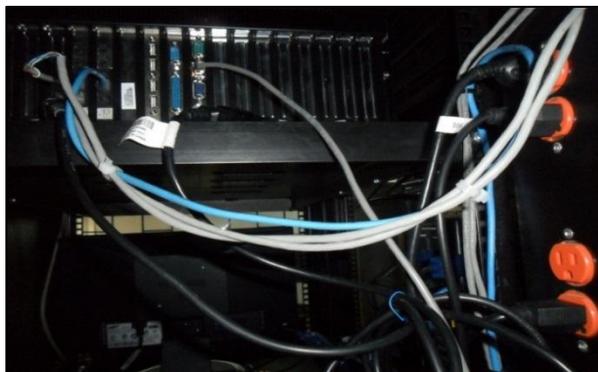


Figura 3.24: Presencia de cables tensos en el rack.³⁹

Otro factor que influye en la calidad del diseño en el cableado estructurado del data center es que algunos de los patch cords que unen los equipos alojados en el rack, se encuentran fabricados manualmente, este tipo de diseño no cuenta con un ajuste seguro y esto podría ocasionar a futuro que se pueda llegar a desprender el cable de su respectivo conector con un

³⁸FUENTE: Propio del autor.

³⁹FUENTE: Idem.

simple movimiento del mismo, ver ilustración de la figura 3.25.



Figura 3.25: Patch cords diseñados manualmente colocados en el rack.⁴⁰

En lugares estratégicos de conexión, se encuentran uniones de cables de datos empalmados entre sí, esto es una gran falta a la conexión de cableado estructurado ya que es aconsejable que el cable no sufra empalmes repentinos [48], dado a que esto ocasiona muchas veces que el material usado como aislante que en este caso es cinta aislante, se desprenda y ocasione la unión entre ellos, tal inconveniente lo podemos observar en la figura 3.26.



Figura 3.26: Presencia de cables de telecomunicaciones empalmados de manera antitécnica.⁴¹

⁴⁰FUENTE: Propio del autor.

⁴¹FUENTE: Idem.

3.4. Diseño de planos unifilares del correcto sistema de protección

Los supresores de transitorios se colocan con el fin de limitar las sobretensiones transitorias a valores que no excedan los picos de la onda sinusoidal de AC, el supresor responde inmediatamente ante la presencia de un pico de impulso y lo mitiga permitiendo que continúe hacia la red con valores de voltaje que no afecte al equipo. También, sus características de desempeño no deben desviarse o degradarse con el uso o a través del tiempo a medida que suprima niveles muy altos de energía transitoria. La colocación de un SPD brindará mayor disponibilidad y seguridad en equipos electrónicos sensibles como: Drivers, CPU's, fuentes de poder, tarjetas electrónicas, servidores, UPS y toda la gama de equipos usados en telecomunicaciones.

Además de disminuir en gran manera o totalmente la producción diferida o lucro cesante, contrarrestando la principal razón de falla en electrónica, que son generalmente los transitorios de sobretensión originados por toda conmutación de cargas, a fin de mejorar la productividad y eficiencia de los procesos, alargar la vida útil de los equipos y proteger la inversión. Con lo cual se pueda lograr la disminución de costos por mantenimiento, repuestos, reparación o reemplazo de equipos electrónicos.

La IEEE Std C62.45-2002., menciona que los SPD's deben proveer un voltaje de remanencia que es el nivel de voltaje al que se ve reducido el valor total inicial presente por un transitorio en la red eléctrica, y se sabe que este voltaje de remanencia cuando aún es mayor, puede causar daño a los equipos, por este inconveniente nace la importancia de considerar el voltaje de remanencia que ofrece cada fabricante de supresores, ya que así se puede fijar el mejor sistema de instalación de varios supresores en cascada para optimizar el nivel de protección del sistema, según la IEEE Std C62.41.1-2002 la cual habla de los dispositivos de protección contra sobre tensiones, menciona que se debe tomar en cuenta una coordinación en cascada de los SPD's [47]. En la figura 3.27, se visualiza el diagrama de la instalación en cascada de los supresores de transitorios, los supresores fueron destinados a instalarse en base al nivel de protección, se destaca la instalación de un supresor en el tablero secundario trifásico que sirve de alimentación para el data center y

otros dos supresores que serían colocados en las salidas de los dos UPS's, permitiendo así que se suprima efectivamente alguna actividad transitoria presente en el sistema.

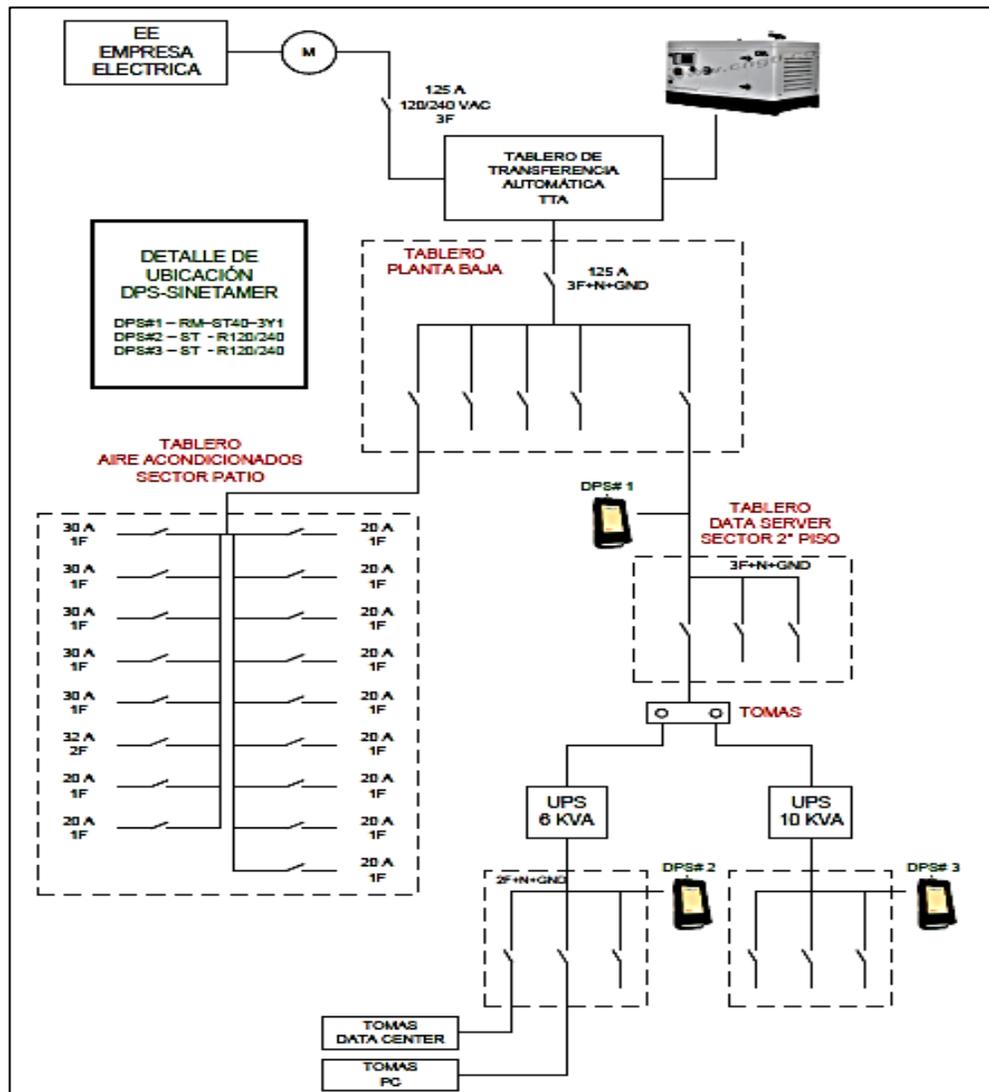


Figura 3.27: Diagrama de colocación óptima de los SPD's para protección de la red eléctrica de la entidad financiera COOPCCP.⁴²

La razón por la que se optó en colocar los SPD's en el data center es debido a que es el lugar dónde se encuentran albergados la mayor cantidad de equipos sensibles usados para la recepción y transmisión de información dentro de la entidad financiera.

⁴²FUENTE: Diseño Propio del autor.

La marca de los SPD's usados en el diagrama son de Sinetamer, ya que muestran detalles específicos como:

- El tiempo de respuesta < 1 nanosegundo.
- Proporcionan, protección de sobretensión con fusibles térmicos insertados en los varistores para evitar la explosión y daños consecuenciales, esto según lo requiere en la norma IEEE62-72-2007.
- Los elementos que componen el supresor de transitorios, se encuentran sumergidos en una resina térmica que permite la disipación de calor.
- No requieren rutina de mantenimiento, incorporan led's, uno por fase que son encendidos a fin de indicar la operación estándar del dispositivo.
- Son considerados no reparables y en caso de falla se reemplazarán totalmente.
- Poseen una garantía de 15, 20 y 25 años contra cualquier anomalía eléctrica.

Estos detalles específicos y toda la información que avalan el funcionamiento y la calidad de los SPD's son proporcionadas por cada fabricante destinado a la distribución y venta de los supresores.

En la figura 3.28 [46] se puede observar un modelo de SPD en marca Sinetamer.



Figura.3.28: Modelo de SPD marca Sinetamer.

Fuente: [46] <http://www.sinetamer.com>.

Los SPD's de Sinetamer, van conectados en paralelo a las cargas a proteger.

Las tablas 2 y 3, provenientes del anexo I presentan las especificaciones eléctricas de cada modelo de supresor usado en el diagrama de la figura 3.27, dichas tablas también son proporcionadas por la empresa distribuidora Equipoil.S.A, en las cuales se indican sus valores de voltajes remanentes respecto a la norma IEEE C62.41 y la IEEE C62.45.

Tabla 3.2: especificaciones eléctricas del SPD, modelo ST-R120/240, marca Sinetamer.

Model	Circuit Type	Mode	MCOV	Peak Surge Current (Amps) Per Mode	ANSI/IEEE C62.41 & .45 Let-Through Voltage	
					A3 Ring Wave 6 kV, 200 A 90Phase Angle	B3/C1 Impulse Wave 6 kV, 3 kA 90° Phase Angle
ST-R120/240	120/240 V, split Ø(2 wire + ground)	L-N	150	40,000	535	650
		L-G	300	40,000	930	1090
		N-G	150	40,000	510	640
		L-L	300	40,000	930	1110

Tabla 3.3: Especificaciones eléctricas del SPD, modelo RM-ST403Y1, marca Sinetamer.

Model	Circuit Type	Mode	MCOV	Peak Surge Current (Amps) Per Mode	ANSI/IEEE C62.41 & .45 Let-Through Voltage		
					A1 2kV, 67A 100KHz Ring Wave 270° Phase Angle	B3/C1 6kV, 3kA Impulse Wave 90° Phase Angle	C3 20kV, 10kA Impulse Wave 90° Phase Angle
RM-ST40-3Y1	120/208V ,3ØY (4wire+ground)	L-L	300	20,000/40,000	80	600	1200
		L-N	150		75	410	914
		L-G	150		85	420	1200
		N-G	150		65	565	1200

Cada SPD, usado en el diagrama cuenta con un valor de remanencia (Let-Through Voltage) que provee el fabricante, se ha elegido el modelo RM-ST40-3Y1 de la marca Sinetamer, puesto que este modelo ofrece un nivel de voltaje de remanencia apropiado para la aplicación del sistema a proteger, tomando en cuenta que el tablero de distribución secundario que ingresa al data center contiene cinco cables, tres fases que sirven de alimentación, un neutro y además contiene la puesta a tierra, este modelo de SPD se acopla a la necesidad del número de cables requeridos, además es usado en categoría B, como se muestra en la tabla 3.2, cuando existe la presencia de un transitorio que posee un voltaje máximo de 6kV y una corriente máxima de 3KA, provee un voltaje de remanencia entre línea y línea de 600V, que es el valor más elevado en la protección del SPD.

El modelo ST-R120/240 provee una configuración para cuatro cables, dos fases, un neutro y tierra, en una alimentación ya sea para 120V o 240V, con protección en categoría A, que provee un voltaje de remanencia entre línea y línea de 930V ante la presencia de un transitorio que genere un voltaje máximo de 6kV a 200A.

Los voltajes de remanencia descritos toman valor cuando existe la presencia de un transitorio que posea la cantidad de voltaje y corriente máxima también mencionados anteriormente.

Pero refiriéndonos a un ejemplo de la verdadera presencia de un transitorio que contenga un valor de 6kV a 3KA, el primer SPD colocado actuaría consumiendo toda la cantidad de corriente y permitiendo pasar únicamente un voltaje de remanencia de 600V, pero tomando en consideración que este valor de voltaje aún puede ser dañino para los equipos sensibles como por ejemplo para las computadoras, routers, etc., para esto entraría en funcionamiento el segundo SPD tomando en cuenta el valor de remanencia que fue emitido por el primero, y el nuevo voltaje de remanencia sería ahora., por consiguiente tomando en consideración que el voltaje de remanencia del primer SPD tuvo un valor de remanencia de 600V, y para el segundo SPD se tiene un voltaje de remanencia considerando un valor 930V estipulado por el fabricante, a un nivel de voltaje máximo de 6kV, entonces según el fabricante tendríamos multiplicando el voltaje de remanencia que proporciona el primer SPD (600V) con el voltaje de remanencia que ofrece el segundo SPD (930V), y a este resultado lo dividimos para el voltaje máximo aplicado de 6kV, obtendríamos un valor nuevo de voltaje de

remanencia igual a 93V. Siendo el voltaje de remanencia total en la colocación de los SPD's encascada de 93V, voltaje que se encuentra dentro de un rango tolerable para no afectar a los equipos sensibles.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS

El presente capítulo detalla un breve concepto sobre la calidad de energía, los factores que afectan en su calidad además de un registro tomado por el analizador de carga, también hace mención a la certificación de puntos específicos de red realizada en la entidad y se analizan los datos obtenidos a través del uso del analizador de energía y del certificador de red, posteriormente se realiza el análisis de la hipótesis obtenida y finalmente se determina una relación beneficio costo acerca de la inversión de los dispositivos que debería por optarse a ser instalados para mejorar la calidad de protección de los equipos más sensibles.

4.1 Calidad de energía

El estándar IEEE 1159 define a la calidad de energía eléctrica como diversos fenómenos electromagnéticos que son caracterizados por su tensión y corriente dentro de un punto determinado de la red eléctrica [16].

La calidad de energía es un tema que se encuentra relacionado principalmente con las perturbaciones eléctricas que suelen causar afecciones a las condiciones normales en el suministro de electricidad, y que además generan un mal funcionamiento y daños a procesos y equipos que son uso indispensable en la rutina diaria dentro de una compañía.

Las perturbaciones principales que pueden presentar un problema en la calidad de la energía dentro de un sistema eléctrico suelen ser [52]:

- Tensión: variaciones, cortes, caídas, sobretensiones.
- Frecuencia: variaciones.
- Forma de onda: armónicos, transitorios, corrientes portadoras.
- Fases: desequilibrio.
- Potencia: cortocircuitos, sobrecargas (efectos sobre la tensión).

En la figura 4.1 se muestran las perturbaciones de tipo de baja frecuencia que están asociados a una mala calidad de la energía eléctrica [52].

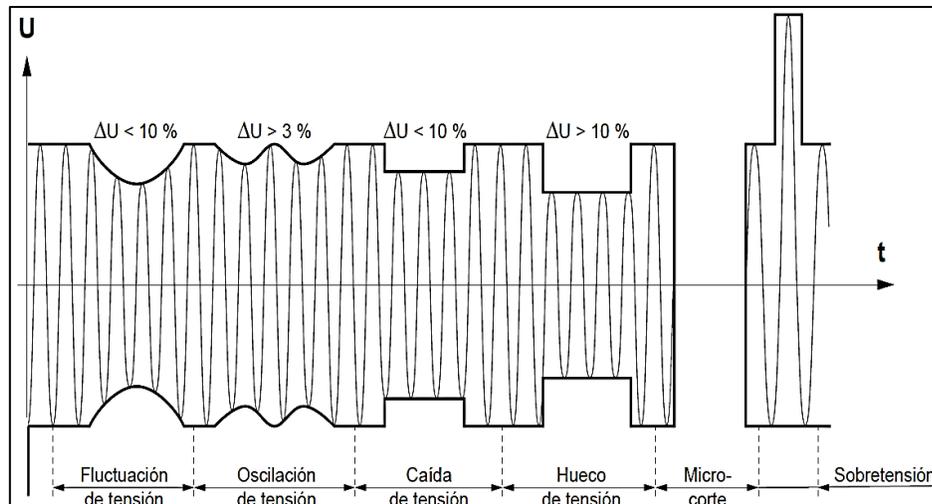


Figura 4.1: Ejemplos de perturbaciones en la red de baja tensión.

Fuente: [52] *Telemecanique*, «Manual didáctico, Compatibilidad electromagnética».

La presencia de voltajes armónicas en los circuitos es otro ámbito que genera una mala calidad en la energía ya que el asociar convertidores de potencia puede ocasionar la presencia de campos magnéticos y eléctricos, que suelen dañar el funcionamiento óptimo de los sistemas de comunicación distorsionándose por motivo de proximidad o susceptibilidad a este tipo de campos magnéticos [5].

Los conductores que se encuentran sujetos a niveles de corrientes armónicas son propensos a sufrir calentamientos que conllevan a la pérdida del aislamiento [5].

La calidad de la energía también depende del tipo de consumo existente al interior de un circuito eléctrico, existen consumos lineales y no lineales.

4.1.1 Consumos lineales

El consumo de cargas lineales influye en la calidad de energía presente en el sistema, y el estudio de las características se basa considerando el resultado de la interconexión de diferentes bloques básicos [51]:

- La fuente de alimentación, usualmente un voltaje sinusoidal.
- El consumo, usualmente constituido por resistencias, inductancias y condensadores de valores fijos.

El consumo lineal tiene una relación constante entre el voltaje y la corriente y que generalmente existe un desfase entre ellos, ver ejemplo de la figura 4.2 [51].

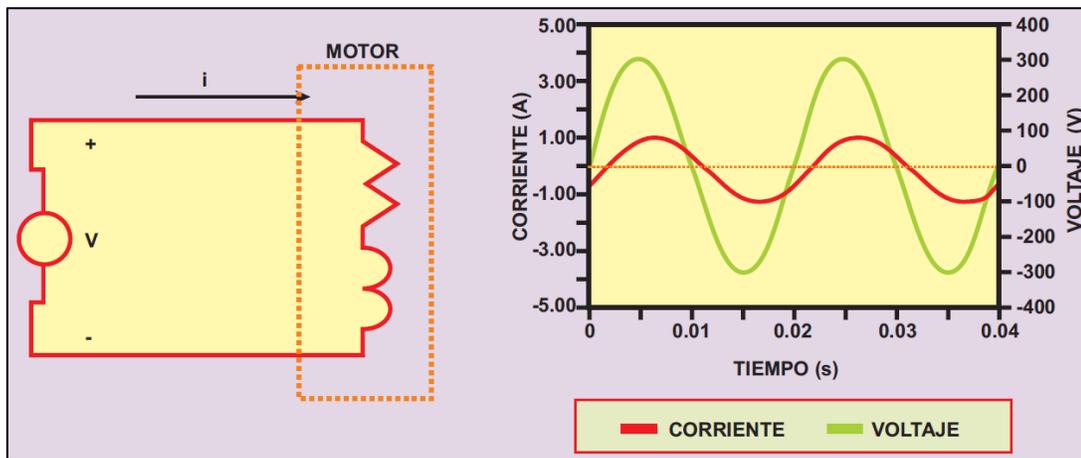


Figura 4.2: Ejemplo de carga lineal, consumo presentado por un motor.
Fuente: [51] A. Muñoz Ramos, CALIDAD DE ENERGIA.

4.1.2 Consumos no lineales

El consumo no lineal es un factor que afecta a la calidad de la energía, es principalmente ocasionado por el uso de la electrónica de potencia, ya que actualmente es la encargada de controlar el producto final, como por ejemplo la iluminación variable, la velocidad ajustable, etc. Aproximadamente el 50% de la energía eléctrica pasa a través del uso de dispositivos de electrónica de potencia antes de ser finalmente aprovechada [51].

Los dispositivos no lineales se clasifican en tres categorías [16]:

- Dispositivos usados en electrónica de potencia, como los convertidores.
- Dispositivos de tipo de arco, como hornos de arco y luces fluorescentes.
- Dispositivos ferromagnéticos, como transformadores.

En la electrónica de potencia se hace uso de diodos, transistores y tiristores, estos dispositivos trabajan en modo de interrupción o más conocido como switching, lo que involucra un cambio rápido por medio de circuitos que usualmente no consumen demasiada potencia, esencialmente los cambios se producen a través de dos estados, un estado de accionamiento que es generado al tener un interruptor cerrado donde el valor de la corriente

por el dispositivo puede alcanzar valores elevados, con un nivel de voltaje nulo. Y otro estado es de acción de bloqueo que corresponde a un interruptor abierto, donde el valor de la corriente por el dispositivo es menor y el nivel de voltaje es elevado, teniendo en ambos casos una baja disipación de potencia [51].

4.1.2.1. Uso de fuentes de poder no interrumpidas

En sistemas computacionales que presentan un gran valor es indispensable el emplear fuentes de poder no interrumpidas (UPS), que son usadas con el fin de alimentar los consumos cuando existe la presencia de cortes de energía, también se usan para garantizar que los equipos tengan una adecuada regulación, la baterías de respaldo que contienen los UPS's se cargan continuamente para actuar en los momentos que existe corte de energía. Estas fuentes de poder constan de rectificadores y por lo tanto suelen inyectar armónicas a la red.

4.1.2.2. Uso de alumbrado fluorescente

Este término hace mención a todas las fuentes de alumbrado que hacen uso de un arco eléctrico para su funcionamiento, puesto que se encienden y se apagan alternativamente.

El tipo de corriente que genera el funcionamiento de este tipo de alumbrado conlleva a la generación de muchos armónicos, especialmente en el rango de orden tres, puesto a que la corriente que absorben los tubos fluorescentes no son de tipo sinusoidal, de manera que se ocasionan perturbaciones en un espectro de frecuencias muy amplio con valores de 0 a 100 KHz, llegando incluso a tomar valores de hasta 5 MHz, por ser perturbaciones principalmente de baja frecuencia suelen acoplarse a la instalación por medio de conducción [52].

4.1.3. Regulación de voltaje

La calidad de energía se relaciona en gran manera con una óptima regulación de voltaje, la principal causa que define las holguras de voltaje con respecto al valor nominal, está relacionada con garantizar el óptimo desempeño de los equipos a través del uso adecuado de rangos específicos determinados para su uso. Las causas principales que genera una mala regulación es la disminución drástica de la vida útil en las luminarias cuando el voltaje crece y decrece, en los motores existe el aumento de sus pérdidas y en ocasiones no funcionan debido a la presencia de un voltaje muy bajo [51].

La aparición de una caída de voltaje elevada en el sistema de transmisión suele ser ocasionada debido al uso de transformadores y cables subdimensionados.

En los niveles de baja tensión (BT) que cuentan con voltajes nominales inferiores o iguales a 660V tomando entre fase, el voltaje debe estar dentro de un rango de entre -7,5% a +7,5% durante el 95% del tiempo de cualquier semana del año de medición y registro, pudiendo excluir los períodos en que existan interrupciones del suministro [51].

4.1.4. Factor de potencia

Es un tema que se incluye en la calidad de energía debido a su valor, ya que si es bajo puede ocasionar fallas en los equipos y en muchos casos el coste de un bajo factor de potencia puede ser alto, ya que suele ser penalizado puesto que a los distribuidores les resulta difícil satisfacer las demandas resultantes de la energía eléctrica, el factor de potencia se ve asociado con la potencia activa, reactiva y aparente [53].

4.1.4.1. Potencia activa, reactiva y aparente

La potencia aparente en un sistema eléctrico puede ser expresada de la siguiente manera (4.1) [53].

$$S=V\times I \quad (4.1)$$

Esta ecuación es usada en circuitos monofásicos.

O bien para circuitos trifásicos (3 \emptyset) se usa (4.2) [53].

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (4.2)$$

Dónde:

V, voltaje fase a fase medida en (V).

I, corriente en la línea medida en (A).

El factor de potencia (PF) puede ser visto como el porcentaje de la potencia aparente total que se convierte en potencia real o útil. Con lo que se puede definir a la potencia activa (P) por medio de (4.3)[53]:

$$P = V \times I \times PF \quad (4.3)$$

Usada en circuitos monofásicos.

O bien para circuitos trifásicos (3 \emptyset) en (4.4) [53]:

$$P = 3 \times V \times I \times PF \quad (4.4)$$

En un sistema eléctrico, si el factor de potencia tiene un valor de 0,80 o lo mismo de 80% de la potencia aparente puede decirse que se convierte en trabajo útil.

La potencia aparente es lo que el transformador aporta a la red del sistema a suplir de energía a fin de que puedan funcionar los equipos alimentados por él. La potencia activa es una porción de la potencia aparente que realiza un trabajo útil y suministra pérdidas en el equipo eléctrico que están asociados con la realización del trabajo.

Un superior factor de potencia conduce a un uso más óptimo de la corriente eléctrica en una instalación. Para lograr que el factor de potencia alcance valores cerca del 100% se puede hacer uso de algún tipo de dispositivo de corrección del factor de potencia, la razón por la cual el valor del FP varia es debido a que la mayoría de los circuitos eléctricos tienen inductancia y capacitancia, los cuales introducen potencia reactiva [53].

La potencia reactiva establece un campo magnético en un transformador central que permite la transferencia de energía, y también cualquier dispositivo que es sometido a un potencial eléctrico desarrolla un campo magnético que representa la inductancia del circuito. Como la corriente fluye en el circuito, la inductancia produce una tensión que tiende a oponerse a la corriente que suele producir una caída de tensión en el circuito.

En cualquier caso las potencias aparentes, activas y reactivas se representan por el triángulo de potencias que es mostrado en la figura 4.3 [53].

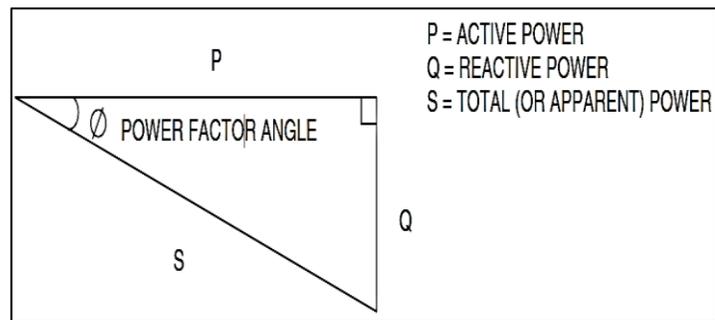


Figura 4.3: Triángulo de potencias.
Fuente: [53] C. SANKARAN, *POWER QUALITY*.

Por medio de (4.5) [53] se puede obtener a la potencia aparente.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4.5)$$

Sabiendo que \emptyset es el ángulo del FP.

Las fuentes que generan potencia reactiva son [5]:

- Condensadores de potencia estática.
- Máquinas sincrónicas.
- Convertidores de potencia estática con conmutación forzada.

Por lo general, las compañías eléctricas cobran una penalización por factores de potencia por debajo de 0.95, pero al realizar la corrección del factor de potencia se puede obtener otros beneficios además de evitar sanciones impuestas por los servicios públicos [53]:

- Reducción del calentamiento en los equipos.
- Aumento de la vida útil del equipo.

- Reducción de las pérdidas de energía y costos de operación.
- Reducción de la caída de voltaje en el sistema eléctrico.

4.2. Análisis de la calidad de energía aportada por el ups, generador y red eléctrica

El estudio de cargas se basa en la determinación de la tensión, corriente, potencia y desplazamiento del factor de potencia ($\cos \phi$), presentes en la red eléctrica en condiciones normales de funcionamiento, el realizar un estudio de carga es base fundamental para el conocimiento y desarrollo futuro del sistema en la red eléctrica, puesto que su funcionamiento satisfactorio depende de los efectos de la interconexión de nuevas cargas a ser instaladas [54].

Para un óptimo análisis de la calidad de energía que es aportada por el UPS, generador y red eléctrica que suplen de energía a la entidad financiera COOPCCP, que son los medios principales para la ejecución del análisis, se procedió a interconectar, hacer ajustes y leer los datos generados por el analizador de carga.

El objetivo de realizar un monitoreo sobre la calidad de energía, es aplicada con el fin de caracterizar los fenómenos electromagnéticos y transitorios en una localización específica, además verificar el estado del nivel de voltaje a la entrada de servicio, el flujo de voltajes armónicas y sobretodo los gastos incurridos en daños de equipos por causa de la presencia de estos fenómenos [13].

4.2.1. Equipo usado para realizar el monitoreo de la calidad de energía

El equipo que fue empleado a fin de lograr un registro y monitoreo de la calidad de energía eléctrica presente en la entidad financiera, aportada por la empresa de suministro de energía

eléctrica, el UPS y el generador, fue el analizador de carga fluke 435 propiedad de la Universidad Politécnica Salesiana.

- **Analizador de calidad fluke 435**

Es un instrumento idóneo empleado para medir todos los parámetros fundamentales dentro de un estudio de calidad de energía en sistemas monofásicos y trifásicos, es capaz de medir una amplia gama de parámetros eléctricos como de corriente, tensión, eventos de armónicos, flickers, desequilibrio, transitorios, etc. Este instrumento nos ofrece un modo amplio de visualización, a través de formas de onda o valores instantáneos que son registrados dentro de un lapso de tiempo, que a fin nos ayudan a determinar el estado de la calidad de energía para lograr su postrer diagnóstico.

4.2.2. Datos obtenidos y pantallas capturadas sobre la calidad de energía

Por medio del analizador fluke 435 se procedió a realizar la captura de eventos transitorios, anomalías presentes en la red por medio de pantallas y además de los valores registrados en lapsos de tiempos determinados, los eventos que principalmente son objeto de estudio en la calidad de energía son los transitorios y armónicos ya que son los que principalmente crean problemas e interfieren con la operación propia del equipo, ocasionando el incremento en los niveles de corriente o voltaje presentando un sobrecalentamiento en los elementos, además pérdidas eléctricas, operaciones erráticas y el envejecimiento prematuro de los equipos. Estos valores fueron tomados en varios puntos específicos de la entidad, que a continuación son mostrados.

4.2.2.1. Tablero principal de ingreso de energía proveniente de la empresa eléctrica

Uno de los puntos estratégicos donde se colocó el analizador de carga fue en el tablero principal de alimentación de energía eléctrica, los datos fueron tomados durante un lapso de

tiempo de 104,58 horas continuas, con el fin de poder conocer la calidad de energía que provee la empresa eléctrica. En la figura 4.4 se muestra la instalación del analizador de carga colocado en el tablero que contiene la acometida proveniente desde el transformador trifásico que supe de energía a toda la entidad financiera.

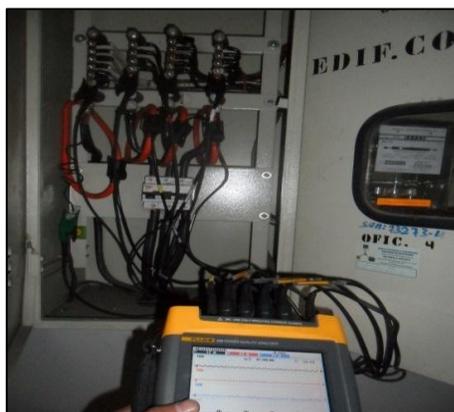


Figura 4.4: Analizador de carga instalado en el tablero de ingreso de la acometida.⁴³

En la figura 4.5 mostrada a continuación se ilustran pantallas captadas a través del uso del analizador de carga fluke 435.

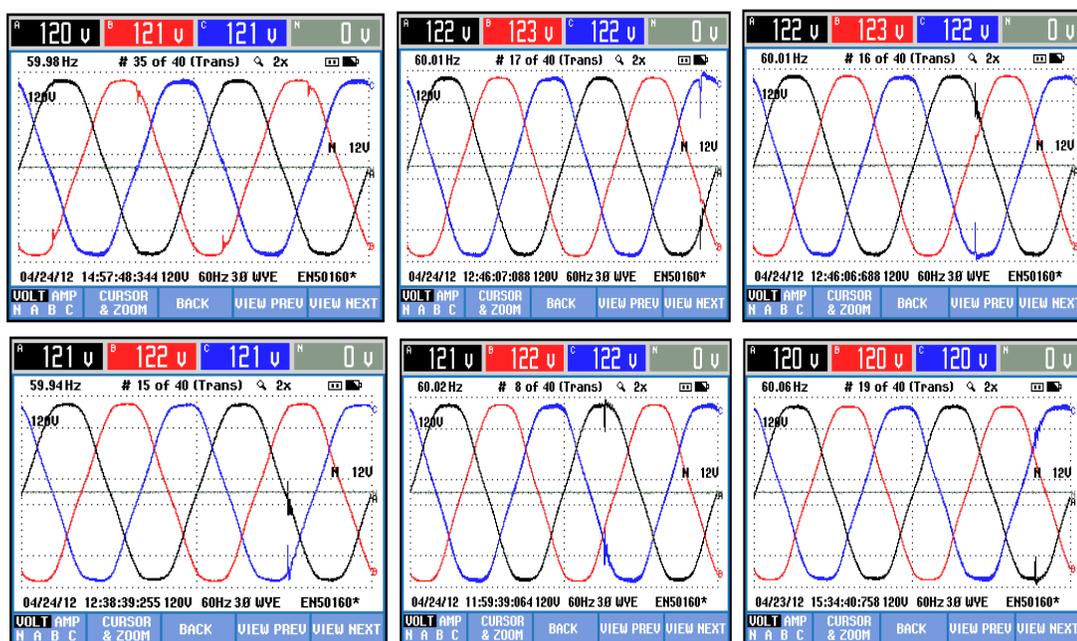


Figura 4.5: Presencia de transitorios captados por medio de pantallas.⁴⁴

⁴³FUENTE: Propio del autor.

⁴⁴ FUENTE: Idem.

Pantallas que demuestran la presencia de transitorios provenientes desde la red de energía que son capturados al instante de su aparición en la red, que debieron ser causa de cualquier anomalía producida en las líneas de tensión que alimentan al transformador, siendo unas transientes generadas muy posiblemente por fuentes externas, ya sea por switcheos en la red. El valor del desequilibrio de tensión que puede estar presente en las instalaciones de la entidad se puede determinar por medio de (4.6), usando los valores mostrados en la figura 4.6.

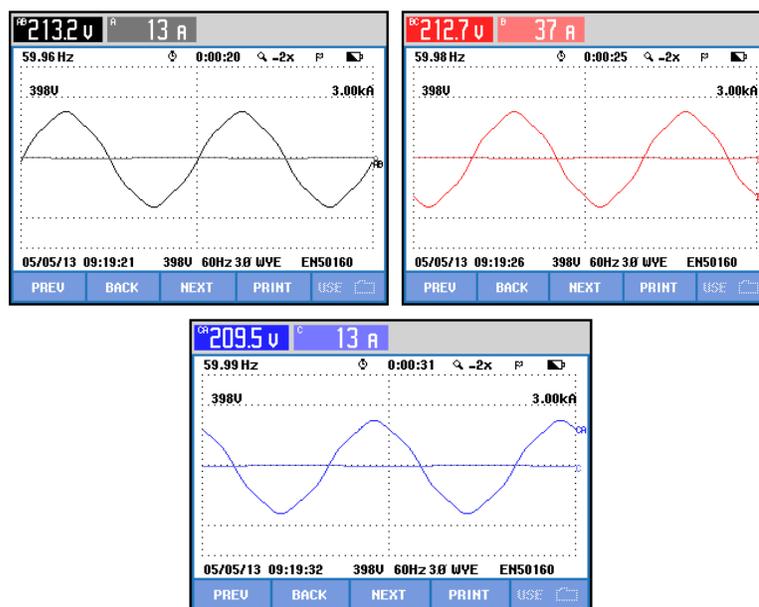


Figura 4.6: Pantallas de voltaje y corriente capturadas en la red de energía.⁴⁵

Usando los valores tomados a través de las mediciones realizadas entre las fases, AyB, ByC, AyC, se procede a realizar el cálculo del desequilibrio de voltaje realizando el promedio entre las tres fases por medio de (4.6) [13].

$$V_{\text{promedio}} = \frac{V_{AB} + V_{BC} + V_{CA}}{3} \quad (4.6)$$

Dónde:

V_{AB} , Voltaje obtenido entre la fase A y la fase B.

⁴⁵FUENTE: Propio del autor.

V_{BC}, Voltaje obtenido entre la fase B y la fase C.

V_{CA}, Voltaje obtenido entre la fase A y la fase C.

Por lo tanto se obtiene un valor de V_{promedio} igual a 211.8V.

Luego el cálculo de la desviación máxima [13] vendría a ser igual a:

$$V_{AB} - V_{promedio} = 1.4$$

$$V_{AB} - V_{promedio} = 0.9$$

$$V_{AB} - V_{promedio} = 2.3$$

De donde la desviación máxima igual a 2.3.

Finalmente el porcentaje de desequilibrio de tensión por medio de (4.7) [13] es igual:

$$\text{Desequilibrio} = \frac{\text{desviación máxima}}{V_{promedio}} * 100\% \quad (4.7)$$

Dando como resultado un desequilibrio de 1.08%.

El porcentaje de desbalance según la tabla 1.1 mostrada en el primer capítulo, nos indica que se encuentra dentro de un rango aceptable.

En la tabla 4.1 se ilustra el resumen de resultados de los valores obtenidos por medio del uso del analizador de calidad, datos observados en el anexo II.

Tabla 4.1: Información obtenida mediante el uso del analizador de carga fluke 435.

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo
frecuencia	59.92 Hz	60.08 Hz
Tensión en periodo normal L1	113.19 V	125.54 V
Tensión en periodo normal L2	116.89 V	127.77 V
Tensión en periodo normal L3	116.77 V	126.06 V
Corriente en periodo normal L1	12 A	102 A
Corriente en periodo normal L2	23 A	126 A

Corriente en periodo normal L3	9 A	70 A
Flicker L1	-	1.964
Flicker L2	-	1.986
Flicker L3	-	1.867
Cos phi L1	0.99	0.7
Cos phi L2	0.99	0.77
Cos phi L3	0.99	0.75

En la tabla 4.2 mostrada a continuación se observa el valor de distorsión armónica total registrada a través del análisis.

Tabla 4.2: Valores de la distorsión total armónica de voltaje obtenida mediante el análisis de calidad de energía.

Armónicos de voltaje	Valor máximo medido de THD%
L1	4.34
L2	5.09
L3	4.84

De acuerdo con los valores suministrados a través del uso del analizador de carga fluke 435, analizando los reportes de tendencia, se hace observación a las siguientes acotaciones.

Según los valores obtenidos de frecuencia mostrados en la tabla 4.1, se puede mencionar que el valor permanece prácticamente constante, ya que no existen variaciones significativas, lo que indica que en las instalaciones eléctricas de la entidad no existen cargas que puedan causar mayor afectación.

Según las tensiones medidas que son apreciadas en la tabla 4.1, se encuentran relativamente semejantes ya que no existe mayor diferencia entre ellas, sin embargo se puede apreciar una diferencia en L1 con respecto a L2 y L3, del día 08/05/2013 a las 14:59 pm donde la línea 1 tuvo una caída de tensión casi notable con valor de 113.19 V tal como

se refleja en la tabla 4.1, esta anomalía pudo ser causa de la empresa distribuidora puesto a que no existe un aumento en el consumo de corriente en el día y hora especificada de la caída de tensión para la línea 1 que pudo causar la disminución del voltaje.

A través de las mediciones respectivas de corriente cuyos valores están mostrados en la tabla 4.1 se obtuvo que la línea L2 presenta mayor valor de fluctuación con respecto a L1 y L3. Las diferencias de corrientes obvias entre líneas hacen notar que existe un mayor consumo en la línea L2 con lo que se puede mencionar que dicha línea se encuentra alimentando a una mayor cantidad de cargada en comparación a las otras dos líneas de aquí se hace evidencia a un desequilibrio de cargas.

Según la REGULACIÓN No. CONELEC – 004/01, la cual habla de la calidad del servicio eléctrico de distribución, nos dice que el índice de severidad del Flicker debe ser considerado en un valor no mayor a uno, siendo el $P_{st} = 1$ como el tope de irritabilidad que puede ser capaz de soportar el ojo humano sin contraer molestia alguna, a través del uso del analizador se pudieron tomar datos de P_{st} en cada fase teniendo como resultado valores superiores a uno ver tabla 4.1, pero no obstante dichos valores tienen una duración de alrededor de 13 minutos, lapso de tiempo que no es causa irritabilidad al ojo humano.

Se puede aducir que la entidad financiera presenta valores máximos del $\cos \phi$ de 0.99 en cada fase según lo mostrado en la tabla 4.1, con lo que se demuestra que en el circuito no presenta mayores inconvenientes en cuanto al consumo de potencia.

Para los valores del factor de distorsión total armónica (THD) de voltaje mostrada en la tabla 4.2, según la IEEE 519-1992 menciona que para valores inferiores de 69KV el límite del THD% debe ser máximo un 5%, comparando con los valores obtenidos se puede aducir que existe un excedente de la THD% en la L2, excedente que nos es de gran magnitud pero si debe ser tomado en cuenta a futuro en caso de existir un aumento de equipos electrónicos que pueda adquirir la entidad financiera ya que también puede aumentar el valor de la THD, puesto que este excedente puede deberse principalmente al uso de cargas no lineales como son los convertidores estáticos de potencia ya que la entidad hace uso de empleo masivo de computadores para lograr sus actividades diarias, estos equipos que son alimentado por medio de fuentes convertidores de voltaje, de modo que si la THD supera

de gran manera al límite establecido se puede producir campos magnéticos que generarían daños en el funcionamiento satisfactorio de los sistemas de comunicación ya que por su proximidad y susceptibilidad pueden ser distorsionados [16].

4.2.2.2. Tablero secundario alimentado por la red eléctrica y el generador

El analizador de carga también fue instalado en el tablero de distribución secundario de alimentación trifásico que supe de energía al UPS, y tomacorrientes usados en el interior del data center. La figura 4.7 muestra la instalación del analizador en el tablero trifásico de alimentación para equipos albergados en el interior del data center.



Figura 4.7: Analizador de carga conectado al tablero trifásico alimentado por la empresa distribuidora de energía y el generador.⁴⁶

Para lograr obtener la calidad de energía aportada por el generador se procedió a interrumpir la continuidad normal de energía proveniente desde la empresa distribuidora, a fin de que se pueda accionar el generador y supla de energía, en la en la figura 4.8 se observa la activación del tablero automático de transferencia con lo que se puede asegurar que el generador se encuentra en funcionamiento.

⁴⁶FUENTE: Propio del autor.



Figura 4.8: Tablero de transferencia automática activado⁴⁷

En la captura de pantallas se obtuvo la distorsión en la forma de onda nominal por causa de cambios repentinos descendentes de voltaje, la figura 4.9 a continuación muestra las pantallas capturadas por el analizador.

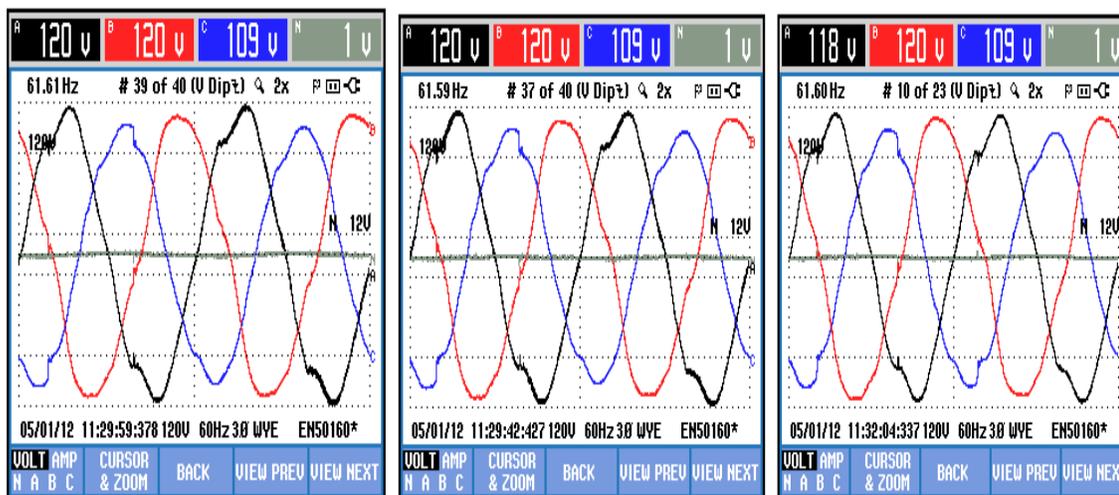


Figura 4.9: Pantallas capturadas de cambios descendentes de voltaje⁴⁸

Además se pudo obtener cambios repentinos ascendentes de voltaje según se muestran en las pantallas capturadas de la figura 4.10.

⁴⁷FUENTE: Propio del autor.

⁴⁸FUENTE: Idem.

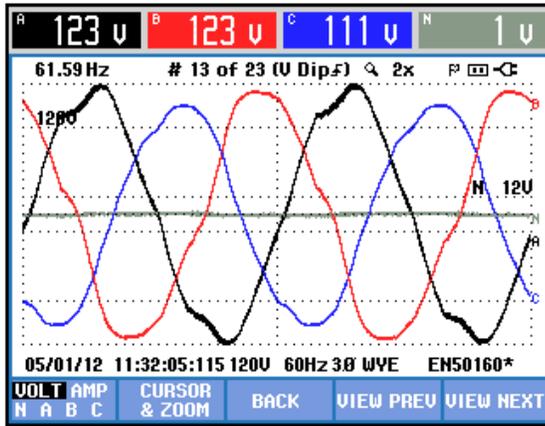


Figura 4.10: Aumentos de voltajes repentinos⁴⁹

También se hicieron presentes subidas de tensión, como son mostradas en la siguiente figura 4.11.

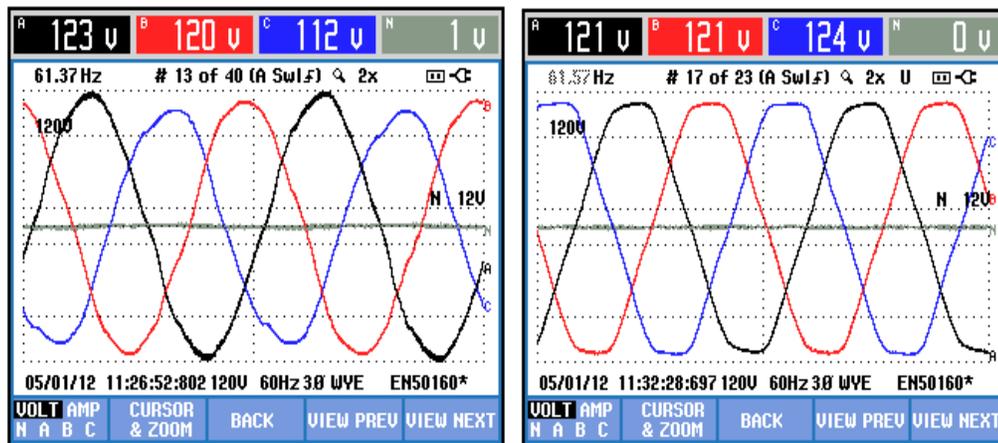


Figura 4.11: Pantallas capturadas de subidas de tensión⁵⁰

Los transitorios se unen a estas anomalías presentes en la calidad de energía que aporta el generador, porque también se capturaron pantallas que demuestran su presencia, esto se puede observar en la siguiente figura 4.12 mostrada a continuación.

⁴⁹FUENTE: Propio del autor.

⁵⁰FUENTE: Idem.

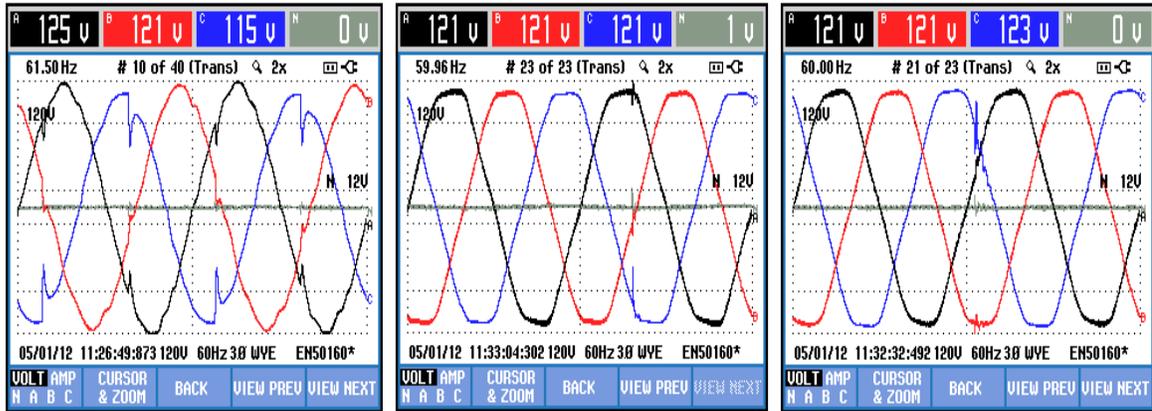


Figura 4.12: presencia de transitorios en la calidad de energía aportada por el generador.⁵¹

Los datos obtenidos durante el funcionamiento del generador dentro de un lapso de tiempo de 10 minutos a fin de obtener los valores que ayuden a determinar detalladamente la calidad de energía que aporta el generador, el lapso de tiempo determinado fue dispuesto a fin de que el funcionamiento del generador implica gasto en combustible y en general no abastece de energía a todo el edificio, quedando únicamente parte de las instalaciones abastecidas y otra sin energía. Los datos obtenidos de la calidad de energía aportada por el generador son mostrados a continuación en la tabla 4.3, datos provenientes del anexo III.

Tabla 4.3: Datos obtenidos de la calidad de energía aportada por el generador.

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo
frecuencia	59.754 Hz	61.577 Hz
Tensión en periodo normal L1	0.07 V	140.15 V
Tensión en periodo normal L2	2.99 V	137.31 V
Tensión en periodo normal L3	0.06 V	128.42 V
Corriente en periodo normal L1	0 A	33 A
Corriente en periodo normal L2	0 A	36 A
Corriente en periodo normal L3	0 A	20 A
Flicker L1	-	25.226
Flicker L2	-	24.508
Flicker L3	-	25.371

⁵¹ FUENTE: Propio del autor.

La tabla 4.4 contiene los valores de la distorsión armónica total registrada en este punto analizado.

Tabla 4.4: Valor de la THD de voltaje.

Armónicos de voltaje	Valor máximo medido de THD%
L1	193.78
L2	31.65
L3	327.67

Según los valores obtenidos de frecuencia mostrados en la tabla 4.3, se puede mencionar que existe una variación notablemente en el valor debido al giro del motor del generador.

Según las tensiones medidas que son apreciadas en la tabla 4.3, se encuentran relativamente en cero en el valor mínimo puesto a que en ese instante se provocó el corte de energía para logara el encendido del generador, sin embargo se puede apreciar una diferencia en L1 con respecto a L2 y L3, donde L1 tiene un valor de tensión superior que luego al transcurso del tiempo de funcionamiento se estabilizan los valores de las tres líneas.

De igual manera que el voltaje, en el valor mínimo de la corriente en las tres fases se obtiene un valor de cero ocasionado por el intercambio de fuente de generación, pero se obtuvo que la línea L2 presenta mayor valor de fluctuación con respecto a L1 y L3 al igual que en la medición anterior del ingreso de la empresa eléctrica debido al mayor consumo que existe en la línea L2.

Los datos tomados de P_{st} en cada fase teniendo como resultado valores muy superiores a uno ver tabla 4.3, pero estos valores no cuentan con una duración prolongada, de manera que no es causa irritabilidad al ojo humano.

Con los valores obtenidos de la THD en cada fase se puede aducir que existe un excedente elevado de la THD% en todas las fases, superando en gran manera al límite establecido con lo que se producen campos magnéticos que generan daños y distorsión en el

funcionamiento correcto de los sistemas de comunicación. Los armónicos producidos tras el uso de generadores y transformadores pueden resultar en incremento del ruido audible, los altos niveles de armónicos resultan en irregularidades, algunas veces sutiles, malfuncionamiento de los equipos que pueden en algunos casos tener serias consecuencias. Los instrumentos pueden ser afectados similarmente, dando datos erróneos u de otra manera funcionamiento impredecible como una interferencia telefónica [16].

4.2.2.3. Tablero de distribución bifásico alimentado por el ups

El tablero bifásico de distribución de energía aportada por el UPS, fue también objeto de estudio a fin de obtener la calidad de energía que aporta, ya que por medio de este equipo se obtiene energía interrumpida hacia los dispositivos instalados en el rack, y su aporte específico se da siempre que existe un interrupción del servicio de electricidad por medio de la distribuidora de energía.

En la figura 4.13 se puede observar la conexión del analizador en el tablero bifásico alimentado por el UPS.



Figura 4.13: Analizador conectado en el tablero alimentado por el UPS.⁵²

Para obtener la energía aportada por el UPS se procedió a la desconexión de la alimentación principal del UPS que mantiene constantemente en carga a las baterías del

⁵²FUENTE: Propio del autor.

mismo, con el afán de que únicamente pueda ser observada la energía pura que entrega el UPS.

En la figura 4.14 Se puede observar la desconexión del UPS que sule de energía a los racks del data center.

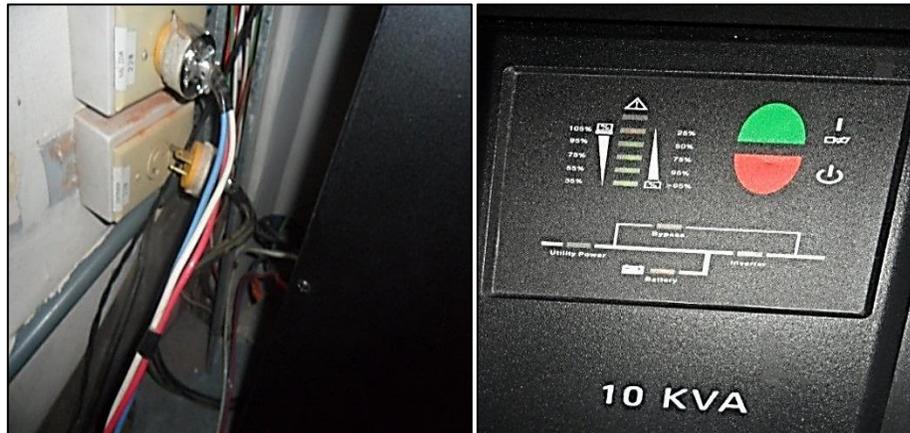


Figura 4.14: Desconexión del UPS que sule de energía al rack del data center.⁵³

Se procedió a obtener capturas de pantallas a fin de observar que tan fiable es la calidad de energía que aporta el UPS, y se pudo obtener cambios ascendentes de voltaje presentes en la señal de onda senoidal, tal anomalía se presenta en la pantalla mostrada a continuación por medio de la figura 4.15.

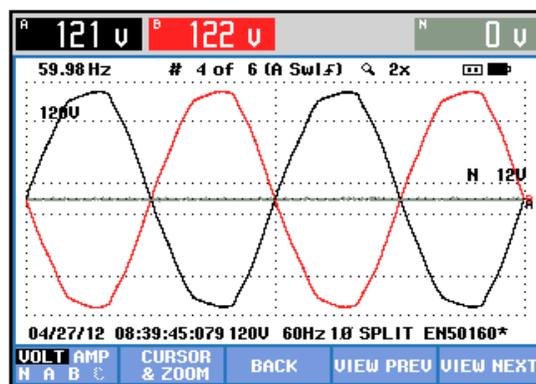


Figura 4.15: Cambios ascendente de voltaje.⁵⁴

⁵³ FUENTE: Propio del autor.

⁵⁴ FUENTE: Idem.

Los cambios descendentes también se presentaron en la forma de onda nominal de la energía aportada por el UPS.

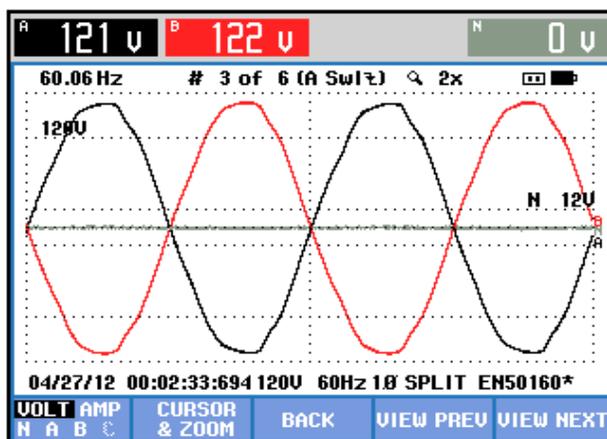


Figura 4.16: Cambios descendentes de voltaje⁵⁵

Los transitorios fueron otro tipo de anomalías presentes en la calidad de energía que presenta el UPS, ver figura 4.17.

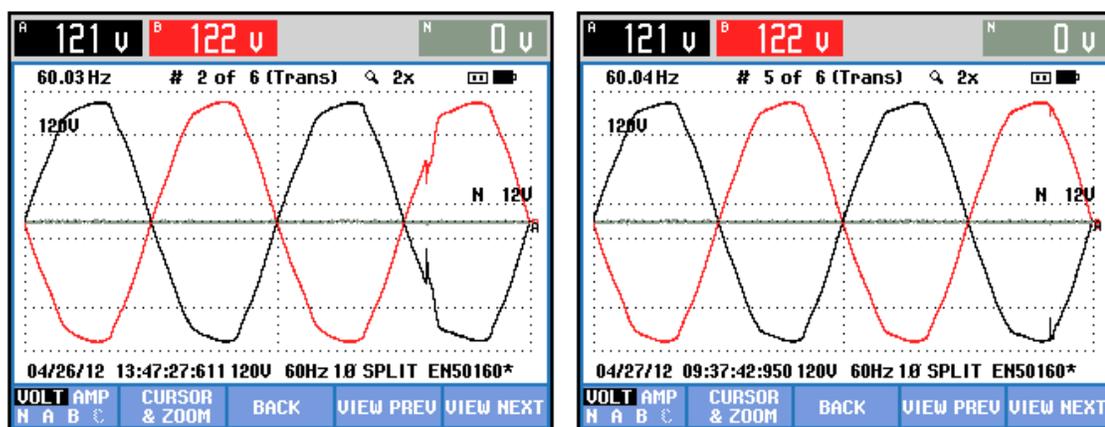


Figura 4.17: Presencia de transitorios en la calidad de energía aportada por el UPS.⁵⁶

Posteriormente se presentan los datos obtenidos por un lapso de tiempo de 10 minutos que se mantuvo desconectado el UPS de su alimentación a fin de obtener los datos acerca de la calidad de energía que aporta, dicho lapso de tiempo fue previsto debido a que el UPS alimenta a equipos que sirven para transmisión de datos como son los servidores, routers,

⁵⁵FUENTE: Propio del autor.

⁵⁶FUENTE: Idem.

etc., y no fue viable su interrupción más allá del tiempo establecido ya que si existiese alguna anomalía en el UPS y se ocasionara la continuidad de abastecimiento de energía y con ello el servicio continuo de energía se corría el riesgo de que se puedan perder datos importantes que son de uso necesario y exclusivos de la Entidad.

La tabla 4.5 muestra los valores en general obtenidos de la calidad de energía aportada por el UPS, a fin de constatar el nivel de calidad de energía con el que los equipos situados en el rack que sirven para transmisión de la información son abastecidos al momento de existir una interrupción de energía. Datos que son tomados del anexo IV.

Tabla 4.5: datos obtenidos de la calidad de energía aportada por el UPS.

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo
frecuencia	59.996 Hz	60.008 Hz
Tensión en periodo normal L1	120.54 V	121.58 V
Tensión en periodo normal L2	121.1 V	122.11 V
Corriente en periodo normal L1	9 A	10 A
Corriente en periodo normal L2	3 A	4 A
Flicker L1	-	2.20
Flicker L2	-	2.23

En la tabla 4.6 se observan los valores de la distorsión armónica total registrada.

Tabla 4.6: Valor de la THD de voltaje.

Armónicos de voltaje	Valor máximo medido de THD%
L1	4.23
L2	3.79

Según los valores obtenidos de frecuencia mostrados en la tabla 4.5, se puede mencionar que el valor se mantiene casi estable sin causar inconveniente alguno.

Según las tensiones medidas que son apreciadas en la tabla 4.5, se encuentran relativamente sin mucha diferencia de valores en las dos fases.

En los valores obtenidos de corriente se obtuvo que la línea L1 presenta mayor valor de fluctuación con respecto a L2 con lo que se puede apreciar que existe un desbalance de distribución de cargas.

Los datos tomados de P_{st} en cada fase teniendo como resultado valores superiores a uno, esto según la tabla 4.6, pero estos valores no cuentan con una duración prolongada, de manera que no es causa irritabilidad al ojo humano.

Con los valores obtenidos de la THD en cada fase se puede aducir que se encuentran en valores aceptables según la norma establecida.

4.2.2.4. Tablero trifásico para alimentación de aires acondicionados

En el tablero de distribución secundario que sirve de alimentación de energía para el funcionamiento de los aires acondicionados usados en la entidad, también fue un punto de conexión del analizador con el fin de lograr obtener datos acerca de posibles anomalías que puedan presentarse al momento del funcionamiento de cada aire acondicionado.

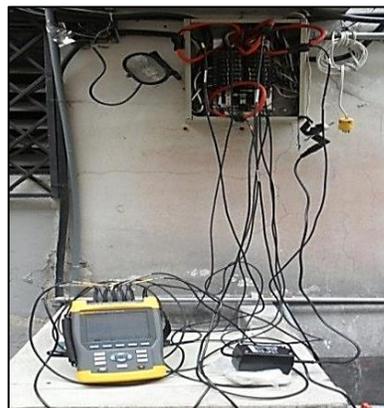


Figura 4.18: Conexión del analizador en tablero trifásico de alimentación para aires acondicionados.⁵⁷

⁵⁷FUENTE: Propio del autor.

Únicamente se procedió a capturar pantallas a fin de poder observar la distorsión que es generada en la onda senoidal a causa del encendido y apagado de cada aire acondicionado. En la figura 4.18 se observa la conexión del analizador al tablero de alimentación para los aires acondicionados.

En las pantallas capturadas mostradas a continuación se puede observar la presencia de transitorios, que pueden ser generados debido al accionamiento continuo de los aires acondicionados, ver figura 4.19.

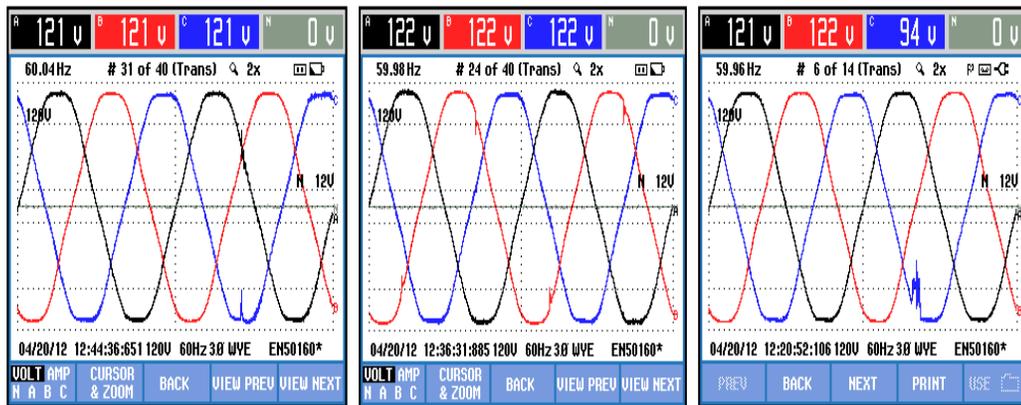


Figura 4.19: presencia de transitorios debido al funcionamiento de airea acondicionados.⁵⁸

En las capturas de anomalías el analizador también registro la presencia de una disminución de tensión, tal como se muestra en la siguiente pantalla ilustrada en la figura 4.20.

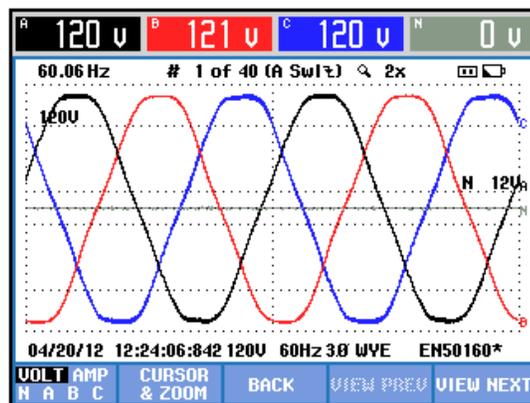


Figura 4.20: Disminución de voltaje⁵⁹

⁵⁸FUENTE: Propio del autor.

⁵⁹FUENTE: Idem.

La presencia de transientes en el sistema eléctrico capturados en los puntos donde fue instalado el analizador, demuestran que los equipos electrónicos pueden ser víctimas de sufrir alguna anomalía o fallos consecutivos cada vez que es conmutado un interruptor, ya que la tensión en sus bornes pasa con mucha rapidez de su valor nominal a cero y viceversa, generando variaciones bruscas y elevadas de la tensión conducida a través de los cables [52].

4.3. Pruebas de funcionamiento con analizador de señal

La información obtenida a través del uso de analizadores para el estudio del estado del cableado estructurado en la entidad financiera, son una indicación de gran contribución primordial para obtener bases reales de la operación y estado actual de la estructura informática existente.

Muchas de las ocasiones que existen fallos de comunicaciones, tiende a generar malestar en el personal, ya sea debido a pérdidas de datos que pueden ser originados por la propia red, o por un algún componente externo, por ende es imprescindible realizar la certificación de una red para conocer su estado.

La certificación de red se realiza con el objeto de verificar la correcta instalación, el cumplimiento de los estándares de funcionamiento para la transmisión de datos a través del cableado estructurado y además que comportamiento presenta en condiciones normales de trabajo o ante la presencia de alguna anomalía.

Actualmente en la entidad financiera COOPCCP existen diferentes motivos presentes en el diseño del cableado estructurado que fueron observados anteriormente, mismos que conllevan a la lógica de que se debe certificar la red, a fin de conocer el rendimiento de la velocidad nominal de transmisión de datos y analizar su calidad de transmisión, además de esto verificar el estado de conexión entre los puntos interconectados, garantizar el rendimiento y la fiabilidad de la estructura informática

En definitiva, se puede recalcar que certificando la red se puede lograr obtener mayor rentabilidad del estado actual de la entidad financiera y garantizar su óptimo desempeño diario.

4.3.1. Certificación de red del cableado estructurado en la entidad financiera COOPCCP

La certificación de red en la entidad financiera se llevó a cabo en cuatro puntos de transmisión de datos diferentes, con la finalidad de comprobar que la instalación de la red cumpla los parámetros técnicos necesarios y asegurar que los datos que circulan a través del cable categoría 5e de tipo UTP son transmitidos con la necesaria calidad, velocidad y seguridad para la categoría establecida, y además que garantice la transmisión de los datos frente a cualquier situación, o en futuras aplicaciones que surjan.

La certificación nos permitirá efectivamente comprobar que la instalación del cableado de comunicación ha sido realizada correctamente y que se encuentra actualmente cumpliendo todos los parámetros.

La comprobación de la red de cableado también tiene como objetivo realizar una comprobación de la longitud, el mapeado de los hilos y su continuidad entre extremos.

Para ejecutar la citada certificación y sus respectivas pruebas con especificaciones técnicas a fin de garantizar el cumplimiento de los requerimientos mínimos solicitados, en su ejecución se va a contar con un certificador de puntos de red calificado.

4.3.1.1. Equipo usado para obtener el estado de la calidad de transmisión de datos a través del cableado estructurado

El equipo usado para lograr la certificación de los enlaces del cableado de red fue el certificador LanTEK II 1000 de Ideal Industries ver figura 4.21 [55].



Figura 4.21: certificador LanTEK II 1000 de Ideal Industries.

Fuente: [55] I. INDUSTRIES, «Manual de instrucciones para el comprobador de cableado LanTEK®II.

El certificador fue usado en óptimas condiciones y calibración, a fin de garantizar la eficiencia de las comprobaciones del cableado en la infraestructura de comunicaciones, el equipo realiza diversos tipos de pruebas a través del terminal remoto (RH), en combinación con el terminal portátil con pantalla (DH), ya que por medio de los dos terminales se ejecutan las autocomprobaciones o pruebas de diagnóstico en tiempo real. El terminal remoto (RH) se encuentra en el extremo final del recorrido del punto de red a ser comprobado, y se comunica con el terminal portátil con pantalla (DH) que se encuentra al inicio del punto de red. Para ejecutar las respectivas mediciones es activado el terminal remoto (RH) automáticamente por medio del terminal portátil con pantalla (DH) [55].

La comprobación de recorridos de cable se procedió a realizarlas de la siguiente manera: La figura 4.22 [55] muestra la instalación del cable al cual se procederá a obtener la certificación, la conexión se realiza entre un extremo del recorrido del cable conectado al terminal portátil con pantalla (DH) y el extremo opuesto del recorrido del cable es conectado el terminal remoto (RH).

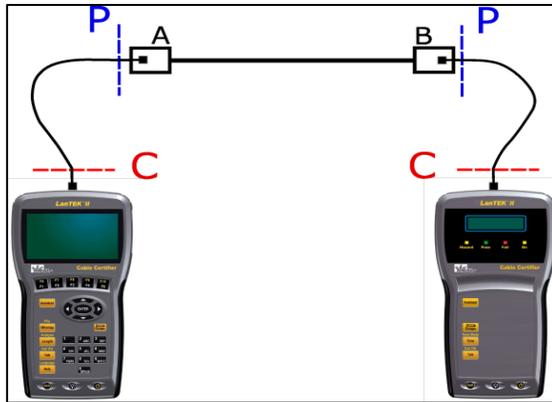


Figura 4.22: Estructura típica de comprobación del cableado de datos.

El área que se encuentra marcada con la letra P, muestra la estructura típica de la comprobación de un enlace permanente que según la norma TIA está compuesta de hasta 90 metros de cableado horizontal, y este tipo de enlace se encuentra antes de la conexión a la red y al usuario y no comprueba adaptadores, cable de interconexión ni el cable jumper, en el área marcada con la letra C, se muestra la estructura típica de comprobación de un enlace de canal que se compone de hasta 90 metros de cableado horizontal que incluye el cable de interconexión, el cable jumper y los adaptadores de prueba para ambos extremos del cable [55]. Tal como se mostró en la figura 4.22 se procedió con la instalación del certificador en los puntos a ser certificados, la figura 4.23 muestra la instalación del certificador.

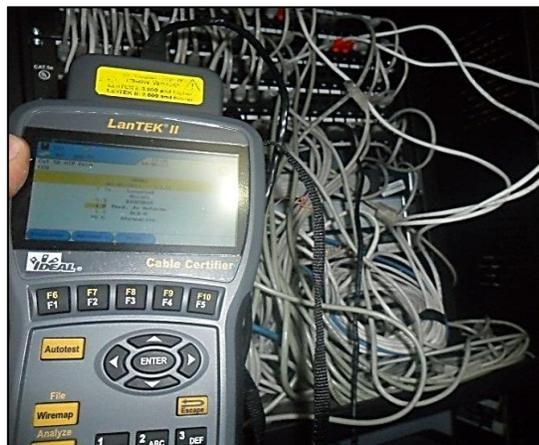


Figura 4.23: Instalación del comprobador de cableado en el rack de la Entidad Financiera COOPCCP.⁶⁰

⁶⁰FUENTE: Propio del autor.

La autocomprobación se puede activar automáticamente desde el terminal portátil con pantalla (DH) o también desde el terminal remoto (RH), tras pulsar la tecla AUTOTEST en el comprobador [55].

El terminal portátil con pantalla (DH) es el que intenta establecer en primer lugar la conexión con el terminal remoto (RH) a través de un par de hilos que deberán estar correctamente conectados para ser establecida la conexión con éxito.

Al finalizar la serie de comprobaciones, se obtiene el resultado global de aprobado o error, en cada una de las comprobaciones tal como se muestra en los símbolos de la tabla 4.7 [55].

Tabla 4.7: Características de resultado global, aprobado/error.

Símbolo	Resultado global de la autocomprobación
	La autocomprobación se evalúa en total con un aprobado si todas las comprobaciones individuales se han pasado con aprobado o aprobado.
	La autocomprobación se evalúa en total como error si como mínimo una comprobación individual se ha evaluado como error o error.

La prueba de diagnóstico ofrece la posibilidad de comprobar si existen daños o una extensión excesiva en el cable de forma continuada, mediante la ejecución de las siguientes pruebas individuales de resistencia, longitud, capacidad, impedancia, duración y diferencia [55].

- Comprobación del cableado.
- Comprobación de longitud.
- ACR-N (ACR).
- NEXT.
- Pérdida de retorno.
- Power Sum NEXT.
- ACR-F (ELFEXT).
- Atenuación

- Power Sum ACR-N (Power Sum ACR).
- Power Sum ACR-F (Power Sum ELFEXT).

4.3.1.1.1. Comprobación del cableado

A través de la comprobación del cableado pueden localizarse anomalías como cortocircuitos, interrupciones y conexiones erróneas. La comprobación se representa en la figura 4.13 [55].

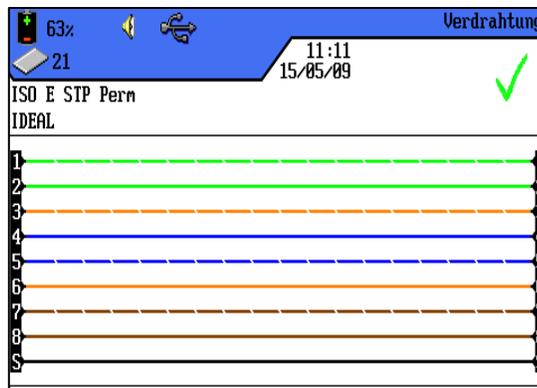


Figura 4.24: Gráfico de Comprobación de cableado.

Fuente: [55] I. INDUSTRIES, «Manual de instrucciones para el comprobador de cableado LanTEK®II.

En caso de que exista un posible error en la comprobación del cableado, siempre debe solucionarse este error previamente, ya en algunos casos este error es arrastrado a las demás pruebas.

4.3.1.1.2. Comprobación de longitud

Este tipo de comprobación determina la longitud de los pares de hilos a una unidad de medida en pies o metros a fin de asegurar de que los valores límites recomendados para el cable seleccionado están siendo respetados, en la figura 4.25 [55] se observa un ejemplo de valores obtenidos en la comprobación de la longitud del cableado con resultados correctos.

Paar	NUP	n	Ergebnis
7,8	0.79	85.0	✓
3,6	0.79	84.9	✓
5,4	0.79	84.2	✓
1,2	0.79	87.0	✓

Figura 4.25: Gráfico de la comprobación de longitud

Fuente: [55] I. INDUSTRIES, «Manual de instrucciones para el comprobador de cableado LanTEK®II.

Puede surgir algún error en la comprobación entre los pares de hilos de un cable por unas diferencias de longitud, debido a ligeras diferencias de la velocidad nominal de propagación (NVP) del cable o por causa de encontrarse retorcidos.

4.3.1.1.3. Comprobación de NEXT, ACR-F (ELFEXT)

La comprobación de tipo NEXT es medida en el terminal portátil con pantalla (DH) y en el terminal remoto (RH), y determina los efectos causantes de interferencias (diafonía) de un par de hilos emisor sobre el par de hilos contiguo en el mismo cable, para todas las combinaciones de par de hilos con un total de doce mediciones [55]. Con las comprobaciones de NEXT (paradiafonía) y ACR-F (ELFEXT) se puede medir la diafonía en extremos cercanos y lejanos del cable. El tener niveles elevados de diafonía puede ocasionar repeticiones frecuentes, corrupción de los datos y otras interferencias que pueden afectar en gran manera a la velocidad de transmisión de datos [55]. La comprobación de tipo FEXT es similar a la medición de NEXT, a diferencia de que las transmisiones surgen desde el terminal remoto y la diafonía es determinada en el terminal portátil con pantalla [55].

Las comprobaciones de ACR-F (ELFEXT) tienen lugar en ambos extremos del cable con el DH y RH y para todas las combinaciones posibles de par de hilos. En consiguiente se realizan veinticuatro mediciones en total [55].

4.3.1.1.4. Comprobación de PS NEXT, PS ACR-F

Las comprobaciones de tipo Power Sum NEXT determinan los efectos condicionados por la diafonía de tres pares de hilos emisores causados en el cuarto par de hilos del mismo cable, se realizan cuatro cálculos en cada extremo del cable y en cada combinación de par de hilos obteniendo un valor total de ocho valores [55].

El tipo de comprobaciones Power Sum ACR-F realiza cuatro cálculos en el lado DH y en cada combinación de par de hilos obteniendo un total de ocho valores [55].

Cuando existe error en las comprobaciones de tipo NEXT y de ACR-F (Power Sum ELFEXT), La diafonía suele ser causada por conectores defectuosos en los extremos del cable. Puesto a que mientras menor sea el valor medido en dB, mayor será el valor de la diafonía [55].

4.3.1.1.5. Comprobación de atenuación

Por medio de este tipo de comprobación se puede determinar la atenuación global de la señal que se está transmitiendo por medio del cable y además se comprueba el cumplimiento de los valores límites, se introduce una señal de amplitud conocida en RH que es leída por DH [55]. Si se desea obtener una transmisión sin fallos es imprescindible contar con una atenuación reducida. Dado a que si la atenuación es mayor, la señal será más débil, y la atenuación aumenta en consideración al aumento del valor de la longitud del cable, la frecuencia de la señal y la temperatura. Si existe una elevación de la atenuación medida en dB se indica por consiguiente un mayor debilitamiento de la señal [55].

4.3.1.1.6. Comprobación de pérdida de retorno

Este tipo de comprobación determina la relación entre la amplitud de señal reflejada y la enviada. Se presentan una reflexión reducida en recorridos de cable de alta calidad, con lo

cual se indica que existe una óptima adaptación de impedancia de cada uno de los componentes conectados al cable, la pérdida de retorno indica también un debilitamiento de la señal en el extremo receptor [55].

Si existe un error en la comprobación de pérdida de retorno, esto nos indica que en un tramo del cable existe una falla en la adaptación de impedancia. No obstante si se obtiene un valor mayor o igual a veinte dB, esto nos referencia a que la red cuenta con un buen cable de par trenzado [55].

4.3.1.1.7. Comprobación de ACR-N (ACR) Y PSACR-N (PSACR)

La comprobación de tipo ACR-N (ACR) determina la diafonía mediante una comparación matemática de los resultados de la comprobación de atenuación y NEXT. Las diferencias entre los valores de medición obtenidos para un par de hilos indican si para el par de hilos en cuestión son probables las interferencias en la transmisión [55].

La medición de ACR-N (ACR) se calcula entre cada par. La medición de Power Sum ACR-N (Power Sum ACR) se calcula mediante la suma de los valores de NEXT entre un par de hilos seleccionado y los otros tres pares de hilos del mismo cable [55].

Los resultados obtenidos por el certificador de puntos de red son mostrados a continuación.

4.3.1.2. Análisis de resultados de certificación de red

Por medio de la certificación se puede demostrar la calidad de los componentes y de la instalación del cableado proporcionando un resultado de aprobación o error.

Los resultados que proporciona el certificador sobre la autocomprobación de la red, son mostradas en forma de tablas y gráficas, que facilitan la detección de relaciones entre los parámetros de la red, a valores reales medidos.

En las gráficas mostradas en el anexo V, se pueden observar sobre el eje horizontal representados los valores de frecuencia y en el eje vertical se encuentran los valores de medición en dB, los valores límite se encuentran marcados en forma de una línea continua. El análisis de los valores obtenidos tras la certificación de los cuatro puntos de red son los siguientes mostrados en la figura 4.26.



Figura 4.26: Puntos de transmisión de datos analizados por el certificador.⁶¹

Se pudo demostrar que en la comprobación del cableado en ningún punto certificado contiene error alguno con lo que se procede a una determinación de que se cumple perfectamente con los parámetros requeridos a fin de que no existe interrupciones o conexiones erróneas, ya que el resultado de la comprobación del cable se encuentra aprobado. De igual manera los valores de medida de longitud, desviación de retardo, atenuación, ACR-N, ACR-F, PS ACR-N, PS ACR-F, se encuentran en rangos aceptables por lo cual se indica su aprobación, no obstante en todos los puntos medidos se obtuvo errores de aprobación en la prueba de tipo NEXT y PS NEXT, ver figura 4.27.

⁶¹FUENTE: Propio del autor.

NEXT: Falla

DH							
Pares		Valor del peor escenario	Límite	Margen	Peor valor absoluto	Límite	Margen
7,8-3,6	✓	39,4dB @ 100,0MHz	32,3dB	7,1dB	39,4dB @ 100,0MHz	32,3dB	7,1dB
7,8-5,4	✓	48,7dB @ 33,5MHz	40,1dB	8,6dB	41,2dB @ 100,0MHz	32,3dB	8,9dB
7,8-1,2	✓	43,2dB @ 100,0MHz	32,3dB	10,9dB	43,2dB @ 100,0MHz	32,3dB	10,9dB
3,6-5,4	✗	47,5dB @ 9,0MHz	49,3dB	-1,8dB	32,2dB @ 100,0MHz	32,3dB	-0,1dB
3,6-1,2	✓	38,1dB @ 93,8MHz	32,8dB	5,3dB	38,0dB @ 94,0MHz	32,7dB	5,3dB
5,4-1,2	✓	45,3dB @ 60,5MHz	35,9dB	9,4dB	45,3dB @ 60,5MHz	35,9dB	9,4dB

RH							
Pares		Valor del peor escenario	Límite	Margen	Peor valor absoluto	Límite	Margen
7,8-3,6	✓	32,8dB @ 99,3MHz	32,4dB	0,4dB	32,7dB @ 100,0MHz	32,3dB	0,4dB
7,8-5,4	✓	40,5dB @ 57,0MHz	36,3dB	4,2dB	37,0dB @ 100,0MHz	32,3dB	4,7dB
7,8-1,2	✓	38,5dB @ 100,0MHz	32,3dB	6,2dB	38,5dB @ 100,0MHz	32,3dB	6,2dB
3,6-5,4	✗	27,3dB @ 100,0MHz	32,3dB	-5,0dB	27,3dB @ 100,0MHz	32,3dB	-5,0dB
3,6-1,2	✗	29,3dB @ 93,3MHz	32,8dB	-3,5dB	29,3dB @ 93,3MHz	32,8dB	-3,5dB
5,4-1,2	✓	57,0dB @ 4,5MHz	54,1dB	2,9dB	40,0dB @ 59,0MHz	36,1dB	3,9dB

Figura 4.27: Error de falla en la comprobación de tipo NEXT.⁶²

La presencia de menor cantidad en dB demuestra la existencia de mayor cantidad en diafonía. La figura 4.28 ilustrada a continuación muestra el error de PS NEXT que se obtuvo en todos los puntos puestos a prueba mediante la certificación.

PS NEXT: Falla

DH							
Pares		Valor del peor escenario	Límite	Margen	Peor valor absoluto	Límite	Margen
7,8	✓	36,2dB @ 100,0MHz	29,3dB	6,9dB	36,2dB @ 100,0MHz	29,3dB	6,9dB
3,6	✓	47,1dB @ 9,0MHz	46,3dB	0,8dB	31,1dB @ 100,0MHz	29,3dB	1,8dB
5,4	✓	47,1dB @ 9,0MHz	46,3dB	0,8dB	31,5dB @ 100,0MHz	29,3dB	2,2dB
1,2	✓	37,4dB @ 93,8MHz	29,8dB	7,6dB	37,3dB @ 94,0MHz	29,7dB	7,6dB

RH							
Pares		Valor del peor escenario	Límite	Margen	Peor valor absoluto	Límite	Margen
7,8	✓	30,5dB @ 100,0MHz	29,3dB	1,2dB	30,5dB @ 100,0MHz	29,3dB	1,2dB
3,6	✗	25,5dB @ 93,3MHz	29,8dB	-4,3dB	25,5dB @ 93,3MHz	29,8dB	-4,3dB
5,4	✗	26,7dB @ 100,0MHz	29,3dB	-2,6dB	26,7dB @ 100,0MHz	29,3dB	-2,6dB
1,2	✗	28,9dB @ 93,3MHz	29,8dB	-0,9dB	28,9dB @ 93,3MHz	29,8dB	-0,9dB

Figura 4.28: Error de falla en la comprobación de tipo PS NEXT⁶³

Según los errores mostrados se puede determinar que existe niveles elevados de diafonía, comprobando como consecuencia la existencia de interferencia o inducción entre los pares

⁶²FUENTE: Propio del autor.

⁶³FUENTE: Idem.

de hilos cercanos que es generado por ruido parasito acoplado generalmente por efecto de transmisión entre cables cercanos, debido al aumento en la complejidad de las falencias que existen en la instalación del cableado estructurado, en el capítulo III se pudo observar que existía cruces entre cables, radio de curvaturas muy exagerados, conectores defectuosos en los extremos del cable realizados manualmente, y en fin no se cumple ningún tipo de norma que apruebe su calidad, por lo cual cabe mencionar que la entidad financiera COOPCCP se encuentra con anomalías de corrupción en la transmisión de los datos, puesto a que se está perjudicando a la velocidad de transmisión por causa de los inconvenientes encontrados.

4.4. Verificación de la hipótesis

La calidad técnica de las redes de comunicación es una de las característica relativamente alta que posee muchas falencias en el cableado estructurado de la entidad financiera, con los resultados obtenidos a través de la investigación realizada se puede observar y determinar que existe numerosos circuitos que poseen una mala implementación con lo cual no proveen una calidad satisfactoria para la transmisión de señales de datos, que a futuro pueden aportar con un pésimo rendimiento para el servicio del personal y de los clientes que hacen uso de los servicios que ofrece la entidad financiera.

Este problema de calidad de transmisión de datos carece de importancia en las instalaciones de la entidad, no obstante debería ser un tema de gran importancia a ser considerado puesto que la infraestructura de comunicaciones es y seguirá siendo el medio más empleado para la transmisión de datos dentro de la entidad financiera ya que a través de este medio se realizan diversas actividades de producción para beneficio de la entidad, pero al contar con una mala calidad en las instalaciones se afecta en gran manera a la velocidad de transmisión de datos en la que fue diseñada el tipo de cable usado actualmente.

Al contar con los datos obtenidos basados por medio de la certificación de red, se puede descartar la presencia de transitorios generados directamente en la red de datos, puesto que los transitorios se originan en los circuitos de energía eléctrica, y gracias al analizador de carga se puedo constatar que si se existe la presencia de transitorios en la red de energía

eléctrica, que son de poca magnitud pero que pueden causar daños paulatinos a los equipos que son alimentados con ésta energía, pero no obstante si existe la presencia de perturbaciones electromagnéticas que son inducidas en la red de datos ya sea a través de inducción por medio del acople de un cable de energía eléctrica colocado cerca o sobre otro cable de transmisión de datos, la inducción se acopla fácilmente cuando existe una corriente elevada mayor a 10A que circula por un conductor eléctrico, y que genera un campo magnético que irradia alrededor del conductor [52].

Además cuando un equipo electrónico sensible o de comunicaciones se encuentra alimentado por una fuente de energía que también supe la alimentación a varios equipos de mayor consumo como motores, copadoras, etc., las perturbaciones son transmitidas por medio de las líneas de alimentación común, por efecto del tipo de acoplamiento por conducción en los circuitos de masa y de tierra [52], ya que todos los conductores que sirven para protección de masa electrónica colocados con el fin de proteger a los equipos sensibles como los de comunicación, están conectados a la tierra de la instalación por medio de conductores eléctricos, como consecuencia se produce la circulación de corrientes perturbadoras por los diferentes circuitos entre las propias masas.

En la figura 4.29 [52] se puede observar un ejemplo claro de circulación de una perturbación conducida por medio de los conductores, perturbación generada por equipos que causan su aparición.

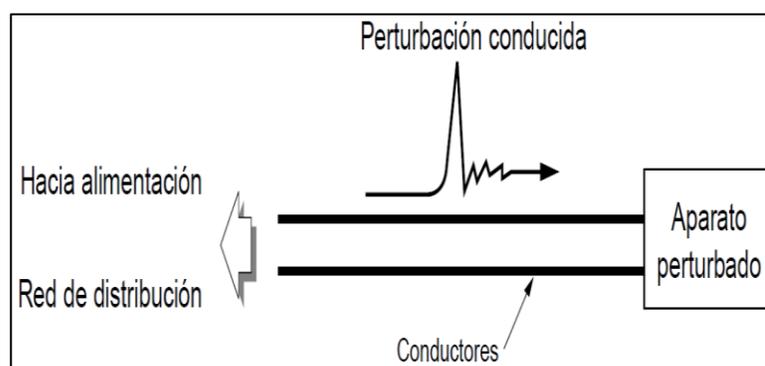


Figura 4.29: Ejemplo del ingreso de perturbación conducida.
Fuente: [52] Telemecanique, «Manual didáctico, Compatibilidad electromagnética».

La corriente se propaga a través de uno de los conductores y el retorno lo realiza por otro conductor, pasando también por medio del aparato ocasionando muchas de las veces fallos

en su funcionamiento.

Las perturbaciones conducidas pueden transmitirse a través de conductores eléctricos en [52]:

- Líneas de alimentación internas o red de distribución.
- Cables de control.
- Cables de transmisión de datos.
- Cables de masas y tierra.

Mas este tipo de conducción perturbadora hacia los equipos de comunicaciones en la entidad puede ser descartado, puesto a que ningún equipo usado para la transmisión de datos se encuentra conectado a tierra y por consiguiente el problema de calidad de la señal no se ve afectado por este tipo de inconvenientes, pero si es recomendable hacer uso de la puesta a tierra para lograr mitigar en gran manera perturbaciones electromagnéticas no deseadas que puedan causar malestar en la red de datos por medio de inducción de otro cable de energía cercano a este.

También suelen producirse acoplamientos por radiación que son producidos por dispositivos que generan la radiación tales son los dispositivos inalámbricos como routers, celulares, radiotransmisores, etc., cuyo resultado presenta mal funcionamiento en los equipos cercanos.

La sucesión de transitorios superpuestos por inducción a la corriente de alimentación a causa de las fuentes de perturbaciones electromagnéticas, pueden ocasionar que se genere un accionamiento imprevisto de tiristores, triacs y además la conmutación o la destrucción de entradas sensibles [52].

Además la presencia de perturbaciones inducidas o conducidas en la red de datos, simplemente puede darse por medio de la aparición de transitorios producidos por diversas causas que contengan una magnitud de corriente muy elevada.

Con el fin de evitar en manera la mitigación de las perturbaciones en la red de datos la

solución que se plantea es acoplar los supresores de transitorios mencionados en el capítulo III acompañados de un correcto sistema de puesta a tierra y además del correcto acople técnico del cableado estructurado que tiene por finalidad como ya se ha mencionado, contribuir con una excelente calidad en la transmisión de los datos en la entidad financiera, dado que el óptimo funcionamiento de la señal se orienta a que el único beneficiario directo sea el prestigio de la entidad financiera COOPCCP.

4.5. Análisis costo beneficio

En un sistema efectivo de protección para los equipos usados y también para el personal que labora al interior de la entidad financiera, se debe tomar en consideración los gastos incurridos en la aplicación de nuevos dispositivos que mejoren y optimicen la calidad de protección eléctrica e informática.

Para la obtención de un beneficio sobre el capital invertido en la protección del sistema, con el fin de mantener un funcionamiento adecuado y la importancia de conservación de los equipos que sirven de transmisores de información dentro de la infraestructura informática, pese a ser una entidad financiera que brinda servicios financieros a muchos de sus clientes debe contar con la debida protección para su continua e ininterrumpida operación.

Los costos de aplicación para la instalación y el uso de protectores de transitorios pueden significar pequeños en comparación al costo general del sistema y además los beneficios en rendimiento que se obtienen únicamente asegurando su correcto funcionamiento.

Por lo tanto la calidad añadida en la protección contra sobretensiones puede ser elegida como enfoque para compensar desperfectos que suelen aparecer constantemente en la red eléctrica por diversas causas antes estudiadas.

Este enfoque puede proporcionar un excelente rendimiento en los mejores intereses del usuario y protección del personal así como también de los equipos ante la presencia de muchas anomalías.

En la figura 4.30 se aprecian los equipos que han sido víctimas de daño total debido a diversas anomalías que se han presentado en la red de energía.



Figura 4.30: Equipos dañados en la entidad por diversas anomalías.⁶⁴

Para la visualización del beneficio se debe optar por emplear futuros recursos implicando costos de implementación, que serán reflejados principalmente en el aumento de tiempo de la vida útil de los equipos usados en diversas funciones como para transmisión y recepción de información, calidad de seguridad del personal que labora diariamente manteniendo un continuo contacto con los equipos. Los beneficio obtenidos visualizando en función del tiempo, aquí se puede visualizar en detalle las actividades continuas sin interrupciones que pueden generarse debido a causas de falla en los equipos principalmente por una mala protección, equipos que necesariamente deberán ser cambiados por otros nuevos o bien detener la operación de una parte del sistema informático a fin de lograr su postrer reparación, con lo que se lograría entonces que el costo relacionado al tiempo se ve justificado plenamente.

⁶⁴FUENTE: Propio del autor.

4.5.1. Evaluación financiera

Con el uso de la evaluación financiera se obtienen resultados en base al estudio de un proyecto específico por medio de operaciones matemáticas, a fin de obtener los indicadores de evaluación que son usados con dos fines posibles [56]:

- Optar por una decisión de aceptación o rechazo.
- Optar por considerar la ejecución de varios proyectos considerando su rentabilidad.

4.5.1.1. Cálculo del valor presente o actual neto

Por medio del uso del VAN o VAL, se actualizan todos los flujos futuros al período inicial cero, a fin de comparar si los beneficios obtenidos son superiores a los costos, si esto se cumple significa que la rentabilidad del proyecto es superior a la tasa de descuento, por tanto se puede acotar que la inversión es conveniente. Para obtener el VAN de un proyecto es necesario considerar una tasa de descuento que equivale a la tasa alternativa de interés de invertir el dinero en otro proyecto [56].

El VAL puede ser calculado usando la ecuación (4.8) [57].

$$VAL = -Inversión + \sum_{k=1}^n \frac{FC_k}{(1+i)^k} + Valor Residual \quad (4.8)$$

Dónde:

FC_k , es el flujo de caja en el tiempo k .

n , es el número de periodos.

i , es la tasa de interés.

$VAL > 0$ excedentes para el inversionista.

$VAL = 0$ el inversionista recibe ganancias.

$VAL < 0$ pérdidas para el inversionista.

4.5.1.2. Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno (TIR) es aquel método de evaluación considerado como la más alta tasa de interés que se podría pagar por un préstamo que financiara la inversión, toma en consideración el valor en el tiempo del dinero y las variaciones de los flujos de caja durante toda la vida útil del proyecto considerando los siguientes aspectos [56]:

Si el TIR es igual o superior a la tasa de interés vigente, el proyecto se considera viable [57].

El TIR puede ser calculado usando la ecuación (4.9) [57].

$$0 = -Inversión + \sum_{k=1}^n \frac{FC_k}{(1+i)^k} + Valor Residual \quad (4.9)$$

Dónde:

FC_k, es el flujo de caja en el tiempo k.

n, es el número de años.

i, es la tasa de interés.

Luego de haber estudiado la viabilidad técnica del uso e implementación de una adecuada protección del sistema eléctrico ante la presencia de cualquier evento que pueda suscitarse, a fin de mantener siempre en operación los equipos situados principalmente en el data center, se procederá a continuación con la realización del análisis de costo-beneficio el cual refleja el beneficio obtenido tras la implementación de la malla a tierra y el uso de protectores de transitorios, es decir, de qué manera contribuye la justificación de su implementación. Los gastos incurridos durante un año debido a cambios de equipos dañados por falencias en la protección eléctrica, mantenimiento eléctrico y mantenimiento de equipos y programas según cifras proporcionadas por la entidad suman un total de 59500,25 dólares estos valores se aprecian en la tabla 4.7.

Tabla 4.7: Gastos incurridos en la entidad durante un año.

Artículo	Cantidad	Total gasto
Monitor	14	1300
Impresoras	9	1587
Scanner	2	200
Floppy	1	30
Ventiladores	3	44,97
Mouse	38	431
Fuentes de poder	41	984
Teclados	25	247
Parlantes	1	10
Carcasas	13	305
Mtto. eléctrico	-	20695,43
Mtto. equipos y programas	-	33665,85
Total		59500,25

Donde además la entidad cuenta con un valor de 328677,51 dólares por motivo de ingresos operacionales e ingresos por servicios que se generan por medio de aplicaciones informáticas a través del data center como son el uso de cajeros automáticos, transacciones, etc.

En la tabla 4.8 se aprecia el valor que corresponde a la implementación de la malla de protección a tierra y los SPD's que servirán de protección contra transitorios, para mayores detalles estos valores están citados en los anexos VI y VII.

Tabla 4.8: Costo estimado de la implementación de SPD's y malla a tierra.

Equipo/diseño	Cantidad	Costo
Malla de tierra	1	996,80
SPD	3	1778,45
Total		2775,25

Tomando en consideración los valores de ingresos y egresos generados netamente en la entidad debido al uso del sistema eléctrico e informático en el data center, valores mencionados anteriormente, se procede a obtener los indicadores de evaluación como son el VAN y el TIR, para esto también se fija un interés considerando los siguientes valores.

$$\text{Interés nominal} = 8.17\%^{65}$$

$$\text{Inflación} = 3.01\%^{66}$$

$$i = 8.17 - 3.01 = 5.16 \%$$

El flujo de caja (FC) enfocado únicamente en los ingresos y egresos generados tras las aplicaciones del sistema informático en la entidad para el primer año considerando que se estipula un tiempo de inversión de 2 años para la implementación del sistema de protección, de donde tenemos:

$$FC = 328677,51 - 59500,25 = 269177,26$$

$$\text{Valor residual} = 0,1 \times 1778,45 = 177,845$$

Para el cálculo del VAL aplicando la ecuación (4.8) tenemos:

$$\text{VAL} = 496764,14, \text{ si existe excedentes.}$$

Para el cálculo del TIR tras iteraciones de aproximación se tiene:

$$\text{TIR} = 96,98 \%$$

Considerando que el TIR es mayor a la tasa de interés por lo tanto el proyecto se considera viable.

Tras la relación costo-beneficio acerca de la implementación de la malla a tierra y colocación de supresores de transitorios analizados anteriormente a fin de mejorar la protección de los equipos eléctricos y electrónicos usados en la entidad logrando la

⁶⁵ Banco Central del Ecuador, Tasa de Interés Activa, 2013,
http://www.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=activa

⁶⁶ Banco Central del Ecuador, Inflación Anual, 2013,
http://www.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=inflacion

disminución de gastos incurridos en adquisiciones de equipos dañados y pérdida de señal por diversas anomalías presentes en la red eléctrica, se obtiene una rentabilidad factible para la ejecución de la implementación y uso de los supresores y de la malla a tierra.

A simple observación se puede destacar que los gastos incurridos en adquisición de equipos dañados durante un año generado por diversas anomalías presentes en la red eléctrica, es superior en comparación a la inversión que presenta la implementación de la malla de protección a tierra y de los equipos usados para lograr la mitigación de transitorios en la red.

Con todo lo expuesto anteriormente, puede estipularse que en base a los costos generados por causa de gastos en adquisición de equipos nuevos, la comparación en base a los beneficios obtenidos mediante la implementación de equipos de protección a fin de disminuir en gran manera estos gastos, atrae un resultado positivo hacia lo obtenido mediante la solución de una óptima protección a tierra y la mitigación de posibles transitorios en la red, porque esta solución constituye una mejora a la calidad de servicio brindada al cliente que forma parte de la entidad financiera.

Con lo que se lograría mejorar la vida útil de los equipos, incrementación de la capacidad de trabajo ya que no se invertiría tiempo en cambios de equipos por causa de fallas.

CONCLUSIONES

- Se efectuó el análisis y estudio de la presencia de transitorios en la red de datos por medio del uso de equipos diseñados para su investigación, llegando a la conclusión que si existe la presencia de transitorios pero de tipo degradativos, transitorios obtenidos principalmente debido al uso de aires acondicionados dentro de la entidad, ya que por ser equipos que realizan conmutaciones de encendido y apagado continuamente por naturaleza de su funcionamiento, transitorios que no son de gran magnitud pero si son periódicos que ocasionan el daño paulatino al resto de equipos degradando la vida útil prevista y afectando a la transmisión de información de datos por causa de daños en equipos que sirven de receptores y transmisores de información.
- Se realizó el diseño del diagrama unifilar de la implementación del sistema de protección contra transitorios, colocando SPD's en lugares donde más se amerita su colocación en base a los estudios realizados, de manera que si se logra su implementación futura se pueda optimizar el rendimiento de los equipos electrónicos y evitar que sufran daños continuos debido a la presencia de estos fenómenos transitorios.
- Se concluye que implementando un efectivo sistema de protección a tierra se reducirá en gran manera el número de equipos dañados, puesto que actualmente la entidad no cuenta con un sistema de protección efectivo.
- Se concluye a través de los errores aportados tras la certificación de los puntos de red, que existen niveles elevados de diafonía, comprobando así la existencia de interferencias por inducción que se producen entre los pares de hilos cercanos, anomalías que generan ruido parasito acoplado por efecto de contar con cables cercanos generando interferencia en la señal o disminución de la capacidad de transmisión de información en la red, causando malestar al personal que hace usando de la red interna de datos en la entidad.

- Si bien cabe mencionar que tras los estudios realizados en este trabajo se necesita de una correcta implementación de un sistema de protección y una correcta estructura del cableado de datos pensando en la expansión futura a la que está sometida constantemente la entidad financiera, y por ende también se ve incluido el crecimiento de las redes soportadas, pero no obstante a través de estas implementaciones se atraerá beneficios compensados con ahorros en gastos incurridos por mantenimiento y adquisición de nuevos equipos, además de contribuir con un servicio sólido y efectivo a los clientes que hacen uso de los diversos servicios que brinda la entidad.
- Se concluye que las normas empleadas en la investigación del trabajo fueron de gran aporte puesto que a través de ellas se obtuvo información valiosa y ecuaciones que sirvieron para realizar los cálculos necesarios requeridos, principalmente para el diseño de la malla a tierra que se desarrolló obteniéndose el valor deseado.
- Como conclusión sobre la relación beneficio costo se puede acotar que la implementación de la malla de puesta a tierra y los supresores de transitorios requeridos para mejorar la calidad de protección a fin de evitar daños y gastos incurridos por la adquisición de equipos nuevos, es viables, puesto que la entidad financiera COOPCCP mantiene cantidades de ingresos muy superiores en comparación al gasto generado por la implementación de un óptimo sistema de protección, ya que se reducirán los gastos por daños de equipos, además de salvaguardar la salud del personal y evitar gastos en juicios penales.
- Se concluye a través de una revisión minuciosa al estado del cableado de datos y de energía eléctrica, que a simple vista existe un gran incumplimiento de las normas establecidas para protección, calidad de energía, cableado estructurado, entre otras, normas que deberían ser consideradas como base fundamental en virtud de contar con una red de datos oportuna y efectiva sin presentar inconvenientes continuos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda una correcta reorganización del cableado estructurado en la entidad financiera, por medio del uso de canaletas, contenedores y organizadores a fin de distribuir y albergar los cables de comunicaciones y no queden colocados a la deriva y enredados, ya que a través de una óptima distribución del cableado en la red se optimizaría la transmisión de información y la calidad del estado del cableado.
- Se recomienda implementar un óptimo sistema de puesta a tierra para la red informática usando la TMGB y TGB a fin de brindar una referencia a tierra para los equipos alojados en el data center y asegurar su protección y la del personal.
- Se recomienda en lugares donde el cableado estructurado es interconectado entre cuartos a través de pisos o paredes, la colocación de una tubería en el orificio previamente realizado para esa función específica, a fin de que se pueda evitar la degradación del aislante del cable y se provea un espacio suficiente para que los cables no se encuentren estrechos.
- Se recomienda colocar etiquetado en los cables de red a fin de saber su función y ubicación cuando sea necesario un cambio futuro, se presente un conflicto en un punto de la red o según lo amerite la necesidad, ya que sin el respectivo etiquetado se perdería tiempo tratando de saber la correspondiente ubicación, además se recomienda una señalización en los tableros de energía eléctrica que servirán para prevención de accidentes.
- Se recomienda utilizar cable apantallado, canaletas simples o que contenga separación con el fin de redireccionar cables de datos en una sola canaleta o compartimiento y de energía en otra canaleta o compartimiento, para lograr separar los distintos tipos de cables y evitar la infiltración de interferencia electromagnética y así mejorar la transmisión de la información a través de la red de datos.

- Los racks de comunicaciones ubicados en el Data Center deben presentar mejores condiciones de operación, espacio, ventilación y distribución del cableado estructurado.
- Se recomienda realizar una efectiva distribución de cargas en las líneas de alimentación de energía teniendo en cuenta el crecimiento de la entidad, ya que de esta manera se logra mejorar la calidad de energía y la seguridad del personal y los equipos, evitando que los cables se sobrecalienten y puedan perder su aislante con esto generar algún cortocircuito severo en la institución.
- Se recomienda cumplir con las normas establecidas de implementación y seguridad ya que caso contrario va a seguir existiendo las fallencias encontradas, tanto en la red de datos como de energía atrayendo gastos incurridos en adquisición de nuevos equipos a causa de daños en los actuales.

REFERENCIAS

- [1] A. Greenwood, in *Electrical transient in power systems*, 2 ed., United States, John Wiley & Sons, Inc, 1991, pp. 37-47,92-104,188,463-483.
- [2] R. C. Dugan, . M. F. McGranaghan y S. Santoso, *Electrical Power Systems Quality*, Second edition ed., New York: McGraw-Hill, 2003, pp. 11-165.
- [3] IEEE Std. 399, *IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis*, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1997, pp. 9-10,122,313-359.
- [4] IEEE Std. 1100, *IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment*, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2005, pp. 311-320.
- [5] A. A. Fernández, «e-archivo.uc3m,» 13 10 210. [En línea]. Available: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/11059/1/PFC_Agustin_Alcaide_Fernandez.pdf. [Último acceso: 5 9 2012].
- [6] A. Meier, de *ELECTRIC POWER SYSTEMS A CONCEPTUAL INTRODUCTION*, New Jersey, JOHN WILEY & SONS, INC., 2006, pp. 24-28,255-258.
- [7] S. Ramírez Castaño y . E. A. Cano Plata, *calidad del servicio de energía eléctrica*, Primera edición ed., Colombia: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, 2005, pp. 8-19,35-76.
- [8] L. v. d. Sluis, de *Transients in Power Systems*, Netherlands, John Wiley & Sons Ltd, 2001, pp. 1,2,83,107,108,116,121-127.
- [9] IEEE. Std. C62.41.2, *IEEE Recommended Practice on Characterization of Surges in Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits*, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2002, pp. 7-26.

- [10] M. A. Sánchez Cortés, calidad de energía eléctrica, Puebla: SNEST, 2009, pp. 26,40-112,129-192.
- [11] L. L. GRIGSBY, THE ELECTRIC POWER ENGINEERING HANDBOOK, United States of America: L.L. Grigsby, 2001, p. chapter10.
- [12] IEEE Std. C62.72, *IEEE Guide for the Application of Surge-Protective Devices for Low-Voltage (1000 Volts or Less) AC Power Circuits*, United States of America: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2007.
- [13] IEEE Std.1159, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1995.
- [14] E. Kuffel, W. S. Zaengl y J. Kuffel, «High Voltage Engineering Fundamentals,» de High Voltage Engineering Fundamentals, London, Newnes, 2000, pp. 48-51.
- [15] IEEE Std. C62.45, *IEEE Recommended Practice on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage (1000 Vand Less) AC Power Circuits*, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2002, pp. 26-31.
- [16] IEEE Std. 519, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic control in electrical power systems, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1992, pp. 14,35-38,59-63,80,85 .
- [17] UL 1449, Standard for Surge Protection Devices, 3rd Edition ed., Underwriters Laboratories Inc, 2006.
- [18] J. D. Glover y S. S. Mulukutla, «Ciencias Ingenierias,» de Sistemas de potencia Analisis y diseño, Mexico, international Thomson Editores, S.A, 2004, pp. 551-554.
- [19] G. Vijayaraghavan, M. Brown and M. Barnes, Practical Grounding, Bonding,Shielding and Surge Protection, AMSTERDAM: Newnes, 2004.

- [20] C. E. D. C. E. D. L. CONSTRUCCIÓN, *NORMA ECUATORIANA DE NEC-10 INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN BAJO VOLTAJE*, Ecuador, Creado Mediante el Decreto Ejecutivo N° 3970 15 de Julio 1996, pp. 69-80.
- [21] J. Ramirez Vázquez, *Instalaciones Electricas II*, Barcelona: ediciones CEAC, 1986, pp. 213-232.
- [22] IEEE Std. 1100, "IEEE Recommended Practice for," The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1999.
- [23] N. M. O. Ingeniero Civil Electricista, *Sistemas de Puesta a Tierra*, Primera Edición ed., Santiago de Chile: PROCOBRE, 1999, pp. 15-17,20,28,58-60.
- [24] IEEE Std. 142, "Grounding of Industrial and Commercial Power Systems IEEE green BOOK," The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2007.
- [25] M. Pavone, A. Mascetti and F. Sáez, "MANUAL DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA," General Distribuidora S.A. (GEDISA), Venezuela, 2007.
- [26] IEEE Std. 80, "IEEE Guide for Safety," The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2000.
- [27] IEEE Std. 81, "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System," The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, New York, 1983.
- [28] I. C. a. S. Organization, "Ntional Fire Protection Association NFPA 70," National Electrical Code Committee, 2008.
- [29] I. C. H. Montalva, "SISTEMA DE CONEXION A TIERRA EN LA CONSTRUCCION," Procobre, Perú, 1999.
- [30] W. Mark, "handbook National Electrical Code," National Fire Protection Association, Unites States, 2011.

[31] D. O. D. W. D. 20301, "MILITARY HANDBOOK GROUNDING, BONDING, AND SHIELDING FOR ELECTRONIC EQUIPMENTS AND FACILITIES," Approved for public release, Unites States, 1987.

[32] J. S. RAMÍREZ CASTAÑO and E. A. CANO PLATA, "SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA:Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF," Editorial Blanecolor Ltda, Manizales, 2010.

[33] ANSI-J-STD-607-A, "Commercial Building Grounding (Earthing) and Bonding Requirements For Telecommunications," TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION, U.S.A, 2002.

[34] MEGABRAS, "manual de uso MTD-20KWe," MEGABRAS INDUSTRIA ELECTRONICA LTDA., 2007.

[35] E. INSTRUMENTS, "User's Manual Earth Ground Resistance Tester Kit," A Flir Company.

[36] Ing. G. Rojas, "MANUAL DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA," GEDISTRUT.

[37] IEEE Std. 141, "Recommended Practice For Electric Power Distribution For Industrial Plants," The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1993.

[38] IEEE Std. 242, "Recommended Practice for protection and coordination of industrial and commercial Power Systems," The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1986.

[39] S. SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES, "ELECTRICIDAD INSTALACIONES DE CONSUMO EN BAJA TENSION," NCH Elec, 2003.

[40] R. G. Márquez, PUESTA A TIERRA DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS, Barcelona: Alfaomega marcombo, 1999, pp. 7-19,28-36,79-85,97-120.

- [41] ANSI/TIA/EIA-568-B.1, "Commercial Building Telecommunications Cabling Standard," TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION 2001, U.S.A, 2001.
- [42] ANSI/TIA/EIA-568-B.2, "Commercial Building Telecommunications Cabling Standard Balanced Twisted-Pair," TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION 2001, U.S.A, 2001.
- [43] ANSI/TIA-942, "Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers," TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION, U.S.A, 2005.
- [44] GAESTOPAS, "Catalogo de cableado estructurado," AENOR, 2009-2010.
- [45] IEEE Std. 241, "Electric Power System in Commercial Buildings, Gray Book," Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1990.
- [46] Sinetamer, "www.sinetamer.com," Sinetamer, [Online]. Available: <http://www.sinetamer.com/>. [Accessed 15 11 2012].
- [47] IEEE Std. C62.41.1, "Guide on the Surge Environment in Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits," Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2002.
- [48] I. N. d. e. e. informática, colección cultura informática, Introducción al cableado estructurado, Lima: INEI, 2002.
- [49] ANSI/TIA/EIA-606-A, "Administration Standard for Commercial Telecommunications Infrastructure," TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION, U.S.A., 2002.
- [50] IEC, «IEC 61643-1 Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems Requirements and tests,» International Electrotechnical Commission, Switzerland, 2005.
- [51] A. Muñoz Ramos, CALIDAD DE ENERGIA, primera edición ed., Santiago de Chile: PROCOBRE, 1999.

- [52] Telemecanique, «Manual didáctico, Compatibilidad electromagnética «CEM»,» Schneider Electric España, S.A., Barcelona, 2000.
- [53] C. SANKARAN, POWER QUALITY, New York: CRC Press LLC, 2002.
- [54] W. D. Stevenson, Analisis de Sistemas Electricos de Potencia, México : McGRAW-HILL, 1985.
- [55] I. INDUSTRIES, «Manual de instrucciones para el comprobador de cableado LanTEK®II,» IDEAL INDUSTRIES, INC, San Diego, 2009.
- [56] Universidad Nacional de Loja ÁREA JURÍDICA, SOCIAL Y ADMINISTRATIVA, *MÓDULO 9 ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN*, Loja: Universidad Nacional de Loja, 2012.
- [57] Ing. B. Santos, *MATEMÁTICA FINANCIERA Ingeniería Eléctrica Formulaciones Nivel X*, Quito: Universidad Politécnica Salesiana.