

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electromecánica

Ingeniería en Mantenimiento Industrial



OFICINA DE INGENIERÍA

**Actualización de diagramas unifilares, estudio de cortocircuito y
coordinación de protecciones de los edificios A, B, C y D de la
acometida principal de la sede central del Tecnológico de Costa
Rica**

Informe de Práctica de Especialidad para optar por Título
Ingeniero en Mantenimiento Industrial, grado Licenciatura

Jorge Alberto Angulo Carpio

Cartago, noviembre del 2016

Profesor Guía

Ing. Nicolás Vaquerano Pineda

Asesor Industrial

Ing. José Gabriel Fernández Carazo

Tribunal Examinador

Ing. Osvaldo Guerrero Castro

Ing. Manuel Badilla Sánchez

Información del estudiante y de la empresa

Nombre: Jorge Alberto Angulo Carpio
Cédula: 3 0460 0591
Carné TEC: 201105841
Dirección de residencia en época lectiva: San Blas, Cartago
Dirección de residencia en época no lectiva: San Blas, Cartago
Teléfono en época lectiva: 87 33 09 61
Teléfono en época no lectiva: 87 33 09 61
Email: jorge42528@hotmail.com

Información del Proyecto

Nombre del Proyecto: Actualización de diagramas unifilares, estudio de cortocircuito y coordinación de protecciones de los edificios A, B, C y D de la acometida principal de la sede central del Instituto Tecnológico de Costa Rica

Profesor Asesor: Ing. Nicolás Vaquerano Pineda

Asesor Industrial: José Gabriel Fernández Carazo
Horario de trabajo del estudiante: L,K,M y J de 7:30am a 4:30pm

Información de la Empresa

Nombre: Instituto Tecnológico de Costa Rica
Zona: Oficina de Ingeniería.
Dirección: Cartago
Teléfono: (506) 2550 - 2269
Fax: (506) 2552 - 7952
Apartado: 159-7050
Actividad Principal: Diseño de factibilidad de proyectos

Dedicatoria

A Dios por darme las herramientas necesarias para salir adelante.

A mis Padres y Hermanos, por todos los consejos y el apoyo brindado en todo este proceso.

A mis familiares, en especial a mi Tío, que en paz descansa, fue pilar de motivación y me brindó su apoyo para iniciar este proceso académico.

A mis amigos de infancia, por estar presentes en todas las etapas de este proceso, tanto de éxitos como de fracasos, brindando esa motivación extra fundamental.

A mis compañeros y amigos de la Universidad, que son parte del éxito de proceso; con los que aprendí que el trabajo en equipo es fundamental para el desarrollo tanto grupal como personal, donde siempre hubo apoyo tanto moral como académico y que se creó un vínculo de amistad que hizo más ameno el proceso.

A todas esas personas que de una u otra forma me brindaron esos consejos que me motivaron a seguir mis sueños, cumplir mis metas y tener siempre una visión diferente de la vida.

Agradecimientos

Agradezco a los profesores del Tecnológico de Costa Rica por darme las herramientas necesarias, para desarrollarme en este mundo tan interesante de la Ingeniería.

Agradezco a mis familiares, amigos y compañeros que fueron pieza fundamental en ese proceso.

Agradezco a mi Profesor Asesor el Ing. Nicolás Vaquerano y a mi Asesor Industrial el Ing. José Gabriel Fernández Carazo, por brindarme el apoyo y la confianza de desarrollar este proyecto de manera efectiva.

Agradezco a la Oficina de Ingeniería por facilitar el proceso para desarrollar el proyecto en esta Institución, también al Departamento de Administración de Mantenimiento, en especial a los señores José Cascante, Ing. Manuel Centeno y al Ing. Manuel Badilla que siempre me brindaron su apoyo muy gentilmente para desarrollar este proyecto.

Tabla de Contenidos

Resumen.....	1
Abstract.....	2
CAPÍTULO 1: Introducción.....	3
1.1 Descripción de la empresa	3
1.2 Descripción del proyecto	5
1.3 Objetivos del proyecto.	8
1.3.1 Objetivo general.....	8
1.3.2 Objetivos específicos.	8
CAPÍTULO 2: Marco conceptual.....	9
2.1 Fuentes de corriente de fallo	11
2.1.1 Generadores síncronos.....	12
2.1.2 Motores síncronos.....	14
2.1.3 Máquinas de inducción.	14
2.1.4 Proveedores de energía.....	16
2.1.5 Bancos de condensadores.....	17
2.1.6 Inversores y rectificadores.	23
2.2 Descripción de una corriente de corto circuito.....	25
2.2.1 Introducción.	25
2.2.2 Corriente simétrica y asimétrica.....	27

2.3 Tipos de fallas	28
2.4 Fundamentos del cálculo de corto circuito.....	29
2.5 Metodología de cálculo.....	30
2.5.1 Método de las impedancias.	30
2.5.2 Norma IEEE Std 551™-2006.	32
2.5.3 Norma IEEE Std 141™-1993.	32
2.6 Sistemas de protección	37
2.6.1 Criterios de selección de protecciones contra corto circuitos.....	39
2.7 Coordinación de protecciones.	40
CAPÍTULO 3: Recopilación de datos.	42
CAPÍTULO 4: Resultados.	46
4.1 Metodología de normas IEEE 551-2006 y IEEE 141-1993.....	47
4.1.1 Corrientes de falla con aporte de la red de distribución (JASEC).	47
4.1.2 Corrientes de falla con aporte de unidades generadoras.....	52
4.2 Modelado en el software <i>SKM Power Tools</i>	56
CAPÍTULO 5: Verificación de alimentadores y protecciones	63
5.1 Verificación de conductores.....	64
5.2 Verificación de protecciones.....	67
5.3 Coordinación de protecciones por <i>SKM Power Tools</i>	84
5.4 Selección de protecciones.....	158

Conclusiones y Recomendaciones	160
Conclusiones	160
Recomendaciones	161
Apéndices	162
Apéndice 1: Tablas de cálculos	162
Apéndice 2: Diagrama unifilar <i>SKM</i>	171
Apéndice 3: Memoria de cálculo	172
1. Cálculo de impedancias	172
2. Cálculo de Impedancia equivalente	176
3. Cálculo de corrientes de fallo	204
Anexos	205
Referencias bibliográficas	219

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación de la acometida principal.....	6
Figura 2 Principales causas de incendio accidentales investigados	9
Figura 3 Corriente de corto circuito trifásica para una maquina sincrónica.	13
Figura 4 Ejemplo de circuito de conexión de un capacitor.	18
Figura 5 Estudio de falla de un capacitor de 10 MVAR para un cable de 30m.....	18
Figura 6 Corriente de fallo de un capacitor de 10 MVAR con un cable de 15m	19
Figura 7 Corriente de fallo de un capacitor de 10 MVAR con un cable de 300m.	19
Figura 8 Simulación de un filtro 5ta con 5 MVAR	21
Figura 9 Simulación de un filtro 5ta con 10 MVAR	21
Figura 10 Simulación de un filtro 5ta con 20 MVAR	22
Figura 11 Resultados de la simulación con los condensadores desconectados.....	22
Figura 12 Simulación de condensadores conectados al sistema.....	23
Figura 13 Circuito de un inversor (DC-AC).	24
Figura 14 Diagrama-Equivalente de media onda (a) y de onda completa (B) los convertidores con el corto-circuito en el lado de corriente alterna.	25
Figura 15 Desarrollo de corriente de falla	27
Figura 16 Fallas típicas de corto circuito.....	29
Figura 17 Corriente de corto circuito permitido para conductores.....	40
Figura 18 Datos de conductores Software SKM.	56
Figura 19 Datos de Transformadores Software SKM.....	57
Figura 20 Datos de Red Externa Software SKM.....	57
Figura 21 C1-ATX1 Coordinación protecciones.....	86
Figura 22 Reporte de C1-ATX1.....	86
Figura 23 C2-DTX1 Coordinación protecciones.....	87
Figura 24 Reporte C2-DTX1	88
Figura 25 C3-ATX2 Coordinación protecciones.....	89
Figura 26 Reporte C3-ATX2.....	89
Figura 27 C3-ATX2 Coordinación protecciones (Corregida).....	90
Figura 28 C4-DTX2 Coordinación protecciones.....	91

Figura 29 Reporte C4-DTX2.	91
Figura 30 C5-ATX3 Coordinación protecciones	92
Figura 31 Reporte de C5-ATX3.....	93
Figura 32 C7-ATX3M4 Coordinación protecciones.	94
Figura 33 Reporte de C7-ATX3M4.....	95
Figura 34 C9-DTX3 coordinación de protecciones.....	96
Figura 35 Reporte de C9-DTX3	96
Figura 36 C10-ATX4MASC coordinación de protecciones.	97
Figura 37 C11-ATX4TASC coordinación de protecciones.	98
Figura 38 Reporte de C11-ATX4TASC.	99
Figura 39 C12-DTX4 coordinación de protecciones.....	99
Figura 40 Reporte de C12-DTX4	100
Figura 41 C13-ATX5 coordinación de protecciones.....	101
Figura 42 Reporte de C13-ATX5.....	101
Figura 43 C15-DTX5 coordinación de protecciones.....	102
Figura 44 Reporte de C15-DTX5	103
Figura 45 C16 ATX7 coordinación de protecciones.	104
Figura 46 Reporte de C16 ATX7.....	105
Figura 47 C17-ATX7MASC coordinación de protecciones.	106
Figura 48 Reporte de C17-ATX7MASC	106
Figura 49 C18-ATX7TASC coordinación de protecciones.	107
Figura 50 Reporte de C18-ATX7TASC.	107
Figura 51 C19-DTX7 coordinación de protecciones.....	108
Figura 52 C19-DTX7 coordinación de protecciones (Corregida).....	109
Figura 53 Reporte de C19-DTX7.	110
Figura 54 C20-ATX9MASC coordinación de protecciones.	110
Figura 55 Reporte de C20-ATX9MASC.	111
Figura 56 C20-ATX9TASC coordinación de protecciones.	111
Figura 57 C20-ATX9TASC coordinación de protecciones (Corregida).	112
Figura 58 C21-DTX9 coordinación de protecciones.....	113
Figura 59 C21-DTX9 coordinación de protecciones (Corregida).....	114

Figura 60 Reporte de C21-DTX9.	114
Figura 61 C22-ATX12MASC coordinación de protecciones.	115
Figura 62 Reporte C22-ATX12MASC.	115
Figura 63 C23-ATX12TASC coordinación de protecciones.	116
Figura 64 Reporte de C23-ATX12TASC.	117
Figura 65 C24-DTX12 coordinación de protecciones.....	117
Figura 66 C24-DTX12 coordinación de protecciones (Corregida).....	118
Figura 67 Reporte de C24-DTX12.	119
Figura 68 C25-ATX24MASC coordinación de protecciones.	119
Figura 69 C26-ATX24TASC coordinación de protecciones.	120
Figura 70 C26-ATX24TASC coordinación de protecciones (Corregida).	121
Figura 71 Reporte de C26-ATX24TASC.	122
Figura 72 C27-DTX24 coordinación de protecciones.....	123
Figura 73 C27-DTX24 coordinación de protecciones (Corregida).....	123
Figura 74 Reporte de C27-DTX24	124
Figura 75 C28-ATX27BOMB coordinación de protecciones.	125
Figura 76 C28-ATX27BOMB coordinación de protecciones. (Corregida).	125
Figura 77 Reporte C28-ATX27BOMB.	127
Figura 78 C31-ATX27COMP coordinación de protecciones.	127
Figura 79 Reporte de C31-ATX27COMP	128
Figura 80 C32-ATX27COMPT coordinación de protección.....	129
Figura 81 Reporte de C32-ATX27COMPT.....	130
Figura 82 C33-DTX27 coordinación de protecciones.....	130
Figura 83 Reporte de C33-DTX27.	131
Figura 84 C34-ATX34TB MRP coordinación de protecciones.	132
Figura 85 C34-ATX34TB MRP coordinación de protecciones (Corregida).	132
Figura 86 Reporte de C34-ATX34TB MRP.	133
Figura 87 C35-ATX34TB MFE coordinación de protecciones.....	134
Figura 88 C35-ATX34TB MFE coordinación de protecciones. (Corregida).....	134
Figura 89 Reporte de C35-ATX34TB MFE.	135
Figura 90 C36-ATX34TB MTP1 coordinación de protecciones.....	136

Figura 91 C36-ATX34TB MTP1 coordinación de protecciones (Corregida).....	136
Figura 92 Reporte de C36-ATX34TB MTP1	137
Figura 93 C38-ATX34TB MC coordinación de protecciones.....	138
Figura 94 C38-ATX34TB MC coordinación de protecciones. (Corregida).....	138
Figura 95 Reporte de C38-ATX34TB MC.	139
Figura 96 C39-ATX34TB MFT coordinación de protecciones.....	140
Figura 97 Reporte C39-ATX34TB MFT.....	140
Figura 98 C40-ATX34TB MTC1 coordinación de protecciones	141
Figura 99 C40-ATX34TB MTC1 coordinación de protecciones (Corregida)	142
Figura 100 Reporte C40-ATX34TB MTC1.	142
Figura 101 C42-ATX34TC MTPH1 coordinación de protecciones.....	143
Figura 102 C42-ATX34TC MTPH1 coordinación de protecciones (Corregida).....	144
Figura 103 Reporte de C42-ATX34TC MTPH1.....	144
Figura 104 C47 ATX34TCNC MFMAZ coordinación de protecciones.	146
Figura 105 C47 ATX34TCNC MFMAZ coordinación de protecciones (Corregida). .	146
Figura 106 Reporte C47 ATX34TCNC MFMAZ.	147
Figura 107 C48-ATX34TCNC MTLEA coordinación de protecciones.....	148
Figura 108 C48-ATX34TCNC MTLEA coordinación de protecciones (Corregida)...	148
Figura 109 Reporte de C48-ATX34TCNC MTLEA.....	149
Figura 110 C49-ATX34TD MTC3 coordinación de protecciones.....	150
Figura 111 C49-ATX34TD MTC3 coordinación de protecciones (Corregida)	150
Figura 112 Reporte de C49-ATX34TD MTC3.....	151
Figura 113 C50-DTX34 coordinación de protecciones.....	152
Figura 114 C50-DTX34 coordinación de protecciones (Corregida).....	152
Figura 115 Reporte de C50-DTX34.	153
Figura 116 C51-ATX36MASC coordinación de protecciones.	154
Figura 117 C52-ATX36TASC coordinación de protecciones.	155
Figura 118 Reporte de C52-ATX36TASC	156
Figura 119 C53-DTX36 coordinación de protecciones.....	156
Figura 120 Reporte de C53-DTX36.	157
Figura 121 Circuito equivalente modelado en software SKM.....	171

Figura 122 Extracto de diagrama Unifilar LAIMI I.....	178
Figura 123 Extracto de diagrama unifilar LICl.....	180
Figura 124 Extracto de diagrama unifilar del Comedor Institucional.	182
Figura 125 Extracto de diagrama unifilar del Lab Física-Química.....	184
Figura 126 Extracto de diagrama unifilar de T. Hidroneumático.	186
Figura 127 Extracto de diagrama unifilar de Biblioteca.	188
Figura 128 Extracto de diagrama unifilar de Edificio Mate-Físico.	190
Figura 129 Extracto de diagrama unifilar de Admisión y Registro.....	192
Figura 130 Extracto de diagrama unifilar de Administración de Empresas.	194
Figura 131 Extracto de diagrama unifilar de Electromecánica.	196
Figura 132 Extracto de diagrama unifilar del Taller Básico.	198
Figura 133 Extracto de diagrama unifilar del edificio aulas.	201
Figura 134 Tabla 9, Valores de impedancia de conductores.	205
Figura 135 Continuación de Tabla 9, Valores de impedancia de conductores.....	206
Figura 136 Valores típicos de X/R de transformadores.....	206
Figura 137 Valores típicos de X/R para motores síncronos y pequeños generadores.	207
Figura 138 Valores típicos de X/R para motores de inducción.	207
Figura 139 Valores de corriente de aporte en el punto de la acometida principal....	208

Índice de Tablas

Tabla 1 Factores multiplicativos para reactancias de máquinas síncronas.....	14
Tabla 2 Valores de reactancia recomendados para motores de inducción.....	15
Tabla 3 Corriente de falla barra de distribución principal. (RD).....	47
Tabla 4 Corriente de falla en Tablero TA (Taller Básico). (RD).....	48
Tabla 5 Corriente de falla del Tablero C (Taller Básico). (RD).....	49
Tabla 6 Corriente de falla del Tablero B (Taller Básico). (RD).....	49
Tabla 7 Corriente de falla en Tablero CNC. (RD).....	50
Tabla 8 Corrientes de fallo de Tablero Principal (Electromecánica). (RD).....	51
Tabla 9 Corriente de falla barra de distribución principal. (UG).....	52
Tabla 10 Corriente de falla en Tablero TA (Taller Básico). (UG).....	53
Tabla 11 Corriente de falla del Tablero C (Taller Básico). (UG).....	53
Tabla 12 Corriente de falla del Tablero B (Taller Básico). (UG).....	54
Tabla 13 Corriente de falla en Tablero CNC. (UG).....	54
Tabla 14 Corrientes de fallo de Tablero Principal (Electromecánica). (UG).....	55
Tabla 15 Comparación de Corrientes Asimétricas (RE).....	58
Tabla 16 Comparación de Corrientes Asimétricas (UG).....	59
Tabla 17 Comparación de valores X/R (RE).....	60
Tabla 18 Comparación de valores de X/R (UG).....	61
Tabla 19 Verificación de soporte de los conductores del sistema.....	64
Tabla 20 Verificación de protecciones en Tablero Principal de Distribución.....	71
Tabla 21 Verificación de protecciones en LAIMI I.....	71
Tabla 22 Verificación de protecciones de LICl.....	72
Tabla 23 Verificación de protecciones del Comedor Institucional.....	72
Tabla 24 Verificación de protecciones en Tablero TB (comedor).....	72
Tabla 25 Verificación de protecciones del Tablero TE (comedor).....	73
Tabla 26 Verificación de protecciones de Lab. Física-Química.....	73
Tabla 27 Verificación de protecciones del Tablero TF (Lab. Física-Química).....	73
Tabla 28 Verificación de protecciones Tablero Ascensor (Lab. Física-Química).....	74
Tabla 29 Verificación de protecciones del Tablero del TH.....	74

Tabla 30 Verificación de protecciones del Tablero C3-TP (Biblioteca)	74
Tabla 31 Verificación de protecciones de Tablero C3-TN0 (Biblioteca)	75
Tabla 32 Verificación de protecciones del Tablero de A.A (Biblioteca)	75
Tabla 33 Verificación de protecciones para Tablero Ascensor (Biblioteca)	75
Tabla 34 Verificación de protecciones para Tablero Distribución Edificio M-F-C.S....	76
Tabla 35 Verificación de protecciones Tablero TC de Edificio M-F-C.S.....	76
Tabla 36 Verificación de protecciones para Tablero 2do Piso Ascensor.	76
Tabla 37 Verificación de protecciones del Tablero Ascensor.....	77
Tabla 38 Verificación de protecciones del Tablero de Distribución VIESA	77
Tabla 39 Verificación de protecciones del Tablero PRLA (VIESA)	77
Tabla 40 Verificación de protecciones del Tablero Elevador (VIESA).....	78
Tabla 41 Verificación de protecciones del Tablero ASC (VIESA)	78
Tabla 42 Verificación de protecciones del Tablero de Distribución de ADMI	78
Tabla 43 Verificación de protecciones del Tablero TN3 (ADMI).....	79
Tabla 44 Verificación de protecciones del Tablero Ascensor.....	79
Tabla 45 Verificación de protecciones del Tablero Principal TP	79
Tabla 46 Verificación de protecciones del Tablero Unidad de Bombeo	80
Tabla 47 Verificación de protecciones del Tablero Compresor Académico.	80
Tabla 48 Verificación de protecciones del Tablero C (E.E).....	80
Tabla 49 Verificación de protecciones del Tablero Distribuidor TA	81
Tabla 50 Verificación de protecciones del Tablero TB (Taller Básico)	81
Tabla 51 Verificación de protecciones del Tablero C (Taller Básico).....	82
Tabla 52 Verificación de protecciones del Tablero CNC (Taller Básico).....	82
Tabla 53 Verificación de protecciones del Tablero D (Taller Básico).....	82
Tabla 54 Verificación de protecciones del Tablero TP (Aulas).....	83
Tabla 55 Verificación de protecciones del Tablero Elevador (Aulas)	83
Tabla 56 Verificación de protecciones del Tablero Asc (Aulas	83
Tabla 57 Lista definitiva de selección de disyuntores.	159
Tabla 58 Valor de Impedancias de los conductores del circuito unifilar	162
Tabla 59 Codificación de los conductores según su ubicación en el diagrama.	164
Tabla 60 Valor de impedancias de los motores del circuito unifilar.....	166

Tabla 61 Codificación de los motores según su ubicación en el diagrama.	167
Tabla 62 Valor de impedancias de los transformadores del circuito unifilar.....	169
Tabla 63 Codificación de los transformadores según su ubicación en el diagrama .	169
Tabla 64 Datos de del Banco de Capacitores.....	170
Tabla 65 Datos de placa de disyuntor principal.....	170
Tabla 66 Datos de los Generadores.	170
Tabla 67 Datos de la red distribuidora.	170
Tabla 68 Valores base para el cálculo de impedancias	173
Tabla 69 Datos de los conductores del LAIMI I.....	179
Tabla 70 Dato de transformador de LAIMI I.....	179
Tabla 71 Datos de cargas de LAIMI I.....	179
Tabla 72 Resistencia y Reactancia equivalente del LAIMI I.....	179
Tabla 73 Datos de conductores del LICI.....	181
Tabla 74 Dato de transformador del LICI.....	181
Tabla 75 Dato de carga del LICI.	181
Tabla 76 Resistencia y Reactancia equivalente del LICI.	181
Tabla 77 Datos de conductores del Comedor Institucional.....	183
Tabla 78 Dato de transformador del Comedor Institucional.....	183
Tabla 79 Datos de cargas del Comedor Institucional.....	183
Tabla 80 Resistencia y Reactancia equivalente del CI	183
Tabla 81 Datos de conductores del Lab Física-Química.....	185
Tabla 82 Datos de los transformadores del Lab Física-Química.....	185
Tabla 83 Dato de carga del Lab Física-Química.....	185
Tabla 84 Resistencia y Reactancia equivalente del Lab Física-Química.....	185
Tabla 85 Datos de conductores del T. Hidroneumático.	187
Tabla 86 Dato de transformador del T. Hidroneumático	187
Tabla 87 Datos de cargas del T. Hidroneumático.	187
Tabla 88 Resistencia y Reactancia equivalente del T. Hidroneumático.....	187
Tabla 89 Datos de conductores de la Biblioteca.	189
Tabla 90 Datos de transformadores de la Biblioteca.....	189
Tabla 91 Datos de equipos de la Biblioteca.	189

Tabla 92 Resistencia y Reactancia equivalente de Biblioteca.	189
Tabla 93 Datos de conductores del edificio Mate-Física.....	191
Tabla 94 Datos de transformadores del edificio Mate-física.	191
Tabla 95 Datos de cargas del edificio Mate-Física.....	191
Tabla 96 Resistencia y Reactancia equivalente de Mate-Física.	191
Tabla 97 Datos de conductores del Admisión y Registro.....	193
Tabla 98 Datos de transformadores de Admisión y Registro.	193
Tabla 99 Dato de carga de Admisión y Registro.	193
Tabla 100 Resistencia y Reactancia equivalente de Admisión y Registro	193
Tabla 101 Datos de conductores de Administración de Empresas	195
Tabla 102 Datos de transformadores de Administración de Empresas.	195
Tabla 103 Datos de carga de Administración de Empresas.	195
Tabla 104 Resistencia y Reactancia equivalente de Administración de Empresas..	195
Tabla 105 Datos de conductores de Electromecánica.	197
Tabla 106 Datos de transformador de Electromecánica.	197
Tabla 107 Datos de cargas de Electromecánica.....	197
Tabla 108 Resistencia y Reactancia equivalente de Electromecánica.	197
Tabla 109 Datos de conductores del Taller Básico.	199
Tabla 110 Datos del transformador del Taller Básico.	199
Tabla 111 Datos de cargas del Taller Básico.....	200
Tabla 112 Resistencia y Reactancia equivalente del Taller Básico.	200
Tabla 113 Datos de conductores del edificio aulas.	202
Tabla 114 Datos de transformador del edificio aulas.	202
Tabla 115 Datos de carga del edificio aulas.	202
Tabla 116 Resistencia y Reactancia equivalente del edificio aulas.	202
Tabla 117 Datos de conductores de red externa.	203
Tabla 118 Datos de transformador de red externa.....	203
Tabla 119 Resistencia y Reactancia equivalente de red externa.....	203
Tabla 120 Impedancia equivalente en barra principal.....	203
Tabla 121 Reporte SKM con disyuntores en estado de fallo.	209
Tabla 122 Reporte de SKM de fusibles correctos.	217

Resumen

El Tecnológico de Costa Rica ha venido experimentando crecientes cambios a nivel estructural en los últimos años, estos cambios van desde edificaciones totalmente nuevas hasta remodelaciones de sus estructuras vigentes.

La necesidad que posee la Oficina de Ingeniería y el Departamento de Administración de Mantenimiento es que al haber estos cambios de infraestructura a lo largo del tiempo mucha de la información que se posee de las edificaciones se altera sin ser actualizada.

El problema de no tener esta información actualizada, es que ante futuros trabajos a nivel eléctrico hay confusión e inconsistencias que retrasan la labor de los Técnicos en el campo y de los Ingenieros en obras de diseño.

Este proyecto tiene como finalidad actualizar diagramas unifilares, porque en este momento no se cuenta con dicha información, hacer un análisis de corrientes de corto circuito para asegurar que ante un evento de corrientes de cortocircuito todos los elementos sean capaces de soportar dicho fenómeno despejando de manera satisfactoria, aislando los equipos para evitar que sean afectados, finalmente para analizar el estado de la coordinación de protecciones de los edificios A, B, C y D de la acometida principal la sede central del Tecnológico de Costa Rica.

El análisis de corrientes de corto circuito se basa en las normas IEEE_0141_1993 (Red) Electric Power Distribution for Industrial y IEEE_0551-2006 (Violet) Calculating short circuit currents in Industrial and Commercial Power Systems para finalmente ser validada por el software *SKM de Power Tools* a fin de comparar resultados.

Palabras clave

Acometida, cortocircuito, coordinación de protecciones y diagrama unifilar,

Abstract

The Tecnológico de Costa Rica has been experiencing big changes in structural level in recent years; those changes are from new buildings until remodeling of their existing structures.

The necessity of the Office of Engineering and Maintenance Management Department is when those changes were done, the majority of the information of their buildings had been altered without be updated.

The problem of not having this information updated, it's about futures jobs in electronic level because could have confusion and inconsistencies that could delay the labor of the technicians and of designs of the engineers.

This project has as main objective to update line diagrams, because we don't have this information so far, make an analysis of short circuit currents to ensure that before an event all of the short circuit currents will be capable to supporting this phenomenon clearing satisfactorily and isolating the equipment to avoid being affected. And finally to check the status of coordination of protections of the buildings A, B, C and D of the supply connection and the main central offices of Tecnológico de Costa Rica.

The analysis of the short circuit currents will be based in the next norms IEEE_0141_1993 (Red) Electric Power Distribution for Industrial y IEEE_0551-2006 (Violet) Calculating short circuit currents in Industrial and Commercial Power Systems.

The calculation methodology, which is basing by means of the consulted standards, will be validated by means of simulation software SKM of power tools with the final purpose to compare results.

Keywords

Supply connection, short circuit, protection coordination and Line diagram

CAPÍTULO 1: Introducción

1.1 Descripción de la empresa

El Tecnológico de Costa Rica (TEC) es una universidad, perteneciente al sistema estatal, fundada el 10 de junio de 1971, mediante la ley No. 4777 y bajo la administración del presidente José Figueres Ferrer. Inició con el nombre oficial de Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). Es a partir del 2010, que a nivel de comunicación se realiza un cambio en la imagen y se pasa a llamar Tecnológico de Costa Rica (TEC), como nombre promocional.

Su Campus Central se ubica en la ciudad de Cartago. Cuenta con una sede en Santa Clara de San Carlos (Alajuela), dos recintos en la capital San José: el Centro Académico en Barrio Amón y el Centro de Transferencia Tecnológica en Zapote, además el Centro de Transferencia Tecnológica y Educación Continua en San Carlos y hace uso de la Sede Inter-universitaria de Alajuela.

En el 2014 se abre el Centro Académico de Limón y en 2015 se crea el Centro Académico de Alajuela. El Tecnológico de Costa Rica es la universidad líder en el ámbito científico, tecnológico, técnico, en la formación de profesionales, investigación y extensión.

La mayoría de las carreras que actualmente se imparten en el TEC, cuentan con su respectiva acreditación y re-acreditación por parte de entidades de gran prestigio tales como la Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura y de Ingeniería (ACAAI), el sistema Nacional de Acreditación de la Educación Superior (SINAES) y Canadian Engineering Accreditation Board (ECAB).

Misión: "Contribuir al desarrollo integral del país, mediante formación del recurso humano, la investigación y la extensión; manteniendo el liderazgo científico, tecnológico y técnico, la excelencia académica y el estricto apego a las normas éticas, humanísticas y ambientales, desde una perspectiva universitaria estatal de calidad y competitividad a nivel nacional e internacional."

Visión: "El Tecnológico de Costa Rica será una institución de reconocido prestigio nacional e internacional, que contribuirá decididamente a la edificación de una sociedad más solidaria, incluyente, respetuosa de los derechos humanos y del ambiente, mediante la sólida formación de recurso humano, la promoción de la investigación e innovación tecnológica, la iniciativa emprendedora y la estrecha vinculación con los sectores sociales y productivos".

El Instituto Tecnológico de Costa Rica cuenta con una Oficina de Ingeniería cuya función principal es el manejo físico espacial de las diferentes sedes y la administración de todos los proyectos de construcción de edificaciones de infraestructura y modernización de la planta física existente, que se llevan a cabo con fondos propios y externos.

La Oficina de Ingeniería fue creada como oficina asesora de la Rectoría, mediante el acuerdo del Consejo Institucional tomado en la sesión N° 1401, Artículo 1, inciso ch, del año 1987, para darle continuidad a la Oficina Ejecutora del TEC que le había correspondido ejecutar desde 1974 diferentes proyectos, entre los que podemos mencionar: los préstamos con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) N° 405/SF-CR y 543/SF-CR, el préstamo N° 152-FCIE del Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), así como diferentes financiamientos otorgados por instituciones nacionales y extranjeras.

Objetivo General: Contribuir al desarrollo del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por medio de la ejecución de nuevos proyectos de edificaciones, infraestructura y modernización del espacio físico.

Visión: "Convertirse en soporte constante y confiable de las autoridades del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en lo que respecta al desarrollo de nuevos proyectos de edificaciones e infraestructura universitaria, así como en la modernización y ampliación del espacio físico existente".

Misión: "Dotar al Instituto Tecnológico de Costa Rica, de un desarrollo físico espacial efectivo, acorde con sus necesidades de crecimiento y modernización".

1.2 Descripción del proyecto

Este proyecto tiene como principal objetivo realizar un estudio de corrientes de corto circuito a una de las siete acometidas que posee la sede central del Tecnológico de Costa Rica, dicho estudio se realiza a la acometida principal la cual abarca los edificios A, B, C y D.

El análisis de corrientes de corto circuito es una herramienta fundamental para garantizar la confiabilidad del sistema eléctrico ante un posible evento de falla, su principal objetivo es garantizar el correcto soporte y funcionamiento de dispositivos ante una corriente de corto circuito, de manera que se pueda realizar un despeje selectivo de protecciones ante un evento de este tipo donde se hace la liberación mucha energía.

Este tipo de estudio da un panorama sobre cuál debe ser la capacidad de los componentes eléctricos ante una corriente de tal magnitud, pues una inadecuada selección de ellos puede generar daños irreversibles, provocando pérdidas materiales y en el caso más crítico hasta pérdidas humanas.

La disponibilidad del sistema eléctrico es de gran importancia para cualquier institución, por lo que una correcta coordinación de protecciones, debe ser verificada con el fin de brindar protección a los equipos resguardándolos de cualquier efecto que lo lleve a su destrucción.

Los edificios que van a ser objeto de estudio son Vice-Rectoría y Financiero, Admisión y Registro, Cajeros automáticos, Aulas especializadas (CEDA), Biblioteca José Figueres Ferrer, Laboratorios Físico-Química, Laboratorio LAIMI 1, Soda y Comedor principal, Aulas y Laboratorios de Computo, Aulas y Sala de dibujo técnico, LAIMI C, Editorial Tecnológica, Fundatec, Escuela de Ciencias Sociales, Escuela de Matemática, Escuela de Cultura y Deporte, Escuela de Diseño Industrial, Aprovechamiento, Administración de Empresas, Escuela de Química, Escuela de Seguridad e Higiene Ambiental, Escuela de Electromecánica y Librería.

La siguiente Figura 1 representa la distribución actual de las edificaciones anteriormente mencionadas.

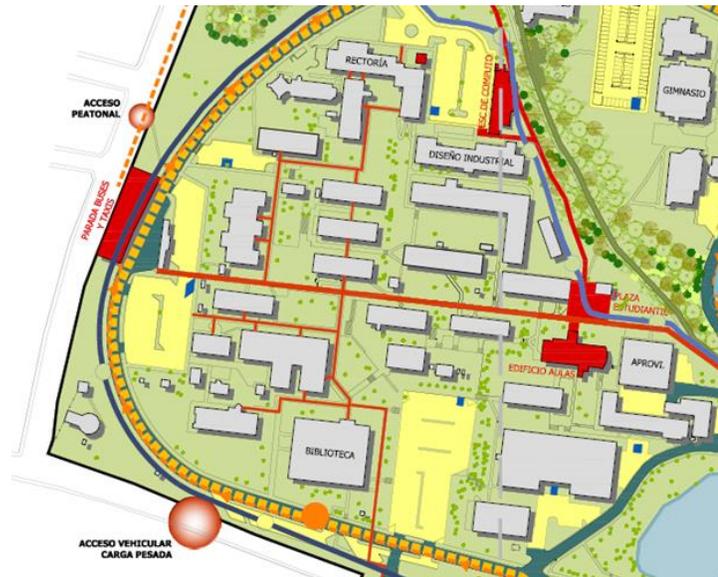


Figura 1 Ubicación de la acometida principal
Fuente: Oficina de Ingeniería del Tecnológico de Costa Rica

En un estudio de este tipo lo que se pretende es hacer una aproximación de la magnitud de corriente de corto circuito dependiendo de las cargas y elementos que estén instaladas. Con el estudio de corto circuito se estima las corrientes máximas que se puede dar en cada uno de los elementos del sistema en caso de alguna falla. (Barahona, 2015)

Los resultados obtenidos en este estudio dan la posibilidad de evaluar y especificar la capacidad de los equipos encargados de despeje de las corrientes de falla que comprenden la acometida principal y cargas ubicadas en tableros secundarios, llámese fusibles, interruptores y relevadores de corriente.

También analizar los niveles de corriente de falla a los que estarán expuestos los componentes del sistema, como transformadores, cables conductores, motores y demás elementos que aporten a un posible evento de corto circuito todo esto con el fin de coordinar protecciones. (Murillo, 1992)

Por otra parte la coordinación de protecciones tiene como principal función verificar la configuración de los esquemas de protección existentes, analizar y determinar los ajustes que garanticen despejar selectivamente las fallas en el menor tiempo posible para que los equipos no sufran daño alguno, o que el daño sea mínimo, salvaguardando la integridad humana que se encuentren en el entorno. Esto garantiza la funcionalidad de la red evitando desconexiones innecesarias que afecten más cargas de las verdaderamente necesarias. (Cediel, 2009)

El último análisis de corrientes de corto circuito para esta acometida que se tiene registrado fue en 1992, este fue un proyecto de Licenciatura de un estudiante de Ingeniería en Mantenimiento Industrial (Murillo, 1992); por lo que existe la necesidad de ver el estado actual de las instalaciones eléctricas en estas edificaciones por los crecientes cambios y modificaciones que ha venido teniendo la sede central del Tecnológico de Costa Rica durante los últimos años.

Este proyecto es una necesidad que posee la oficina de Ingeniería del Tecnológico de Costa Rica y el Departamento de Administración de Mantenimiento por el creciente desarrollo de infraestructura que se ha dado a lo largo de los años. El análisis de corrientes de corto circuito es base para generar recomendaciones respecto al estado actual del dimensionamiento de las protecciones y coordinar las mismas al ocurrir una corriente de falla.

Para la realización de este proyecto se cuenta con una base teórica sólida tomada de las normas IEEE_0141_1993 (Red) Electric Power Distribution for Industrial y IEEE_0551-2006 (Violet) Calculating short circuit currents in Industrial and Commercial Power Systems, estas dos normas brindan de manera muy clara la metodología de cálculo para obtener las corrientes de corto circuito para varios niveles de voltaje, sin embargo para efectos de este proyecto se adopta la metodología de cálculo para baja tensión que comprende valores menores a los 1000 Voltios, porque los niveles de voltaje que se manejan en la acometida así lo ameritan, estos valores son 480 Voltios y 208/120 Voltios.

Con el fin de validar resultados obtenidos por el método manual se propone realizar la simulación del diagrama unifilar actualizado en el software *SKM de Power Tools*, esta simulación brinda datos que sirven para la toma de decisiones a la hora de seleccionar los componentes de la red eléctrica, este proyecto pretende hacer un análisis para generar recomendaciones a partir estos datos sobre el estado actual de la red y su comportamiento ante un evento de corto circuito.

1.3 Objetivos del proyecto.

1.3.1 Objetivo general

- Realizar un estudio de corto circuito de los edificios A, B, C y D que pertenecen a la acometida principal de la sede central del Tecnológico de Costa Rica (TEC) con el fin de verificar el correcto dimensionamiento de conductores y la capacidad interruptora de las protecciones.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Identificar tableros principales y secundarios con el fin de valorar máquinas o cargas que aporten en un posible evento de corto circuito.
- Simular mediante el Software Power Tools de SKM las corrientes de falla de corto circuito.
- Validar resultados de corriente de corto circuito por medio del software SKM con el método manual recomendado por la norma IEEE_0551-2006 (Violet) "Calculating short circuit currents in Industrial and Commercial Power Systems"
- Realizar un estudio de coordinación de protecciones mediante el software SKM de Power Tools de forma que las protecciones actúen de forma selectiva ante una eventual corriente de corto circuito.

CAPÍTULO 2: Marco conceptual

En esta sección lo que se pretende es ver cuáles fueron los criterios y conceptos bases que se tomaron en cuenta para la metodología de cálculo propuesta por las normas IEEE_0141_1993 (Red) Electric Power Distribution for Industrial y IEEE_0551-2006 (Violet) Calculating short circuit currents in Industrial and Commercial Power Systems.

El principal objetivo de realizar un análisis de corrientes de corto circuito es garantizar que la red eléctrica del inmueble o edificación esté diseñada para soportar y despejar un evento de corto circuito de la manera más eficaz con el fin de resguardar la estructura y a sus ocupantes. Según se muestra en la Figura 2, la causa de incendios accidentales que posee mayor porcentaje de casos para un total de 15 incendios investigados al 31 de enero de 2016 es por fallo por el sistema eléctrico.

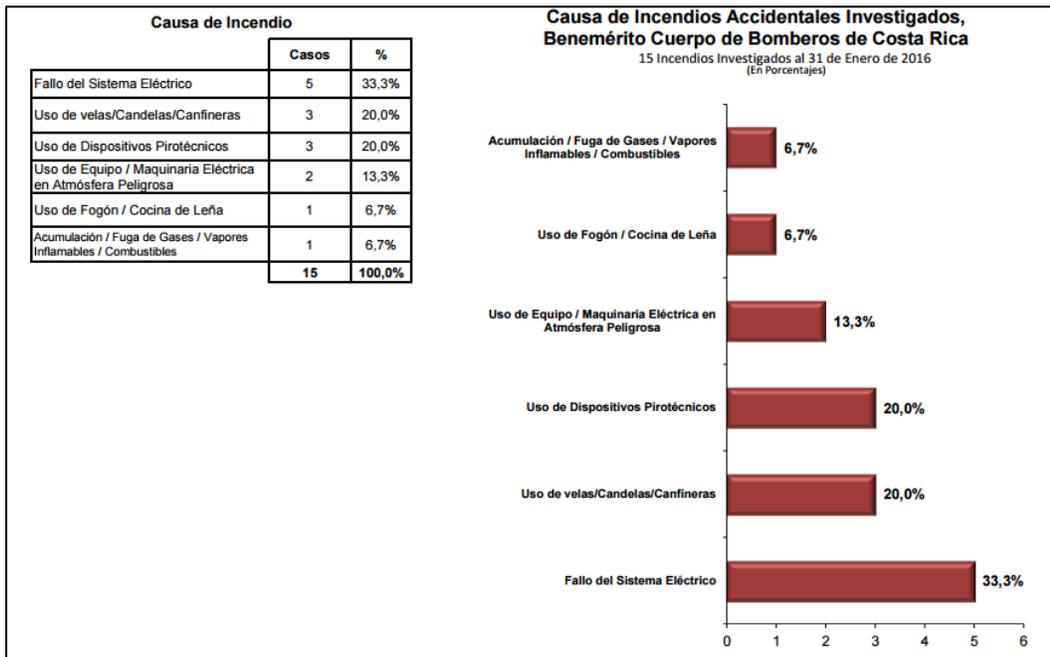


Figura 2 Principales causas de incendio accidentales investigados
Fuente: Unidad de Prevención e Investigación de Incendios (Bomberos)

Tomando esta investigación como base se puede decir que un correcto diseño es indispensable para el eficaz funcionamiento de la red. La mayoría de las instalaciones eléctricas vigentes no cuentan con criterios de ingeniería en su diseño pues no fueron debidamente reguladas por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, su estructura es muy longeva por lo que no cumple con las especificaciones actúales o como en el caso de este proyecto que se han hecho modificaciones que ameritaron intervenir la red eléctrica provocando un riesgo a sus usuarios.

El Código Eléctrico Nacional tiene a su disposición criterios de ingeniería basados en la normativa NFPA (National Fire Protection Association) para el uso con propósitos legales y reglamentarios, como el uso en autorregulación privada y actividades de normalización tales como aseguradoras, construcción y gestión de edificaciones e instalaciones, y ensayo y certificación de productos. (NEC, 2008). En los siguientes artículos extraídos del Código Eléctrico Nacional se hace énfasis al estudio de corrientes de corto circuito de forma muy general.

110.9 Corriente nominal de interrupción. Los equipos destinados a interrumpir las corrientes de falla deben tener un rango nominal de interrupción suficiente para la tensión nominal del circuito y para la corriente existente en los terminales de línea del equipo. Los equipos destinados para interrumpir la corriente a otros niveles distintos del de falla, deben tener rango de interrupción a la tensión nominal del circuito, suficiente para la corriente que se debe interrumpir.

110.10 Impedancia del circuito. Los dispositivos de protección contra sobre corriente, la impedancia total, la corriente nominal de cortocircuito de los componentes y otras características del circuito que se van a proteger, se deben elegir y coordinar de modo que permitan que los dispositivos para protección del circuito utilizados para eliminar una falla, lo hagan sin que se produzcan daños extensos de los componentes eléctricos del circuito. Se debe considerar que la falla puede ocurrir entre dos o más conductores del circuito o entre cualquier conductor del circuito y el conductor de puesta a tierra o la canalización metálica que los contiene. Se debe considerar que los productos listados, utilizados de acuerdo a su listado, cumplen con los requisitos de esta sección.

En las secciones en las que se hace énfasis al análisis de corrientes de corto circuito en el Código Eléctrico Nacional son de forma muy general por lo que se decide basarse en las normas IEEE_0141_1993 y IEEE_0551-2006 para tener una base bibliográfica sólida.

Incluso los mejores diseños de sistemas eléctricos en ocasiones surgen corto circuitos resultando en altas corrientes. Los dispositivos de protección de sobre corriente, como disyuntores y fusibles, debe aislar los fallos en una ubicación dada de manera segura y sin daños al equipo, con una mínima interrupción de la operación de la planta y otras partes del sistema, tales como cables, y rutas para buses. El sistema deberá ser capaz de resistir las tensiones mecánicas y térmicas resultantes del flujo máximo de corriente de corto circuito a través de ellos. Las magnitudes de corrientes de cortocircuito generalmente se calculan mediante el método seleccionado, y el equipo se selecciona usando los resultados del cálculo. (IEEE_0141_, 1993)

2.1 Fuentes de corriente de fallo

La norma ANSI/IEEE 551-2006 se refiere a un corto circuito como una conexión anormal con una baja impedancia realizada accidentalmente o intencionalmente entre dos puntos con diferencia potencial. (IEEE_551_, 2006)

Las corrientes de corto circuito son alimentadas por elementos activos como: generadores, motores, la compañía distribuidora de electricidad, etc., y se limitan o atenúan por elementos pasivos del sistema como: impedancias de conductores, transformadores, reactores, etc. Los estudios de corto circuito se deben de realizar al momento de diseñar el sistema eléctrico y luego actualizarse cuando se realicen modificaciones importantes o remodelaciones como:

- Cambios en la capacidad de corto circuito de la compañía distribuidora debido a que, conforme nuevos generadores y líneas de transmisión se incorporan al sistema, la capacidad de corto circuito tiende a crecer.
- Cambios en la configuración del sistema primario o secundario de la instalación industrial.

- Cambio en los transformadores o en las impedancias de los mismos.
- Cambio en la longitud o dimensiones de los conductores.
- Aumento de los motores internos de la empresa.

La fuente que comúnmente aporta corriente durante un evento de corto circuito es la rotación de maquinaria eléctrica. Las corrientes de descarga de condensadores de potencia también aportan, sin embargo son de frecuencia natural muy superior a la frecuencia de alimentación y por lo general de corta duración por lo que es significativamente mayor tomar en cuenta este tipo de carga.

Las corrientes de fallo son provenientes de máquinas rotativas; es dependiente de la impedancia de la máquina, rara vez de la carga de la máquina. La impedancia de la máquina giratoria no es un valor simple, es un valor complejo y variable con el tiempo (IEEE_0141_, 1993).

Se pueden clasificar en 5 fuentes de falla según la norma ANSI/IEEE_0141_1993:

- Generadores Síncronos
- Motores Síncronos.
- Máquinas de Inducción.
- Proveedores de Energía.
- Bancos de Condensadores
- Inversores y Rectificadores.

2.1.1 Generadores síncronos.

Los generadores síncronos son máquinas que se pueden encontrar en la industria como plantas de respaldo cuando hay ausencia eléctrica de la red principal. Este tipo de maquina rotativa al igual que la máquinas de inducción poseen su aporte antes del primer ciclo. Cuando un corto circuito se aplica a los terminales de un generador síncrono el corto circuito comienza con un valor elevado y decae a un valor de estado estacionario un tiempo después de la creación del corto circuito. (IEEE_0141_, 1993)

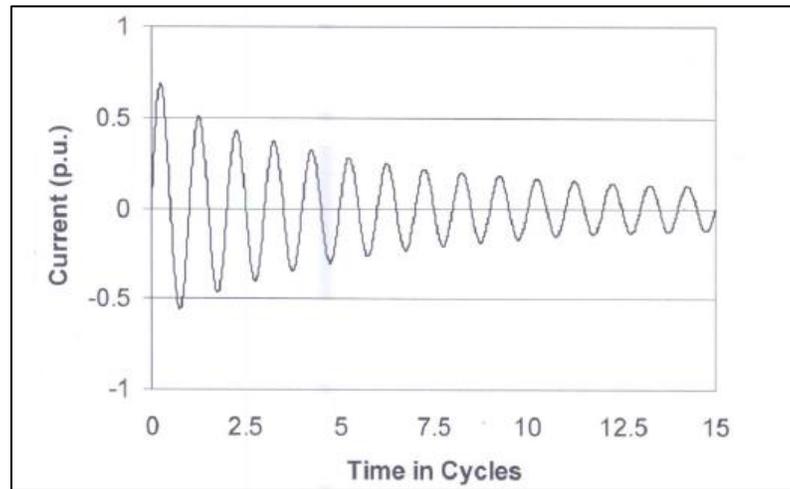


Figura 3 Corriente de corto circuito trifásica para una máquina síncrona.
Fuente: Norma IEEE_0551-2006

Para efectos de cálculo de corrientes de corto circuito los estándares de la industria han establecido tres nombres para la impedancia variable con el tiempo llamados reactancia sub-transitoria, reactancia transitoria y reactancia síncrona.

- X''_d : Reactancia sub-transitoria, determina la corriente durante el primer ciclo después del incidente, En unos 0 y 1 segundos aumenta su valor.
- X'_d : Reactancia transitoria; determina la corriente después de varios ciclos a 60 Hz, En unos 0.2 y 2 segundos aumenta su valor.
- X_d : Reactancia síncrona, este es el valor que determina el flujo de corriente después de una condición de estado estable

La mayoría de dispositivos de interrupción de corto circuito como disyuntores y fusibles funcionan antes de alcanzar la condición de estado estable (Reactancia síncrona). Este tipo de reactancia normalmente no se usa en los estudios de corto circuito debido a que la misma no es efectiva hasta varios segundos después de que se presenta el corto circuito. Esta reactancia determina la corriente cuando se llega a una condición de estado permanente.

La corriente de corto circuito es calculada típicamente entre los primeros ciclos, por lo que se usa la reactancia sub-transitoria, no obstante para realizar un cálculo entre los 3 y 5 ciclos la norma recomienda valores típicos de reactancia transitoria para distintas fuentes, esta tabla se presentara a continuación.

Tabla 1 Factores multiplicativos para reactancias de máquinas síncronas
Fuente: Norma IEEE_0551-2006

Tipo de fuente	Factor recomendado
Primer ciclo	
Turbo alternadores, hidro alternadores con amortiguamiento y condensadores síncronos	$1.0X_{dv}''$
Hidro alternadores sin amortiguamiento	$0.75X_{dv}''$
Motores síncronos	$1.0X_{dv}''$
Tercer a quinto ciclo	
Turbo alternadores, hidro alternadores con amortiguamiento y condensadores síncronos	$1.0X_{dv}''$
Hidro alternadores sin amortiguamiento	$0.75X_{dv}''$
Motores síncronos	$1.5X_{dv}''$

2.1.2 Motores síncronos.

Los motores síncronos alimentan una corriente de fallo al igual que un generador síncrono. Cuando un fallo provoca la caída de tensión del sistema, el motor síncrono recibe menos energía del sistema para rotar su carga. La inercia del motor y su carga, actúan como una fuerza motriz, luego con el campo de excitación el motor funciona como generador alimentando la corriente de fallo; esta corriente de fallo disminuye a medida que el campo magnético disminuye.

2.1.3 Máquinas de inducción.

Tanto los motores de inducción con rotor jaula de ardilla, como los de rotor bobinado pueden contribuir a la corriente de falla. Esta corriente es generada debido a la existencia de energía cinética almacenada en el rotor y la carga, más la presencia de la tensión inducida producto del campo magnético giratorio presente en el entre-hierro.

Debido a que el campo magnético inducido en el motor de inducción no es mantenido en forma externa, este se hace nulo rápidamente, razón por la cual la corriente aportada a la falla sólo dura algunos ciclos.

La corriente de corto circuito aportada por un motor de inducción en régimen estacionario es cero. La corriente de cortocircuito aportada por un motor de inducción, está limitada solamente por su reactancia sub-transitoria, X''_d . En el caso de motores de inducción de alta potencia que trabajen con resistencia externa conectada al rotor, su contribución al corto circuito se puede despreciar.

Por lo anterior, los valores de reactancia transitoria y estable, son muy altos, por lo que no se toman en cuenta, sin embargo la reactancia sub-transitoria sí es importante y el modelado del motor es similar a los modelos anteriormente discutidos para el corto circuito.

El comportamiento del aporte de un motor de inducción es de forma exponencial disminuyendo en el tiempo, la norma contempla ese decrecimiento en el aporte aumentando los valores de reactancia en función de los ciclos donde se realiza el cálculo, esto tomando en cuenta la potencia consumida por la máquina.

Tabla 2 Valores de reactancia recomendados para motores de inducción.
Fuente: Norma IEEE_0551-2006

Tipo de máquina	Reactancia recomendada	Factor recomendado
Primer ciclo		
Motores grandes >1000 hp (746 kW)	16.7%	$1X''_d$
Motores medianos [50-999] hp	20.8%	$1.2X''_d$
Motores pequeños <50 hp (37 kW)	27.8%	$1.67X''_d$
De 1.5 a 5 ciclos		
Motores grandes >1000 hp (746 kW)	25.0%	$1.5X''_d$
Motores medianos [50-999] hp	50%	$3.0X''_d$
Motores pequeños <50 hp (37 kW)	NA	NA

La Tabla 2 representa los valores de reactancia recomendados para distintos tipos de motores de inducción según la potencia de diseño, se puede observar que para la segunda etapa de 1.5 a 5 ciclos los motores pequeños (menos de 50 Hp-37KW) se omiten en el cálculo, sin embargo para menores de un ciclo este tipo de motores si se toman en cuenta con una reactancia recomendada de 27.8%.

La norma hace referencia en el caso de encontrarse grupos de motores pequeños, para facilitar el cálculo, recomienda tomar la suma de la corriente nominal de cada uno y multiplicarla por un factor de 3.6, o bien utilizar una reactancia de 0.28.

Para motores medianos (50-999) Hp se recomienda multiplicar por un factor de 4.6 o utilizar una reactancia de 0.167. En el caso de motores grandes (más 1000 HP) se recomienda multiplicar la corriente nominal por un factor de 6 o bien utilizar al igual que para los motores medianos un valor de reactancia de 0.617.

Todo lo anterior aplica en el caso de que no se tenga acceso a estos valores en los motores tomados en cuenta para el cálculo, sin embargo a pesar de que son valores aproximados son muy conservadores pues son basados en metodologías de cálculo con respaldo de la norma consultada.

2.1.4 Proveedores de energía.

La barra infinita también contribuye a la corriente de falla, este es el valor de aporte de la red distribuidora en el punto de servicio. La corriente de la falla causa pequeños cambios en la red eléctrica esto porque pertenece a un sistema más grande y robusto.

La compañía distribuidora generalmente proporciona información acerca de su posible corriente de corto circuito, esta es la mayor fuente de corriente. La impedancia que limita mayormente la corriente proveniente de la compañía es generalmente la del transformador principal.

2.1.5 Bancos de condensadores.

Los Bancos de Condensadores son elementos pasivos que tienen como principio de funcionamiento compensar energía reactiva, en la industria los Bancos de Condensadores son utilizados para la corrección de factor de potencia obteniendo múltiples beneficios como los siguientes:

- Disminución de las pérdidas en conductores
- Reducción de las caídas de tensión.
- Incremento de la vida útil de las instalaciones eléctricas.
- Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores.
- Reducción de costos por facturación eléctrica.

En este proyecto, la corriente de descarga del banco de capacitores para corrección de factor de potencia y la de filtros de armónicos no han sido consideradas en los procedimientos de cálculo. La fatiga asociada a las descargas de los capacitores es distinta a las típicas presentes en eventos de fallo debido a las altas frecuencias y constantes de tiempo en los circuitos capacitivos. Sin embargo, estos pueden afectar equipos electrónicos sensibles.

En esta sección se describe la naturaleza de las corrientes de fuga capacitivas durante condiciones de falla y el efecto de las corrientes de condensador de la corriente de fallo total.

Un condensador es un sistema de cargas y descargas de corriente alterna de una manera controlada cada medio ciclo, con base en la tensión de excitación sinusoidal y las impedancias del sistema. Cuando se produce un fallo, la tensión del sistema se cambia de repente y el condensador se descarga a un ritmo rápido, con una alta corriente de descarga. Sólo la impedancia entre el condensador y el fallo limita la corriente de descarga.

La norma IEEE_0551-2006 en la sección 7.2.1 desarrolla un ejemplo típico donde se expone un caso del efecto que tendría una corriente en un banco de capacitores. Este ejemplo se expondrá a continuación.

Se posee un Banco de capacitores de 10 MVAR, con una capacitancia de $139.3 \mu\text{F}$, el conductor al cual está conectado es de 30 metros y de calibre 500 mcm, el aporte a medio ciclo es de 35 000 A.

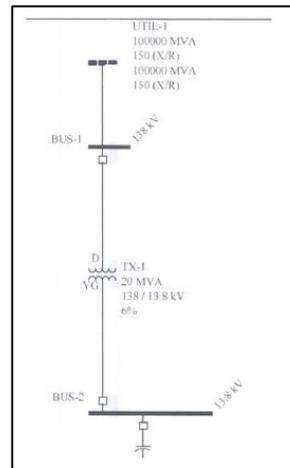


Figura 4 Ejemplo de circuito de conexión de un capacitor.
Fuente: Norma IEEE_0551-2006

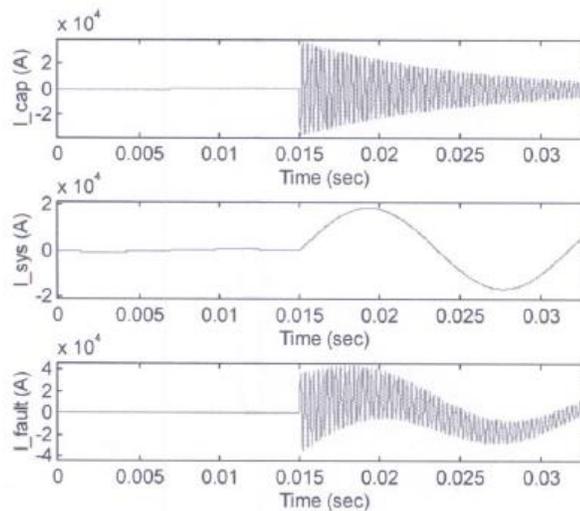


Figura 5 Estudio de falla de un capacitor de 10 MVAR para un cable de 30m
Fuente: Norma IEEE_0551-2006

La Figura 5 representa el comportamiento de la corriente de fallo del aporte del banco de capacitores, de la empresa de suministro y de las dos transpuestas para un cable de 30 metros.

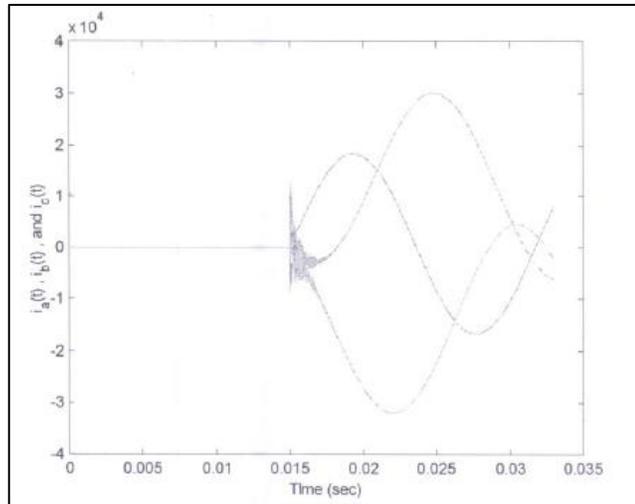


Figura 6 Corriente de fallo de un capacitor de 10 MVAR con un cable de 15m
Fuente: Norma IEEE_0551-2006

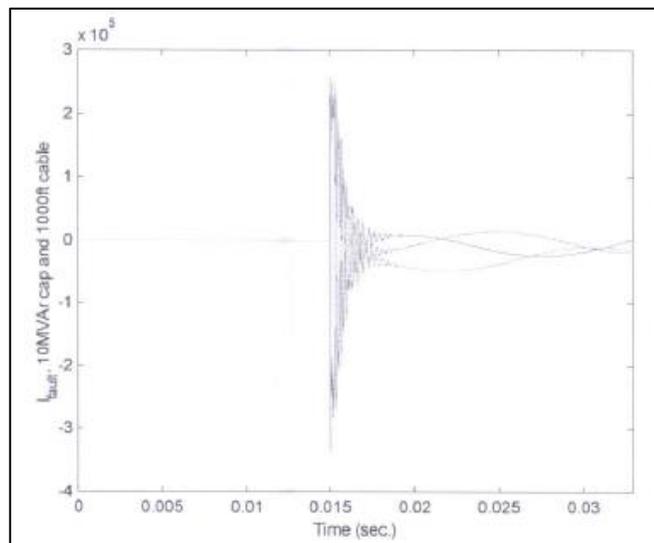


Figura 7 Corriente de fallo de un capacitor de 10 MVAR con un cable de 300m.
Fuente: Norma IEEE_0551-2006

La Figura 6 representa que para un cable de 15 m de longitud la corriente de falla del capacitor será disipada en 0.5 ms lo que es igual a 1/30 de ciclo.

La Figura 7 representa que para un cable de 300m de longitud la corriente de falla del capacitor será disipada en 2 ms lo que es igual a 1/8 de ciclo, es notorio que para el cable de 300 m de longitud le toma más tiempo disipar la corriente de falla por las características que posee el cable, su reactancia y su longitud.

Durante condiciones de fallo, la descarga del condensador tiene lugar en los primeros ciclos de 1/30-1/8, dependiendo de la constante de tiempo del sistema. Dado que el dispositivo de protección y los contactos del interruptor no puede funcionar en este marco de tiempo, la descarga se lleva a cabo en contactos cerrados. En otras palabras, el disyuntor no es capaz de percatarse de la corriente del capacitor por lo que la corriente si pasara por el mismo.

A pesar de que la corriente efectivamente puede ocasionar un aporte adicional, como fuerzas electromagnéticas, no se considera una gran contribución pues el lapso de tiempo es muy bajo.

Los bancos de filtros de armónicos tienen un comportamiento muy similar a los bancos de capacitores, estos al igual que los capacitores no se consideran gran contribución pues el lapso de descarga es muy rápido por lo que si atraviesa al disyuntor sin afectar su activación.

La norma ejemplifica el efecto de los armónicos en la sección 7.3.2 donde con un filtro de 5 armónicas varía las capacidades de un banco de capacitores. Eso lo expone en tres estudios que se muestran a continuación.

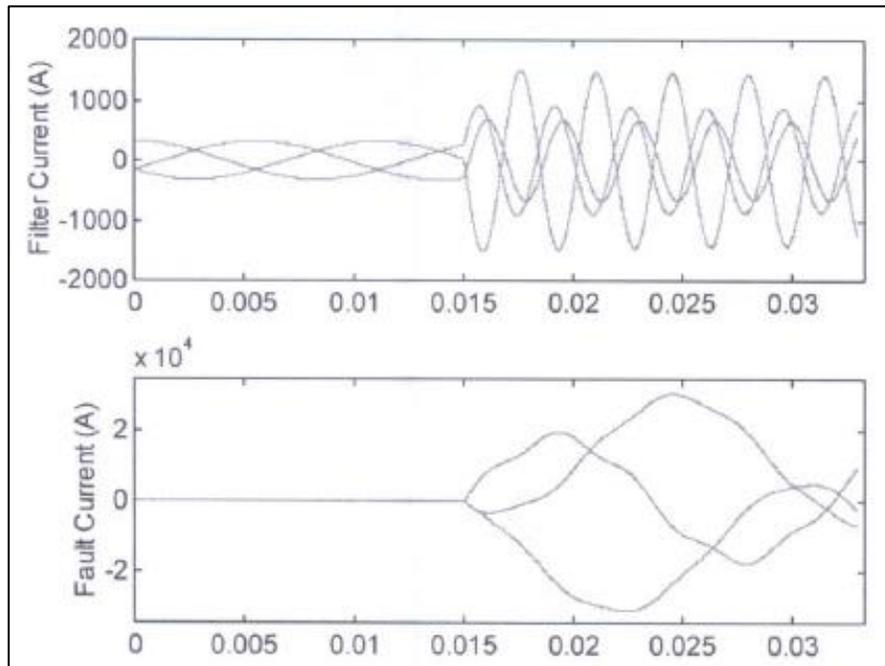


Figura 8 Simulación de un filtro 5ta con 5 MVAR
Fuente: Norma IEEE_0551-2006

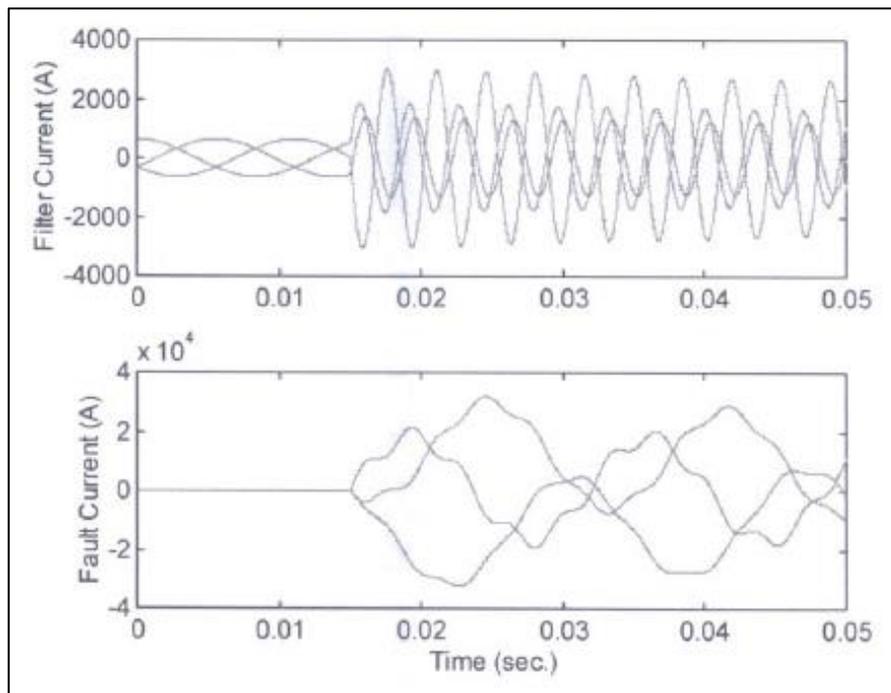


Figura 9 Simulación de un filtro 5ta con 10 MVAR
Fuente: Norma IEEE_0551-2006

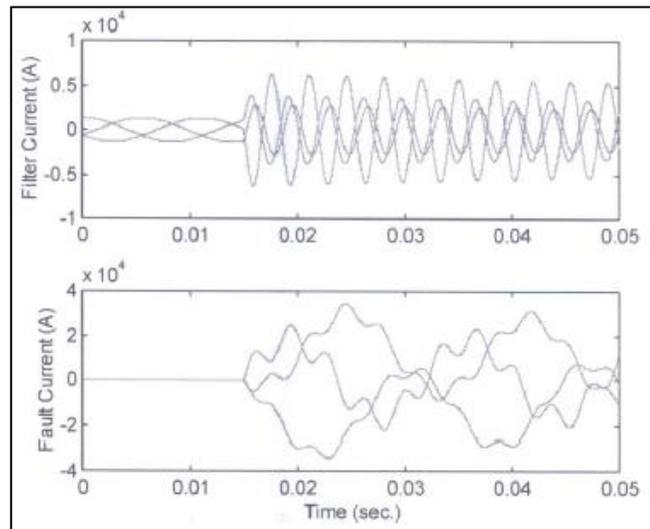


Figura 10 Simulación de un filtro 5ta con 20 MVAR
Fuente: Norma IEEE_0551-2006

La norma también hace énfasis en el comportamiento de los condensadores para motores de media y baja tensión, esto para hacer corrección de factor de potencia en las propias unidades. Esta simulación se presentará a continuación, para ver el comportamiento de este fenómeno.

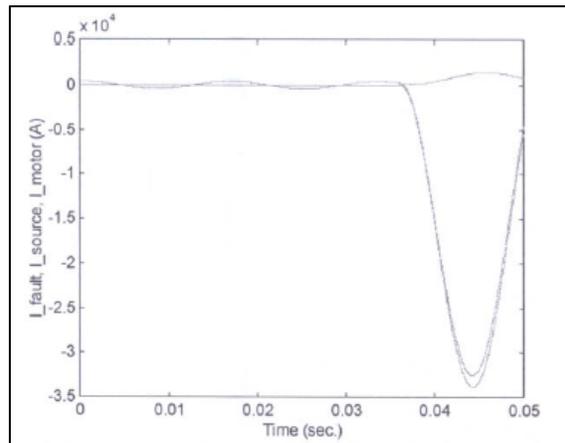


Figura 11 Resultados de la simulación con los condensadores desconectados
(Corriente de fallo, la corriente de fuente y la corriente del motor).
Fuente: Norma IEEE_0551-2006

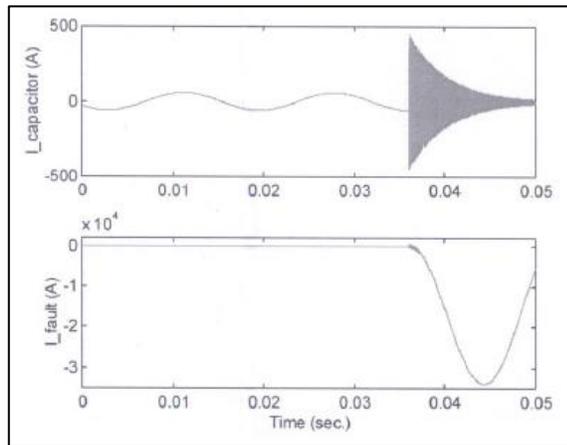


Figura 12 Simulación de condensadores conectados al sistema
 (La corriente del condensador se muestra en la parte superior trama y la corriente de falla en el gráfico inferior).
 Fuente: Norma IEEE_0551-2006.

Según el comportamiento de la simulación anterior, se puede observar que el aporte de los elementos en la Figura 11 ronda aproximadamente los 33 KA y el del banco de capacitores es de 400 A, alrededor del 1%. Con esto queda demostrado que el aporte de este tipo de elementos pasivos es mínimo, por lo que no recomienda tomar en cuenta estos aportes para la selección de disyuntores.

2.1.6 Inversores y rectificadores.

Un convertidor de potencia une dos sistemas con diferentes frecuencias o a una tensión de corriente continua. Un convertidor de potencia estática es un convertidor que emplea dispositivos de conmutación estáticos como diodos, tiristores, rectificadores controlados metálicos, transistores, tubos electrónicos o amplificadores magnéticos.

El daño de un corto circuito en un sistema de convertidor controlado se puede limitar de manera significativa por el sistema de protección de control de red. Un sistema de protección de control de red permite que el circuito de este listo para detectar condiciones anormales y proteger el elemento. Existen 4 tipos de convertidores, estos se muestran a continuación:

- Rectificador: Un convertidor que convierte de alterna corriente/tensión en continua corriente/voltaje (AC a DC).
- El inversor- Un convertidor que convierte de directa corriente/tensión en alterna corriente/voltaje (DC a AC).
- Variador de frecuencia: Un convertidor que convierte la corriente alterna de una frecuencia actual a otra frecuencia. (AC a AC).
- Convertidor de Chopper –Convierte un voltaje DC a otro igual en DC.

Estos sistemas tienen integrado elementos que permiten el paso de corriente en un solo sentido, como por ejemplo, los diodos. Por lo que ante un evento de corto circuito el aporte de la máquina que está a la salida del dispositivo queda aislado de la red, por lo que no aporta a la misma. Esto será posible si la configuración del elemento así lo permite como los son los inversores que estos permiten el paso de corriente a ambas direcciones (bidireccionales).

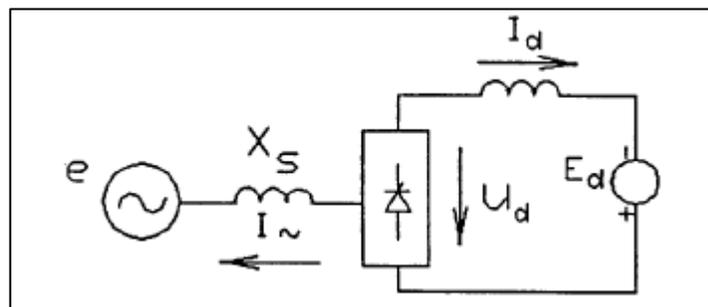
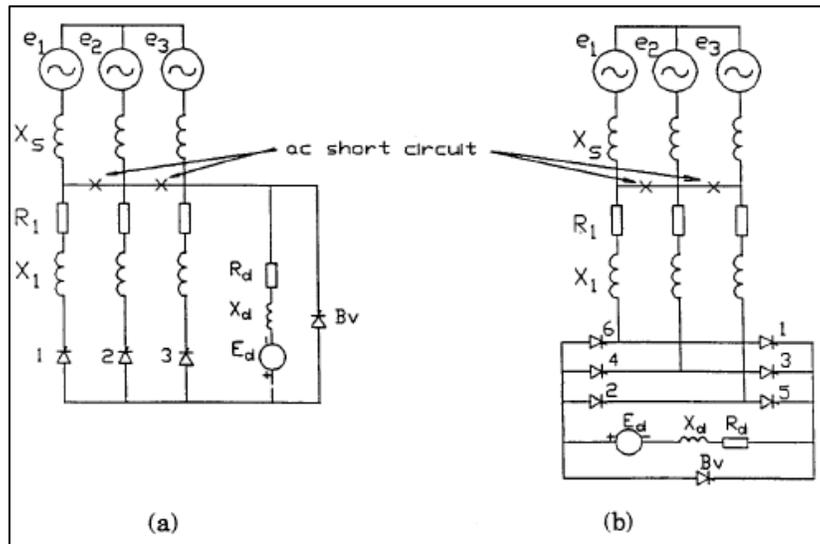


Figura 13 Circuito de un inversor (DC-AC).
Fuente: Norma IEEE_0551-2006.

Si el sistema de protección de control de red opera, la BV (Bypass Valve) se dispara inmediatamente después de la corriente alterna se produce un corto circuito. Esto desvía la contribución de corriente continua al corto circuito de CA (la corriente del sistema de CC fluye a través de la BV) y el sistema de corriente continua contribuye a la corriente sólo por un corto tiempo (menos de un ciclo) antes de que falle el BV (Bypass Valve). Esto se representa en el diagrama de la Figura 14.



**Figura 14 Diagrama-Equivalente de media onda (a) y de onda completa (B) los convertidores con el corto-circuito en el lado de corriente alterna.
Fuente: Norma IEEE_0551-2006.**

2.2 Descripción de una corriente de corto circuito.

2.2.1 Introducción.

Los sistemas de energía eléctrica están diseñados para ser lo más seguros posibles a través del diseño y cuidados de equipos, instalaciones y también de un adecuado mantenimiento periódico para evitar fallos. Sin embargo, incluso cuando se utilizan estas prácticas, se producen fallos; algunas de las causas de los defectos son los siguientes:

- Presencia de animales en los equipos.
- Conexiones sueltas causando el recalentamiento de equipos.
- Los transitorios de tensión.
- El deterioro del aislamiento debido a la edad.
- Tensión o tensiones mecánicas aplicadas a los equipos.
- Acumulación de humedad y de contaminantes.
- Introducción accidental de herramientas ajenas al equipo.
- Una gran variedad de "causas indeterminadas."

Cuando se produce un corto circuito en un sistema de distribución de energía eléctrica, pueden pasar varias cosas, tales como los siguientes:

- Las corrientes de corto circuito pueden ser muy altas, puede haber una contribución significativa de energía en el fallo.
- En la ubicación de la falla, la formación de arco puede ocurrir en el equipo adyacente perjudicando al equipo de trabajo.
- Corriente de corto circuito puede fluir desde las diferentes máquinas que giran en el sistema de distribución eléctrica a la ubicación de la falla.
- Todos los componentes que llevan las corrientes de corto circuito serán sometidos a tensiones térmicas y mecánicas debido al flujo de corriente. Este estrés varía como una función de la magnitud de la corriente al cuadrado y la duración del flujo de corriente (i^2t) y puede dañar estos componentes.
- Niveles de tensión del sistema caen en proporción a la magnitud de las corrientes de corto circuito que fluyen a través de los elementos del sistema.

La corriente de corto circuito disponible está directamente relacionada con el tamaño y la capacidad de las fuentes de alimentación (servicios públicos, generadores y motores) que abastecen el sistema y suele ser independiente de la corriente de carga del circuito. Cuanto mayor sea la capacidad de las fuentes de alimentación de suministro del sistema, mayor será la corriente de corto circuito disponible (generalmente).

Los principales factores que determinan la magnitud y la duración de las corrientes de corto circuito son el tipo de fallo, avería por fuentes de corriente presente, y las impedancias entre las fuentes y el punto de corto circuito.

Las características, ubicaciones y tamaños de las fuentes de corriente de falla conectados al sistema de distribución en el momento en el que se produce un corto circuito tienen una influencia tanto de la magnitud inicial y la forma de onda de la corriente de defecto.

2.2.2 Corriente simétrica y asimétrica.

El adjetivo simétrica o asimétrica, describe la forma de onda de la corriente con base en el eje 0 en la ordenada. Lo anterior viene de la mano con el tipo de cargas existentes y conectadas en el sistema en el momento del corto circuito. Por ejemplo, en un sistema con cargas meramente resistivas, la corriente respecto al tiempo tendrá una oscilación “simétrica” con base al eje x. Mientras que un sistema con cargas meramente inductivas tendrá una compensación positiva debido a la oscilación del flujo magnético de las distintas máquinas eléctricas (entiéndase como transformadores, motores de inducción y motores síncronos). (Nuñez, 2016)

Como toda industria posee cargas resistivas e inductivas en el mismo sistema y como fue mencionado parte del aporte se ve disminuido ya que los aportes de motores son breves. Existe también un decrecimiento en corriente directa este debido al cambio según la energía de la resistencia de los equipos (i^2R). La componente en DC suele ser máximo en el primer ciclo y según criterios de la ANSI/IEEE 551-2006 para 30 ciclos ya es cero. (Núñez, 2016)

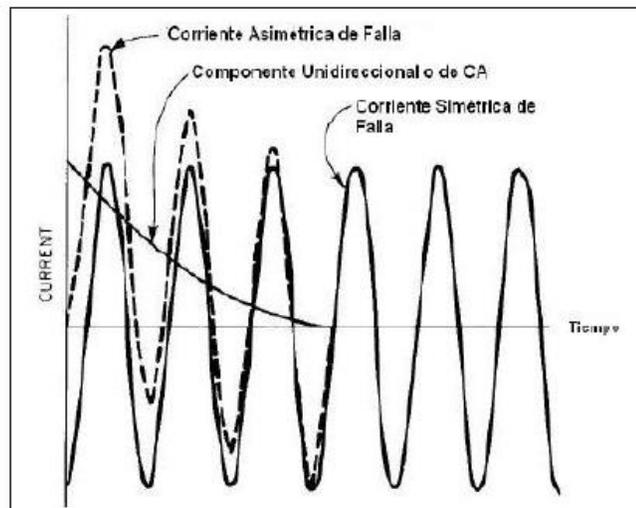


Figura 15 Desarrollo de corriente de falla
Fuente: (Núñez, 2016)

Se acostumbra añadir un factor de asimetría (X/R) el cual toma en cuenta las diferencias causadas por las interrupciones (switcheo) del circuito, o bien, la componente DC de la corriente. Este factor es la relación que existe entre la reactancia sobre la impedancia ambas equivalentes en el punto, esto significa que a mayor inductancia en el sistema, mayor será la relación X/R por ende mayor asimetría.

El factor X/R está directamente relacionada con la corriente de falla, a mayor valor de X/R mayor será la duración de la corriente asimétrica, normalmente la corriente asimétrica es la que se presenta en el primer ciclo y por ende va a ser la tomada en cuenta para el cálculo pues para analizar capacidades de disyuntores y cables se toma la reflejada en el primer ciclo.

2.3 Tipos de fallas

Entre las más comunes se encuentran Trifásico, Línea a Línea y Línea a Tierra (Monofásico). El corto circuito trifásico en la industria es generalmente el único considerado, ya que este brinda como resultado la corriente de falla máxima con mayor frecuencia.

La falla Línea a Línea resulta en un 87% la corriente de falla comparado con una falla trifásica y el corto circuito monofásico (Línea a tierra) varía su valor sin embargo puede alcanzar un 125% de la corriente trifásica en raras ocasiones.

El corto circuito trifásico es el más sencillo de calcular. No influye si las máquinas están sólidamente aterrizadas o no en el cálculo. Se asume por lo general que no existe resistencia en el corto circuito. Sin embargo en la realidad se reconoce que las fallas crean arcos y la impedancia variable del arco disminuye considerablemente el valor de la magnitud de la corriente de falla. (Barahona, 2015)

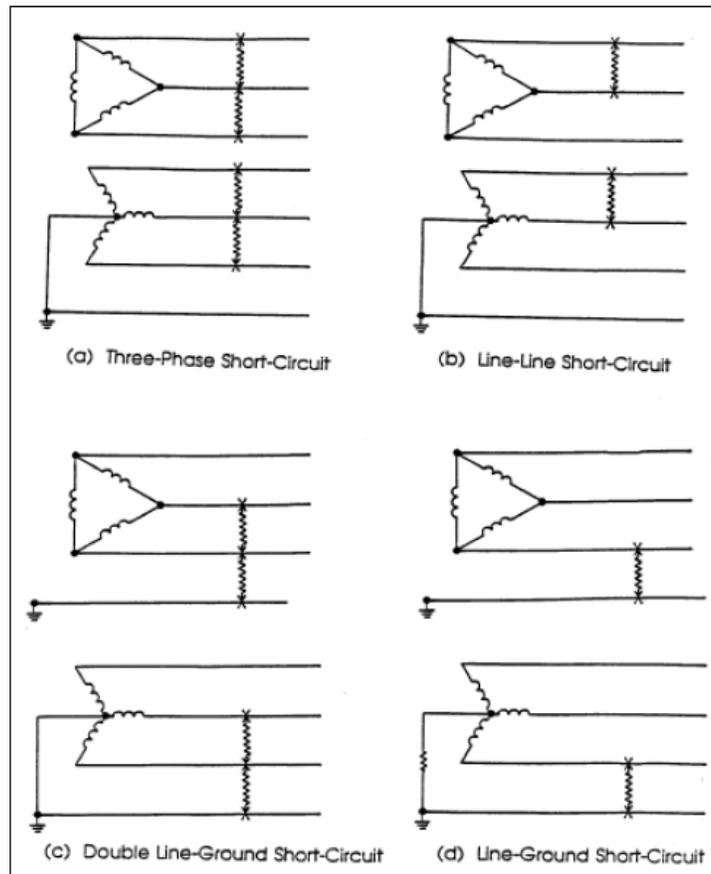


Figura 16 Fallas típicas de corto circuito.
Fuente Norma IEEE_0551-2006

2.4 Fundamentos del cálculo de corto circuito

El cálculo de corrientes de corto circuito se basa principalmente en la Ley de Ohm, como se presenta a continuación:

$$E=I*Z \quad (1)$$

- Donde I es la corriente de corto circuito.
- Z es la impedancia equivalente desde la fuente hasta el punto de falla.
- E es la tensión de la fuente.

VARIABLES DEL SISTEMA Y DE LOS EQUIPOS CAUSAN QUE UNA DETERMINACIÓN EXACTA DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO SEA MUY DIFÍCIL DE REALIZAR. SIN EMBARGO, ES SUFICIENTEMENTE PRECISO REALIZAR APROXIMACIONES, ADemás POR LO GENERAL ES NECESARIO CONOCER SÓLO LA CORRIENTE MÁXIMA DE CORTO CIRCUITO. ESTO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE LAS PROTECCIONES. EN OCASIONES ES NECESARIO CONOCER LA CORRIENTE MÍNIMA DE CORTO CIRCUITO PARA ESTABLECER LA SENSIBILIDAD DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN. ÉSTA CORRIENTE POR LO GENERAL SE EXPRESA EN FRACCIÓN DE LA MÁXIMA. (Barahona, 2015)

PARA REALIZAR EL ESTUDIO DE CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO SE NECESITA OBTENER CIERTA INFORMACIÓN SEGÚN LA METODOLOGÍA DE CÁLCULO PROPUESTO, ESTAS VARIABLES DE PRESENTAN A CONTINUACIÓN:

- Diagrama unifilar eléctrico actualizado
(Este debe contener datos como distancia de las líneas de las cargas, transformadores y barras, también calibres de los conductores para tener acceso a la información sobre sus impedancias).
- Cargas conectadas al sistema en estudio (Inductivas).
- Valores de impedancia de las máquinas eléctricas, motores, trafos, etc.
- Aporte de compañía eléctrica en el punto.

2.5 Metodología de cálculo

EN ESTA SECCIÓN SE PRETENDE DAR A CONOCER LA METODOLOGÍA DE CÁLCULO MANUAL QUE SE UTILIZÓ BASÁNDOSE EN LAS NORMAS IEEE_0141_1993 Y IEEE_0551-2006.

2.5.1 Método de las impedancias.

EL MÉTODO DE LAS IMPEDANCIAS ES UN MÉTODO APTO PARA CIRCUITOS DE BAJA TENSIÓN, ESTE MÉTODO SIRVE PARA CALCULAR LA CORRIENTE DE FALLA EN CUALQUIER PUNTO CON BUENA PRECISIÓN.

El método de las impedancias consiste en sumar separadamente las resistencias y reactancias que intervienen en el lazo que involucra la falla. Luego interviene el efecto que pueda tener los generadores hasta el punto de falla en estudio. Ya por obtenido este cálculo en el punto se procede a calcular el valor de la corriente de corto circuito como se muestra en la siguiente ecuación. (Barahona, 2015)

$$I_{CC} = \frac{V_n}{\Sigma(Z)} \quad (2)$$

Los pasos para realizar el cálculo de corto circuito por este método son los siguientes:

- Ya obtenido el diagrama unifilar del sistema en estudio, simplificar de manera que se representen las cargas más importantes así como sus alimentadores.
- Identificar los puntos donde se quiere realizar el estudio de corto circuito (punto de falla).
- Poner los datos de las cargas más importantes que aporten como: transformadores, alternadores, motores, conductores (calibre, tipo y distancia).
- Aporte de corriente en el punto de entrega, como también de los generadores (si los hay).
- Realizar el cálculo de las impedancias del sistema, conductores transformadores, alternadores y motores.

El cálculo de las impedancias tiene mayor aplicabilidad si los valores se trabajan en impedancias equivalentes en PU, la metodología de reducción se basa mediante el método de Thevenin, la reducción del circuito es dependiente de la configuración del mismo, por lo que el cálculo de corriente de fallo en todos los puntos es diferente. La corriente de falla esta en PU por lo que se debe multiplicar por la corriente base para obtener el valor de corriente real en ampere.

2.5.2 Norma IEEE Std 551™-2006.

La Norma IEEE Std 551™-2006 IEEE Recommended Practice for Calculating Short Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems se ha venido mencionando a lo largo de este marco conceptual, es recomendada como un tratado práctico, general para los ingenieros sobre el tema de las corrientes de corto circuito de corriente alterna en sistemas de energía eléctrica.

El objetivo de esta norma es la comprensión y aplicación de técnicas de análisis de corto circuito en sistemas de potencia industriales y comerciales. Más que cualquier otro libro de la serie IEEE color Book el "Libro Violeta" cubre los conceptos básicos de las corrientes de corto circuito. Este recopila las recomendaciones de todos los demás Color Book de IEEE.

El capítulo brinda datos de referencia recomendada, es bastante extensa y muy útil para cualquier tipo de análisis de sistemas eléctricos. Sin embargo, los mismos principios de ingeniería aplican a todos los sistemas de energía eléctrica, incluyendo los servicios públicos y sistemas distintos de 60 Hz.

2.5.3 Norma IEEE Std 141™-1993.

La Norma IEEE Std 141-1993, IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants, Red Book. Comenzó en la séptima edición en 1987 con la participación de más de setenta ingenieros eléctricos procedentes de instalaciones industriales, consultoría, fabricantes de equipos, y el mundo académico.

La séptima edición fue aprobada por el Consejo de Normas del IEEE en 1993 como una práctica recomendada de IEEE. Proporciona información pertinente y prácticas recomendadas para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de energía eléctrica en plantas industriales.

En esta norma se presenta un análisis exhaustivo de las consideraciones de diseño para sistemas eléctricos básicos. Se proporciona una guía en el diseño, la construcción y la continuidad de un sistema global para lograr la seguridad de la vida y la preservación de los bienes; confiabilidad; simplicidad de la operación; regulación de voltaje en la utilización de equipos dentro de los límites de tolerancia en todas las condiciones de carga; cuidado, mantenimiento y la flexibilidad para permitir el desarrollo y expansión.

Se hacen recomendaciones con respecto a la planificación del sistema; consideraciones de tensión; protección contra sobre-tensiones de voltaje; dispositivos de protección del sistema; de cálculos de fallos de corto circuito; toma de tierra; de conmutación de potencia, la transformación, y aparatos de control de motores; instrumentos y medidores; sistemas de cableado; vías de buses; conservación de la energía eléctrica; y la estimación de costos.

La norma hace énfasis en el análisis de corrientes de corto circuito en el capítulo IV, donde se presentan una serie de consideraciones y recomendaciones para el cálculo de la corriente de fallo.

El método que la norma recomienda se basa principalmente en el método de las impedancias, es por eso que se menciona al inicio de esta sección. Lo que varía son las consideraciones que se hacen al seleccionar las impedancias de las cargas.

Al igual que el método de las impedancias para aplicar la Ley de Ohm se reduce el sistema a una impedancia y una tensión vista desde el punto de falla, utilizando el principio del Teorema de Thevenin, para calcular la corriente se toma la tensión vista en el punto de fallo, esta tensión se llama tensión de pre-falla.

Para la metodología de cálculo, la falla trifásica se representa en el sistema en una de las fases, asumiendo que esta se encuentra balanceada, las impedancias y las tensiones se dan por fase. Para mayor aplicabilidad la norma recomienda convertir el circuito equivalente por unidad (PU).

El diagrama unifilar en análisis debe incluir todas las impedancias significativas (motores, generadores, transformadores, cables etc.). Las impedancias más pequeñas como las que podrían aportar los disyuntores, transformadores de corriente, terminales de conexión entre otros. Cargas estáticas como iluminación, calentadores, hornos u otro tipo se ignoran pues no son cargas que aportan a la hora de un fallo por corriente de corto circuito. Esto porque poseen factores de potencia cercanos a uno, por lo que presentan desfase de 90 grados respecto a cargas reactivas.

Las siguientes son recomendaciones que la norma realiza con el fin de que los resultados sean lo suficientemente precisos:

- Seleccionar la localización y el tipo de falla óptima para el análisis del corto circuito dependiendo del circuito por analizar.
- Utilizar un diagrama unifilar lo más simple posible para facilitar la reducción del mismo.
- Reconocer la existencia de condiciones en el sistema que violen las limitantes impuestas por el método utilizado.

2.5.3.1 Procedimiento detallado de cálculo.

Una parte importante de la preparación para un cálculo de corriente de corto circuito es la impedancia de cada elemento del circuito y su conversión a impedancias para ser mutuamente consistentes para la combinación en serie y paralelo. Los valores de impedancia de los elementos del circuito son de placas, manuales, catálogos de fabricantes, las tablas que se incluyen en este capítulo, y el contacto directo con el fabricante.

Se menciona que se establecen dos formas coherentes para expresar las impedancias, por ohmios y por unidad (por unidad difiere de un por ciento por un factor de 100). Las impedancias de cada equipo se dan a menudo en porcentaje, por lo que las comparaciones tienden a ser más prácticas.

El valor en P.U es la relación de la cantidad en análisis entre un valor denominado base, este resultado es una cantidad adimensional. Se puede expresar en P.U el voltaje, la corriente, la potencia, la resistencia, la reactancia y la impedancia.

$$p.u = \frac{\text{Valor Real } (\Omega)}{\text{Valor Base } (\Omega)} \quad (3)$$

$$\text{Valor Base } (\Omega) = \frac{(\text{Voltaje Base (KV)})^2}{\text{Potencia Base (MVA)}} \quad (4)$$

El caso de algunos elementos como transformadores, el valor de impedancia se encuentra en forma porcentual, como dato de placa, por lo que es necesario realizar un cambio de base como el que se representa a continuación.

$$Z_{p.u} = \frac{\text{Impedancia } (\%) * \text{Potencia base (MVA)}}{\text{Potencia Nominal (MVA)} * 100} \quad (5)$$

El procedimiento para calcular en un sistema industrial las corrientes de cortocircuito consta de las siguientes etapas:

- Paso 1: Preparar diagramas de sistema.
- Paso 2: Recopilar y convertir los datos de impedancia.
- Paso 3: Combinar impedancias.
- Paso 4: Calcular la corriente de corto circuito.

2.5.3.1.1 Paso 1: Preparar diagramas de sistema.

El diagrama unifilar debe contener:

- Todas las fuentes de corrientes de corto circuito.
- Elementos de protección como disyuntor, fusibles, seccionadores etc.

- Máquinas eléctricas como motores, generadores, transformadores.
- Se recomienda representar otro diagrama unifilar donde se presentan las impedancias transformadas en p.u.
- Para hacer más práctico el cálculo, se recomienda hacer dos unifilares, uno donde se representen todos los valores reales y otro donde se encuentren los valores imaginarios (parte compleja).

2.5.3.1.2 Paso 2: Recopilar y convertir los datos de impedancia.

- Este análisis se realiza considerando que el sistema está a plena carga, para tomar el aporte de todos los motores en el momento de la falla.
- Como dato conservativo se aceptan los valores nominales de resistencia.
- Esta sección toma en cuenta valores de impedancia de motores, transformadores, conductores y fuentes de aporte como lo son generadores y el aporte de la red de distribución.

2.5.3.1.3 Paso 3: Combinar impedancias.

- El tercer paso es combinar reactancias y resistencias hasta el punto de falla en una sola impedancia equivalente, la forma de combinarlas depende directamente de la configuración del diagrama en estudio por lo que puede variar su cálculo.

2.5.3.1.4 Paso 4: Calcular la corriente de corto circuito.

- Este capítulo estudia mediante el método de las impedancias los resultados de capacidades de fusibles y breacker en el primer ciclo, interrupción de breackers para mediana y alta tensión, corrientes de corto circuito en tiempos de operación para disyuntores de tiempo inverso.

- Cuando la carga total de motores a 480 o 600V sea similar a la capacidad del transformador, puede utilizarse una única reactancia para simular el grupo de motores. Esta reactancia será de 0,25 p.u, con base a la capacidad del transformador (esto para medio ciclo).
- La IEEE C37010 define que para grupos menores a 50 hp, estos pueden ser omitidos y los grupos con motores mayores a ese valor su X_d'' debe ser multiplicada por 1.2, no obstante para aplicación en este proyecto si se van a tomar en cuenta para estudio de corrientes de corto circuito a $\frac{1}{2}$ ciclo, pues en baja tensión el aporte que ellos puedan presentar es significativo. Para incluir los motores menores a 50 hp se debe usar un factor multiplicativo de 1.67 a la impedancia sub-transitoria.
- IEEE C37.13-1981 recomienda una X_d'' entre 0,16 y 0,20 pu para todos los motores. Además una contribución simétrica en el primer ciclo de 4 veces la corriente nominal.
- Ya tomando en cuenta lo anterior se calcula la corriente simétrica y la asimétrica, esto al dividir el voltaje de pre-falla entre la impedancia equivalente al punto de falla, esta disminución del circuito depende de la configuración y del punto de falla que se haya escogido para hacer el análisis.
- La corriente asimétrica viene dada por la siguiente ecuación:

$$I_{asim} = I_{sim} \sqrt{1 + 2e^{\frac{-2\pi}{X/R}}} \quad (6)$$

2.6 Sistemas de protección

A la hora de diseñar o revisar un sistema eléctrico industrial, se deben de conocer el tipo de carga, las corrientes de corto circuito, las curvas de tiempo corriente, ajustes de las protecciones cercanas a la acometida de la empresa de servicio, así como las restricciones o capacidades que poseen las protecciones internas de la empresa.

El estudio de las corrientes de corto circuito es fundamental para dimensionar las capacidades interruptoras que deben de tener las protecciones. Ya conocidas las corrientes de corto circuito se seleccionan los dispositivos de protección, tomando en cuenta su capacidad interruptora, así como la corriente nominal, número de polos, espacio, costo, etc. Los tres dispositivos primarios de protección usados en el aislamiento de fallas y sobre-corriente son los fusibles, disyuntores (interruptores de circuitos), y relés de protección.

Un fusible es tanto un sensor como un dispositivo de interrupción, pero no es un conmutador, es conectado en serie con el circuito y responde a efectos térmicos producidos por la corriente que fluye a través del mismo.

Este dispositivo está diseñado para actuar en determinado tiempo, dependiendo de la cantidad de corriente que fluye. Diferentes tipos de fusibles están disponibles, con características de curvas tiempo-corriente necesarias para la protección adecuada de los componentes del circuito.

Los fusibles pueden ser de corrientes limitantes o de corrientes no limitantes, dependiendo del diseño y construcción del mismo. Los fusibles no se pueden restablecer, debido a que sus componentes se consumen a la hora de interrumpir la corriente. (Barrantes, 2014)

Los disyuntores son dispositivos de interrupción y conmutación que requieren de elementos de sensado de corriente para cumplir la función de detención. En el caso de los disyuntores de media tensión (1-72,5) KV, los elementos de sensado están por separado, son transformadores de corriente (TCs) y relés de protección o una combinación de relés.

Para los disyuntores de baja tensión (menos de 1000 V) el elemento de sensado integra parte del disyuntor. Estas unidades pueden ser del tipo térmico o magnético, o dispositivos electrónicos usados con TCs montados sobre el disyuntor. (Barrantes, 2014)

Existen diferentes tipos de curvas de disparo de disyuntores según aplicación, estas son tipo B, C, D-K, Z y MA. La curva B, utilizados para protección de generadores y cables de gran longitud, su disparo es de 3 a 5 veces la corriente nominal (I_n); los de curva C, utilizados para protección de circuitos de usos general, su disparo es de 5 a 10 veces la corriente nominal (I_n). Las curvas de tipo D y K son utilizadas para protección de cables alimentando receptores con fuertes puntas de arranque, transformadores y motores. Las curvas tipo Z, utilizados para protección de los circuitos electrónicos, su disparo es de 2.4 a 3.6 la corriente nominal (I_n) y finalmente los disyuntores de curva tipo MA utilizados para protección de arranque de motores y aplicaciones específicas, su disparo es de 12 veces la corriente nominal, esta no posee protección térmica.

2.6.1 Criterios de selección de protecciones contra corto circuitos.

Para seleccionar protecciones se deben de seguir los siguientes pasos.
(Barrantes, 2014)

- Determinar las corrientes de falla, con los métodos conocidos o más convenientes de cálculo en aquellos puntos donde se requiere la instalación de protecciones.
- Instalar protecciones, sean estos fusibles o disyuntores de los cuales se conozca su capacidad interruptora de corrientes de corto circuito y que estén aprobados por normas conocidas.
- Seleccionar protecciones previendo el aumento de la carga, de manera que si aumenta la corriente de corto circuito, no se deban cambiar las protecciones porque su capacidad interruptora se haya sobrepasado.
- Determinar si la capacidad del conductor es la suficiente para soportar una corriente de corto circuito, esta capacidad se presenta en la Figura 17.
- No pensar que por la sola presencia de protecciones se tenga adecuada protección ante una eventual falla, esto sobre todo en instalaciones viejas, donde nunca se actualizaron los estudios de corto circuito y la red ha crecido interna y externamente.

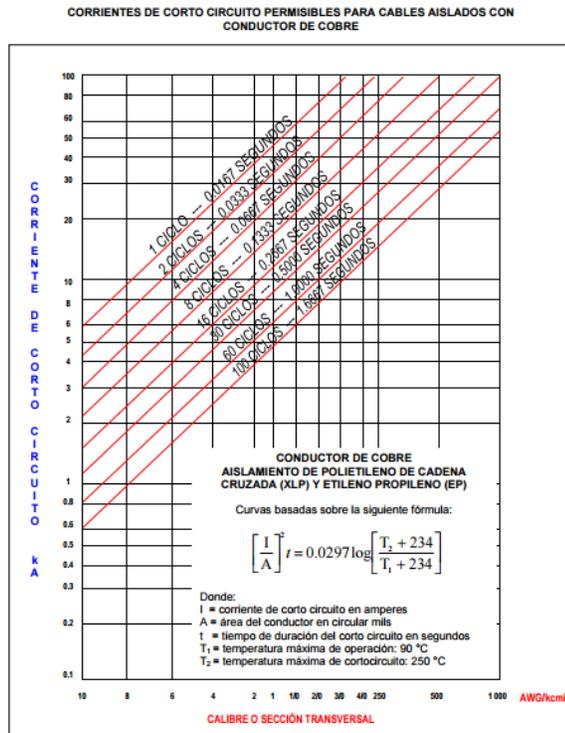


Figura 17 Corriente de corto circuito permitido para conductores.
Fuente: NEC.

2.7 Coordinación de protecciones.

El objetivo de una coordinación de protecciones es determinar las características, capacidades y configuraciones de los dispositivos, que minimicen el daño a los equipos e interrumpan de la manera más rápida y eficaz ante un corto circuito, en un sistema radial el objetivo de la selectividad es desconectar de la red la carga o la derivación de la salida defectuosa y solo ésta, manteniendo en servicio la mayor parte posible de la instalación. (Barrantes, 2014)

Para realizar una coordinación de protecciones se deben tomar en cuenta ciertos requerimientos, entre estos está conocer el modelo y marca del disyuntor instalado para obtener las curvas características TCC con el fin de comparar con las demás curvas de los disyuntores. Poseer el diagrama unifilar del sistema para realizar la coordinación de los disyuntores en estudio.

En el caso de la coordinación de protecciones de este proyecto no se tomaron en cuenta las curvas de daño de los conductores, esto porque poseen magnitudes de corriente muy altas que dificultan el estudio dentro de las gráficas, además estas no requerían de estudio porque según el análisis de capacidad interruptora se confirma que no se presentan problemas, sin embargo si se tomaron en cuenta las curvas de daño de los transformadores para verificar si se garantiza su protección.

El sistema en estudio tiene la particularidad de poseer transformadores secos para la reducción de tensión, tomando en cuenta esto, la coordinación de protecciones se va a realizar por tramos porque el transformador funciona como un limitador de corriente donde se trabaja a distintos voltajes, además porque su acople por no ser físico si no por inducción electromagnética se trabajaría como sistemas independientes.

La mayoría de las instalaciones eléctricas están en constante cambio, sea por modificaciones en su estructura o porque se agregan nuevas cargas, esto implica que el estudio de cortocircuito y una coordinación de protecciones se deben realizar cada cierto tiempo, pues ya no cumple con las condiciones de diseño inicial para garantizar el funcionamiento o despeje selectivo de las protecciones del circuito eléctrico.

No existen las ecuaciones que describan el problema de coordinación para obtener la solución óptima mediante técnicas analíticas o numéricas (no es una ciencia exacta), se busca empíricamente la optimización, sea de forma manual o mediante la utilización de algún software que simule las posibles corrientes de falla. (Barahona, 2015)

La selectividad o discriminación es la facilidad que posee un sistema de protección que le permite discernir entre una condición de operación y otra en la cual no debe operar. El proceso de ajustar la selectividad se llama técnicamente: “coordinación de protecciones”. (Barahona, 2015)

CAPÍTULO 3: Recopilación de datos.

En esta sección se hará énfasis a la recolección de datos de todos los elementos relevantes que forman parte en el estudio de corrientes de cortocircuito, tomando en cuenta los criterios de las normas IEEE Std 141™-1993 y IEEE Std 551™-2006; en el Apéndice 1 se encontraran todas las tablas referentes a las anotaciones que se harán en esta sección. En el Anexo 1 Tablas y gráficas de diseño se encuentran las gráficas que se usaron como referencia para la recolección de algunos datos necesarios para el cálculo siguiendo las recomendaciones de las normas anteriormente mencionadas.

En un estudio de corrientes de cortocircuito, uno de los requisitos fundamentales es tener un diagrama unifilar actualizado, esto para tener una base sólida para hacer las debidas recomendaciones sobre el estado actual de la red. Antes de iniciar con este proyecto no se contaba con un diagrama unifilar actualizado de la acometida principal de la sede central del Tecnológico de Costa Rica, por lo que se procede a hacer un levantamiento de cargas a nivel general de todas las estructuras que pertenecen a la acometida principal especificando las cargas más críticas que pueden tener un efecto directo ante una eventual corriente de cortocircuito en la red.

La acometida principal cuenta con un transformador principal de marca Trafo, número de serie XA1580A001H, Potencia 1000 kVA, de 34500/480 V, con una fecha de fabricación en el 2003. Esta acometida posee también dos generadores de corriente de 400 VA marca Modasa Power plants, trifásicos, Diesel y de transferencia automática.

Los elementos anteriores están ubicados alrededor de la estructura donde se encuentran los gabinetes de distribución para cada uno de los edificios, en estos gabinetes están localizados todos los disyuntores principales de los transformadores secos que están ubicados en las edificaciones y que se encargan de hacer la reducción de voltaje de 480 V a 208 V.

Los transformadores secos que están ubicados en cada uno de los edificios, mencionados anteriormente, son de varias potencias, el que posee menor potencia es de 10KVA y el de mayor potencia es de 250 KVA, la gran mayoría son General Electric. En total son 36 transformadores, cabe destacar que algunos de estos se encuentran desconectados.

Para la recolección de datos del diagrama unifilar se contó con la ayuda del personal de mantenimiento para la ubicación de los centros de carga en cada edificio y sus respectivas cargas. El personal de mantenimiento fue de mucha ayuda porque se necesitaba un permiso especial para poder tener acceso a los centros de carga de cada edificio.

En la mayoría de edificaciones las cargas que predominan son cargas resistivas, estas de uso general como lo son circuitos de iluminación y de toma-corrientes para labores administrativas o de cargas que se consideran de baja demanda.

Las cargas que se consideraron para el estudio de corrientes de cortocircuito, son las cargas inductivas que tuvieran una potencia mayor 1Hp, esto al tratarse de una red de baja tensión, además las cargas que están a media tensión son los transformadores secos.

El edificio donde se encontró la mayor concentración de motores fue en el taller básico de Electromecánica, porque posee una considerable cantidad de maquinaria. Las otras cargas consideradas en los demás edificios son: Elevadores, Unidades de Aires Acondicionados, Tanque Hidroneumático, Maquinaria Especial del Comedor Institucional, Cuartos Fríos, Compresores y Sistema de Bombeo (Uso académico) del Edificio de Electromecánica entre otras.

En la carpeta adjunta a este documento, se pueden encontrar los diagramas unifilares de cada edificio con sus respectivos tableros, la mayoría de ellos poseen su tabla de datos identificando a qué tipo de circuito pertenece.

Los voltajes que se manejan en esta red eléctrica son: el voltaje de la red distribuidora de 34500V, el voltaje de media tensión que está después del transformador de 1000 KVA, que es de 480V y el voltaje de baja tensión, donde se concentran todas las cargas, que es de 208V.

Para el manejo de los datos en el sistema por unidad P.U, se debe tomar un valor base, la norma recomienda tomar como base la potencia nominal del transformador principal, entonces el valor que se toma como base es de 1000 KVA, esto porque se manejan varios niveles de voltaje y para hacer la conversión de a P.U se debe manejar el valor base de su respectivo voltaje de operación, este procedimiento se explicará con detalle más adelante.

Como se explicó anteriormente la mayor concentración de cargas opera a un voltaje de 208 V, considerado baja tensión, a pesar de que estos motores, la gran mayoría, no superan los 37KW (50Hp) deben ser tomados en cuenta, aunque la norma mencione que los motores de menos de 37KW (50Hp) pueden ser omitidos, esto porque estas cargas representan el mayor aporte ante un posible evento de corrientes de corto circuito.

Para la mayoría de cargas presentes en el sistema eléctrico (transformadores, motores etc.), se tuvo acceso a los datos de placa, en el caso de los transformadores se obtuvieron como dato de placa los valores de potencia nominal, voltaje de operación, número de polos y su impedancia. Para los motores se obtuvo como dato de placa voltaje de operación, número de polos, potencia y corriente nominal.

En el caso de los motores, generadores y de los transformadores no se obtuvo el valor de X/R , por lo que se consulta a la norma, para ver cuáles son los valores típicos de X/R , estos valores se tomaron de las siguientes figuras: Figura 136, Figura 137 y Figura 138. De la misma forma para la red externa de distribución de la JASEC, se toma un valor recomendado por la norma de X/R de 15, pues los únicos datos que se facilitaron por medio de la oficina de la JASEC fue el valor de las corrientes monofásica y trifásica en el punto como se muestra en la Figura 139.

Para los valores de reactancia de los motores, se procede a hacer la consulta a la norma para ver cuáles son los valores recomendados, y su factor de corrección. Para los motores medianos (50-999) Hp, se considera lo siguiente, se tomará un aporte de 4.8 veces la corriente nominal en caso de conocer su valor, este valor debe asemejarse al valor de reactancia recomendado por la norma en la Tabla 2, que es de 20.8 %.

Los motores considerados como pequeños (Menores de 37KW (50Hp)) se tomará un aporte de 3.6 de la corriente nominal en caso de conocerla, de igual forma que para los motores medianos la norma recomienda un valor de reactancia 27.8% para motores pequeños según la Tabla 2. En el caso de las unidades generadoras se tomó como valor de reactancia 19.4%, valor recomendado por la norma.

En caso de los conductores, los valores de reactancia y de resistencia se tomaron de la Figura 134, la cual representa la Tabla 9 del NEC, los valores de esta Tabla son muy semejantes a los valores de impedancia propuestos por la norma para los distintos calibres de los conductores, se toma la decisión de utilizar la Tabla 9 del NEC pues en esta se encuentran tantos los valores en Ohm/Kilometro como los valores de Ohm/1000pies, esto facilitando el cálculo a la hora de hacer las respectivas conversiones.

Respecto a las distancias de los conductores, entre cargas, tableros y acometidas de las estructuras en estudio, se hace una estimación tratando de ser lo más aproximado posible a las distancias reales. Para ello la Oficina de Ingeniería facilitó el mapa conjunto del Tecnológico de Costa Rica en formato DWG de AutoCAD, este mapa cuenta con una capa donde se encuentra la posición exacta de las cajas eléctricas subterráneas, por lo que se procedió a hacer uso del mismo para realizar las mediciones. Los detalles de estas distancias mencionadas están en la Tabla 58 en el Apéndice 1.

El banco de capacitores es otro de los elementos que se registró, este posee cinco etapas, con una etapa fija. Las etapas constan de cuatro condensadores de 12.5KVA cada uno, la información referente a este tipo de carga se encuentra tabulada en la Tabla 64 del Apéndice 1.

CAPÍTULO 4: Resultados.

En esta sección se encuentran los resultados obtenidos mediante las dos metodologías utilizadas para el cálculo de las corrientes de fallo en distintos puntos del diagrama unifilar en estudio.

El objetivo principal de basarse en las normas consultadas (IEEE Std 551TM-2006 y IEEE Std 141TM-1993) es el tener una base teórica sólida que garantice que los resultados obtenidos están basados en técnicas confiables.

El modelado en el software SKM Power Tools tiene como principal objetivo comparar y verificar que los resultados obtenidos por el método manual son aproximados, esto basándose también en recomendaciones dadas por las normas.

Los resultados obtenidos por la metodología manual de las normas son una serie de corrientes de corto circuito trifásica asimétricas calculadas a $\frac{1}{2}$ ciclo, esto porque por recomendación de la norma se debe comparar la capacidad interruptora del dispositivo disyuntor con la corriente asimétrica más alta entre cero y el primer ciclo.

A pesar de que existen varios tipos de fallo de corto circuito, se escoge realizar el análisis ante una posible falla trifásica, esto porque las cargas que se poseen son en su mayoría trifásicas, además de que en una falla trifásica es donde se presenta la corriente de falla más alta debido a que los aportes por fase en cada sistema son balanceados.

4.1 Metodología de normas IEEE 551-2006 y IEEE 141-1993.

4.1.1 Corrientes de falla con aporte de la red de distribución (JASEC).

Tabla 3 Corriente de falla barra de distribución principal. (RD)

NORMA IEEE	
ANÁLISIS DE C.C EN BARRA PRINCIPAL DE 480 (ENTRE TRAFOS)	
R	0.0219
X	0.0737
Z	0.0769
I (A)	15634.74
I(KA) Simétrica	15.6347
I(A) Asimétrica	17888.81
X/R	3.3634

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se presenta la corriente de falla en la barra principal de distribución, esta corresponde al tablero principal donde se ramifican las distintas acometidas de los edificios en estudio, aquí sólo se incluyen los edificios que poseen cargas que aporten ante un evento de corto circuito, como también sólo se incluye el aporte por parte de la red de distribución de JASEC, siendo esta la fuente que más aporta ante un fenómeno de corto circuito.

Este al ser el tablero principal de distribución, es donde se debe encontrar el valor de corriente de cortocircuito más crítico, pues es la barra que recibe el aporte de todas las cargas incluyendo el aporte de la red de distribución.

La metodología de reducción de impedancias para encontrar el valor de corriente de falla en este punto se explica con mayor detalle en el Apéndice 3: Memoria de cálculo.

Cabe destacar que en los cálculos presentados en la Tabla 3 se omite el posible aporte del banco de capacitores, el cual es utilizado para corrección de factor de potencia, esto por lo mencionado en la sección 2.1.5 del Marco conceptual.

Tabla 4 Corriente de falla en Tablero TA (Taller Básico). (RD)

NORMA IEEE	
ANÁLISIS DE C.C EN TABLERO DISTRIBUIDOR TA	
R	0.2617
X	0.5306
Z	0.5917
I (A)	4690.878
I(KA) Simétrica	4.6908
I(A) Asimétrica	4898.094
X/R	2.0272

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 4 se presenta el valor de corriente de fallo en el Tablero de Distribución del Taller Básico del Edificio de Electromecánica. Se realiza el análisis de corriente de corto circuito en esta barra por motivo de en esta sección del diagrama unifilar es donde se concentra la mayor distribución de motores por ser el lugar donde encuentra la mayor cantidad maquinaria de uso industrial, esto a pesar de que el uso de estas máquinas es meramente académico, por lo que la demanda será menor por el uso que se les da.

A pesar de que acá se concentra la mayor cantidad de cargas inductivas la mayoría de ellas no superan los 50Hp, excepto los dos CNC (torno-fresadora) que tiene 40Hp y 50Hp respectivamente, en la sección 2.1.3 del Marco conceptual se especifica que es lo que recomiendan las normas ante estos tipos de cargas menores de 50Hp.

Tabla 5 Corriente de falla del Tablero C (Taller Básico). (RD)

NORMA IEEE	
ANÁLISIS DE C.C EN TABLERO C (TALLER)	
R	0.2916
X	0.5453
Z	0.6184
I (A)	4488.33
I(KA) Simétrica	4.4883
I(A) Asimétrica	4641.941
X/R	1.8702

Fuente: Elaboración propia.

Enfocándose en la localidad donde se encuentran la mayor cantidad de cargas inductivas, en la Tabla 5 se encuentra el valor de corriente de falla del Tablero C, en este tablero están concentradas la mayoría de las máquinas, las cuales son: Rectificadora Plana y cilíndricas, Fresadoras, Tornos Paralelos, Taladros de Columna, Cepillos, Guillotinas, Arrolladoras de láminas y esmeriles de banco. Estas últimas cargas no fueron tomadas en cuenta por ser cargas monofásicas y menores de 1Hp. Todas estas cargas suman una corriente de falla asimétrica de 4641.94 A que será más adelante para la selección de protecciones.

Tabla 6 Corriente de falla del Tablero B (Taller Básico). (RD)

NORMA IEEE	
ANÁLISIS DE C.C EN TABLERO B (TALLER)	
R	0.2914
X	0.5454
Z	0.6184
I (A)	4488.328
I(KA) Simétrica	4.4883
I(A) Asimétrica	4642.238
X/R	1.8713

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma que para el caso del Tablero de Distribución C, el Tablero de Distribución B tiene una concentración importante de cargas que aportan ante un evento de corrientes de corto circuito. En este Tablero el aporte de corriente de fallo asimétrico es de 4642.23 A un valor un tanto similar al del Tablero C, lo que denota a primera instancia que los Tableros se encuentran balanceados respecto a sus cargas.

Tabla 7 Corriente de falla en Tablero CNC. (RD)

NORMA IEEE	
ANÁLISIS DE C.C EN TABLERO CNC	
R	0.3109
X	0.5977
Z	0.6738
I (A)	4119.307
I(KA) Simétrica	4.1193
I(A) Asimétrica	4273.458
X/R	1.9222

Fuente: Elaboración propia.

Otro de los tableros que pertenecen al Tablero de Distribución TA, es el Tablero CNC, en este se puede observar que el valor de corriente de corto circuito asimétrico corresponde a 4273.45 A, en este Tablero están localizados las mayores cargas de todo el sistema, los cuales son un Torno CNC y una Fresadora CNC.

Entre las consideraciones a tomar en cuenta, una de las más importantes es que el uso de estas máquinas es meramente académico, su uso es moderado, no obstante para el estudio de corrientes de fallo el estado más crítico es cuando las cargas están en funcionamiento nominal, por lo que se asume un estado de funcionamiento nominal.

Tabla 8 Corrientes de fallo de Tablero Principal (Electromecánica). (RD)

NORMA IEEE	
ANÁLISIS DE C.C EN TABLERO PRINCIPAL TP (E.E)	
R	0.1933
X	0.5004
Z	0.5364
I (A)	5173.846
I(KA) Simétrica	5.1738
I(A) Asimétrica	5612.319
X/R	2.5880

Fuente: Elaboración propia.

Otro de los puntos analizados es el Tablero Principal TP del Edificio de Electromecánica, en este edificio se encuentran varias cargas a considerar, entre estas se encuentran tres bombas de uso académico, que poseen un variador de frecuencia. Se analizó este punto en particular para ver cuál es el valor de aporte de corriente de corto circuito de estas tres bombas, pues el incluir un variador de frecuencia posee sus implicaciones especiales, donde se explican con detalle en la sección 2.1.6 del Marco conceptual

En el estudio de corrientes de fallo si se tomaron en cuenta el aporte de falla de estas cargas a pesar de que poseen variador de frecuencia, por ser las únicas cargas que se controlan con este tipo de dispositivo. Los aportes corriente de corto circuito de las Bombas 1 y 2, donde su potencia es de 7.5Hp, es de 74 A y de la Bomba 3, donde su potencia es de 1Hp la corriente de falla es de 10 A.

Se puede observar que la corriente de aporte en el Tablero TP del Edificio de Electromecánica es considerable en comparación con los Tableros del Taller Básico, pues en el Tablero TP solo se encuentran 5 motores que rondan los 7.5Hp de potencia y valor de corriente de falla se asemeja a los Tableros del Taller Básico. Por ese motivo se realizó también el estudio en este punto.

4.1.2 Corrientes de falla con aporte de unidades generadoras.

Tabla 9 Corriente de falla barra de distribución principal. (UG)

NORMA IEEE	
ANÁLISIS DE C.C EN BARRA PRINCIPAL DE 480 (ENTRE TRAFOS)	
R	0.0222
X	0.1749
Z	0.1763
I (A)	6820.203
I(KA) Simétrica	6.8202
I(A) Asimétrica	9400.961
X/R	7.8644

Fuente: Elaboración propia.

En esta sección lo que cambia es el tipo de fuente de generación, el sistema entra en modo de emergencia y habilita las unidades generadoras, aislando el aporte de la red, esto ante la ausencia de la corriente eléctrica o por una interrupción inducida.

Se debe contemplar también cual podría ser el aporte de corriente de fallo cuando solo están en funcionamiento las unidades generadoras, esto a medida de comparación para ver cuál es el estado más crítico de falla.

Se puede notar por los resultados de la Tabla 9 que el aporte de las unidades generadoras es menor, esto reflejándolo al Tablero de Distribución Principal, donde se presenta la corriente de falla mayor. Esto porque la red de distribución es una fuente infinita de potencia, por ende una fuente infinita de corriente, por lo que la red de distribución va a ser la fuente que más va a aportar ante un evento de corriente de corto circuito.

Tabla 10 Corriente de falla en Tablero TA (Taller Básico). (UG)

NORMA IEEE	
ANÁLISIS DE C.C EN TABLERO DISTRIBUIDOR TA	
R	0.2618
X	0.5858
Z	0.6416
I (A)	4325.847
I(KA) Simétrica	4.3258
I(A) Asimétrica	4579.614
X/R	2.2372

Fuente: Elaboración propia.

En la sección anterior se realizó el análisis de corrientes de fallo del Tablero de Distribución TA, esto por ser el tablero donde se concentran la mayor cantidad de cargas inductivas, de igual manera se hace el análisis pero habilitando las unidades generadoras y aislando la red, la corriente de falla en la Tabla 10 demuestra que el valor de corriente de fallo en este punto es menor, pero sigue siendo significativo para la selección de disyuntores en esa sección.

Tabla 11 Corriente de falla del Tablero C (Taller Básico). (UG)

NORMA IEEE	
ANÁLISIS DE C.C EN TABLERO C (TALLER)	
R	0.2916
X	0.6003
Z	0.6674
I (A)	4158.799
I(KA) Simétrica	4.1587
I(A) Asimétrica	4351.08
X/R	2.0582

Fuente: Elaboración propia.

En el Tablero C del Taller Básico se cumple la misma condición, se aísla la Red de Distribución y se habilita las unidades generadoras, la corriente es ligeramente menor y se sigue cumpliendo lo mismo que para los casos anteriores, el caso más crítico es cuando la red de distribución es la que está habilitada.

Tabla 12 Corriente de falla del Tablero B (Taller Básico). (UG)

NORMA IEEE	
ANÁLISIS DE C.C EN TABLERO B (TALLER)	
R	0.2915
X	0.6004
Z	0.6674
I (A)	4158.696
I(KA) Simétrica	4.1586
I(A) Asimétrica	4351.314
X/R	2.0594

Fuente: Elaboración propia.

El caso del Tablero B es semejante al caso del Tablero C, los valores de corriente de fallo de estos tableros tienden a ser muy similares, independientemente de la fuente que este habilitado en el momento del fallo.

Tabla 13 Corriente de falla en Tablero CNC. (UG)

NORMA IEEE	
ANÁLISIS DE C.C EN TABLERO CNC	
R	0.3110
X	0.6488
Z	0.7194
I (A)	3857.857
I(KA) Simétrica	3.8578
I(A) Asimétrica	4043.477
X/R	2.0861

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14 Corrientes de fallo de Tablero Principal (Electromecánica). (UG)

NORMA IEEE	
ANÁLISIS DE C.C EN TABLERO PRINCIPAL TP (E.E)	
R	0.1936
X	0.5930
Z	0.6238
I (A)	4449.249
I(KA) Simétrica	4.4492
I(A) Asimétrica	4988.995
X/R	3.0626

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del Tablero CNC y del Tablero Principal de Electromecánica, se cumple lo mismo para los casos anteriores donde se aísla la contribución de la red eléctrica y se habilitan los generadores, lo que se concluye que no importa la fuente de generación en el momento de falla, siempre va a haber aporte de corriente de corto circuito, lo que varía es la magnitud de ella en función de la potencia de generación.

Entonces según el análisis realizado, la fuente que mayor aporte de corriente de corto circuito tiene al momento del fallo es la contribución que pueda generar la red de distribución en el punto de entrega, por lo tanto todos los elementos de esta red unifilar deben ser capaces de soportar la corriente de corto circuito más crítica, que es la aportada por la red de distribución de JASEC.

Los factores que mitigan el efecto de la corriente de falla, son las impedancias de los elementos, al aumentar o al haber más elementos en el sistema se disminuye la corriente de fallo, en el caso del unifilar en estudio las cargas corresponden a valores de potencia considerados pequeñas cargas o cargas menores de 50HP; entonces son cargas que su aporte no es tan significativo, pero que en cantidad y a baja tensión se deben considerar.

4.2 Modelado en el software *SKM Power Tools*.

En esta sección se presentará la comparación de resultados obtenidos por método manual de las normas consultadas con los resultados obtenidos por el software *SKM de Power Tools*.

El objetivo de realizar esta comparación de resultados es la de comprobar que la metodología propuesta, basada en las Normas IEEE 551-2006 y IEEE 141-1993, es un cálculo confiable y preciso para la toma de decisiones a la hora de realizar el dimensionamiento de las protecciones en función de la corriente de fallo.

Se presentarán los valores de corriente simétrica y asimétrica en los distintos puntos analizados bajo las dos condiciones de operación, con red externa y con los generadores, con los resultados del método manual y con los resultados obtenidos en el software *SKM*.

En la simulación en el software se deben especificar muchos detalles de los elementos que se introducen en el diagrama unifilar, en el caso de los alimentadores se debe especificar lo siguiente, como se presenta en la Figura 18.

The screenshot displays the configuration window for a conductor in the SKM Power Tools software. The window is titled 'Name: C5-A T02' and includes several fields and options for defining the conductor's properties and connections.

- Name:** C5-A T02
- In Service:**
- Library...:** Link to Lib
- Data State:** Incomplete
- Manufacturer:** IEEE 141 - Red Book
- Description:** NEC Table 310-16
- Conductor Type:** Copper
- Duct Material:** Magnetic
- Insul Type:** PVC
- Insul Class:** THHN
- Volts (L-L):** 600
- Conductor Descr:** 3/C
- Installation:** Conduit
- Cable Size:** 4/0 AWG/kcmil
- Circular Mils:** 211600
- Conductors in Parallel/Phase:** 1
- Length:** 120.0 Meters
- Do Not Size:**
- Bus Connection:**
 - Conn...:** Conn...
 - From:** BUS-0173
 - To:** BUS-0016
- Phase:**
 - A
 - B
 - C
- Matrix:**
 - Update Matrix from Sequence
 -

**Figura 18 Datos de conductores Software SKM.
Fuente: Software SKM**

Para el caso de los transformadores se debe especificar tipo de transformador, potencia nominal, tipo de conexión y relación de voltaje. En la Figura 19 se muestra las especificaciones del software de SKM.

Figura 19 Datos de Transformadores Software SKM.
Fuente: Software SKM.

En la Figura 20 se muestra las especificaciones del software para la red externa, aquí hay que introducir los valores de aporte trifásico y monofásico en el punto de entrega.

Figura 20 Datos de Red Externa Software SKM
Fuente: Software SKM.

El software, mediante la simulación, emite datos de corriente simétrica a $\frac{1}{2}$ ciclo tanto para fallas trifásicas como monofásicas, presenta un informe donde especifica el valor de corriente asimétrica a $\frac{1}{2}$ ciclo para falla trifásica y su respectivo valor de X/R, además presenta el valor de corriente de cortocircuito que se presenta en los distintos conductores del diagrama unifilar en estudio.

El método de cálculo utilizado por el software es el método Comprehensive, este método a diferencia de la metodología propuesta por las normas consultadas, manipula los números en forma compleja, lo que varía al calcular la impedancia equivalente por ende el cálculo de la corriente simétrica, el software utiliza la misma forma para calcular la corriente asimétrica, utilizando el factor de asimetría que a su vez es dependiente del valor de X/R. (SKM, 2012)

Los resultados que se presentan son los valores obtenidos en los distintos puntos del unifilar bajo las condiciones de operación habituales, estos mismos valores fueron simulados en el software bajo características similares para ser comparados. Se presentaran los valores de corriente simétrica, el valor de X/R y el valor de corriente asimétrica, esta última es dependiente del factor X/R. También se presentarán los respectivos porcentajes de error y desviación estándar para ver el grado de variación de los datos con respecto al promedio.

Tabla 15 Comparación de Corrientes Asimétricas (RE).

CONTRIBUCIÓN DE RED EXTERNA					
ELEMENTO DE ESTUDIO	NORMA IEEE	SOFTWARE SKM	% ERROR	X-PROM	(X-PROM) ^2
	I (A) Asimétrica 1/2 ciclo				
BARRA PRINCIPAL	17888.8087	17388.1385	2.7987	-4.9951	0.2495
TABLERO TA	4898.0939	5420.8883	10.6734	2.8795	0.0829
TABLERO TC	4641.9411	5087.2264	9.5926	1.7987	0.0323
TABLERO TB	4642.2377	5071.9071	9.2556	1.4617	0.0213
TABLERO CNC	4273.4581	4588.8970	7.3813	-0.4125	0.0017
TABLERO TP	5612.3190	6008.6414	7.0616	-0.7322	0.0053
		PROMEDIO	7.7939	DesvEst	0.2804

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16 Comparación de Corrientes Asimétricas (UG).

CONTRIBUCIÓN DE LOS GENERADORES					
ELEMENTO DE ESTUDIO	NORMA IEEE	SOFTWARE SKM	% ERROR	X-PROM	(X-PROM) ^2
	I (A) Asimétrica 1/2 ciclo				
BARRA PRINCIPAL	9400.9611	10726.1527	14.0963	1.3122	0.0172
TABLERO TA	4579.6137	5263.4371	14.9319	2.1477	0.0461
TABLERO TC	4351.0801	4957.6283	13.9401	1.1560	0.0133
TABLERO TB	4351.3144	4942.5702	13.5879	0.8038	0.0064
TABLERO CNC	4043.4768	4515.15	11.6650	-1.1190	0.0125
TABLERO TP	4988.9948	5412.2238	8.4832	-4.3008	0.1849
		PROMEDIO	12.7841	DesvEst	0.2369

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 15 y la Tabla 16 se muestran los resultados de las corrientes asimétricas de los dos posibles escenarios, respecto a las condiciones típicas de operación, las cuales son: Unidades Generadoras habilitadas y la Red Externa habilitada.

La Tabla 15 presenta los porcentajes de error de las corrientes asimétricas cuando se habilita la red externa, se puede observar que el promedio de porcentaje de error ronda el 7.8% con una desviación estándar del 28%, esto significa que los porcentajes de error varían en un 28% respecto a la media aritmética.

En la Tabla 16 se muestran los porcentajes de error cuando se encuentran habilitadas las unidades generadoras y deshabilitada la red eléctrica, estos rondan en promedio el 12% de error, un valor un tanto mayor respecto al caso anterior con la red de distribución habilitada. Estos valores poseen un 23% de variación respecto al valor promedio aproximadamente.

Cabe destacar que las metodologías de cálculo son un tanto diferentes en la forma en la que se maneja la manipulación impedancias, las corrientes asimétricas a medio ciclo brindadas por el software son mayores a las calculadas por el método manual de las normas.

El cálculo que realiza el software lo hace por medio de aritmética de números complejos, por tanto los valores de impedancias equivalentes van a ser mayores que los calculados por el método de las normas consultadas, donde se manipulan los valores de resistencias y reactancias por aparte, hasta hacer la reducción en el punto donde se hace el análisis.

Esta diferencia se debe principalmente a la manipulación de los cálculos inversos multiplicativos de los números complejos, ya que al tratar las variables por aparte, se debe solamente elevar cada número a un exponente igual a -1. Sin embargo, en el caso de los números complejos, el inverso multiplicativo se calcula con la siguiente ecuación. (Nuñez, 2016)

$$\frac{1}{A + jB} = \frac{A}{A^2 + B^2} + \frac{-B}{A^2 + B^2} \quad (7)$$

Tabla 17 Comparación de valores X/R (RE)

CONTRIBUCIÓN DE RED EXTERNA					
ELEMENTO DE ESTUDIO	NORMA IEEE	SOFTWARE SKM	% ERROR	X-PROM	(X-PROM) ^2
	X/R				
BARRA PRINCIPAL	3.3634	3.063	8.9316	-24.7614	6.1312
TABLERO TA	2.0272	1.168	42.3854	8.6924	0.7555
TABLERO TC	1.8702	1.1162	40.3180	6.6250	0.4389
TABLERO TB	1.8713	1.102	41.1119	7.4189	0.5504
TABLERO CNC	1.9222	1.102	42.6719	8.9788	0.8062
TABLERO TP	2.5880	1.896	26.7390	-6.9539	0.4835
		PROMEDIO	33.693	DesvEst	1.3539

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 17 se presentan los porcentajes de error para los valores de X/R cuando está habilitada la red externa, el promedio de porcentaje de error ronda el 33% con una desviación estándar de 135%, la justificación de estos valores se explicará con detalle más adelante.

Tabla 18 Comparación de valores de X/R (UG)

CONTRIBUCIÓN DE LOS GENERADORES					
ELEMENTO DE ESTUDIO	NORMA IEEE	SOFTWARE SKM	% ERROR	X-PROM	(X-PROM) ^2
	X/R				
BARRA PRINCIPAL	7.8644	10.819	37.5677	2.9501	0.0870
TABLERO TA	2.2372	1.406	37.1544	2.5368	0.0643
TABLERO TC	2.0582	1.324	35.6727	1.0551	0.0111
TABLERO TB	2.0594	1.311	36.3423	1.7247	0.0297
TABLERO CNC	2.0861	1.284	38.4498	3.8322	0.1468
TABLERO TP	3.0626	2.373	22.5183	-12.0992	1.4639
		PROMEDIO	34.6175	DesvEst	0.6005

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 18 se presentan de igual manera los porcentajes de error de los valores de X/R, pero cuando se encuentran habilitadas las unidades generadoras, en esta se presenta el porcentaje de error promedio aproximado a un 35% con una desviación estándar del 60% de los valores respecto al valor promedio.

Al hacer un análisis de los resultados obtenidos respecto a los porcentajes de error, se denota que los valores tienden a ser significativos, estos valores se les puede considerar altos pero se justifican debido a la metodología de cálculo utilizada por el software que se explicó anteriormente, donde el software manipula las impedancias de forma compleja al contrario de la metodología de las normas que se hizo con diagramas unifilares por aparte.

A pesar de que los porcentajes de error de X/R son considerablemente altos, los valores de corriente asimétrica arrojan valores más conservadores, se menciona esto porque como se muestra en la ecuación 26, el valor de corriente asimétrica depende directamente del valor X/R. Este valor es indispensable para el cálculo del factor de asimetría el cual es multiplicado por el valor de corriente simétrica, para obtener el valor de la corriente asimétrica.

A pesar de la variación que se obtuvo con los valores anteriormente mencionados, estos no son tan significativos a la hora de seleccionar las protecciones ni los alimentadores.

Ambos métodos utilizados son de gran importancia, el método manual basado en las normas, es un método sencillo y preciso para encontrar los valores de corriente de corto circuito en una red eléctrica, además de que está respaldada por la IEEE con observaciones y recomendaciones para la metodología de cálculo.

La simulación en el software es una opción un poco más viable, en el sentido de que se pueden obtener las corrientes de corto circuito de manera rápida y precisa, esto porque con ingresar los datos correctos de los elementos en estudio, se brinda los valores de corrientes de fallo en las zonas que así lo requieran.

Para la verificación de capacidades interruptoras y la verificación de los conductores, se van a usar los valores obtenidos por el software, ya que estos son ligeramente más altos respecto a los valores obtenidos por el método manual, esto manteniendo la selección en la condición más crítica.

Normalmente por practicidad y mayor velocidad para obtener los datos se utiliza un software para el cálculo, además de que el uso de software es muy versátil pues brinda otras opciones de análisis para realizar un estudio más completo.

El uso del software en este proyecto se basó principalmente para comparar o validar los datos obtenidos en la metodología manual, de igual forma aunque se realizó un cálculo manual de corrientes de cortocircuito el método más usado es el que se hace por medio de un programa, pues la veracidad de los resultados es importante pero el obtener los datos lo más rápido posible es lo que hace diferencia en un proyecto.

El solo obtener los resultados en el software no tiene validez alguna si no se realiza un análisis con criterio ingenieril, pues se debe tomar en cuenta varios factores para realizar las debidas recomendaciones, porque cualquier cambio o modificación implica un costo, y este costo en términos de eficiencia puede generar múltiples ganancias o de lo contrario pérdidas considerables.

CAPÍTULO 5: Verificación de alimentadores y protecciones

En este capítulo se pretende realizar un análisis de todos los alimentadores que forman parte del sistema, así como las respectivas protecciones, tanto disyuntores termo-magnéticos como fusibles. Este análisis consiste en realizar una comparación de la capacidad interruptora de cortocircuito de los elementos mencionados con los valores de corriente de fallo asimétrica a $\frac{1}{2}$ ciclo modelados por medio del software SKM de Power Tools, esto porque los valores brindados por el software tienden a ser un tanto mayor que los valorados por la metodología manual; esto se explicó con detalle en el CAPÍTULO 4: Resultados.

El proceso consistió en realizar un levantamiento de las características de todos los elementos en estudio, entre estas características están calibres de conductores, capacidad interruptora de los calibres (Figura 17), capacidad nominal en amperios de cada disyuntor, modelo del disyuntor, capacidad interruptora de cada disyuntor, marca de los disyuntores, capacidad nominal de fusibles, capacidad interruptora de los fusibles, marca-modelo de los fusibles y tensión de operación de los elementos.

Entre las marcas y modelos que se recolectaron están en su mayoría, fabricantes como EATON en su presentación Cutler Hammer y Westinghouse; otra de las marcas es Squart D en su versión I-LINE. Respecto a los cables conductores se observó marcas como General Phelps Dodge (Conducen), General Cable y Viakon.

Para los datos de capacidad interruptora se basó en una gráfica general para todos los conductores, se realizó una comparación y para todos los calibres indistintamente su fabricante, sus valores eran muy semejantes por lo que se universaliza su valor variando su calibre y tipo de aislamiento.

5.1 Verificación de conductores.

Tabla 19 Verificación de soporte de los conductores del sistema

VOLTAJE	ALIMENTADOR	CALIBRE	CAPACIDAD DE SOPORTE (KA)	CORRIENTE ASIMÉTRICA 1/2 CICLO (A)	CONDICIÓN
480	CO-D TP	# 500	300	14504	✓
480	C1-A T01	# 4	25	2026	✓
208	C2-D T01	# 4	25	936	✓
208	C3 AC ESTE C9	# 4	25	914	✓
208	C4 AC OESTE C9	# 4	25	914	✓
480	C5-A T02	# 4/0	100	6245	✓
208	C6 -D T02	# 3/0	90	2251	✓
208	C7-M LPICI	# 3/0	90	2157	✓
480	C8-A T03	# 4	25	2026	✓
208	C9-D T03	# 4/0	100	2345	✓
208	C10-TEXT	# 4	25	2230	✓
208	C11-TCF	# 4	25	2197	✓
208	C12-M Ext Iz	# 6	15	1737	✓
208	C13-M Ext Ce	# 6	15	1821	✓
208	C14- M Ext De	# 6	15	1737	✓
208	C15-M C.F1	# 6	15	1637	✓
208	C16-M C.F2	# 6	15	1569	✓
480	C17-A T04	# 250	105	6598	✓
208	C18-D T04	# 2	40	3161	✓
208	C19-TFasc	# 2/0	70	3047	✓
400	C20-ASC C4	# 4	25	2206	✓
400	C21-M asc C4	# 10	6	517	✓
480	C22-A T05	# 6	15	1321	✓
208	C23-D T05	#4	25	763	✓
208	C24-M TH	# 2	40	744	✓
208	C25A-M Bomb1	# 8	9	756	✓
208	C25B-M Bomb2	# 8	9	756	✓
480	C26-A T07	# 3/0	90	8300	✓
208	C27-D T07	# 500	100	4589	✓
208	C28-C3 TNO	# 4/0	100	3362	✓
208	C29-T AC	# 3/0	90	2561	✓
208	C30-AC 1	# 6	15	2080	✓
208	C31-AC 2	# 6	15	2080	✓
208	C32-AC 3	# 6	15	2080	✓
400	C33-ASC C3	# 4	25	2024	✓

VOLTAJE	ALIMENTADOR	CALIBRE	CAPACIDAD DE SOPORTE (KA)	CORRIENTE ASIMÉTRICA 1/2 CICLO (A)	CONDICIÓN
400	C34-M asc C3	# 10	6	497	√
480	C35-A T09	# 350	200	9918	√
208	C36-D T09	# 2/0	70	2144	√
208	C37-TC A4	# 1/0	50	2050	√
208	C38-T ASC	# 6	15	1226	√
400	C39-ASC A4	# 4	40	1108	√
400	C40-M asc A4	# 10	6	263	√
480	C41-A T12	# 4	25	3658	√
208	C42-D T12	# 3/0	90	2644	√
208	C43-T ASC	# 4	25	2248	√
400	C44- ASC A3	# 4	25	1625	√
400	C45-M asc A3	# 10	6	446	√
480	C46-A T24	# 1/0	50	6833	√
208	C47-D T24	# 1/0	50	3481	√
208	C48-TN3 D1	# 4	25	2233	√
400	C49- ASC D1	# 4	25	1513	√
400	C50-M asc D1	# 10	6	429	√
480	C51-A T27	# 500	300	9226	√
208	C52-D T27	# 500	300	5534	√
208	C53-UBA	# 2/0	70	4179	√
208	C54-VFD	# 6	15	4008	√
208	C55-M Bomb 1	# 10	6	2872	√
208	C56-M Bomb 2	# 10	6	2872	√
208	C57-M Bomb 3	# 10	6	2902	√
208	C58-TCOMA	# 2	40	3483	√
208	C59-M COMA	# 6	15	2879	√
208	C60-TCEE	# 4	25	2088	√
208	C61-M COMPT	# 8	9	984	√
480	C62-A T34	# 1/0	50	6306	√
208	C63-D T34	# 2/0	70	3920	√
208	C64-TBTEE	# 2/0	70	4821	√
208	C65-M RP	# 6	15	1715	√
208	C66- M FE	# 6	15	2224	√
208	C67-MTP1	# 6	15	1936	√
208	C68-MTP2	# 6	15	1936	√
208	C69-M C	# 6	15	1797	√
208	C70-M FT	# 6	15	2102	√

VOLTAJE	ALIMENTADOR	CALIBRE	CAPACIDAD DE SOPORTE (KA)	CORRIENTE ASIMÉTRICA 1/2 CICLO (A)	CONDICIÓN
208	C71-M TC1	# 6	15	1714	√
208	C72-M TC2	# 6	15	1940	√
208	C73-TCTEE	# 2/0	70	4687	√
208	C74-M TPH1	# 6	15	1713	√
208	C75-M TPH2	# 6	15	1713	√
208	C76-M FE	# 6	15	1942	√
208	C77-M CP	# 6	15	2623	√
208	C78-M G	# 6	15	2226	√
208	C79-M AL	# 6	15	1535	√
208	C81-TCNC	# 2/0	70	3708	√
208	C82-M FMAZ	# 2	40	3529	√
208	C83-M TLEA	# 2	40	3773	√
208	C84-TDTEE	# 2	40	4780	√
208	C85-M TC3	# 6	15	3028	√
480	C86-A T36	# 4/0	100	6899	√
208	C87-D T36	# 4/0	100	5749	√
208	C88-T ASC	# 4	25	2251	√
400	C89- ASC D3	# 4	25	1746	√
400	C90-M asc D3	# 10	6	463	√

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 19 se presentan los valores de capacidad interruptora de cada uno de los conductores analizados, comparados con su respectiva corriente asimétrica a ½ ciclo según su ubicación en el diagrama unifilar analizado. Se puede observar que ninguno de los conductores presenta problemas respecto a que en el momento que haya un evento de corrientes de corto circuito, el conductor está en capacidad de soportar la fatiga térmica sin ser afectado.

Los valores de capacidad de soporte de corriente de corto circuito fueron extraídos de la Figura 17, en esta figura se encuentran en el eje X los calibres de los conductores habituales en el mercado, y en el eje Y se encuentran sus respectivos valores de corriente de corto circuito en KA. El valor depende directamente del ciclo donde se esté realizando el estudio de corrientes de fallo, en este caso la Norma recomendó realizar el estudio a ½ ciclo lo cual equivale a 0.01167 segundos.

5.2 Verificación de protecciones.

En las tablas que se encuentran a continuación se muestran la verificación de cada una de las protecciones del diagrama unifilar en estudio. Estas protecciones se dividen según su posición en su respectivo tablero.

Las tablas que se encuentran adjuntas poseen información tanto del centro de carga como de su respectivo alimentador, está a su vez posee el valor de corriente de fallo asimétrica a $\frac{1}{2}$ ciclo para poder realizar la comparación con las capacidades de interrupción de cada uno de los disyuntores que ahí se encuentran.

Mediante visita de campo se logró extraer la información necesaria de cada uno de los disyuntores que forman parte del diagrama unifilar, esto con el fin de registrar la información necesaria para realizar la comparación de los valores obtenidos mediante la simulación en el software SKM de Power Tools.

El objetivo principal de esta comparación es poder determinar si los disyuntores que actualmente se encuentran instalados están diseñados para poder soportar las corrientes de corto circuito calculadas mediante la metodología de cálculo explicado en capítulos anteriores. Después de haber hecho dicha comparación, verificar si el dispositivo es apto para operar, si no lo fuera, brindar datos del dispositivo sustituto para que se cumpla el estado correcto de operación.

Después de hacer un análisis exhaustivo de las condiciones de operación y las respectivas capacidades de uno de los elementos en estudio, se encuentran inconsistencias en el Tablero de Distribución Principal, en este tablero se encuentran todos los disyuntores de las acometidas principales de los edificios involucrados. En este punto es donde se obtuvieron inconsistencias con protecciones que no cumplen las condiciones de operación correctas por lo que se procederá a hacer el análisis respectivo.

En la Tabla 20 se muestran la comparativa de los disyuntores que se encuentran actualmente en la barra principal de distribución y la corriente de falla que se presentaría en ese bus en específico en caso de ocurriera un evento de cortocircuito.

Esta tabla posee información sobre voltaje de operación, corriente asimétrica a $\frac{1}{2}$ ciclo y características de los disyuntores que se encuentran instalados. Como se explicó anteriormente se pretende comparar la capacidad de interrupción de cada uno de disyuntores con la corriente asimétrica a $\frac{1}{2}$ ciclo calculada por la metodología explicada en capítulos anteriores.

Actualmente en el Tablero de Distribución Principal se encuentran instalados en su mayoría disyuntores de tipo Fi100 y Fi225, estos disyuntores tienen la particularidad de ser clasificados como disyuntores de uso universal. Para que un tablero de distribución cumpla con la certificación UL, se deben instalar disyuntores que cumplan las mismas características, los tableros tiene especificaciones de qué tipo de disyuntores son los que cumplen para que se clasifique como UL, y los disyuntores Fi no cumplen con esa característica por lo que el tablero no es certificado.

Los disyuntores tipo Fi, ya sean Fi100 o Fi225, tienen una capacidad interruptora de 14 KA a un voltaje de operación de 480V, teniendo en cuenta este dato se nota que la mayoría de los disyuntores que se encuentran instalados en el Tablero Principal no son capaces de soportar una posible corriente de corto circuito, porque la corriente calculada en ese punto corresponde a un valor de 17400 A aproximadamente. En este momento estos disyuntores están instalados de manera funcional pero no correcta, por motivo de que se dimensionaron de forma incorrecta.

Para el dimensionamiento de un disyuntor se debe tomar en cuenta la capacidad nominal de amperaje, voltaje de operación, capacidad de interrupción que está en función del voltaje de operación, número de polos y calibre de conductores a instalar por polo.

Un punto importante es que a la hora de dimensionar el disyuntor respecto a la capacidad interruptora hay que tomar en cuenta el precio de adquisición del mismo, esto porque a mayor sea la capacidad interruptora del disyuntor, mayor será su precio.

Los disyuntores recomendados como sustitución de los disyuntores Fi, cumplen satisfactoriamente con las características de operación, estos fueron seleccionados del tipo Frame F, esto porque estos cumplen con las características de operación. Los disyuntores seleccionados son del fabricante EATON, se hace énfasis en el tipo Frame F por encima de otros por el precio de adquisición que estos poseen y por la capacidad de amperaje.

El fabricante EATON divide los disyuntores por Frame o armadura, al ser traducido; básicamente estos son diferenciados por tamaño o robustez del mismo, por ende la capacidad de interrupción, esto porque los elementos que conforman el dispositivo son capaces de resistir la fatiga térmica al haber un problema eléctrico, otra característica que se puede tomar en cuenta es que a mayor tamaño del dispositivo mayor será la capacidad de instalar conductores por fase, que es un punto importante a tomar en cuenta.

Los disyuntores de tipo FD cumplen satisfactoriamente con las características de operación, también los de JD o KD, sin embargo lo que diferencia uno de otro es el precio de adquisición, ya que si se adquiere un disyuntor tipo KD tiene un costo de casi el triple respecto al disyuntor tipo FD. (EATON, 2016)

El software SKM de Power Tools entre sus funciones, brinda un reporte sobre el estado de los disyuntores en el circuito, en función de la carga demandada. En este reporte se encontró que varios disyuntores estaban en estado de falla, este reporte se encuentra en el Anexo 2 Reporte de condición de fallo SKM; por lo que se procedió a verificar por qué no cumplían las condiciones normales de operación.

Los disyuntores que se encontraban en estado de fallo, no cumplían con la demanda de carga requerida, por lo que se procedió a realizar el dimensionamiento en función de la carga instalada, lo que se hizo fue aumentar su capacidad nominal de amperaje con el fin de verificar cual era la que satisfacía la demanda.

Los disyuntores que presentaban problemas fueron: PD-0135, PD-0129, PD-0104, PD-0102 y PD-083. Por lo que se procedió a modificar su capacidad de amperaje, esto con el fin de que el dimensionamiento del disyuntor cumpla con la demanda de carga, esto tomando en cuenta la corriente tanto de arranque como la corriente nominal de operación. Cabe destacar que en el software sólo se encuentran las cargas inductivas que aportan ante algún evento de corto circuito, y no se encuentran otras posibles cargas de uso general, por lo que dimensionar un disyuntor sin tomar en cuenta todas cargas, no es recomendado.

Se procedió a seleccionar los disyuntores sustitutos de los disyuntores en estado de falla, esto tomando en cuenta la corriente de falla del punto, se trató de no variar el modelo de disyuntor actual, sólo se aumentó la capacidad nominal de amperaje para que el motor esté en estado correcto de operación.

Estos disyuntores se encuentran en falla por motivo que no están dimensionados acorde a la carga demandada, importante tomar en cuenta que los motores son de uso académico y que el factor de demanda será menor; sin embargo el estado más crítico es cuando el motor funciona su carga máxima y se debe tomar en cuenta para la selección de las protecciones.

En el caso del disyuntor PD-0102, su modelo actual corresponde a un FD3225 con 65KA a un voltaje de 240V, este presentó estado de falla, por lo que se procedió a aumentar su capacidad nominal; sin embargo para este modelo FD su amperaje máximo corresponde al que está instalado actualmente, por lo que se tuvo que cambiar de Frame, el modelo que se escogió fue un KD3300 con 65KA a 240V.

Tabla 20 Verificación de protecciones en Tablero Principal de Distribución.

TABLERO	DISTRIBUCIÓN BARRA PRINCIPAL								
Voltaje	480 Vac								
Corriente Asimétrica	17388 A								
Alimentador	(12x#500KcmilAWG)F+(4x#500kcmilAWG)N 300KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-134	1250	3WX2350	100	SIEMENS	√	NA	NA	NA	NA
PD-001	40	Fi 100	14	EATON-CH	X	FD3040	35	EATON-CH	
PD-006	60	Fi 100	14	EATON-CH	X	FD3060	35	EATON-CH	
PD-0010	175	VDE 0660	25	SIEMENS	√	FD3175	35	EATON-CH	
PD-0025	350	KD350	35	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0031	40	Fi 100	14	EATON-CH	X	FD3040	35	EATON-CH	
PD-0036	125	Fi 225	14	EATON-CH	X	FD3125	35	EATON-CH	
PD-0046	175	VDE 0660	25	SIEMENS	X	FD3175	35	EATON-CH	
PD-0052	50	FAL34050	18	SQUART D	X	FD3050	35	EATON-CH	
PD-0057	125	Fi 225	14	EATON-CH	X	FD3125	35	EATON-CH	
PD-0062	350	KD3350	35	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0083	100	EHD3100K	14	EATON-CH	X	FD3225	35	EATON-CH	
PD-0118	200	KD3200	35	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21 Verificación de protecciones en LAIMI I

TABLERO	LAIMI I								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	968 A								
Alimentador	(3x#4THHN AWG)F+(1x#4THHN AWG)N 25KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
FIUS (PD-0002)	70	LKN-70	10	BUSSMANN	√	NA	NA	NA	NA
PD-0003	175	Fi 225	14	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0004	70	GHB3070	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0005	70	GHB3070	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22 Verificación de protecciones de LICI.

TABLERO	LAVAPLATOS INDUSTRIAL COMEDOR INSTITUCIONAL								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	2262 A								
Alimentador	(3x#3/0THHN AWG)F+(1x#2THHN AWG)N 40KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
FIUS (PD-0007)	200	LKN-200	10	BUSSMANN	√	NA	NA	NA	NA
PD-0009	150	CC3150	10	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23 Verificación de protecciones del Comedor Institucional.

TABLERO	COMEDOR INSTITUCIONAL TABLERO TPN								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	2383 A								
Alimentador	(3x#4/0THHN AWG)F+(1x#4/0THHN AWG)N 100KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
FIUS (PD-0011)	400	LKN-400	10	BUSSMANN	√	NA	NA	NA	NA
PD-0012	400	KD3400	35	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0013	90	GHB3090	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0014	100	GHB3100	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24 Verificación de protecciones en Tablero TB (comedor)

TABLERO	COMEDOR INSTITUCIONAL TABLERO TB								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	2253 A								
Alimentador	(3x#4THHN AWG)F+(1x#4THHN AWG)N 25KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0015	20	GHB3020	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0016	20	GHB3020	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0020	20	GHB3020	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25 Verificación de protecciones del Tablero TE (comedor)

TABLERO	COMEDOR INSTITUCIONAL TABLERO TE								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	2262 A								
Alimentador	(3x#4THHN AWG)F+(1x#4THHN AWG)N 25KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0018	20	GHB3020	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0019	20	GHB3020	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
FIUS (PD-0023)	60	LKN-60	10	BUSSMANN	√	NA	NA	NA	NA
FIUS (PD-0024)	60	LKN-60	10	BUSSMANN	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26 Verificación de protecciones de Lab. Física-Química.

TABLERO	LABORATORIO FISICA-QUIMICA TABLERO DE DISTRIBUCION								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	3202 A								
Alimentador	(3x#2THHN AWG)F+(1x#2THHN AWG)N 40KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
FIUS (PD-0026)	100	LKN-100	10	BUSSMANN	√	NA	NA	NA	NA
PD-0028	225	KAL36225	35	SQUART D	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27 Verificación de protecciones del Tablero TF (Lab. Física-Química)

TABLERO	LABORATORIO FISICA-QUIMICA TABLERO TF								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	3088 A								
Alimentador	(3x#2/0THHN AWG)F+(1x#2/0THHN AWG)N 70KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0029	70	FAL34070	25	SQUART D	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28 Verificación de protecciones Tablero Ascensor (Lab. Física-Química)

TABLERO	LABORATORIO FÍSICA-QUÍMICA TABLERO ASCENSOR								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	558 A								
Alimentador	(3x#4THHN AWG)F+(1x#4THHN AWG)N 25KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0030	20	CH320	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29 Verificación de protecciones del Tablero del TH

TABLERO	TANQUE HIDRONEUMÁTICO TABLERO DISTRIBUCIÓN								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	843 A								
Alimentador	(3x#4THHN AWG)F+(1x#4THHN AWG)N 25KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0033	100	GHB3100	65	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA
PD-0034	50	CH350	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA
PD-0035	50	CH350	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30 Verificación de protecciones del Tablero C3-TP (Biblioteca)

TABLERO	BIBLIOTECA TABLERO C3-TP								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	4769 A								
Alimentador	(3x#500THHN AWG)F+(1x#250THHN AWG)N 105KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
FIUS (PD-0037)	70	LKN-70	10	BUSSMANN	√	NA	NA	NA	NA
PD-0038	400	Q432400	35	SQUART D	√	NA	NA	NA	NA
PD-0039	250	LA3250	35	SQUART D	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31 Verificación de protecciones de Tablero C3-TN0 (Biblioteca)

TABLERO	BIBLIOTECA TABLERO C3-TN0								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	3517 A								
Alimentador	(3x#4/0THHN AWG)F+(1x#4/0THHN AWG)N 100KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0040	150	CC3150	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA
PD-0044	70	FAL34070	25	SQUART D	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32 Verificación de protecciones del Tablero de A.A (Biblioteca)

TABLERO	BIBLIOTECA TABLERO AIRE ACONDICIONADO								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	2667 A								
Alimentador	(3x#3/0THHN AWG)F+(1x#3/0THHN AWG)N 90KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0041	60	CH360	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA
PD-0042	60	CH360	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA
PD-0043	60	CH360	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33 Verificación de protecciones para Tablero Ascensor (Biblioteca)

TABLERO	BIBLIOTECA TABLERO ASCENSOR								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	536 A								
Alimentador	(3x#4THHN AWG)F+(1x#4THHN AWG)N 90KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0045	20	CH320	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34 Verificación de protecciones para Tablero Distribución Edificio M-F-C.S

TABLERO	EDIFICIO MATEMÁTICA, FÍSICA Y C. SOCIALES TABLERO DE DISTRIBUCIÓN								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	2187 A								
Alimentador	(3x#2/0THHN AWG)F+(1x#1/0THHN AWG)N 70KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
FIUS (PD-0047)	200	LKN-200	10	BUSSMANN	√	NA	NA	NA	NA
FIUS (PD-0048)	200	LKN-200	10	BUSSMANN	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35 Verificación de protecciones Tablero TC de Edificio M-F-C.S

TABLERO	EDIFICIO MATEMÁTICA, FÍSICA Y C. SOCIALES TABLERO TC								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	2093 A								
Alimentador	(3x#1/0THHN AWG)F+(1x#1/0THHN AWG)N 50KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0049	60	CH360	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36 Verificación de protecciones para Tablero 2do Piso Ascensor.

TABLERO	EDIFICIO MATEMÁTICA, FÍSICA Y C. SOCIALES TABLERO 2do PISO ASCENSOR								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	1260 A								
Alimentador	(3x#6THHN AWG)F+(1x#6THHN AWG)N 15KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0050	70	CH370	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37 Verificación de protecciones del Tablero Ascensor

TABLERO	EDIFICIO MATEMÁTICA, FÍSICA Y C. SOCIALES TABLERO ASCENSOR								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	288 A								
Alimentador	(3x#10THHN AWG)F+(1x#10THHN AWG)N 6KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0051	20	CH320	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38 Verificación de protecciones del Tablero de Distribución VIESA

TABLERO	VIESA TABLERO DE DISTRIBUCIÓN								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	3769 A								
Alimentador	(3x#4THHN AWG)F+(1x#4THHN AWG)N 25KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0053	400	KD3400	35	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39 Verificación de protecciones del Tablero PRLA (VIESA)

TABLERO	VIESA TABLERO PRL2A								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	2685 A								
Alimentador	(3x#3/0THHN AWG)F+(1x#3/0THHN AWG)N 90KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0054	70	GHB3090	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40 Verificación de protecciones del Tablero Elevador (VIESA)

TABLERO	VIESA TABLERO ELEVADOR								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	2286 A								
Alimentador	(3x#4THHN AWG)F+(1x#4THHN AWG)N 25KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-055	70	CH370	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41 Verificación de protecciones del Tablero ASC (VIESA)

TABLERO	VIESA TABLERO ASC (BUS-0069)								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	480 A								
Alimentador	(3x#10THHN AWG)F+(1x#10THHN AWG)N 6KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0056	20	CH320	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42 Verificación de protecciones del Tablero de Distribución de ADMI

TABLERO	ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS TABLERO DE DISTRIBUCIÓN								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	3527 A								
Alimentador	(3x#1/0THHN AWG)F+(1x#1/0THHN AWG)N 50KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-058	350	DK3350	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-059	100	FD3100	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43 Verificación de protecciones del Tablero TN3 (ADMI)

TABLERO	ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS TABLERO DE TN3								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	2272 A								
Alimentador	(3x#4THHN AWG)F+(1x#4THHN AWG)N 25KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0060	70	GHB3070	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44 Verificación de protecciones del Tablero Ascensor.

TABLERO	ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS TABLERO ASCENSOR (BUS-0076)								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	463 A								
Alimentador	(3x#4THHN AWG)F+(1x#4THHN AWG)N 25KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0061	20	CH320	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA

Fuente Elaboración propia.

Tabla 45 Verificación de protecciones del Tablero Principal TP

TABLERO	ESCUELA DE ELECTROMECAÁNICA TABLERO PRINCIPAL TP								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	5801 A								
Alimentador	(3x#500THHN AWG)F+(1x#2THHN AWG)N 300KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
FIUS (PD-0064)	200	LKN-200	10	BUSSMANN	√	NA	NA	NA	NA
PD-0065	600	MA3600	42	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA
PD-0066	100	GHB3100	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0078	100	GHB3100	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0080	225	CC3225	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46 Verificación de protecciones del Tablero Unidad de Bombeo

TABLERO	ESCUELA DE ELECTROMECÁNICA TABLERO UNIDAD DE BOMBEO								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	4144 A								
Alimentador	(3x#6THHN AWG)F+(1x#6THHN AWG)N 15KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0071	50	CH350	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA
PD-0072	50	CH350	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA
PD-0073	20	CH320	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47 Verificación de protecciones del Tablero Compresor Académico.

TABLERO	ESCUELA DE ELECTROMECÁNICA TABLERO COMPRESOR ACADÉMICO								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	3540 A								
Alimentador	(3x#2THHN AWG)F+(1x#2THHN AWG)N 40KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0078	100	CH3100	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA
PD-0079	100	CH3100	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48 Verificación de protecciones del Tablero C (E.E)

TABLERO	ESCUELA DE ELECTROMECÁNICA TABLERO C								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	2119 A								
Alimentador	(3x#4THHN AWG)F+(1x#4THHN AWG)N 25KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0081	60	CH360	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA
FIUS (PD-0082)	35	LKN-35	10	BUSSMANN	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49 Verificación de protecciones del Tablero Distribuidor TA

TABLERO	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TA								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	5396 A								
Alimentador	(6x#2/0THHN AWG)F+(2x#2THHN AWG)N 70KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
FIUS (PD-0084)	400	LKN-400	10	BUSSMANN	√	NA	NA	NA	NA
FIUS (PD-0085)	60	LKN-60	10	BUSSMANN	√	NA	NA	NA	NA
PD-0086	100	GHB3100	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0095	100	GHB3100	65	EATON-CH	X	JD3150	65	EATON-CH	
PD-0102	225	FD3225	65	EATON-CH	X	KD3300	65	EATON-CH	
PD-0105	40	GHB3040	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50 Verificación de protecciones del Tablero TB (Taller Básico)

TABLERO	TALLER BÁSICO TABLERO TB								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	5055 A								
Alimentador	(3x#2/0THHN AWG)F+(1x#2/0THHN AWG)N 70KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0087	20	GHB3020	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0088	30	GHB3030	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0089	20	GHB3020	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0090	20	GHB3020	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0091	15	GHB3015	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0092	50	GHB3050	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0093	15	GHB3015	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0094	15	GHB3015	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51 Verificación de protecciones del Tablero C (Taller Básico)

TABLERO	TALLER BÁSICO TABLERO C TALLER								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	5069 A								
Alimentador	(3x#2/0THHN AWG)F+(1x#2/0THHN AWG)N 70KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0096	20	GHB3020	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0097	20	GHB3020	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0098	20	GHB3020	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0128	20	GHB3020	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0129	20	GHB3020	65	EATON-CH	X	GHB3020	65	EATON-CH	
PD-0130	20	GHB3020	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52 Verificación de protecciones del Tablero CNC (Taller Básico)

TABLERO	TALLER BÁSICO TABLERO CNC								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	4574 A								
Alimentador	(3x#2/0THHN AWG)F+(1x#2/0THHN AWG)N 70KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0135	125	FD3125	65	EATON-CH	X	FD3175	65	EATON-CH	
PD-0104	125	FD3125	65	EATON-CH	X	FD3175	65	EATON-CH	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53 Verificación de protecciones del Tablero D (Taller Básico)

TABLERO	TALLER BÁSICO TABLERO D								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	4796 A								
Alimentador	(3x#2THHN AWG)F+(1x#2THHN AWG)N 40KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0106	15	GHB3015	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54 Verificación de protecciones del Tablero TP (Aulas)

TABLERO	TABLERO DISTRIBUCIÓN AULAS TP								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	5803 A								
Alimentador	(6x#4/0THHN AWG)F+(2x#4/0THHN AWG)N 100KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
FIUS (PD-0119)	400	LKN-400	10	BUSSMANN	√	NA	NA	NA	NA
PD-0120	400	KD3400	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA
PD-0123	70	FD3070	65	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55 Verificación de protecciones del Tablero Elevador (Aulas)

TABLERO	TABLERO ELEVADOR AULAS								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	2288 A								
Alimentador	(3x#4THHN AWG)F+(1x#4THHN AWG)N 25KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0121	70	FI3070	25	EATON-CH	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56 Verificación de protecciones del Tablero Asc (Aulas)

TABLERO	TABLERO ELEVADOR AULAS								
Voltaje	208 Vac								
Corriente Asimétrica	499 A								
Alimentador	(3x#4THHN AWG)F+(1x#4THHN AWG)N 25KA								
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN			
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO
PD-0122	20	CH320	10	CUTLER HAMMER	√	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Coordinación de protecciones por *SKM Power Tools*.

En la sección 5.2 se realizó una verificación de protecciones comparando los disyuntores y los fusibles que actualmente se encuentran instalados en el sistema eléctrico con los valores de corrientes de falla asimétricas a $\frac{1}{2}$ ciclo calculados por el software SKM, el objetivo era verificar si los dispositivos eran capaces de soportar las corrientes de fallo, si no lo fueran, se sustituirían por un elemento que cumpliera las condiciones de operación satisfactoriamente.

También se realizó una sustitución de los disyuntores que aparecieron en condición de fallo en el reporte de SKM, este reporte es un análisis de carga del diagrama en estudio, se realizó la sustitución para que se cumpliera con el estado correcto de operación.

En esta sección lo que se pretende es verificar la coordinación de protecciones del diagrama unifilar; a pesar que se realizó una verificación y selección correcta de disyuntores basados en las corrientes de fallo, no se sabe con certeza si en el momento de un evento de corrientes de corto circuito los disyuntores van a despejar de manera correcta la falla, por lo que con ayuda del software SKM se va a realizar un análisis de las curvas TCC de los distintos disyuntores que se encuentran en el lugar, estas curvas son propias del disyuntor instalado por lo que la variar el amperaje del elemento se varia su curva de disparo.

En este sistema se encuentran varios tipos de disyuntores, como se mencionó anteriormente, dependiendo del modelo del elemento así son sus características. Los disyuntores de tipo FD poseen curvas TCC fijas, estas no pueden ser modificadas; a diferencia de los disyuntores del tipo KD, que este por su diseño tiene la posibilidad de variar la curva de disparo, este posee unos tornillos en la parte inferior donde puede modificar el tiempo de disparo por fase.

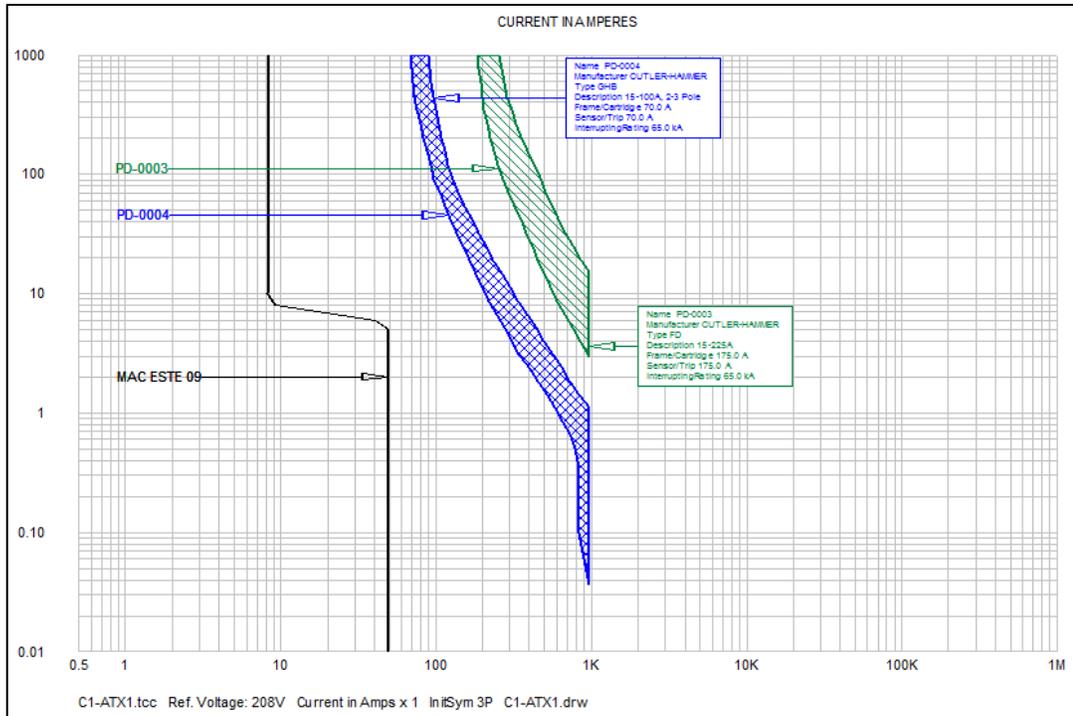
Para el análisis de las curvas TCC se deben tomar varias consideraciones, la metodología de coordinación de protecciones del SKM consiste en transponer las curvas de los disyuntores con la curva de TCC de la carga, que en este caso es un motor. El objetivo principal es ver cuál es el comportamiento de coordinación de los disyuntores ante un posible evento de corto circuito.

El software SKM brinda un pequeño reporte donde se especifica la corriente de falla en el bus donde se encuentra el disyuntor instalado, lo compara con la corriente de interrupción del disyuntor, con el fin de ver si el disyuntor es el adecuado. Básicamente la coordinación de protecciones en este software consiste en seguir un orden ascendente iniciando desde la curva de arranque del motor hasta la curva del último disyuntor termo-magnético.

La mayoría de las curvas que poseen los disyuntores en estudio, son curvas fijas, a excepción de los disyuntores del tipo KD que se puede variar su tiempo de disparo con el fin de tener un rango para coordinar el despeje de la falla con otros disyuntores. Por grafica se realizará un análisis de las curvas con el fin de exponer el comportamiento de las mismas ante una falla.

El diagrama unifilar en estudio tiene la particularidad de poseer transformadores secos, para la reducción de tensión de 480/208/120. Por lo que se debe realizar la coordinación de protecciones por tramos, esto porque los transformadores son unidades que no tienen conexión directa entre la sección primaria y la secundaria, si no que su relación es por inducción electromagnética.

A continuación se presentará el análisis de las curvas TCC de los distintos disyuntores, se proporcionarán las curvas de los disyuntores con la curva de arranque de motor, además se presentara un extracto del informe del SKM sobre las condiciones de operación de los disyuntores ante la corriente de fallo.



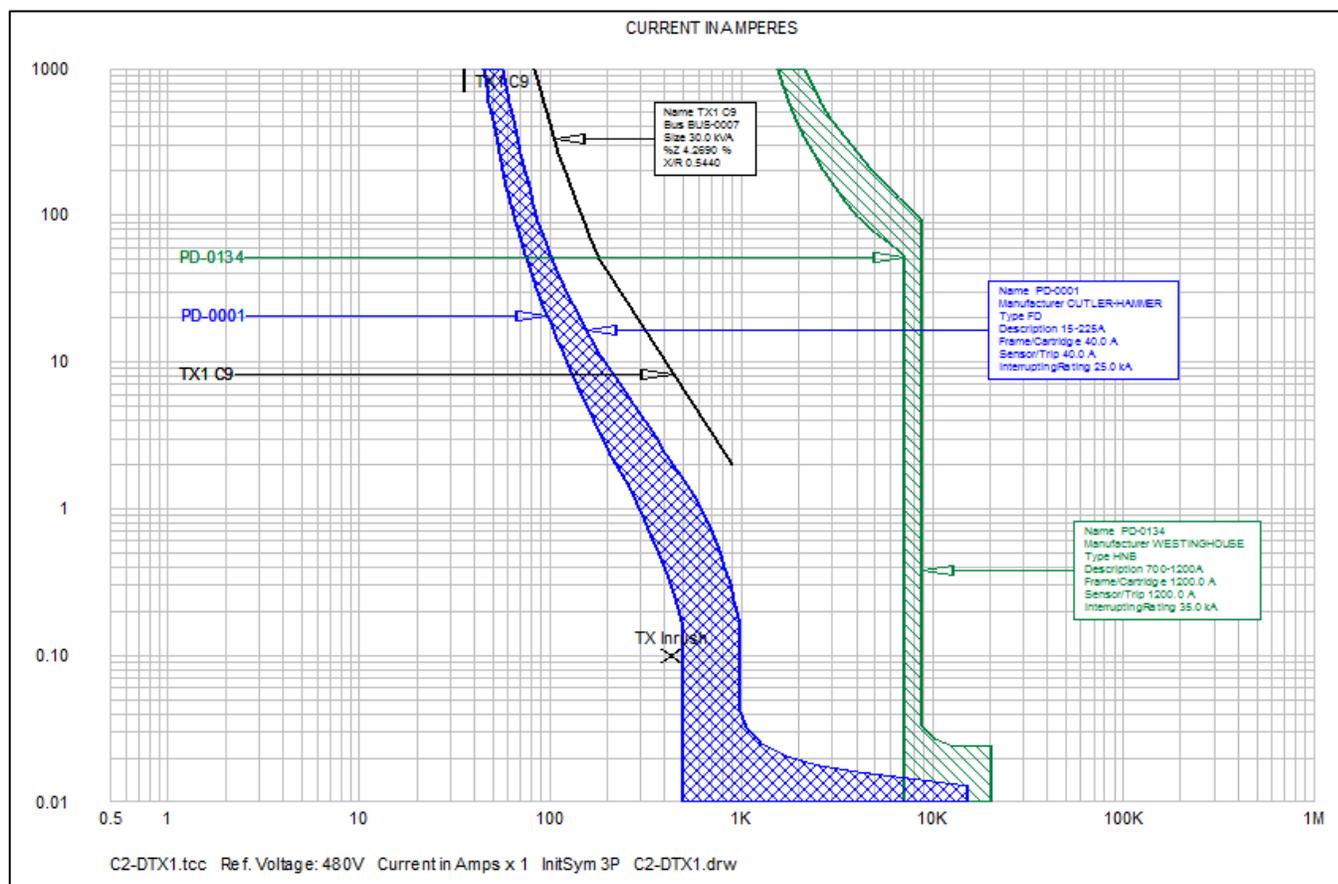
**Figura 21 C1-ATX1 Coordinación protecciones.
Fuente: Software SKM**

Device Name:	PD-0004	TCC Name:	C1-ATX1.tcc
Bus Name:	TN 1	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	967.9A
Frame:	GHB 240V 70A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	70A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0003	TCC Name:	C1-ATX1.tcc
Bus Name:	TN 1	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	967.9A
Frame:	FD 240V 175A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	175A		
Setting:	1) Fixed		

**Figura 22 Reporte de C1-ATX1.
Fuente: Software SKM**

En la Figura 21 y la Figura 22 se presentan las curvas transpuestas del motor MAC ESTE 09 con los disyuntores PD-004 y PD-003 y su respectivo reporte, esto aguas abajo del transformador seco TX1, los disyuntores presentan un comportamiento normal de coordinación ante un evento de falla. Para el caso del disyuntor PD-004 se reporta un evento de falla de 967.9 A a ½ ciclo, lo que entra en activación en la zona instantánea antes del primer segundo, de igual manera para PD-003 con una corriente de falla 967.9 A si el dispositivo anterior no es capaz de despejar la falla, este se activara entre los primeros 5 segundos de transcurrido el evento, esto en la zona termo-magnética de las curvas.



**Figura 23 C2-DTX1 Coordinación protecciones.
Fuente: Software SKM.**

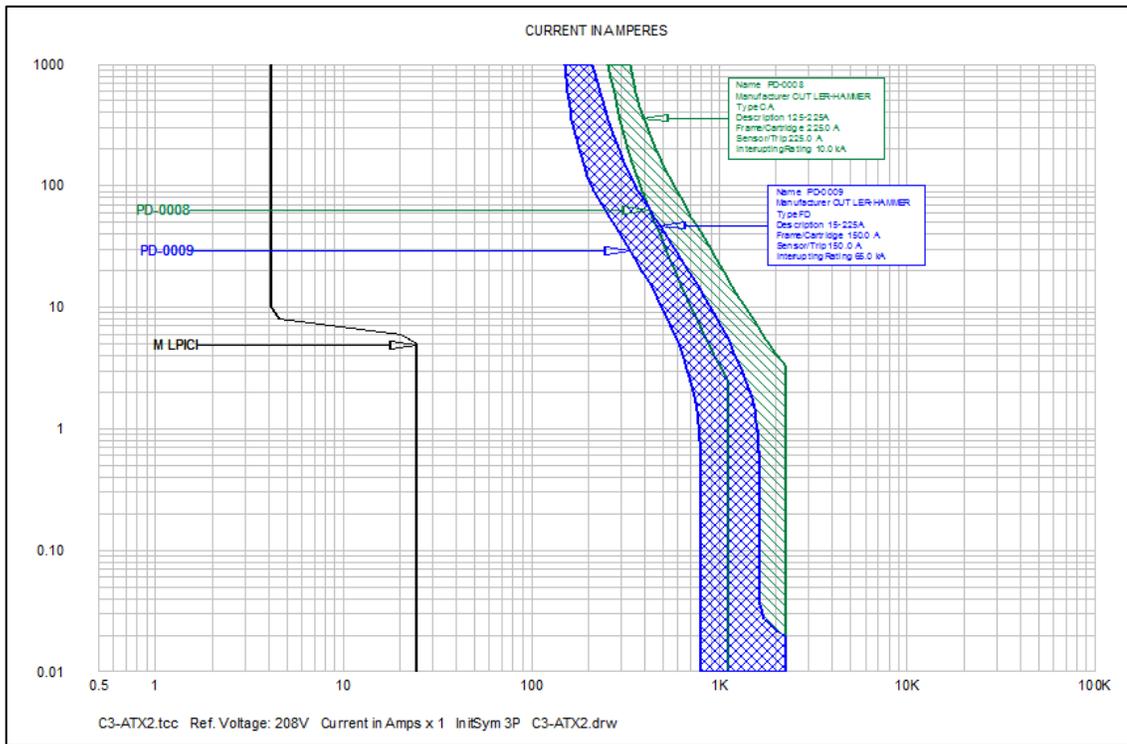
Device Name:	PD-0001	TCC Name:	C2-DTX1.tcc
Bus Name:	BUS-0173	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	25kA	Fault Duty:	15506.6A
Frame:	FD 480V 40A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	40A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0134	TCC Name:	C2-DTX1.tcc
Bus Name:	BUS-0177	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	WESTINGHOUSE		
Description:	700-1200A		
Type:	HNB		
AIC Rating:	35kA	Fault Duty:	20439.1A
Frame:	HNB 480V 1200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	1200A		
Setting:	1) LTD		
	2) INST	6.7	(8040A)

Figura 24 Reporte C2-DTX1
Fuente: Software SKM

En la Figura 23 se presentan transpuestas las curvas de daño del transformador TX1 con los disyuntores inmediatos agua arriaba del tramo primario; se muestra un comportamiento coordinado, para el disyuntor PD-001 se presenta en la Figura 24 una corriente de falla de 15507 A, pero en el tablero de distribución principal, este dispositivo está diseñado para soportar una corriente de 25KA por lo que esta dimensionado correctamente. Para el caso del disyuntor PD-0134 la corriente de fallo reportada es de 20439 A, como se muestra en la gráfica logarítmica esta corriente de fallo se despeja en la zona magnética del disyuntor. Este dispositivo es de curva variable, sin embargo se comprobó que para cualquier rango de tiempo el disyuntor es capaz de despejar la falla por lo que se setea a un tiempo de 6.7 ms.

Respecto a la curva de fallo del transformador se muestra que está por encima de la del disyuntor PD-001 lo cual garantiza su protección, y la corriente de arranque del mismo (Inrush) se localiza por debajo de la curva, garantizando que el disyuntor no abre el circuito a la hora del arranque.



**Figura 25 C3-ATX2 Coordinación protecciones.
Fuente: Software SKM.**

Device Name:	PD-0009	TCC Name:	C3-ATX2.tcc
Bus Name:	T. DISTRIBUCION	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	2261.9A
Frame:	FD 240V 150A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	150A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0008	TCC Name:	C3-ATX2.tcc
Bus Name:	T. DISTRIBUCION	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	125-225A		
Type:	CA		
AIC Rating:	10kA	Fault Duty:	2261.9A
Frame:	CA 240V 225A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	225A		
Setting:	1) Fixed		

**Figura 26 Reporte C3-ATX2.
Fuente: Software SKM.**

En la Figura 25 se presentan las dos curvas de disyuntores inmediatos aguas arriba del motor LPICI, a simple vista se muestra que las dos curvas están traslapadas desde la zona magnética hasta la térmica, esto implica que la coordinación es incorrecta porque el disyuntor PD-009 está sobredimensionado respecto a la carga, por lo que se procede a comprobar cuál es el disyuntor que cumple con las características de operación correcta.

Se seleccionó un disyuntor FD3100 de EATON con 65KA a un voltaje de 208 V, su comportamiento se muestra en la Figura 27, se observa que las dos curvas no se encuentran traslapadas y que la corriente de falla que se presentó en el reporte de la Figura 26, se despeja de manera segura, los dos disyuntores están diseñados para soportar una corriente de interrupción de 65KA por lo que se traslapan ligeramente en la zona instantánea, esto no está mal por lo que se concluye que la coordinación es correcta.

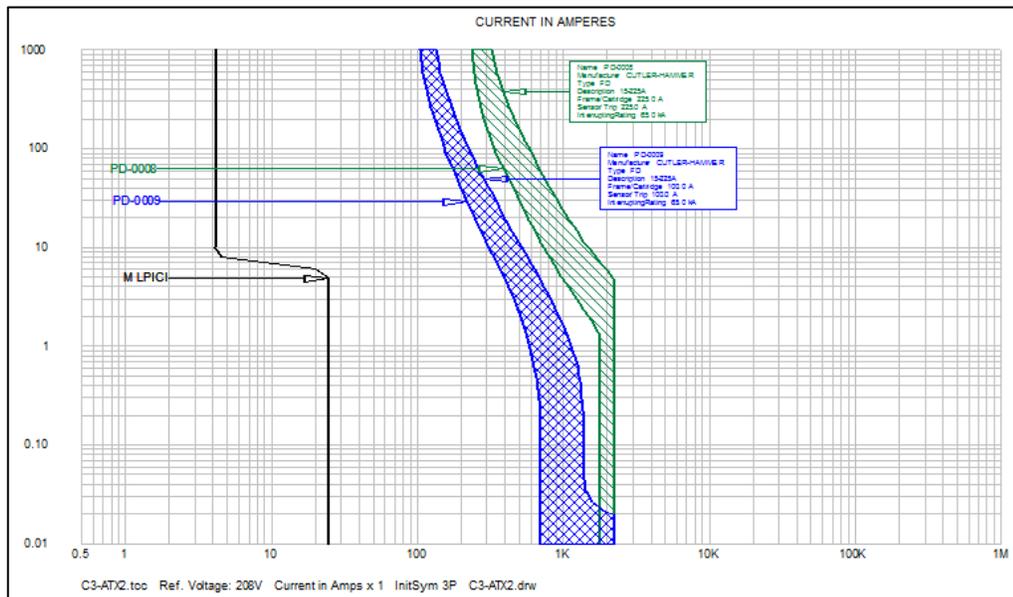


Figura 27 C3-ATX2 Coordinación protecciones (Corregida)
Fuente: Software SKM

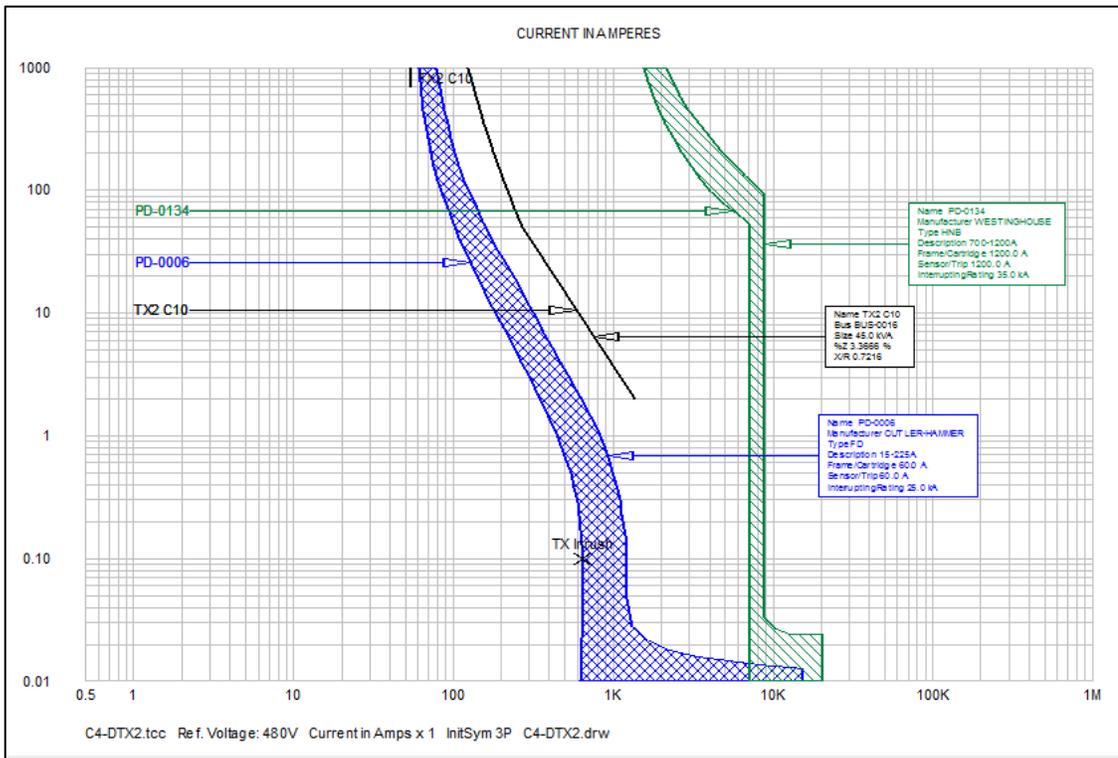


Figura 28 C4-DTX2 Coordinación protecciones.
Fuente: Software SKM.

Device Name:	PD-0006	TCC Name:	C4-DTX2.tcc
Bus Name:	BUS-0173	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	25kA	Fault Duty:	15506.6A
Frame:	FD 480V 60A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	60A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0134	TCC Name:	C4-DTX2.tcc
Bus Name:	BUS-0177	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	WESTINGHOUSE		
Description:	700-1200A		
Type:	HNB		
AIC Rating:	35kA	Fault Duty:	20439.1A
Frame:	HNB 480V 1200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	1200A		
Setting:	1) LTD		
	2) INST	6.7	(8040A)

Figura 29 Reporte C4-DTX2.
Fuente: Software SKM.

En la Figura 28 se presentan las curvas TCC de los dos disyuntores aguas arriba del transformador TX2, según su comportamiento en la gráfica logarítmica su coordinación es correcta, además el disyuntor principal PD-0134 setado a 6.7 ms cumple con el despeje correcto de la corriente de falla de 20507 A en la zona magnética de disparo instantáneo; luego la curva del transformador está por encima de la curva del disyuntor PD-006 por lo que se garantiza su protección, además la corriente de arranque (inrush) se encuentra en la zona límite de la curva por lo que es válido para evitar que se dispare en el arranque. El valor de corriente de ambos disyuntores se observan en el reporte de la Figura 29.

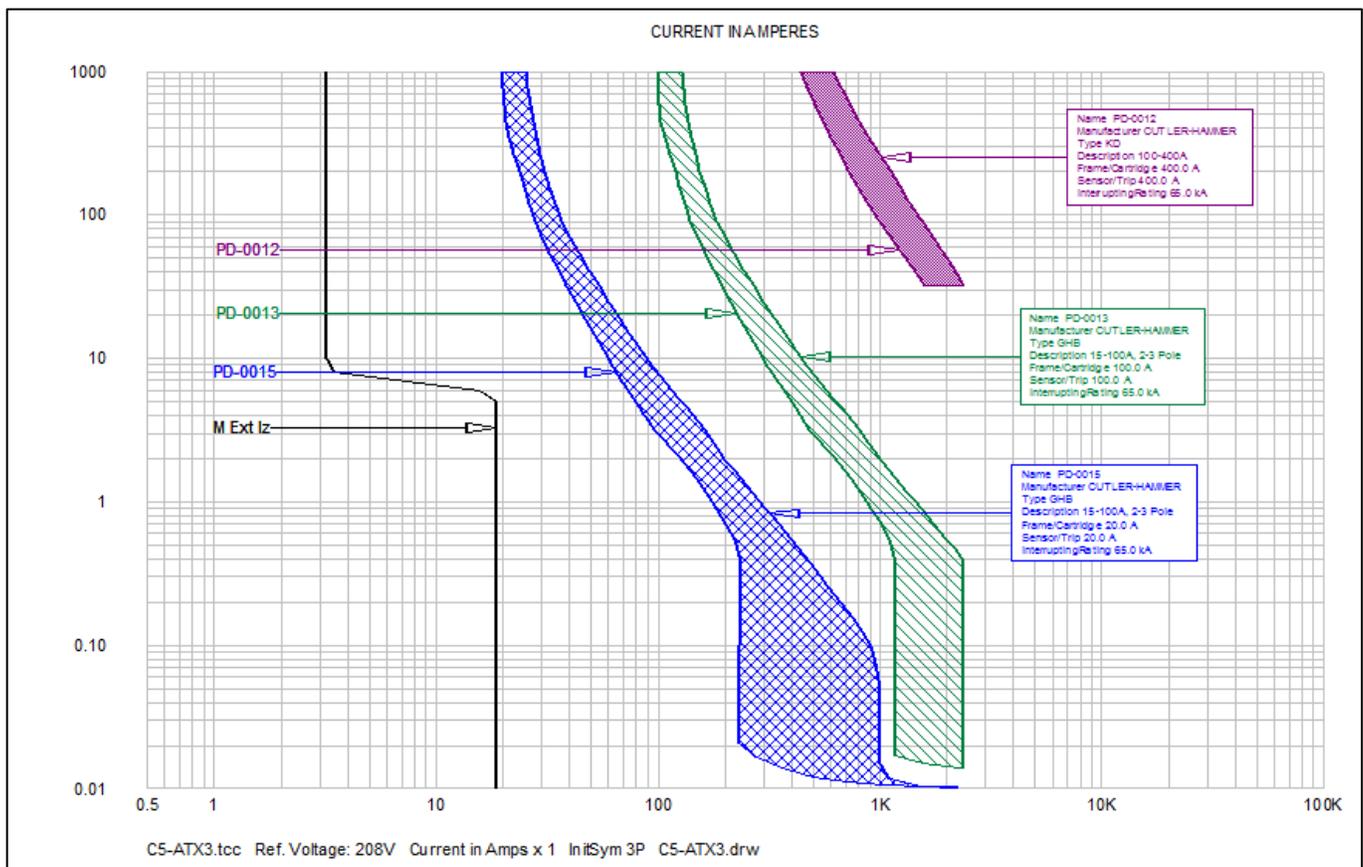


Figura 30 C5-ATX3 Coordinación protecciones
Fuente: Software SKM

Device Name:	PD-0015	TCC Name:	C5-ATX3.tcc
Bus Name:	TABLERO TB	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	2252.9A
Frame:	GHB 240V 20A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	20A		
Setting:	1) Fixed		
Device Name:	PD-0013	TCC Name:	C5-ATX3.tcc
Bus Name:	TABLERO TPN	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	2383.0A
Frame:	GHB 240V 100A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	100A		
Setting:	1) Fixed		
Device Name:	PD-0012	TCC Name:	C5-ATX3.tcc
Bus Name:	TABLERO TPN	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	2383.0A
Frame:	KD 240V 400A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	400A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed		
	2) INST (5-10 x Trip)	5	(2000A)

Figura 31 Reporte de C5-ATX3.
Fuente: Software SKM

En la Figura 30 se presentan las curvas características TCC de los disyuntores en forma ascendente de uno de los extractores que se encuentran en el comedor institucional, las curvas demuestran una coordinación correcta para una corriente de fallo de 2383 A que se presentan igual para los distintos buses donde se encuentran disyuntores como se muestra en el reporte de la Figura 31. Se puede observar que la corriente de falla se puede disipar de manera eficiente en la zona instantánea del disyuntor PD-0015 en los primeros segundos de fallo y así coordinadamente hasta despejar la falla.

En este caso en particular los motores que pertenecen a los otros 2 extractores ubicados en el mismo centro de carga poseen el mismo comportamiento de coordinación por lo que el análisis no se realizó concluyéndose como correctos.

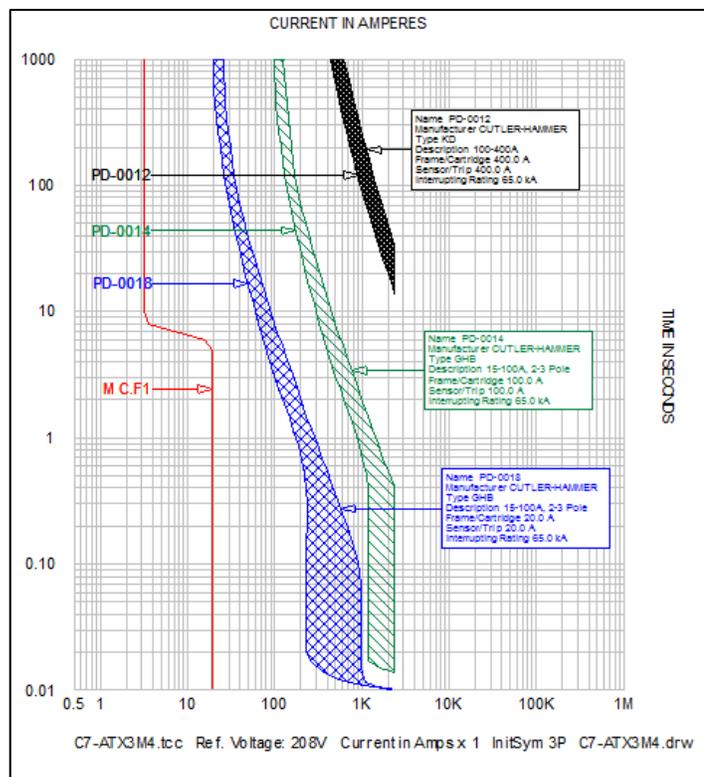


Figura 32 C7-ATX3M4 Coordinación protecciones.
Fuente: Software SKM.

Device Name:	PD-0018	TCC Name:	C7-ATX3M4.tcc
Bus Name:	TABLERO TE	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	2211.8A
Frame:	GHB 240V 20A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	20A		
Setting:	1) Fixed		
Device Name:	PD-0014	TCC Name:	C7-ATX3M4.tcc
Bus Name:	TABLERO TPN	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	2383.0A
Frame:	GHB 240V 100A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	100A		
Setting:	1) Fixed		
Device Name:	PD-0012	TCC Name:	C7-ATX3M4.tcc
Bus Name:	TABLERO TPN	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	2383.0A
Frame:	KD 240V 400A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	400A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed)		
	2) INST (5-10 x Trip)	10	(4000A)

Figura 33 Reporte de C7-ATX3M4
Fuente: Software SKM.

En la Figura 32 se presentan las curvas TCC de los disyuntores PD-0018, PD-0014 y PD-0012 que corresponden al motor de uno de los cuartos fríos, las corrientes de falla que se presentan en los buses se muestran en la Figura 33 y es similar para cada bus en estudio. Según se presenta el comportamiento de falla, el primer dispositivo en despejar la falla es el disyuntor PD-0018 que se presenta inmediato a la carga. Por lo que se concluye que el despeje de la falla se realiza de manera coordinada y por ende correcta. Para el caso del cuarto frío número, se presenta las mismas características de coordinación por lo que se omite su análisis, por lo cual se concluye que la coordinación de los cuartos fríos es correcta.

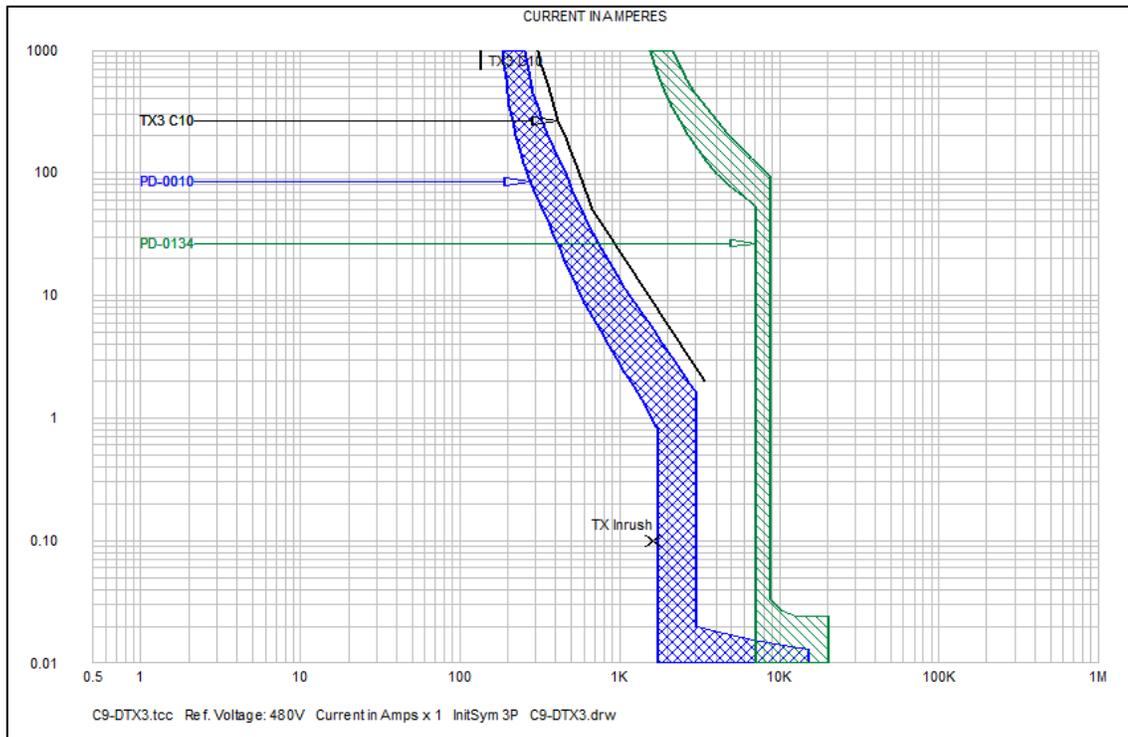


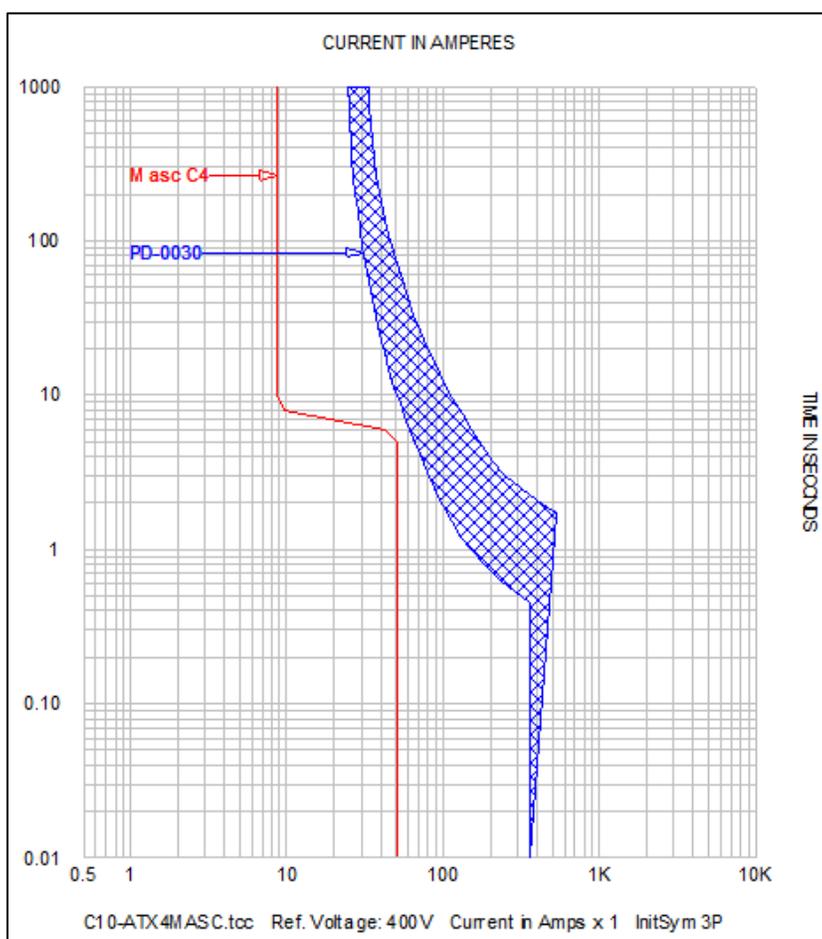
Figura 34 C9-DTX3 coordinación de protecciones.
Fuente: Elaboración propia.

Device Name:	PD-0010	TCC Name:	C9-DTX3.tcc
Bus Name:	BUS-0173	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	25kA	Fault Duty:	15506.6A
Frame:	FD 480V 175A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	175A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0134	TCC Name:	C9-DTX3.tcc
Bus Name:	BUS-0177	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	WESTINGHOUSE		
Description:	700-1200A		
Type:	HNB		
AIC Rating:	35kA	Fault Duty:	20439.1A
Frame:	HNB 480V 1200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	1200A		
Setting:	1) LTD		
	2) INST	6.7	(8040A)

Figura 35 Reporte de C9-DTX3
Fuente: Software SKM.

En la Figura 34 se presenta la coordinación de protecciones de los disyuntores aguas arriba del transformador seco del comedor institucional, según el comportamiento de las curvas se presenta una coordinación selectiva pues se despeja la corriente de fallo de manera correcta, las corrientes de fallo se presentan en el reporte de la Figura 35, además la curva característica del transformador está localizada por encima de la curva del disyuntor por lo que se garantiza su protección y se observa que la corriente de arranque (inrush) esta localiza por debajo de la curva por lo que el disyuntor no se disparará.



**Figura 36 C10-ATX4MASC coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM**

En la Figura 36 se muestra el comportamiento de la protección del motor del elevador del edificio de laboratorios de Física-Química, esta protege de manera correcta la carga porque la curva de fallo del motor se encuentra por debajo de la curva del disyuntor. Se hace un análisis independiente por estar involucrado el autotransformador, por lo que se deben analizar en tramos distintos aguas abajo del autotransformador.

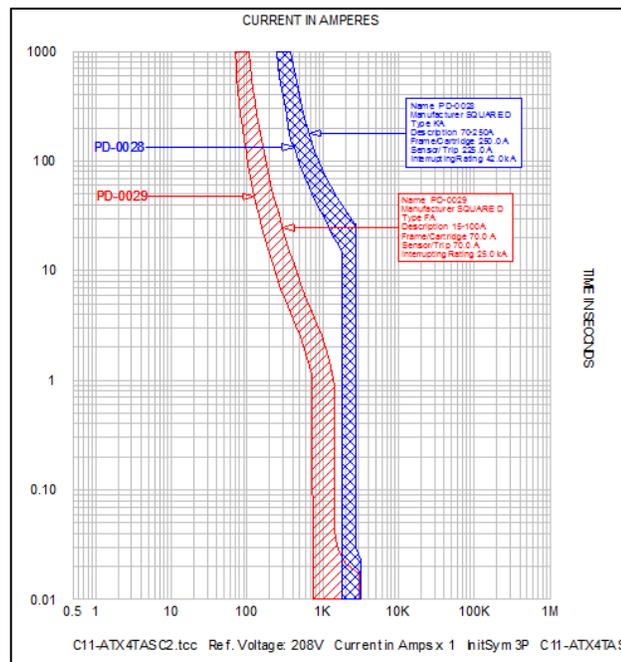


Figura 37 C11-ATX4TASC coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM

La coordinación siguiente corresponde a los disyuntores inmediatos del autotransformador del motor del elevador del Edificio de Lab de Física-Química, como se muestra en el reporte de la Figura 38 la corriente de fallo es aproximadamente en ambos casos de 3200 A, por lo que según comportamiento de las curvas los dos dispositivos despejan de manera coordinada la corriente de fallo en la zona instantánea, corresponde a la parte magnética del disyuntor; para no cambiar el disyuntor PD-0028 se setea la curva de disparo hasta el máximo para tener una coordinación selectiva.

Device Name:	PD-0029	TCC Name:	C11-ATX4TASC2.tcc
Bus Name:	TABLERO TF	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	SQUARE D		
Description:	15-100A		
Type:	FA		
AIC Rating:	25kA	Fault Duty:	3088.4A
Frame:	FA 240V 70A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	70A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0028	TCC Name:	C11-ATX4TASC2.tcc
Bus Name:	B. DISTRIBUCION	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	SQUARE D		
Description:	70-250A		
Type:	KA		
AIC Rating:	42kA	Fault Duty:	3202.3A
Frame:	KA 240V 250A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	225A		
Setting:	1) Thermal Curve 2) INST HI (2250A)		

Figura 38 Reporte de C11-ATX4TASC.
Fuente: Software SKM.

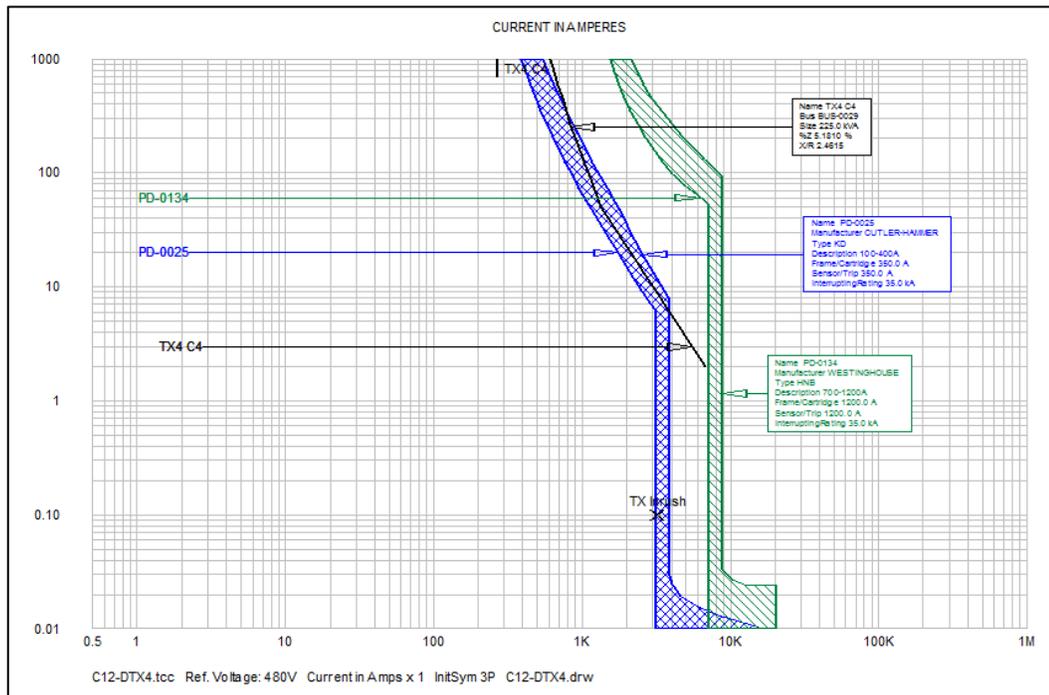


Figura 39 C12-DTX4 coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

Device Name:	PD-0025	TCC Name:	C12-DTX4.tcc
Bus Name:	BUS-0173	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	35kA	Fault Duty:	15506.6A
Frame:	KD 480V 350A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	350A		
Setting: 1) Thermal Curve (Fixed			
2) INST (5-10 x Trip)	10	(3500A)	

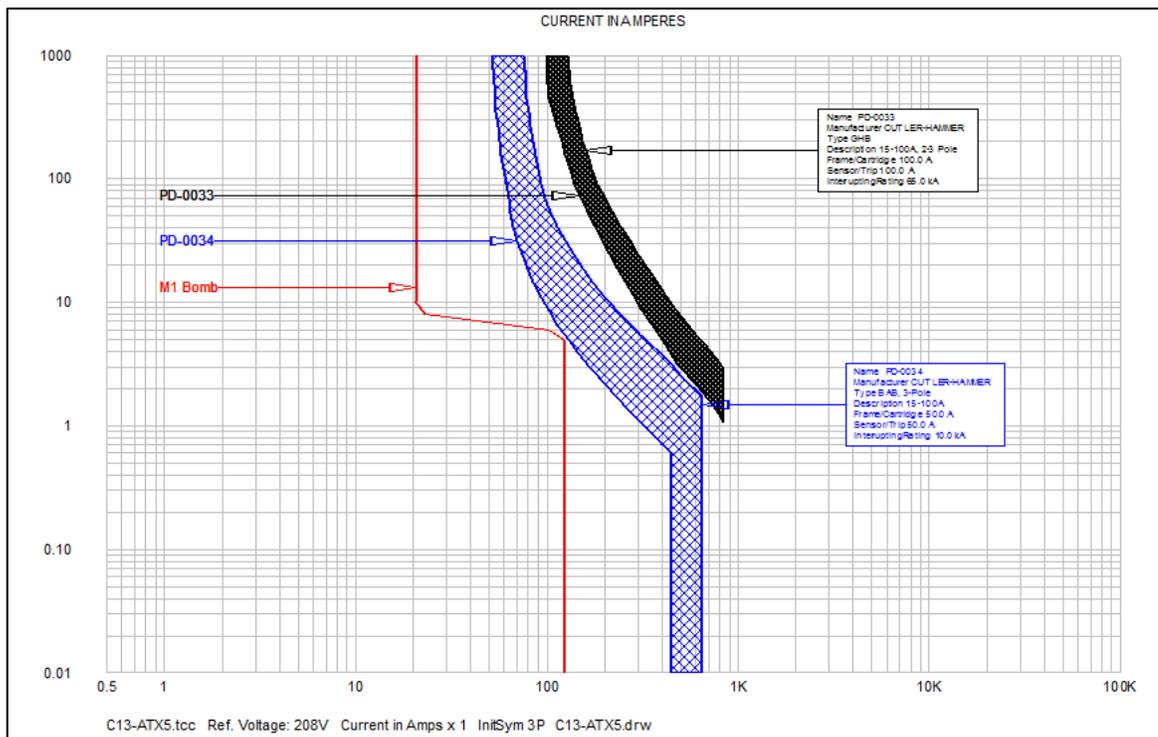
Device Name:	PD-0134	TCC Name:	C12-DTX4.tcc
Bus Name:	BUS-0177	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	WESTINGHOUSE		
Description:	700-1200A		
Type:	HNB		
AIC Rating:	35kA	Fault Duty:	20439.1A
Frame:	HNB 480V 1200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	1200A		
Setting: 1) LTD			
2) INST	6.7	(8040A)	

Figura 40 Reporte de C12-DTX4
Fuente: Software SKM.

En la Figura 39 se presenta la coordinación de las protecciones aguas arriba del transformador seco del edificio de Laboratorio Física Química, esta presenta un comportamiento normal de coordinación, sin embargo para que este presentara este estado con los elementos actualmente instalados se debió setear las curvas de disparo al máximo en los dos disyuntores, como muestra el reporte en la Figura 40.

Aun así presentando este estado de seteo al máximo donde se ajustó las curvas de disparo, la corriente de arranque del motor (inrush) está en el límite de la curva del disyuntor, además la curva característica del transformador está ligeramente por encima de la curva TCC del disyuntor, por lo que se garantiza la protección del mismo.

Se debe tomar en cuenta que la potencia del transformador es de 225KVA, por lo que las protecciones deben estar dimensionadas acorde esta potencia, la venta es que por el tipo de modelo del disyuntor, se puede variar la curva de disparo.



**Figura 41 C13-ATX5 coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.**

Device Name:	PD-0034	TCC Name:	C13-ATX5.tcc
Bus Name:	BARRA MOTORES	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A		
Type:	BAB, 3-Pole		
AIC Rating:	10kA	Fault Duty:	823.4A
Frame:	BAB 240V 50A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	50A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0033	TCC Name:	C13-ATX5.tcc
Bus Name:	BARRA TH	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	842.9A
Frame:	GHB 240V 100A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	100A		
Setting:	1) Fixed		

**Figura 42 Reporte de C13-ATX5
Fuente: Software SKM.**

En la Figura 41 se presentan las curvas de los disyuntores de una de las bombas del tanque hidroneumático, estos disyuntores de curvas fijas poseen una coordinación selectiva, como se muestra en el reporte de la Figura 42 la corriente de fallo en ambos buses de los dos disyuntores es aproximadamente de 800 A, por lo que se nota que el disyuntor PD-0034 se acciona antes del primero segundo en la zona magnética. Para el caso del motor de la bomba 2, el comportamiento es igual respecto a la coordinación de las protecciones, por lo que se omite su análisis, se concluye que los motores de las bombas en el tanque hidroneumático despejan la falla selectivamente.

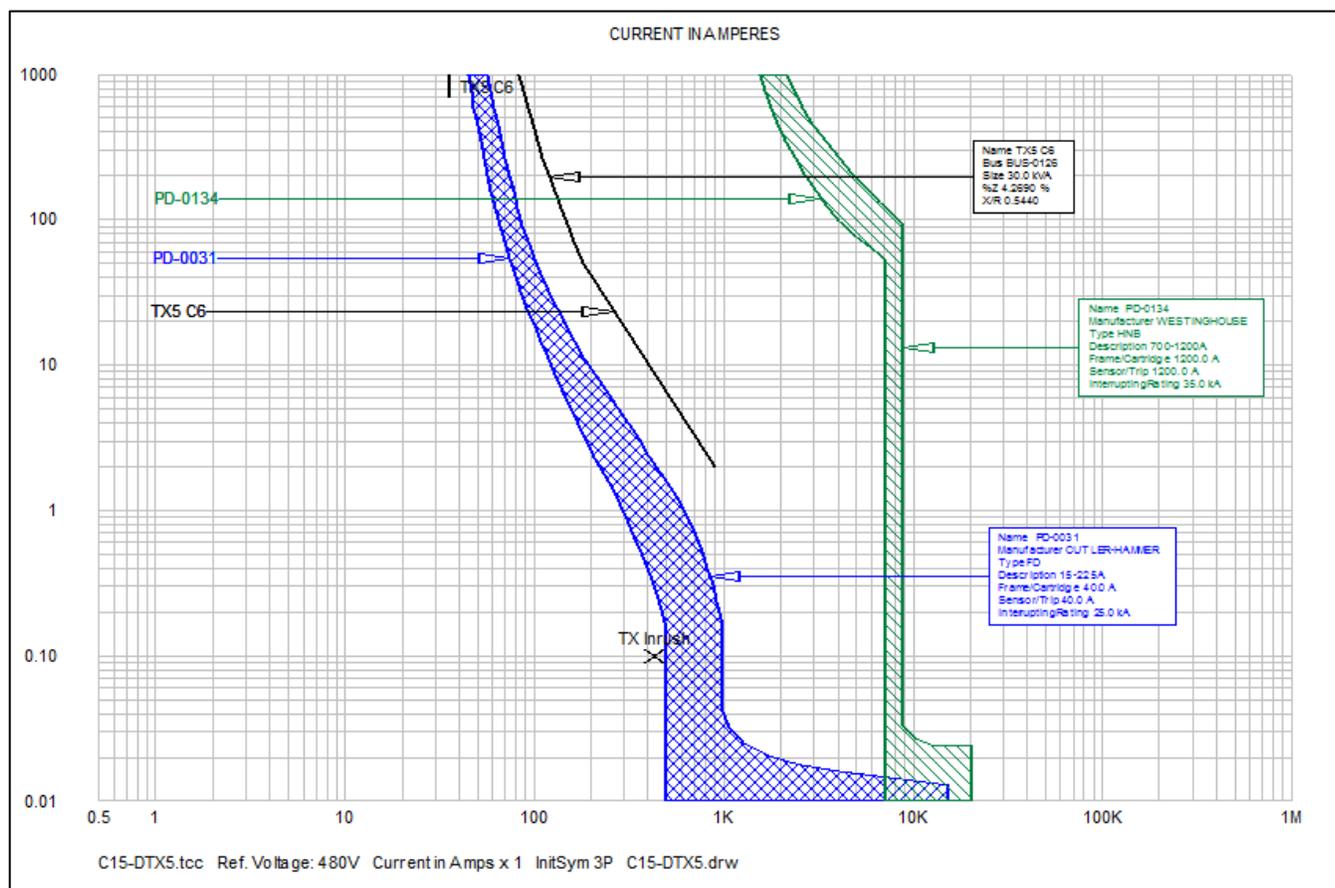


Figura 43 C15-DTX5 coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

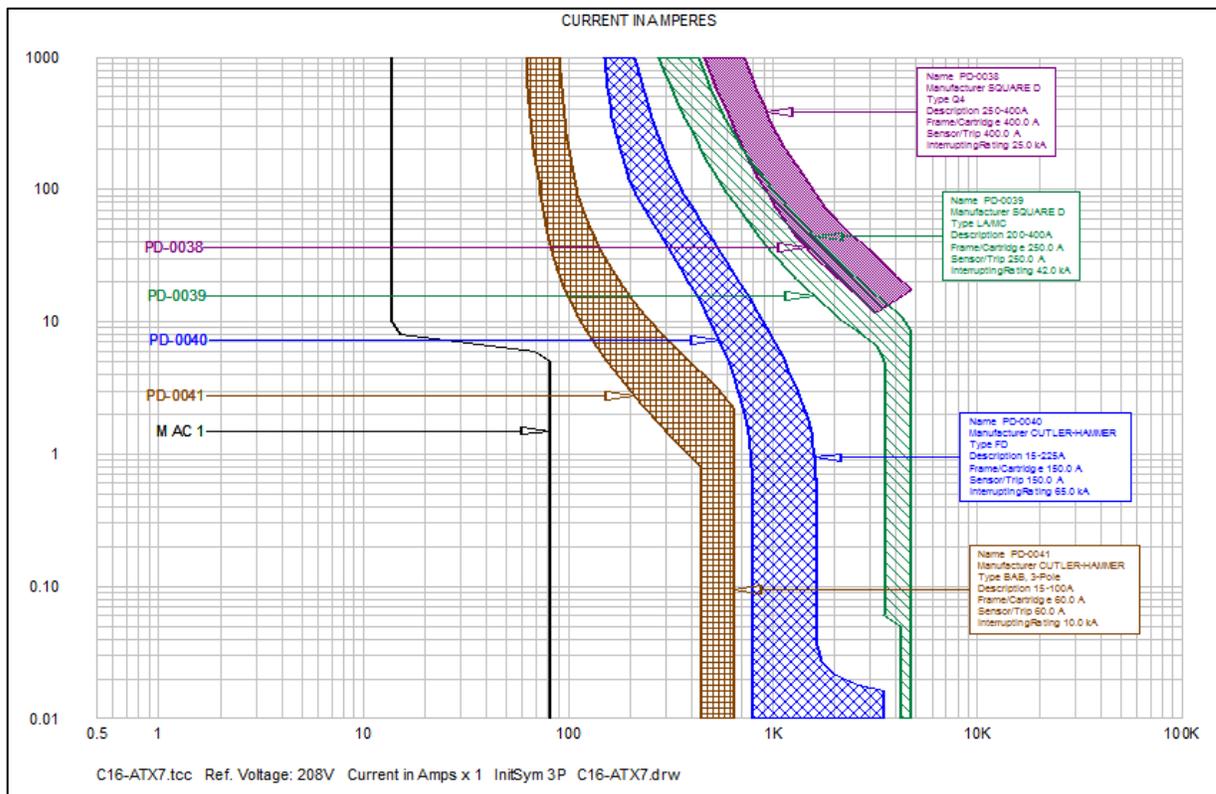
Device Name:	PD-0031	TCC Name:	C15-DTX5.tcc
Bus Name:	BUS-0173	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	25kA	Fault Duty:	15506.6A
Frame:	FD 480V 40A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	40A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0134	TCC Name:	C15-DTX5.tcc
Bus Name:	BUS-0177	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	WESTINGHOUSE		
Description:	700-1200A		
Type:	HNB		
AIC Rating:	35kA	Fault Duty:	20439.1A
Frame:	HNB 480V 1200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	1200A		
Setting:	1) LTD		
	2) INST	6.7	(8040A)

Figura 44 Reporte de C15-DTX5
Fuente: Software SKM.

En la Figura 43 se presentan transpuestas las curvas de los disyuntores aguas arriba del transformador seco del tanque hidroneumático, estos coordinan de manera selectiva por la posición de las curvas, además que los valores de corriente en los distintos buses se presentan antes de 0.5 segundos de transcurrida la falla por lo que se despejan en la zona magnética del disyuntor, estos valores de corriente se presentan en el reporte de la Figura 44.

La curva de característica del transformador se encuentra por encima de la curva fija del disyuntor por lo que se garantiza su protección, además que la corriente de arranque del transformador seco del tanque hidroneumático se encuentra por debajo de la curva del disyuntor por lo que no interrumpe circuito en el arranque.



**Figura 45 C16 ATX7 coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.**

La Figura 45 presenta las curvas TCC de los disyuntores del motor del aire acondicionados de la Biblioteca hasta el transformador seco, estos presentan una coordinación selectiva a excepción del disyuntor PD-0038; este se observa que se traslapa con la curva del disyuntor PD-0039, esto ocurre aunque se setea su curva al valor máximo, por lo que se debe realizar la selección de un nuevo disyuntor que no permanezca en este estado.

Sin embargo se debe tomar en cuenta que la zona donde se traslapa es en la parte de lenta, de disparo térmico. También se debe tomar en cuenta que la localización de este disyuntor en el circuito esta inmediato del disyuntor PD-0039 como se observa en la Figura 121 se puede decir que se encuentra en serie, por lo que en cualquier condición de fallo, ya sean cualquiera de los dos disyuntores se va aislar el circuito de manera inmediata.

Tomando en cuenta lo anterior, se toma la decisión de no sustituir el dispositivo, sólo se setea en su valor máximo, como se observa en el reporte de la Figura 46. Esto porque aunque no cumple con la coordinación selectiva, no es necesario su sustitución por un disyuntor el cual su costo de adquisición es considerable y va terminar realizando la misma función que el disyuntor anterior pero a un mayor tiempo de transcurrida la falla. Como los motores MAC2 y MAC3 cumplen con la misma condición de coordinación que la del motor MAC1, anteriormente explicada, se omite su análisis y se toman como coordinación selectiva.

Device Name:	PD-0040	TCC Name:	C16-ATX7.tcc
Bus Name:	TABLERO C3-TNO	Bus Voltage:	208.0V
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	3516.7A
Frame:	FD 240V 150A	Curve Multiplier:	1
Trip:	150A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0039	TCC Name:	C16-ATX7.tcc
Bus Name:	TABLERO C3-TP	Bus Voltage:	208.0V
Manufacturer:	SQUARE D		
Description:	200-400A		
Type:	LA/MC		
AIC Rating:	42kA	Fault Duty:	4769.0A
Frame:	LA/MC 240V 250A	Curve Multiplier:	1
Trip:	250A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0038	TCC Name:	C16-ATX7.tcc
Bus Name:	TABLERO C3-TP	Bus Voltage:	208.0V
Manufacturer:	SQUARE D		
Description:	250-400A		
Type:	Q4		
AIC Rating:	25kA	Fault Duty:	4769.0A
Frame:	Q4 240V 400A	Curve Multiplier:	1
Trip:	400A		
Setting:	1) Thermal Curve 2) INST HI (4000A)		

Device Name:	PD-0041	TCC Name:	C16-ATX7.tcc
Bus Name:	TABLERO A.Acondicionados	Bus Voltage:	208.0V
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A		
Type:	BAB, 3-Pole		
AIC Rating:	10kA	Fault Duty:	2667.4A

Figura 46 Reporte de C16 ATX7.
Fuente: Software SKM.

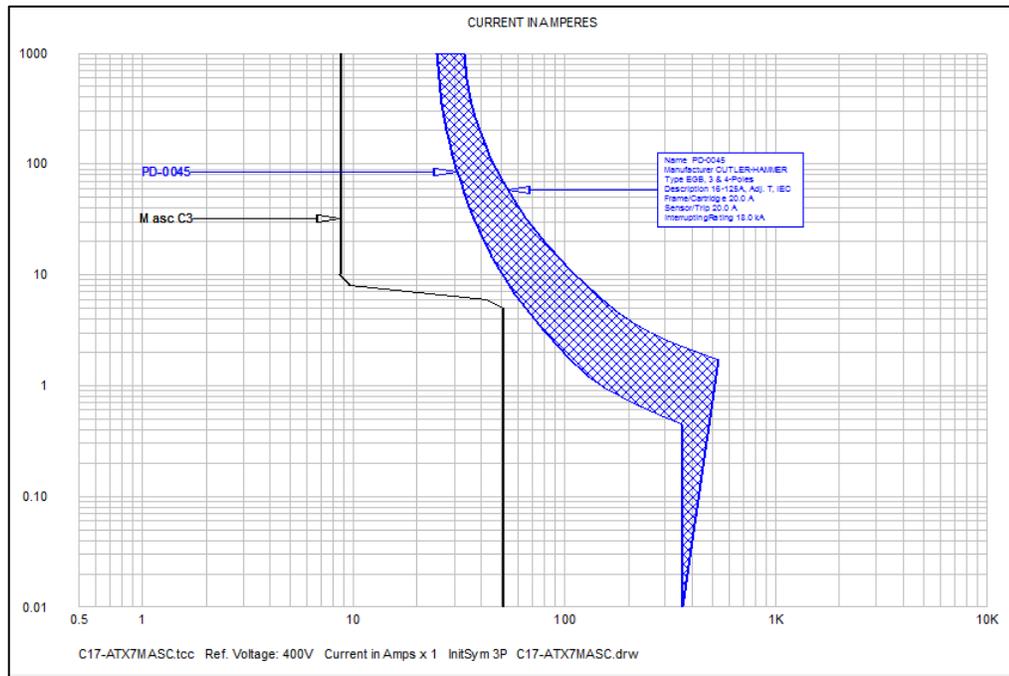
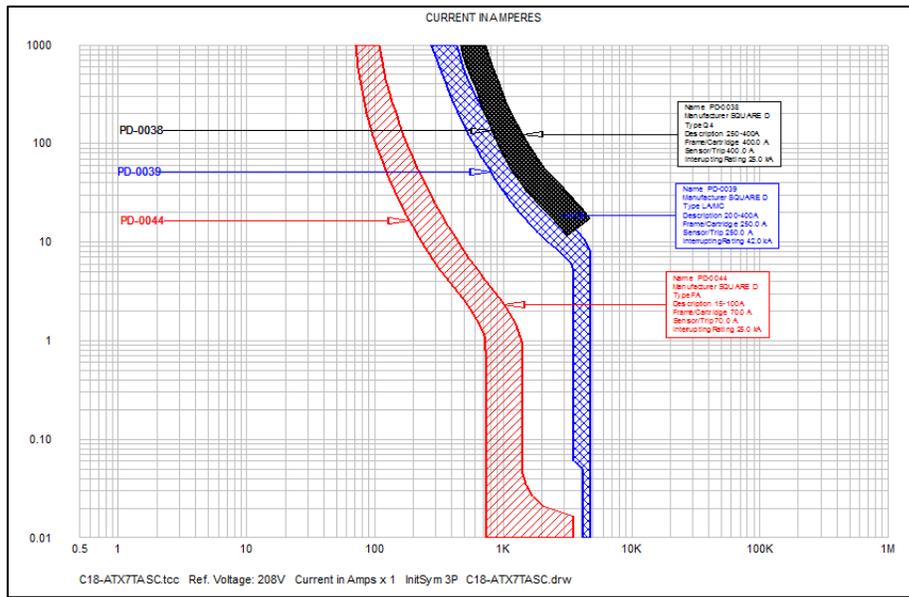


Figura 47 C17-ATX7MASC coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

La Figura 47 presenta la curva característica TCC del disyuntor del motor de 400V del elevador, esta presenta un comportamiento de interrupción correcto porque la curva de fallo del motor se encuentra antes del disyuntor y la corriente de fallo se despeja en la zona instantánea de la curva del disyuntor magnético.

Device Name:	PD-0045	TCC Name:	C17-ATX7MASC.tcc
Bus Name:	BUS-0053	Bus Voltage:	400.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	16-125A, Adj. T, IEC		
Type:	EGB, 3 & 4-Poles		
AIC Rating:	18kA	Fault Duty:	536.3A
Frame:	EGB 415V 20A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	20A		
Setting:	1) Thermal Curve		
	2) Magnetic (Fixed)	Fixed	(500A)

Figura 48 Reporte de C17-ATX7MASC
Fuente: Software SKM



**Figura 49 C18-ATX7TASC coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM**

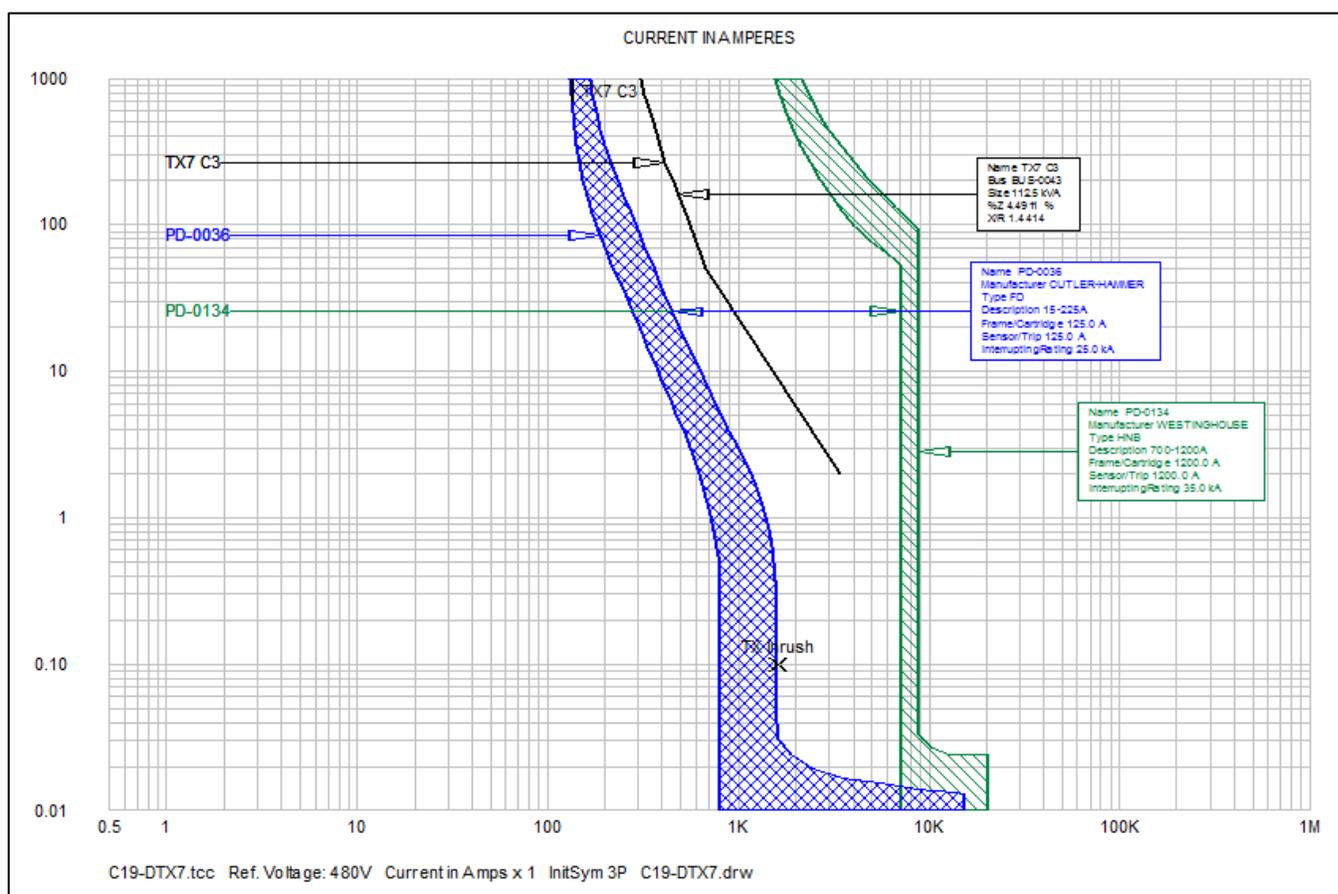
Device Name:	PD-0044	TCC Name:	C18-ATX7TASC.tcc
Bus Name:	TABLERO C3-TN0	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	SQUARE D		
Description:	15-100A		
Type:	FA		
AIC Rating:	25kA	Fault Duty:	3516.7A
Frame:	FA 240V 70A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	70A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0039	TCC Name:	C18-ATX7TASC.tcc
Bus Name:	TABLERO C3-TP	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	SQUARE D		
Description:	200-400A		
Type:	LA/MC		
AIC Rating:	42kA	Fault Duty:	4769.0A
Frame:	LA/MC 240V 250A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	250A		
Setting:	1) Fixed		

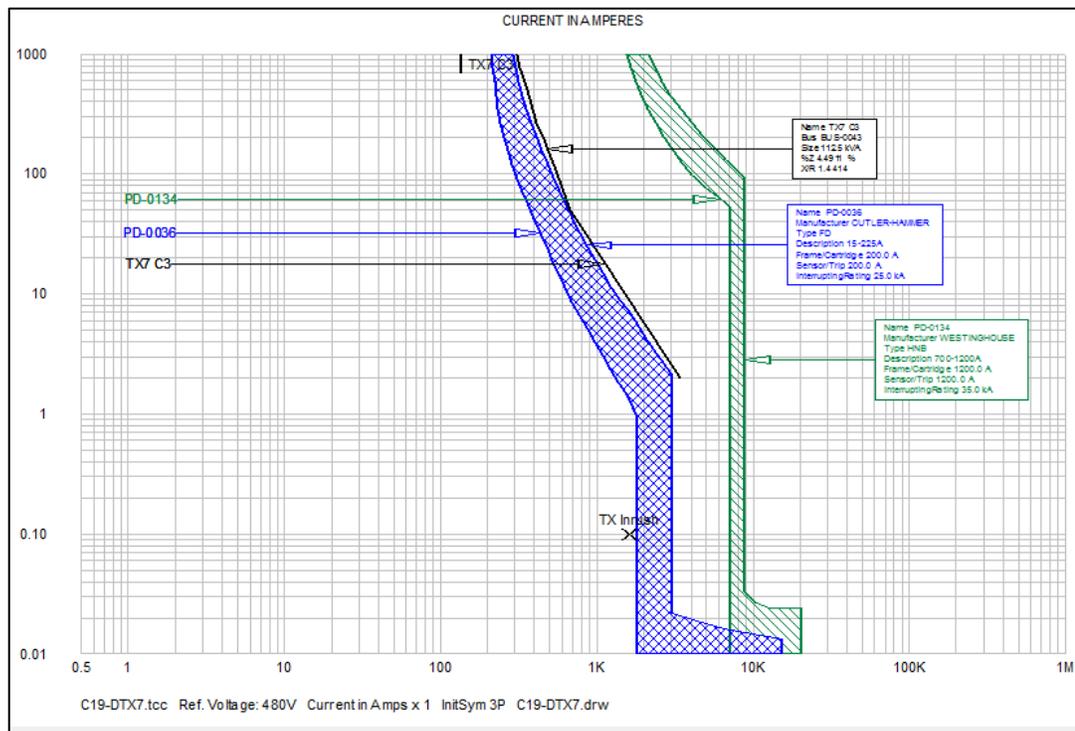
Device Name:	PD-0038	TCC Name:	C18-ATX7TASC.tcc
Bus Name:	TABLERO C3-TP	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	SQUARE D		
Description:	250-400A		
Type:	Q4		
AIC Rating:	25kA	Fault Duty:	4769.0A
Frame:	Q4 240V 400A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	400A		
Setting:	1) Thermal Curve 2) INST		

**Figura 50 Reporte de C18-ATX7TASC.
Fuente: Software SKM.**

De igual manera que para los motores de las cargas de aire acondicionado el disyuntor PD-0038 no cumple con una completa coordinación, porque se traslapa con el disyuntor PD-0039 en la zona de disparo lento, de comportamiento térmico. Por lo que se debe realizar la selección de un disyuntor que cumpla con la condición correcta de operación, sin embargo por las mismas razones del análisis de los ramales de las cargas de aire acondicionado, no se hará sustitución del disyuntor pues no es rentable por la función que el disyuntor cumple en el circuito. Entonces se mantiene seteado al valor máximo permitido para alargar el tiempo de disparo y se concluye que el estado del disyuntor en el ramal es funcional.



**Figura 51 C19-DTX7 coordinación de protecciones
Fuente: Software SKM.**



**Figura 52 C19-DTX7 coordinación de protecciones (Corregida).
Fuente: Software SKM.**

En la Figura 51 se presentan las curvas TCC de los disyuntores aguas arriba del transformador seco TX7 de la Biblioteca, se puede observar que el disyuntor del tipo FD, seleccionado en la sección 5.2 , PD-0036 no cumple con las características de operación del transformador, esto porque la corriente de arranque del transformador (inrush) está por encima de la curva del disyuntor por lo que se procede a realizar la selección del disyuntor que cumpla las condiciones operacionales correctas. En la Figura 52 se muestra el disyuntor que si cumple con las condiciones, lo que se procedió fue aumentar el valor de amperaje del disyuntor manteniendo el mismo modelo, se sustituyó el disyuntor FD3125 por un disyuntor FD3200 con una capacidad interruptora de 25KA. Como se observa en la Figura 53 la corriente de fallo 15506 A se despeja de manera correcta en la zona magnética en los primeros segundos del nuevo disyuntor. Y la curva característica del transformador está por encima de la del disyuntor por lo que se garantiza su protección.

Device Name:	PD-0036	TCC Name:	C19-DTX7.tcc
Bus Name:	BUS-0173	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	25kA	Fault Duty:	15506.6A
Frame:	FD 480V 200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	200A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0134	TCC Name:	C19-DTX7.tcc
Bus Name:	BUS-0177	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	WESTINGHOUSE		
Description:	700-1200A		
Type:	HNB		
AIC Rating:	35kA	Fault Duty:	20439.1A
Frame:	HNB 480V 1200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	1200A		
Setting:	1) LTD		
	2) INST	6.7	(8040A)

Figura 53 Reporte de C19-DTX7.
Fuente: Software SKM.

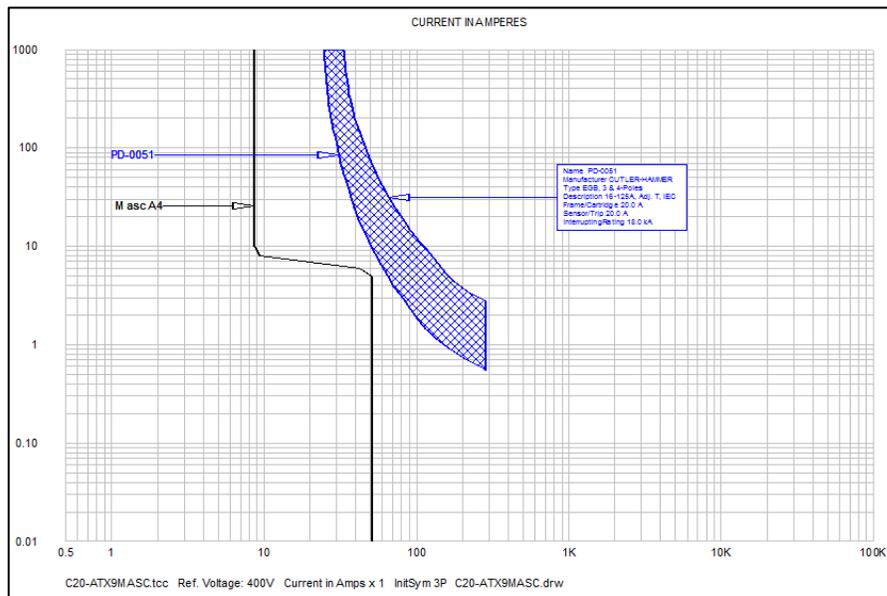


Figura 54 C20-ATX9MASC coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

Device Name:	PD-0051	TCC Name:	C20-ATX9MASC.tcc
Bus Name:	BUS-0062	Bus Voltage:	400.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	16-125A, Adj. T, IEC		
Type:	EGB, 3 & 4-Poles		
AIC Rating:	18kA	Fault Duty:	287.6A
Frame:	EGB 415V 20A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	20A		
Setting:	1) Thermal Curve		
	2) Magnetic (Fixed)	Fixed	(500A)

Figura 55 Reporte de C20-ATX9MASC.
Fuente: Software SKM.

La Figura 54 presenta la curva característica del disyuntor PD-0051 del motor del ascensor del edificio de matemática, este cumple satisfactoriamente la coordinación porque la curva de daño del motor se encuentra por debajo de la curva del disyuntor, además la corriente de fallo que se presenta en la Figura 55 se despeja en la zona instantánea de este disyuntor, por lo que se concluye como coordinación correcta.

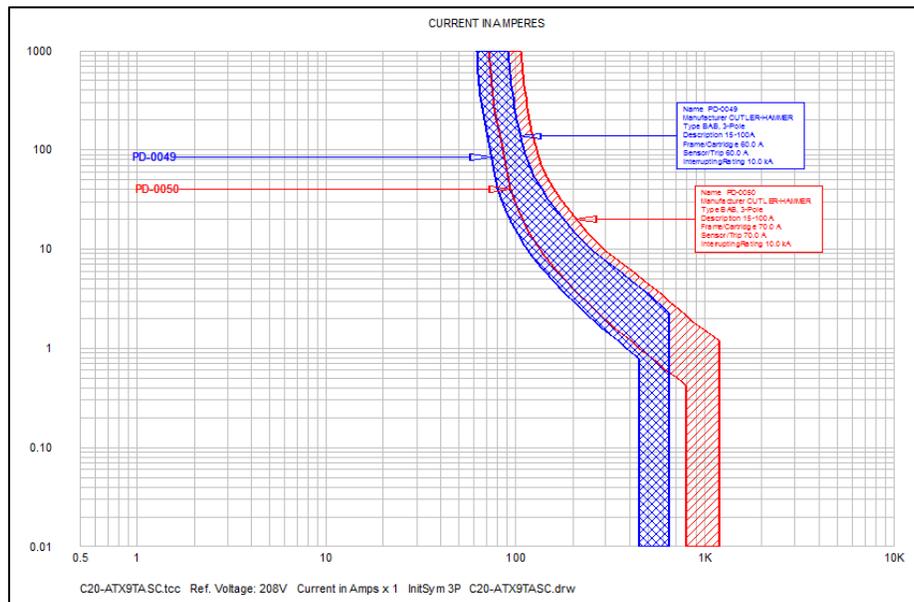
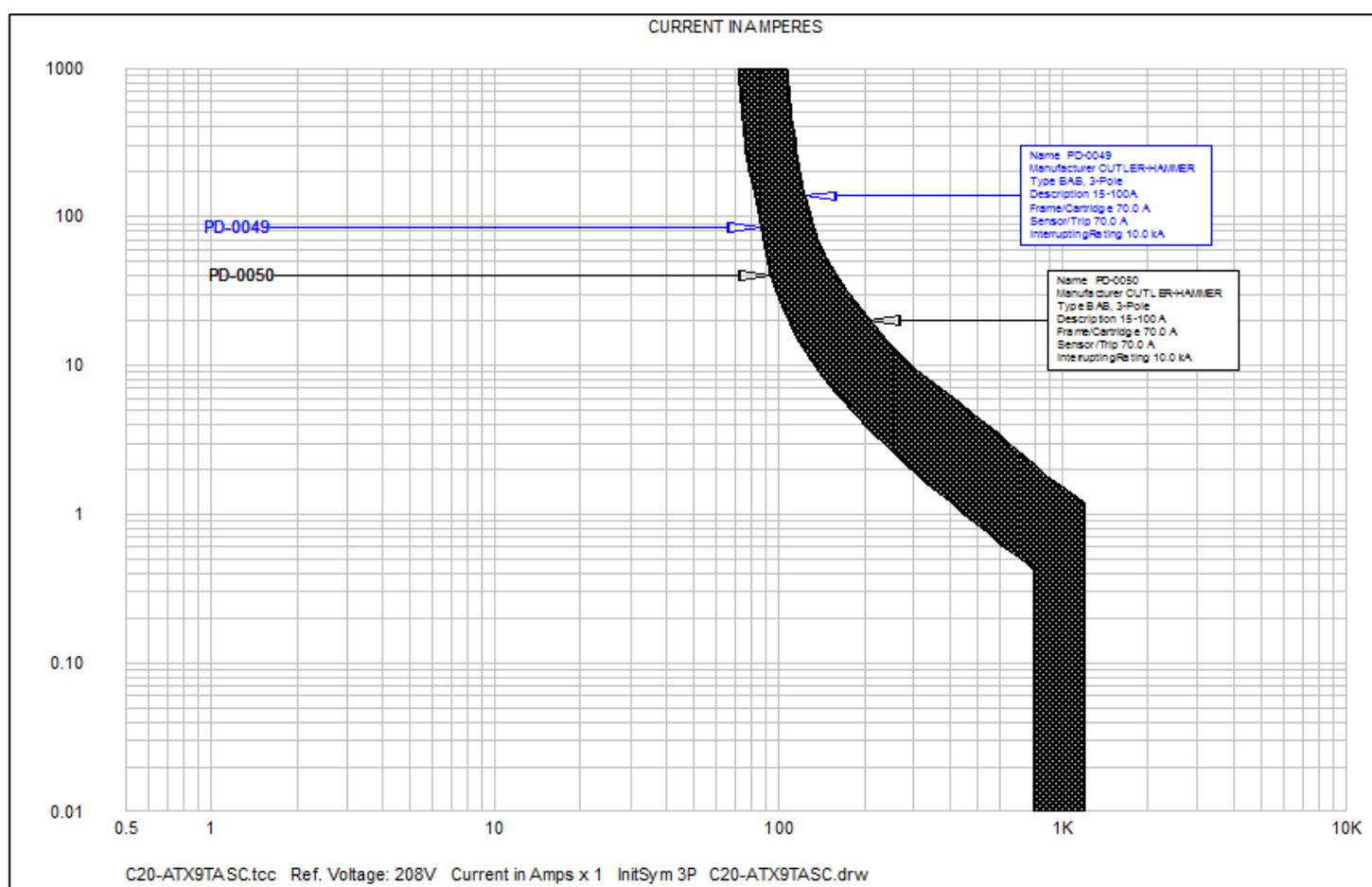
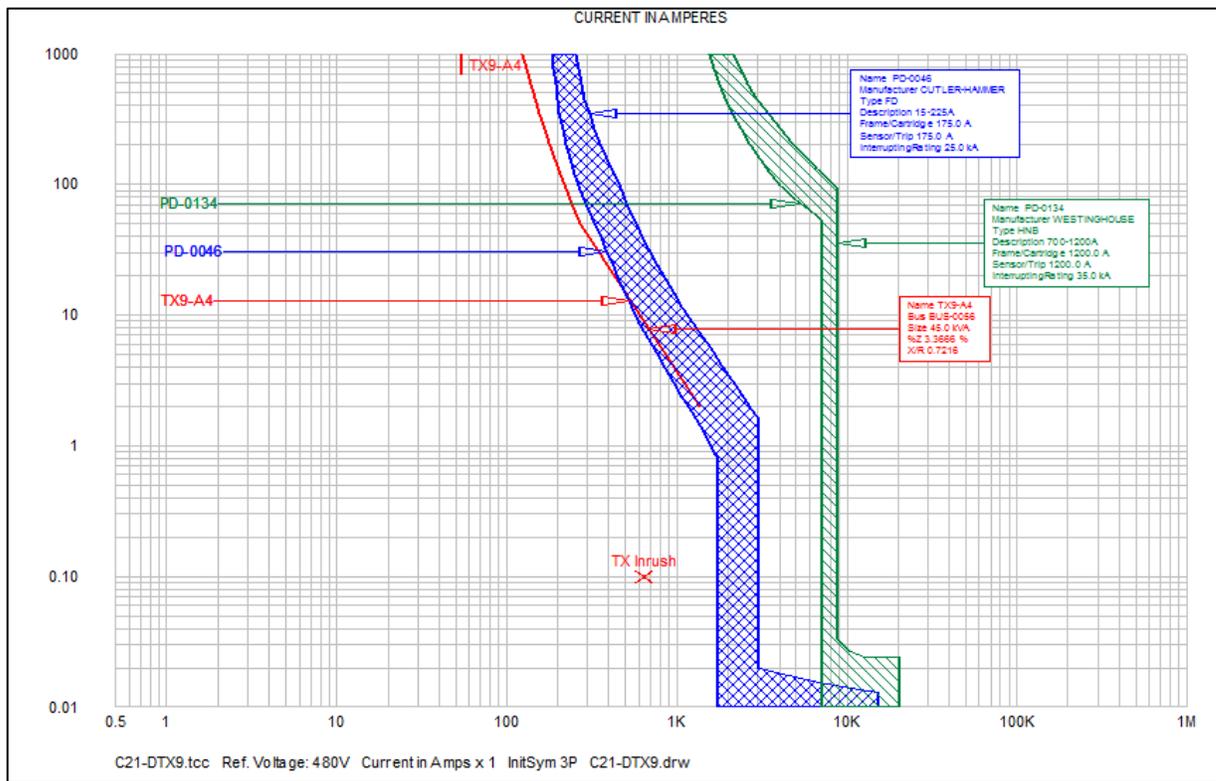


Figura 56 C20-ATX9TASC coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

En la Figura 56 se presentan las curvas TCC de los disyuntores que están aguas arriba del autotransformador del motor del elevador que se encuentra en el edificio de matemática, estos presentan una particularidad, que el disyuntor PD-0049 es de menor amperaje que el del disyuntor PD-0050, esto en términos de dimensionamiento es incorrecto porque el que el disyuntor PD-0049 debe ser igual o de mayor amperaje que el de PD-0050. Por lo que se procede a realizar la sustitución, se procedió a aumentar la capacidad nominal a 70 A manteniendo el mismo modelo del disyuntor, como se muestra a continuación.



**Figura 57 C20-ATX9TASC coordinación de protecciones (Corregida).
Fuente: Software SKM.**



**Figura 58 C21-DTX9 coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.**

La Figura 58 presenta las curvas TCC de los disyuntores aguas arriba del transformador seco del edificio de matemática, este presenta un problema respecto a la curva característica del transformador, ya que se encuentra por debajo de la curva del disyuntor por lo que se procede a corregir este estado de falla. Se procedió a disminuir el amperaje nominal del disyuntor sin cambiar su modelo, con el fin de que la curva del transformador quede por encima de la del disyuntor garantizando su protección sin afectar el inrush.

En la Figura 59 se presenta la curva del disyuntor corregida, en el reporte de la Figura 60 se muestra la corriente de fallo para el bus principal que corresponde a 15506 A, se puede observar que esta corriente de fallo se despeja en la zona instantánea entre 0.01 s y 0.05 s, por lo que concluye que el disyuntor seleccionado coordina selectivamente un evento de falla.

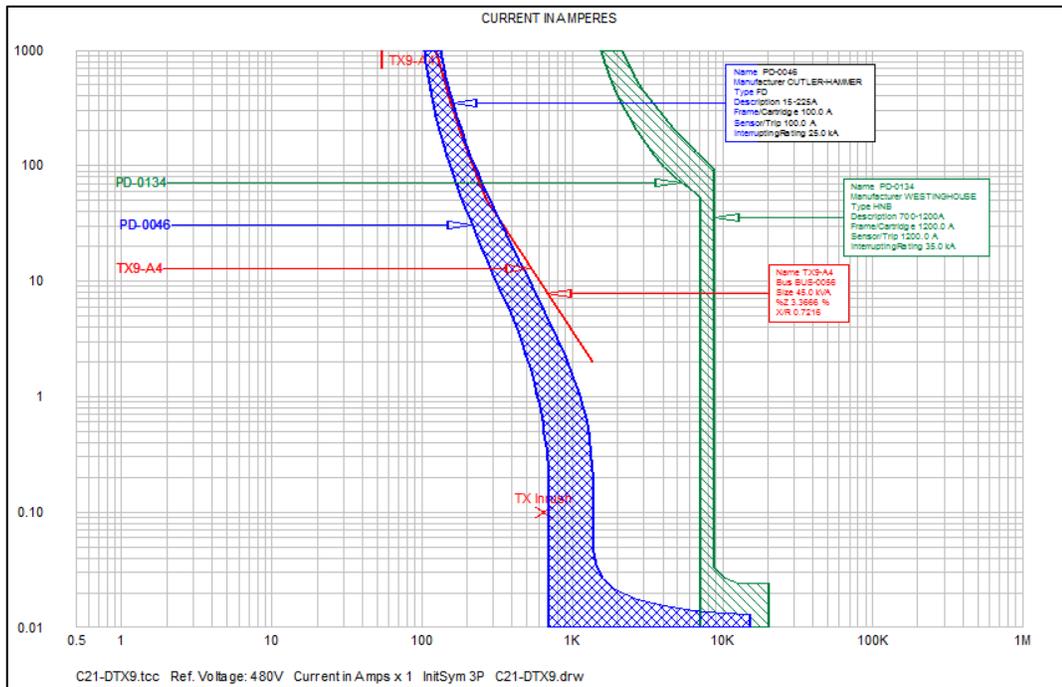
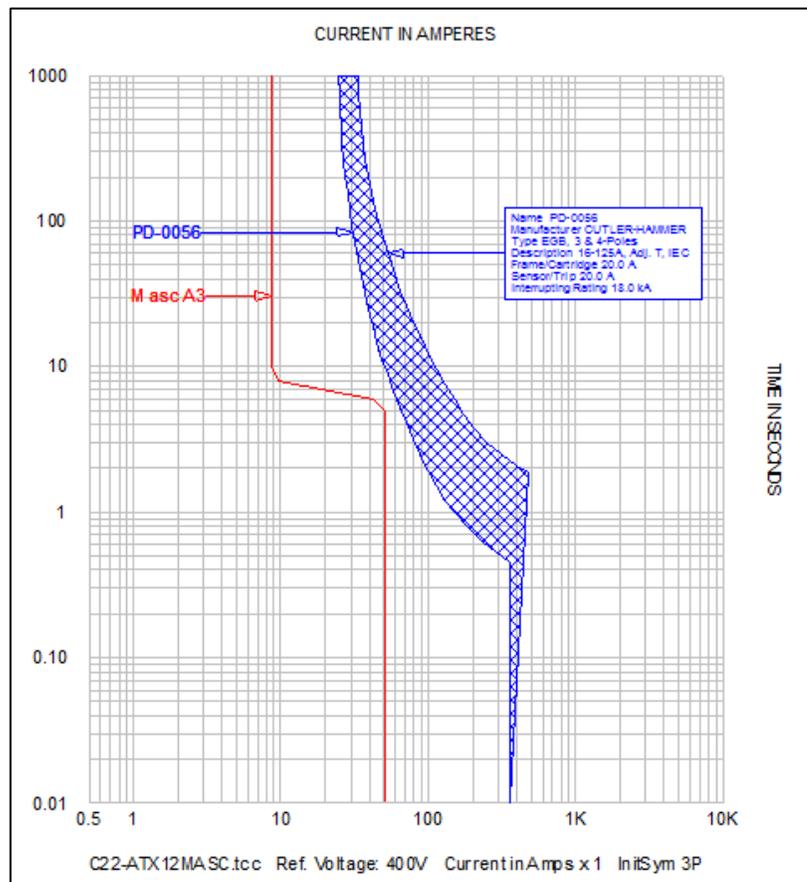


Figura 59 C21-DTX9 coordinación de protecciones (Corregida).
Fuente: Software SKM.

Device Name:	PD-0046	TCC Name:	C21-DTX9.tcc
Bus Name:	BUS-0173	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	25kA	Fault Duty:	15506.6A
Frame:	FD 480V 100A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	100A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0134	TCC Name:	C21-DTX9.tcc
Bus Name:	BUS-0177	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	WESTINGHOUSE		
Description:	700-1200A		
Type:	HNB		
AIC Rating:	35kA	Fault Duty:	20439.1A
Frame:	HNB 480V 1200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	1200A		
Setting:	1) LTD		
	2) INST	6.7	(8040A)

Figura 60 Reporte de C21-DTX9.
Fuente: Software SKM.



**Figura 61 C22-ATX12MASC coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.**

Device Name:	PD-0056	TCC Name:	C22-ATX12MASC.tcc
Bus Name:	BUS-0069	Bus Voltage:	400.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	16-125A, Adj. T, IEC		
Type:	EGB, 3 & 4-Poles		
AIC Rating:	18kA	Fault Duty:	480.5A
Frame:	EGB 415V 20A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	20A		
Setting:	1) Thermal Curve		
	2) Magnetic (Fixed)	Fixed	(500A)

**Figura 62 Reporte C22-ATX12MASC.
Fuente: Software SKM.**

En la Figura 61 se muestra la curva característica de falla del motor del elevador que se encuentra en el edificio de admisión y registro. La curva TCC del disyuntor está por encima de la curva del motor, por lo que se considera como correcta, además según el reporte en Figura 62 el valor de corriente de fallo se despeja correctamente en la zona instantánea de la gráfica.

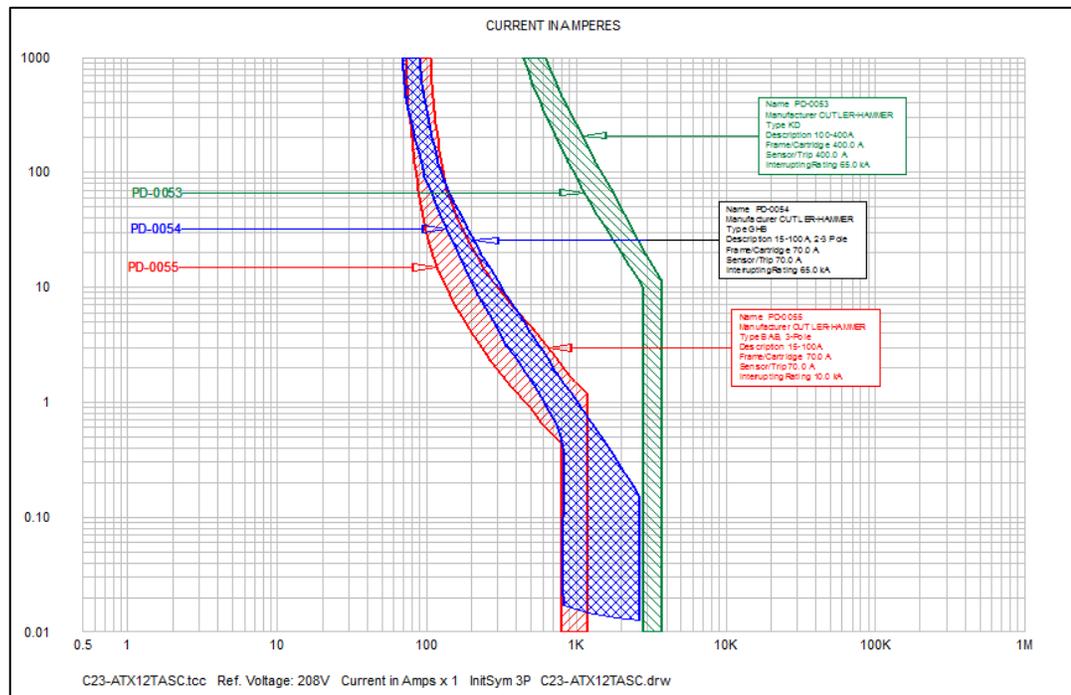


Figura 63 C23-ATX12TASC coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

La Figura 63 muestra las curvas transpuestas de los disyuntores aguas arriba del autotransformador del Elevador de Admisión, los dos primeros disyuntores, PD-0054 y PD-0055, están transpuestas porque las dos corresponden a un mismo valor nominal de amperaje y mismo modelo, estos en este estado a simple vista se considera en estado de fallo, sin embargo por estar en serie los dos cumplen la misma función de aislar la falla del mismo circuito por lo que se mantienen en correcto funcionamiento. El disyuntor PD-0053 corresponde a un KD3400 de curva regulable, para que se cumpliera satisfactoriamente con la coordinación selectiva se ajusta su disparo a 8.2 ms como se muestra en el reporte de la Figura 64.

Device Name:	PD-0054	TCC Name:	C23-ATX12TASC.tcc
Bus Name:	TABLERO TP (PRL2A)	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	2684.6A
Frame:	GHB 240V 70A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	70A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0053	TCC Name:	C23-ATX12TASC.tcc
Bus Name:	DIST. TABLERO	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	3769.5A
Frame:	KD 240V 400A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	400A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed)		
	2) INST (5-10 x Trip)	8.2	(3280A)

Figura 64 Reporte de C23-ATX12TASC.
Fuente: Software SKM.

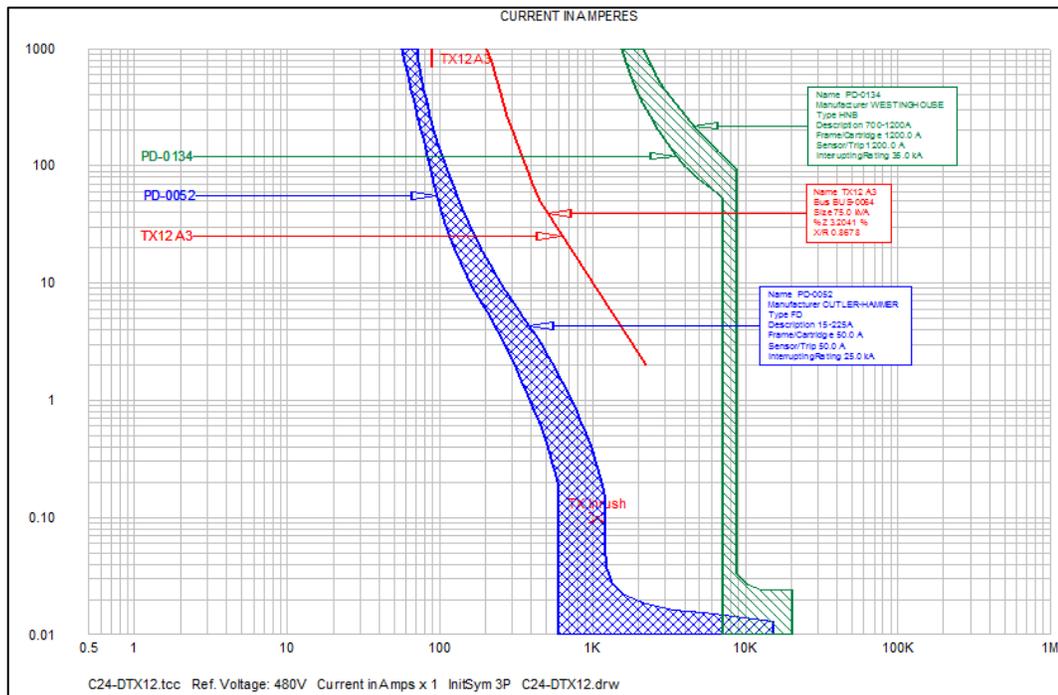


Figura 65 C24-DTX12 coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

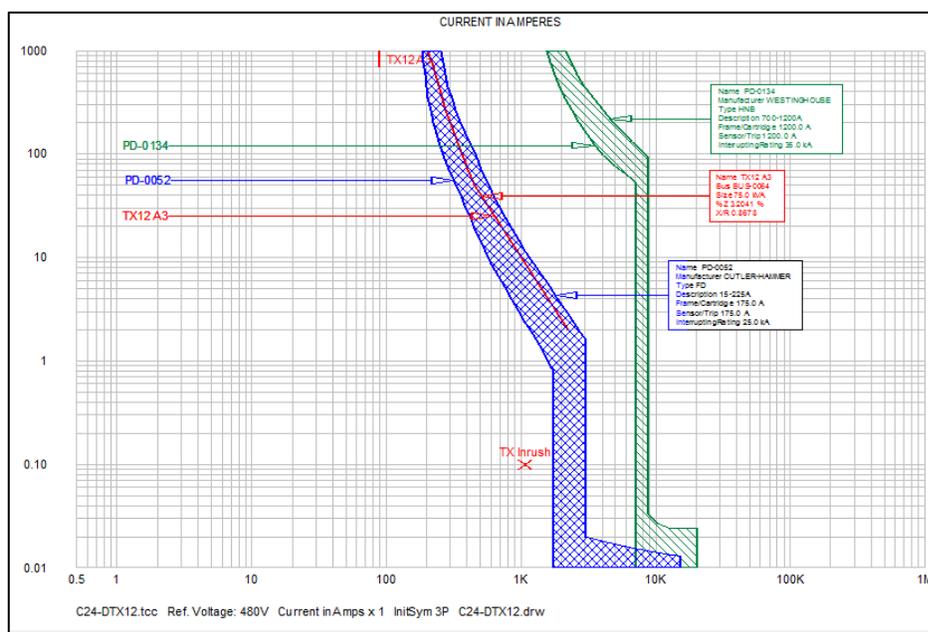


Figura 66 C24-DTX12 coordinación de protecciones (Corregida)
Fuente: Software SKM.

En la Figura 65 se presentan las curvas de los disyuntores transpuestas con la curva del transformador que alimenta el edificio de VIESA, se presenta un problema respecto al disyuntor del transformador TX12, pues la corriente de arranque (inrush) se encuentra por encima de la curva del disyuntor por lo que no soportará el arranque del transformador, se procede a hacer un aumento de la corriente nominal sin variar el modelo del disyuntor, se muestra en la Figura 66 que al aumentar el valor nominal de amperaje de 50 A a 100 A el inrush del transformador permanece por debajo de la curva del disyuntor y que la curva del transformador se encuentra ligeramente por encima de la curva del disyuntor por lo que se garantiza su protección.

Además la corriente de falla que se presenta en el reporte de la Figura 67 es de 15507 A para la barra principal, por el comportamiento de la falla se muestra que se despeja dicha corriente en la zona instantánea. Se mantiene el seteo del disyuntor principal PD-0134 en 6.7ms como en casos anteriores y cumple la coordinación correctamente.

Device Name:	PD-0052	TCC Name:	C24-DTX12.tcc
Bus Name:	BUS-0173	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	25kA	Fault Duty:	15506.6A
Frame:	FD 480V 175A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	175A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0134	TCC Name:	C24-DTX12.tcc
Bus Name:	BUS-0177	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	WESTINGHOUSE		
Description:	700-1200A		
Type:	HNB		
AIC Rating:	35kA	Fault Duty:	20439.1A
Frame:	HNB 480V 1200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	1200A		
Setting:	1) LTD 2) INST		
	6.7	(8040A)	

Figura 67 Reporte de C24-DTX12.
Fuente: Software SKM.

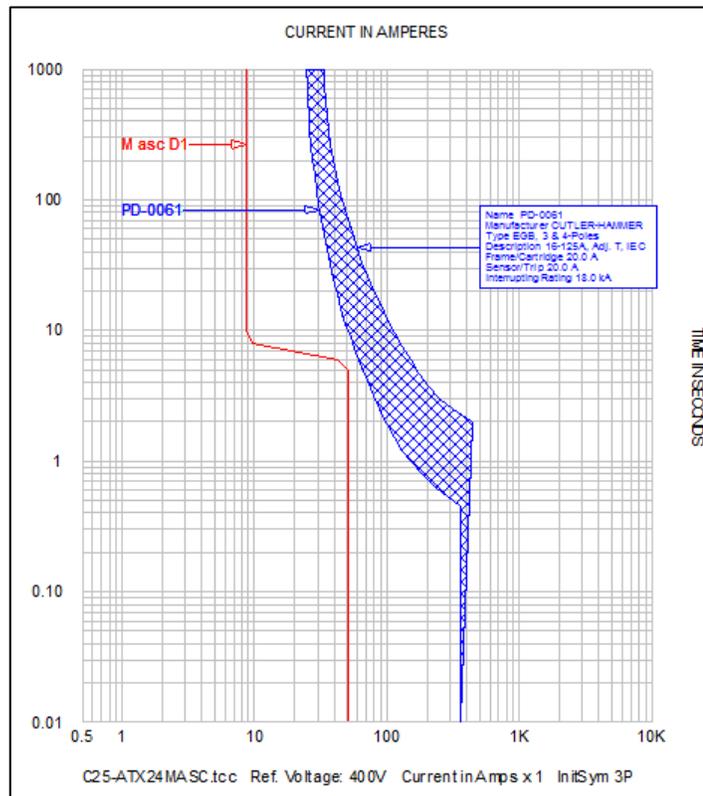
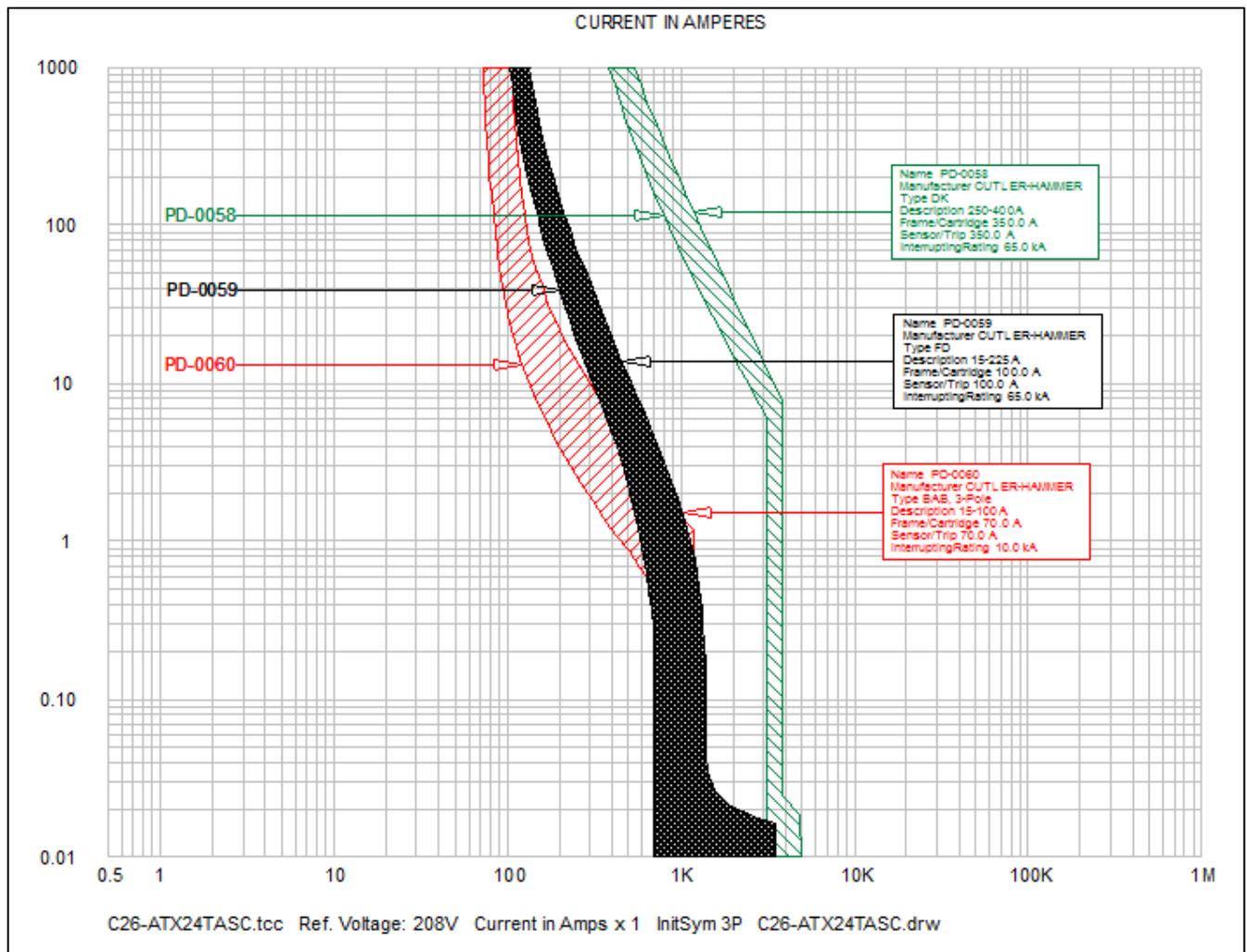
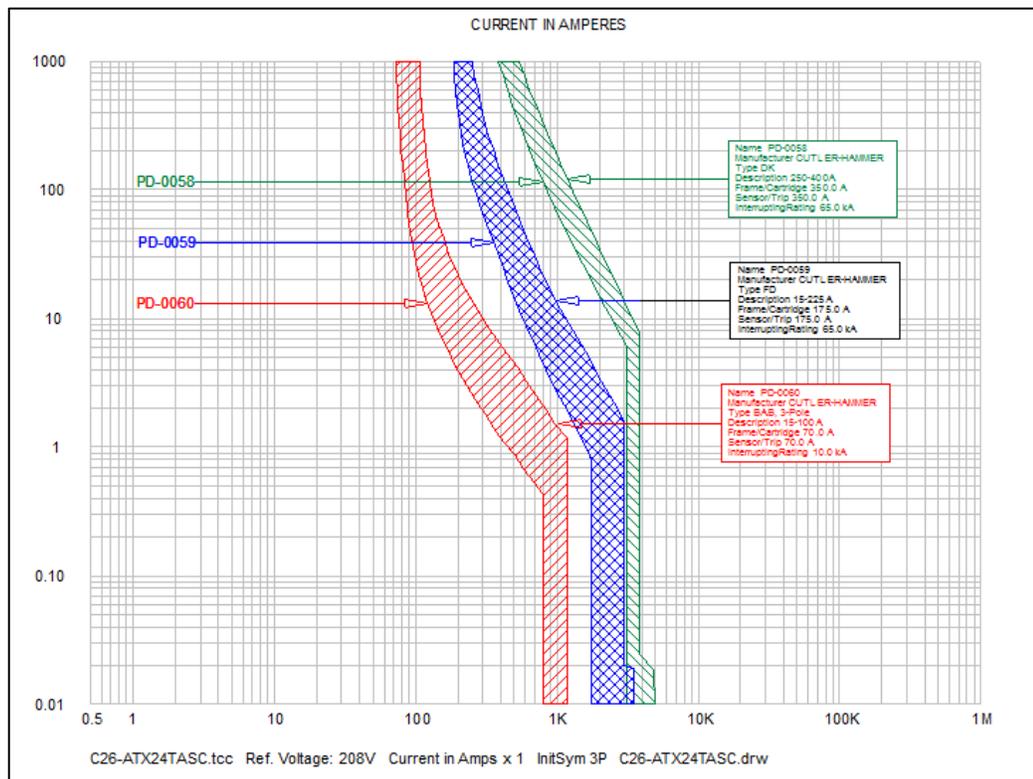


Figura 68 C25-ATX24MASC coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

La Figura 68 representa la curva transpuesta de daño del motor del ascensor del edificio de Administración con la curva del disyuntor inmediato a él; la curva del motor se encuentra por debajo de la del disyuntor por lo que se considera como correcta, este caso es muy similar a los de los demás elevadores que se encuentran en el campus, por lo que se toma como correcta su despeje ante una falla, porque se cumplen las condiciones anteriores.



**Figura 69 C26-ATX24TASC coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.**



**Figura 70 C26-ATX24TASC coordinación de protecciones (Corregida).
Fuente: Software SKM.**

En la Figura 69 se presentan las curvas TCC de los disyuntores aguas arriba del autotransformador del elevador de Administración de Empresas, se nota una inconsistencia en la curva del disyuntor PD-0059, su curva interfiere con la curva del disyuntor aguas abajo, el disyuntor PD-0060.

En este tablero se poseen disyuntores de tipo FD, por lo que se procede a seleccionar un disyuntor del mismo modelo pero con diferente amperaje para que cumpla las condiciones de operación, en la Figura 70 se muestra el disyuntor que cumple las características para operación correctamente ante un evento de corrientes de corto circuito, se cambió el disyuntor actual FD3100 por un disyuntor FD3175 ambos con una capacidad interruptora de 65KA.

En la Figura 71 se presentan las corrientes de fallo en los respectivos buses, los tres tableros donde se encuentran los distintos disyuntores poseen una corriente de fallo ascendente, según el comportamiento de las corrientes y haciendo un análisis de las curvas anteriores se puede concluir con certeza que se cumple con una coordinación selectiva y que las corrientes de corto circuito se despejan de forma selectiva en la zona instantánea, en la parte magnética de cada disyuntor, cabe destacar que el disyuntor PD0058 corresponde a un disyuntor de tipo KD de curva regulable, para que cumpla con una correcta coordinación se setea a un valor máximo de 10ms.

Device Name:	PD-0060	TCC Name:	C26-ATX24TASC.tcc
Bus Name:	TABLERO TN3	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A		
Type:	BAB, 3-Pole		
AIC Rating:	10kA	Fault Duty:	2271.5A
Frame:	BAB 240V 70A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	70A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0059	TCC Name:	C26-ATX24TASC.tcc
Bus Name:	TABLERO TP ADMI	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	3527.3A
Frame:	FD 240V 175A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	175A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0058	TCC Name:	C26-ATX24TASC.tcc
Bus Name:	BUS-0072	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	250-400A		
Type:	DK		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	4919.2A
Frame:	DK 240V 350A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	350A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed)		
	2) INST (5-10 x Trip)	10	(3500A)

Figura 71 Reporte de C26-ATX24TASC.
Fuente: Software SKM.

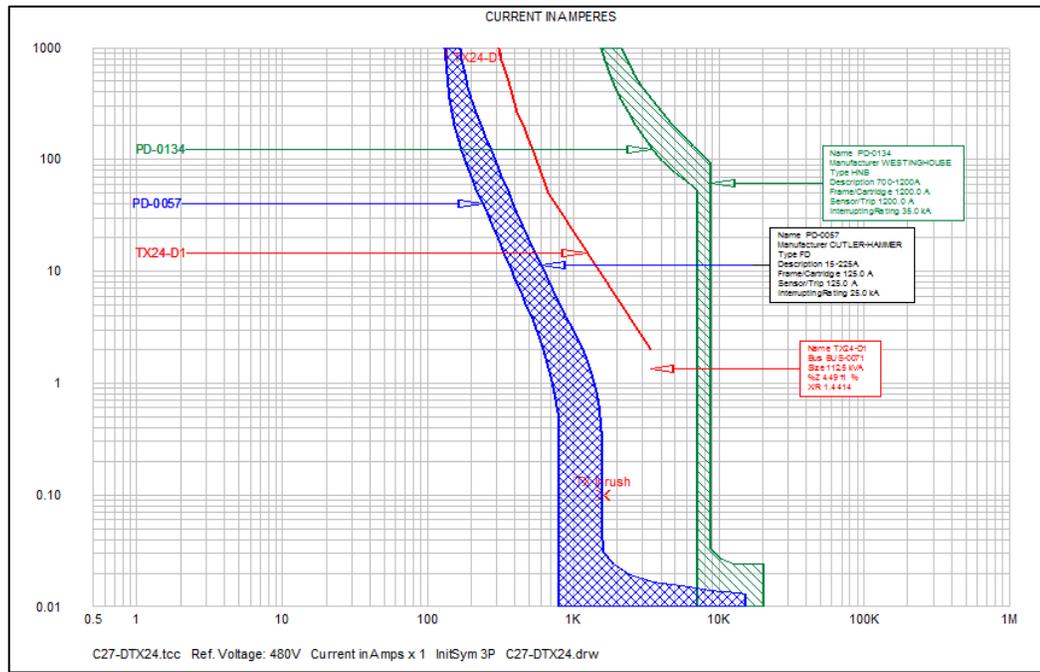


Figura 72 C27-DTX24 coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

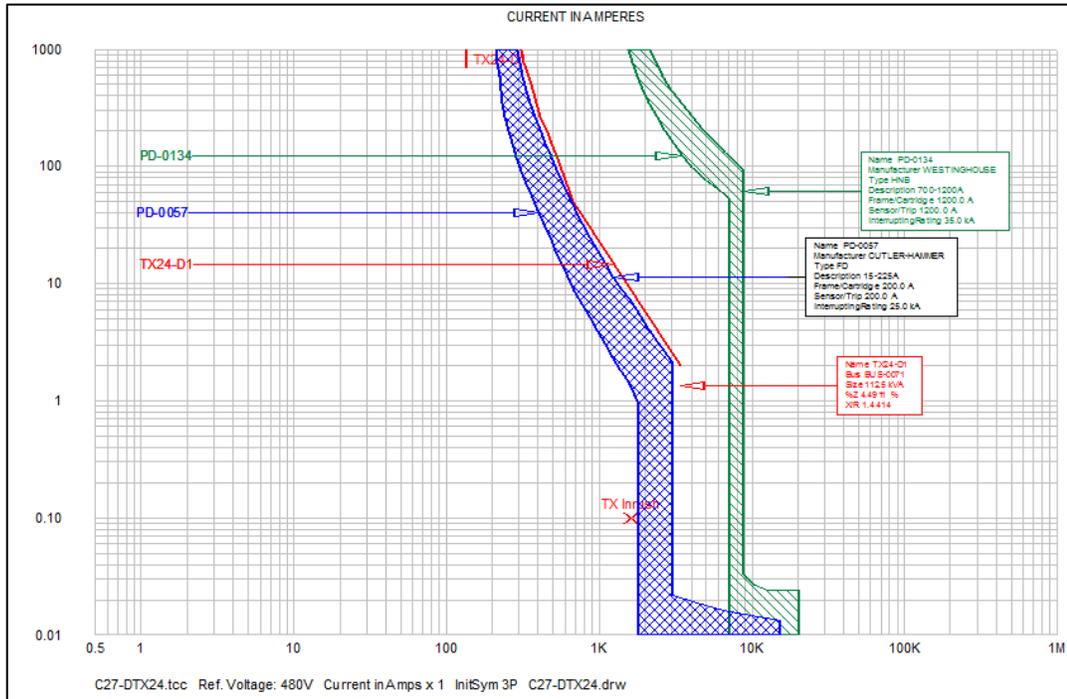


Figura 73 C27-DTX24 coordinación de protecciones (Corregida).
Fuente: Software SKM.

En la Figura 72 se presentan las curvas de los disyuntores aguas arriba del transformador seco del edificio de Administración de Empresas; el disyuntor PD-0057 posee problemas con respecto al inrush del transformador por lo que se procede a corregirlo. Anteriormente en la sección 5.2 se seleccionó este disyuntor en función de su corriente de corto circuito, no obstante en esta sección se muestra que el disyuntor no es capaz de soportar el arranque transformador por lo que se procede a realizar un aumento de la corriente nominal del elemento, en la Figura 73 se muestra el disyuntor que cumple las condiciones de operación. Se sustituyó un disyuntor FD3125 por un FD3175 con 25KA a 480V, en la Figura 74 se presentan las corriente de fallo de los buses, como en los casos anteriores la corriente de fallo se despeja en la zona instantánea de manera correcta, y las condiciones de seteo del disyuntor principal PD-0134

Device Name:	PD-0057	TCC Name:	C27-DTX24.tcc
Bus Name:	BUS-0173	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	25kA	Fault Duty:	15506.6A
Frame:	FD 480V 200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	200A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0134	TCC Name:	C27-DTX24.tcc
Bus Name:	BUS-0177	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	WESTINGHOUSE		
Description:	700-1200A		
Type:	HNB		
AIC Rating:	35kA	Fault Duty:	20439.1A
Frame:	HNB 480V 1200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	1200A		
Setting:	1) LTD		
	2) INST	6.7	(8040A)

Figura 74 Reporte de C27-DTX24
Fuente: Software SKM.

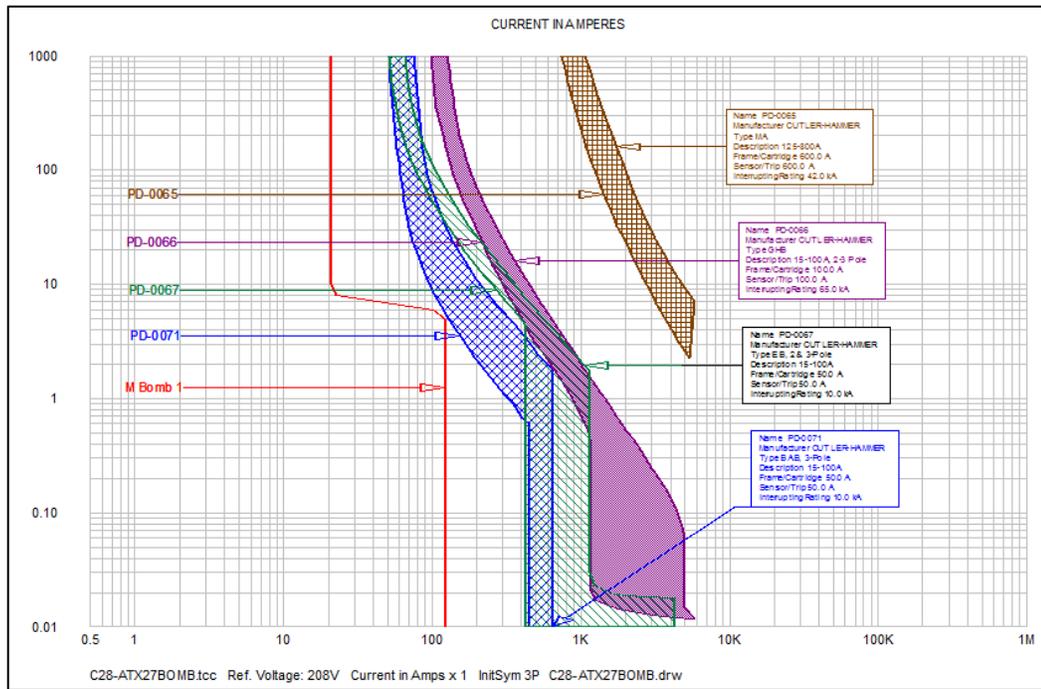


Figura 75 C28-ATX27BOMB coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

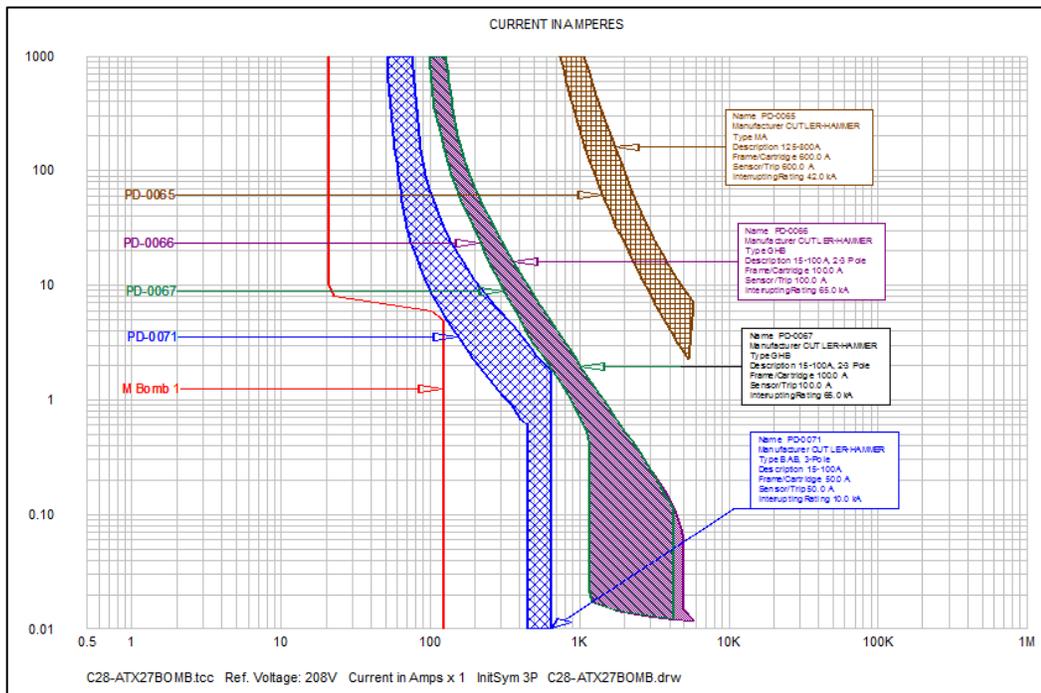


Figura 76 C28-ATX27BOMB coordinación de protecciones. (Corregida).
Fuente: Software SKM.

La Figura 75 representa las curvas de los disyuntores aguas arriba de uno de los motores de las bombas académicas de la escuela de electromecánica, como se muestra en la figura existe un traslape entre la curva del disyuntor PD-0071 con la curva del disyuntor PD0-0067, esto se debe a que como se muestra en el diagrama unifilar utilizado para el estudio en la Figura 121, el disyuntor principal de las tres bombas académicas es del mismo amperaje que la de cada ramal, por lo que está mal dimensionado.

Tomando en cuenta esto, se analiza que el disyuntor PD-0066 se encuentra en serie con el disyuntor PD-0067, por lo que deben ser del mismo valor nominal de amperaje, esto porque interrumpen en el mismo punto en el circuito deshabilitando las cargas de igual manera, por lo que se procede a realizar el dimensionamiento.

En la Figura 76 se muestra la corrección de la curva del disyuntor PD-0067, se sustituye el modelo anterior por el modelo GHB3100 con 65KA a 240V, corrigiendo el posible problema de coordinación.

En la Figura 77 se presenta el reporte de las corrientes de falla en los diferentes buses, estas corrientes reflejadas en las curvas TCC de los disyuntores, muestran que se despejan en la zona instantánea de la parte magnética del disyuntor, por lo que se cumple de manera correcta la coordinación selectiva de las protecciones.

Para el caso del disyuntor PD-0065, su modelo permite la manipulación de la curva de disparo, para que se cumpla una correcta coordinación, se ajusta a su nivel máximo, en este estado la curva no se traslapa manteniendo una coordinación correcta.

Para el caso de las otras dos bombas académicas se cumplen las mismas condiciones de coordinación por lo que se omite su análisis y se concluye como correcto el despeje de la corriente de falla.

Device Name:	PD-0071	TCC Name:	C28-ATX27BOMB.tcc
Bus Name:	VFD	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A		
Type:	8AB, 3-Pole		
AIC Rating:	10kA	Fault Duty:	4144.0A
Frame:	8AB 240V 50A	Curve Multiplier:	1
Trip:	50A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0067	TCC Name:	C28-ATX27BOMB.tcc
Bus Name:	UNIDAD DE BOMBEO	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	4318.1A
Frame:	GHB 240V 100A	Curve Multiplier:	1
Trip:	100A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0066	TCC Name:	C28-ATX27BOMB.tcc
Bus Name:	TABLERO PRINCIPAL TP	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5801.5A
Frame:	GHB 240V 100A	Curve Multiplier:	1
Trip:	100A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0065	TCC Name:	C28-ATX27BOMB.tcc
Bus Name:	TABLERO PRINCIPAL TP	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		

Description:	125-800A	Fault Duty:	5801.5A
Type:	MA	Curve Multiplier:	1
AIC Rating:	42kA		
Frame:	MA 24 0V 800A		
Trip:	800A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed		
	2) INST (5-10 x Trip) 10 (8000A)		

Figura 77 Reporte C28-ATX27BOMB.
Fuente: Software SKM

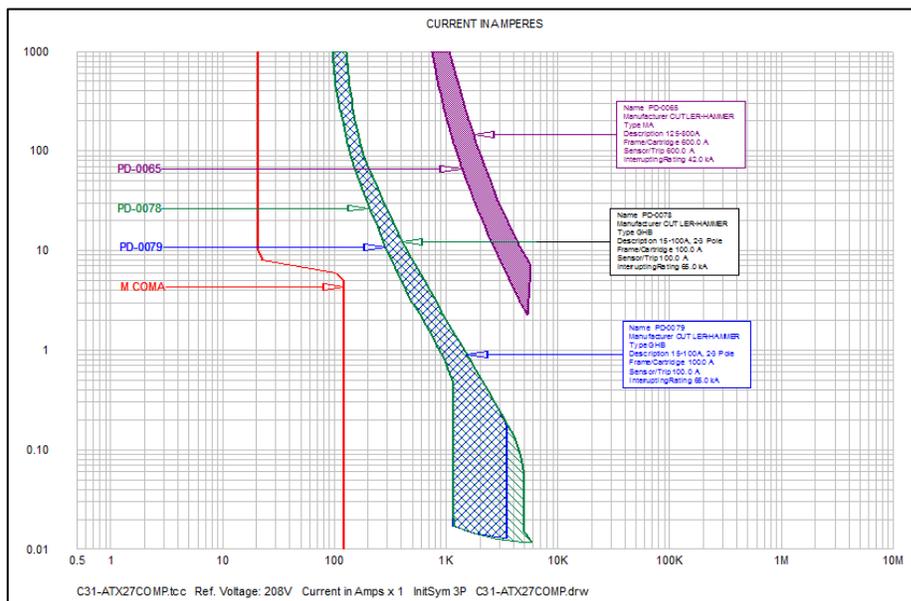


Figura 78 C31-ATX27COMP coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

Device Name:	PD-0079	TCC Name:	C31-ATX27COMP.tcc
Bus Name:	COMPRESOR ACADEMICO	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	3540.5A
Frame:	GHB 240V 100A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	100A		
Setting:	1) Fixed		

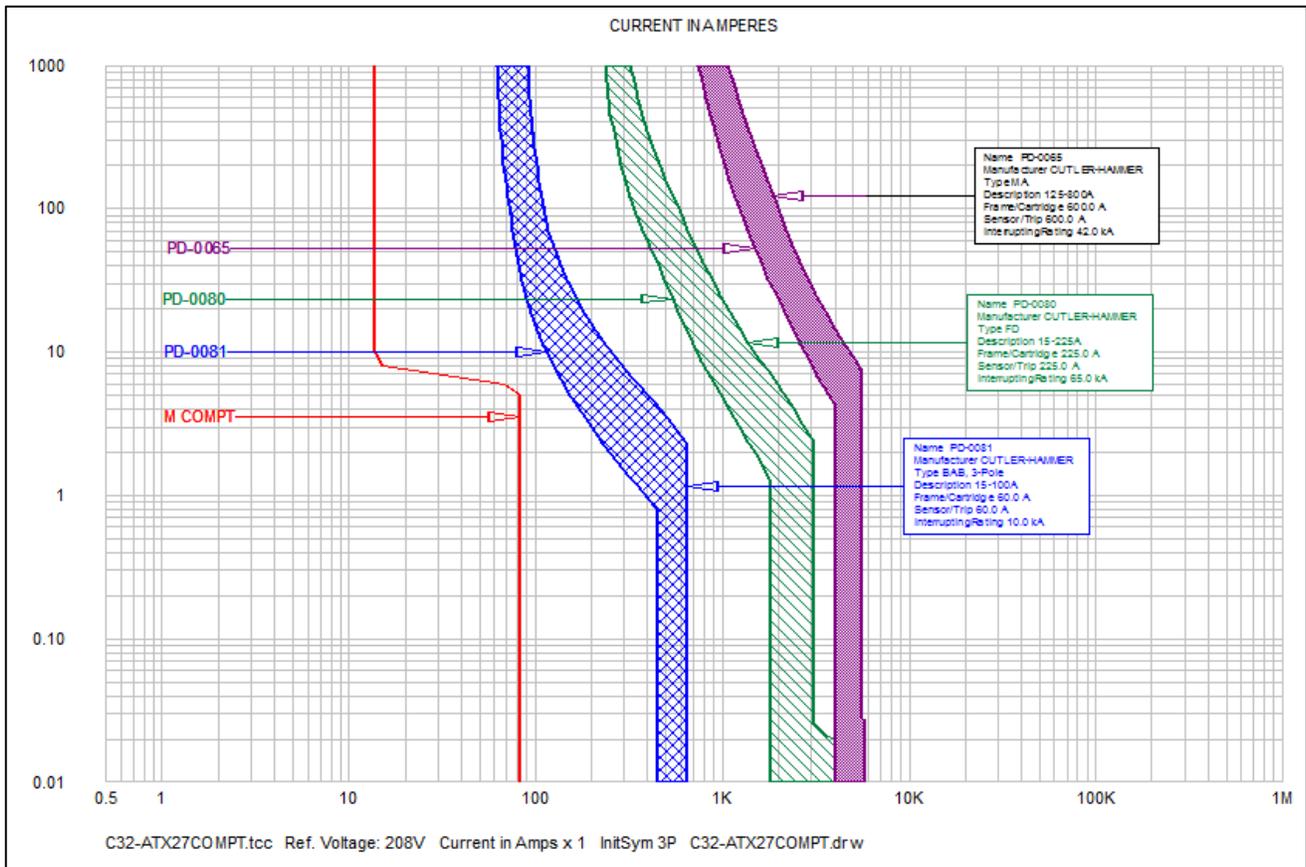
Device Name:	PD-0078	TCC Name:	C31-ATX27COMP.tcc
Bus Name:	TABLERO PRINCIPAL TP	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5801.5A
Frame:	GHB 240V 100A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	100A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0065	TCC Name:	C31-ATX27COMP.tcc
Bus Name:	TABLERO PRINCIPAL TP	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	125-800A		
Type:	MA		
AIC Rating:	42kA	Fault Duty:	5801.5A
Frame:	MA 240V 600A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	600A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed 2) INST (5-10 x Trip) 10 (6000A)		

Figura 79 Reporte de C31-ATX27COMP
Fuente: Software SKM.

En la Figura 78 se muestran las curvas de los disyuntores aguas arriba del compresor académico, del edificio de Electromecánica, estas presentan una coordinación selectiva y como se observa el valor de corriente de fallo presentado en el reporte de la Figura 79 , su magnitud de corrientes de fallo se despeja en la zona instantánea para cada disyuntor garantizando una coordinación selectiva.

Para el caso de las curvas PD-0078 y PD-0079 su traslape es normal porque estos están conectados en serie con una misma magnitud de corriente, por lo que los dos tienen la misma funcionalidad, deshabilitar la misma carga, por lo que se concluye que esta coordinación está en estado correcto.



**Figura 80 C32-ATX27COMPT coordinación de protección.
Fuente: Software SKM.**

En la Figura 80 se presentan las curvas características de los disyuntores aguas arriba del compresor del taller básico, estas curvas presentan una coordinación correcta. En la Figura 81 se muestra el reporte de las corrientes de fallo en los distintos buses; por ejemplo, para la corriente de fallo de 5800 A, la curva que despeja de manera correcta esta falla en la zona instantánea de la parte magnética del disyuntor es el disyuntor PD-0081, se comprueba efectivamente que en ese bus es donde se origina esta magnitud de corriente.

Para el caso del disyuntor PD-0065 se ajustó su tiempo de disparo a 8ms, porque el modelo de este disyuntor permite la manipulación de la curva, para poder cumplir con la correcta selectividad de protecciones ante un evento de fallo.

Device Name:	PD-0081	TCC Name:	C32-ATX27COMPT.tcc
Bus Name:	TABLERO C.E.E	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A		
Type:	BAB, 3-Pole		
AIC Rating:	10kA	Fault Duty:	2118.7A
Frame:	BAB 240V 60A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	60A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0080	TCC Name:	C32-ATX27COMPT.tcc
Bus Name:	TABLERO PRINCIPAL TP	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5801.5A
Frame:	FD 240V 225A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	225A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0065	TCC Name:	C32-ATX27COMPT.tcc
Bus Name:	TABLERO PRINCIPAL TP	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	125-800A		
Type:	MA		
AIC Rating:	42kA	Fault Duty:	5801.5A
Frame:	MA 240V 600A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	600A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed) 2) INST (5-10 x Trip) 10 (6000A)		

Figura 81 Reporte de C32-ATX27COMPT.
Fuente: Software SKM.

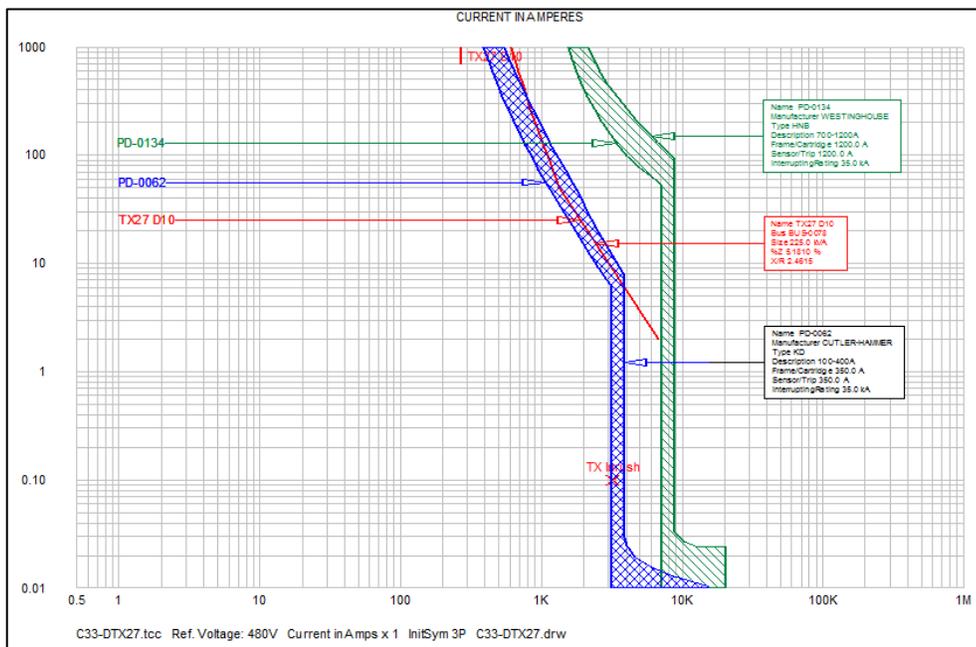


Figura 82 C33-DTX27 coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

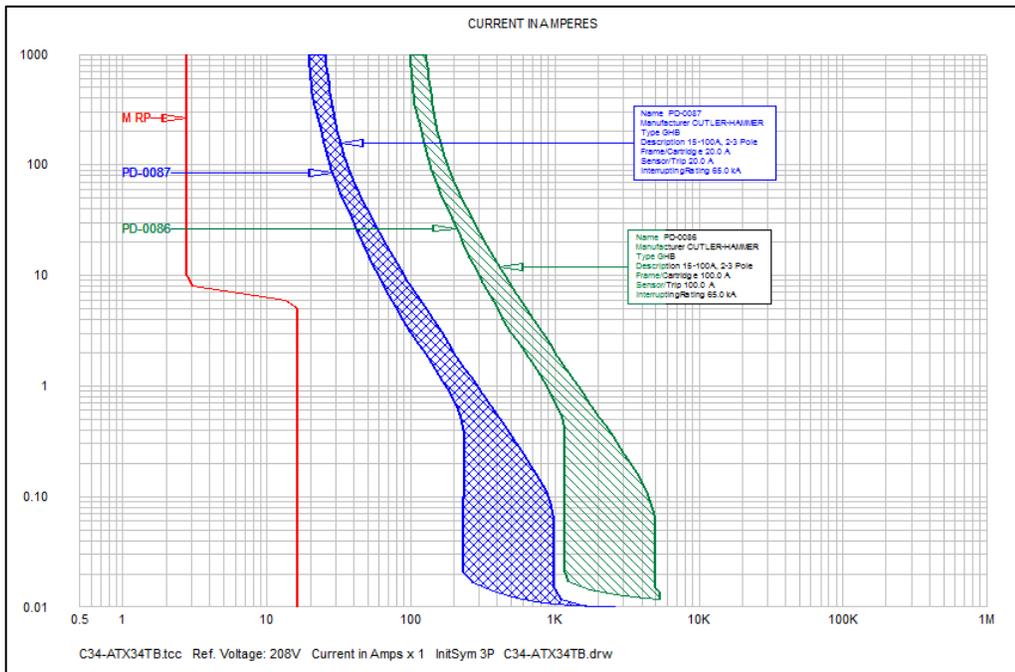
Device Name:	PD-0062	TCC Name:	C33-DTX27.tcc
Bus Name:	BUS-0173	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	35kA	Fault Duty:	15506.6A
Frame:	KD 480V 350A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	350A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed		
	2) INST (5-10 x Trip) 10 (3500A)		

Device Name:	PD-0134	TCC Name:	C33-DTX27.tcc
Bus Name:	BUS-0177	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	WESTINGHOUSE		
Description:	700-1200A		
Type:	HNB		
AIC Rating:	35kA	Fault Duty:	20439.1A
Frame:	HNB 480V 1200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	1200A		
Setting:	1) LTD		
	2) INST 6.7 (8040A)		

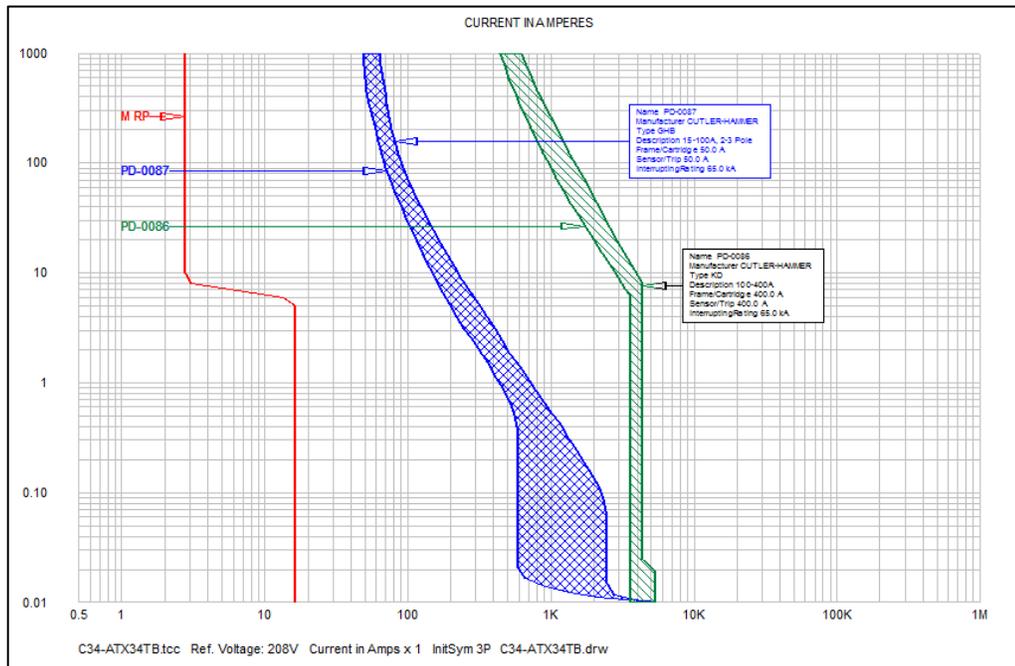
Figura 83 Reporte de C33-DTX27.
Fuente: Software SKM.

En la Figura 82 se presentan las curvas TCC de los disyuntores aguas arriba del transformador seco de la escuela de electromecánica, estas gráficas presentan una coordinación correcta, en el reporte de Figura 83 se presentan las corrientes de fallo de los buses donde estos disyuntores se encuentran, para el caso de la barra principal de distribución se presenta el valor 15507 A de corriente fallo, el disyuntor ahí instalado PD-0062 está diseñado para disipar la corriente de fallo antes de 0.01s de transcurrida la falla en la zona de disparo instantáneo.

Para el caso del disyuntor principal PD-0134 se mantiene seteado su curva de disparo a 6.7 ms, para mantener una coordinación selectiva, de igual forma que para los casos anteriores donde se toma encuentra el disyuntor principal para la coordinación.



**Figura 84 C34-ATX34TB MRP coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.**



**Figura 85 C34-ATX34TB MRP coordinación de protecciones (Corregida).
Fuente: Software SKM.**

La Figura 84 representa las curvas TCC de los disyuntores aguas arriba del motor de la rectificadora plana ubicada en el taller básico, no presenta una coordinación selectiva y las corrientes presentadas en el reporte de la Figura 86 son en promedio 5000 A, lo cual haciendo el análisis respectivo, esta se nota que no se despeja de manera correcta en la zona instantánea y ambas curvas están fuera de rango de la corriente de carga. Se procede a hacer la sustitución de disyuntores para cumplir las condiciones idóneas de operación, se selecciona para PD-0086 un modelo KD3400 con 65KA a 240V y para PD-0087 un modelo GHB050 con 65KA a 240V. En la Figura 85 se presentan las curvas corregidas y se denota que la corriente de corto circuito se despeja de manera correcta en la zona instantánea de los disyuntores.

Device Name:	PD-0087	TCC Name:	C34-ATX34TB.tcc
Bus Name:	TABLERO B	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5055.2A
Frame:	GHB 240V 50A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	50A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0086	TCC Name:	C34-ATX34TB.tcc
Bus Name:	TABLERO DISTRIBUIDOR TA	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5396.4A
Frame:	KD 240V 400A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	400A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed		
	2) INST (5-10 x Trip) 10 (4000A)		

**Figura 86 Reporte de C34-ATX34TB MRP.
Fuente: Software SKM.**

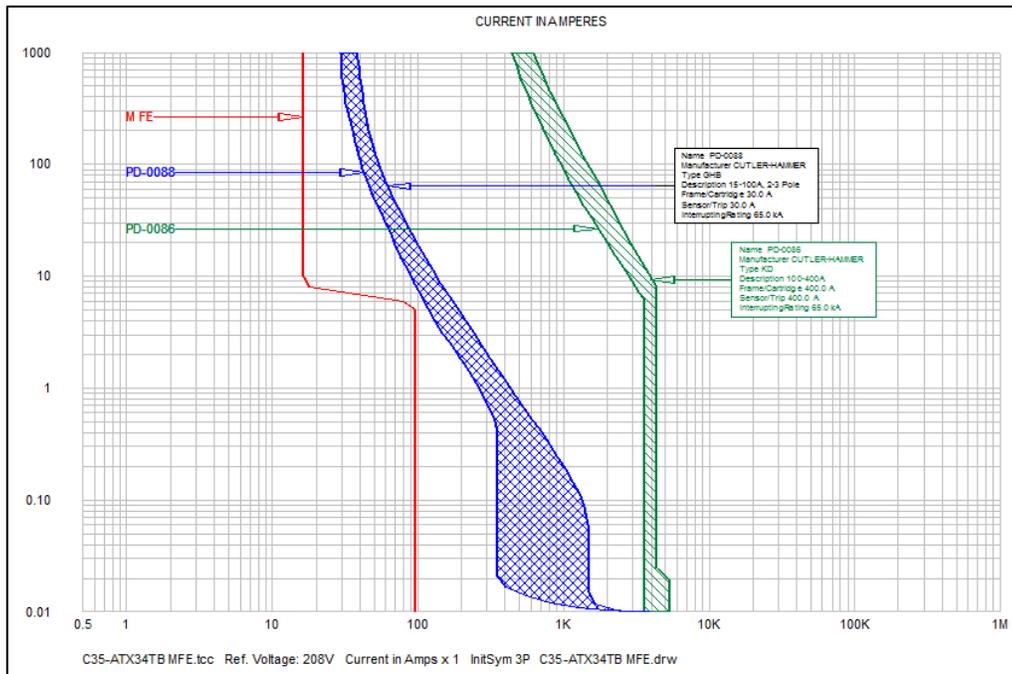


Figura 87 C35-ATX34TB MFE coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

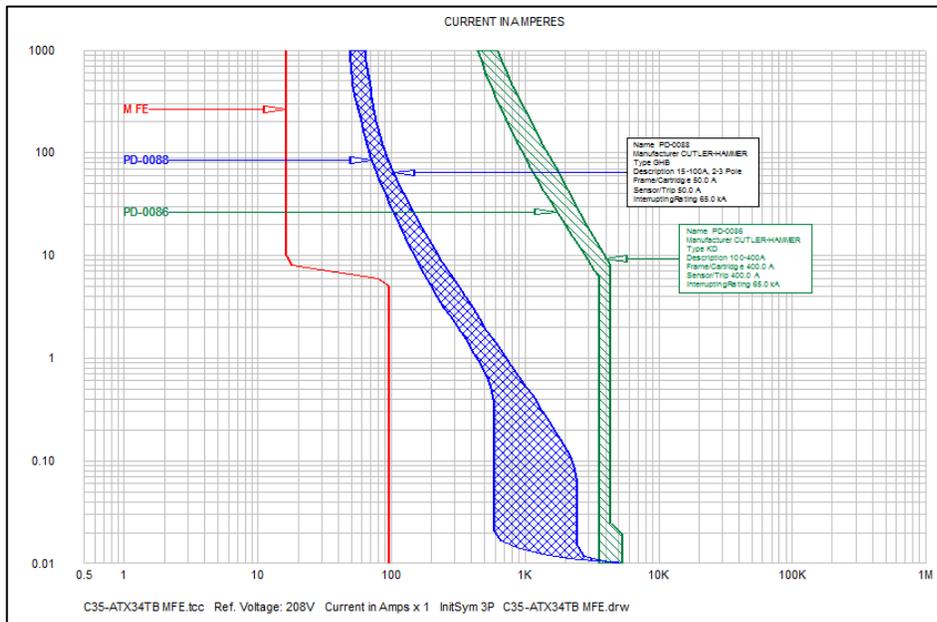


Figura 88 C35-ATX34TB MFE coordinación de protecciones. (Corregida).
Fuente: Software SKM.

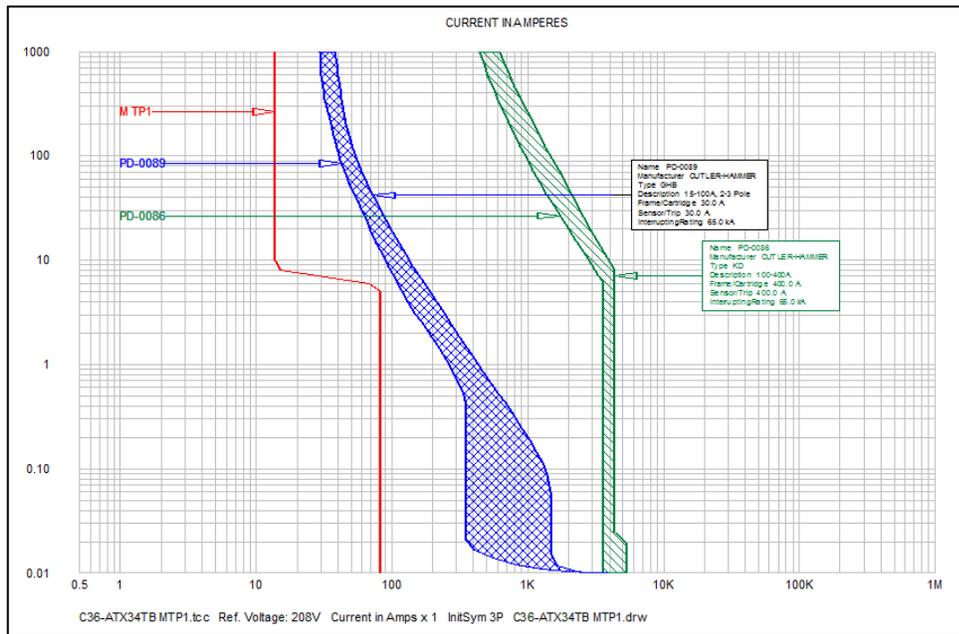
En la Figura 87 se muestran las curvas de los disyuntores aguas arriba de la fresadora Eliot, se muestra inconsistencias respecto a la curva del disyuntor PD-0086 con la curva del disyuntor PD-0088, por lo que se procede a dimensionar el disyuntor de forma correcta para que cumpla con las condiciones de operación.

En la Figura 88 se muestra la curva del disyuntor seleccionado, se hizo la sustitución del disyuntor GHB3020 por el disyuntor GHB050 con 65KA a 240V. Con la implementación del nuevo disyuntor se observa que con la curva TCC del PD-0088 no hay problemas de curvas transpuestas, además la corriente de fallo que se presenta en el reporte de la Figura 89, se despeja de manera favorable en la zona instantánea por lo que se concluye con una coordinación selectiva.

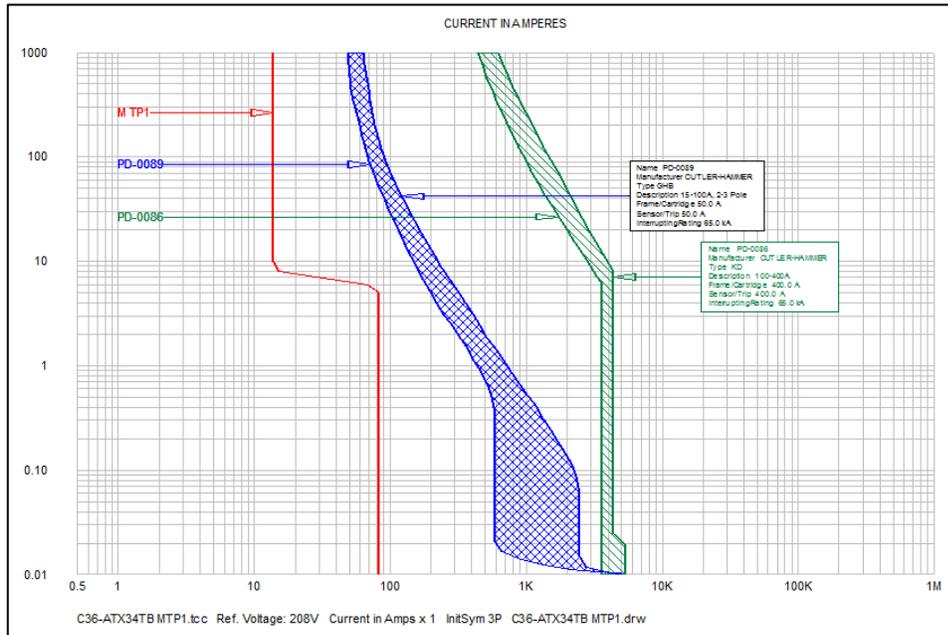
Device Name:	PD-0088	TCC Name:	C35-ATX34TB MFE.tcc
Bus Name:	TABLERO B	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5055.2A
Frame:	GHB 240V 50A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	50A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0086	TCC Name:	C35-ATX34TB MFE.tcc
Bus Name:	TABLERO DISTRIBUIDOR TA	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5396.4A
Frame:	KD 240V 400A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	400A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed)		
	2) INST (5-10 x Trip) 10 (4000A)		

Figura 89 Reporte de C35-ATX34TB MFE.
Fuente: Software SKM.



**Figura 90 C36-ATX34TB MTP1 coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM**



**Figura 91 C36-ATX34TB MTP1 coordinación de protecciones (Corregida).
Fuente: Software SKM.**

Device Name:	PD-0089	TCC Name:	C36-ATX34TB MTP1.tcc
Bus Name:	TABLERO B	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5055.2A
Frame:	GHB 240V 50A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	50A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0086	TCC Name:	C36-ATX34TB MTP1.tcc
Bus Name:	TABLERO DISTRIBUIDOR TA	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5396.4A
Frame:	KD 240V 400A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	400A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed		
	2) INST (5-10 x Trip)	10	(4000A)

Figura 92 Reporte de C36-ATX34TB MTP1
Fuente: Software SKM.

En la Figura 90 se presentan las curvas de los disyuntores aguas arriba del torno paralelo 1 del taller básico, se presentan inconsistencias pues la corriente de falla presentada en el reporte de la Figura 92 no es despejada de manera correcta por el primer dispositivo por lo que se procede a seleccionar un disyuntor de amperaje mayor sin variar su modelo, esto para aproximar más la curva TCC y que se puede realizar la coordinación selectiva.

De igual forma que para el torno paralelo 1, el torno paralelo 2 presenta las mismas características por lo que se omite su análisis, pero realizando la sustitución del disyuntor PD-0090 por el modelo correcto GHB3050 con capacidad de 65KA a 240V, esto porque la curva del disyuntor anterior no despejaba de manera correcta la falla, con el nuevo disyuntor dimensionado se despeja la falla en la zona magnética.

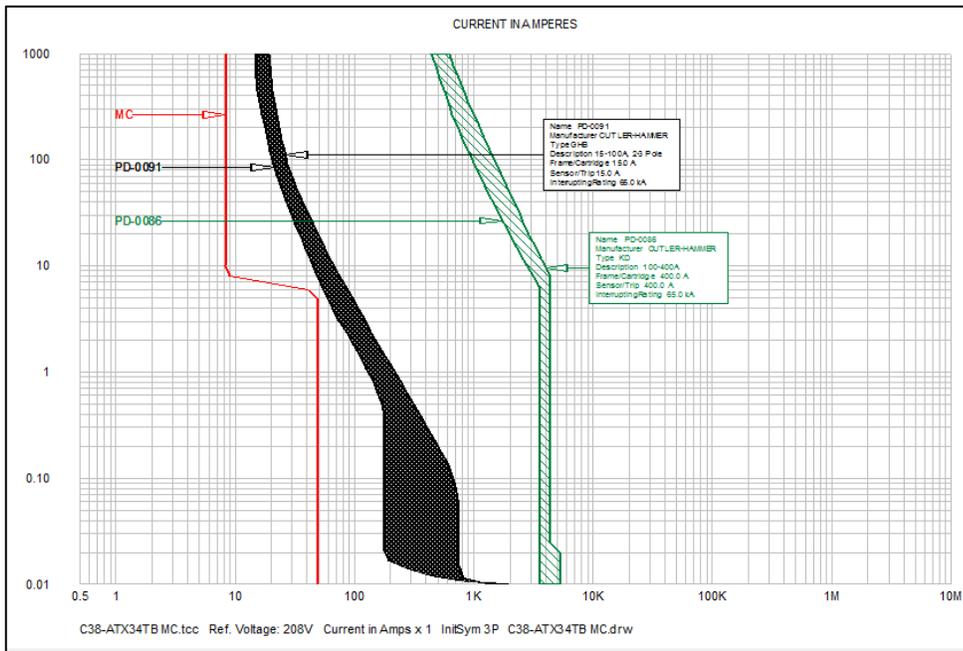


Figura 93 C38-ATX34TB MC coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

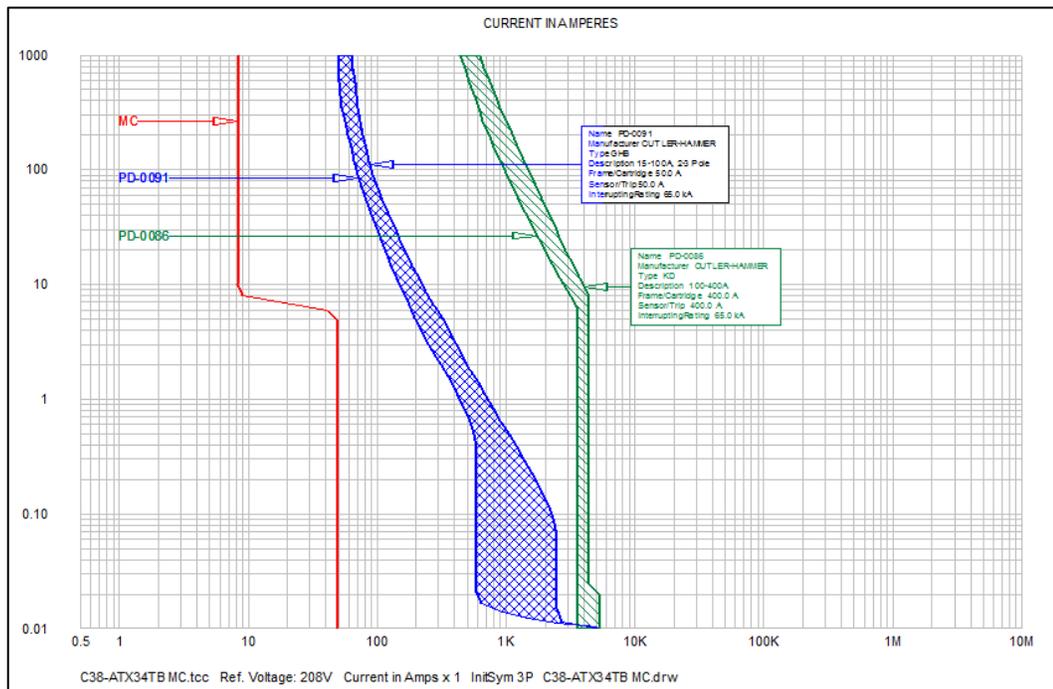


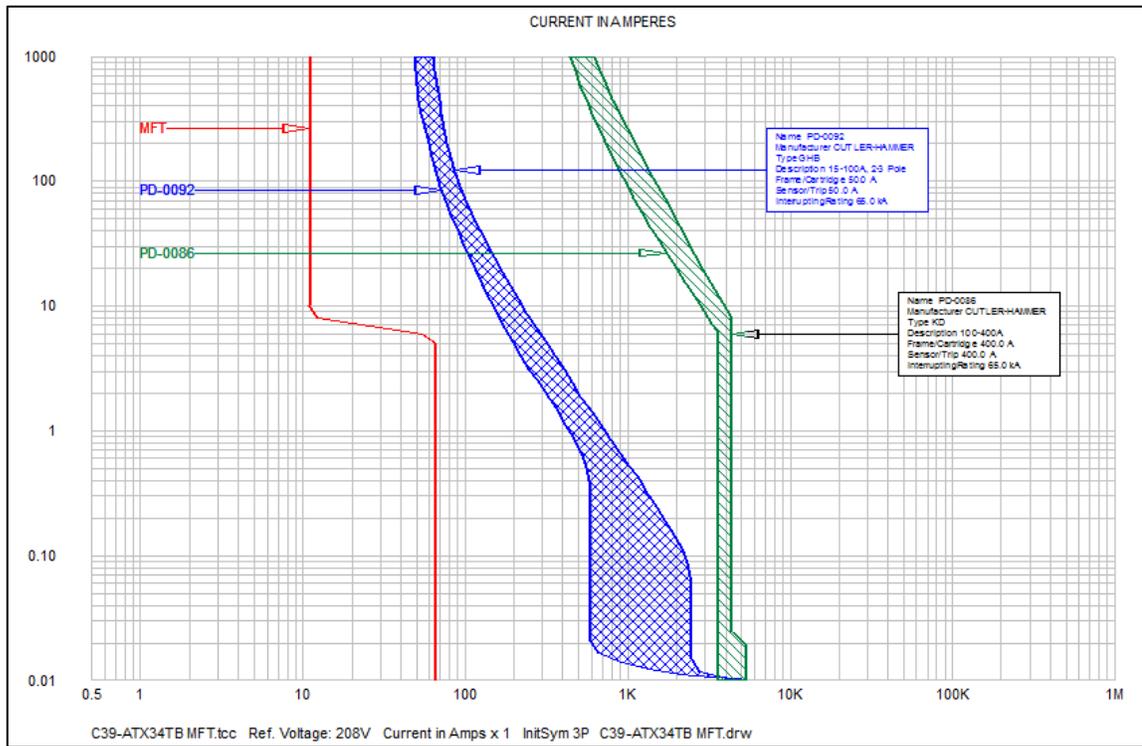
Figura 94 C38-ATX34TB MC coordinación de protecciones. (Corregida).
Fuente: Software SKM.

Device Name:	PD-0091	TCC Name:	C38-ATX34TB MC.tcc
Bus Name:	TABLERO B	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5055.2A
Frame:	GHB 240V 50A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	50A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0086	TCC Name:	C38-ATX34TB MC.tcc
Bus Name:	TABLERO DISTRIBUIDOR TA	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5396.4A
Frame:	KD 240V 400A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	400A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed		
	2) INST (5-10 x Trip)	10	(4000A)

**Figura 95 Reporte de C38-ATX34TB MC.
Fuente: Software SKM.**

En la Figura 93 se presentan las curvas TCC de los disyuntores aguas arriba del cepillo industrial localizado en el taller básico de la escuela electromecánica, la curva del disyuntor PD-0091 posee el inconveniente de no despejar la corriente de cortocircuito en la zona magnética. Por lo que se debe realizar la selección del dispositivo que actúa de forma correcta ante un evento de corto circuito, por lo que se procedió a aumentar el amperaje nominal manteniendo el mismo modelo. Se sustituyó por el modelo GHB3050 con 65KA a 240V. El comportamiento de la nueva curva se puede observar en la Figura 94 y la corriente despejada de manera coordinada se presenta en el reporte en la Figura 95.



**Figura 96 C39-ATX34TB MFT coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.**

Device Name:	PD-0092	TCC Name:	C39-ATX34TB MFT.tcc
Bus Name:	TABLERO B	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5055.2A
Frame:	GHB 240V 50A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	50A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0086	TCC Name:	C39-ATX34TB MFT.tcc
Bus Name:	TABLERO DISTRIBUIDOR TA	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5396.4A
Frame:	KD 240V 400A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	400A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed)		
	2) INST (5-10 x Trip) 10 (4000A)		

**Figura 97 Reporte C39-ATX34TB MFT.
Fuente: Software SKM.**

La Figura 96 presenta las curvas de los disyuntores aguas arriba de la fresadora Torreta del taller básico de electromecánica, las curvas presentan una coordinación selectiva por el comportamiento de la corriente de fallo que se presenta en el reporte de la Figura 97 para ambos buses donde se localizan los disyuntores.

Las corrientes de fallo se despejan en la zona magnética de los disyuntores, de forma selectiva, por lo que se concluye que la coordinación es selectiva para este ramal del tablero B del taller básico.

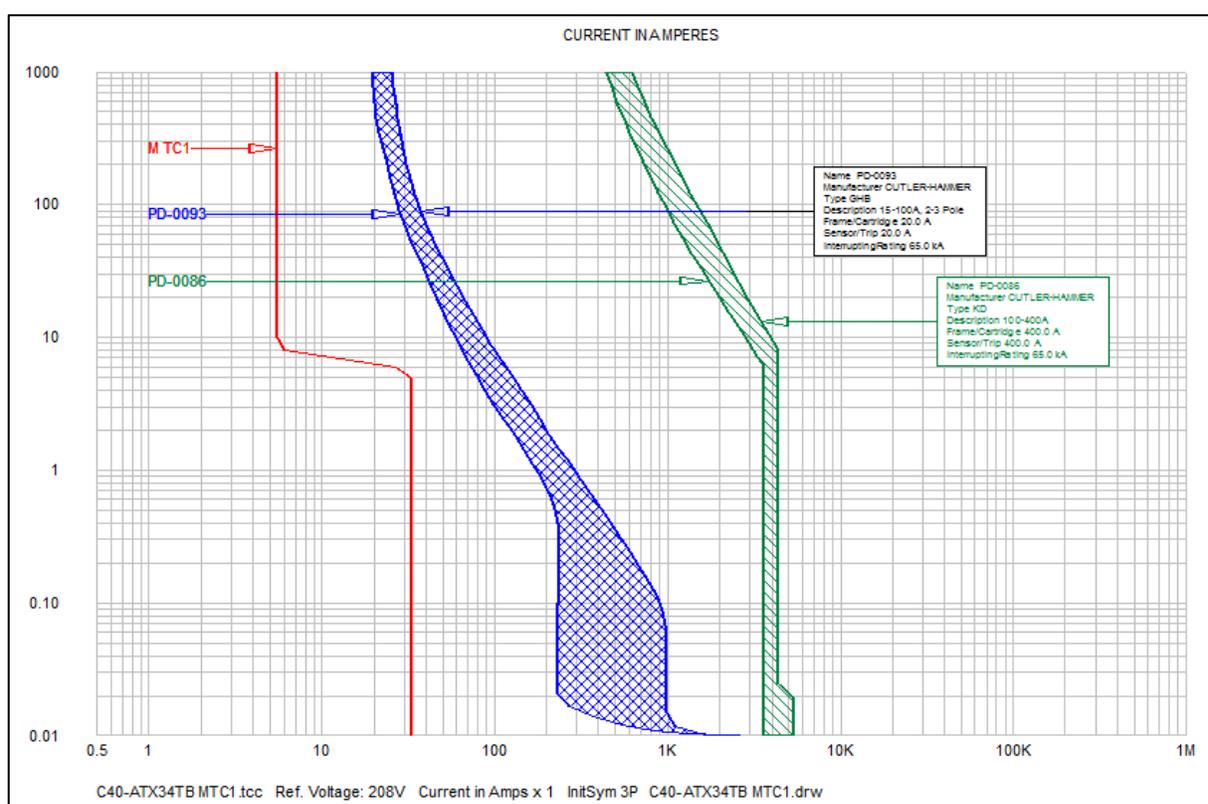


Figura 98 C40-ATX34TB MTC1 coordinación de protecciones
Fuente: Software SKM.

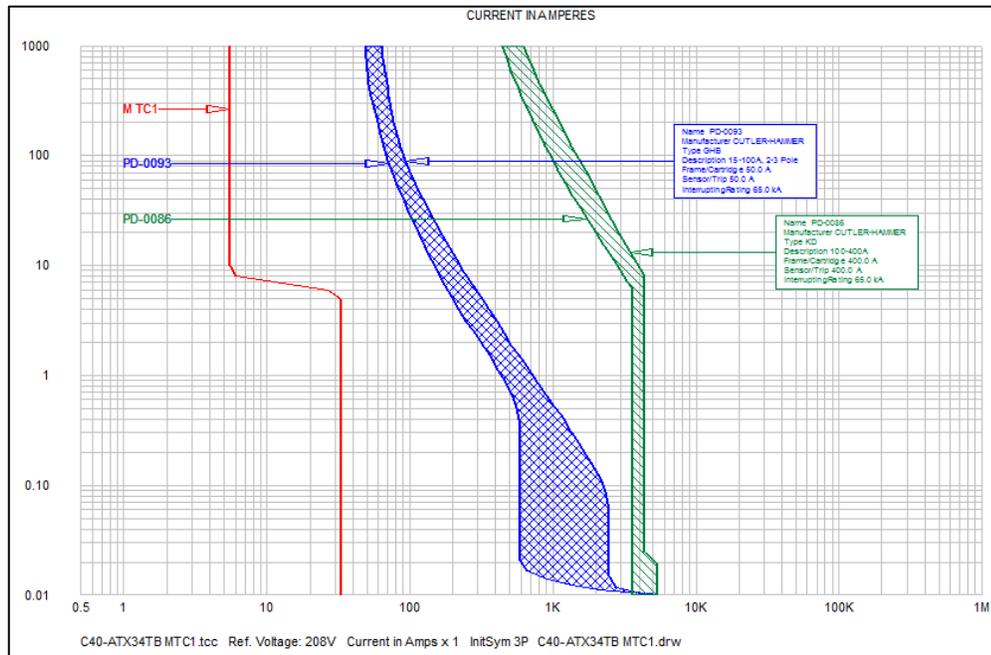


Figura 99 C40-ATX34TB MTC1 coordinación de protecciones (Corregida)
Fuente: Software SKM.

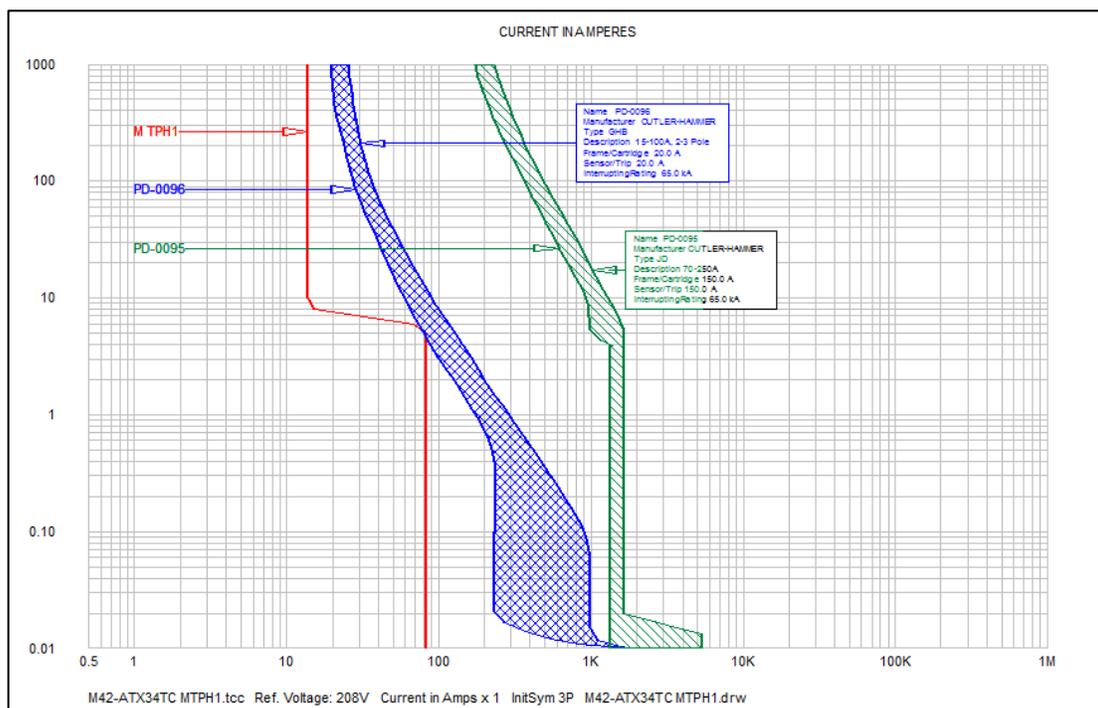
Device Name:	PD-0093	TCC Name:	C40-ATX34TB MTC1.tcc
Bus Name:	TABLERO B	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5055.2A
Frame:	GHB 240V 50A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	50A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0086	TCC Name:	C40-ATX34TB MTC1.tcc
Bus Name:	TABLERO DISTRIBUIDOR TA	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5396.4A
Frame:	KD 240V 400A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	400A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed)		
	2) INST (5-10 x Trip)	10	(4000A)

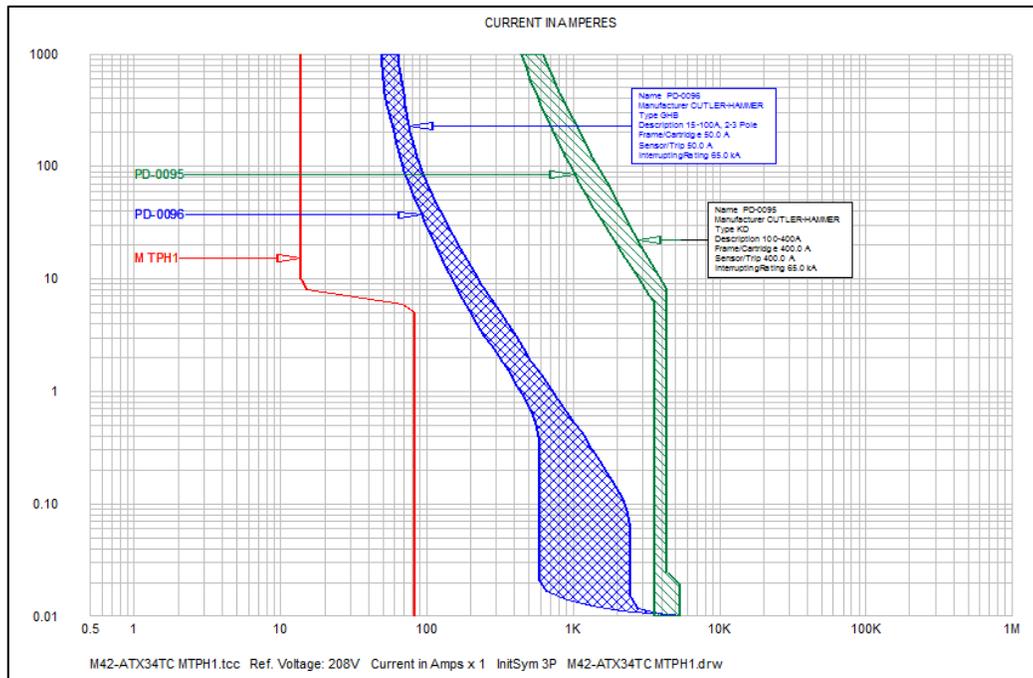
Figura 100 Reporte C40-ATX34TB MTC1.
Fuente: Software SKM.

De igual forma que para los otros motores que se encontraban en el tablero TB, el disyuntor que se encuentra instalado no cumple con las condiciones para aislar la falla que se puede generar en este bus, por lo que se procedió a dimensionar el disyuntor para coordinar las protecciones. El disyuntor que se modificó su capacidad nominal de amperaje fue el disyuntor PD-0093, el elemento sustituto mantiene el mismo modelo pero con distinta capacidad nominal y corresponde a GHB3050 con 65KA a 240V. Este está en capacidad de despejar la corriente de falla reportada en el informe de la Figura 100 en la zona de disparo instantáneo de la parte magnética del disyuntor termo-magnético.

Para el caso del motor del taladro de columna 2 se cumple La misma característica, por lo que se omite su análisis, y se debe aumentar la capacidad nominal de amperaje del disyuntor en fallo, el disyuntor sustituido es el PD-0094 y el modelo seleccionado para él es GHB3050 con 65KA a 240V.



**Figura 101 C42-ATX34TC MTPH1 coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM**



**Figura 102 C42-ATX34TC MTPH1 coordinación de protecciones (Corregida).
Fuente: Software SKM.**

Device Name:	PD-0096	TCC Name:	M42-ATX34TC MTPH1.tcc
Bus Name:	TABLERO C TALLER	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5069.0A
Frame:	GHB 240V 50A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	50A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0095	TCC Name:	M42-ATX34TC MTPH1.tcc
Bus Name:	TABLERO DISTRIBUIDOR TA	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5396.4A
Frame:	KD 240V 400A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	400A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed		
	2) INST (5-10 x Trip) 10 (4000A)		

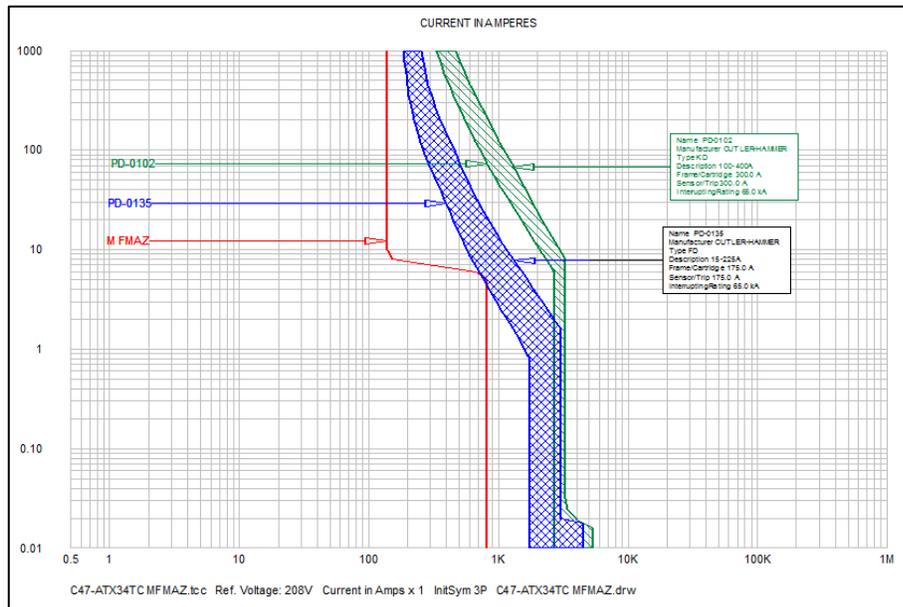
**Figura 103 Reporte de C42-ATX34TC MTPH1.
Fuente: Software SKM.**

En la Figura 101 se presentan las curvas de los disyuntores aguas arriba del torno paralelo Harrison en el tablero TC, como se mostró en la figura se tiene inconvenientes respecto a la curva de PD-0096, esta se encuentra en contacto con la curva de daño del motor, por lo tanto se debe modificar para evitar problemas de coordinación, además el disyuntor principal presenta problemas cuando se aumenta la capacidad nominal del disyuntor PD-0096 por lo que se procedió a modificar su modelo y capacidad nominal.

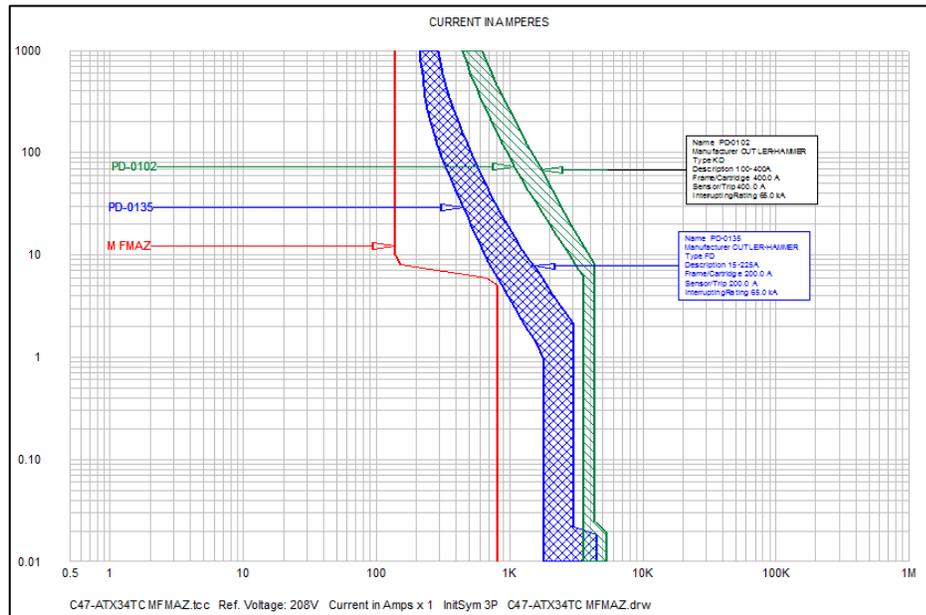
Los modelos seleccionados fueron para PD-0095 un KD3400 con 65KA a 240V y para PD-0096 un GHB3050 con 65KA a 240V; el comportamiento de estos se presenta en la Figura 102, se muestra una coordinación correcta y además las corrientes de corto circuito mostradas en el reporte de la Figura 103 se despejan en la zona magnética en los primeros milisegundos de transcurrida la falla, por lo que se concluye que existe una coordinación selectiva en este ramal. Para el caso del torno paralelo Harrison 2, se cumple la misma condición, por lo tanto se procede a seleccionar el modelo del disyuntor PD-0097, este es GHB350 con 65KA a 240V.

Para los equipos que se encuentran en este tablero se cumplen las mismas características, estas poseían problemas al tener transpuesta la curva del disyuntor inmediato con la curva de daño del motor, o poseían el problema de que la corriente de corto circuito no era percibida por el disyuntor inmediato al equipo, por motivos de comodidad se omite el análisis de estos ramales, pues ya se comprobó cual era el estado de fallo y va a ser el mismo para los distintos equipos que seguían en estudio.

Los disyuntores a los que se modificaron su capacidad nominal, pero se mantuvo de modelo y frame fueron: PD-0098, PD-0128, PD-0129 y PD-0130, todos estos se les sustituyo por el siguiente modelo, el GHB3050 con 65KA a 240V. Este modelo cumple con las condiciones de fallo, la primera era es que la curva de fallo intersecaba la curva del disyuntor inmediato y la segunda es que la corriente de fallo que se presenta en el bus no era percibida en la curva característica TCC del disyuntor.



**Figura 104 C47 ATX34TCNC MFMAZ coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.**



**Figura 105 C47 ATX34TCNC MFMAZ coordinación de protecciones (Corregida).
Fuente: Software SKM.**

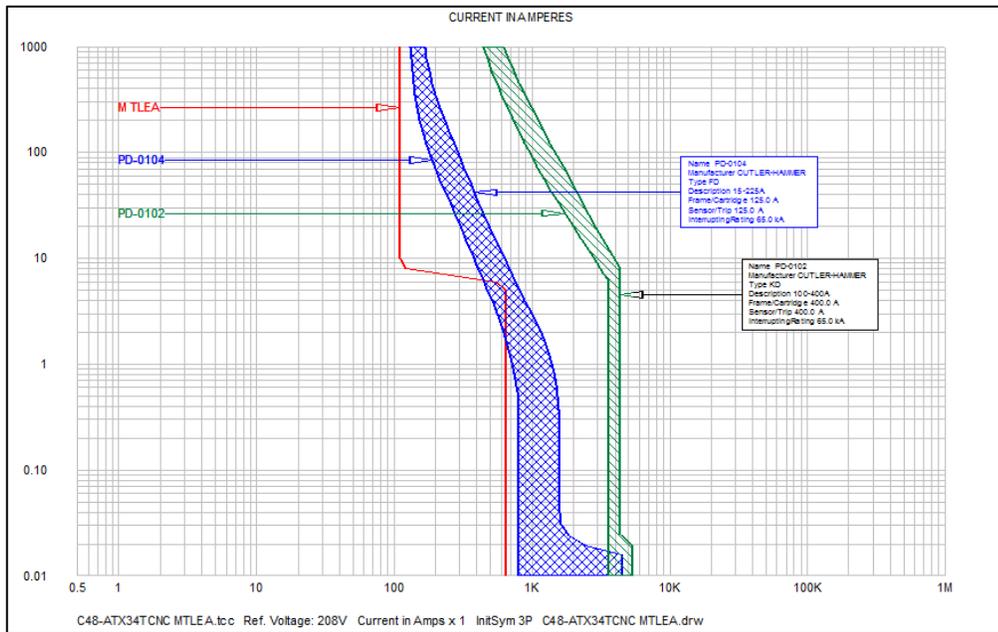
Device Name:	PD-0135	TCC Name:	C47-ATX34TC MFMAZ.tcc
Bus Name:	TABLERO CNC	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	4573.6A
Frame:	FD 240V 200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	200A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0102	TCC Name:	C47-ATX34TC MFMAZ.tcc
Bus Name:	TABLERO DISTRIBUIDOR TA	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5396.4A
Frame:	KD 240V 400A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	400A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed		
	2) INST (5-10 x Trip)	10	(4000A)

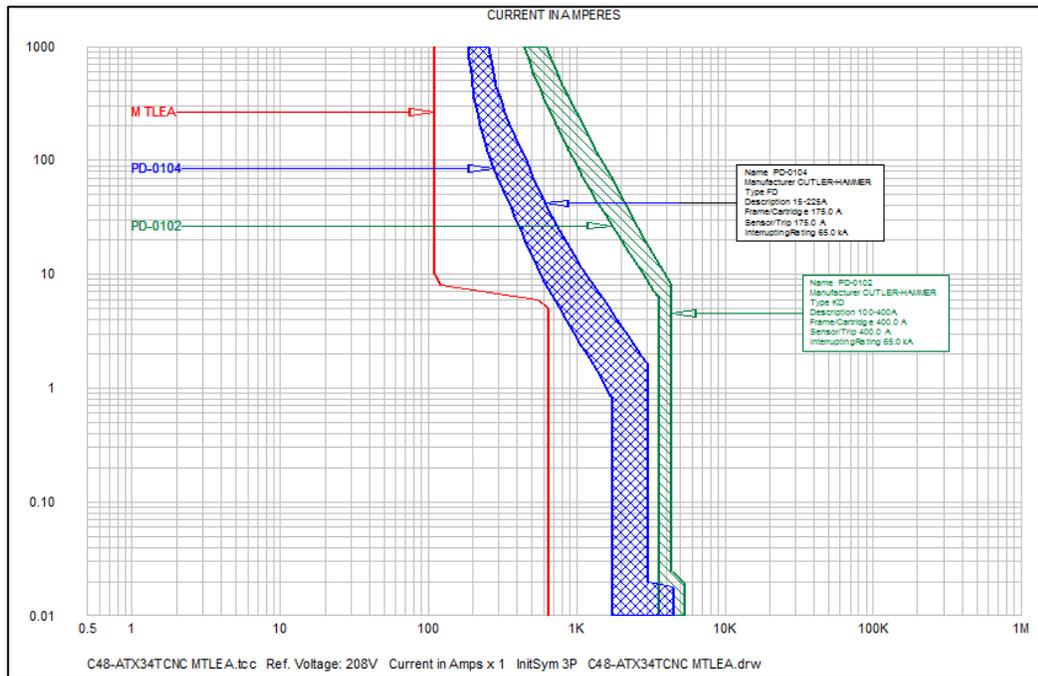
**Figura 106 Reporte C47 ATX34TCNC MFMAZ.
Fuente: Software SKM.**

La Figura 104 muestra las curvas de los disyuntores aguas arriba de la fresadora CNC, este muestra que los disyuntores que actualmente se encuentran instalados no son capaces de coordinar selectivamente en caso de existir en evento de corrientes de corto circuito y que además el disyuntor PD-0135 está en contacto con la curva de fallo del equipo, por lo que se procede a realizar la sustitución de los elementos por los disyuntores que garanticen una correcta coordinación.

En la Figura 105 se muestran las curvas de los elementos seleccionados para cumplir con las condiciones de operación correcta, se dimensionó el disyuntor y se mantuvo el modelo instalado, los disyuntores son para PD-0135 un FD3200 y para PD-0102 un KD3400 ambos con 65KA de corriente de interrupción para 240V. Además las corrientes de fallo presentadas en el reporte de la Figura 106 se despejan de manera correcta en la zona instantánea de cada disyuntor.



**Figura 107 C48-ATX34TCNC MTLEA coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.**



**Figura 108 C48-ATX34TCNC MTLEA coordinación de protecciones (Corregida).
Fuente: Software SKM**

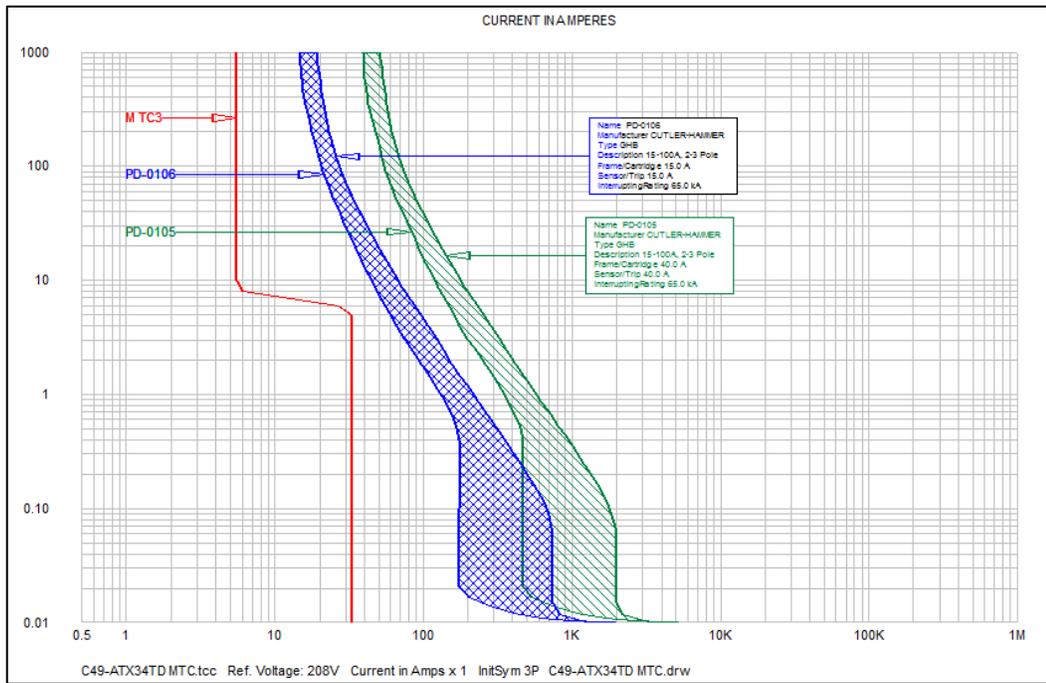
Device Name:	PD-0104	TCC Name:	C48-ATX34TCNC MTLEA.tcc
Bus Name:	TABLERO CNC	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	4573.6A
Frame:	FD 240V 175A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	175A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0102	TCC Name:	C48-ATX34TCNC MTLEA.tcc
Bus Name:	TABLERO DISTRIBUIDOR TA	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5396.4A
Frame:	KD 240V 400A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	400A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed		
	2) INST (5-10 x Trip)	10	(4000A)

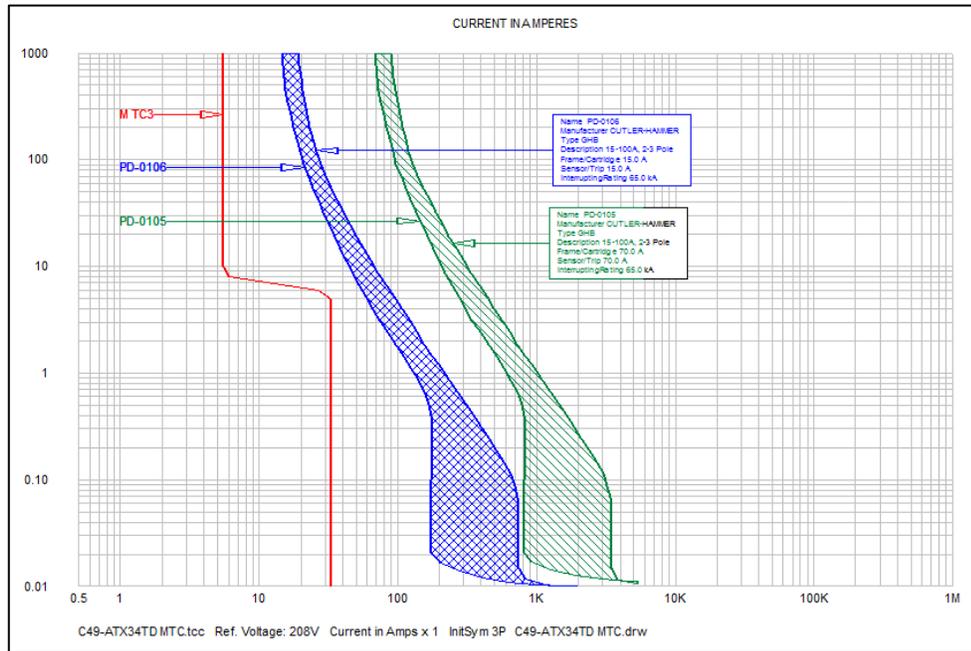
Figura 109 Reporte de C48-ATX34TCNC MTLEA.
Fuente: Software SKM.

En la Figura 107 se presentan las curvas características de los disyuntores que forman parte del ramal al cual pertenece el torno CNC, este muestra un problema con la curva del disyuntor PD-0104, este choca con la curva de daño del motor, por lo que se procede a hacer la sustitución del disyuntor por uno que cumpla la condición operacional correcta.

En la Figura 108 se muestra la curva del disyuntor que cumple con esta condición, se procedió a aumentar el valor nominal de amperaje del disyuntor manteniendo su modelo, por lo que se seleccionó para PD-0104 un FD3175 con 65KA a 240V, además para este disyuntor la corriente de corto circuito presentada en el reporte de la Figura 109 se despeja de manera correcta en la zona instantánea de la parte magnética del disyuntor.



**Figura 110 C49-ATX34TD MTC3 coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.**



**Figura 111 C49-ATX34TD MTC3 coordinación de protecciones (Corregida)
Fuente: Software SKM.**

Device Name:	PD-0106	TCC Name:	C49-ATX34TD MTC.tcc
Bus Name:	TABLERO D	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	4796.2A
Frame:	GHB 240V 15A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	15A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0105	TCC Name:	C49-ATX34TD MTC.tcc
Bus Name:	TABLERO DISTRIBUIDOR TA	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-100A, 2-3 Pole		
Type:	GHB		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5396.4A
Frame:	GHB 240V 70A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	70A		
Setting:	1) Fixed		

**Figura 112 Reporte de C49-ATX34TD MTC3.
Fuente: Software SKM.**

En la Figura 110 se muestran las curvas de los disyuntores aguas arriba de taladro de columna 3, este posee un traslape de la curva del disyuntor PD-0105 con la del disyuntor PD-0106 por lo que se procede a hacer la respectiva corrección, se aumenta su valor nominal de corriente, el disyuntor seleccionado es GHB3070 con 65KA a 240V.

El comportamiento de esta curva se observa en la Figura 111, se logra corregir el estado de fallo para una correcta coordinación, además la corriente de falla presentada en el reporte de la Figura 112 se despeja de manera adecuada en la zona magnética de cada disyuntor, para los primeros 0.10 segundos.

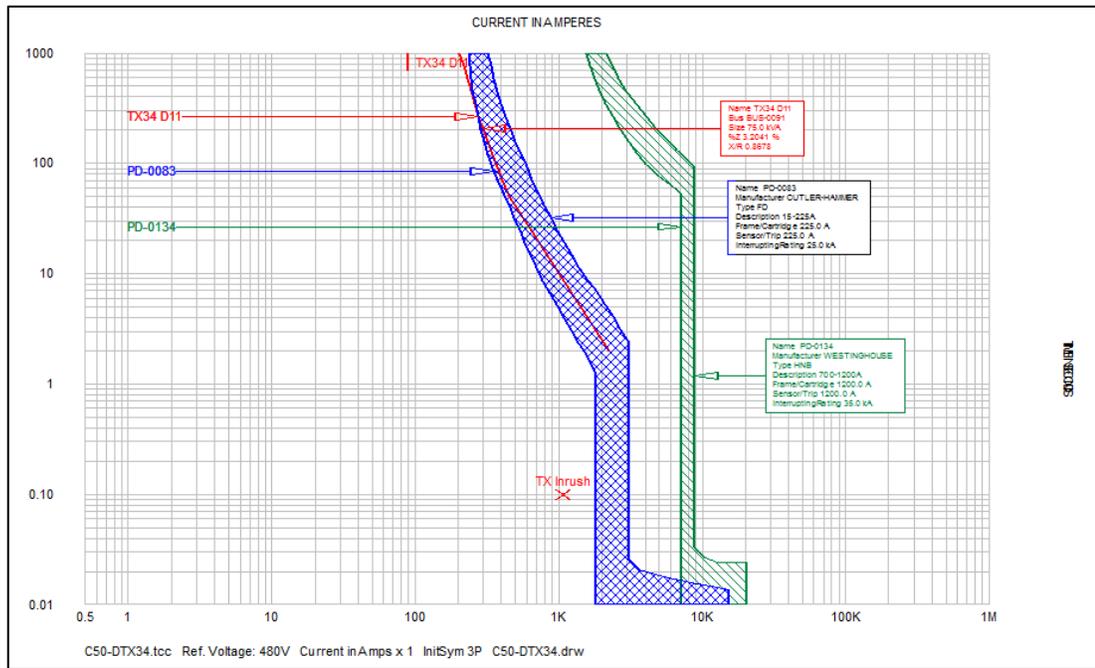


Figura 113 C50-DTX34 coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

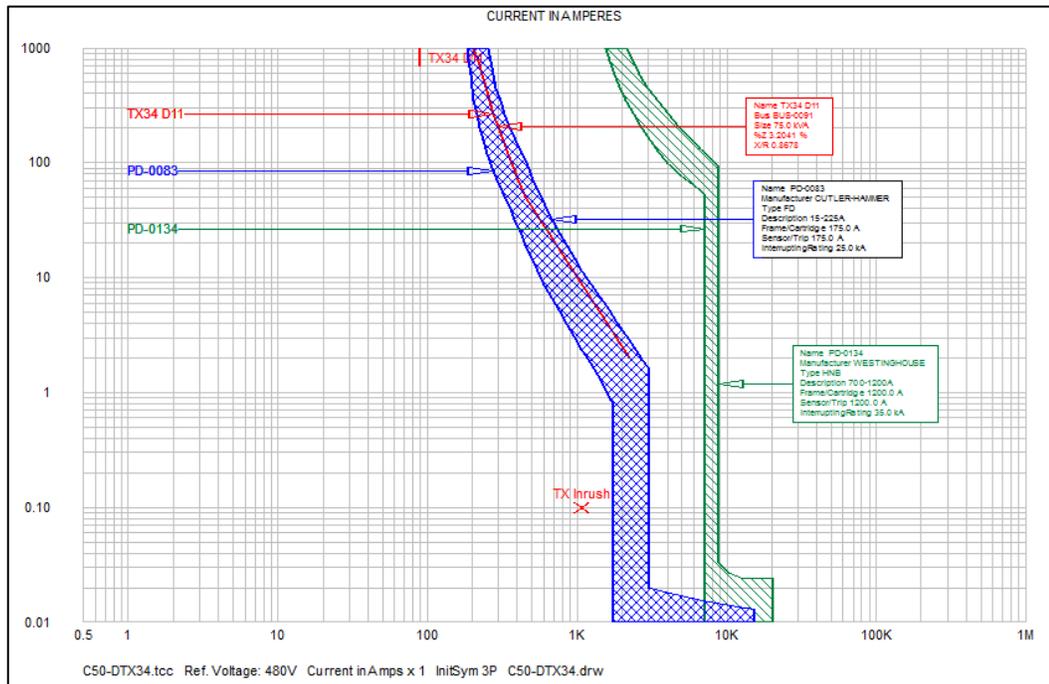


Figura 114 C50-DTX34 coordinación de protecciones (Corregida)
Fuente: Software SKM.

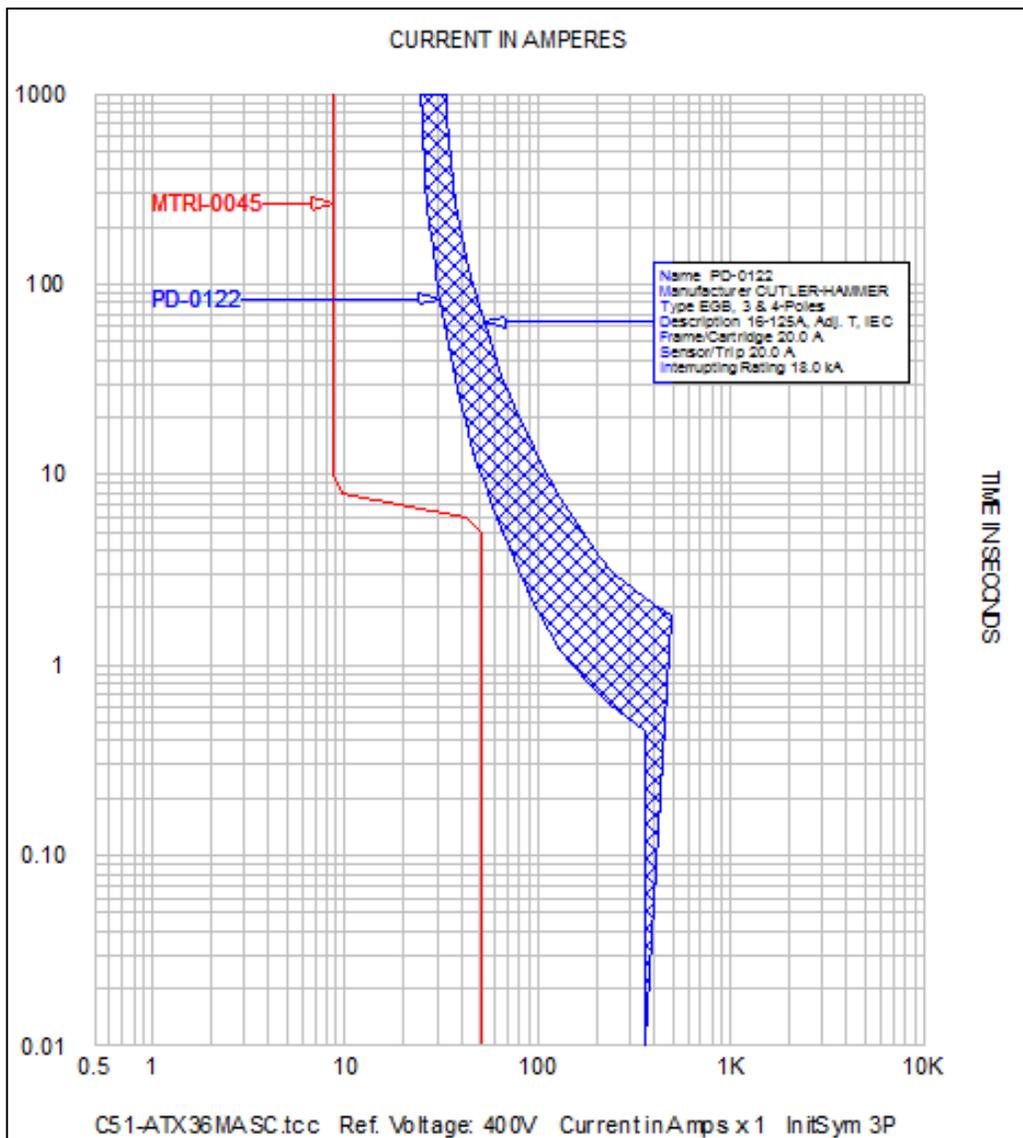
Device Name:	PD-0083	TCC Name:	C50-DTX34.tcc
Bus Name:	BUS-0173	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	25kA	Fault Duty:	15506.6A
Frame:	FD 480V 175A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	175A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0134	TCC Name:	C50-DTX34.tcc
Bus Name:	BUS-0177	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	WESTINGHOUSE		
Description:	700-1200A		
Type:	HNB		
AIC Rating:	35kA	Fault Duty:	20439.1A
Frame:	HNB 480V 1200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	1200A		
Setting:	1) LTD		
	2) INST	6.7	(8040A)

**Figura 115 Reporte de C50-DTX34.
Fuente: Software SKM.**

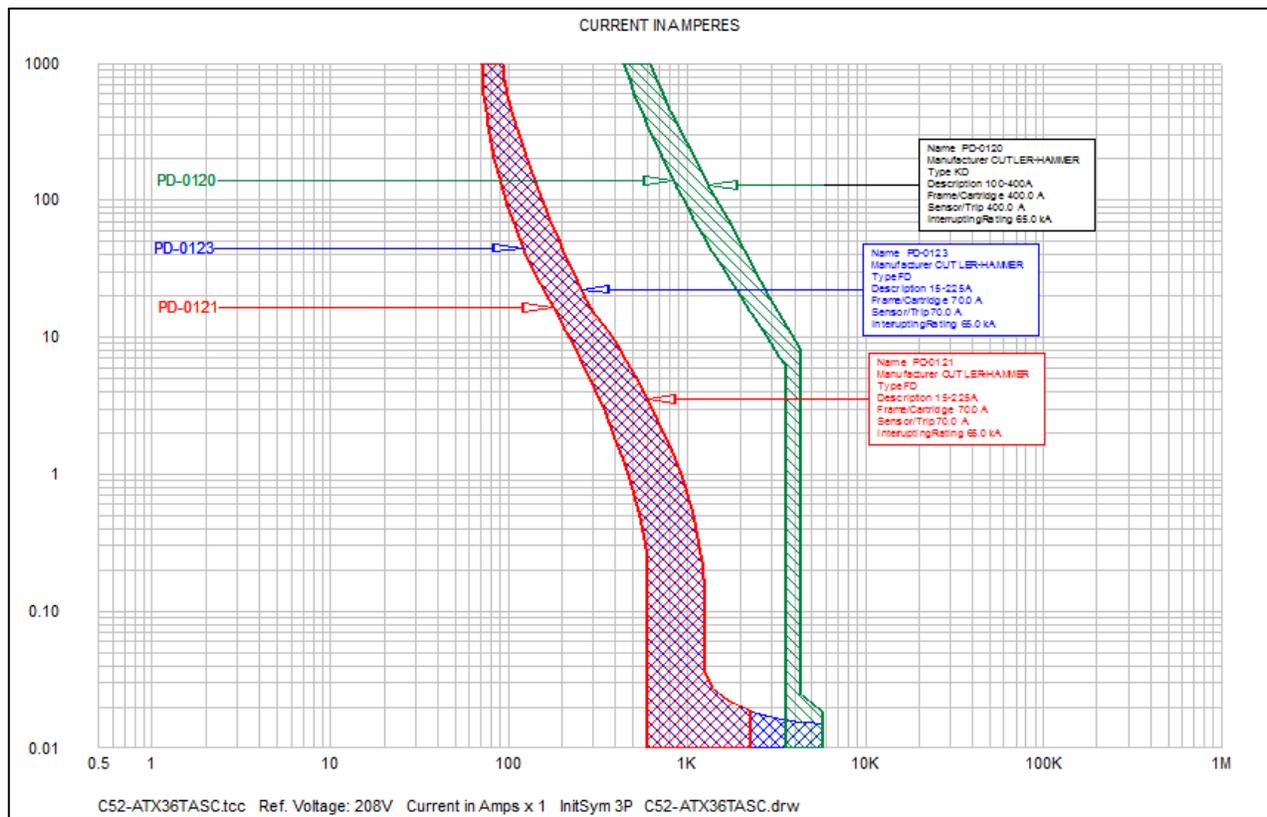
En la Figura 113 se muestran los disyuntores aguas arriba del transformador seco del Taller Básico de la Escuela de Electromecánica, el disyuntor inmediato al transformador seco TX34 presenta un problema respecto a la curva del transformador, pues esta curva se encuentra totalmente comprendida en la zona térmica del disyuntor. Anteriormente en la sección 5.2 se hizo un dimensionamiento de este disyuntor de acuerdo a la corriente de cortocircuito del tablero de distribución principal y del reporte realizado por el Software SKM, sin embargo se sobredimensionó el disyuntor por lo que se procede a seleccionar el disyuntor de manera que coordine selectivamente el ramal.

En la Figura 114 se muestra el disyuntor seleccionado, se denota el comportamiento correcto y que la curva del transformador se encuentra en la zona donde se garantiza su protección además que la corriente de falla presentado en la Figura 115 se despeja de manera efectiva en la zona instantánea de cada disyuntor.



**Figura 116 C51-ATX36MASC coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.**

La Figura 116 muestra la curva TCC del motor del elevador y de su disyuntor, estos pertenecen al Edificio de Aulas. Este al igual que los otros elevadores, mantiene una condición correcta de despeje de la falla en los primeros segundos, por lo que se considera un estado de coordinación selectiva.



**Figura 117 C52-ATX36TASC coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.**

En la Figura 117 se presentan las curvas de los disyuntores aguas arriba del autotransformador del elevador que se encuentra en el Edificio de Aulas, estas presentan un estado de coordinación correcto.

Respecto a las dos curvas que se encuentran transpuestas a simple vista se nota en estado de fallo, sin embargo estas son correctas porque son dos disyuntores en serie que poseen el mismo valor nominal de amperaje, por lo que los dos cumplen la misma función de aislar la falla en el mismo ramal.

En la Figura 118 se presenta el reporte donde muestran las corrientes de fallo en los buses analizados, estas corrientes son despejadas correctamente en la zona magnética de los disyuntores por lo que se concluye como coordinación correcta.

Device Name:	PD-0121	TCC Name:	C52-ATX36TASC.tcc
Bus Name:	TABLERO ELEVADOR AULAS-	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	2287.7A
Frame:	FD 240V 70A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	70A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0123	TCC Name:	C52-ATX36TASC.tcc
Bus Name:	TP EDIFICIO AULAS-	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	15-225A		
Type:	FD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5803.4A
Frame:	FD 240V 70A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	70A		
Setting:	1) Fixed		

Device Name:	PD-0120	TCC Name:	C52-ATX36TASC.tcc
Bus Name:	TP EDIFICIO AULAS-	Bus Voltage:	208.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	65kA	Fault Duty:	5803.4A
Frame:	KD 240V 400A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	400A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed) 2) INST (5-10 x Trip) 10 (4000A)		

Figura 118 Reporte de C52-ATX36TASC
Fuente: Software SKM.

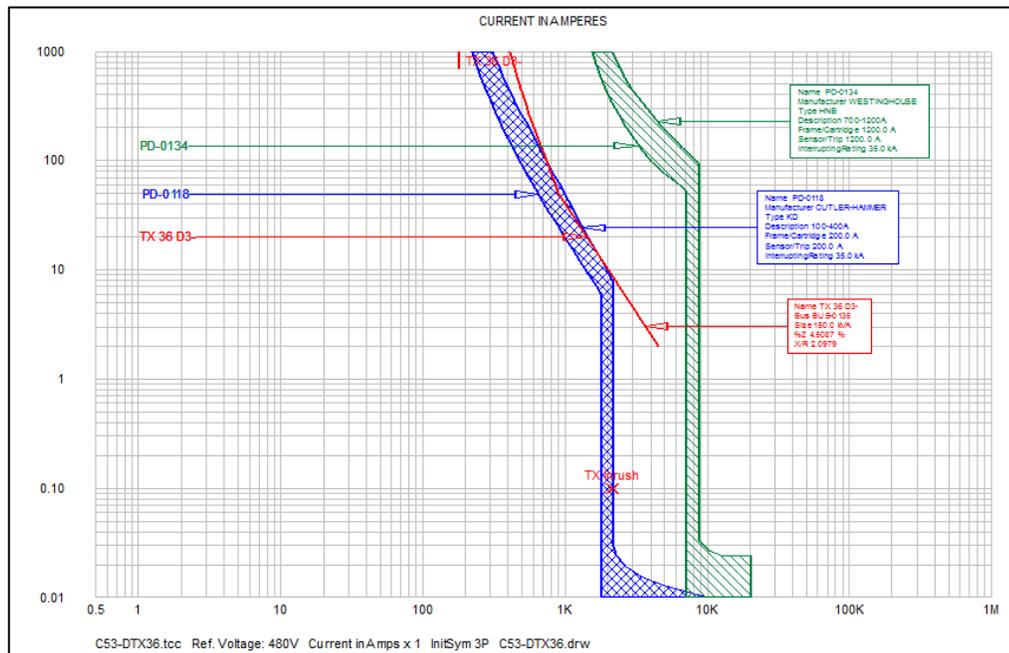


Figura 119 C53-DTX36 coordinación de protecciones.
Fuente: Software SKM.

Device Name:	PD-0118	TCC Name:	C53-DTX36.tcc
Bus Name:	BUS-0173	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	CUTLER-HAMMER		
Description:	100-400A		
Type:	KD		
AIC Rating:	35kA	Fault Duty:	15506.6A
Frame:	KD 480V 200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	200A		
Setting:	1) Thermal Curve (Fixed		
	2) INST (5-10 x Trip) 10 (2000A)		

Device Name:	PD-0134	TCC Name:	C53-DTX36.tcc
Bus Name:	BUS-0177	Bus Voltage:	480.0V
Function Name:	Phase		
Manufacturer:	WESTINGHOUSE		
Description:	700-1200A		
Type:	HNB		
AIC Rating:	35kA	Fault Duty:	20439.1A
Frame:	HNB 480V 1200A	Curve Multiplier:	1
Time Multiplier:	1	Time Adder:	0
Trip:	1200A		
Setting:	1) LTD		
	2) INST 6.7 (8040A)		

**Figura 120 Reporte de C53-DTX36.
Fuente: Software SKM.**

En la Figura 119 se presentan las curvas de los disyuntores aguas arriba del transformador seco del Edificio de Aulas, estas son de curva regulable por lo que se debió regular con el fin de ajustar su tiempo de disparo para coordinar selectivamente sin tener que dimensionar un nuevo disyuntor.

Se puede observar que el inrush (corriente de arranque) del transformador se encuentra en el límite en la curva TCC del disyuntor Pd-0118, sin embargo este estado es correcto mientras no se modifique los tiempos de disparo de los dos disyuntores, estos valores se encuentran en el informe de la Figura 120.

5.4 Selección de protecciones

En esta sección se realiza la selección final de los disyuntores a partir del análisis realizado en los capítulos anteriores. Esta sección tiene como objetivo de sustituir el disyuntor actual por el seleccionado basado en los criterios de capacidad interruptora de corriente y coordinación selectiva de protecciones.

En resumen, primeramente se realizó un análisis de corrientes de corto circuito con el fin de encontrar las corrientes de falla en los distintos buses y elementos del diagrama unifilar en estudio. Seguidamente se hizo un análisis de los elementos, comparando su capacidad interruptora con las corrientes calculadas de fallo por la simulación en el Software SKM de Power Tools.

El software facilita un reporte de los elementos que se encuentran en estado de falla, este reporte presenta el nombre del elemento, características del disyuntor y su condición actual en el diagrama unifilar, a partir de este informe se hizo las correcciones necesarias para que se cumpliera con las condiciones de operación correctas. El software realizó este análisis en función de la capacidad de carga soportada por el dispositivo, lo que se procedió fue a dimensionar de nuevo el disyuntor hasta que el dispositivo saliera del estado de fallo, sin embargo este procedimiento carece de concepto técnico pues se basa en prueba y error; por lo que no se recomienda dejarlo como análisis definitivo y verificar con un análisis detallado de carga de los ramales en estudio.

Luego en la sección 5.3 se procedió a realizar la verificación de los disyuntores actualmente instalados con las correcciones necesarias basándose en los análisis anteriores; esto se logró por medio de la coordinación selectiva de protecciones realizada en el Software SKM de Power Tools. El objetivo era transponer las curvas TCC de los disyuntores con las curvas tanto del transformador como las de las cargas inductivas. El método consistía en observar el comportamiento de las curvas y así hacer el respectivo análisis.

Tabla 57 Lista definitiva de selección de disyuntores.

LISTA DE DISYUNTORES TERMOMAGNÉTICOS CORREGIDA FINAL										
DETALLE	DISYUNTOR ACTUAL					SUSTITUCIÓN				UBICACIÓN
PROTECCIÓN	Cap. Nominal (A)	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	CONDICIÓN	Modelo	C.Int (KA)	MARCA	PRECIO	
PD-0009	150	CC3150	10	EATON-CH	X	FD3100	65	EATON-CH	₺ 284,800.00	LAVAPLATOS INDUSTRIAL COMEDOR INSTITUCIONAL
PD-0036	125	Fi 225	14	EATON-CH	X	FD3200	25	EATON-CH	₺ 354,233.65	DISTRIBUCIÓN BARRA PRINCIPAL
PD-0049	60	CH360	10	CUTLER HAMMER	X	CH370	10	CUTLER HAMMER	₺ 75,500.00	EDIF. MATE, FISICA Y C. SOCIALES TABLERO TC
PD-0046	175	VDE 0660	25	SIEMENS	X	FD3100	65	EATON-CH	₺ 284,800.00	DISTRIBUCIÓN BARRA PRINCIPAL
PD-0052	50	FAL34050	18	SQUART D	X	FD3175	25	EATON-CH	₺ 354,233.65	DISTRIBUCIÓN BARRA PRINCIPAL
PD-059	100	FD3100	65	EATON-CH	X	FD3175	65	EATON-CH	₺ 354,233.65	A. DE EMPRESAS TABLERO DE DISTRIBUCIÓN
PD-0057	125	Fi 225	14	EATON-CH	X	FD3175	25	EATON-CH	₺ 354,233.65	DISTRIBUCIÓN BARRA PRINCIPAL
PD-0067	50	EB350	10	CUTLER HAMMER	X	GHB3100	65	EATON-CH	₺ 81,600.00	E. ELECTROMECHANICA TABLERO PRINCIPAL TP
PD-0086	100	GHB3100	65	EATON-CH	X	KD3400	65	EATON-CH	₺ 1,058.340.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TA
PD-0087	20	GHB3020	65	EATON-CH	X	GHB3050	65	EATON-CH	₺ 49,280.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TB
PD-0088	30	GHB3030	65	EATON-CH	X	GHB3050	65	EATON-CH	₺ 49,280.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TB
PD-0089	20	GHB3020	65	EATON-CH	X	GHB3050	65	EATON-CH	₺ 49,280.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TB
PD-0090	20	GHB3020	65	EATON-CH	X	GHB3050	65	EATON-CH	₺ 49,280.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TB
PD-0091	15	GHB3015	65	EATON-CH	X	GHB3050	65	EATON-CH	₺ 49,280.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TB
PD-0092	50	GHB3050	65	EATON-CH	X	GHB3050	65	EATON-CH	₺ 49,280.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TB
PD-0093	15	GHB3015	65	EATON-CH	X	GHB3050	65	EATON-CH	₺ 49,280.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TB
PD-0094	15	GHB3015	65	EATON-CH	X	GHB3050	65	EATON-CH	₺ 49,280.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TB
PD-0095	100	GHB3100	65	EATON-CH	X	KD3400	65	EATON-CH	₺ 1,058.340.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TA
PD-0096	20	GHB3020	65	EATON-CH	X	GHB3050	65	EATON-CH	₺ 49,280.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TC
PD-0097	20	GHB3020	65	EATON-CH	X	GHB3050	65	EATON-CH	₺ 49,280.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TC
PD-0098	20	GHB3020	65	EATON-CH	X	GHB3050	65	EATON-CH	₺ 49,280.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TC
PD-0128	20	GHB3020	65	EATON-CH	X	GHB3050	65	EATON-CH	₺ 49,280.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TC
PD-0129	20	GHB3020	65	EATON-CH	X	GHB3050	65	EATON-CH	₺ 49,280.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TC
PD-0130	20	GHB3020	65	EATON-CH	X	GHB3050	65	EATON-CH	₺ 49,280.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TC
PD-0135	125	FD3125	65	EATON-CH	X	FD3200	65	EATON-CH	₺ 354,233.65	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TCNC
PD-0102	225	FD3225	65	EATON-CH	X	KD3400	65	EATON-CH	₺ 1,058.340.00	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TCNC
PD-0104	125	FD3125	65	EATON-CH	X	FD3200	65	EATON-CH	₺ 354,233.65	TALLER BÁSICO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TCNC
PD-0105	40	GHB3040	65	EATON-CH	X	GHB3050	65	EATON-CH	₺ 49,280.00	TALLER BÁSICO TABLERO D
PD-0083	100	EHD 3100K	14	EATON-CH	X	FD3175	25	EATON-CH	₺ 354,233.65	DISTRIBUCIÓN BARRA PRINCIPAL

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Del presente proyecto se concluye lo siguiente:

- La visita de campo, facilitó la recolección de datos de los tableros principales y secundarios con el fin de registrar los elementos que aportan e intervienen en el estudio de corrientes de cortocircuito, para la actualización del diagrama unifilar de la acometida principal de la sede central del Tecnológico de Costa Rica.
- Mediante el análisis de corrientes de cortocircuito basados en la metodología manual recomendado por las normas IEEE 551-2006 y IEEE 141-1993, se obtuvieron distintos valores de corrientes de cortocircuito asimétrica a $\frac{1}{2}$ ciclo, obteniendo un valor de 17 kA en la barra principal del Tablero de Distribución; valores indispensables para la corroboración de conductores y selección de disyuntores termo-magnéticos.
- Se concluye que el aporte del banco de capacitores se puede omitir en el estudio de corrientes de fallo, por su comportamiento de descarga y el efecto que posee ante los dispositivos de despeje, esto basado en las recomendaciones de las normas consultadas.
- Mediante la simulación del diagrama unifilar actualizado en el Software SKM de Power Tools, se logra determinar la veracidad de los resultados realizando las comparaciones y obteniendo porcentajes de error aceptables justificando adecuadamente cuando estos lo ameritaban.
- Se verifica en el Software de SKM, la coordinación selectiva de protecciones de los disyuntores del diagrama unifilar en estudio, se realizan las modificaciones necesarias seleccionando y cotizando los disyuntores que garantizan el correcto despeje de una posible corriente de falla.

Recomendaciones

Respecto al presente proyecto se recomienda lo siguiente:

- Para la recolección de datos de campo, se procedió a visitar todos los centros de carga del campus, por lo que se encontró inconvenientes con la toma de datos y la identificación de circuitos, se recomienda realizar un análisis detallado de los circuitos para la identificación y rotulación de circuitos ramales.
- En la recolección de datos de campo, específicamente en los cuartos de tableros y de transformadores se encontró elementos ajenos, como basura, sobrantes de materiales y otros elementos de trabajos anteriores, que impedían la realización maniobras de toma de datos y que a futuro impedirían al Técnico su labor en caso de un desperfecto en el lugar; por lo que se le hizo la aclaratoria a los funcionarios del Departamento de Administración de Mantenimiento que valoraran los lugares afectados y se programara una limpieza inmediata.
- Se recomienda al Departamento de Administración de Mantenimiento y a la Oficina de Ingeniería registrar las modificaciones y trabajos que se realicen a futuro, para mantener actualizado el diagrama unifilar del lugar.
- El análisis realizado en este proyecto muestra que la zona más crítica de la acometida principal de la sede central del TEC, es el Taller Básico de la Escuela de Electromecánica, por lo que se recomienda realizar un análisis más exhaustivo de flujo y balance de carga con el fin de verificar el correcto dimensionamiento y selección tanto de protecciones como de conductores en función de la carga instalada.
- Se recomienda realizar un análisis de corrientes de corto circuito y una coordinación de protecciones por lo menos cada dos años para garantizar el correcto despeje selectivo de protecciones ante un evento de fallo.

Apéndices

Apéndice 1: Tablas de cálculos.

Tabla 58 Valor de Impedancias de los conductores del circuito unifilar

VOLTAJE	ALIMENTADOR	CALIBRE	# CONDUCTORES	DISTANCIA (m)	X (Ω/Km)	X (Ω/m)	R (Ω/km)	R (Ω/m)	Z (Ω/km)	Z (Ω/m)	X (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
480	CO-D TP	# 500	4	145	0.128	0.00013	0.089	0.000089	0.141	0.00014	0.00464	0.003226	0.0051113	0.0201	0.0140	0.0222
480	C1-A T01	# 4	1	120	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.01884	0.1224	0.114	0.0818	0.5313	0.4948
208	C2-D T01	# 4	1	40	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.00628	0.0408	0.038	0.1452	0.9430	0.8783
208	C3 AC ESTE C9	# 4	1	5	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.000785	0.0051	0.00475	0.0181	0.1179	0.1098
208	C4 AC OESTE C9	# 4	1	5	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.000785	0.0051	0.00475	0.0181	0.1179	0.1098
480	C5-A T02	# 4/0	1	120	0.135	0.00014	0.203	0.000203	0.242	0.00024	0.0162	0.02436	0.02904	0.0703	0.1057	0.1260
208	C6 -D T02	# 3/0	1	44	0.138	0.00014	0.253	0.000253	0.289	0.00029	0.006072	0.011132	0.012716	0.1403	0.2573	0.2939
208	C7-M LPICI	# 3/0	1	8	0.138	0.00014	0.253	0.000253	0.289	0.00029	0.001104	0.002024	0.002312	0.0255	0.0468	0.0534
480	C8-A T03	# 4	1	120	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.01884	0.1224	0.114	0.0818	0.5313	0.4948
208	C9-D T03	# 4/0	1	44	0.135	0.00014	0.203	0.000203	0.242	0.00024	0.00594	0.008932	0.010648	0.1373	0.2065	0.2461
208	C10-TEXT	# 4	1	3	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.000471	0.00306	0.00285	0.0109	0.0707	0.0659
208	C11-TCF	# 4	1	4	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.000628	0.00408	0.0038	0.0145	0.0943	0.0878
208	C12-M Ext Iz	# 6	1	10	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.00167	0.0161	0.0144	0.0386	0.3721	0.3328
208	C13-M Ext Ce	# 6	1	8	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.001336	0.01288	0.01152	0.0309	0.2977	0.2663
208	C14- M Ext De	# 6	1	10	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.00167	0.0161	0.0144	0.0386	0.3721	0.3328
208	C15-M C.F1	# 6	1	12	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.002004	0.01932	0.01728	0.0463	0.4466	0.3994
208	C16-M C.F2	# 6	1	14	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.002338	0.02254	0.02016	0.0540	0.5210	0.4660
480	C17-A T04	# 250	1	120	0.135	0.00014	0.171	0.000171	0.217	0.00022	0.0162	0.02052	0.02604	0.0703	0.0891	0.1130
208	C18-D T04	# 2	1	35	0.148	0.00015	0.62	0.00062	0.62	0.00062	0.00518	0.0217	0.0217	0.1197	0.5016	0.5016
208	C19-TFasc	# 2/0	1	4	0.141	0.00014	0.33	0.00033	0.36	0.00036	0.000564	0.00132	0.00144	0.0130	0.0305	0.0333
400	C20-ASC C4	# 4	1	15	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.002355	0.0153	0.01425	0.0147	0.0956	0.0891
400	C21-M asc C4	# 10	1	5	0.164	0.00016	3.9	0.0039	3.6	0.0036	0.00082	0.0195	0.018	0.0051	0.1219	0.1125
480	C22-A T05	# 6	1	120	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.02004	0.1932	0.1728	0.0870	0.8385	0.7500
208	C23-D T05	#4	1	55	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.008635	0.0561	0.05225	0.1996	1.2967	1.2077
208	C24-M TH	# 2	1	6	0.148	0.00015	0.62	0.00062	0.62	0.00062	0.000888	0.00372	0.00372	0.0205	0.0860	0.0860
208	C25A-M Bomb1	# 8	1	2	0.171	0.00017	2.56	0.00256	2.26	0.00226	0.000342	0.00512	0.00452	0.0079	0.1183	0.1045
208	C25B-M Bomb2	# 8	1	2	0.171	0.00017	2.56	0.00256	2.26	0.00226	0.000342	0.00512	0.00452	0.0079	0.1183	0.1045
480	C26-A T07	# 3/0	1	62	0.138	0.00014	0.253	0.000253	0.289	0.00029	0.008556	0.015686	0.017918	0.0371	0.0681	0.0778
208	C27-D T07	# 500	1	5	0.128	0.00013	0.089	0.000089	0.141	0.00014	0.00064	0.000445	0.000705	0.0148	0.0103	0.0163
208	C28-C3 TN0	# 4/0	1	7	0.135	0.00014	0.203	0.000203	0.242	0.00024	0.000945	0.001421	0.001694	0.0218	0.0328	0.0392
208	C29-T AC	# 3/0	1	40	0.138	0.00014	0.253	0.000253	0.289	0.00029	0.00552	0.01012	0.01156	0.1276	0.2339	0.2672
208	C30-AC 1	# 6	1	8	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.001336	0.01288	0.01152	0.0309	0.2977	0.2663
208	C31-AC 2	# 6	1	8	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.001336	0.01288	0.01152	0.0309	0.2977	0.2663
208	C32-AC 3	# 6	1	8	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.001336	0.01288	0.01152	0.0309	0.2977	0.2663
400	C33-ASC C3	# 4	1	25	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.003925	0.0255	0.02375	0.0245	0.1594	0.1484

VOLTAJE	ALIMENTADOR	CALIBRE	# CONDUCTORES	DISTANCIA (m)	X (Ω/Km)	X (Ω/m)	R (Ω/km)	R (Ω/m)	Z (Ω/km)	Z (Ω/m)	X (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
400	C34-M asc C3	# 10	1	5	0.164	0.00016	3.9	0.0039	3.6	0.0036	0.00082	0.0195	0.018	0.0051	0.1219	0.1125
480	C35-A T09	# 350	1	62	0.131	0.00013	0.125	0.000125	0.174	0.00017	0.008122	0.00775	0.010788	0.0353	0.0336	0.0468
208	C36-D T09	# 2/0	1	54	0.141	0.00014	0.33	0.00033	0.36	0.00036	0.007614	0.01782	0.01944	0.1760	0.4119	0.4493
208	C37-TC A4	# 1/0	1	6	0.144	0.00014	0.39	0.00039	0.43	0.00043	0.000864	0.00234	0.00258	0.0200	0.0541	0.0596
208	C38-T ASC	# 6	1	25	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.004175	0.04025	0.036	0.0965	0.9303	0.8321
400	C39-ASC A4	# 4	1	10	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.00157	0.0102	0.0095	0.0098	0.0638	0.0594
400	C40-M asc A4	# 10	1	5	0.164	0.00016	3.9	0.0039	3.6	0.0036	0.00082	0.0195	0.018	0.0051	0.1219	0.1125
480	C41-A T12	# 4	1	62	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.009734	0.06324	0.0589	0.0422	0.2745	0.2556
208	C42-D T12	# 3/0	1	45	0.138	0.00014	0.253	0.000253	0.289	0.00029	0.00621	0.011385	0.013005	0.1435	0.2632	0.3006
208	C43-T ASC	# 4	1	8	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.001256	0.00816	0.0076	0.0290	0.1886	0.1757
400	C44- ASC A3	# 4	1	20	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.00314	0.0204	0.019	0.0196	0.1275	0.1188
400	C45-M asc A3	# 10	1	5	0.164	0.00016	3.9	0.0039	3.6	0.0036	0.00082	0.0195	0.018	0.0051	0.1219	0.1125
480	C46-A T24	# 1/0	1	62	0.144	0.00014	0.39	0.00039	0.43	0.00043	0.008928	0.02418	0.02666	0.0388	0.1049	0.1157
208	C47-D T24	# 1/0	2	50	0.144	0.00014	0.39	0.00039	0.43	0.00043	0.0036	0.00975	0.01075	0.0832	0.2254	0.2485
208	C48-TN3 D1	# 4	1	20	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.00314	0.0204	0.019	0.0726	0.4715	0.4392
400	C49- ASC D1	# 4	1	25	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.003925	0.0255	0.02375	0.0245	0.1594	0.1484
400	C50-M asc D1	# 10	1	5	0.164	0.00016	3.9	0.0039	3.6	0.0036	0.00082	0.0195	0.018	0.0051	0.1219	0.1125
480	C51-A T27	# 500	1	84	0.128	0.00013	0.089	0.000089	0.141	0.00014	0.010752	0.007476	0.011844	0.0467	0.0324	0.0514
208	C52-D T27	# 500	1	42	0.128	0.00013	0.089	0.000089	0.141	0.00014	0.005376	0.003738	0.005922	0.1243	0.0864	0.1369
208	C53-UBA	# 2/0	1	25	0.141	0.00014	0.33	0.00033	0.36	0.00036	0.003525	0.00825	0.009	0.0815	0.1907	0.2080
208	C54-VFD	# 6	1	1	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.000167	0.00161	0.00144	0.0039	0.0372	0.0333
208	C55-M Bomb 1	# 10	1	4	0.164	0.00016	3.9	0.0039	3.6	0.0036	0.000656	0.0156	0.0144	0.0152	0.3606	0.3328
208	C56-M Bomb 2	# 10	1	4	0.164	0.00016	3.9	0.0039	3.6	0.0036	0.000656	0.0156	0.0144	0.0152	0.3606	0.3328
208	C57-M Bomb 3	# 10	1	4	0.164	0.00016	3.9	0.0039	3.6	0.0036	0.000656	0.0156	0.0144	0.0152	0.3606	0.3328
208	C58-TCOMA	# 2	1	25	0.148	0.00015	0.62	0.00062	0.62	0.00062	0.0037	0.0155	0.0155	0.0855	0.3583	0.3583
208	C59-M COMA	# 6	1	5	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.000835	0.00805	0.0072	0.0193	0.1861	0.1664
208	C60-TCEE	# 4	1	40	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.00628	0.0408	0.038	0.1452	0.9430	0.8783
208	C61-M COMPT	# 8	1	20	0.171	0.00017	2.56	0.00256	2.26	0.00226	0.00342	0.0512	0.0452	0.0790	1.1834	1.0447
480	C62-A T34	# 1/0	1	138	0.144	0.00014	0.39	0.00039	0.43	0.00043	0.019872	0.05382	0.05934	0.0863	0.2336	0.2576
208	C63-D T34	# 2/0	2	34	0.141	0.00014	0.33	0.00033	0.36	0.00036	0.002397	0.00561	0.00612	0.0554	0.1297	0.1415
208	C64-TBTEE	# 2/0	1	5	0.141	0.00014	0.33	0.00033	0.36	0.00036	0.000705	0.00165	0.0018	0.0163	0.0381	0.0416
208	C65-M RP	# 6	1	30	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.00501	0.0483	0.0432	0.1158	1.1164	0.9985
208	C66- M FE	# 6	1	20	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.00334	0.0322	0.0288	0.0772	0.7443	0.6657
208	C67-MTP1	# 6	1	25	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.004175	0.04025	0.036	0.0965	0.9303	0.8321
208	C68-MTP2	# 6	1	25	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.004175	0.04025	0.036	0.0965	0.9303	0.8321
208	C69-M C	# 6	1	29	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.004843	0.04669	0.04176	0.1119	1.0792	0.9652
208	C70-M FT	# 6	1	22	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.003674	0.03542	0.03168	0.0849	0.8187	0.7322
208	C71-M TC1	# 6	1	30	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.00501	0.0483	0.0432	0.1158	1.1164	0.9985
208	C72-M TC2	# 6	1	25	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.004175	0.04025	0.036	0.0965	0.9303	0.8321
208	C73-TCTEE	# 2/0	1	5	0.141	0.00014	0.33	0.00033	0.36	0.00036	0.000705	0.00165	0.0018	0.0163	0.0381	0.0416
208	C74-M TPH1	# 6	1	30	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.00501	0.0483	0.0432	0.1158	1.1164	0.9985
208	C75-M TPH2	# 6	1	30	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.00501	0.0483	0.0432	0.1158	1.1164	0.9985

VOLTAJE	ALIMENTADOR	CALIBRE	# CONDUCTORES	DISTANCIA (m)	X (Ω/Km)	X (Ω/m)	R (Ω/km)	R (Ω/m)	Z (Ω/km)	Z (Ω/m)	X (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
208	C76-M FE	# 6	1	25	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.004175	0.04025	0.036	0.0965	0.9303	0.8321
208	C77-M CP	# 6	1	28	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.004676	0.04508	0.04032	0.1081	1.0420	0.9320
208	C78-M G	# 6	1	15	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.002505	0.02415	0.0216	0.0579	0.5582	0.4993
208	C79-M AL	# 6	1	20	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.00334	0.0322	0.0288	0.0772	0.7443	0.6657
208	C80-M GES	# 6	1	35	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.005845	0.05635	0.0504	0.1351	1.3025	1.1649
208	C81-TCNC	# 2/0	1	34	0.141	0.00014	0.33	0.00033	0.36	0.00036	0.004794	0.01122	0.01224	0.1108	0.2593	0.2829
208	C82-M FMAZ	# 2	1	7	0.148	0.00015	0.62	0.00062	0.62	0.00062	0.001036	0.00434	0.00434	0.0239	0.1003	0.1003
208	C83-M TLEA	# 2	1	6	0.148	0.00015	0.62	0.00062	0.62	0.00062	0.000888	0.00372	0.00372	0.0205	0.0860	0.0860
208	C84-TDTEE	# 2	1	5	0.148	0.00015	0.62	0.00062	0.62	0.00062	0.00074	0.0031	0.0031	0.0171	0.0717	0.0717
208	C85-M TC3	# 6	1	10	0.167	0.00017	1.61	0.00161	1.44	0.00144	0.00167	0.0161	0.0144	0.0386	0.3721	0.3328
480	C86-A T36	# 4/0	1	102	0.135	0.00014	0.203	0.000203	0.242	0.00024	0.01377	0.020706	0.024684	0.0598	0.0899	0.1071
208	C87-D T36	# 4/0	2	5	0.135	0.00014	0.203	0.000203	0.242	0.00024	0.000338	0.000508	0.000605	0.0078	0.0117	0.0140
208	C88-T ASC	# 4	1	35	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.005495	0.0357	0.03325	0.1270	0.8252	0.7685
400	C89- ASC D3	# 4	1	15	0.157	0.00016	1.02	0.00102	0.95	0.00095	0.002355	0.0153	0.01425	0.0147	0.0956	0.0891
400	C90-M asc D3	# 10	1	5	0.164	0.00016	3.9	0.0039	3.6	0.0036	0.00082	0.0195	0.018	0.0051	0.1219	0.1125

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59 Codificación de los conductores según su ubicación en el diagrama.

	CONDUCTOR	DETALLE
0	CO-D TP	CONDUCTOR CERO DESPUES DEL TRANSFORMADOR PRINCIPAL
1	C1-A T01	CONDUCTOR UNO ANTES DEL TRASNFORMADOR 01
2	C2-D T01	CONDUCTOR DOS DESPUES DEL TRASNFORMADOR 01
3	C3 AC ESTE C9	CONDUCTOR TRES AIRE ACONDICIONADO ESTE DEL LAIMI I
4	C4 AC OESTE C9	CONDUCTOR CUATRO AIRE ACONDICIONADO OESTE DEL LAIMI I
5	C5-A T02	CONDUCTOR CINCO ANTES DEL TRASNFORMADOR 02
6	C6 -D T02	CONDUCTOR SEIS DESPUES DEL TRASNFORMADOR 02
7	C7-M LPICI	CONDUCTOR SIETE DEL MOTOR LAVAPLATOS INDUSTRIAL DEL COMEDOR INSTITUCIONAL
8	C8-A T03	CONDUCTOR OCHO ANTES DE TRANSFORMADOR 03
9	C9-D T03	CONDUCTOR NUEVE DESPUES DE TRANSFORMADOR 03
10	C10-TEXT	CONDUCTOR DIEZ DE TABLEROS DE EXTRACTORES
11	C11-TCF	CONDUCTOR ONCE DE TABLERO DE CUARTOS FRIOS
12	C12-M Ext Iz	CONDUCTOR DOCE DE MOTOR DEL EXTRACTOR IZQUIERDO
13	C13-M Ext Ce	CONDUCTOR TRECE DE MOTOR DEL EXTRACTOR DEL CENTRO
14	C14- M Ext De	CONDUCTOR CATORCE DE MOTOR DEL EXTRACTOR DERECHO
15	C15-M C.F1	CONDUCTOR QUINCE DEL MOTOR DE CUARTO FRIO 1
16	C16-M C.F2	CONDUCTOR DIECISEIS DEL MOTOR DE CUARTO FRIO 2
17	C17-A T04	CONDUCTOR DIECISIETE ANTES DEL TRASNFORMADOR 04
18	C18-D T04	CONDUCTOR DIECIOCHO DESPUES DEL TRASNFORMADOR 04
19	C19-TFasc	CONDUCTOR DIECINUEVE DEL TABLERO TF DEL ASCENSOR
20	C20-ASC C4	CONDUCTOR VEINTE DEL ASCENSOR DEL EDIFICIO DE DE LAB FÍSICA-QUÍMICA
21	C21-M asc C4	CONDUCTOR VEINTIUNO DEL MOTOR DEL ASCENSOR DEL EDIFICIO DE LAB FÍSICA-QUÍMICA

	CONDUCTOR	DETALLE
22	C22-A T05	CONDUCTOR VEINTIDOS ANTES DEL TRANSFORMADOR 05
23	C23-D T05	CONDUCTOR VEINTITRES DESPUES DEL TRANSFORMADOR 05
24	C24-M TH	CONDUCTOR VEINTICUATRO DEL TABLERO DE MOTORES DEL TANQUE HIDRONEUMÁTICO
25	C25A-M Bomb1	CONDUCTOR VEINTICINCO A DEL MOTOR DE LA BOMBA 1 DEL TANQUE HIDRONEUMÁTICO
	C25B-M Bomb2	CONDUCTOR VEINTICINCO B DEL MOTOR DE LA BOMBA 2 DEL TANQUE HIDRONEUMÁTICO
26	C26-A T07	CONDUCTOR VEINTISEIS ANTES DEL TRANSFORMADOR 07
27	C27-D T07	CONDUCTOR VEINTISIETE DESPUES DEL TRANSFORMADOR 07
28	C28-C3 TN0	CONDUCTOR VEINTIOCHO DEL TABLERO C3 TN0
29	C29-T AC	CONDUCTOR VEINTINUEVE DEL TABLERO DE AIRES ACONDICIONADOS
30	C30-AC 1	CONDUCTOR TREINTA DE AIRE ACONDICIONADO 01
31	C31-AC 2	CONDUCTOR TREINTA Y UNO DE AIRE ACONDICIONADO 02
32	C32-AC 3	CONDUCTOR TREINTA Y DOS DE AIRE ACONDICIONADO 03
33	C33-ASC C3	CONDUCTOR TREINTA Y TRES DEL ASCENSOR DE LA BIBLIOTECA
34	C34-M asc C3	CONDUCTOR TREINTA Y CUATRO DEL MOTOR DEL ASCENSOR DE LA BIBLIOTECA
35	C35-A T09	CONDUCTOR TREINTA Y CINCO ANTES DEL TRANSFORMADOR 09
36	C36-D T09	CONDUCTOR TREINTA Y SEIS DESPUES DEL TRANSFORMADOR 09
37	C37-TC A4	CONDUCTOR TREINTA Y SIETE DEL TABLERO TC DEL EDIFICIO DE MATEMÁTICA
38	C38-T ASC	CONDUCTOR TREINTA Y OCHO DEL TABLERO DEL ASCENSOR
39	C39-ASC A4	CONDUCTOR TREINTA Y NUEVE DEL ASCENSOR DEL EDIFICIO DE MATEMÁTICA
40	C40-M asc A4	CONDUCTOR CUARENTA DEL MOTOR DEL ASCENSOR DEL EDIFICIO DE MATEMÁTICA
41	C41-A T12	CONDUCTOR CUARENTA Y UNO ANTES DEL TRANSFORMADOR 12
42	C42-D T12	CONDUCTOR CUARENTA Y DOS DESPUES DEL TRANSFORMADOR 12
43	C43-T ASC	CONDUCTOR CUARENTA Y TRES DEL TABLERO DEL ASCENSOR
44	C44- ASC A3	CONDUCTOR CUARENTA Y CUATRO DEL ASCENSOR DEL EDIFICIO DE VIESA
45	C45-M asc A3	CONDUCTOR CUARENTA Y CINCO DEL MOTOR DEL ASCENSOR DEL EDIFICIO DE VIESA
46	C46-A T24	CONDUCTOR CUARENTA Y SEIS ANTES DEL TRANSFORMADOR 24
47	C47-D T24	CONDUCTOR CUARENTA Y SIETE DESPUES DEL TRANSFORMADOR 24
48	C48-TN3 D1	CONDUCTOR CUARENTA Y OCHO DEL TABLERO TN3 DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS
49	C49- ASC D1	CONDUCTOR CUARENTA Y NUEVE DEL ASCENSOR DEL EDIFICIO DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS
50	C50-M asc D1	CONDUCTOR CINCUENTA DEL MOTOR DEL ASCENSOR DEL EDIFICIO DE VIESA
51	C51-A T27	CONDUCTOR CINCUENTA Y UNO ANTES DEL TRANSFORMADOR 27
52	C52-D T27	CONDUCTOR CINCUENTA Y DOS DESPUES DEL TRANSFORMADOR 27
53	C53-UBA	CONDUCTOR CINCUENTA Y TRES DE UNIDAD DE BOMBEO ACADÉMICO EN ELECTROMECAÁNICA
54	C54-VFD	CONDUCTOR CINCUENTA Y CUATRO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA
55	C55-M Bomb 1	CONDUCTOR CINCUENTA Y CINCO DE MOTOR DE BOMBA ACADÉMICA 1
56	C56-M Bomb 2	CONDUCTOR CINCUENTA Y SEIS DE MOTOR DE BOMBA ACADÉMICA 2
57	C57-M Bomb 3	CONDUCTOR CINCUENTA Y SIETE DE MOTOR DE BOMBA ACADÉMICA 3
58	C58-TCOMA	CONDUCTOR CINCUENTA Y OCHO DE TABLERO DE COMPRESOR ACADÉMICO
59	C59-M COMA	CONDUCTOR CINCUENTA Y NUEVE DE MOTOR DE COMPRESOR ACADÉMICO
60	C60-TCEE	CONDUCTOR SESENTA DE TABLERO C DE ESCUELA DE ELECTROMECAÁNICA
61	C61-M COMPT	CONDUCTOR SESENTA Y UNO DE MOTOR DE COMPRESOR DE TALLER
62	C62-A T34	CONDUCTOR SESENTA Y DOS ANTES DEL TRANSFORMADOR 34
63	C63-D T34	CONDUCTOR SESENTA Y TRES DESPUÉS DEL TRANSFORMADOR 34

	CONDUCTOR	DETALLE
64	C64-TBTEE	CONDUCTOR SESENTA Y CUATRO DE TABLERO B DE TALLER DE ELECTROMECAÁNICA
65	C65-M RP	CONDUCTOR SESENTA Y CINCO DE MOTOR DE RECTIFICADORA PLANA
66	C66- M FE	CONDUCTOR SESENTA Y SEIS DE MOTOR DE FRESA ELLIOT
67	C67-MTP1	CONDUCTOR SESENTA Y SIETE DE MOTOR DE TORNO PARALELO 1
68	C68-MTP2	CONDUCTOR SESENTA Y OCHO DE MOTOR DE TORNO PARALELO 2
69	C69-M C	CONDUCTOR SESENTA Y NUEVE DE MOTOR DE CEPILLO
70	C70-M FT	CONDUCTOR SETENTA DE MOTOR DE FRESA TORRETA
71	C71-M TC1	CONDUCTOR SETENTA Y UNO DE MOTOR DE MOTOR DE TALADRO COLUMNA 1
72	C72-M TC2	CONDUCTOR SETENTA Y DOS DE MOTOR DE MOTOR DE TALADRO COLUMNA 2
73	C73-TCTEE	CONDUCTOR SETENTA Y TRES DE TABLERO C DE TALLER DE ELECTROMECAÁNICA
74	C74-M TPH1	CONDUCTOR SETENTA Y CUATRO DE MOTOR DE TORNO PARALELO HARRISON 1
75	C75-M TPH2	CONDUCTOR SETENTA Y CINCO DE MOTOR DE TORNO PARALELO HARRISON 2
76	C76-M FE	CONDUCTOR SETENTA Y SEIS DE MOTOR DE FRESA ELLIOT
77	C77-M CP	CONDUCTOR SETENTA Y SIETE DE MOTOR DE CEPILLO PEQUEÑO
78	C78-M G	CONDUCTOR SETENTA Y OCHO DE MOTOR DE GUILLOTINA
79	C79-M AL	CONDUCTOR SETENTA Y NUEVE DE MOTOR DE ARROLLADORA DE LÁMINAS
80	C80-M GES	CONDUCTOR OCHENTA DE GRUPOS DE MOTORES DE ESMERILES
81	C81-TCNC	CONDUCTOR OCHENTA Y UNO DE TABLERO DE CNC
82	C82-M FMAZ	CONDUCTOR OCHENTA Y DOS DE MOTOR FRESA MAZAK CNC
83	C83-M TLEA	CONDUCTOR OCHENTA Y TRES DE MOTOR TORNO LEADWELL CNC
84	C84-TDTEE	CONDUCTOR OCHENTA Y CUATRO DE TABLERO D DE TALLER DE ELECTROMECAÁNICA
85	C85-M TC3	CONDUCTOR OCHENTA Y CINCO DE MOTOR DE TALADRO DE COLUMNA 03
86	C86-A T36	CONDUCTOR OCHENTA Y SEIS ANTES DEL TRANSFORMADOR 36
87	C87-D T36	CONDUCTOR OCHENTA Y SIETE DESPUES DEL TRANSFORMADOR 36
88	C88-T ASC	CONDUCTOR OCHENTA Y OCHO DEL TABLERO DEL ASCENSOR
89	C89- ASC D3	CONDUCTOR OCHENTA Y NUEVE DEL ASCENSOR DEL EDIFICIO DE AULAS
90	C90-M asc D3	CONDUCTOR NOVENTA DEL MOTOR DEL ASCENSOR DEL EDIFICIO DE AULAS

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60 Valor de impedancias de los motores del circuito unifilar.

	EQUIPO	TENSIÓN (V)	POTENCIA (HP)	POTENCIA (KVA)	I (A)	X %	X/R	X (p.u)	R (p.u)
1	AC ESTE 09	208	3	2.8	8	27.8	5	99.64158	19.92832
2	AC OESTE 09	208	3	2.8	8	27.8	5	99.64158	19.92832
3	M LPICI	208	1.5	1.4	4	27.8	5	199.2832	39.85663
4	M EXT Iz	208	1.5	1.4	4	27.8	5	199.2832	39.85663
5	M EXTCe	208	1.5	1.4	4	27.8	5	199.2832	39.85663
6	M EXT De	208	1.5	1.4	4	27.8	5	199.2832	39.85663
7	M C.F1	208	1.15	1.1	3	27.8	5	259.9345	51.98691
8	M C.F2	208	1.15	1.1	3	27.8	5	259.9345	51.98691
9	M asc C4	400	6	5.6	8	27.8	5	49.82079	9.964158
10	M1 Bomb	208	7.5	7.0	19	27.8	5	39.85663	7.971326

	EQUIPO	TENSIÓN (V)	POTENCIA (HP)	POTENCIA (KVA)	I (A)	X %	X/R	X (p.u)	R (p.u)
11	M2 Bomb	208	7.5	7.0	19	27.8	5	39.85663	7.971326
12	M AC1	208	5	4.7	13	27.8	5	59.78495	11.95699
13	M AC2	208	5	4.7	13	27.8	5	59.78495	11.95699
14	M AC3	208	5	4.7	13	27.8	5	59.78495	11.95699
15	M asc C3	400	6	5.6	8	27.8	5	49.82079	9.964158
16	M asc A4	400	6	5.6	8	27.8	5	49.82079	9.964158
17	M asc A3	400	6	5.6	8	27.8	5	49.82079	9.964158
18	M asc D1	400	6	5.6	8	27.8	5	49.82079	9.964158
19	M Bomb 1	208	7.5	7.0	19	27.8	5	39.85663	7.971326
20	M Bomb 2	208	7.5	7.0	19	27.8	5	39.85663	7.971326
21	M Bomb 3	208	1	0.9	3	27.8	5	298.9247	59.78495
22	M COMA	208	7.5	7.0	19	27.8	5	39.85663	7.971326
23	M COMPT	208	5	4.7	13	27.8	5	59.78495	11.95699
24	M RP	208	1	0.9	3	27.8	5	298.9247	59.78495
25	M FE	208	5.9	5.5	15	27.8	5	50.66521	10.13304
26	M TP1	208	5	4.7	13	27.8	5	59.78495	11.95699
27	M TP2	208	5	4.7	13	27.8	5	59.78495	11.95699
28	M C	208	3	2.8	8	27.8	5	99.64158	19.92832
29	M FT	208	4	3.7	10	27.8	5	74.73118	14.94624
30	M TC1	208	2	1.9	5	27.8	5	149.4624	29.89247
31	M TC2	208	1	0.9	3	27.8	5	298.9247	59.78495
32	M TPH1	208	5	4.7	13	27.8	5	59.78495	11.95699
33	M TPH2	208	5	4.7	13	27.8	5	59.78495	11.95699
34	M FE	208	3	2.8	8	27.8	5	99.64158	19.92832
35	M CP	208	3	2.8	8	27.8	5	99.64158	19.92832
36	M G	208	7.5	7.0	19	27.8	5	39.85663	7.971326
37	M AL	208	4	3.7	10	27.8	5	74.73118	14.94624
38	M FMAZ	208	50	46.5	129	20.8	5	4.473118	0.894624
39	M TLEA	208	40	37.2	103	27.8	5	7.473118	1.494624
40	M TC3	208	2	1.9	5	27.8	5	149.4624	29.89247
41	M asc D3	400	6	5.6	8	27.8	5	49.82079	0.099642

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61 Codificación de los motores según su ubicación en el diagrama.

	EQUIPO	DETALLE
1	AC ESTE C9	AIRE ACONDICIONADO ESTE DEL LAIMI I
2	AC OESTE C9	AIRE ACONDICIONADO OESTE DEL LAIMI I
3	M LPICI	MOTOR LAVAPLATOS INDUSTRIAL DEL COMEDOR INSTITUCIONAL
4	M EXT Iz	MOTOR DEL EXTRACTOR DEL LADO IZQUIERDO
5	M EXT Ce	MOTOR DEL EXTRACTOR DEL CENTRO
6	M EXT De	MOTOR DEL EXTRACTOR DEL LADO DERECHO

	EQUIPO	DETALLE
7	M C.F1	MOTOR DEL CUARTO FRIO 1
8	M C.F2	MOTOR DEL CUARTO FRIO 2
9	M asc C4	MOTOR DEL ASCENSOR DEL EDIFICIO DE LAB FÍSICA-QUÍMICA
10	M1 Bomb	MOTOR DE BOMBA 1 DEL TANQUE HIDRONEUMÁTICO
11	M2 Bomb	MOTOR DE BOMBA 2 DEL TANQUE HIDRONEUMÁTICO
12	M AC1	MOTOR DEL AIRE ACONDICIONADO 1 (BIBLIOTECA)
13	M AC2	MOTOR DEL AIRE ACONDICIONADO 2 (BIBLIOTECA)
14	M AC3	MOTOR DEL AIRE ACONDICIONADO 3 (BIBLIOTECA)
15	M asc C3	MOTOR DEL ASCENSOR DE LA BIBLIOTECA
16	M asc A4	MOTOR DEL ASCENSOR DEL EDIFICIO DE MATEMÁTICA
17	M asc A3	MOTOR DEL ASCENSOR DE VIESA
18	M asc D1	MOTOR DEL ASCENSOR DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS
19	M Bomb 1	MOTOR DE BOMBA 1 ACADÉMICA DE ELECTROMECAÁNICA
20	M Bomb 2	MOTOR DE BOMBA 2 ACADÉMICA DE ELECTROMECAÁNICA
21	M Bomb 3	MOTOR DE BOMBA 3 ACADÉMICA DE ELECTROMECAÁNICA
22	M COMA	MOTOR DE COMPRESOR ACADÉMICO
23	M COMPT	MOTOR DE COMPRESOR QUE ALIMENTA UNIDADES DEL TALLER BÁSICO
24	M RP	MOTOR DE RECTIFICADORA PLANA DEL TALLER BÁSICO
25	M FE	MOTOR DE FRESADORA ELLIOT
26	M TP1	MOTOR DE TORNO PARALELO 1
27	M TP2	MOTOR DE TORNO PARALELO 2
28	M C	MOTOR DE CEPILLO
29	M FT	MOTOR DE FRESA TORRETA
30	M TC1	MOTOR DE TALADRO COLUMNA 1
31	M TC2	MOTOR DE TALADRO COLUMNA 2
32	M TPH1	MOTOR DE TORNO PARALELO HARRISON 1
33	M TPH2	MOTOR DE TORNO PARALELO HARRISON 2
34	M FE	MOTOR DE FRESA ELLIOT
35	M CP	MOTOR DE CEPILLO PEQUEÑO
36	M G	MOTOR DE GUILLOTINA
37	M AL	MOTOR DE ARROLLADORA DE LÁMINAS
38	M FMAZ	MOTOR DE FRESA CNC MAZAK
39	M TLEA	MOTOR DE TORNO CNC LEADWELL
40	M TC3	MOTOR DE TALADRO DE COLUMNA 3
41	M asc D3	MOTOR DE ASCENSOR DE EDIFICIO AULAS
42	GEN 1	GENERADOR 1
43	GEN 2	GENRADOR 2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62 Valor de impedancias de los transformadores del circuito unifilar.

	TRANSFORMADOR	POTENCIA (KVA)	POTENCIA (MVA)	Z %	X/R	X %	R %	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
0	TX0 P	1000	1	5.83	6	5.7507	0.9584	0.0583	0.057507	0.009584
1	TX1 C9	30	0.03	4.32	3	4.0983	1.3661	1.44	1.366104	0.455368
2	TX2 C10	45	0.045	4.34	3	4.1173	1.3724	0.964444	0.914952	0.304984
3	TX3 C10	112.5	0.1125	5.2	3	4.9332	1.6444	0.462222	0.438503	0.146168
4	TX4 C4	225	0.225	6	3	5.6921	1.8974	0.266667	0.252982	0.084327
5	TX5 C6	30	0.03	4.32	3	4.0983	1.3661	1.44	1.366104	0.455368
6	TX7 C3	112.5	0.1125	5.2	3	4.9332	1.6444	0.462222	0.438503	0.146168
7	TX9 A4	45	0.045	4.3	3	4.0793	1.3598	0.955556	0.90652	0.302173
8	TX12 A3	75	0.075	4.12	3	3.9086	1.3029	0.549333	0.521143	0.173714
9	TX24 D1	112.5	0.1125	6.46	3	6.1285	2.0428	0.574222	0.544755	0.181585
10	TX27 D10	225	0.225	6.5	4	6.3059	1.5765	0.288889	0.280263	0.070066
11	TX34 D11	75	0.075	4.12	3	3.9086	1.3029	0.549333	0.521143	0.173714
12	TX36 D3	150	0.15	5.45	3	5.1703	1.7234	0.363333	0.344688	0.114896
13	AUTOTRASNFORMADOR	27	0.027	4	3	3.7947	1.2649	1.481481	1.405457	0.468486

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63 Codificación de los transformadores según su ubicación en el diagrama

	TRANSFORMADOR	DETALLE
1	TX0 P	TRASNFOMADOR SECO PRINCIPAL
2	TX1 C9	TRASNFOMADOR SECO DEL LAIMI I
3	TX2 C10	TRASNFOMADOR SECO DEL LAVAPLATOS INDUSTRIAL DEL COMEDOR INSTITUCIONAL
4	TX3 C10	TRASNFOMADOR SECO DEL COMEDOR INSTITUCIONAL
5	TX4 C4	TRASNFOMADOR SECO DE LOS LABORATORIOS FÍSICA-QUÍMICA
6	TX5 C6	TRASNFOMADOR SECO DEL TANQUE HIDRONEUMÁTICO
7	TX7 C3	TRASNFOMADOR SECO DE LA BIBLIOTECA
8	TX9 A4	TRASNFOMADOR SECO DEL EDIFICIO MATEMÁTICA-FÍSICA-C.SOCIALES
9	TX12 A3	TRASNFOMADOR SECO DE VIESA-ADMISIÓN Y REGISTRO-FOTOCOPIADORA
10	TX24 D1	TRASNFOMADOR SECO DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS
11	TX27 D10	TRASNFOMADOR SECO DE ESCUELA DE ELECTROMECAÁNICA
12	TX34 D11	TRASNFOMADOR SECO DE TALLER BÁSICO
13	TX36 D3	TRASNFOMADOR SECO DE EDIFICIO AULAS

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64 Datos de del Banco de Capacitores.

BANCO DE CAPACITORES (SIEMENS), 480V, 300KVA_r,fp:0.98, Tipo regulador BR6500						
ETAPA	#1	#2	#3	#4	#5	ETAPA FIJA
TIPO DE FUSIBLE	3x125A	3x 125 A	3x 125 A	3x 125 A	3x 125 A	3x125A
TIPO DE CONTACTOR	1x3RT 1647-1A	3BT50	3BT50	3BT50	3BT50	3BT50
BOBINA DE DESCARGA	B44066-E9900- S001	4AJ9901	4AJ9901	4AJ9901	4AJ9901	4AJ9901
MARCA CONDENSADOR	SIEMENS	SIEMENS	SIEMENS	SIEMENS	SIEMENS	SIEMENS
CAPACIDAD DE ETAPA	4X 12,5 kVAR	4X 12,5 kVAR	4X 12,5 kVAR	4X 12,5 kVAR	4X 12,5 kVAR	4x 12.5 KVA _r

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65 Datos de placa de disyuntor principal.

DETALLE	DISYUNTOR PRINCIPAL
MODELO	3WX2350
CAPACIDAD	1250 A
UNIDAD DISPARO	Bobina 3WX2955
VOLTAJE	480 Vac

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66 Datos de los Generadores.

EQUIPO	TENSIÓN	POTENCIA (KVA)	CORRIENTE (A)	X (%)	X/R	X (p.u)	R (p.u)
GEN 1	480	400	481.1254486	19.4	10	0.485	0.0485
GEN 2	480	400	481.1254486	19.4	10	0.485	0.0485

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67 Datos de la red distribuidora.

RED	TENSIÓN	CORRIENTE TRIFÁSICA (A)	CORRIENTE MONOFÁSICA (A)	Z (Ω)	X/R	X (p.u)	R (p.u)
JASEC	34500	3900	2880	5.107332	15	0.004281	0.000285

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 2: Diagrama unifilar SKM.

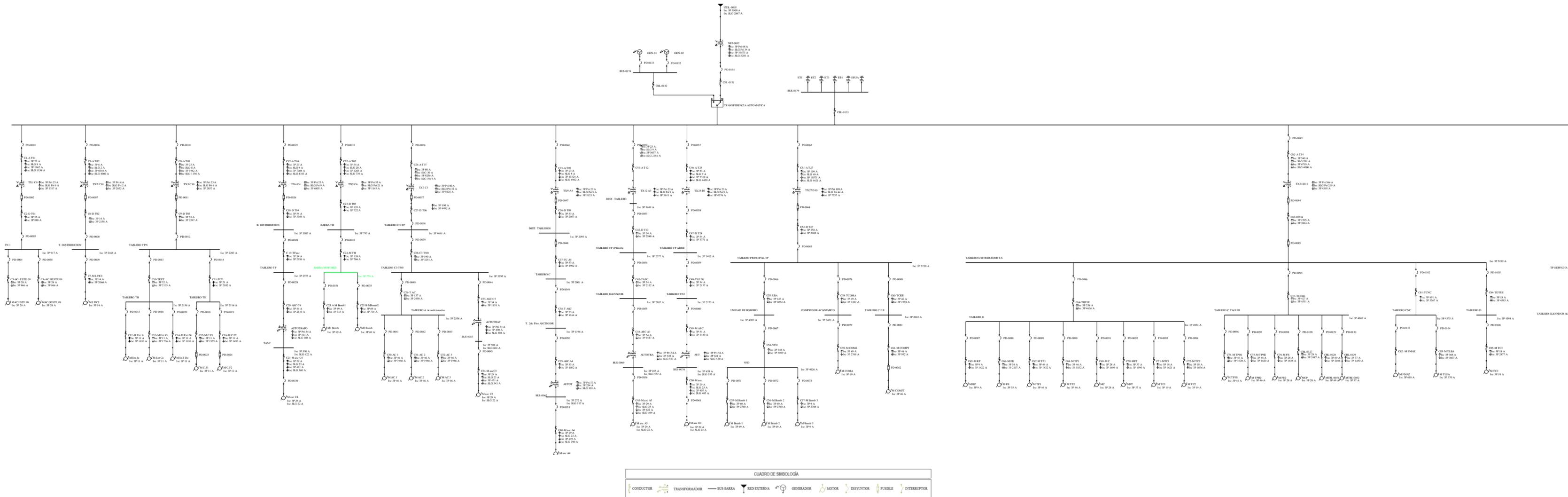


Figura 121 Circuito equivalente modelado en software SKM
Fuente: Elaboración propia

Apéndice 3: Memoria de cálculo.

En esta sección se explicará de manera detallada la metodología de cálculo manual usada para hacer el análisis de corrientes de corto circuito del diagrama unifilar de la acometida principal del Tecnológico de Costa Rica, basándose en las Normas IEEE Std 551™-2006 y IEEE Std 141™-1993. Se pretende explicar cómo fue el procedimiento de cálculo de corriente de corto circuito para la barra principal distribuidora, la que está comprendida entre el transformador de 1MVA y los distintos transformadores secos de las edificaciones.

1. Cálculo de impedancias.

El Diagrama Unifilar analizado posee distintos niveles de voltaje donde el predominante es el de baja tensión (208V), esto porque la mayoría de cargas operan a este voltaje. La potencia base, para el cálculo de impedancias por unidad que se seleccionó, fue de 1000 KVA, esto por recomendación de la norma IEEE Std 141™-1993.

$$S_{BASE} = 1000 \text{ KVA} \quad (7)$$

$$I_{BASE} = \frac{S_{BASE}}{V_{LL\,BASE} * \sqrt{3}} \quad (8)$$

$$Z_{BASE} = \frac{V_{LN\,BASE}}{I_{BASE}} \quad (9)$$

La Ecuación 7, se utiliza para realizar el cálculo de la corriente base para los distintos voltajes línea-línea de operación que se poseen, de igual manera la Ecuación 8 se utiliza para realizar el cálculo de la impedancia base para los distintos valores de voltaje línea-neutro de operación. Estos cálculos se realizaron para los distintos valores de voltaje (34500, 480, 400, 208) V, los resultados se muestran en la Tabla 68.

Tabla 68 Valores base para el cálculo de impedancias

POTENCIA BASE (KVA)		
1000		
VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	IMPEDANCIA (Ω)
208	2775.723742	0.043264
480	1202.813622	0.2304
34500	16.73479821	1190.25
400	1443.376346	0.16

Fuente: Elaboración propia.

Estos valores obtenidos en la Tabla 68, son utilizados para realizar el cálculo de impedancias en valores por unidad o P.U, para los distintos conductores que se poseen en el diagrama unifilar.

En la Tabla 58 del Apéndice 1: Tablas de cálculos. Se presentan los resultados de los cálculos de impedancia en P.U, las ecuaciones utilizadas se explicarán con detalle a continuación.

Inicialmente se necesitan tener los valores de reactancia y de resistencia de los distintos calibres utilizados, estos valores fueron obtenidos de la Figura 134 el cual representa la Tabla 9 del NEC. Se optó utilizar esta tabla porque posee los valores de resistencia y reactancia en Ohm/Kilometro lo que facilita el cálculo, por no tener que hacer la conversión de todos los valores, en caso de que se utilizara los valores en Ohm/1000pies. Otros datos importantes son la distancia de los conductores entre cargas, número de conductores en paralelo de cada uno de los alimentadores.

$$X (\Omega) = \frac{X \left(\frac{\Omega}{m} \right) * Distancia (m)}{\# Conductores Paralelo} \quad (10)$$

$$R (\Omega) = \frac{R \left(\frac{\Omega}{m} \right) * Distancia (m)}{\# Conductores Paralelo} \quad (11)$$

Los valores calculados en las Ecuaciones 10 y 11 representan los valores de reactancia y resistencia en Ohm, por lo que se procede a hacer la conversión a P.U.

$$X (P.U) = \frac{X \left(\frac{\Omega}{m} \right)}{Z_{BASE}} \quad 12$$

$$R (P.U) = \frac{R \left(\frac{\Omega}{m} \right)}{Z_{BASE}} \quad 13$$

En las Ecuaciones 12 y 13 se muestra la forma de calcular los distintos valores de reactancia y resistencia en P.U, esto para distintos valores de impedancia base, de los diferentes niveles de voltaje al cual operan. En la Tabla 58 se encuentran los resultados de estos cálculos para los distintos alimentadores.

El cálculo de reactancia y de resistencia en P.U del proveedor de energía, se calcula diferente pues los valores facilitados por la JASEC corresponden a los valores de corriente trifásica y monofásica, el procedimiento se explicará a continuación.

$$Z_S = \frac{KVA_{BASE}}{KVA_{CC \text{ proveedor}}} \quad (14)$$

$$Z_S = \sqrt{R_S^2 + X_S^2} \quad (15)$$

$$\frac{X_S}{R_S} = 15 \quad (16)$$

$$R_S = \frac{Z_S}{\sqrt{1 + (X_S)^2}} \quad (17)$$

$$X_S = \frac{15}{R_S} \quad (18)$$

En la Ecuación 15 se calcula el valor de la impedancia, dividiendo el valor base, el cual es 1000 KVA, entre la potencia de corto circuito del proveedor, que se calcula multiplicando el aporte de corriente en el punto por el voltaje de operación (34500V). Con las demás ecuaciones y tomando un valor de X/R para el proveedor de 15, por recomendación de la norma, se calculan los valores reactancia y de resistencia del proveedor de energía que corresponde a la JASEC, estos datos se pueden encontrar en la Tabla 67.

En el caso de los transformadores, el valor de impedancia Z% se toma directamente de los datos de placa, el valor típico de X/R se toma de la Figura 136. Como así se requiere se procede a calcular los valores de reactancia y resistencia, ambos en forma porcentual de la siguiente manera.

$$R(\%) = \frac{Z(\%)}{\sqrt{(X/R)^2 + 1}} \quad (19)$$

$$X(\%) = \left(\frac{X}{R}\right) * R(\%) \quad (20)$$

Ya por obtenidos los valores de reactancia y resistencia en forma porcentual, se procede a hacer el cálculo de los mismos valores pero en P.U, siguiendo el siguiente procedimiento mostrado en las siguientes ecuaciones.

$$X(P.U) = \left(\frac{X(\%)}{100}\right) * \left(\frac{S_{BASE}}{S_{TRAF0}}\right) \quad (21)$$

$$R(P.U) = \left(\frac{R(\%)}{100}\right) * \left(\frac{S_{BASE}}{S_{TRAF0}}\right) \quad (22)$$

Los valores calculados con las ecuaciones anteriores se encuentran en la Tabla 62 para todos los transformadores secos y los autotransformadores.

En el caso del cálculo de los valores de reactancia y de resistencia de los motores y generadores, se toman las siguientes decisiones basándose en recomendaciones de las normas consultadas. Los valores de reactancias subtransitorias asumidas según la Tabla 2 son de 27.78% para motores pequeños y de 20.83% para motores medianos que no sobrepasen los 1000Hp. Los valores de X/R se toman de la Figura 137 para el caso del generador y Figura 138 para los motores de inducción o asíncronos. En las siguientes ecuaciones se explica cómo es el cálculo de los valores de reactancia y resistencia para los motores y los generadores.

$$R_{M1}(P.U) = \frac{BASE (KVA) * \%R_{M1}}{MOTOR (KVA) * 100} \quad (23)$$

$$X_{M1}(P.U) = \frac{BASE (KVA) * \%X_{M1}}{MOTOR (KVA) * 100} \quad (24)$$

Con el valor de X/R se pueden encontrar el valor X o R según se requiera, los resultados de reactancia y resistencia de los motores se pueden encontrar en la Tabla 60 y los valores de las unidades generadoras se encuentran en la Tabla 66.

2. Cálculo de Impedancia equivalente.

El diagrama unifilar en estudio tiene la particularidad de que hay una barra principal a un voltaje de 480V que alimenta todos los transformadores secos, los cuales hacen la reducción a 208 V para alimentar las diferentes acometidas. Esta barra a su vez es alimentada por un transformador de 1 MVA con una relación de voltaje de 34500/480 V.

En la sección anterior (1. Cálculo de impedancias.) Se explicó como fue el cálculo de los valores de reactancia y resistencia para cada uno de los elementos del diagrama unifilar en estudio, estos valores se calcularon individual porque la metodología de cálculo en la que se basó así lo recomienda para tener mayor comodidad a la hora de hacer la reducción del circuito equivalente.

En esta sección lo que se pretende es hacer el cálculo de reactancia y resistencia equivalente para la barra de distribución principal con el objetivo de calcular su corriente de corto circuito. Sólo se realizará el cálculo de corriente de corto circuito para ejemplificar el procedimiento recomendado por la norma.

Para ejemplificar la reducción del circuito equivalente se tomara el circuito modelado en el software SKM, este representara los diagramas unifilares que se utilizaron para hacer la reducción con el método manual, cabe destacar que en estos diagramas se representa tanto el valor de reactancia como el de resistencia. A diferencia del método manual que se utilizó dos diagramas individuales, con el fin de trabajarlos por aparte para mayor practicidad de cálculo.

En la carpeta anexada a este documento está el diagrama unifilar completo de la acometida principal, donde se encuentran todas las edificaciones con todas las cargas y sus respectivos tableros, no obstante para efectos de este proyecto, sólo se tomarán doce edificaciones, esto porque en estas es donde están localizadas las únicas cargas que aportan ante un posible evento de corrientes de corto circuito.

Como se menciona en uno de los pasos a seguir para el cálculo manual basados en la norma, mencionado en el Marco conceptual, es necesario hacer una reducción o simplificación del diagrama unifilar en estudio, esto porque la mayoría de los elementos que en él se encuentran no son de utilidad para el cálculo, y lo que pueden hacer es dificultar la reducción, por lo que se recomienda hacer un diseño lo más simplificado posible con la información de los elementos más importantes.

A continuación se presentará la reducción del circuito equivalente, se escoge el orden más apropiado para facilitar el cálculo, basándose en la metodología de cálculo de las normas. Se presentará primero el diagrama unifilar por reducir, las observaciones de reducción y finalmente una tabla resumen donde se encuentran los datos de cada elemento y su valor de impedancia equivalente.

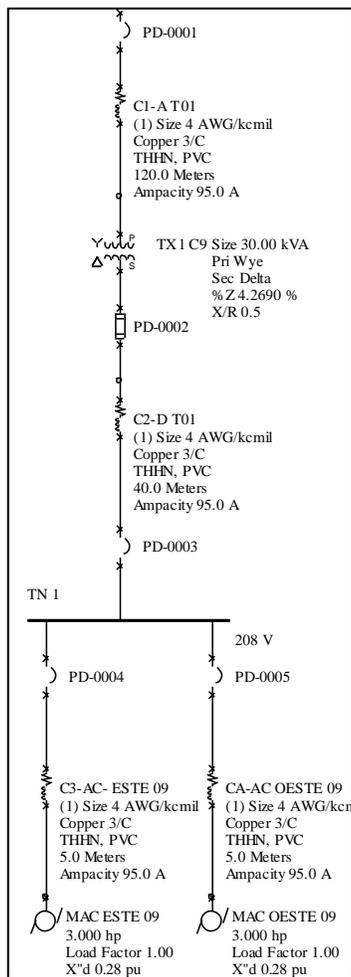


Figura 122 Extracto de diagrama Unifilar LAIMI I
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 122 representa el diagrama unifilar del LAIMI I, para la reducción de esta sección se procedió a realizar las sumas en serie de los elementos inferiores, los motores y sus respectivos conductores. Seguidamente se procedió a hacer la suma en paralelo de los mismos para finalmente realizar la suma en serie del equivalente del paralelo con los demás elementos hasta el transformador 01 C8-C9, este procedimiento se realizó tanto para el circuito de reactancias como para el de resistencias.

Tabla 69 Datos de los conductores del LAIMI I

ALIMENTADOR	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
C1-A T01	0.0818	0.5313	0.4948
C2-D T01	0.1452	0.943	0.8783
C3 AC ESTE C9	0.0181	0.1179	0.1098
C4 AC OESTE C9	0.0181	0.1179	0.1098

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70 Dato de transformador de LAIMI I

TRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
TX1 C9	1.44	1.3661	0.4553

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71 Datos de cargas de LAIMI I

EQUIPO	X (p.u)	R (p.u)
AC ESTE 09	99.6415	19.9283
AC OESTE 09	99.6415	19.9283

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 72 Resistencia y Reactancia equivalente del LAIMI I

R (p.u) Equivalente	X (p.u) Equivalente
1.6181	1.5437

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 69 representa los valores de resistencia y reactancia para los distintos alimentadores del diagrama, la Tabla 70 representa el valor del transformador del edificio, la Tabla 71 representa las cargas que aportan ante un posible evento de cortocircuito y en la Tabla 72 están los valores de reactancia y resistencia equivalente de la Figura 122.

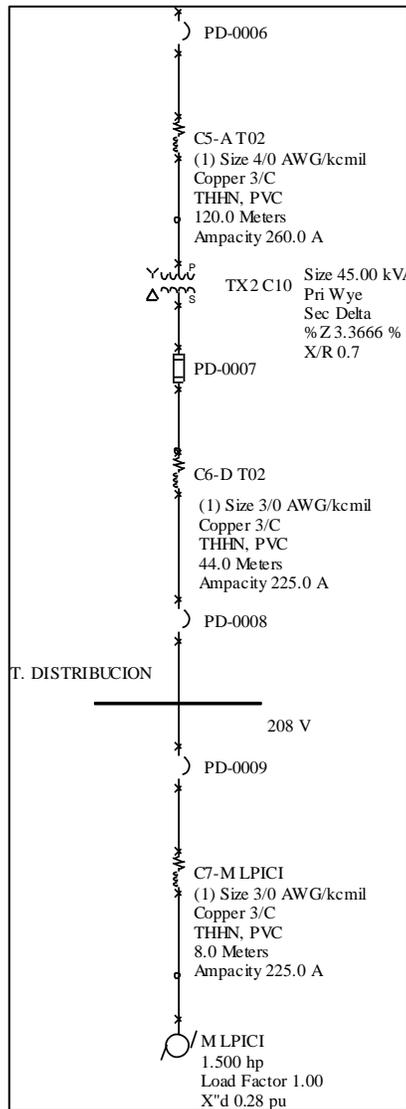


Figura 123 Extracto de diagrama unifilar LCI
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 123 se representa el diagrama unifilar de la mayor carga que se encuentra en el comedor industrial, esta carga es un lavaplatos industrial, el cual posee su propio transformador dado la demanda de carga que él posee. Para su reducción se procede a realizar la suma en serie de todos los elementos, esto para hacer el cálculo del circuito equivalente.

Tabla 73 Datos de conductores del LICl

ALIMENTADOR	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
C5-A T02	0.0703	0.1057	0.126
C6 -D T02	0.1403	0.2573	0.2939
C7-M LPICI	0.0255	0.0468	0.0534

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74 Dato de transformador del LICl.

TRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
TX2 C10	0.9644	0.9149	0.3049

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 75 Dato de carga del LICl.

EQUIPO	X (p.u)	R (p.u)
M LPICI	199.2832	39.8566

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 76 Resistencia y Reactancia equivalente del LICl.

R (p.u) Equivalente	X (p.u) Equivalente
40.5714	200.4342

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 73 representa los valores de resistencia y reactancia para los distintos alimentadores del diagrama, la Tabla 74 representa el valor del transformador del edificio, la Tabla 75 representa las cargas que aportan ante un posible evento de corto circuito y en la Tabla 76 están los valores de reactancia y resistencia equivalente de la Figura 123.

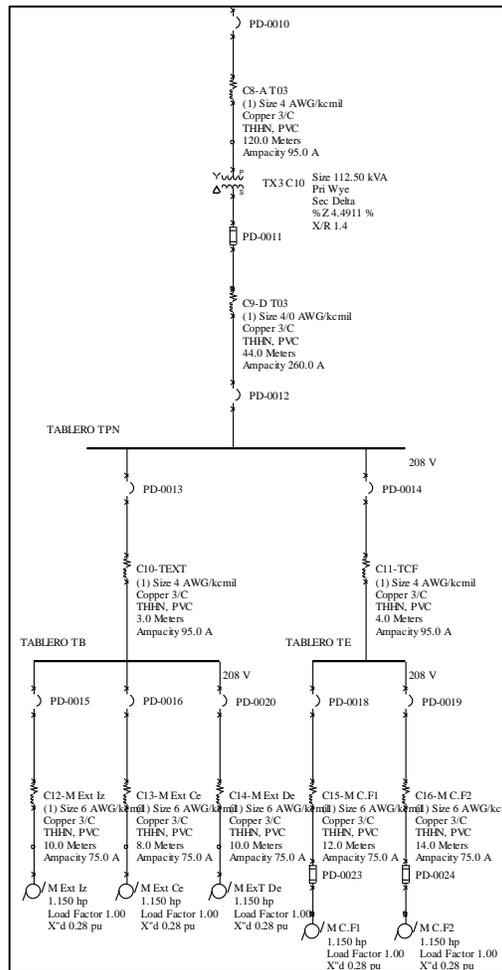


Figura 124 Extracto de diagrama unifilar del Comedor Institucional.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 124 representa el diagrama unifilar donde se encuentran las cargas que aportan, estas cargas pertenecen a equipos de uso diario para maniobras de preparación de alimentos. Para realizar la simplificación se procedió desde la parte inferior hasta la superior, realizando la suma en serie de los motores con su respectivo conductor, seguidamente se procedió a realizar la suma en paralelo de las primeras tres líneas del lado izquierdo para luego sumarlo con el conductor siguiente. De la misma forma para las dos líneas del lado derecho, se realiza la suma en paralelo, para luego ser sumada con el siguiente conductor. Ya por obtenido los equivalentes de ambos, se suman en paralelo para finalmente hacer la respectiva suma en serie con los elementos de la parte superior.

Tabla 77 Datos de conductores del Comedor Institucional.

ALIMENTADOR	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
C8-A T03	0.0818	0.5313	0.4948
C9-D T03	0.1373	0.2065	0.2461
C10-TEXT	0.0109	0.0707	0.0659
C11-TCF	0.0145	0.0943	0.0878
C12-M Ext Iz	0.0386	0.3721	0.3328
C13-M Ext Ce	0.0309	0.2977	0.2663
C14- M Ext De	0.0386	0.3721	0.3328
C15-M C.F1	0.0463	0.4466	0.3994
C16-M C.F2	0.054	0.521	0.466

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 78 Dato de transformador del Comedor Institucional.

TRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
TX3 C10	0.4622	0.4385	0.1461

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 79 Datos de cargas del Comedor Institucional.

EQUIPO	X (p.u)	R (p.u)
M EXT Iz	199.2832	0.3985
M EXTCe	199.2832	0.3985
M EXT De	199.2832	0.3985
M C.F1	259.9345	0.5198
M C.F2	259.9345	0.5198

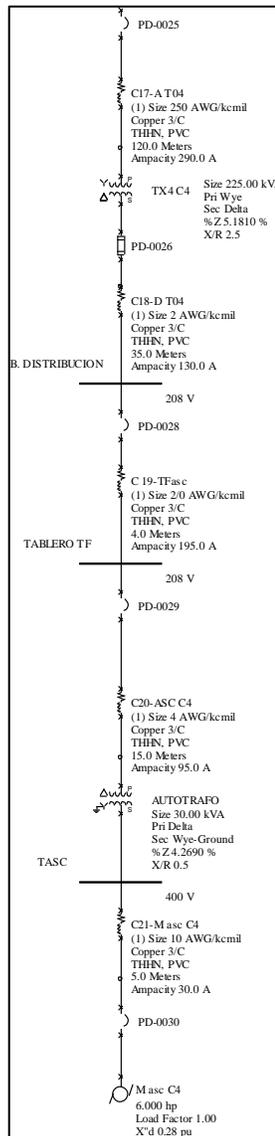
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 80 Resistencia y Reactancia equivalente del CI

R (p.u) Equivalente	X (p.u) Equivalente
1.0915	43.9740

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 77 representa los valores de resistencia y reactancia para los distintos alimentadores del diagrama, la Tabla 78 representa el valor del transformador del edificio, la Tabla 79 representa las cargas que aportan ante un posible evento de corto circuito y en la Tabla 80 están los valores de reactancia y resistencia equivalente de la Figura 124.



**Figura 125 Extracto de diagrama unifilar del Lab Física-Química.
Fuente: Elaboración propia.**

En la Figura 125 se representa el diagrama unifilar donde se encuentra la carga que puede aportar ante un evento de corrientes de corto circuito, esta carga es el motor del elevador. Para realizar la reducción del circuito equivalente se procedió a hacer una suma en serie de todos los elementos desde la parte inferior hasta la superior.

Tabla 81 Datos de conductores del Lab Física-Química

ALIMENTADOR	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
C17-A T04	0.0703	0.0891	0.113
C18-D T04	0.1197	0.5016	0.5016
C19-TFasc	0.013	0.0305	0.0333
C20-ASC C4	0.0147	0.0956	0.0891
C21-M asc C4	0.0051	0.1219	0.1125

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 82 Datos de los transformadores del Lab Física-Química.

TRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
TX4 C4	0.2666	0.2529	0.0843

AUTOTRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
	1.4814	1.4054	0.4684

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83 Dato de carga del Lab Física-Química.

EQUIPO	X (p.u)	R (p.u)
M asc C4	49.8207	9.9641

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 84 Resistencia y Reactancia equivalente del Lab Física-Química.

R (p.u) Equivalente	X (p.u) Equivalente
11.3556	51.7020

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 81 representa los valores de resistencia y reactancia para los distintos alimentadores del diagrama, la Tabla 82 representa el valor de los transformadores del edificio, la Tabla 83 representa las cargas que aportan ante un posible evento de corto circuito y en la Tabla 84 están los valores de reactancia y resistencia equivalente de la Figura 125.

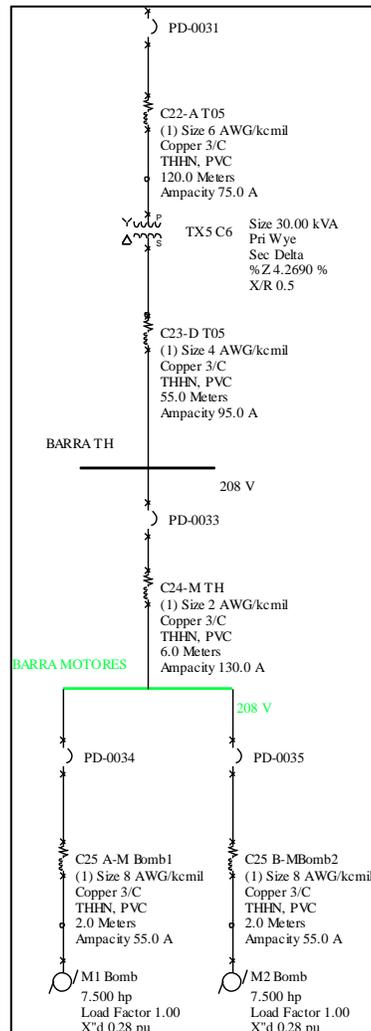


Figura 126 Extracto de diagrama unifilar de T. Hidroneumático.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 126 se representa el diagrama unifilar del tanque hidroneumático que abastece a los edificios del campus central, este posee dos bombas. Para su simplificación se procedió de la siguiente manera, se hace la suma en serie de las dos cargas con su respectivo conductor, ya realizado esto se suman en paralelo para finalmente realizar la suma en serie con los demás elementos hasta el transformador seco.

Tabla 85 Datos de conductores del T. Hidroneumático.

ALIMENTADOR	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
C22-A T05	0.087	0.8385	0.75
C23-D T05	0.1996	1.2967	1.2077
C24-M TH	0.0205	0.086	0.086
C25A-M Bomb1	0.0079	0.1183	0.1045
C25B-M Bomb2	0.0079	0.1183	0.1045

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 86 Dato de transformador del T. Hidroneumático

TRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
TX5 C6	1.44	1.3661	0.4553

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 87 Datos de cargas del T. Hidroneumático.

EQUIPO	X (p.u)	R (p.u)
M1 Bomb	39.8566	7.9713
M2 Bomb	39.8566	7.9713

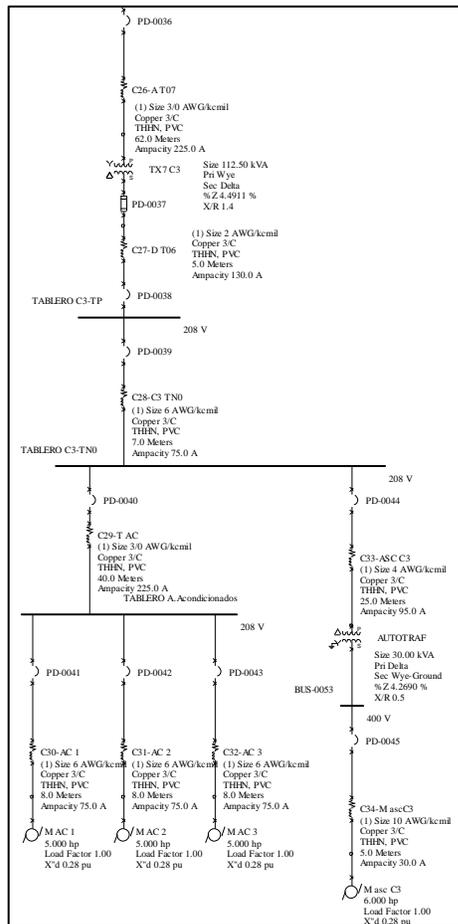
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 88 Resistencia y Reactancia equivalente del T. Hidroneumático.

R (p.u) Equivalente	X (p.u) Equivalente
6.7213	21.6054

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 85 representa los valores de resistencia y reactancia para los distintos alimentadores del diagrama, la Tabla 86 representa el valor del transformador del edificio, la Tabla 87 representa las cargas que aportan ante un posible evento de cortocircuito y en la Tabla 88 están los valores de reactancia y resistencia equivalente de la Figura 126.



**Figura 127 Extracto de diagrama unifilar de Biblioteca.
Fuente: Elaboración propia.**

En la Figura 127 se presenta el diagrama donde se representan las cargas de las unidades de aire acondicionado y el motor del ascensor, el procedimiento que se siguió para la reducción del circuito fue el siguiente, se realiza primero la suma en serie de las impedancias de cada motor con su respectivo conductor; en el caso del motor del ascensor se realizó la suma de todos los elementos desde la parte inferior hasta el conductor después del autotransformador. En el lado de los aires acondicionados se realiza la suma en paralelo de las tres líneas, para luego sumarle el conductor siguiente en serie. Después se suman en paralelo la reducción de los equivalentes de las unidades de aire acondicionado y del ascensor para finalmente sumarle en serie las impedancias de los demás elementos.

Tabla 89 Datos de conductores de la Biblioteca.

ALIMENTADOR	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
C26-A T07	0.0371	0.0681	0.0778
C27-D T07	0.0148	0.0103	0.0163
C28-C3 TN0	0.0218	0.0328	0.0392
C29-T AC	0.1276	0.2339	0.2672
C30-AC 1	0.0309	0.2977	0.2663
C31-AC 2	0.0309	0.2977	0.2663
C32-AC 3	0.0309	0.2977	0.2663
C33-ASC C3	0.0245	0.1594	0.1484
C34-M asc C3	0.0051	0.1219	0.1125

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 90 Datos de transformadores de la Biblioteca.

TRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
TX7 C3	0.4622	0.4385	0.1461

AUTOTRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
	1.4814	1.4054	0.4684

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 91 Datos de equipos de la Biblioteca.

EQUIPO	X (p.u)	R (p.u)
M AC1	59.78495	11.9569
M AC2	59.78495	11.9569
M AC3	59.78495	11.9569
M asc C3	49.8207	9.9641

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 92 Resistencia y Reactancia equivalente de Biblioteca.

R (p.u) Equivalente	X (p.u) Equivalente
3.3354	14.9328

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas anteriores se representan los valores de uno de los elementos del diagrama, como también el valor de su reactancia y resistencia equivalente después de hacer su reducción.

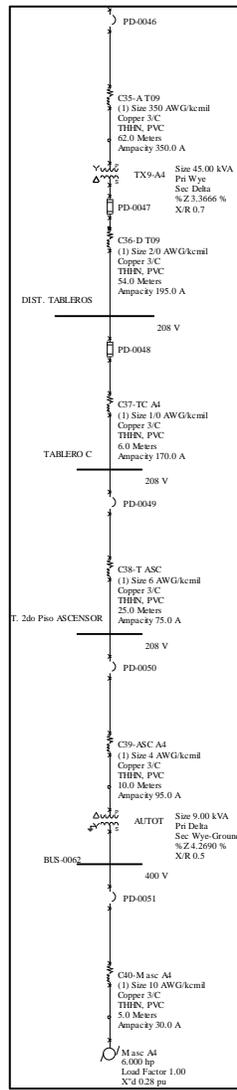


Figura 128 Extracto de diagrama unifilar de Edificio Mate-Físico.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 128 se ve representado el diagrama unifilar del edificio de la Escuela de Matemáticas, en este extracto del unifilar se presenta la carga que corresponde al motor del elevador. Para efectos de reducción del circuito se procede de la siguiente manera, sumar en serie todos los elementos para sacar su equivalente.

Tabla 93 Datos de conductores del edificio Mate-Física

ALIMENTADOR	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
C35-A T09	0.0353	0.0336	0.0468
C36-D T09	0.176	0.4119	0.4493
C37-TC A4	0.02	0.0541	0.0596
C38-T ASC	0.0965	0.9303	0.8321
C39-ASC A4	0.0098	0.0638	0.0594
C40-M asc A4	0.0051	0.1219	0.1125

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 94 Datos de transformadores del edificio Mate-física.

TRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
TX9 A4	0.9555	0.9065	0.3021

AUTOTRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
	1.4814	1.4054	0.4684

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 95 Datos de cargas del edificio Mate-Física.

EQUIPO	X (p.u)	R (p.u)
M asc A4	49.8207	9.9641

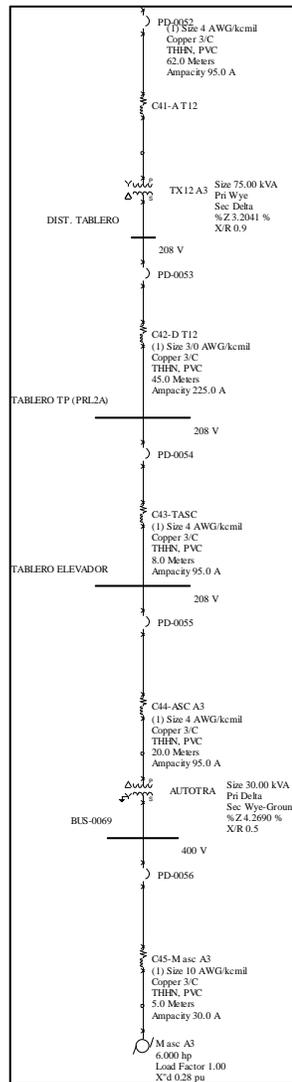
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 96 Resistencia y Reactancia equivalente de Mate-Física.

R (p.u) Equivalente	X (p.u) Equivalente
12.3504	52.4754

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 93 representa los valores de resistencia y reactancia para los distintos alimentadores del diagrama, la Tabla 94 representa el valor del transformador del edificio, la Tabla 95 representa las cargas que aportan ante un posible evento de corto circuito y en la Tabla 96 están los valores de reactancia y resistencia equivalente de la Figura 128.



**Figura 129 Extracto de diagrama unifilar de Admisión y Registro.
Fuente: Elaboración propia.**

En la Figura 129 se ve representado el diagrama unifilar del edificio de Admisión y Registro, en este extracto del unifilar se presenta la carga que corresponde al motor del elevador. Para efectos de reducción del circuito se procede de la siguiente manera, sumar en serie todos los elementos para sacar su equivalente.

Tabla 97 Datos de conductores del Admisión y Registro

ALIMENTADOR	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
C41-A T12	0.0422	0.2745	0.2556
C42-D T12	0.1435	0.2632	0.3006
C43-T ASC	0.029	0.1886	0.1757
C44- ASC A3	0.0196	0.1275	0.1188
C45-M asc A3	0.0051	0.1219	0.1125

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 98 Datos de transformadores de Admisión y Registro.

TRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
TX12 A3	0.5493	0.5211	0.1737

AUTOTRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
	1.4814	1.4054	0.4684

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 99 Dato de carga de Admisión y Registro.

EQUIPO	X (p.u)	R (p.u)
M asc A3	49.8207	9.9641

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 100 Resistencia y Reactancia equivalente de Admisión y Registro

R (p.u) Equivalente	X (p.u) Equivalente
11.5820	51.9867

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 97 representa los valores de resistencia y reactancia para los distintos alimentadores del diagrama, la Tabla 98 representa el valor del transformador del edificio, la Tabla 99 representa las cargas que aportan ante un posible evento de corto circuito y en la Tabla 100 están los valores de reactancia y resistencia equivalente de la Figura 129.

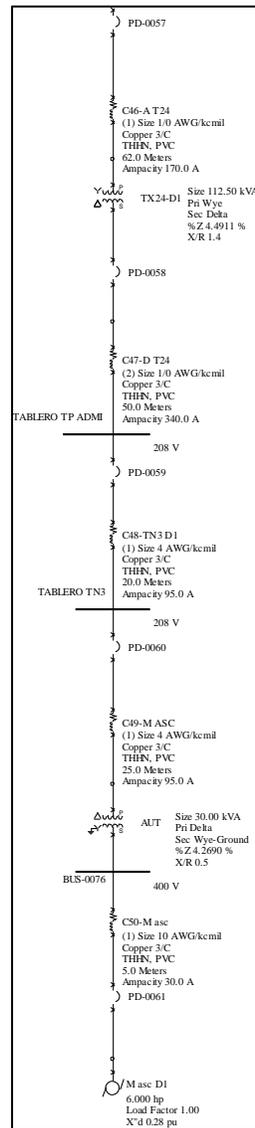


Figura 130 Extracto de diagrama unifilar de Administración de Empresas.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 129 se ve representado el diagrama unifilar del edificio de Administración de Empresas, en este extracto del unifilar se presenta la carga que corresponde al motor del elevador. Para efectos de reducción del circuito se procede de la siguiente manera, sumar en serie todos los elementos para sacar su equivalente.

Tabla 101 Datos de conductores de Administración de Empresas

ALIMENTADOR	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
C46-A T24	0.0388	0.1049	0.1157
C47-D T24	0.0832	0.2254	0.2485
C48-TN3 D1	0.0726	0.4715	0.4392
C49- ASC D1	0.0245	0.1594	0.1484
C50-M asc D1	0.0051	0.1219	0.1125

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 102 Datos de transformadores de Administración de Empresas.

TRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
TX24 D1	0.5742	0.5447	0.1815

AUTOTRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
	1.4814	1.4054	0.4684

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 103 Datos de carga de Administración de Empresas.

EQUIPO	X (p.u)	R (p.u)
M asc D1	49.8207	9.9641

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 104 Resistencia y Reactancia equivalente de Administración de Empresas..

R (p.u) Equivalente	X (p.u) Equivalente
11.6973	51.9952

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 101 representa los valores de resistencia y reactancia para los distintos alimentadores del diagrama, la Tabla 102 representa el valor del transformador del edificio, la Tabla 103 representa las cargas que aportan ante un posible evento de corto circuito y en la Tabla 104 están los valores de reactancia y resistencia equivalente de la Figura 130.

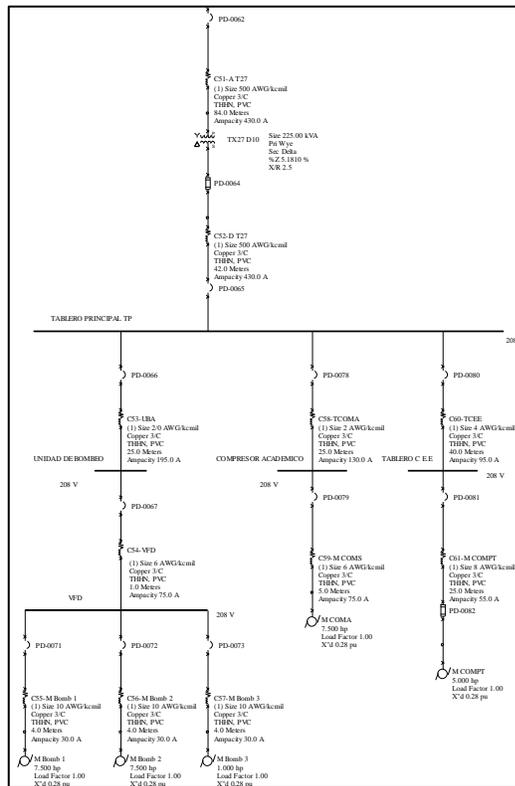


Figura 131 Extracto de diagrama unifilar de Electromecánica.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 131 se representa el diagrama unifilar de la Escuela de Electromecánica donde se presentan las cargas que pueden aportar ante un posible evento de corrientes de corto circuito, estas cargas constan de motores de equipos de uso básicamente académico, en este lugar se encuentra el único variador de frecuencia, tiene el control de tres bombas que son de uso académico, por ser la única carga con variador de frecuencia y por el poco uso que se le da a las bombas, se toma la decisión de tomarlo en cuenta en el cálculo, a pesar de que la norma hace énfasis en que este tipo de cargas se pueden omitir. El procedimiento de reducción fue, se suman los motores de las unidades de bombeo con su respectivo conductor, luego se suman en serie con los conductores que alimentan a esa barra. Ya por obtenido el equivalente de esta sección se suman en paralelo con las dos secciones del lado inferior derecho para luego finalmente sumar en serie con los demás elementos del unifilar.

Tabla 105 Datos de conductores de Electromecánica.

ALIMENTADOR	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
C51-A T27	0.0467	0.0324	0.0514
C52-D T27	0.1243	0.0864	0.1369
C53-UBA	0.0815	0.1907	0.208
C54-VFD	0.0039	0.0372	0.0333
C55-M Bomb 1	0.0152	0.3606	0.3328
C56-M Bomb 2	0.0152	0.3606	0.3328
C57-M Bomb 3	0.0152	0.3606	0.3328
C58-TCOMA	0.0855	0.3583	0.3583
C59-M COMA	0.0193	0.1861	0.1664
C60-TCEE	0.1452	0.943	0.8783
C61-M COMPT	0.079	1.1834	1.0447

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 106 Datos de transformador de Electromecánica.

TRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
TX27 D10	0.2888	0.2802	0.0701

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 107 Datos de cargas de Electromecánica.

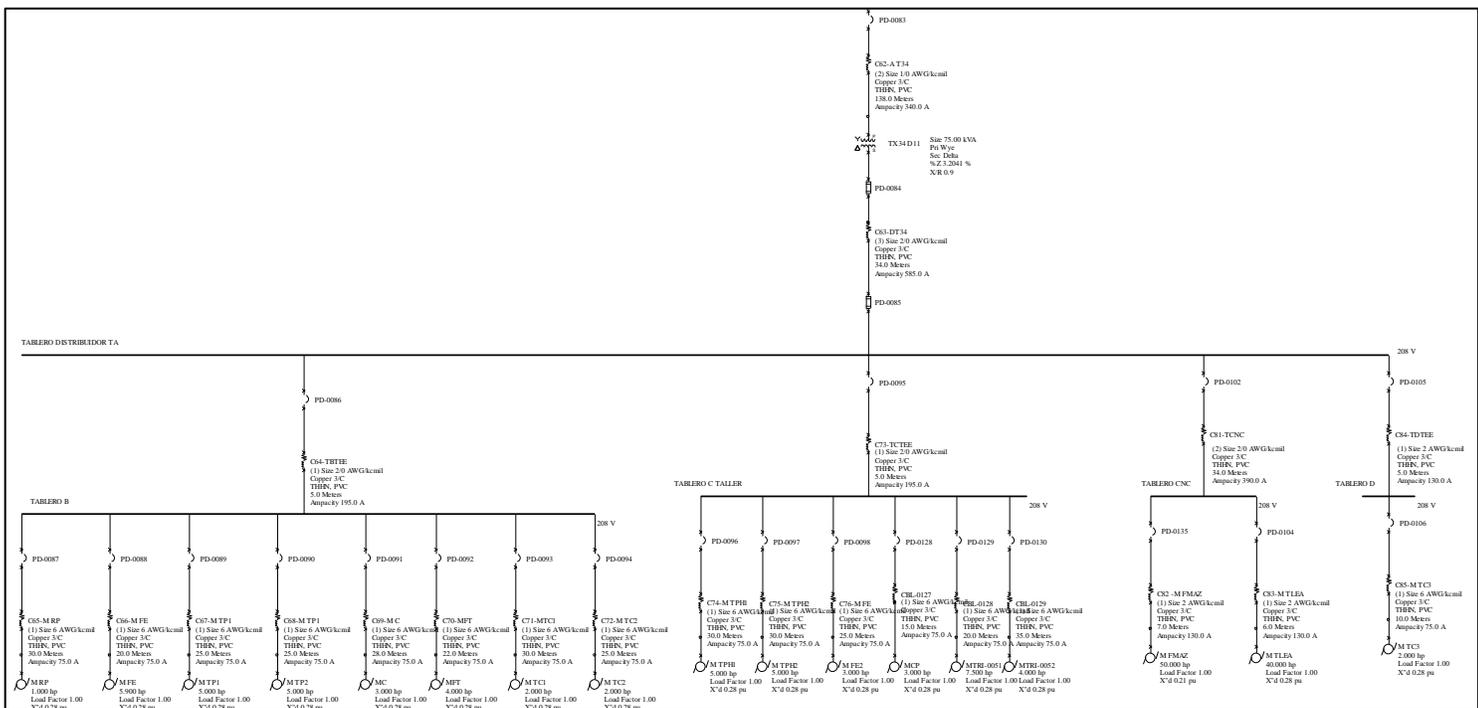
EQUIPO	X (p.u)	R (p.u)
M Bomb 1	39.8566	7.9713
M Bomb 2	39.8566	7.9713
M Bomb 3	298.9247	59.7849
M COMA	39.8566	7.9713
M COMPT	59.7849	11.9569

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 108 Resistencia y Reactancia equivalente de Electromecánica.

R (p.u) Equivalente	X (p.u) Equivalente
2.5094	10.9830

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 132 Extracto de diagrama unifilar del Taller Básico.
Fuente: Elaboración propia.**

En la Figura 132 se presentan las cargas que se encuentran ubicadas en el taller básico de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, en este taller se concentran la mayor cantidad de motores, lo cual es considerado el edificio más crítico. Respecto al procedimiento de reducción del circuito, inicialmente se suman en serie cada uno de los motores con su respectivo conductor. Luego se sumaron en paralelo las cargas que comprenden la barra que pertenece al Tablero Distribuidor TC para luego sumarle el conductor que alimenta a esa barra. De igual manera se procede para el Tablero Distribuidor TB y con el Tablero CNC. Después de obtenidos estos equivalentes se procede a hacer una suma en paralelo, el equivalente de este cálculo se le suma finalmente a los demás elementos que se encuentran aguas arriba de la barra distribuidora TA.

Tabla 109 Datos de conductores del Taller Básico.

ALIMENTADOR	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
C62-A T34	0.0863	0.2336	0.2576
C63-D T34	0.0554	0.1297	0.1415
C64-TBTEE	0.0163	0.0381	0.0416
C65-M RP	0.1158	1.1164	0.9985
C66- M FE	0.0772	0.7443	0.6657
C67-MTP1	0.0965	0.9303	0.8321
C68-MTP2	0.0965	0.9303	0.8321
C69-M C	0.1119	1.0792	0.9652
C70-M FT	0.0849	0.8187	0.7322
C71-M TC1	0.1158	1.1164	0.9985
C72-M TC2	0.0965	0.9303	0.8321
C73-TCTEE	0.0163	0.0381	0.0416
C74-M TPH1	0.1158	1.1164	0.9985
C75-M TPH2	0.1158	1.1164	0.9985
C76-M FE	0.0965	0.9303	0.8321
C77-M CP	0.1081	1.042	0.932
C78-M G	0.0579	0.5582	0.4993
C79-M AL	0.0772	0.7443	0.6657
C80-M GES	0.1351	1.3025	1.1649
C81-TCNC	0.1108	0.2593	0.2829
C82-M FMAZ	0.0239	0.1003	0.1003
C83-M TLEA	0.0205	0.086	0.086
C84-TDTEE	0.0171	0.0717	0.0717
C85-M TC3	0.0386	0.3721	0.3328

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 110 Datos del transformador del Taller Básico.

TRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
TX34 D11	0.5493	0.5211	0.1737

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 111 Datos de cargas del Taller Básico.

EQUIPO	X (p.u)	R (p.u)
M RP	298.9247	59.7849
M FE	50.6652	10.1330
M TP1	59.7849	11.9569
M TP2	59.7849	11.9569
M C	99.6415	19.9283
M FT	74.7311	14.9462
M TC1	149.4625	29.8924
M TC2	298.9247	59.7849
M TPH1	59.7849	11.9569
M TPH2	59.7849	11.9569
M FE	99.6415	19.9283
M CP	99.6415	19.9283
M G	39.8566	7.9713
M AL	74.7311	14.9462
M FMAZ	4.47311	0.8946
M TLEA	7.47311	1.4946
M TC3	149.4624	29.8924

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 112 Resistencia y Reactancia equivalente del Taller Básico.

R (p.u) Equivalente	X (p.u) Equivalente
1.0323	2.5484

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 109 representa los valores de resistencia y reactancia para los distintos alimentadores del diagrama, la Tabla 110 representa el valor del transformador del edificio, la Tabla 111 representa las cargas que aportan ante un posible evento de corto circuito y en la Tabla 112 están los valores de reactancia y resistencia equivalente de la Figura 132.

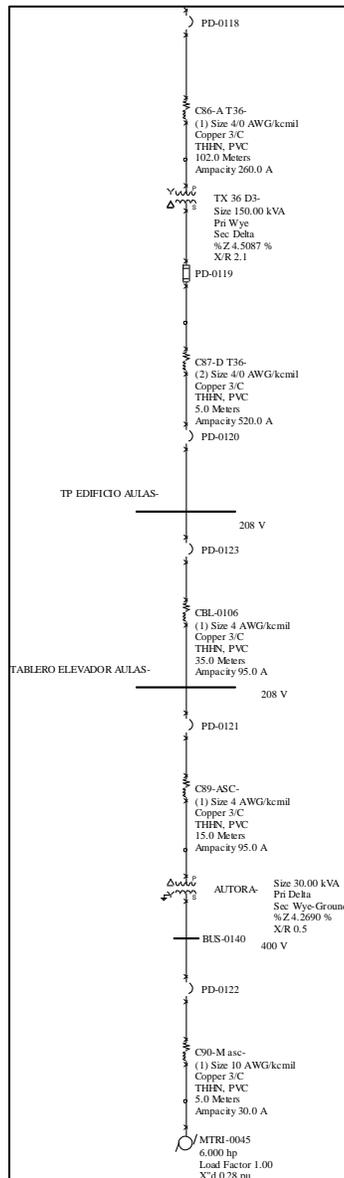


Figura 133 Extracto de diagrama unifilar del edificio aulas.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 133 se ve representado el diagrama unifilar del edificio de Aulas, en este extracto del unifilar se presenta la carga que corresponde al motor del elevador. Para efectos de reducción del circuito se procede de la siguiente manera, sumar en serie todos los elementos para sacar su equivalente.

Tabla 113 Datos de conductores del edificio aulas.

ALIMENTADOR	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
C86-A T36	0.0598	0.0899	0.1071
C87-D T36	0.0078	0.0117	0.014
C88-T ASC	0.127	0.8252	0.7685
C89- ASC D3	0.0147	0.0956	0.0891
C90-M asc D3	0.0051	0.1219	0.1125

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 114 Datos de transformador del edificio aulas.

TRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
TX36 D3	0.3633	0.3446	0.1148

AUTOTRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
	1.4814	1.4054	0.4684

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 115 Datos de carga del edificio aulas.

EQUIPO	X (p.u)	R (p.u)
M asc D3	49.8207	9.9641

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 116 Resistencia y Reactancia equivalente del edificio aulas.

R (p.u) Equivalente	X (p.u) Equivalente
11.6918	51.7853

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 113 representa los valores de resistencia y reactancia para los distintos alimentadores del diagrama, la Tabla 114 representa el valor del transformador del edificio, la Tabla 115 representa las cargas que aportan ante un posible evento de corto circuito y en la Tabla 116 están los valores de reactancia y resistencia equivalente de la Figura 133.

Finalmente se procede a realizar el cálculo de la impedancia equivalente en la barra principal, tomando en cuenta la impedancia equivalente de la red externa y sin tomar en cuenta los dos generadores, pues se está realizando el estudio para el caso típico, donde solo está el aporte de la red de distribución.

Tabla 117 Datos de conductores de red externa.

ALIMENTADOR	X (p.u)	R (p.u)	Z (p.u)
CO-D TP	0.0201	0.014	0.0222

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 118 Datos de transformador de red externa.

TRAFO	Z (p.u)	X (p.u)	R (p.u)
TX0 P	0.0583	0.0575	0.0095

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 119 Resistencia y Reactancia equivalente de red externa.

RED	X (p.u)	R (p.u)
JASEC	0.0042	0.000285

Tabla 120 Impedancia equivalente en barra principal.

IMPEDANCIA EQUIVALENTE EN LA BARRA DE DISTRIBUCION PRINCIPAL	
R (pu)	0.0219
X (pu)	0.0737
Z (pu)	0.0769

La Tabla 117 y Tabla 118, corresponden a los datos de los elementos de la red externa; en la Tabla 119 se encuentran los valores de reactancia y resistencia equivalente. Finalmente en la Tabla 120 se encuentra el valor de reactancia y resistencia equivalente después de realizar la suma en paralelo de todas las impedancias equivalentes de las acometidas de los edificios en estudio en la principal de distribución.

3 Cálculo de corrientes de fallo.

Los cálculos de impedancia equivalente descritos en la sección anterior tienen como objetivo final realizar el cálculo de la corriente de falla en el punto de estudio, esto tomando en cuenta el valor de voltaje de pre-falla, que en este caso es en la barra de distribución principal, esta corresponde al tablero principal, donde se ramifican las distintas acometidas de los edificios. A continuación se presentará la metodología de cálculo de corriente de corto circuito según las normas consultadas.

La impedancia total Z (pu) para el tablero de distribución principal es:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(0.02192)^2 + (0.07374)^2} = 0.07693 \text{ p.u} \quad (25)$$

La corriente de falla para el tablero de distribución principal es:

$$\frac{I_{BASE}}{Z \text{ p.u}} = \frac{1200.81}{0.07693} = 15634.7 \text{ A} \quad (26)$$

El valor de X/R de la impedancia para la falla en el tablero de distribución principal es:

$$X/R = \frac{0.07374}{0.02192} = 3.363 \quad (27)$$

El cálculo de la corriente asimétrica para el tablero de distribución principal es:

$$I_{asim} = I_{sim} \sqrt{1 + 2e^{\frac{-2\pi}{X/R}}} \quad (28)$$

$$I_{asim} = (15634.7) \sqrt{1 + 2e^{\frac{-2\pi}{3.363}}} = 17888.80 \text{ A} \quad (29)$$

Anexos

Anexo 1 Tablas y gráficas de diseño

Tabla 9. Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 ° C (167° F). Tres conductores individuales en un conduit.

Calibre (AWG o kcmil)	Ohms al neutro por kilómetro Ohms al neutro por 1000 pies															Calibre (AWG o kcmil)
	X_p (Reactancia) para todos los alambres:		Resistencia en corriente alterna para alambres de cobre sin recubrir			Resistencia en corriente alterna para alambres de aluminio			Z eficaz a $FP = 0.85$ para alambres de cobre sin recubrir			Z eficaz a $FP = 0.85$ para alambres de aluminio				
	Conduit de PVC o Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de acero		
14	0.190 0.058	0.240 0.073	10.2 3.1	10.2 3.1	10.2 3.1	— —	— —	— —	8.9 2.7	8.9 2.7	8.9 2.7	— —	— —	— —	14	
12	0.177 0.054	0.223 0.068	6.6 2.0	6.6 2.0	6.6 2.0	10.5 3.2	10.5 3.2	10.5 3.2	5.6 1.7	5.6 1.7	5.6 1.7	9.2 2.8	9.2 2.8	9.2 2.8	12	
10	0.164 0.050	0.207 0.063	3.9 1.2	3.9 1.2	3.9 1.2	6.6 2.0	6.6 2.0	6.6 2.0	3.6 1.1	3.6 1.1	3.6 1.1	5.9 1.8	5.9 1.8	5.9 1.8	10	
8	0.171 0.052	0.213 0.065	2.56 0.78	2.56 0.78	2.56 0.78	4.3 1.3	4.3 1.3	4.3 1.3	2.26 0.69	2.26 0.69	2.30 0.70	3.6 1.1	3.6 1.1	3.6 1.1	8	
6	0.167 0.051	0.210 0.064	1.61 0.49	1.61 0.49	1.61 0.49	2.66 0.81	2.66 0.81	2.66 0.81	1.44 0.44	1.48 0.45	1.48 0.45	2.33 0.71	2.36 0.72	2.36 0.72	6	
4	0.157 0.048	0.197 0.060	1.02 0.31	1.02 0.31	1.02 0.31	1.67 0.51	1.67 0.51	1.67 0.51	0.95 0.29	0.95 0.29	0.98 0.30	1.51 0.46	1.51 0.46	1.51 0.46	4	
3	0.154 0.047	0.194 0.059	0.82 0.25	0.82 0.25	0.82 0.25	1.31 0.40	1.35 0.41	1.31 0.40	0.75 0.23	0.79 0.24	0.79 0.24	1.21 0.37	1.21 0.37	1.21 0.37	3	
2	0.148 0.045	0.187 0.057	0.62 0.19	0.66 0.20	0.66 0.20	1.05 0.32	1.05 0.32	1.05 0.32	0.62 0.19	0.62 0.19	0.66 0.20	0.98 0.30	0.98 0.30	0.98 0.30	2	
1	0.151 0.046	0.187 0.057	0.49 0.15	0.52 0.16	0.52 0.16	0.82 0.25	0.85 0.26	0.82 0.25	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	0.79 0.24	0.79 0.24	0.82 0.25	1	
1/0	0.144 0.044	0.180 0.055	0.39 0.12	0.43 0.13	0.39 0.12	0.66 0.20	0.69 0.21	0.66 0.20	0.43 0.13	0.43 0.13	0.43 0.13	0.62 0.19	0.66 0.20	0.66 0.20	1/0	
2/0	0.141 0.043	0.177 0.054	0.33 0.10	0.33 0.10	0.33 0.10	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	0.36 0.11	0.36 0.11	0.36 0.11	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	2/0	
3/0	0.138 0.042	0.171 0.052	0.253 0.077	0.269 0.082	0.259 0.079	0.43 0.13	0.43 0.13	0.43 0.13	0.289 0.088	0.302 0.092	0.308 0.094	0.43 0.13	0.43 0.13	0.46 0.14	3/0	
4/0	0.135 0.041	0.167 0.051	0.203 0.062	0.220 0.067	0.207 0.063	0.33 0.10	0.36 0.11	0.33 0.10	0.243 0.074	0.256 0.078	0.262 0.080	0.36 0.11	0.36 0.11	0.36 0.11	4/0	
250	0.135 0.041	0.171 0.052	0.171 0.052	0.187 0.057	0.177 0.054	0.279 0.085	0.295 0.090	0.282 0.086	0.217 0.066	0.230 0.070	0.240 0.073	0.308 0.094	0.322 0.098	0.33 0.10	250	
300	0.135 0.041	0.167 0.051	0.144 0.044	0.161 0.049	0.148 0.045	0.233 0.071	0.249 0.076	0.236 0.072	0.194 0.059	0.207 0.063	0.213 0.065	0.269 0.082	0.282 0.086	0.289 0.088	300	
350	0.131 0.040	0.164 0.050	0.125 0.038	0.141 0.043	0.128 0.039	0.200 0.061	0.217 0.066	0.207 0.063	0.174 0.053	0.190 0.058	0.197 0.060	0.240 0.073	0.253 0.077	0.262 0.080	350	
400	0.131 0.040	0.161 0.049	0.108 0.033	0.125 0.038	0.115 0.035	0.177 0.054	0.194 0.059	0.180 0.055	0.161 0.049	0.174 0.053	0.184 0.056	0.217 0.066	0.233 0.071	0.240 0.073	400	

Figura 134 Tabla 9, Valores de impedancia de conductores.
Fuente: (NEC, 2008)

Tabla 9. *Continúa*

Calibre (AWG o kcmil)	Ohms al neutro por kilómetro Ohms al neutro por 1000 pies														Calibre (AWG o kcmil)
	X_L (Reactancia) para todos los alambres		Resistencia en corriente alterna para alambres de cobre sin recubrir			Resistencia en corriente alterna para alambres de aluminio			Z eficaz a $FP = 0.85$ para alambres de cobre sin recubrir			Z eficaz a $FP = 0.85$ para alambres de aluminio			
	Conduit de PVC Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de acero	
500	0.128 0.039	0.157 0.048	0.089 0.027	0.105 0.032	0.095 0.029	0.141 0.043	0.157 0.048	0.148 0.045	0.141 0.043	0.157 0.048	0.164 0.050	0.187 0.057	0.200 0.061	0.210 0.064	500
600	0.128 0.039	0.157 0.048	0.075 0.023	0.092 0.028	0.082 0.025	0.118 0.036	0.135 0.041	0.125 0.038	0.131 0.040	0.144 0.044	0.154 0.047	0.167 0.051	0.180 0.055	0.190 0.058	600
750	0.125 0.038	0.157 0.048	0.062 0.019	0.079 0.024	0.069 0.021	0.095 0.029	0.112 0.034	0.102 0.031	0.118 0.036	0.131 0.040	0.141 0.043	0.148 0.045	0.161 0.049	0.171 0.052	750
1000	0.121 0.037	0.151 0.046	0.049 0.015	0.062 0.019	0.059 0.018	0.075 0.023	0.089 0.027	0.082 0.025	0.105 0.032	0.118 0.036	0.131 0.040	0.128 0.039	0.138 0.042	0.151 0.046	1000

Figura 135 Continuación de Tabla 9, Valores de impedancia de conductores.
Fuente: (NEC, 2008)

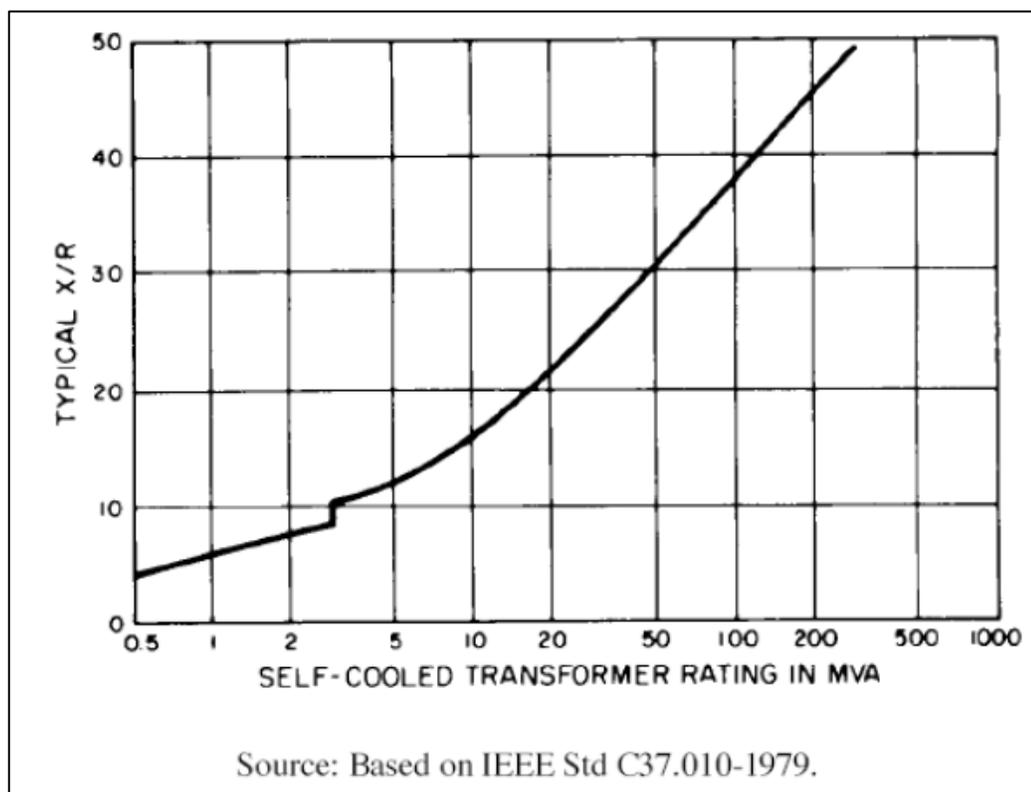


Figura 136 Valores típicos de X/R de transformadores.
Fuente: (IEEE_0141_, 1993)

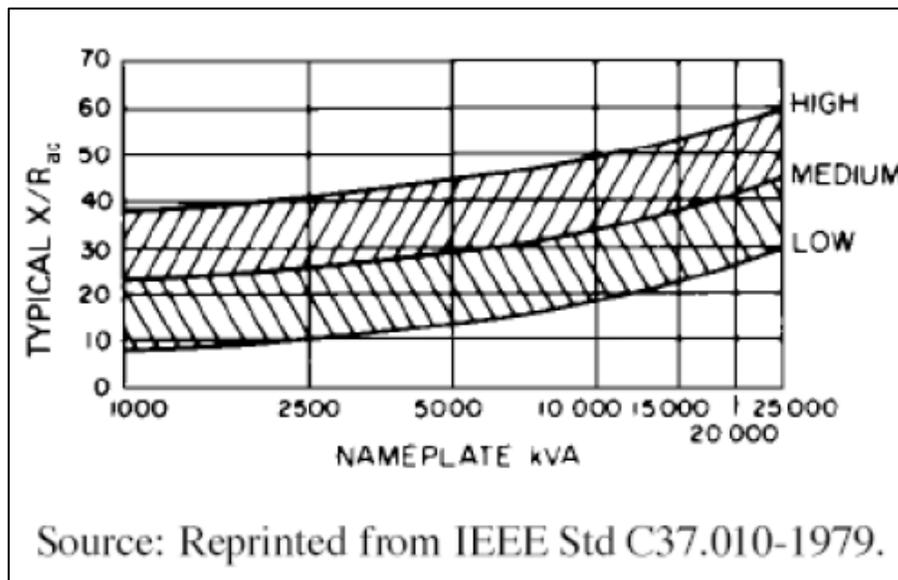


Figura 137 Valores típicos de X/R para motores síncronos y pequeños generadores.
 Fuente: (IEEE_0141_, 1993)

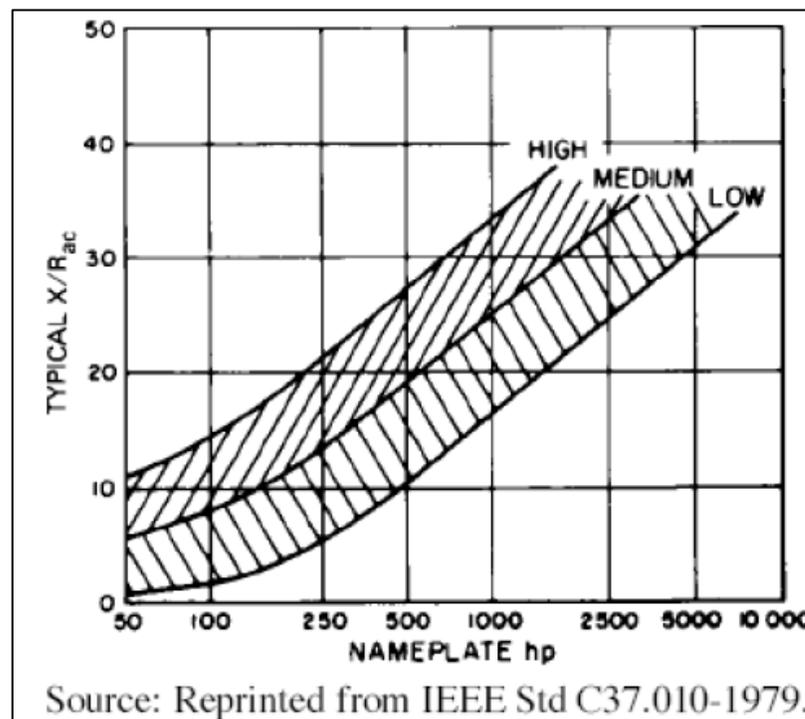


Figura 138 Valores típicos de X/R para motores de inducción.
 Fuente: (IEEE_0141_, 1993)

De: María del Milagro Villalta Romero [mailto:maria.villalta@jasec.go.cr]
Enviado el: miércoles, 7 de septiembre de 2016 11:08 a. m.
Para: Manuel Badilla Sanchez <mabadilla@itcr.ac.cr>
CC: 'Mario Jiménez Brenes' <mario.jimenez@jasec.go.cr>; Manuel Centeno Lopez <mcenteno@itcr.ac.cr>; Jose Angel Cascante Arias <jcascante@itcr.ac.cr>
Asunto: RE: ITCR/ Consulta corriente de corto circuito punto de la acometida transformador de 1000 KVA

Buenos dias,

La corriente de Corto circuito en el punto es de

LG= 2880A
LLLG= 3900A

Saludos cordiales!

Ing. María del Milagro Villalta Romero, Coordinadora, a.i
Proceso Operar La Red. UEN Distribución



De: Manuel Badilla Sanchez [mailto:mabadilla@itcr.ac.cr]
Enviado el: miércoles, 31 de agosto de 2016 08:03 a.m.
Para: María del Milagro Villalta Romero
CC: 'Mario Jiménez Brenes'; Manuel Centeno Lopez; Jose Angel Cascante Arias
Asunto: RE: ITCR/ Consulta corriente de corto circuito punto de la acometida transformador de 1000 KVA

**Figura 139 Valores de corriente de aporte en el punto de la acometida principal.
Fuente: Oficina de JASEC.**

Anexo 2 Reporte de condición de fallo SKM

Tabla 121 Reporte SKM con disyuntores en estado de fallo.

Device/Bus	Status	Description	Voltage (V)	Continuous Amps	INT kA	Rating%
Manufacturer			Bus/Device	LF/Dev/Rating%	Calc/Dev/Series	Volt/INT
PD-0001	Pass	FD	480	7.52	15.51	100.00
BUS-0173		15-225A	480	40.00	25.00	62.03
CUTLER-HAMMER		FD		18.81		
PD-0003	Pass	FD	208	17.36	0.97	86.67
TN 1		15-225A	240	175.00	65.00	1.49
CUTLER-HAMMER		FD		9.92		
PD-0004	Pass	GHB	208	8.68	0.97	86.67
TN 1		15-100A, 2-3 Pole	240	70.00	65.00	1.49
CUTLER-HAMMER		GHB		12.40		
PD-0005	Pass	GHB	208	8.68	0.97	86.67
TN 1		15-100A, 2-3 Pole	240	70.00	65.00	1.49
CUTLER-HAMMER		GHB		12.40		
PD-0006	Pass	FD	480	1.85	15.51	100.00
BUS-0173		15-225A	480	60.00	25.00	62.03
CUTLER-HAMMER		FD		3.08		
PD-0008	Pass	CA	208	4.27	2.26	86.67
T. DISTRIBUCION		125-225A	240	225.00	10.00	22.62
CUTLER-HAMMER		CA		1.90		
PD-0009	Pass	FD	208	4.27	2.26	86.67
T. DISTRIBUCION		15-225A	240	150.00	65.00	3.48
CUTLER-HAMMER		FD		2.85		
PD-0010	Pass	FD	480	7.13	15.51	100.00
BUS-0173		15-225A	480	175.00	25.00	62.03
CUTLER-HAMMER		FD		4.08		
PD-0012	Pass	KD	208	16.46	2.38	86.67
TABLERO TPN		100-400A	240	400.00	65.00	3.67
CUTLER-HAMMER		KD		4.11		

PD-0013	Pass	GHB	208	9.87	2.38	86.67
TABLERO TPN		15-100A, 2-3 Pole	240	100.00	65.00	3.67
CUTLER-HAMMER		GHB		9.87		
PD-0014	Pass	GHB	208	6.58	2.38	86.67
TABLERO TPN		15-100A, 2-3 Pole	240	100.00	65.00	3.67
CUTLER-HAMMER		GHB		6.58		
PD-0015	Pass	GHB	208	3.29	2.25	86.67
TABLERO TB		15-100A, 2-3 Pole	240	20.00	65.00	3.47
CUTLER-HAMMER		GHB		16.46		
PD-0016	Pass	GHB	208	3.29	2.25	86.67
TABLERO TB		15-100A, 2-3 Pole	240	20.00	65.00	3.47
CUTLER-HAMMER		GHB		16.46		
PD-0018	Pass	GHB	208	3.29	2.21	86.67
TABLERO TE		15-100A, 2-3 Pole	240	20.00	65.00	3.40
CUTLER-HAMMER		GHB		16.46		
PD-0019	Pass	GHB	208	3.29	2.21	86.67
TABLERO TE		15-100A, 2-3 Pole	240	20.00	65.00	3.40
CUTLER-HAMMER		GHB		16.46		
PD-0020	Pass	GHB	208	3.29	2.25	86.67
TABLERO TB		15-100A, 2-3 Pole	240	20.00	65.00	3.47
CUTLER-HAMMER		GHB		16.46		
PD-0025	Pass	KD	480	7.52	15.51	100.00
BUS-0173		100-400A	480	350.00	35.00	44.30
CUTLER-HAMMER		KD		2.15		
PD-0028	Pass	KA	208	17.34	3.20	86.67
B. DISTRIBUCION		70-250A	240	175.00	42.00	7.62
SQUARE D		KA		9.91		
PD-0029	Pass	FA	208	17.34	3.09	86.67
TABLERO TF		15-100A	240	70.00	25.00	12.35
SQUARE D		FA		24.78		
PD-0030	Pass	EGB, 3 & 4-Poles	400	9.02	0.61	96.39
BUS-0035		16-125A, Adj. T, IEC	415	20.00	18.00	3.36
CUTLER-HAMMER		EGB		45.09		

PD-0031	Pass	FD	480	19.61	15.51	100.00
BUS-0173		15-225A	480	40.00	25.00	62.03
CUTLER-HAMMER		FD		49.03		
PD-0033	Pass	BAB, 3-Pole	208	45.26	0.84	86.67
BARRA TH		15-100A	240	100.00	10.00	8.43
CUTLER-HAMMER		BAB		45.26		
PD-0034	Pass	BAB, 3-Pole	208	22.63	0.82	86.67
BARRA MOTORES		15-100A	240	50.00	10.00	8.23
CUTLER-HAMMER		BAB		45.26		
PD-0035	Pass	BAB, 3-Pole	208	22.63	0.82	86.67
BARRA MOTORES		15-100A	240	50.00	10.00	8.23
CUTLER-HAMMER		BAB		45.26		
PD-0036	Pass	FD	480	26.52	15.51	100.00
BUS-0173		15-225A	480	125.00	25.00	62.03
CUTLER-HAMMER		FD		21.21		
PD-0038	Pass	Q4	208	61.20	4.77	86.67
TABLERO C3-TP		250-400A	240	400.00	25.00	19.08
SQUARE D		Q4		15.30		
PD-0039	Pass	LA/MC	208	61.20	4.77	86.67
TABLERO C3-TP		200-400A	240	250.00	42.00	11.35
SQUARE D		LA/MC		24.48		
PD-0040	Pass	FD	208	43.61	3.52	86.67
TABLERO C3-TN0		15-225A	240	150.00	65.00	5.41
CUTLER-HAMMER		FD		29.08		
PD-0041	Pass	BAB, 3-Pole	208	14.54	2.67	86.67
TABLERO A.Acondicionados		15-100A	240	60.00	10.00	26.67
CUTLER-HAMMER		BAB		24.23		
PD-0042	Pass	BAB, 3-Pole	208	14.54	2.67	86.67
TABLERO A.Acondicionados		15-100A	240	100.00	10.00	26.67
CUTLER-HAMMER		BAB		14.54		
PD-0043	Pass	BAB, 3-Pole	208	14.54	2.67	86.67
TABLERO A.Acondicionados		15-100A	240	60.00	10.00	26.67

CUTLER-HAMMER		BAB		24.23		
PD-0044	Pass	FA	208	17.58	3.52	86.67
TABLERO C3-TN0		15-100A	240	70.00	25.00	14.07
SQUARE D		FA		25.12		
PD-0045	Pass	EGB, 3 & 4-Poles	400	9.14	0.64	96.39
BUS-0053		16-125A, Adj. T, IEC	415	20.00	18.00	3.53
CUTLER-HAMMER		EGB		45.71		
PD-0046	Pass	FD	480	7.65	15.51	100.00
BUS-0173		15-225A	480	175.00	25.00	62.03
CUTLER-HAMMER		FD		4.37		
PD-0049	Pass	BAB, 3-Pole	208	17.65	2.09	86.67
TABLERO C		15-100A	240	60.00	10.00	20.93
CUTLER-HAMMER		BAB		29.42		
PD-0050	Pass	BAB, 3-Pole	208	17.65	1.26	86.67
T. 2do Piso ASCENSOR		15-100A	240	70.00	10.00	12.60
CUTLER-HAMMER		BAB		25.22		
PD-0051	Pass	EGB, 3 & 4-Poles	400	9.18	0.34	96.39
BUS-0062		16-125A, Adj. T, IEC	415	20.00	18.00	1.86
CUTLER-HAMMER		EGB		45.89		
PD-0052	Pass	FD	480	7.54	15.51	100.00
BUS-0173		15-225A	480	50.00	25.00	62.03
CUTLER-HAMMER		FD		15.07		
PD-0053	Pass	KD	208	17.39	3.77	86.67
DIST. TABLERO		100-400A	240	400.00	65.00	5.80
CUTLER-HAMMER		KD		4.35		
PD-0054	Pass	GHB	208	17.39	2.68	86.67
TABLERO TP (PRL2A)		15-100A, 2-3 Pole	240	70.00	65.00	4.13
CUTLER-HAMMER		GHB		24.85		
PD-0055	Pass	BAB, 3-Pole	208	17.39	2.29	86.67
TABLERO ELEVADOR		15-100A	240	70.00	10.00	22.86
CUTLER-HAMMER		BAB		24.85		
PD-0056	Pass	EGB, 3 & 4-Poles	400	9.04	0.58	96.39

BUS-0069		16-125A, Adj. T, IEC	415	20.00	18.00	3.24
CUTLER-HAMMER		EGB		45.22		
PD-0057	Pass	FD	480	7.54	15.51	100.00
BUS-0173		15-225A	480	125.00	25.00	62.03
CUTLER-HAMMER		FD		6.03		
PD-0058	Pass	DK	208	17.41	4.92	86.67
BUS-0072		250-400A	240	350.00	65.00	7.57
CUTLER-HAMMER		DK		4.97		
PD-0059	Pass	FD	208	17.41	3.53	86.67
TABLERO TP ADMI		15-225A	240	100.00	65.00	5.43
CUTLER-HAMMER		FD		17.41		
PD-0060	Pass	GHB	208	17.41	2.27	86.67
TABLERO TN3		15-100A, 2-3 Pole	240	70.00	65.00	3.49
CUTLER-HAMMER		GHB		24.87		
PD-0061	Pass	EGB, 3 & 4-Poles	400	9.05	0.53	96.39
BUS-0077		16-125A, Adj. T, IEC	415	20.00	18.00	2.93
CUTLER-HAMMER		EGB		45.25		
PD-0062	Pass	KD	480	35.75	15.51	100.00
BUS-0173		100-400A	480	350.00	35.00	44.30
CUTLER-HAMMER		KD		10.21		
PD-0065	Pass	MA	208	82.50	5.80	86.67
TABLERO PRINCIPAL TP		125-800A	240	125.00	42.00	13.81
CUTLER-HAMMER		MA		66.00		
PD-0066	Pass	GHB	208	46.30	5.80	86.67
TABLERO PRINCIPAL TP		15-100A, 2-3 Pole	240	100.00	65.00	8.93
CUTLER-HAMMER		GHB		46.30		
PD-0067	Pass	EB, 2 & 3-Pole	208	46.30	4.32	86.67
UNIDAD DE BOMBEO		15-100A	240	50.00	10.00	43.18
CUTLER-HAMMER		EB		92.60		
PD-0071	Pass	BAB, 3-Pole	208	21.71	4.14	86.67
VFD		15-100A	240	50.00	10.00	41.44
CUTLER-HAMMER		BAB		43.41		

PD-0072	Pass	BAB, 3-Pole	208	21.71	4.14	86.67
VFD		15-100A	240	100.00	10.00	41.44
CUTLER-HAMMER		BAB		21.71		
PD-0073	Pass	BAB, 3-Pole	208	2.89	4.14	86.67
VFD		15-100A	240	20.00	10.00	41.44
CUTLER-HAMMER		BAB		14.44		
PD-0078	Pass	GHB	208	21.66	5.80	86.67
TABLERO PRINCIPAL TP		15-100A, 2-3 Pole	240	100.00	65.00	8.93
CUTLER-HAMMER		GHB		21.66		
PD-0079	Pass	GHB	208	21.66	3.54	86.67
COMPRESOR ACADEMICO		15-100A, 2-3 Pole	240	100.00	65.00	5.45
CUTLER-HAMMER		GHB		21.66		
PD-0080	Pass	FD	208	14.55	5.80	86.67
TABLERO PRINCIPAL TP		15-225A	240	225.00	65.00	8.93
CUTLER-HAMMER		FD		6.47		
PD-0081	Pass	BAB, 3-Pole	208	14.55	2.12	86.67
TABLERO C E.E		15-100A	240	60.00	10.00	21.19
CUTLER-HAMMER		BAB		24.25		
PD-0083	Fail	FD	480	*227.00	15.51	100.00
BUS-0173		15-225A	480	100.00	25.00	62.03
CUTLER-HAMMER		FD		*227.00		
PD-0086	Pass	GHB	208	91.03	5.40	86.67
TABLERO DISTRIBUIDOR TA		15-100A, 2-3 Pole	240	100.00	65.00	8.30
CUTLER-HAMMER		GHB		91.03		
PD-0087	Pass	GHB	208	3.25	5.06	86.67
TABLERO B		15-100A, 2-3 Pole	240	20.00	65.00	7.78
CUTLER-HAMMER		GHB		16.26		
PD-0088	Pass	GHB	208	19.26	5.06	86.67
TABLERO B		15-100A, 2-3 Pole	240	30.00	65.00	7.78
CUTLER-HAMMER		GHB		64.22		
PD-0089	Pass	GHB	208	16.33	5.06	86.67
TABLERO B		15-100A, 2-3 Pole	240	20.00	65.00	7.78
CUTLER-HAMMER		GHB		81.66		

PD-0090	Pass	GHB	208	16.33	5.06	86.67
TABLERO B		15-100A, 2-3 Pole	240	20.00	65.00	7.78
CUTLER-HAMMER		GHB		81.66		
PD-0091	Pass	GHB	208	9.78	5.06	86.67
TABLERO B		15-100A, 2-3 Pole	240	15.00	65.00	7.78
CUTLER-HAMMER		GHB		65.20		
PD-0092	Pass	GHB	208	13.04	5.06	86.67
TABLERO B		15-100A, 2-3 Pole	240	50.00	65.00	7.78
CUTLER-HAMMER		GHB		26.09		
PD-0093	Pass	GHB	208	6.51	5.06	86.67
TABLERO B		15-100A, 2-3 Pole	240	15.00	65.00	7.78
CUTLER-HAMMER		GHB		43.42		
PD-0094	Pass	GHB	208	6.51	5.06	86.67
TABLERO B		15-100A, 2-3 Pole	240	100.00	65.00	7.78
CUTLER-HAMMER		GHB		6.51		
PD-0095	Fail	GHB	208	*127.57	5.40	86.67
TABLERO DISTRIBUIDOR TA		15-100A, 2-3 Pole	240	100.00	65.00	8.30
CUTLER-HAMMER		GHB		*127.57		
PD-0096	Pass	GHB	208	16.36	5.07	86.67
TABLERO C TALLER		15-100A, 2-3 Pole	240	20.00	65.00	7.80
CUTLER-HAMMER		GHB		81.80		
PD-0097	Pass	GHB	208	16.36	5.07	86.67
TABLERO C TALLER		15-100A, 2-3 Pole	240	20.00	65.00	7.80
CUTLER-HAMMER		GHB		81.80		
PD-0098	Pass	GHB	208	9.78	5.07	86.67
TABLERO C TALLER		15-100A, 2-3 Pole	240	20.00	65.00	7.80
CUTLER-HAMMER		GHB		48.91		
PD-0102	Fail	FD	208	*298.75	5.40	86.67
TABLERO DISTRIBUIDOR TA		15-225A	240	225.00	65.00	8.30
CUTLER-HAMMER		FD		*132.78		
PD-0104	Fail	FD	208	*132.61	4.57	86.67
TABLERO CNC		15-225A	240	125.00	65.00	7.04

CUTLER-HAMMER		FD		*106.09		
PD-0105	Pass	GHB	208	6.49	5.40	86.67
TABLERO DISTRIBUIDOR TA		15-100A, 2-3 Pole	240	40.00	65.00	8.30
CUTLER-HAMMER		GHB		16.23		
PD-0106	Pass	GHB	208	6.49	4.80	86.67
TABLERO D		15-100A, 2-3 Pole	240	15.00	65.00	7.38
CUTLER-HAMMER		GHB		43.28		
PD-0118	Pass	KD	480	7.53	15.51	100.00
BUS-0173		100-400A	480	200.00	35.00	44.30
CUTLER-HAMMER		KD		3.77		
PD-0120	Pass	KD	208	17.38	5.80	86.67
TP EDIFICIO AULAS-		100-400A	240	400.00	65.00	8.93
CUTLER-HAMMER		KD		4.34		
PD-0121	Pass	FD	208	17.38	2.29	86.67
TABLERO ELEVADOR AULAS-		15-225A	240	70.00	65.00	3.52
CUTLER-HAMMER		FD		24.83		
PD-0122	Pass	EGB, 3 & 4-Poles	400	9.04	0.60	96.39
BUS-0140		16-125A, Adj. T, IEC	415	20.00	18.00	3.34
CUTLER-HAMMER		EGB		45.18		
PD-0123	Pass	FD	208	17.38	5.80	86.67
TP EDIFICIO AULAS-		15-225A	240	70.00	65.00	8.93
CUTLER-HAMMER		FD		24.83		
PD-0126	Pass	EB, 2 & 3-Pole	208	24.61	5.07	86.67
TABLERO C TALLER		15-100A	240	100.00	10.00	50.69
CUTLER-HAMMER		EB		24.61		
PD-0127	Pass	EB, 2 & 3-Pole	208	13.07	5.07	86.67
TABLERO C TALLER		15-100A	240	100.00	10.00	50.69
CUTLER-HAMMER		EB		13.07		
PD-0128	Pass	GHB	208	9.77	5.07	86.67
TABLERO C TALLER		15-100A, 2-3 Pole	240	20.00	65.00	7.80
CUTLER-HAMMER		GHB		48.84		
PD-0129	Fail	GHB	208	*24.54	5.07	86.67

TABLERO C TALLER		15-100A, 2-3 Pole	240	20.00	65.00	7.80
CUTLER-HAMMER		GHB		*122.71		
PD-0130	Pass	GHB	208	13.08	5.07	86.67
TABLERO C TALLER		15-100A, 2-3 Pole	240	20.00	65.00	7.80
CUTLER-HAMMER		GHB		65.41		
PD-0131	Pass	EDC	208	0.00	4.57	86.67
TABLERO CNC		100-225A, Fixed T+M	240	225.00	200.00	2.29
CUTLER-HAMMER		EDC		0.00		
PD-0135	Fail	FD	208	*166.14	4.57	86.67
TABLERO CNC		15-225A	240	125.00	65.00	7.04
CUTLER-HAMMER		FD		*132.91		

Fuente: Software SKM.

Tabla 122 Reporte de SKM de fusibles correctos.

Device/Bus Manufacturer	Status	Description	Voltage (V) Bus/Device	Continuous Amps LF/Dev/Rating%	INT kA Calc/Dev/Series	Rating% Volt/INT/Asym
PD-0002	Pass	TR, 250V Class RK5	208	17.36	1.38	83.20
BUS-0134		15-600A	250	70.00	200.00	0.69
GOULD SHAWMUT		TR		24.80		
PD-0007	Pass	TR, 250V Class RK5	208	4.27	2.96	83.20
BUS-0013		15-600A	250	200.00	200.00	1.48
GOULD SHAWMUT		TR		2.13		
PD-0011	Pass	TR, 250V Class RK5	208	16.46	2.97	83.20
BUS-0018		15-600A	250	400.00	200.00	1.48
GOULD SHAWMUT		TR		4.11		
PD-0023	Pass	TR, 250V Class RK5	208	3.29	1.64	83.20
BUS-0027		15-600A	250	60.00	200.00	0.82
GOULD SHAWMUT		TR		5.49		
PD-0024	Pass	TR, 250V Class RK5	208	3.29	1.57	83.20
BUS-0028		15-600A	250	60.00	200.00	0.78
GOULD SHAWMUT		TR		5.49		
PD-0026	Pass	TR, 250V Class RK5	208	17.34	6.81	83.20

BUS-0030		15-600A	250	100.00	200.00	3.41
GOULD SHAWMUT		TR		17.34		
PD-0037	Pass	TR, 250V Class RK5	208	61.20	5.11	83.20
BUS-0045		15-600A	250	70.00	200.00	2.55
GOULD SHAWMUT		TR		87.42		
PD-0047	Pass	TR, 250V Class RK5	208	17.65	3.23	83.20
BUS-0142		15-600A	250	200.00	200.00	1.62
GOULD SHAWMUT		TR		8.83		
PD-0048	Pass	TR, 250V Class RK5	208	17.65	2.13	83.20
DIST. TABLEROS		15-600A	250	200.00	200.00	1.07
GOULD SHAWMUT		TR		8.83		
PD-0064	Pass	TR, 250V Class RK5	208	82.50	7.70	83.20
BUS-0079		15-600A	250	200.00	200.00	3.85
GOULD SHAWMUT		TR		41.25		
PD-0082	Pass	TR, 250V Class RK5	208	14.55	0.98	83.20
BUS-0089		15-600A	250	35.00	200.00	0.49
GOULD SHAWMUT		TR		41.56		
PD-0084	Pass	TR, 250V Class RK5	208	523.85	4.49	83.20
BUS-0092		15-600A	250	600.00	200.00	2.25
GOULD SHAWMUT		TR		87.31		
PD-0085	Pass	TR, 250V Class RK5	208	523.85	3.92	83.20
TABLERO DISTRIBUIDOR TA		15-600A	250	600.00	200.00	1.96
GOULD SHAWMUT		TR		87.31		
PD-0119	Pass	TR, 250V Class RK5	208	17.38	5.90	83.20
BUS-0136		15-600A	250	400.00	200.00	2.95
GOULD SHAWMUT		TR		4.34		

Referencias bibliográficas

- Barahona, G. (Febrero de 2015). Analisis de Corto Circuitos. Cartago, Central, Cartago.
- Barrantes, J. C. (16 de julio de 2014). Estudio de cortocircuito y coordinacion de protecciones en CVG ALUNASA. San Jose, San Jose, Costa Rica: UCR.
- Bejarano, N. R. (Junio de 2014). REALIZACIÓN DEL DIAGRAMA UNIFILAR ELÉCTRICO EN SEDE CENTRAL DELTEC. Cartago, Cartago, Costa Rica: 2014.
- Bomberos, C. d., & Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, U. d. (2016). *Causa de Incendios Accidentales Investigados*. Costa Rica.
- EATON. (2016). Circuit Protection. *Electrical Sector Solutions Volumen 1*. 2010.
- IEEE_0141_. (1993). *IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants*. United States of America: 1994.
- IEEE_551_. (2006). *IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems*. United States of America: 2006.
- NEC. (2008). *Codigo Electrico Nacional (NEC) NFPA70*. Costa Rica: 2008.
- Núñez, D. (2016). *Estudio de corto circuito en el rediseño de la instalacion electrica de Laboratorios STEIN, Costa Rica*. Cartago.
- SKM. (2012). *Systems Analysis Inc*. Recuperado el 2016, de SKM: <http://www.skm.com/index.html>