



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**COORDINACIÓN DE PROTECCIONES AJUSTADO, EN LA DERIVACIÓN
FSW363 DEL CIRCUITO PALDONJUANA DEL SDL DE CENS.**

HARLEY DAVIDSON ARCINIEGAS ARIAS

Director:

ING. SAMUEL FERNANDO MONTES ALZATE

Codirector:

ING. HELFAR FREDID RICO RAMÍREZ

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA N. DE S. – COLOMBIA
2019**

**COORDINACIÓN DE PROTECCIONES AJUSTADO, EN LA DERIVACIÓN
FSW363 DEL CIRCUITO PALDONJUANA DEL SDL DE CENS.**

Harley Davidson Arciniegas Arias

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO**

Director:

ING. SAMUEL FERNANDO MONTES ALZATE

Codirector:

ING. HELFAR FREDID RICO RAMÍREZ

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PAMPLONA – COLOMBIA**

2019

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTAR
TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO**

**COORDINACIÓN DE PROTECCIONES AJUSTADO, EN LA DERIVACIÓN
FSW363 DEL CIRCUITO PALDONJUANA DEL SDL DE CENS.**

FECHA DE INICIO DEL TRABAJO: Septiembre de 2019

FECHA DE TERMINACIÓN DEL TRABAJO: Diciembre de 2019

NOMBRES Y FIRMAS DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTAR

AUTOR: Harley Davidson Arciniegas Arias

DIRECTOR: ING. Samuel Fernando Montes Alzate

DIRECTOR DE PROGRAMA: ING. M.s. (c) Yesid Santafé Ramón

JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE: ING. M.S. (c) Luis David Pabón Fernández

OPONENTE: ING. M.S. (c) Libardo Gamboa Araque

SECRETARIO: ING. M.s. (c) Yesid Santafé Ramón

**PAMPLONA, COLOMBIA
DICIEMBRE DE 2019**

DEDICATORIA

Con cariño dedico este trabajo a toda mi familia y de manera especial a mis Padres por los sacrificios que han realizado a lo largo de toda su vida, apoyándome con abnegación y esfuerzo para que pueda culminar mis estudios universitarios.

A mis maestros por compartirme sus experiencias y conocimientos.

A mis compañeros y amigos por darme un tesoro... su amistad.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por la Vida, por la salud, por el trabajo y por la oportunidad de cursar los estudios de Ingeniería Eléctrica en tan prestigiosa institución como lo es la Universidad de Pamplona.

Especial gratitud, a mis padres Edison Arciniegas Arenas, Cacteline Arias Páez y hermanos, que con ánimo y cercanía me apoyaron incondicionalmente en cada proyecto que inicié y terminé con éxito.

A todos los profesores que impartieron de una manera amplia, objetiva y con dedicación los conocimientos que me permitieron ver otros horizontes y proyectar a futuro un mejoramiento académico y laboral.

A la Empresa de Centrales Eléctricas de Norte de Santander S.A. E.S.P (CENS) por permitirme hacer la pasantía y por el acompañamiento del Ingeniero Helfar Fredid Rico Ramírez, por su disponibilidad de tiempo y manera de enseñarme a fortalecer mis conocimientos. Igualmente, al equipo de trabajo que me aceptó y apoyo en todo momento para terminar exitosamente esta gran experiencia.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
OBJETIVOS.....	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos.....	19
EL PROBLEMA	20
Planteamiento del problema y justificación	20
4. MARCO TÉORICO	21
4.1. Confiabilidad	21
4.2. Selectividad.....	21
4.3. Sensibilidad.....	22
4.4. Velocidad	22
4.5. Diseño de la red.....	23
4.6. SAIDI.....	23
4.7. SAIFI	24
4.8. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL FUSIBLE PARA PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES	24
4.8.1. Alcance	24
4.8.2. Factores de aplicación	25
4.8.3. Tensión nominal.....	25
4.8.4. Capacidad de interrupción	25
4.8.5. Capacidad de sobrecarga	25
4.8.6. Soportabilidad a corriente Inrush de magnetización	25
4.8.7. Inrush por arranques de carga en frio (Cold Load Inrush)	26
4.9. Partes de un cortacircuitos.....	26
4.9.1. Descripción de los componentes	26
4.10. Reconectores.....	27
4.10.1. Clasificación de los reconectores.....	28
4.10.2. Secuencia de operación	28
4.10.3. Factores de aplicación	28
4.10.4. Localización	29

5. SELECCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES Y ARRANCADORES EN LOS CUALES SE ACCIONAN LAS PROTECCIONES INADECUADAMENTE. 30

5.1. Localización de la derivación FSW363 y ubicación de transformadores y arranques..... 30

5.2. Reporte preliminar de falla 33

 5.2.1. Eventos..... 35

 5.2.2. Costos totales 35

 5.2.3. Antecedentes 35

 5.2.4. Alarmas presentadas 40

5.3. Selección de transformadores y arranques en los cuales ocurrieron interrupciones. 41

 5.3.1. Selección de los transformadores en los cuales presentaron interrupciones..... 44

 5.3.2. Selección de los arranques en los cuales presentaron interrupciones. 51

 5.3.3. Selección de arranques en los cuales presentaron eventos por coordinación de protecciones..... 59

6. PROTECCIONES CONTRA SOBRECORRIENTES PARA LA DERIVACIÓN AGUAS ABAJO DEL ARRANQUE FSW363 DEL CIRCUITO PALDONJUANA DEL SDL DE CENS. 64

6.1. Funciones de un sistema de protección contra sobrecorrientes. 65

 6.1.1. Aislar fallas permanentes..... 65

 6.1.2. Minimizar en número de fallas permanentes y de salidas 65

 6.1.3. Minimizar el tiempo de localización de fallas. 66

 6.1.4. Prevenir contra daño al equipo. 66

 6.1.5. Minimizar la probabilidad de caída de conductores. 67

 6.1.6. Minimizar las fallas internas de los equipos..... 68

 6.1.7. Minimizar los accidentes mortales. 68

6.2. Cortacircuitos fusibles 69

 6.2.1. Operación. 70

6.3. LISTÓN O ELEMENTO FUSIBLES 72

 6.3.1. Función. 72

 6.3.2. Tipos de fusibles..... 72

 6.3.2.1. Fusibles de potencia. 72

6.3.2.2.	Fusibles de distribución.....	73
6.3.3.	Aspectos generales para la selección de fusibles de media tensión. 74	
6.3.3.1.	Fusibles de distribución.....	74
6.3.3.2.	Fusibles de potencia.	75
6.4.	FUSIBLES DE EXPULSIÓN	81
6.4.1.	Diseño.....	81
6.4.2.	Operación.	82
6.4.3.	Relación tiempo – corriente (curvas características t – i).....	92
6.4.4.	Fusibles lentos – fusibles rápidos y de alta descarga.	97
6.5.	FACTORES DE SELECCIÓN PARA ELEMENTOS FUSIBLE Y CORTACIRCUITOS.....	104
6.5.1.	Para selección de cortacircuitos.	104
6.5.1.1.	Selección de la corriente nominal.....	104
6.5.1.2.	Selección de voltajes nominales (fusibles de expulsión).....	104
6.5.1.3.	Reglas de selección.	105
6.5.2.	Aplicación de los eslabones fusible.	106
6.5.2.1.	Para fusibles en líneas con propósito de seccionamiento.....	106
6.5.2.2.	Para protección de equipos.....	107
6.5.3.	Variables de operación de los fusibles.....	107
6.5.3.1.	Precarga.....	107
6.5.3.2.	Temperatura ambiente.	107
6.5.3.3.	Calor de fusión.	107
6.5.4.	Reglas de aplicación (para coordinación).	108
7.	ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES AGUAS ABAJO DEL ARRANQUE FSW363 DEL CIRCUITO PALDONJUANA DEL SDL DE CENS.	109
7.1.	CASOS CRITICOS DE COORDINACIÓN EN EL RAMAL.....	112
7.1.1.	CASO CRITICO 1, TRANSFORMADOR 1T10164 CON CAPACIDAD DE 225 KVA	112
7.1.1.1.	CURVAS DE PROTECCIONES.....	113
7.1.2.	CASO CRÍTICO 2, TRANSFORMADOR 1T12450 CON CAPACIDAD DE 150 KVA	117
7.1.2.1.	CURVAS DE PROTECCIONES.....	118

7.2.	TABLAS DE FUSIBLES PROPUESTOS PARA TRANSFORMADORES Y ARRANQUES AGUAS ABAJO DEL CORTACIRCUITOS FSW363.....	121
7.2.1.	Protección propuesta para transformadores y arranques aguas abajo del arranque FSW363.	124
8.	IMPACTO EN LOS INDICADORES DE CALIDAD SAIDI Y SAIFI.	142
8.1.	Antecedentes del impacto al indicador SAIDI.	142
8.1.1.	Impacto al indicador SAIDI en el 2018.....	142
8.1.2.	Impacto al indicador SAIDI en el 2019.....	145
8.1.3.	Impacto al indicador SAIDI por coordinación de protecciones.	147
8.1.3.1.	SAIDI por coordinación de protecciones en el 2018.....	147
8.1.3.2.	SAIDI por coordinación de protecciones en el 2019.....	149
8.2.	Antecedentes del impacto al indicador SAIFI.....	151
8.2.1.	Impacto al indicador SAIFI en el 2018.	151
8.2.2.	Impacto al indicador SAIFI en el 2019.	154
8.2.3.	Impacto al indicador SAIFI por coordinación de protecciones.	157
8.2.3.1.	SAIFI por coordinación de protecciones en el 2018.....	157
8.2.3.2.	SAIFI por coordinación de protecciones en el 2019.....	159
8.3.	Casos hipotéticos de fallas	161
8.3.1.	Caso hipotético para el primer escenario.....	161
8.3.2.	Caso hipotético para el segundo escenario	163
	CONCLUSIONES	167
	RECOMENDACIONES	169
	BIBLIOGRAFÍA	170

LISTA DE ILUSTRACIONES

Imagen 1. Partes de un cortacircuitos.....	26
Imagen 2. Circuito PALDONJUANA.....	30
Imagen 3. Transformadores aguas abajo de la derivación FSW363.....	31
Imagen 4. Arranques aguas abajo de la Derivación FSW363.....	32
Imagen 5. Árbol de falla.....	34
Imagen 6. Diagrama unifilar simplificado de un alimentador de distribución con los diferentes tipos de protección de sobrecorriente.....	67
Imagen 7. Eslabón fusible típico usado en cortacircuitos de distribución tipo intemperie. a). para menos de 10 A y b). entre 10 A y 100 A.	83
Imagen 8. Circuito RLC.....	89
Imagen 9. Localización de los fusibles de protección y protegido.....	108
Imagen 10. Recorrido de coordinación de equipos, para el transformador 1T10164 de 220 KVA	112
Imagen 11. Recorrido de coordinación de equipos, para el transformador 1T12450 de 150 KVA.	117
Imagen 12. Primera zona aguas abajo del arranque FSW363.	124
Imagen 13. Segunda zona aguas abajo del arranque FSW363.....	125
Imagen 14. Tercera zona aguas abajo del arranque FSW363.....	126
Imagen 15. Cuarta zona aguas abajo del arranque FSW363.	127
Imagen 16. Quinta zona aguas abajo del arranque FSW363.	128
Imagen 17. Sexta zona aguas abajo del arranque FSW363.	129
Imagen 18. Séptima zona aguas abajo del arranque FSW363.....	130
Imagen 19. Octava zona aguas abajo del arranque FSW363.....	131
Imagen 20. Novena zona aguas abajo del arranque FSW363.....	132
Imagen 21. Décima zona aguas abajo del arranque FSW363.....	133
Imagen 22. Onceava zona aguas abajo del arranque FSW363.....	134
Imagen 23. Doceava zona aguas abajo del arranque FSW363.....	135
Imagen 24. Treceava zona aguas abajo del arranque FSW363.	136
Imagen 25. Catorceava zona aguas abajo del arranque FSW363.	137
Imagen 26. Conexión al transformador 1T04263.	161
Imagen 27. Unifilar de posibles escenarios de falla.....	166

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Calificación de las consecuencias de la falla.	33
Tabla 2. Costos totales.	35
Tabla 3. Duración de los eventos de los transformadores.	36
Tabla 4. Duración de los eventos de los arranques.	36
Tabla 5. Cantidad de eventos presentados en los transformadores.	38
Tabla 6. Cantidad de eventos presentados en los arranques.	38
Tabla 7. Eventos transcurridos en transformadores durante el año 2018.	40
Tabla 8. Interrupciones del 2018.	41
Tabla 9. Interrupciones del 2019.	43
Tabla 10. Fallas de los transformadores en el 2018.	45
Tabla 11. Fallas de los transformadores en el 2019.	48
Tabla 12. Interrupciones en arranques presentadas en cada mes del 2018.	51
Tabla 13. Fallas de los arranques en el 2018.	53
Tabla 14. Interrupciones en arranques presentadas en cada mes del 2019.	55
Tabla 15. Fallas de los arranques en el 2019.	57
Tabla 16. Eventos presentados por coordinación de protecciones en arranques del 2018.	59
Tabla 17. Eventos presentados por coordinación de protecciones en arranques del 2019.	62
Tabla 18. Capacidad de corriente de interrupción para cortacircuitos fusible.	71
Tabla 19. BIL y distancias de fuga del cortacircuitos fusible.	71
Tabla 20. Capacidad continua de corriente de fusibles de distribución tipos K, T, H, y N de estaño.	74
Tabla 21. Valores nominales de fusibles limitadores (de potencia).	75
Tabla 22. Datos característicos de eslabones tipo K y T.	97
Tabla 23. Recomendaciones para la correcta aplicación de cortacircuitos en los diferentes voltajes de sistemas de distribución.	106
Tabla 24. Corrientes de fallas en los arranques aguas abajo del arranque FSW363.	111
Tabla 25. Selección de las protecciones para la coordinación del transformador 1T10164.	113
Tabla 26. Selección de las protecciones para la coordinación del transformador 1T12450.	118
Tabla 27. Coordinación entre fusibles tipo K (EEI-NEMA).	121
TABLA 28. Coordinación entre fusibles tipo T (EEI - NEMA).	122
Tabla 29. Fusibles de expulsión tipo K normalizados para los transformadores de distribución.	123
Tabla 30. Selección de las protecciones para la primera zona.	124
Tabla 31. Selecciones de las protecciones para la segunda zona.	125
Tabla 32. Selección de las protecciones para la tercera zona.	126
Tabla 33. Selección de las protecciones para la cuarta zona.	127

Tabla 34. Selección de las protecciones para la quinta zona.....	128
Tabla 35. Selección de las protecciones para la sexta zona	129
Tabla 36. Selecciones de las protecciones para la séptima zona.....	130
Tabla 37. Selección de las protecciones para la octava zona.	131
Tabla 38. Selección de las protecciones para la novena zona.....	132
Tabla 39. Selecciones de las protecciones para la décima zona.	133
Tabla 40. Selección de las protecciones para la onceava zona.	134
Tabla 41. Selección de las protecciones para la doceava zona.	135
Tabla 42. Selección de las protecciones para la treceava zona.....	136
Tabla 43. Selección de las protecciones para la treceava zona.....	137
Tabla 44. Selección de los fusibles de protección para los transformadores aguas abajo del arranque FSW363.	138
Tabla 45. Selección de los fusibles de protección para los cortacircuitos aguas abajo del arranque FSW363.....	140
Tabla 46. Selección de los fusibles de protección para los cortacircuitos propuestos aguas abajo del arranque FSW363.....	141
Tabla 47. Indicador SAIDI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2018.	142
Tabla 48. Indicador SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2018.	144
Tabla 49. Indicador SAIDI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2019.	145
Tabla 50. Indicador SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2019.	146
Tabla 51. Indicador SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2018.	147
Tabla 52. Indicador SAIDI de los arranques con respecto a los usuarios aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2018.	147
Tabla 53. Indicador SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2019.	149
Tabla 54. Indicador SAIDI de los arranques con respecto a los usuarios aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2019.	149
Tabla 55. Indicador SAIFI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2018.	151
Tabla 56. Indicador SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2018.	153
Tabla 57. Indicador SAIFI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2019.	154
Tabla 58. Indicador SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 con los usuarios del circuito Paldonjuana en el 2019.....	155
Tabla 59. Indicador SAIFI de los arranques con respecto a los usuarios aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2018.	157

Tabla 60. Indicador SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2018.	158
Tabla 61. Indicador SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2019.	159
Tabla 62. Indicador SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2019.	159
Tabla 63. Cantidad de transformadores afectados aguas abajo del arranque FSW364.	162
Tabla 64. Cantidad de transformadores afectados aguas abajo del arranque SW3748.....	163
Tabla 65. Cantidad de transformadores afectados aguas abajo del arranque PASW3746.....	165

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Duración de los eventos de los transformadores.	37
Gráfica 2. Duración de los eventos de los arranques.	37
Gráfica 3. Cantidad de eventos presentados en los transformadores.	39
Gráfica 4. Cantidad de eventos presentados en los arranques.	39
Gráfica 5. Eventos transcurridos en transformadores durante el año 2018.	41
Gráfica 6. Tiempos fuera de servicio del 2018.	42
Gráfica 7. Eventos presentados del 2018.	42
Gráfica 8. Tiempo fuera de servicio del 2019.	43
Gráfica 9. Eventos presentados del 2019.	44
Gráfica 10. Duración de fallas en los transformadores en el 2018.	46
Gráfica 11. Cantidad de fallas presentadas en transformadores en el 2018.	47
Gráfica 12. Duración de fallas en los transformadores en el 2019.	49
Gráfica 13. Cantidad de fallas presentadas en transformadores en el 2019.	50
Gráfica 14. Interrupciones en arranques presentadas en cada mes del 2018.	52
Gráfica 15. Duración de fallas en los arranques en el 2018.	54
Gráfica 16. Cantidad de fallas presentadas en arranques en el 2018.	54
Gráfica 17. Interrupciones en arranques presentadas en cada mes del 2019.	56
Gráfica 18. Duración de fallas en los arranques en el 2019.	58
Gráfica 19. Cantidad de fallas presentadas en arranques en el 2019.	58
Gráfica 20. Tiempo fuera de servicio por coordinación de protecciones en arranques del 2018.	60
Gráfica 21. Cantidad de transformadores desconectados por coordinación de protecciones en arranques del 2018.	60
Gráfica 22. Usuarios afectados por coordinación de protecciones en arranques del 2018.	61
Gráfica 23. Tiempo fuera de servicio por coordinación de protecciones en arranques del 2019.	62
Gráfica 24. Cantidad de transformadores desconectados por coordinación de protecciones en arranques del 2019.	63
Gráfica 25. Usuarios afectados por coordinación de protecciones en arranques del 2019.	63
Gráfica 26. Curva característica de un fusible de baja tensión.	78
Gráfica 27. Interrupción de una corriente de falla de baja magnitud.	85
Gráfica 28. Interrupción de una corriente de falla de alta magnitud y diferentes asimetrías.	87
Gráfica 29. Rigidez dieléctrica y tensión de restablecimiento entre los bornes del fusible.	88
Gráfica 30. Incremento de la resistencia en fusibles de expulsión	93
Gráfica 31. Variación de la resistencia de fusibles dependiendo de su carga de expulsión.	94

Gráfica 32. Curvas t - I de fusión mínima y de despeje total para un fusible 10 K.....	96
Gráfica 33. Curvas de fusión mínima de fusibles 15K y 15T.	98
Gráfica 34. Curvas características t-I de fusión mínima para fusibles tipo T (de la Kerney) instalados en cortacircuitos A.B.B.....	100
Gráfica 35. Curvas características t-I de despeje máximo para fusibles tipo T (de la kerney) instalados en cortacircuitos A.B.B.	101
Gráfica 36. Curvas características t-I de fusión mínima para fusibles tipo K (de la Kerney) instalados en cortacircuitos A.B.B.....	102
Gráfica 37. Curvas características t-I de despeje máximo para fusibles tipo K (de la Kerney) instalados en cortacircuitos A.B.B.	103
Gráfica 38. Simulación de cortocircuito trifásico máxima a 0Ω para coordinar protecciones hasta transformador 1T10164.	114
Gráfica 39. Simulación de cortocircuito monofásico máxima a 2Ω para coordinar protecciones hasta transformador 1T10164.....	115
Gráfica 40. Simulación de cortocircuito trifásico máxima a 0Ω para coordinar protecciones hasta transformador 1T10164.	116
Gráfica 41. Simulación de cortocircuito trifásico máxima a 0Ω para coordinar protecciones hasta transformador 1T12450.	119
Gráfica 42. Simulación de cortocircuito monofásico máxima a 2 Ω para coordinar protecciones hasta transformador 1T12450.....	120
Gráfica 43. SAIDI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2018.	143
Gráfica 44. SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2018.	144
Gráfica 45. SAIDI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2019.	145
Gráfica 46. SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2019.	146
Gráfica 47. SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2018.	148
Gráfica 48. SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2019.	150
Gráfica 49. SAIFI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2018.....	152
Gráfica 50. SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2018.	153
Gráfica 51. SAIFI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2019.....	155
Gráfica 52. SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 con los usuarios del circuito Paldonjuana en el 2019.....	156
Gráfica 53. SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2018.....	158
Gráfica 54. SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2019.....	160

RESUMEN

El proyecto se plantea con la finalidad de identificar y proponer un sistema de coordinación de protecciones, dando una solución a las frecuentes interrupciones del suministro eléctrico de energía en los seccionamientos o ramales conectados a la derivación FSW363 del circuito PALDONJUANA, como uno de los circuitos más críticos del Sistema De Distribución Local (SDL) de Centrales Eléctricas De Norte de Santander S.A E.S.P (CENS).

El sistema de coordinación a proponer brindará la suficiente protección a los arrancadores y transformadores conectados aguas abajo de la derivación FSW363, que han tenido salidas provocadas en su mayoría por descargas atmosféricas u otras causas desconocidas. Estas salidas registradas en los informes operativos de CENS, durante los periodos de tiempo en los años 2016 a 2018. Basando el diseño del sistema de coordinación, bajo cumplimiento de la resolución CREG 070 1998 y su actualización 060 de 2019.

Palabras clave: Plantear, coordinación de protecciones, fallas, descargas atmosféricas y energía.

ABSTRACT

The project aims to identify and propose a protection coordination system, providing a solution to the frequent power supply interruptions in the sections or branches connected to the FSW363 branch of the PALDONJUANA circuit, as one of the most critical circuits of Local Distribution Systems (SDL) of Centrals Electric de Norte de Santander S.A E.S.P (CENS).

The coordination system proposed will provide sufficient protection to the starters and transformers connected downstream of the FSW363 derivation, which have had outputs caused mostly by atmospheric discharges or other unknown causes. These outputs are recorded in the CENS operational reports, during the time periods in the years 2016 to 2018. Based on the design of the coordination system, in compliance with resolution CREG 070 1998 and its update 060 of 2019.

Keywords: Planting, coordination of protections, faults, atmospheric discharges and energy.

INTRODUCCIÓN

El análisis de fallas realizado por Centrales Eléctricas de Norte de Santander S.A E.S.P (CENS) en el Sistema de Distribución Local (SDL), aguas abajo del Arrancador FSW363 del circuito PALDONJUANA, determino que una de las causas de las continuas desconexiones de Transformadores y Arrancadores es la selección y mal ajuste de las protecciones eléctricas.

La inadecuada selección de las protecciones ocasiona una salida mayor de usuarios en la red ante la presencia de un problema en el SDL; esto le impide al Operador de Red (OP) cumplir con su más vital misión la de llevar un suministro de energía eléctrico continuo y de calidad a los usuarios finales, e impactando de igual manera la imagen de la empresa y sus ingresos. La larga y continua desconexión de usuarios afecta los indicadores de calidad tanto para el Regulador como del Grupo EPM.

Este trabajo busca plantear una coordinación de protecciones ajustado, desde el alimentador que conecta con la derivación FSW363 del circuito PALDONJUANA con la Subestación de Palermo. Tomando en cuenta los ramales de los transformadores y arrancadores que más salidas de usuarios y horas de desconexión han tenido a lo largo de toda la Troncal de la derivación FSW363.

Para el diseño del esquema de protecciones se seleccionará los elementos que más han fallado en la derivación FSW363, basado en los informes operativos de CENS en el periodo de los años 2016 a 2018. Se determinará y ubicará los equipos para la coordinación según la disponibilidad de la gestión de activos de la empresa.

La magnitud de este proyecto es plantear una solución que corresponda a estas desconexiones sin llegar a ejecutarlo, solo se plantea como una sugerencia para el equipo de mantenimiento ya que esto es una acción que debe tomar CENS. La información de este trabajo es confidencialidad de CENS y será mostrada cuando sea necesario para el desarrollo de este trabajo de grado por petición de los jurados.

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar un sistema de coordinación de protecciones ajustado, en la derivación FSW363 del circuito PALDONJUANA del SDL de CENS.

Objetivos Específicos

- Determinar los transformadores y arranques que hacen parte de la derivación FSW363 del circuito PALDONJUANA del SDL de CENS, en los cuales se están accionando las protecciones inadecuadamente.
- Diseñar la coordinación de protecciones basada en la gestión de activos de CENS, para evitar salidas inesperadas de los arranques y transformadores que hacen parte de la derivación FSW363.
- Simular el sistema de coordinación de protecciones.
- Determinar el impacto en los indicadores de calidad SAIFI y SAIDI, sujetos bajo la resolución CREG 097 de 2008 y actualmente 015 de 2018.

EL PROBLEMA

Planteamiento del problema y justificación

Los diferentes arrancadores y transformadores conectados de la derivación FSW363 del circuito PALDONJUANA, presentan fallas recurrentes y temporales en las protecciones, tales como, accionamiento de la protección a destiempo y accionamiento de la protección equivocada; el accionamiento de las protecciones equivocadas provoca salidas de otros ramales del Troncal de la derivación, que no son afectadas por la presencia de una falla en su sistema. Estas fallas afectan en el suministro de energía eléctrica a los usuarios e impactando negativamente la imagen de la empresa y sus ingresos por menos consumo de energía.

Este proyecto se desarrolla con el fin de identificar y proponer un esquema de protección a los diferentes arrancadores y transformadores conectados de la derivación FSW363 del circuito PALDONJUANA, basado en el cumplimiento de la resolución CREG 070 1998 y su actualización 060 2019. Esto permite plantear una mejor calidad del servicio y continuidad del suministro a los usuarios, al mismo tiempo permite disminuir los porcentajes a los indicadores de calidad SAIDI y SAIFI; entrando estos dos últimos a los rangos permitidos por la resolución CREG 097 de 2008 y actualmente 015 de 2018.

4. MARCO TÉORICO

Para interpretación y estudio de esta monografía se contextualizará las siguientes definiciones.

4.1. Confiabilidad

Un sistema de protección debe siempre operar correctamente. La confiabilidad se refiere a la capacidad de la protección no solo de operar correctamente ante la presencia de una falla, sino de garantizar que no ocurran operaciones indeseadas para fallas externas a su zona de operación. La confiabilidad puede tener varias interpretaciones, pero en este caso se refiere a: [1]

- Seguridad
- Fiabilidad

Los sistemas de protección son, en conjunto, mecanismos y procedimientos que ayudan a que el sistema de distribución cuente con un buen nivel de confiabilidad; por lo tanto, las protecciones deben: [1]

- Limitar la parte afectada por una falla por medio de la selectividad.
- Minimizar el tiempo requerido para restablecer la tensión en la red.
- Ser equipos que cuenten con sistemas de autosupervisión y autodiagnóstico, los cuales reducen la posibilidad de falla y de disparos indeseados.
- De ser posible, incorporar alguna forma de control automático con fin de restaurar la operación de la red.

La confiabilidad del sistema se ve afectada por la frecuencia y la duración de la falla, y los esfuerzos de las empresas de energía por evitar fallas en su sistema deben enfrentar estos dos factores. [1]

4.2. Selectividad

La selectividad consiste en la capacidad del sistema de protección en aislar únicamente la porción del circuito que ha sido afectada por una falla. Los diferentes equipos de protección deben operar apropiadamente para que este procedimiento ocurra tan rápido como sea posible. [1]

En la práctica, el análisis de selectividad consiste en determinar los diferentes ajustes (umbrales y retardos) para los equipos de protección, de manera que asegure una coordinación en los tiempos de operación entre las protecciones aguas arriba y las protecciones aguas abajo. En este tipo de análisis se tiene en cuenta las diferentes fallas que pueden ocurrir en los diversos puntos de la red y, a su vez, verifica que cada tipo de falla pueda ser despejada por, al menos dos dispositivos de protección diferentes. [1]

Un análisis de selectividad debe incluir: [1]

- La descripción de los criterios de operación de la red.
- El diagrama unifilar.
- Los valores esperados de corriente de cortocircuito.
- Las curvas de coordinación, diagramas de protección de fase y tierra.
- Hojas de datos técnicos de los equipos.
- Registro de los ajustes de cada dispositivo.

4.3. Sensibilidad

La sensibilidad se describe como la habilidad de la protección de operar confiablemente ante la menor condición de falla para la cual está programado o construido para operar. Por ejemplo, un relé de sobrecorriente debe operar ante la menor condición de falla esperada en el sistema. [1]

4.4. Velocidad

La velocidad es la habilidad de la protección de operar en el tiempo requerido. Esta característica es muy importante ya que tiene relación directa con la cantidad de daño que puede producirse en los equipos, y en general en el sistema, debido a una falla, por lo que el objetivo fundamental del sistema de protección es remover la falla tan rápido como sea posible. [1]

4.5. Diseño de la red

Con el fin de cumplir con las necesidades y lograr los objetivos fundamentales de las redes de distribución, utilizando medidas económicamente justificables, existe un método que puede usarse, el cual consiste en cuatro fases: [1]

- Determinar los objetivos y confiabilidad requerida para las diferentes zonas y secciones del sistema.
- Basar el diseño de la red en las necesidades de potencia de las diferentes zonas geográficas.
- Definir un pal de protección especificando los criterios a utilizar y el análisis de selectividad.
- Asegurar que se logren los objetivos de confiabilidad del sistema.

Con el fin hacer frente a las corrientes de sobrecarga y demás corrientes de falla, el diseñador de la red debe implementar una correcta protección para todos los equipos que la conforman (transformadores, capacitores, reguladores de tensión, etc.), al igual que para todos los segmentos que la componen. Una gran de equipos son utilizados para conseguir este objetivo, los cuales van desde fusibles de acción sencilla hasta reconectores automáticos e interruptores controlados por relés. Todos estos equipos deben estar coordinados y en algunos casos, no solo se limita su función a proteger un equipo específico, sino que también son empleados como respaldo de otros equipos de protección. [1]

4.6. SAIDI

Representa la duración total en horas de los eventos que en promedio percibe cada usuario del SDL de un OR, hayan sido o no afectados por un evento, en un periodo anual. [2]

$$SAIDI_{j,t} = \sum_{m=1}^{12} \frac{\sum_{i=1}^n (D_{i,u,m} * NU_{i,u,m})}{UT_{j,m}} / 60$$

Donde:

$SAIDI_{j,t}$: Indicador de duración promedio por usuario, de los eventos sucedidos en el SDL del OR j , durante el año t , medido en horas al año.

$D_{i,u,m}$: Duración en minutos del evento i , sucedido durante el mes m , que afectó al activo u perteneciente al SDL del OR j .

$NU_{i,u,m}$: Número de usuarios que fueron afectados por el evento i sucedido durante el mes m , conectados al activo u .

$UT_{j,m}$: Número total de usuarios conectados al SDL del OR j en el mes m .

m : Mes del año t , con enero = 1, ..., diciembre =12. [2]

4.7. SAIFI

Representa la cantidad total de los eventos que en promedio perciben todos los usuarios del SDL de un OR, hayan sido o no afectados por un evento, en un período anual. [2]

$$SAIFI_{j,t} = \sum_{m=1}^{12} \frac{\sum_{i=1}^n NU_{i,u,m}}{UT_{j,m}}$$

Donde:

$SAIFI_{j,t}$: Indicador de frecuencia promedio por usuario, de los eventos sucedidos en el SDL del OR j , durante el año t , medido en cantidad al año.

$NU_{i,u,m}$: Número de usuarios que fueron afectados por el evento i sucedido durante el mes m , por encontrarse conectados al activo u .

$UT_{j,t}$: Número total de usuarios conectados al SDL del OR j en el mes m .

m : Mes del año t , con enero = 1, ..., diciembre =12. [2]

4.8. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL FUSIBLE PARA PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES

4.8.1. Alcance

Los siguientes criterios definidos para la selección de fusibles como medio de protección de transformadores monofásicos y trifásicos son aplicables como regla general para fusibles de tipo: Expulsión, Limitador de corriente y Power Fuse. [3]

4.8.2. Factores de aplicación

Como regla general, los siguientes factores deben ser considerados para la selección del fusible del lado primario de un transformador. [3]

4.8.3. Tensión nominal

La tensión ratada de diseño máxima del fusible primario del transformador debe ser igual o exceder la máxima tensión de operación línea – línea del sistema. [3]

4.8.4. Capacidad de interrupción

La capacidad de interrupción de corriente simétrica de cortocircuito del fusible del lado primario de un transformador debe ser igual o mayor a la máxima corriente de corto circuito que puede ocurrir en dicho punto. [3]

4.8.5. Capacidad de sobrecarga

El fusible debe tener una capacidad de carga pico en emergencia que corresponda con los requerimientos operativos de la instalación. Es importante tener en cuenta que el fusible debe ser seleccionado para permitir, no para interrumpir, cargas pico. Este requerimiento puede implicar que el valor de corriente nominal escogido para el fusible sea mayor y, por lo tanto, el nivel de protección se vea reducido. [3]

4.8.6. Soportabilidad a corriente Inrush de magnetización

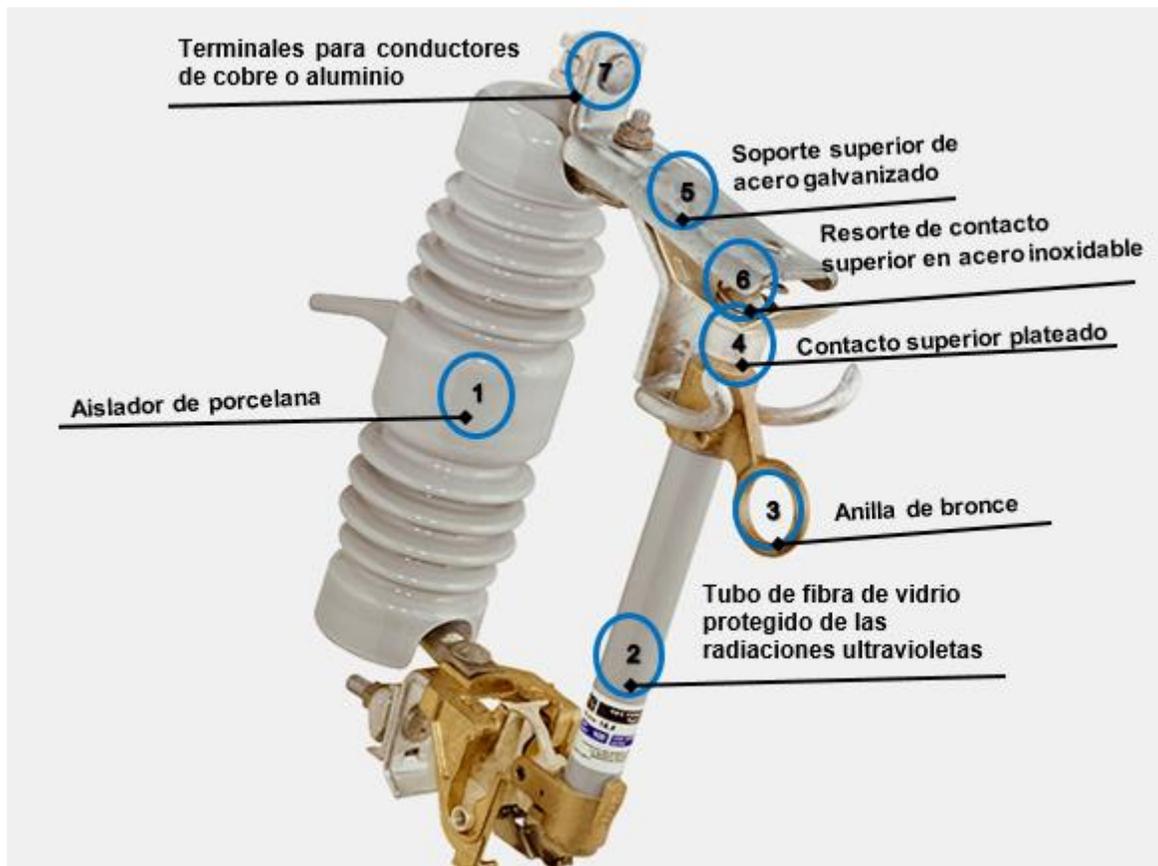
Cuando un transformador se energiza se presenta una corriente de excitación de corta duración, cuya magnitud estará definida por diferentes factores tales como: el flujo remanente en el núcleo del transformador, el punto de conexión en la onda de tensión, el equivalente de cortocircuito del sistema y la potencia del transformador. Esta corriente debe ser soportada por el fusible sin operar. Debido a que varios de los parámetros que controlan su magnitud son aleatorios, el fusible debe ser dimensionado para soportar el peor caso. [3]

4.8.7. Inrush por arranques de carga en frío (Cold Load Inrush)

Son las sobrecorrientes de larga duración que se presentan debido a la pérdida de diversidad de la carga, posterior a una salida de servicio prolongada (30 minutos o más). Ocurre debido a la entrada en simultánea de cargas controladas termostáticamente, o que tienen ciclos de encendido y apagado aleatorios entre ellas. [3]

4.9. Partes de un cortacircuitos

Imagen 1. Partes de un cortacircuitos



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

4.9.1. Descripción de los componentes

1. Aislador de porcelana tipo solido elaborado por proceso húmedo y recubierto con esmalte gris de alta rigidez dieléctrica, conforme a norma ANSI C29.9. [3]

2. Tubo portafusible de fibra de vidrio de lata resistencia que permite la interrupción de fallas de mediano y bajo rango, provisto de un recubrimiento interior de material autoextinguible para rápido extinción del arco. [3]
3. Ganchos para utilización de loadbreak y loadbuster con el fin operar el circuito bajo carga. [3]
4. Contactos fijos autolimpiantes de amplia superficie que se extienden hasta las bornes terminales y garantizan eficiente transferencia de corriente con bajo incremento de temperatura. [3]
5. Soporte superior y cruceta de montaje fabricado en acero galvanizado, según normas ASTM A-575 y NTC 2133. [3]
6. Resorte de retención autolineado que mantiene el portafusible en su correcta posición de cierre. [3]
7. Conector apto para conductores en un rango comprendido entre el No. 6 AWG y el 4/0 ACSR en cobre trenzado o aluminio. [3]

4.10. Reconectores

Un reconector es un dispositivo interruptor de falla con inteligencia para censar sobrecorrientes, interrumpirlas y cerrar automáticamente un número de veces predeterminado.

Ante fallas transitorias este tipo de dispositivo con su capacidad de recierre evita salidas prolongadas, y ante fallas permanentes, se presenta una apertura definitiva después de un numero predeterminado de recierres.

La función de este tipo de elementos es la detectar una condición de sobrecarga o cortocircuito, interrumpir el flujo de corriente en el circuito y luego, después de un lapso preestablecido, cerrarse automáticamente para reenergizar el circuito. Esta operación de apertura-recierre se repite automáticamente, si la falla persiste, hasta un máximo de tres veces, dando por concluida su operación en la cuarta etapa; esto significa que se trata de una falla permanente en el alimentador y, por tanto, el reconector quedara definitivamente abierto. [3]

4.10.1. Clasificación de los reconectadores

Estos dispositivos se clasifican por su número de fases (monofásico o trifásico), por el tipo de control (hidráulico, electrónico y microprocesador), por el medio de interrupción (aceite, vacío o SF6), por el medio aislante entre fases y tierras (aceite, vacío o SF6). [3]

4.10.2. Secuencia de operación

Cuando un reconectador detecta por primera vez una falla, la cortara muy rápidamente, en apenas 3 o 4 centésimas de segundo, minimizando con ello cualquier probabilidad de daño en el sistema de distribución; luego cerrara en 1 o 2 segundos, lo significa una corta suspensión del servicio. Es importante ajustar esta primera operación tan breve en tiempo, que no permita la caída de los arrancadores de motores.

Después de 1 o 2 operaciones rápidas según el ajuste del tiempo de disparo, se cambia automáticamente una operación de disparo lente, el cual permite más tiempo para fallas más persistentes y así, con esta combinación de disparos rápidos y lentos, lograr una coordinación más eficaz con otros dispositivos de protección del sistema. [3]

4.10.3. Factores de aplicación

Los siguientes factores deben ser considerados para una correcta aplicación de los reconectadores [3]:

1. Voltaje del sistema

El equipo debe tener un ratado igual o superior al voltaje del sistema.

2. Máxima corriente de falla disponible en el punto de instalación

La capacidad de interrupción debe ser igual o más grande que la corriente de falla máxima disponible.

3. Corriente de carga máxima

El máximo ratado a corriente continua debe ser igual o más grande que la corriente de carga máxima anticipada para el circuito.

4. Mínima corriente de falla

Es la mínima corriente de falla que podría ocurrir al final de la sección de línea a ser protegida. Dicha corriente debe ser evaluada para determinar que el reconector censará e interrumpirá esta corriente.

5. Coordinación con otros dispositivos de protección

Se debe coordinar con otros dispositivos de protección tanto en el lado de carga como en el lado de la fuente. La adecuada selección de los tiempos de retardo y secuencia es vital para asegurar cualquier falla transitoria o permanente sea restringida a la sección más pequeña posible. [3]

4.10.4. Localización

Los reconvertidores pueden ser utilizados en cualquier lugar del sistema donde se garantice que el retardo es adecuado para los requerimientos del sistema. Las localizaciones lógicas son [3]:

- En las subestaciones, como dispositivos de protección principal.
- Sobre los circuitos a una distancia desde la subestación, para seccionar alimentadores largos y así prevenir salidas de todo el alimentador cuando una falla permanente ocurra cerca al final del alimentador.
- Sobre los ramales del alimentador principal, para proteger el circuito de las de interrupciones y salidas debido a fallas en los ramales.

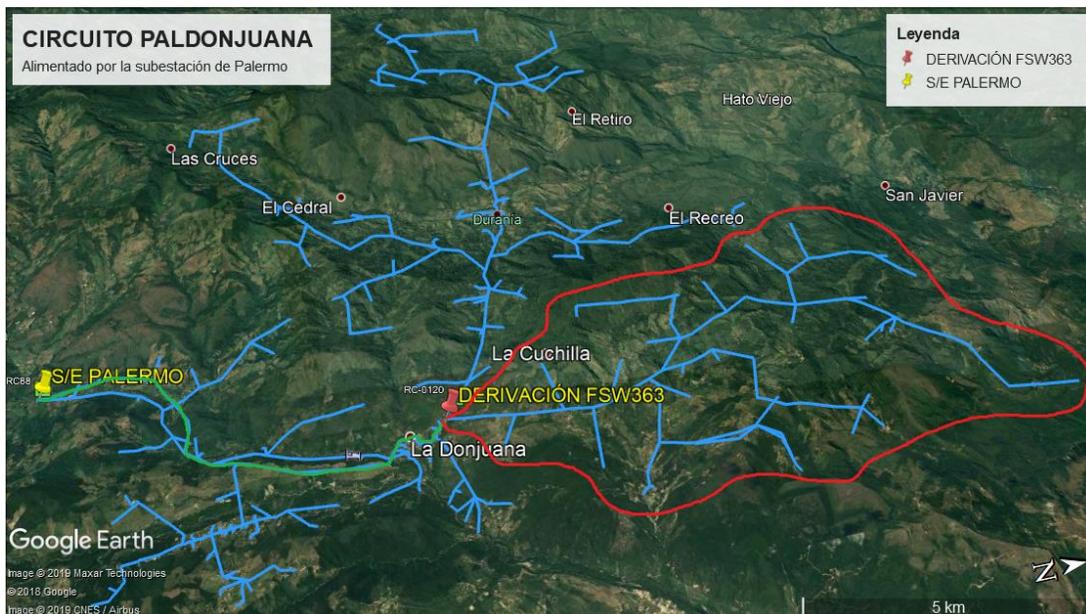
5. SELECCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES Y ARRANCADORES EN LOS CUALES SE ACCIONAN LAS PROTECCIONES INADECUADAMENTE.

La coordinación de protecciones se plantea como apoyo para el plan de mejoramiento al equipo de mantenimiento de la empresa. Basado en los análisis de fallas en la derivación FSW363 del circuito PALDONJUANA del SDL de CENS, en el cual determino la causa de las salidas más frecuentes de los transformadores y arrancadores pertenecientes a dicha derivación, durante el periodo de los años 2016 a 2018. [10]

5.1. Localización de la derivación FSW363 y ubicación de transformadores y arranques.

En la imagen 2, se identifica la ubicación de la subestación de Palermo (Indicador amarillo) y el alimentador (Demarcado en verde) que conecta con la derivación FSW363 (Indicador rojo), aguas abajo del arrancador FSW363 (Encerrada en rojo) se encuentra la derivación en la que se centró la coordinación de protecciones, entre las localidades de La Donjuana y la localidad de Durania.

Imagen 2. Circuito PALDONJUANA.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la imagen 3, se visualiza la derivaciones o segmentos aguas abajo del arrancador FSW363 con sus respectivos 51 transformadores (Indicadores amarillos): 1T04254, 1T04255, 1T04253, 1T04256, 1T08087, 1T04258, 1T04247, 1T04245, 1T08088, 1T04252, 1T04249, 1T04248, 1T04240, 1T04242, 1T04243, 1T04241, 1T04236, 1T11139, 1T08089, 1T04250, 1T12223, 1T04251, 1T04267, 1T04262, 1T04237, 1T04235, 1T04246, 1T09827, 1T04244, 1T10164, 1T09826, 1T11999, 1T07599, 1T08098, 1T04259, 1T04238, 1T04234, 1T04263, 1T04264, 1T04265, 1T09932, 1T04266, 1T04239, 1T08091, 1T04260, 1T04268, 1T08096, 1T12450, 1T04261, 1T07362 y 1T10351. Estos transformadores suministran el servicio de energía eléctrica aproximadamente a 225 usuarios.

Imagen 3. Transformadores aguas abajo de la derivación FSW363.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la imagen 4, se observa la derivaciones o segmentos aguas abajo del arrancador FSW363, con sus respectivos 34 arrancadores (Indicadores naranjas): FSW363, SW6566, FSW367, FSW368, BSW5927, BSW5507, FSW369, BSW6011, JESW5185, ESW6994, PASW3746, BSW5642, FSW370, FSW372, ASW8704, FSW375, SW3748, SW3310, SW6574, BSW5499, GSW7603, FSW371,

PASW3744, FSW376, FSW365, PASW3875, FSW364, GSW4088, SW6575, FSW377, ASW3654, GSW9772, PASW3868 y RSW3647. Los transformadores anteriormente indicados en la imagen 3, dependen estos arrancadores para su energización y respectivo suministro a los usuarios.

Imagen 4. Arranques aguas abajo de la Derivación FSW363.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

La selección de transformadores y arrancadores para la coordinación de protecciones aguas abajo de la derivación FSW363 del circuito PALDONJUANA alimentado por la subestación de PALERMO, se realizó según el reporte preliminar de falla, consolidado durante el último año 2018 y en conjunto con los informes operativos suministrados por CENS durante el periodo de los años 2018 a Junio de 2019.

Los informes operativos se realizan cada día por la empresa, la información que se consolida, es el resumen del periodo de los años mencionados (2018 a Junio 2019) y está registrada en Microsoft Excel. Las hojas seleccionadas para la recolección de la información fueron, INTERRUPCIÓN DE ARRANQUES e

INTERRUPCIÓN DE TRAFOS de cada uno de los años, agrupándolas como un solo documento.

Con base a las hojas de Excel anteriormente nombradas, se realizó un filtro para destacar cuales fueron los transformadores y arranques que fallaron durante el periodo de 2018 a Junio de 2019 aguas abajo del arrancador FSW363 del circuito PALDONJUANA. El filtro en las hojas muestra los siguientes resultados, 36 de los 51 transformadores fallaron y 16 de los 34 arranques mencionados anteriormente fallaron.

5.2. Reporte preliminar de falla

Este reporte se realizó del análisis de fallas presentadas en la derivación FSW363 del circuito PALDONJUANA del SDL de CENS utilizando como referencia los informes operativos de CENS del año 2018. El reporte preliminar evalúa la falla según el tipo de evento como: Pérdida, Falla potencial o Falla crónica. También evalúa el impacto que genera dicha falla a las personas de manera físico-psicológica, el impacto ambiental, costos que genera a la empresa, la reputación vista desde los medios de comunicación y su frecuencia de incidencia en la falla. Según la evaluación realizada en el reporte, se califica el riesgo y categoría del evento, a través de una tabla de apreciaciones y se recomienda una técnica de análisis para llegar al origen de la falla (Tabla 1).

Tabla 1. Calificación de las consecuencias de la falla.

PROBABILIDAD		CONSECUENCIA				
		Minima	Menor	Moderada	Mayor	Máxima
		1	2	4	8	16
Muy alta	5	5	10	20	40	80
Alta	4	4	8	16	32	64
Media	3	3	6	12	24	48
Baja	2	2	4	8	16	32
Muy Baja	1	1	2	4	8	16

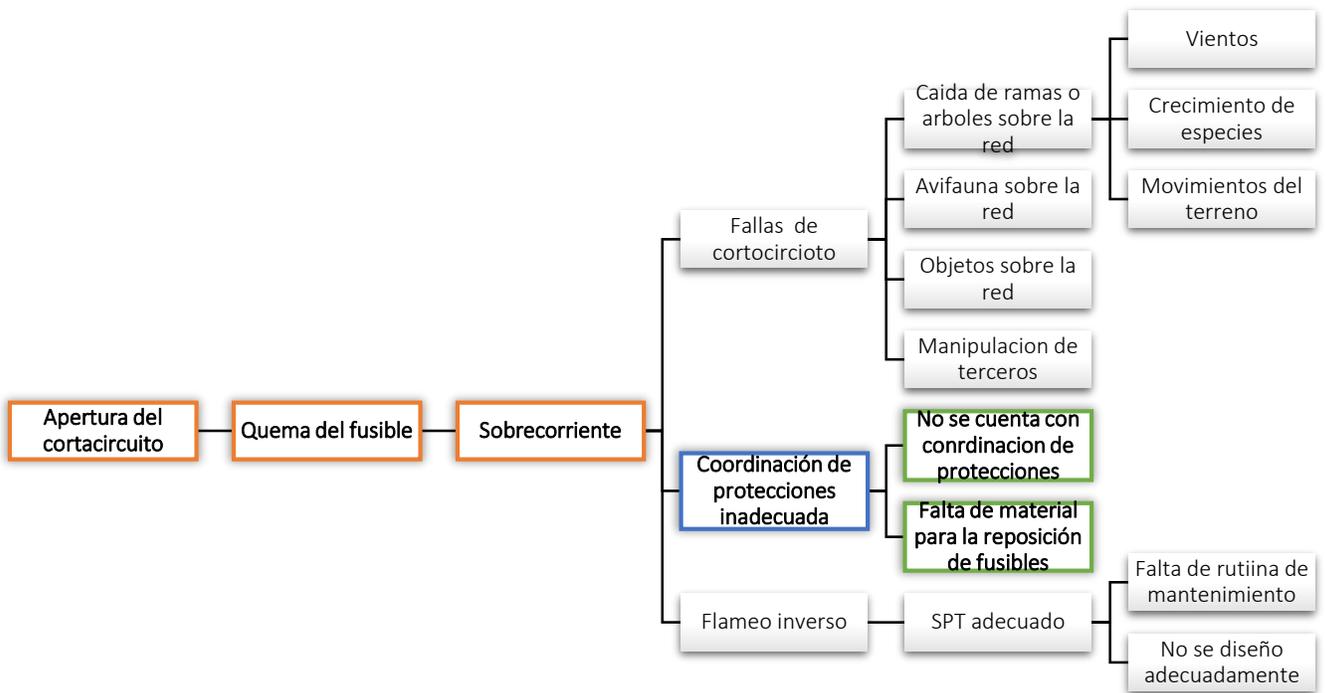
Riesgo y categoría del evento:	Alto	La técnica de análisis es:	Arbol de fallas o Diagrama Causa y efecto o Mapa de Causas
--------------------------------	------	----------------------------	--

Aceptable	Tolerable	Alto	Extremo
Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

El documento del reporte preliminar realizado en Microsoft Excel contiene las siguientes hojas: EVENTOS, COSTOS TOTALES, COSTO MO (Mano de Obra), COSTOS DNA (Demanda No Atendida), ANTECEDENTES, ALARMAS PRESENTADAS y FICHA. Este conjunto de hojas respalda la información incluida en el reporte preliminar como tal, "PLT_501_SGR_017" es el nombre del formato del reporte preliminar.

Imagen 5. Árbol de falla



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Se representa a través del árbol de fallas (Imagen 5) las causas, a las consecuencias del porque se están presentando apertura de los cortacircuitos en las protecciones asociadas aguas abajo del arranque FSW363. Según el análisis que se presenta en dicho árbol, se eligió la inadecuada coordinación de protecciones como una de las causas que más salidas y tiempo fuera de servicio provoca a los usuarios, cada vez que ocurren eventos aguas abajo del arranque FSW363.

5.2.1. Eventos

Esta hoja incluye los eventos de transformadores y arrancadores ocurridos durante el año 2018 en la derivación FSW363 del circuito PALDONJUANA. Los eventos están registrados en tablas que contiene el código SPARD, que identifica el transformador o el arrancador que presento una salida. Además, se muestran la fecha inicial y fecha de cierre del evento, con su respectiva duración.

5.2.2. Costos totales

Esta hoja contiene los costos totales que generaron los eventos de los transformadores y arrancadores en la derivación. Se refiere a los costos de restablecimiento del servicio; incluye los costos de mano de obra, costos de materiales, demanda no atendida (DNA), compensación ambiental y servicios. En la tabla 2, se visualiza los costos totales.

Tabla 2. Costos totales.

COSTOS DERIVACIÓN FSW363			
DESCRIPCIÓN DEL COSTO	ARRANQUES	TRANSFORMADORES	COSTO TOTAL
COSTO MANO DE OBRA	\$ 7,711,334.52	\$ 9,789,841.61	\$ 17,501,176.13
MATERIALES	\$ 6,029,040.28	\$ 15,107,292.12	\$ 21,136,332.40
DNA	\$ 9,694,622.04	\$ 2,802,483.32	\$ 12,497,105.36
COMPENSACIÓN AMBIENTAL	\$ -	\$ -	\$ -
SERVICIOS	\$ 8,258,071		\$ 8,258,071
TOTAL			\$ 59,392,684.88

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

5.2.3. Antecedentes

Los antecedentes contienen el análisis de la información sobre la cantidad de eventos y su duración con respecto a los transformadores y arrancadores aguas abajo de la derivación, durante los periodos de los años 2016, 2017 y 2018. En las tablas 3 y 4, se visualiza la duración de los eventos durante cada año, para transformadores y arranques respectivamente.

Tabla 3. Duración de los eventos de los transformadores.

DURACIÓN TRANSFORMADORES FSW363	
Año	Duración (H)
2016-2017-2018	4302
2016	1083
2017	1378
2018	1841

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 4. Duración de los eventos de los arranques.

DURACIÓN ARRANQUES FSW363	
Año	Duración (H)
2016-2017-2018	2717
2016	1137
2017	930
2018	650

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 1, se observa un aumento progresivo de la duración de las salidas en los transformadores. En el año 2018 llegó a un total de 1.841 horas fuera de servicio en los transformadores aguas abajo del arrancador FSW363.

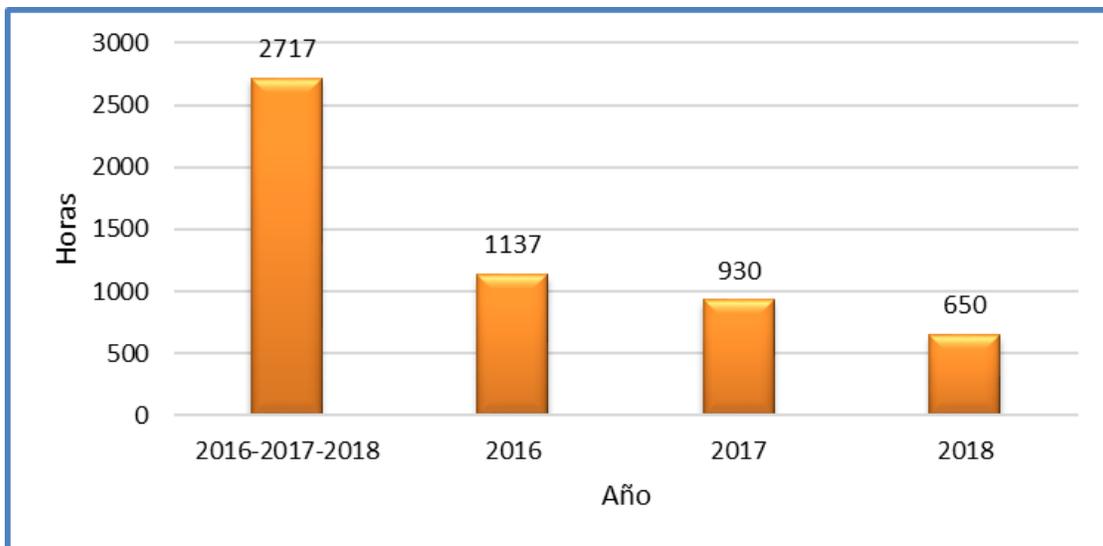
Gráfica 1. Duración de los eventos de los transformadores.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 2, se visualiza un alivio o decremento de la duración de las salidas en los arrancadores. En el año 2018 bajo hasta una duración de 650 horas fuera de servicio los arranques aguas abajo de la derivación FSW363.

Gráfica 2. Duración de los eventos de los arranques.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En las tablas 5 y 6, se observa la cantidad de eventos que tuvieron los transformadores y arrancadores durante cada uno de los años, aguas abajo del arrancador FSW363.

Tabla 5. Cantidad de eventos presentados en los transformadores.

FALLAS EN TRANSFORMADORES FSW363	
Años	Eventos
2016-2017-2018	140
2016	32
2017	43
2018	65

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

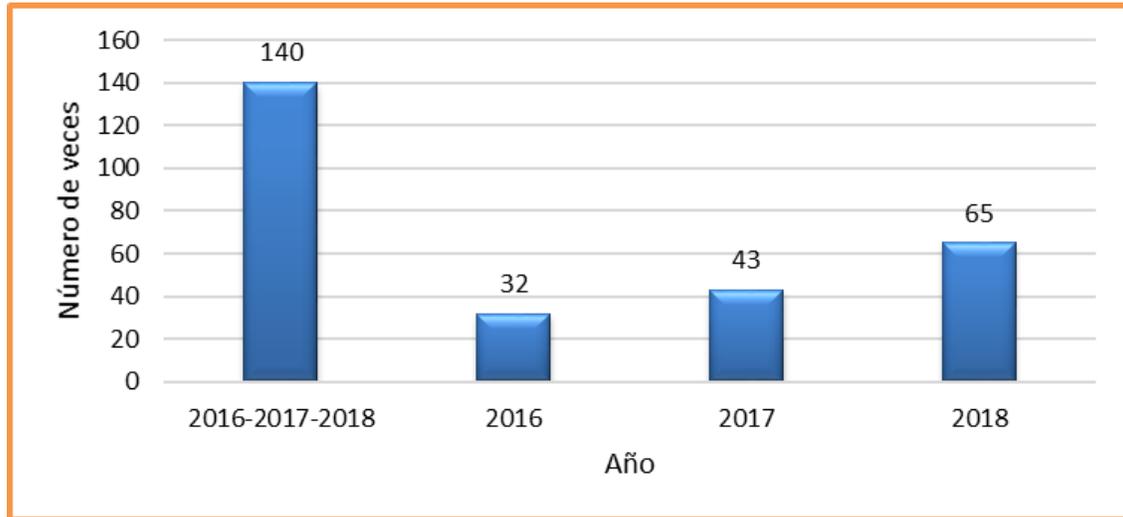
Tabla 6. Cantidad de eventos presentados en los arranques.

FALLAS EN ARRANQUES FSW363	
Año	Eventos
2016-2017-2018	153
2016	59
2017	58
2018	36

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 3, se representa un aumento gradual de la cantidad de eventos en los transformadores. En el año 2018 llegó a un total de 65 eventos en los cuales 29 transformadores estuvieron fuera de servicio.

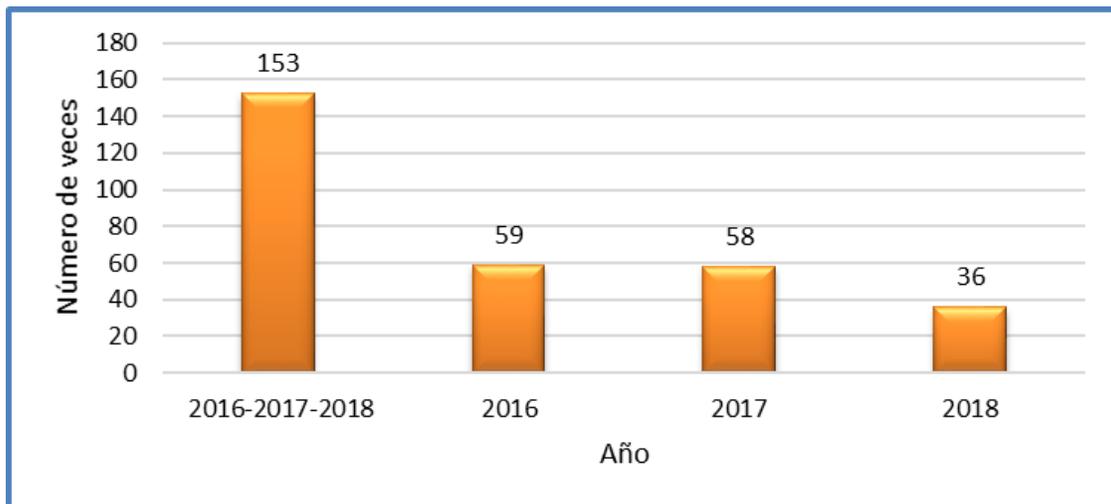
Gráfica 3. Cantidad de eventos presentados en los transformadores.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 4, se representa un alivio o decremento de la cantidad de eventos en los arrancadores. En el año 2018 descendió hasta un total de 36 eventos en los cuales estuvo fuera de servicio 13 arranques aguas abajo de la derivación FSW363.

Gráfica 4. Cantidad de eventos presentados en los arranques.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

5.2.4. Alarmas presentadas

Se presentan los eventos que tuvieron cabida durante en el transcurso del año 2018, para los arrancadores y los transformadores aguas debajo de la derivación FSW363. En la tabla 7, se observa la cantidad de eventos ocurridos y su duración mes a mes de los transformadores, aguas abajo del arrancador FSW363. Se aprecia una mayor duración y eventos en los meses de Abril y Mayo.

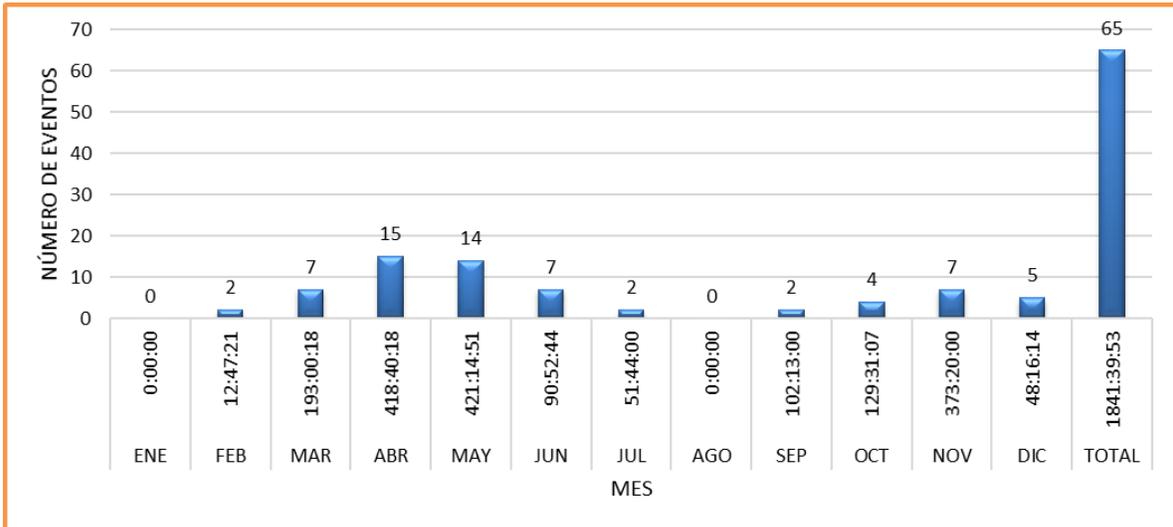
Tabla 7. Eventos transcurridos en transformadores durante el año 2018.

TRANSFORMADORES DERIVACIÓN FSW363 AÑO 2018		
MES	DRURACIÓN(HH:MM:SS)	EVENTOS
ENERO	0:00:00	0
FEBRERO	12:47:21	2
MARZO	193:00:18	7
ABRIL	418:40:18	15
MAYO	421:14:51	14
JUNIO	90:52:44	7
JULIO	51:44:00	2
AGOSTO	0:00:00	0
SEPTIEMBRE	102:13:00	2
OCTUBRE	129:31:07	4
NOVIEMBRE	373:20:00	7
DICIEMBRE	48:16:14	5
TOTAL	1841:39:53	65

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 5, se representa la cantidad de eventos transcurridos de los transformadores de cada uno de los meses del año 2018, aguas abajo del arrancador FSW363. Se visualiza un gran número de salidas y duración, durante el segundo trimestre del año, con un total de 36 eventos y 930 horas aproximadamente.

Gráfica 5. Eventos transcurridos en transformadores durante el año 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

5.3. Selección de transformadores y arranques en los cuales ocurrieron interrupciones.

A través del consolidado de los informes operativos se filtró y extrajo la cantidad de eventos presentados en los transformadores y arranques, durante el periodo del 2018 a Junio de 2019. A continuación, en la tabla 8, se observa las interrupciones registradas de los transformadores y arranques aguas abajo del arranque FSW363 en el año 2018.

Tabla 8. Interrupciones del 2018.

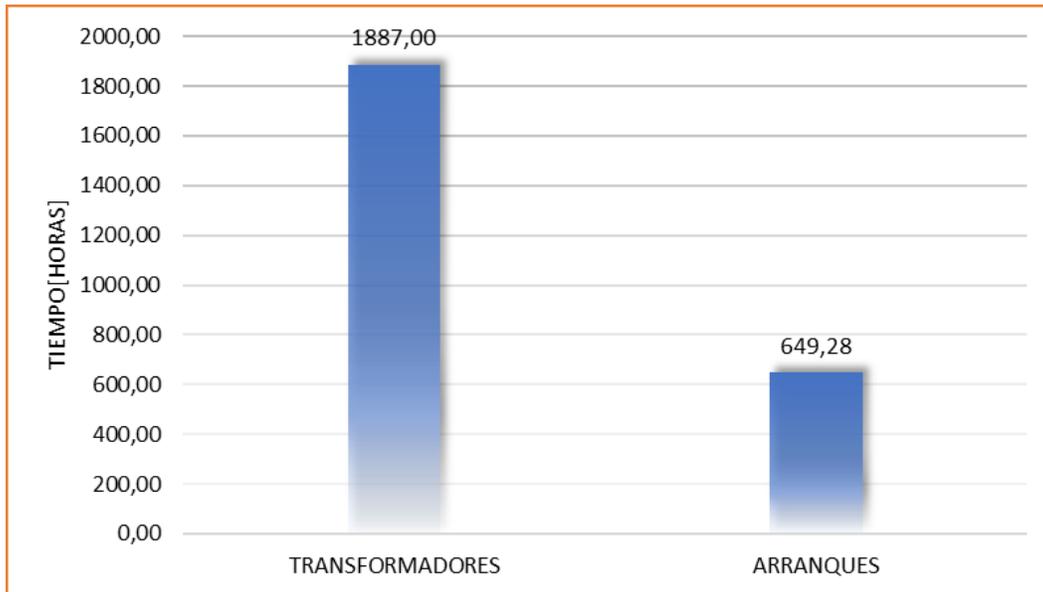
INTERRUPCIONES DEL 2018		
ELEMENTO	DURACIÓN (h)	EVENTOS
TRANSFORMADORES	1887.00	65
ARRANQUES	649.28	36

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Se registra en las gráficas 6 y 7, los tiempos fuera de servicio y la cantidad de eventos presentados en los transformadores y arranques del 2018. Se visualiza 1887 horas con 65 eventos para los transformadores y 649,28 horas con 36 eventos para los arranques; siempre se evidenciará una diferencia entre las cantidades,

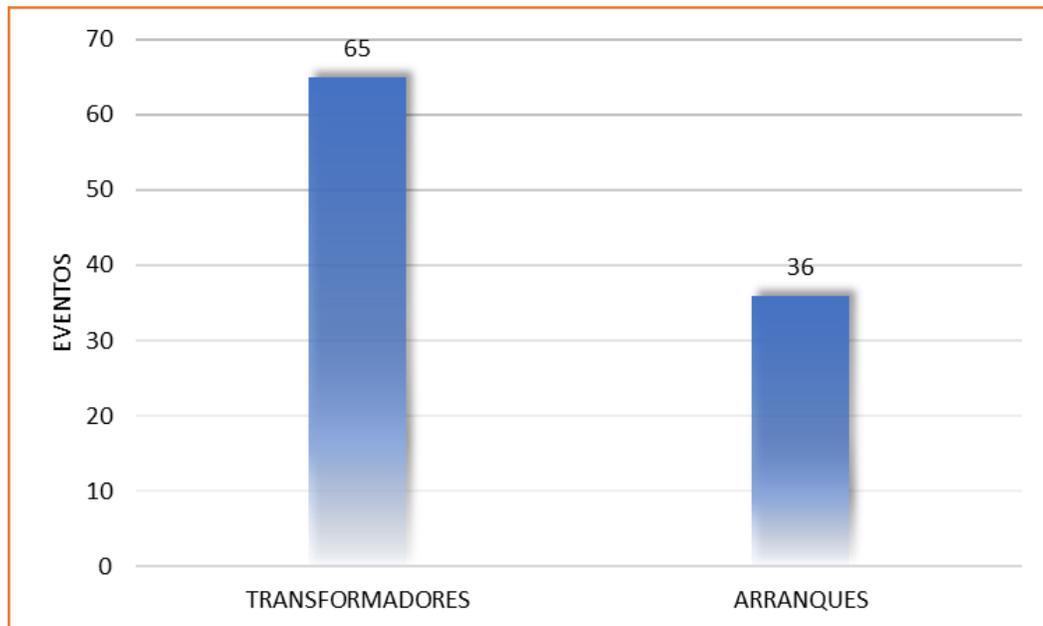
dando como mayor la de los transformadores, debido a que estos dependen de los arranques en los segmentos de la derivación.

Gráfica 6. Tiempos fuera de servicio del 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 7. Eventos presentados del 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la tabla 9, se visualiza las interrupciones de los transformadores y arranques, los cuales solo se tuvieron en cuenta para el periodo de Enero hasta Junio del 2019.

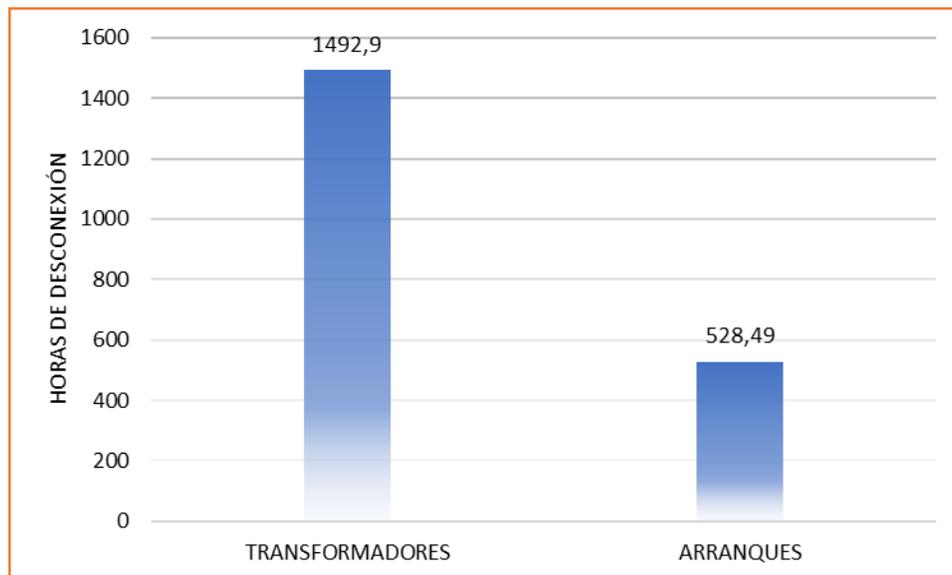
Tabla 9. Interrupciones del 2019.

INTERRUPCIONES DEL 2019		
ELEMENTO	DURACIÓN (h)	EVENTOS
TRANSFORMADORES	1492.9	49
ARRANQUES	528.49	31

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

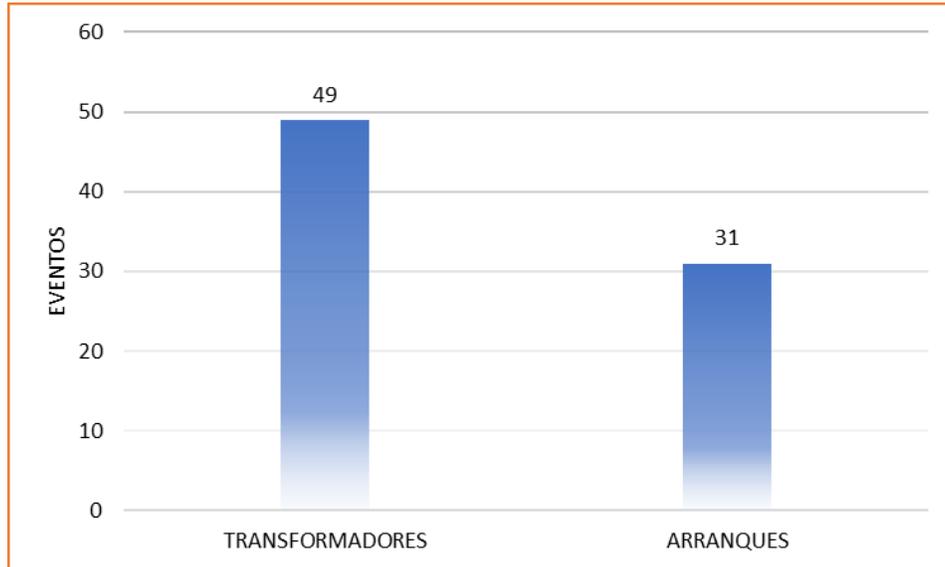
Se registra en las gráficas 8 y 9, los tiempos fuera de servicio y la cantidad de eventos presentados en los transformadores y arranques en el periodo de Enero a Junio del 2019. Se visualiza 1492,9 horas con 49 eventos para los transformadores y 528,49 horas con 31 eventos para los arranques.

Gráfica 8. Tiempo fuera de servicio del 2019.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 9. Eventos presentados del 2019.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

5.3.1. Selección de los transformadores en los cuales presentaron interrupciones.

El informe operativo consolidado durante el periodo indicado (2018 a Junio del 2019), permite filtrar la cantidad de interrupciones ocurridas a los transformadores sin repetir el mismo código Spard de un evento (etiqueta del transformador). De esta manera solo se presenta una vez el transformador con su respectivo tiempo de desconexión, cantidad de usuarios afectados y cantidad de salidas al año.

En el año 2018 se presentaron 29 transformadores en los cuales ocurrieron interrupciones aguas abajo del arranque FSW363, como se evidencia en la tabla 10. Estas interrupciones dejaron sin servicio de energía eléctrica a 114 usuarios y agregaron en su totalidad 138 salidas.

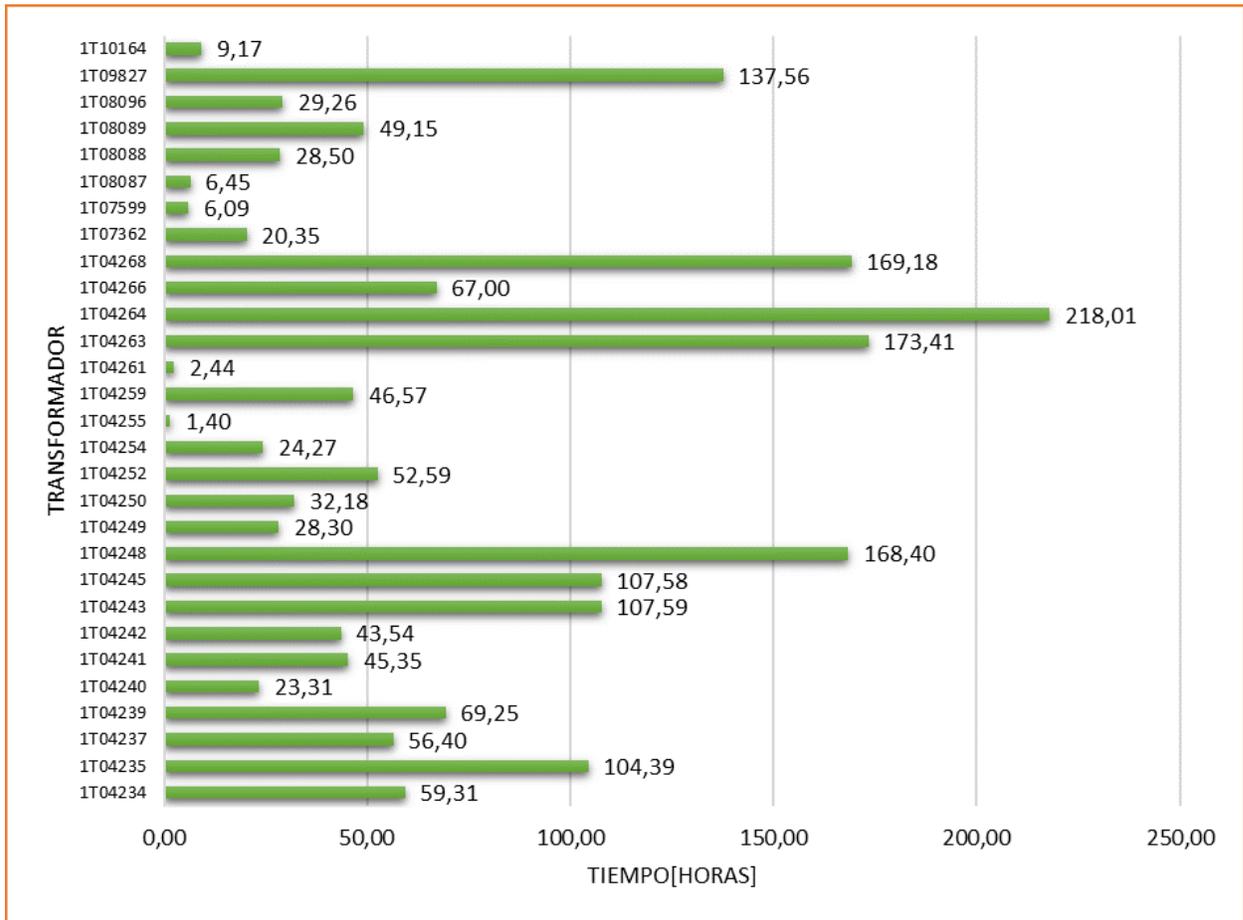
Tabla 10. Fallas de los transformadores en el 2018.

Etiqueta de transformador	Suma de Duración [Horas]	Cuenta de USU_AFEC	Suma de cantidad de salidas en el año
1T04234	59.31	10	6
1T04235	104.39	5	6
1T04237	56.40	6	3
1T04239	69.25	2	6
1T04240	23.31	2	3
1T04241	45.35	3	1
1T04242	43.54	4	1
1T04243	107.59	3	1
1T04245	107.58	8	6
1T04248	168.40	3	6
1T04249	28.30	9	3
1T04250	32.18	5	3
1T04252	52.59	9	1
1T04254	24.27	3	3
1T04255	1.40	1	1
1T04259	46.57	4	1
1T04261	2.44	4	3
1T04263	173.41	3	36
1T04264	218.01	1	1
1T04266	67.00	2	6
1T04268	169.18	6	10
1T07362	20.35	2	1
1T07599	6.09	2	1
1T08087	6.45	1	1
1T08088	28.50	3	3
1T08089	49.15	2	3
1T08096	29.26	5	1
1T09827	137.56	5	15
1T10164	9.17	1	6
TOTAL	1887	114	138

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 10, se observa el tiempo fuera de servicio de las interrupciones presentadas en los 29 transformadores. Se presenta un mayor tiempo de desconexión en el transformador 1T04264 con 218 horas aproximadamente y un mínimo tiempo de 1,4 horas de desconexión en el transformador 1T04255.

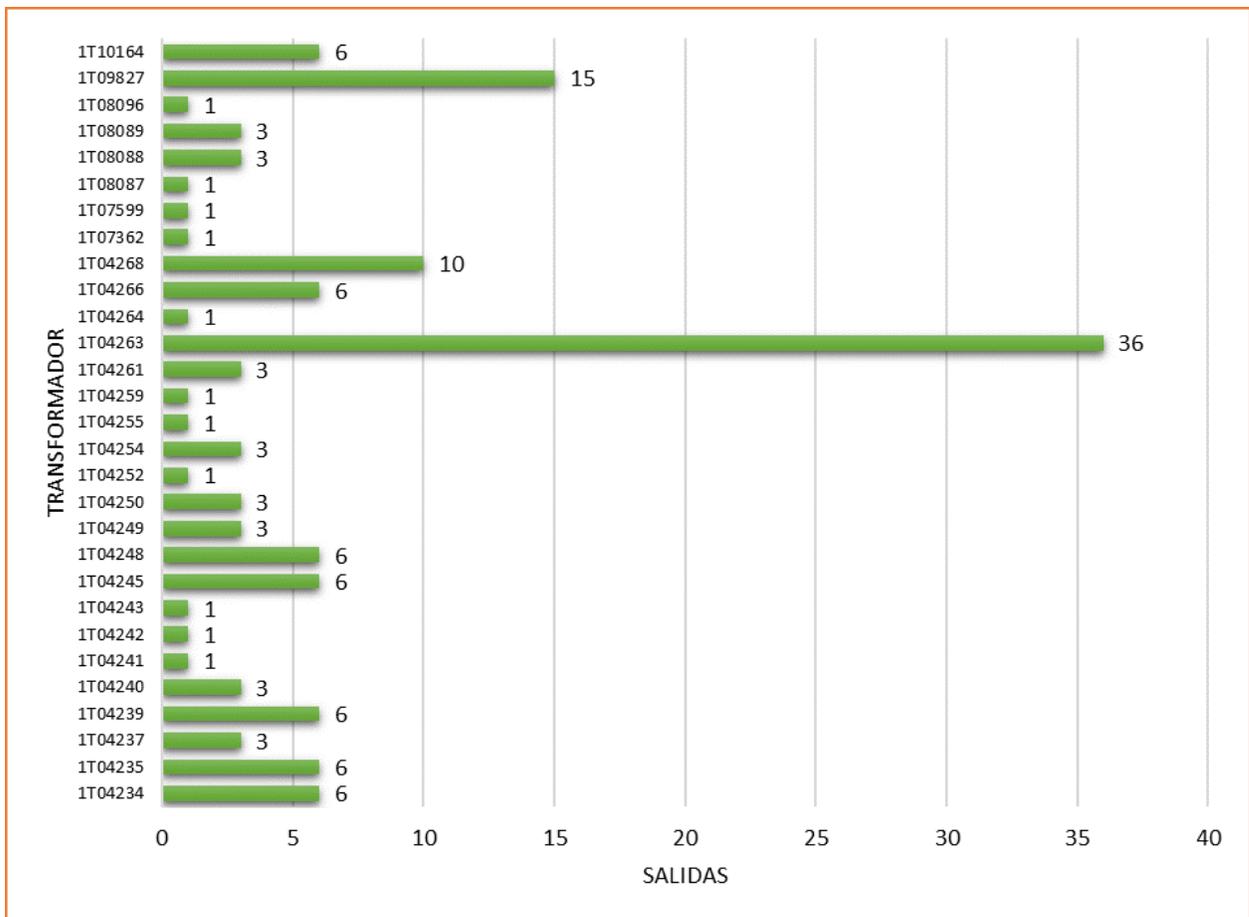
Gráfica 10. Duración de fallas en los transformadores en el 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 11, se observa la cantidad de salidas presentadas en los 29 transformadores. Se presenta una mayor cantidad de interrupciones en el transformador 1T04263 con 36 salidas y un mínimo de salidas en los siguientes transformadores: 1T08096, 1T08087, 1T07599, 1T07362, 1T04264, 1T04259, 1T04255, 1T04252, 1T04243, 1T04242 y 1T04241.

Gráfica 11. Cantidad de fallas presentadas en transformadores en el 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En el año 2019 se presentaron 27 transformadores en los cuales ocurrieron interrupciones aguas abajo del arranque FSW363, como se evidencia en la tabla 11. Estas interrupciones dejaron sin servicio de energía eléctrica a 133 usuarios y agregaron en su totalidad 113 salidas.

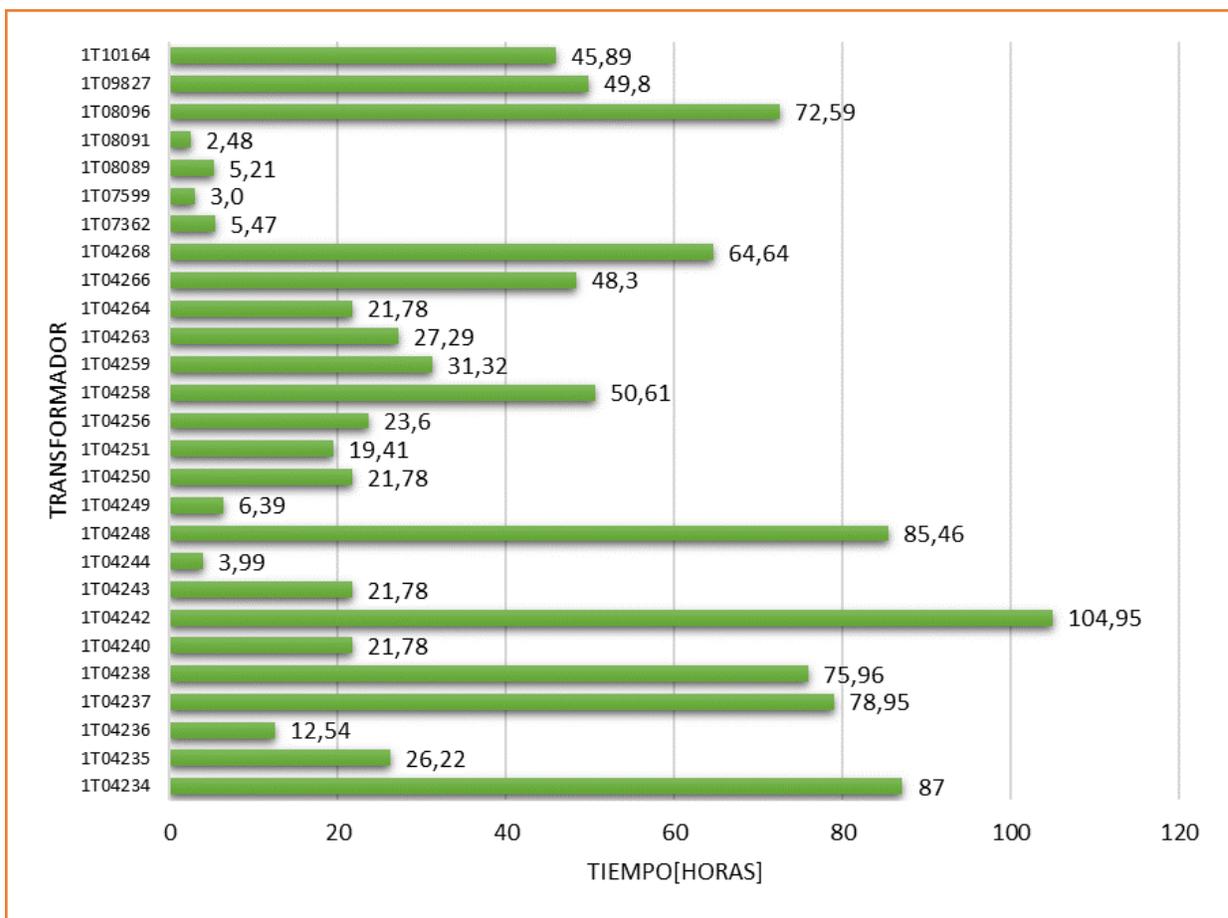
Tabla 11. Fallas de los transformadores en el 2019.

Etiquetas de transformadores	Suma de duración [Horas]	Cuenta de USU-AFECT	Suma de cantidad de salidas
1T04234	87	10	10
1T04235	26.22	5	1
1T04236	12.54	5	3
1T04237	78.95	6	10
1T04238	75.96	2	3
1T04240	21.78	2	1
1T04242	104.95	4	7
1T04243	21.78	3	1
1T04244	3.99	12	1
1T04248	85.46	3	16
1T04249	6.39	9	5
1T04250	21.78	5	1
1T04251	19.41	4	1
1T04256	23.6	7	1
1T04258	50.61	19	3
1T04259	31.32	4	2
1T04263	27.29	3	9
1T04264	21.78	1	1
1T04266	48.3	2	9
1T04268	64.64	6	6
1T07362	5.47	2	2
1T07599	3.0	2	2
1T08089	5.21	2	1
1T08091	2.48	4	1
1T08096	72.59	5	4
1T09827	49.8	5	11
1T10164	45.89	1	1
TOTAL	1018.2	133	113

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 12, se observa el tiempo fuera de servicio de las interrupciones presentadas en los 27 transformadores. Se presenta un mayor tiempo de desconexión en el transformador 1T04242 con 104 horas aproximadamente y un mínimo tiempo de 2,48 horas de desconexión en el transformador 1T08091.

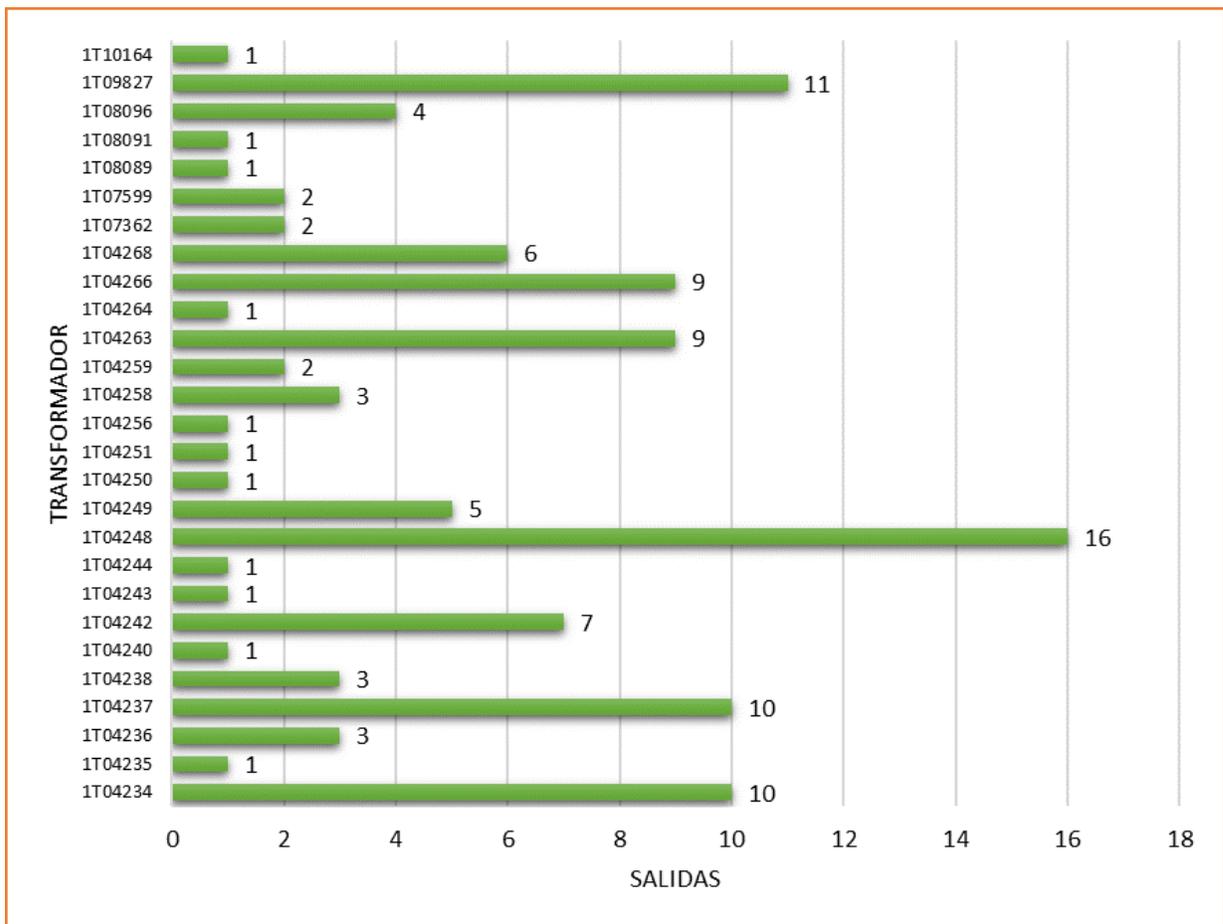
Gráfica 12. Duración de fallas en los transformadores en el 2019.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 13, se observa la cantidad de salidas presentadas en los 27 transformadores. Se muestra una mayor cantidad de interrupciones en el transformador 1T04248 con 16 salidas y un mínimo de salidas en los siguientes transformadores: 1T10164, 1T08091, 1T08089, 1T04264, 1T04256, 1T04251, 1T04250, 1T04243, 1T04244, 1T04240 y 1T04235.

Gráfica 13. Cantidad de fallas presentadas en transformadores en el 2019.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

5.3.2. Selección de los arranques en los cuales presentaron interrupciones.

El informe operativo consolidado durante el periodo indicado (2018 a Junio del 2019), permite filtrar la cantidad de interrupciones ocurridas a los arranques sin repetir el mismo código Spard de un evento (etiqueta del arranque). De esta manera solo se presenta una vez el arranque con su respectivo tiempo de desconexión, cantidad de usuarios afectados y cantidad de salidas al año.

En la tabla 12, se observa la cantidad de salidas presentadas y su duración mes a mes de los arranques, aguas abajo del arrancador FSW363 en el año 2018. Se aprecia una mayor duración y salidas en los meses de Febrero y Abril.

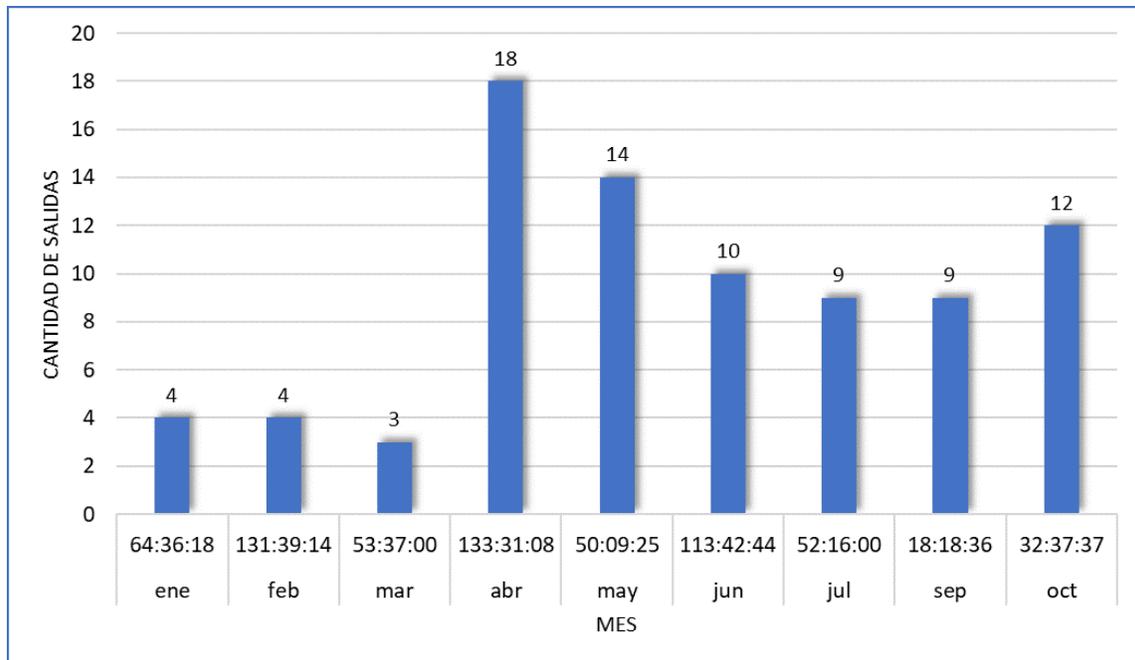
Tabla 12. Interrupciones en arranques presentadas en cada mes del 2018.

CRITICIDAD DEL AÑO 2018		
MES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD DE SALIDAS AL AÑO
ene	64:36:18	4
feb	131:39:14	4
mar	53:37:00	3
abr	133:31:08	18
may	50:09:25	14
jun	113:42:44	10
jul	52:16:00	9
sep	18:18:36	9
oct	32:37:37	12
Total general	650:28:02	83

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 14, se representa la cantidad de salidas acontecidas en los arranques de cada uno de los meses del año 2018, aguas abajo del arrancador FSW363. Se visualiza un gran número de salidas y duración, durante el segundo trimestre del año, con un total de 42 salidas y 297 horas aproximadamente de desconexión.

Gráfica 14. Interrupciones en arranques presentadas en cada mes del 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En el año 2018 se presentaron 13 arranques en los cuales ocurrieron interrupciones aguas abajo del arranque FSW363, como se evidencia en la tabla 13. Estas interrupciones dejaron sin servicio de energía eléctrica a 538 usuarios y añadieron en su totalidad 83 salidas.

Tabla 13. Fallas de los arranques en el 2018.

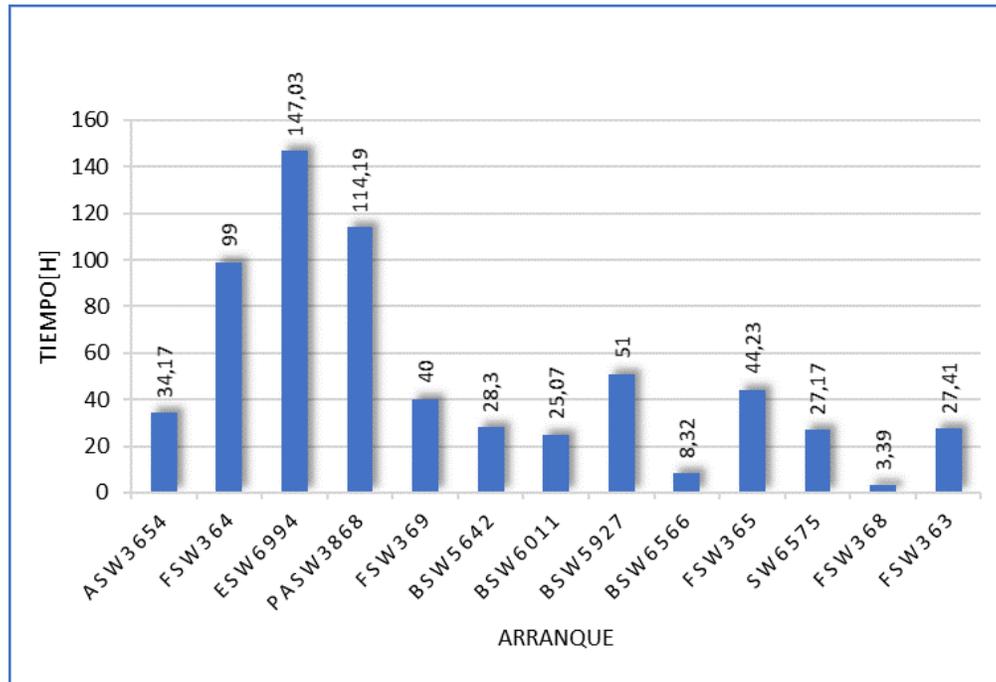
INTERRUPCIONES DE LOS ARRANQUES 2018			
CÓDIGO SPARD	DURACIÓN (Horas)	USUARIOS AFECTADOS	CANTIDAD DE SALIDAS EN EL AÑO
ASW3654	34.17	7	1
FSW364	99	15	21
ESW6994	147.03	30	6
PASW3868	114.19	6	10
FSW369	40	8	10
BSW5642	28.3	20	3
BSW6011	25.07	28	1
BSW5927	51	17	6
BSW6566	8.32	189	10
FSW365	44.23	22	10
SW6575	27.17	6	1
FSW368	3.39	8	1
FSW363	27.41	182	3
TOTAL	649.28	538	83

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En las gráficas 15 y 16, se observa el tiempo fuera de servicio y la cantidad de salidas respectivamente de las interrupciones presentadas en los 13 arranques en el 2018. Se presenta (gráfica 15) un mayor tiempo de desconexión en el arranque ESW6994 con 147 horas aproximadamente y un mínimo tiempo de 3,39 horas de desconexión en el arranque FSW368.

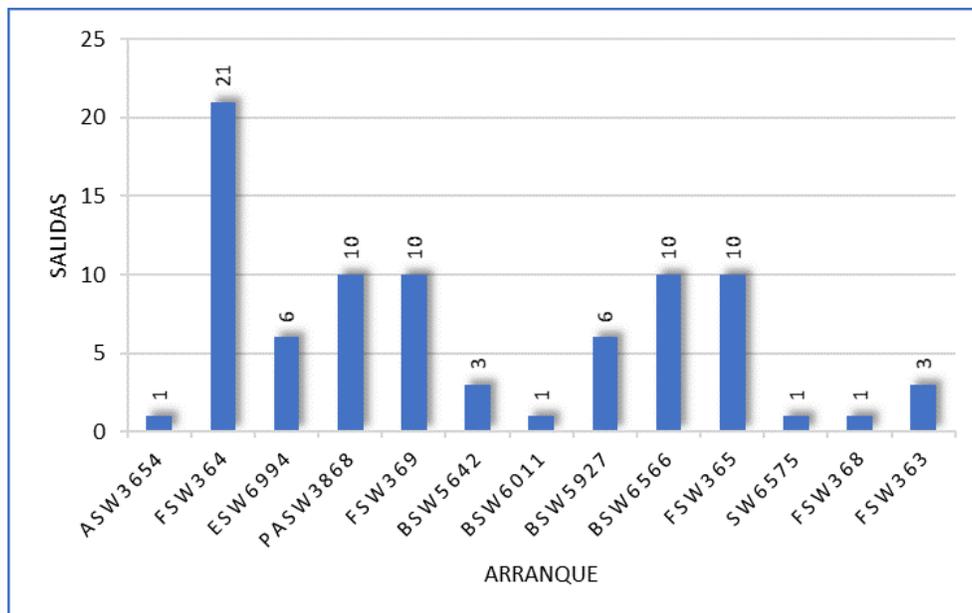
Se visualiza (gráfica 16) una mayor cantidad de salidas en el arranque FSW364 con 21 salidas y un mínimo de salidas en los siguientes arranques: ASW3654, BSW6011, SW6575 y FSW368.

Gráfica 15. Duración de fallas en los arranques en el 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 16. Cantidad de fallas presentadas en arranques en el 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la tabla 14, se observa la cantidad de salidas presentadas y su duración mes a mes de los arranques aguas abajo del arrancador FSW363, durante el periodo de Enero a Junio del 2019. Se aprecia una mayor duración y salidas en los meses de Mayo y Junio.

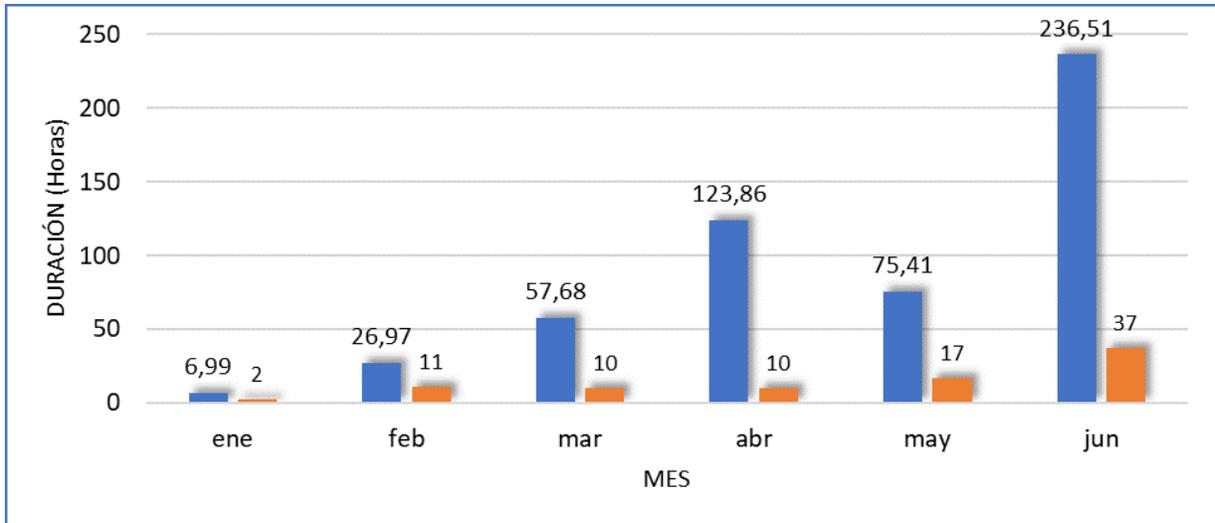
Tabla 14. Interrupciones en arranques presentadas en cada mes del 2019.

CRITICIDAD DEL AÑO 2019		
MES	DURACIÓN (Horas)	CANTIDAD DE SALIDAS AL AÑO
ene	6.99	2
feb	26.97	11
mar	57.68	10
abr	123.86	10
may	75.41	17
jun	236.51	37
Total general	527.42	87

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 17, se representa la cantidad de salidas acontecidas en los arranques de cada uno de los meses del año 2019, aguas abajo del arrancador FSW363. Se visualiza un gran número de salidas y duración, durante el mes de Abril y Junio con un total de 47 salidas y 359 horas aproximadamente de desconexión.

Gráfica 17. Interrupciones en arranques presentadas en cada mes del 2019.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En el año 2019 se presentaron 14 arranques en los cuales ocurrieron interrupciones aguas abajo del arranque FSW363, como se evidencia en la tabla 15. Estas interrupciones dejaron sin servicio de energía eléctrica a 624 usuarios y añadieron en su totalidad 87 salidas.

Tabla 15. Fallas de los arranques en el 2019.

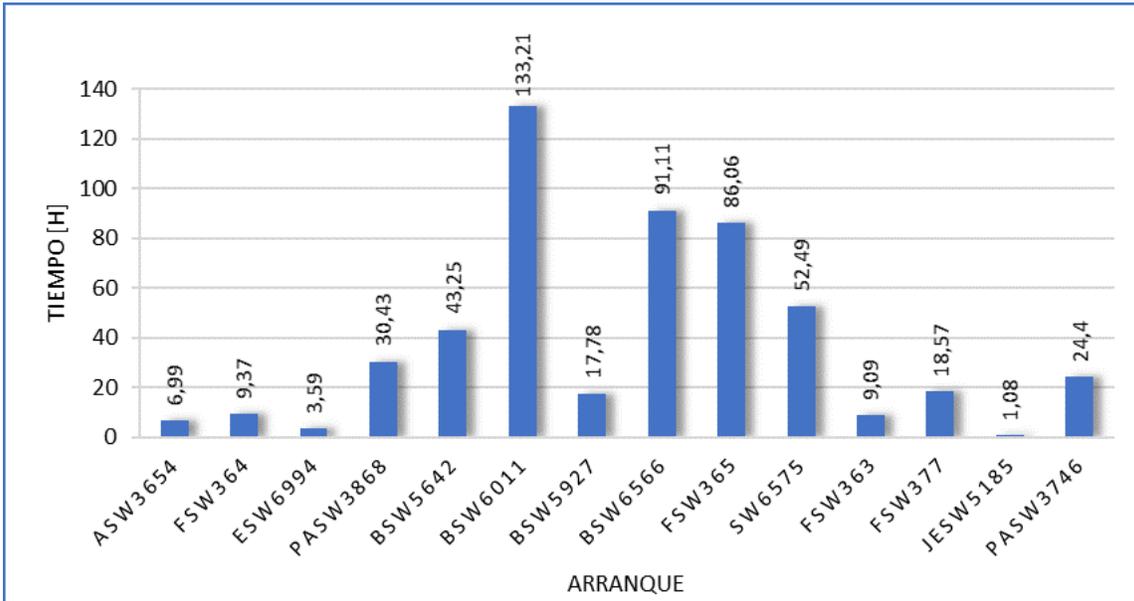
INTERRUPCIONES DE LOS ARRANQUES 2019			
CÓDIGO SPARD	DURACIÓN (Horas)	USUARIOS AFECTADOS	CANTIDAD DE SALIDAS EN EL AÑO
ASW3654	6.99	7	2
FSW364	9.37	16	3
ESW6994	3.59	30	1
PASW3868	30.43	6	1
BSW5642	43.25	20	3
BSW6011	133.21	28	36
BSW5927	17.78	19	1
BSW6566	91.11	190	19
FSW365	86.06	22	14
SW6575	52.49	6	1
FSW363	9.09	190	3
FSW377	18.57	12	1
JESW5185	1.08	9	1
PASW3746	24.4	69	1
TOTAL	527.42	624	87

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En las gráficas 18 y 19, se observa el tiempo fuera de servicio y la cantidad de salidas respectivamente de las interrupciones presentadas en los 14 arranques en el 2019. Se presenta (gráfica 18) un mayor tiempo de desconexión en el arranque BSW6011 con 133 horas aproximadamente y un mínimo tiempo de 1,08 horas de desconexión en el arranque JESW5185.

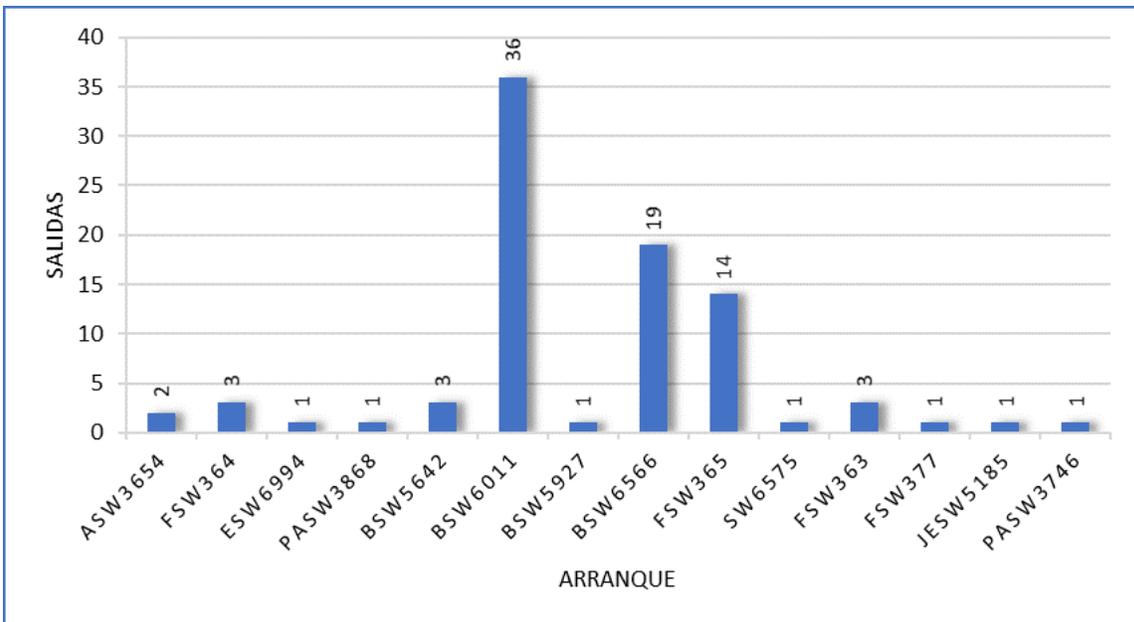
Se visualiza (gráfica 19) una mayor cantidad de salidas en el arranque BSW6011 con 36 salidas y un mínimo de salidas en los siguientes arranques: ESW6994, PASW 3868, BSW5927, SW6575, FSW377, JESW5185 y PASW3746

Gráfica 18. Duración de fallas en los arranques en el 2019.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 19. Cantidad de fallas presentadas en arranques en el 2019.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

5.3.3. Selección de arranques en los cuales presentaron eventos por coordinación de protecciones.

El informe operativo consolidado durante el periodo indicado (2018 a Junio del 2019), permite filtrar la cantidad de interrupciones ocurridas a los arranques por coordinación de protecciones. De esta manera se presenta el arranque con su respectivo tiempo de desconexión, cantidad de usuarios afectados y cantidad de transformadores desconectados, como se observa en la tabla 16 y 17.

Tabla 16. Eventos presentados por coordinación de protecciones en arranques del 2018.

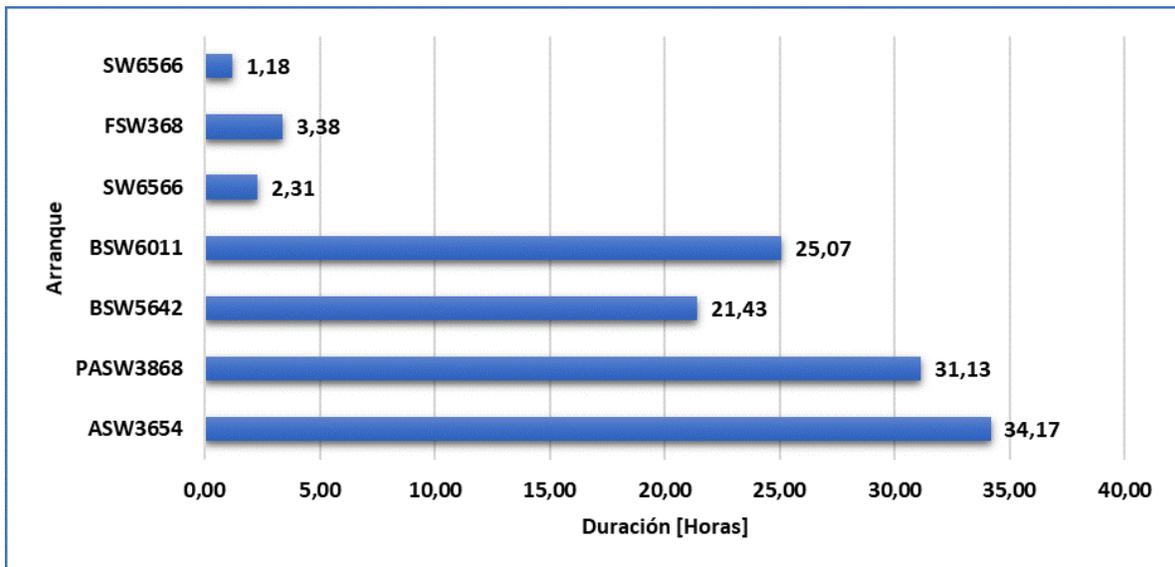
CÓDIGO SPARD	DURACIÓN (Horas)	TRANSFORMADORES AFECTADOS	USUARIOS AFECTADOS
ASW3654	34.17	2	7
PASW3868	31.13	2	6
BSW5642	21.43	6	20
BSW6011	25.07	10	28
SW6566	2.31	49	186
FSW368	3.38	2	8
SW6566	1.18	50	189
TOTAL	118.67	121	444

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 20, se visualiza el tiempo fuera de servicio en los eventos de arranques por coordinación de protecciones aguas abajo del cortacircuitos FSW363 del año 2018. De este se puede inferir que el arranque con una mayor duración sin suministro de energía eléctrica fue el ASW3654 con 34,17 horas aproximadamente y un tiempo mínimo de duración para el arranque SW6566 con 1,18 horas.

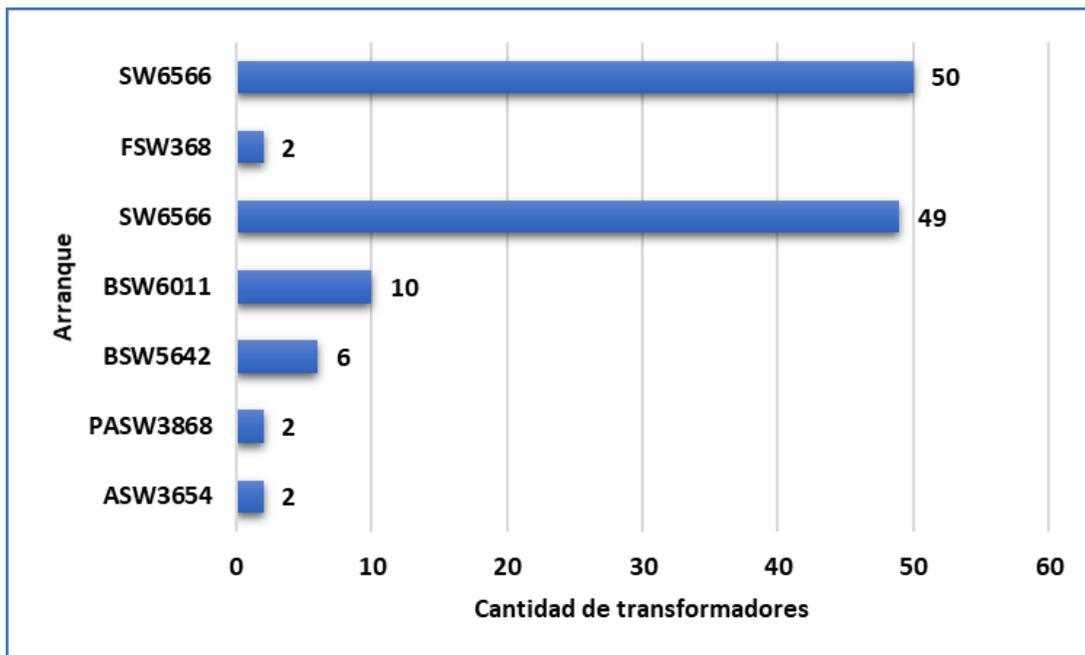
La gráfica 21 presenta la cantidad de transformadores desconectados por fallas causadas en la coordinación de protecciones aguas abajo del cortacircuitos FSW363 del año 2018. Se observa que hubo eventos en un arranque (SW6566) que causaron aproximadamente la salida total de todos los transformadores en la derivación.

Gráfica 20. Tiempo fuera de servicio por coordinación de protecciones en arranques del 2018.



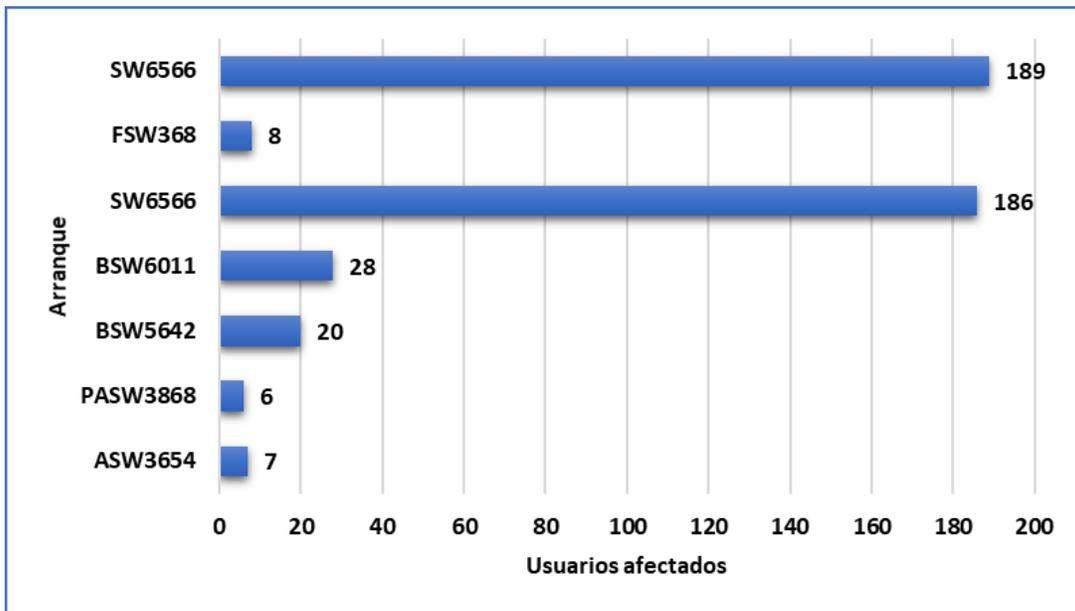
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 21. Cantidad de transformadores desconectados por coordinación de protecciones en arranques del 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 22. Usuarios afectados por coordinación de protecciones en arranques del 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Se observa de igual manera en la gráfica 22 y 25 que este arranque (SW6566), debido a su ubicación en la derivación dejó sin servicio aproximadamente a todos los usuarios aguas abajo del cortacircuitos FSW363, por falta de una propuesta de selección de protecciones adecuada.

En la gráfica 23, se visualiza el tiempo fuera de servicio en los eventos de arranques por coordinación de protecciones aguas abajo del cortacircuitos FSW363 del año 2019. De este se puede deducir que el arranque con una mayor duración sin suministro de energía eléctrica fue el FSW365 con 70,85 horas aproximadamente y un tiempo mínimo de duración para el arranque SW6566 con 1,94 horas.

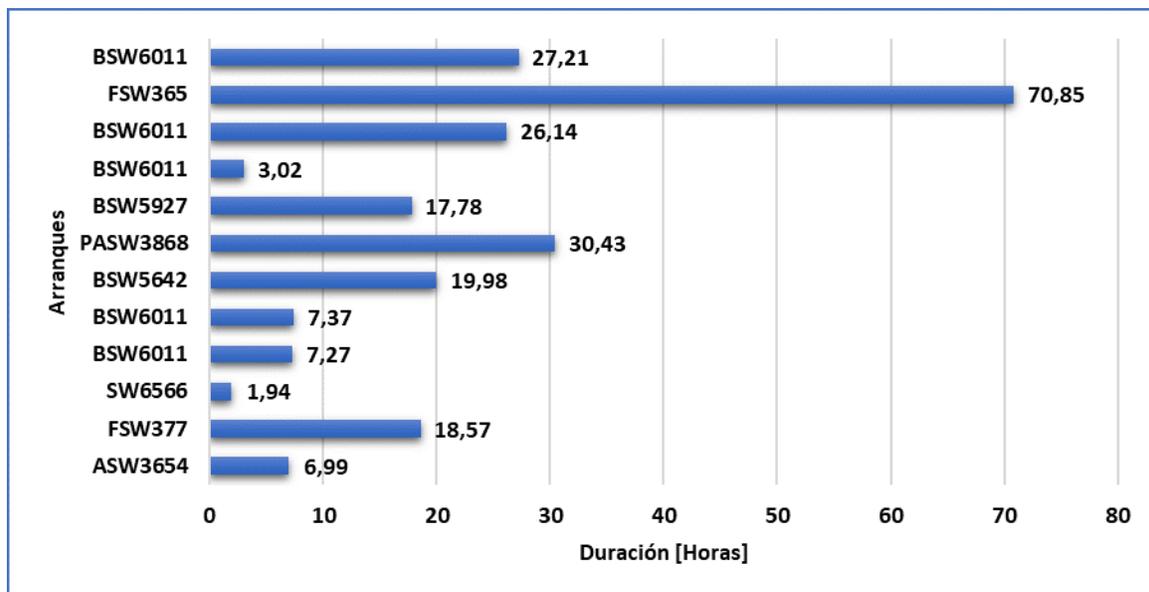
La gráfica 24 presenta la cantidad de transformadores desconectados por fallas debido a la coordinación de protecciones aguas abajo del cortacircuitos FSW363 del año 2019. Se observa que hubo eventos en un arranque (SW6566) que causaron aproximadamente la salida total de todos los transformadores en la derivación.

Tabla 17. Eventos presentados por coordinación de protecciones en arranques del 2019.

CÓDIGO SPARD	DURACIÓN (Horas)	TRANSFORMADORES AFECTADOS	USUARIOS AFECTADOS
ASW3654	6,99	2	7
FSW377	18,57	3	12
SW6566	1,94	51	190
BSW6011	7,27	10	28
BSW6011	7,37	10	28
BSW5642	19,98	6	20
PASW3868	30,43	2	6
BSW5927	17,78	1	19
BSW6011	3,02	10	28
BSW6011	26,14	10	28
FSW365	70,85	7	22
BSW6011	27,21	10	28
TOTAL	237,55	122	416

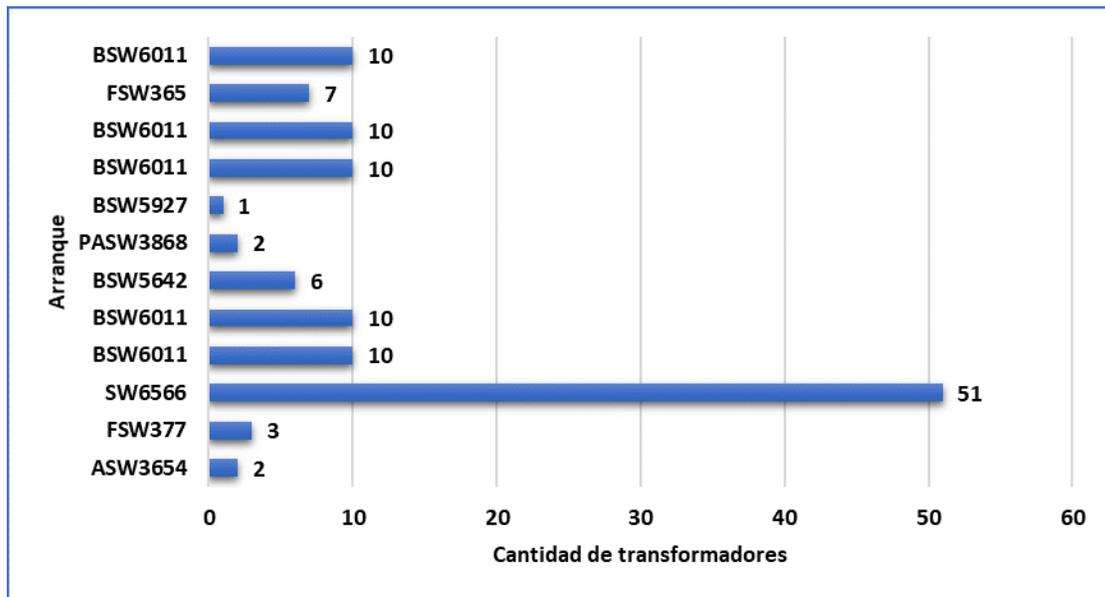
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 23. Tiempo fuera de servicio por coordinación de protecciones en arranques del 2019.



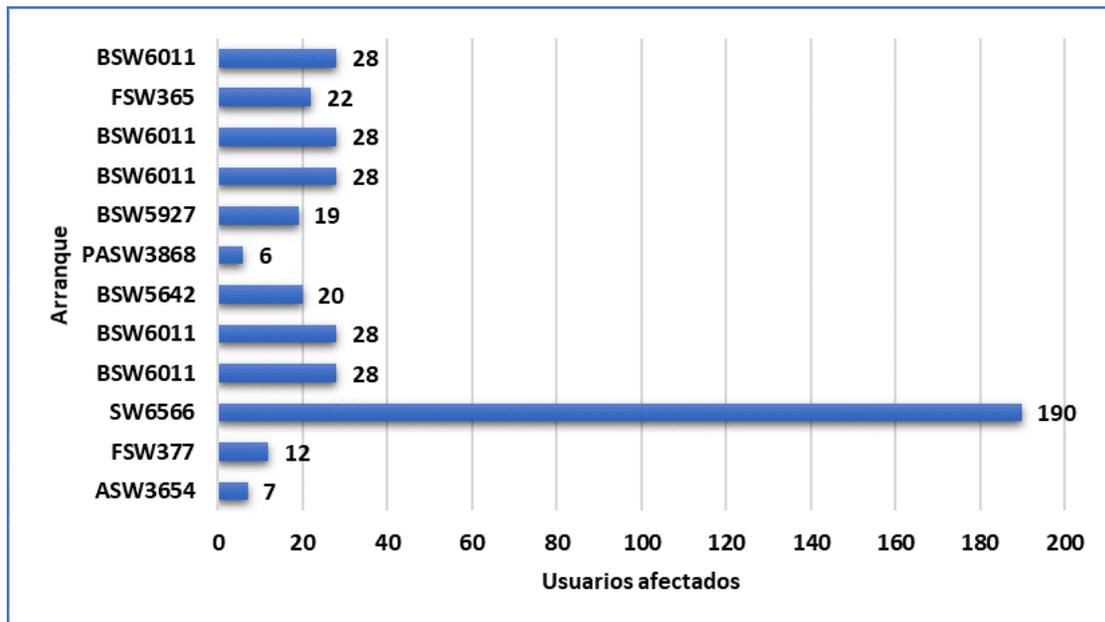
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 24. Cantidad de transformadores desconectados por coordinación de protecciones en arranques del 2019.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 25. Usuarios afectados por coordinación de protecciones en arranques del 2019.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

6. PROTECCIONES CONTRA SOBRECORRIENTES PARA LA DERIVACIÓN AGUAS ABAJO DEL ARRANQUE FSW363 DEL CIRCUITO PALDONJUANA DEL SDL DE CENS.

Las fallas en los sistemas de distribución se clasifican, de acuerdo con su naturaleza, en temporales o permanentes. Una falla temporal se define como aquella que puede ser liberada antes de que ocurra algún daño serio al equipo o a las instalaciones. Un ejemplo de fallas temporales o transitorias son los arcos que se producen en los aisladores debido a sobretensiones por descargas atmosféricas, "galopeo" de los conductores (debido a fuertes vientos o sismos) o a contactos temporales de ramas de árbol con los conductores. Una falla que en un inicio puede ser de naturaleza temporal puede convertirse en permanente si no se despeja rápidamente. Una falla permanente es aquella que persiste a pesar de la rapidez con la que el circuito se desenergiza. Si dos o más conductores desnudos en un sistema aéreo de distribución se juntan debido a rotura de postes, crucetas o conductores, la falla será permanente. Un arco entre fases de un circuito con conductor aislado puede ser inicialmente temporal, pero si la falla no se despeja rápidamente los conductores pueden romperse y la falla se volvería permanente. [4]

Si un circuito de distribución fuera instalado sin el equipo de protección de sobrecorriente, las fallas podrían causar una falta de suministro de energía a todos los consumidores servidos desde el alimentador. Esto trae como consecuencia una reducción en los niveles de confiabilidad (continuidad del servicio) que son inaceptables. Para incrementar el nivel de confiabilidad en el suministro de energía eléctrica existen dos opciones [4]:

- Diseñar, construir y operar un sistema de tal forma que el número de fallas se minimice.
- Instalar equipo de protección contra sobrecorrientes de tal forma que reduzca el efecto de las fallas.

Se deben analizar las dos alternativas para que el servicio al consumidor tenga un nivel de confiabilidad aceptable al más bajo costo. [4]

6.1. Funciones de un sistema de protección contra sobrecorrientes.

Un sistema de distribución consiste en un alimentador trifásico principal (troncal) protegido por un interruptor de potencia o restaurador tripolar en la subestación, un restaurador central en el alimentador principal y circuitos laterales monofásicos o trifásicos conectados al alimentador principal a través de seccionadores o fusibles (Imagen 6) Se utilizan cuchillas operadas manual o remotamente para seccionar y conectar por emergencia con alimentadores adyacentes. [4]

6.1.1. Aislar fallas permanentes.

La primera de las funciones del sistema de protección contra sobrecorrientes es aislar fallas permanentes de secciones no falladas del sistema de distribución. [4]

En el sistema de la imagen 6, una falla permanente en un circuito lateral puede ser aislada por la fusión de un elemento fusible lateral, o por la operación de un seccionador. Sin embargo, si se omite el restaurador central, los seccionadores y fusibles, una falla en un lateral deberá ser despejada por la operación del interruptor de potencia o del restaurador en la subestación. Esto podría causar un "apagón" de tipo permanente a todos los consumidores. [4]

El restaurador central utilizado en el alimentador tiene como función aislar la sección no fallada cuando ocurra una falla permanente. En este caso el número de consumidores afectados es grande y, por tanto, se deben tomar medidas que lleven a minimizar las fallas en el alimentador cuando sean de naturaleza permanente. [4]

6.1.2. Minimizar en número de fallas permanentes y de salidas

La segunda función del sistema de protección contra sobrecorriente es desenergizar rápidamente fallas transitorias antes de que se presente algún daño serio que pueda causar una falla permanente. Cuando la función se realiza exitosamente, los consumidores experimentan sólo una falta de energía transitoria si el dispositivo que desenergiza la falla, ya sea en restaurador o un interruptor de potencia, es automáticamente restaurado para reenergizar el circuito. Sin embargo, no es posible prevenir que la totalidad de las fallas transitorias no se vuelvan permanentes o causen "apagones" permanentes debido al tiempo limitado requerido para

desenergizar el circuito fallado. La velocidad a la cual el circuito fallado se desenergiza es un "factor crítico" que determina cuando una falla transitoria se vuelve permanente o causa una falla permanente. Indistintamente, la aplicación de dispositivos de operación rápidos y de restauración automática reducen el número de fallas permanentes y minimizan el número de interrupciones. [4]

6.1.3. Minimizar el tiempo de localización de fallas.

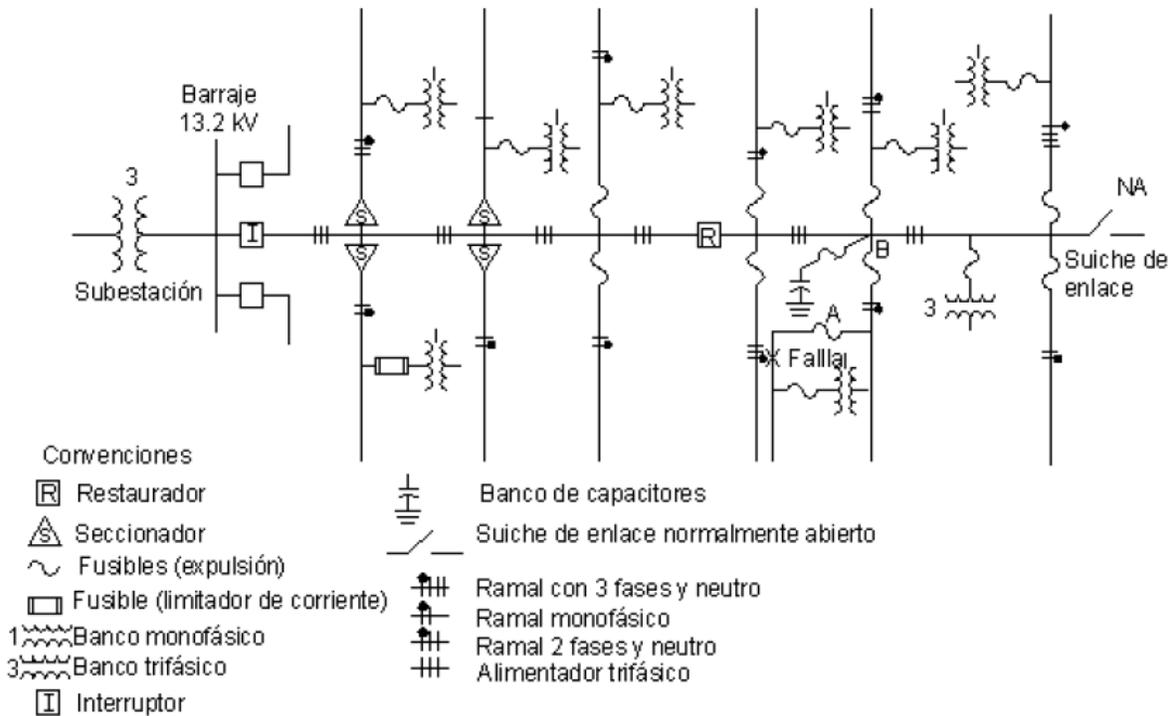
Esta es otra función del sistema de protección contra sobrecorrientes. Por ejemplo, si los circuitos laterales estuvieran sólidamente conectados al alimentador principal y no se instala el restaurador central en el alimentador, una falla permanente en cualquiera de los circuitos laterales o en el alimentador principal obligaría al restaurador o al interruptor de potencia en la subestación a operar y pasar a la posición de "bloqueo" permanente, causando un "apagón" a todos los consumidores. Estos consumidores, "fuera de servicio", al quejarse a la compañía suministradora de energía eléctrica, no proporcionarían un patrón que ayude a localizar la falla, y un tiempo muy prolongado podría requerir el recorrido de línea para localizarla. Por el contrario, con la instalación de dispositivos de seccionalización en los laterales y el alimentador principal, los usuarios "fuera de servicio" ayudarían en la definición del área donde la falla se localiza. Asimismo, los dispositivos de seccionalización usualmente dan una indicación visual de operación que asiste en la localización de fallas. Para reducir el tiempo requerido, los dispositivos de protección contra sobrecorriente deben ser cuidadosamente coordinados, para que sólo el dispositivo más cercano a la parte con falla permanente opere y entre a la posición del bloqueo. [4]

6.1.4. Prevenir contra daño al equipo.

La cuarta función es prevenir contra daño al equipo no fallado (barras conductoras, cables, transformadores, etc.). Todos los elementos del sistema de distribución tienen una curva de daño, de tal forma que, si se excede de ésta, la vida útil de los elementos se ve considerablemente reducida. El tiempo que dure la falla y la corriente que lleva consigo, combinadas, definen la curva de daño. Estas curvas

deben ser tomadas en cuenta en la aplicación y coordinación de los dispositivos de protección contra sobrecorriente. [4]

Imagen 6. Diagrama unifilar simplificado de un alimentador de distribución con los diferentes tipos de protección de sobrecorriente.



Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

6.1.5. Minimizar la probabilidad de caída de conductores.

La quinta función es minimizar la posibilidad de que el conductor se quemé y caiga a tierra debido al arqueo en el punto de falla. Es muy difícil establecer valores de corriente contra tiempo para limitar el daño en los conductores durante fallas de arqueo debido a las múltiples condiciones variables que afectan este hecho. Esto incluye valores de corriente de falla, velocidad y dirección del viento, calibre de conductores y tiempo de despeje de los dispositivos de protección. [4]

Para fallas de arqueo en conductores cubiertos donde las terminales que definen el arco no se mueven o lo hacen sólo en una corta distancia, el conductor puede resultar quemado. [4]

6.1.6. Minimizar las fallas internas de los equipos.

Esta función consiste en minimizar la probabilidad de fallas en equipos que están sumergidos en líquidos, tales como transformadores y capacitores. [4]

Una falla disruptiva es aquella que causa grandes presiones, fuego, o cantidades excesivas de líquido en las partes internas, que es expulsada del interior de los equipos. Pruebas y experiencias han demostrado que la probabilidad de fallas disruptivas debido a arcos de alta energía y potencia puede ser minimizada con la aplicación correcta de fusibles limitadores de corriente. [4]

6.1.7. Minimizar los accidentes mortales.

La última función del sistema de protección contra sobrecorrientes es desenergizar conductores en sistema de distribución aéreos que se queman y caen a tierra y, por consiguiente, minimizar los accidentes mortales. Aun con la actual tecnología, no existen métodos conocidos para detectar el cien por ciento de todos los conductores caídos en un sistema con un neutro multiaterrizado. Esto se debe a que un conductor puede caer sin hacer contacto de baja impedancia. [4]

Bajo estas condiciones, la resistencia de contacto a tierra puede ser muy elevada y la corriente asociada puede ser mucho menor que la corriente de carga normal. Los fusibles, restauradores e interruptores de potencia no operarán bajo estas condiciones y el conductor que ha caído, permanecerá energizado hasta que se ejecute una interrupción manual. Sin embargo, cualquier ser vivó en contacto con este conductor caído podría recibir daños fatales. [4]

La protección contra sobrecorrientes se considera hoy en día como una ciencia y un arte. Principios de ingeniería bien fundamentados son aplicados cuando se

calculan corrientes de falla, determinando los valores nominales requeridos en los equipos y su coordinación. Sin embargo, otros aspectos de protección contra sobrecorrientes en cuanto a principios de ingeniería no están aún bien definidos [4]:

- Reglas para especificar zonas de protección.
- Reglas para la localización de los equipos de protección contra sobrecorriente.
- Reglas para especificar el tipo de equipo en cada localización.

Para una misma situación, los ingenieros pueden diseñar sistemas de protección que sean diferentes desde el punto de vista del tipo de equipo, localización y operación, aunque todos ejecuten satisfactoriamente las condiciones locales de protección a lo largo del circuito. [4]

6.2. Cortacircuitos fusibles

También son conocidos como cuchillas fusibles o cajas primarias y son de uso común en sistemas de distribución. [4]

Están diseñadas para la protección de transformadores y los equipos (incluyendo el seccionamiento de derivaciones de red) en circuitos de hasta 34.5 kV. y 200 A continuos, cumpliendo con las Normas ANSI C37.41 – 1981 (Icontec 2132), ANSI C37.42 – 1981 (Icontec 2133). [4]

Su construcción fuerte en bronce o aluminio, contactos resortados plata – plata y otros buenos materiales lo hacen prácticamente libre de mantenimiento durante toda su vida útil. [4]

Se pueden encontrar comercialmente de acuerdo con su aplicación clasificados como: tipo interior, tipo intemperie (con y sin portafusibles), tipo hilo de apertura y fusión, en aceite, en arena (empleados en sistemas de distribución subterráneas). [4]

6.2.1. Operación.

La mayoría de las cuchillas fusible operan bajo el principio de expulsión para lo cual, el tubo que contiene el elemento fusible (listón fusible) que puede ser de fibra emite gases desionizantes para confinar el arco eléctrico producto de la interrupción. En la tabla 18 se indican los valores comunes de corrientes interruptoras y en la tabla 19 se consignan otras características. [4]

El principio de operación es relativamente simple. Cuando se interrumpe la corriente de falla, el tubo de fibra de vidrio (con recubrimiento de ácido bórico en su interior) se calienta cuando se funde el elemento fusible emitiendo gases desionizantes que se acumulan dentro del tubo, forzando, comprimiendo y refrigerando el arco dentro del tubo, los gases escapan por la parte inferior del tubo. [4]

La presencia de los gases desionizantes impide el restablecimiento del arco eléctrico auxiliándose en esta función por la turbulencia y presión de los gases, haciendo que se aumente la resistencia dieléctrica del aire atrapado dentro del tubo. [4]

La fusión y separación del elemento fusible libera también el mecanismo de enganche del cortacircuito, de modo que el soporte del fusible (cañuela portafusible) cae a la posición de abierto y puede ser localizado con facilidad por el personal de operaciones. La cañuela portafusible también puede conmutarse en forma manual con un bastón de maniobra (pértiga). También puede adicionarle a los cortacircuitos accesorios de ruptura de carga de modo que se puede operar como un interruptor de ruptura de carga. [4]

Tabla 18. Capacidad de corriente de interrupción para cortacircuitos fusible.

Corriente de régimen continuo A	Tipo estandar			
	Clase de tensión kV.	Capacidad interruptiva en A		
		Tensión aplicada kV.	Asimétrica	Simétrica
100	7.8	7.8	5.000	3.550
	15	15.0	4.000	2.800
	Servicio pesado			
	7.8	7.8	10.000	7.100
	15	15.0	8.000	5.600
	7.8	7.8	10.000	7.100
	27	27.0	6.000	4.000
	15.0	15.0	8.000	5.600
	Servicio superpesado			
	7.8	7.8	20.000	14.500
	15	15.0	16.000	11.500
	7.8	7.8	20.000	14.500
	27	27.0	12.000	8.000
	15.0	15.0	16.000	11.500
200	Tipo estandar			
	7.8	7.8	5.000	3.550
	15.0	15.0	4.000	2.800
	Servicio superpesado			
	7.8	7.8	20.000	14.500
	15	15.0	16.000	11.500
	7.8	7.8	20.000	14.500

Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

Tabla 19. BIL y distancias de fuga del cortacircuitos fusible.

Voltaje Nominal kV *	Amperios continuos	Capacidad interrup-tiva (Amp.ASYM)	BIL (kV.) +	Distancia mínima de fuga a tierra (MM)
8.3/15 Grd. Y	100	10.000	95	254
8.3/15 Grd. Y	200	12.000	95	254
15/26 Grd. Y	100	8.000	110	343
15/26 Grd. Y	200	10.000	110	343
27/34.5 Grd. Y	100	6.000	125	457
27/34.5 Grd. Y	200	6.000	125	457
Portafusible en resina epoxica reforzada con fibre de vidrio (Tapón renovable)				
8.3/15 Grd. Y	100	20.000	95	254
8.3/15 Grd. Y	100	16.000	95	254
8.3/15 Grd. Y	200	16.000	95	254
15/26 Grd. Y	100	16.000	110	343
15/26 Grd. Y	200	16.000	110	343
27/34.5 Grd. Y	100	12.000	125	457
27/34.5 Grd. Y	200	12.000	125	457
Cuchilla solida de bronce				
8.3/15 Grd. Y	300	20.000	95	254
15/26 Grd. Y	300	20.000	110	343
27/34.5 Grd. Y	300	20.000	125	457

Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

6.3. LISTÓN O ELEMENTO FUSIBLES

El fusible es el dispositivo de sobrecorriente más común y económico en sistemas de distribución. Es también uno de los más confiables pues prestan servicio sin mantenimiento por muchos años. [4]

6.3.1. Función.

Interrumpir y disponer de un ambiente dieléctrico para prevenir el restablecimiento del arco cuando la corriente pasa por cero. El siguiente es el proceso [4]:

- Detección: calentamiento y fusión.
- Iniciación del arco: separación.
- Manipulación del arco: alargamiento, refrigeración, desionización, presurización.
- Interrupción de corriente: corriente cero.

Para que el fusible funcione apropiadamente, este debe [4]:

- Detectar las condiciones difíciles de proteger.
- Interrumpir la falla rápidamente.
- Coordinarse con otros dispositivos de protección para minimizar el número de usuarios afectados por la acción del fusible.

6.3.2. Tipos de fusibles.

6.3.2.1. Fusibles de potencia.

Usados en subestaciones y equipos de switcheo encapsulados, tienen rangos de corriente más altos y las características nominales de interrupción y de corriente están a voltajes más altos. [4]

Existen los siguientes tipos básicos [4]:

- De expulsión: ácido Bórico, tubo de fibra.
- Limitadores de corriente: arena.
- Sumergibles en líquido: tetracloruro de carbón.
- Fusible electrónico.

6.3.2.2. Fusibles de distribución.

Existen los siguientes tipos [4]:

De expulsión: usado principalmente donde la expulsión de los gases no causa problemas como en los circuitos aéreos y equipos (no cubierto).

Existen las siguientes clases [4]:

- En tubo de fibra (encerrado y de intemperie).
- Sin portafusible (listón a la intemperie).
- Limitadores de corriente [4]: usados en interiores, para proteger transformadores Pad Mounted, equipos encerrados donde se requiere limitación de energía.

Ambos tipos son empleados en sistemas de distribución, diferenciándose principalmente en su capacidad interruptora y tensión de aplicación. [4]

Los fusibles inmersos en aceite tienen aplicación principalmente en instalaciones subterráneas, siendo necesario en ciertas ocasiones instalarlos en equipos sumergibles. [4]

De la selección adecuada de un fusible, cualquiera que sea su tipo dependerá del éxito que se tenga en su aplicación. De manera general, para una correcta selección, es necesario conocer [4]:

- Tensión del sistema.
- Nivel de aislamiento.
- Máxima corriente de cortocircuito en el lugar de instalación.
- Relación X / R.
- Máxima corriente de carga (incluyendo tasa de crecimiento).
- Tipo de sistema (aéreo o subterráneo) en delta o en estrella multiterrizado.

Estos factores permitirán establecer la tensión, corriente de operación y capacidad interruptora que deberá tener el fusible seleccionado. [4]

6.3.3. Aspectos generales para la selección de fusibles de media tensión.

6.3.3.1. Fusibles de distribución.

En fusibles de distribución, la selección depende de la filosofía de protección que se aplique al sistema, en general, los fusibles K (rápidos) desconectan al sistema de fallas en menos tiempo y coordinan mejor con los relevadores. [4]

Tabla 20. Capacidad continua de corriente de fusibles de distribución tipos K, T, H, y N de estaño.

Fusible de Alta descarga	Corriente continua (A)	Nº Nominal	Corriente continua (A)	EEI-NEMA K o T Nominal	Corriente continua (A)	EEI-NEMA K o T Nominal	Corriente continua (A)
1 H	1	25	25	6	9	40	60*
2 H	2	30	30	8	12	50	75*
3 H	3	40	40	10	15	65	95
5 H	5	50	50	12	18	80	120+
8 H	8	60	60	15	23	100	150+
		75	75	20	30	140	190
Nº Nominal		85	85	25	38	200	200
5	5	100	100	30	45		
8	8	125	125				
10	10	150	150				
15	15	200	200				
20	20						

* Solo cuando es usado en cortacircuitos de 100 o 200 A.

+ Solo cuando es usado en cortacircuitos de 200 A.

Limitado por corriente de régimen continuo del cortacircuito.

Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

Los fusibles T (lentos) soportan corrientes transitorias mayores (corrientes de arranque de motores, etc.) y coordinan mejor con otros fusibles de la misma clase o diferentes. [4]

Para escoger el tamaño mínimo del fusible se debe considerar no sólo la máxima carga normal del lugar de la instalación sino la corriente de arranque y carga fría. En la tabla 20 se indica las capacidades de fusibles (K y T, de acuerdo con normas NEMA) que puede llevar una carga continua de 15 % de su valor nominal. [4]

Las temperaturas ambiente extremas y precargas grandes afectan las curvas tiempo-corriente de los fusibles; por tanto, deben considerarse cuando la instalación del fusible trabaje bajo estas condiciones. [4]

6.3.3.2. Fusibles de potencia.

En lo que respecta a tensión, estos fusibles deben ser seleccionados con base en la máxima tensión entre fases que se puede presentar en el sistema en donde se apliquen, independientemente de la clase de puesta a tierra que tenga. [4]

La capacidad interruptora del fusible de potencia debe ser mayor siempre a la máxima disponible en el lugar de instalación. Estos fusibles están normalizados con base en una relación X / R mayor a 15 para capacidad de cortocircuito simétrico y $(1.6 \times I$ simétrica) para su capacidad de cortocircuito asimétrico. En cuanto a su capacidad de corriente de trabajo nominal, deberán tomarse en consideración todos los aspectos indicados para los fusibles tipo distribución. [4]

En la selección de fusibles de potencia tipo limitadores, además de las consideraciones anteriores se deberán tomar en cuenta también otras más tales como: tipo de conexión del transformador, efecto del arco de operación en los pararrayos, etc. [4]

Tabla 21. Valores nominales de fusibles limitadores (de potencia).

Tensión (kV) del sistema		Tensión nominal recomendada			
Nominal	Máxima	4 - Hilos multiterrizado		Delta	
		1 ϕ	3 ϕ	1 ϕ	3 ϕ
6.9	7.26	--	--	8.3	8.3
6.93/12	7.3/12.7	8.3	15.5	--	--
13.2	14.5	--	--	15.5	15.5
13.2/22.9	14/24.2	15.5	23	--	--
34.5	36.5	--	--	38	38
19.9/34.5	21.1/36.5	23	38	--	--

Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

En la tabla 21, se resumen algunos de los valores nominales de fusibles limitadores y su aplicación. [4]

Para la correcta selección del tipo de fusible adecuado, cualquiera que sea su clase, será necesario siempre conocer sus curvas tiempo-corriente de operación. [4]

Existen tres tipos de curvas: las curvas características promedio de fusión tiempo-corriente, las curvas instantáneas de corriente pico y las curvas I^2t . El primer tipo se aplica para toda clase de fusibles y las dos últimas para fusibles limitadores de corriente. [4]

La escala del tiempo consta de cinco secciones: de 0.01 a 0.1, de 0.1 a 1.0, de 1.0 a 10 de 10 a 100 y de 100 a 1000 segundos. Las cinco secciones tienen idénticas subdivisiones y son de la misma longitud. La escala de la corriente en amperios consta de cuatro divisiones: de 1 a 10, de 10 a 100, de 100 a 1000 y de 1000 a 10000 amperios. [4]

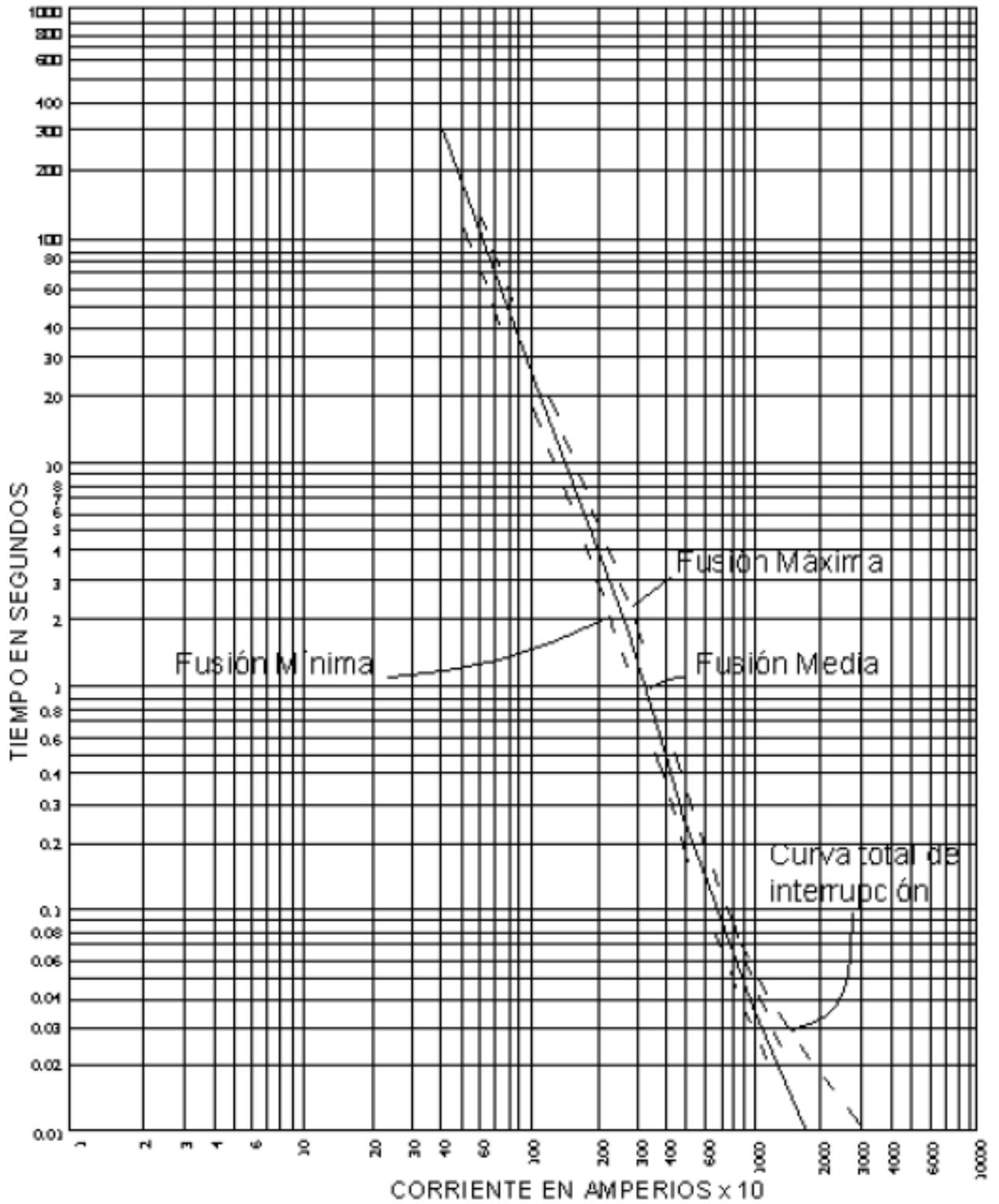
Los amperios en la escala de corriente son amperios simétricos. La escala del tiempo empieza en 0.01 segundos, valor poco menor que un ciclo (0.0167 segundos). Las curvas características de fusión no empiezan en un tiempo igual a cero debido a que cuando los fusibles operen en el rango entre cero y un ciclo una sola línea no llega a tener significado. Esta es el área donde las curvas de corriente pico y las I^2t proporcionan la información necesaria para una aplicación adecuada de fusibles. Si se observa la parte superior de la escala del tiempo, se nota que las curvas de fusión terminan en 300 segundos; sin embargo, algunas normas consideran hasta 600 o 1000 segundos. [4]

Las curvas características tiempo - corriente de fusión son curvas promedio; esto se debe a que a pesar de que se usen los mismos elementos en la fabricación de los fusibles y las mezclas sean las mismas en cada proceso, es imposible fabricar dos fusibles exactamente iguales y cuyas características sean idénticas. [4]

Consecuentemente, dos fusibles de una capacidad de conducción igual y de misma clase no fundirán en el mismo tiempo cuando circule por ellos la misma corriente. La corriente de fusión no debe variar más o menos del 10 % para un tiempo dado. Así, en vez de una sola línea que muestre la característica tiempo corriente de un fusible, es más conveniente hablar de una banda que se considera puede variar más o menos 10 % de la línea promedio. [4]

En la gráfica 26 se muestra la curva promedio característica de un fusible de 225 amperios de baja tensión en la que se ha indicado con líneas punteadas el ancho de la banda para cinco diferentes valores de corriente a 700, 1500, 2500, 5000 y 10000 A. En la escala del tiempo en el lado izquierdo se han indicado los tiempos mínimos, promedio y máximo para cada una de las corrientes consideradas. La línea punteada de la izquierda representa la mínima característica de fusión del fusible y la de la derecha representa la máxima característica de fusión. [4]

Gráfica 26. Curva característica de un fusible de baja tensión.



Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

Las curvas tiempo - corriente se grafican con las siguientes bases [4]:

- Los fusibles no han sido sometidos a sobrecarga, es decir, los fusibles no han conducido ninguna corriente antes de la prueba.
- La temperatura ambiente en que se hace la prueba es de 25 °C.
- La instalación del fusible es al aire, no en un interruptor u otro dispositivo.

La interrupción de un circuito por la operación de un fusible se lleva a cabo en dos partes [4]:

- La corriente que pasa por el elemento fusible debe calentar al elemento y cambiarlo al estado líquido.
- En el instante en que el elemento fusible cambia al estado líquido el elemento se empieza a abrir y se establece un arco a través de los extremos del elemento en el punto donde este se interrumpió. Las otras partes se siguen fundiendo y el arco se alarga hasta que finalmente no puede continuar y se extingue, interrumpiéndose el circuito.

El tiempo del arco se mide en ciclos y varía de 0.5 a 2 ciclos. [4]

La curva total de tiempo de interrupción está compuesta por el tiempo de fusión y el tiempo de arqueo. El tiempo de fusión es muy grande en comparación con el tiempo de arqueo, de tal modo que dos ciclos de tiempo de arqueo en el área entre 1000 y 0.08 segundos aumenta solamente 0.03 segundos en el total del tiempo. [4]

Por lo regular el fabricante de fusibles proporciona dos juegos de curvas características tiempo-corriente para cada clase de fusibles: una es la familia de curvas de tiempo mínimo de fusión y la otra la familia de curvas de tiempo total de interrupción. En el área entre 0.08 y 0.01 segundos, la zona de mayor cortocircuito, lo más probable es que la línea de fusión máxima no sea igual al tiempo total de interrupción. En esta región de operación del fusible el tiempo de arqueo puede ser igual o mayor que el tiempo de fusión, lo cual depende de [4]:

- El valor instantáneo de la onda de tensión en que ocurre el cortocircuito.
- El valor de la relación X / R .

- La rapidez de crecimiento de la corriente de cortocircuito durante el primer medio ciclo.

Cuando los fusibles operan en un rango comprendido entre cero y un ciclo, en las curvas características de tiempo-corriente, este rango está representado en una parte muy pequeña de la escala logarítmica. Para ayudar a representar la característica de los fusibles en esta región se emplean las curvas de corriente pico de entrada y las curvas de energía I^2t . [4]

El eje horizontal marca la corriente de cortocircuito simétrica y el eje vertical la corriente pico de entrada de cualquier fusible; ésta se puede encontrar seleccionando la curva del fusible en cuestión y leyendo el valor de la corriente de falla. [4]

El punto en que la curva intercepta la línea de corriente simétrica pico es el punto de entrada, es decir, el punto donde el fusible empieza a operar como limitador de corriente. Estas curvas sirven para comparar las corrientes pico de entrada de los fusibles con la energía I^2t de daño de los equipos que protegen. Las curvas de energía I^2t de los fusibles permiten coordinar fusibles en tiempos menores de 0.01 segundos. Para esto se debe mantener el valor de energía I^2t del fusible dado arriba del valor I^2t del fusible de menor capacidad instalado dentro del circuito que se considere. De acuerdo con lo anterior, la coordinación con fusibles incluye una comparación de curvas de fusión mínima y de interrupción total para corrientes que funden al elemento en tiempos mayores de 0.01 segundos y una comparación de valores de energía I^2t para corrientes que funden al fusible en tiempos de 0.01 segundos. Las curvas de corriente pico de entrada sirven para verificar que la energía de entrada al equipo que se protege con un fusible no sobrepase a la energía I^2t del equipo protegido. [4]

6.4. FUSIBLES DE EXPULSIÓN

6.4.1. Diseño.

Este tipo de fusibles consta básicamente de los siguientes componentes: Un cilindro interior aislante de material ablativo, el cual puede ser fibra vulcanizada, papel aislante impregnado de resina fenólica, resinas termoplásticas o termofijas con o sin material de relleno. El elemento sensible a la corriente (fusible) está constituido por un alambre o cinta, de sección transversal casi siempre constante y de longitud muy corta (entre 2 y 5 cm). El material de este elemento puede ser plata, cobre, aleaciones de plata o cobre, aleación níquel-cromo, plomo, estaño, o aleaciones de plomo-estaño. Además, tiene un botón cabezal y el conductor inferior. Cada una de sus partes se observa en la imagen 7. [4]

Los diseños más comunes son [4]:

1. Una combinación de soldadura eutéctica y elemento de alta corriente para eslabones fusible de descarga ratados de 1 a 8 A.
2. Un elemento de hilo para fusibles de estaño ratados de 5 a 20 A y de fusibles de plata ratados de 5 a 100 A.
3. Un elemento fundido a troquel para fusibles de estaño ratados de 25 a 100 A.
4. Un elemento de disparo para fusibles de estaño ratados sobre 100 A.

Los eslabones fusibles descritos por 2, 3, 4 tienen un hilo tensionado de alta resistencia que protege el elemento fusible contra rotura accidental. [4]

La longitud y el diámetro del elemento fusible determinan la corriente y el tiempo necesario para fundir el elemento. [4]

El elemento puede ser largo o corto [4].

- El elemento largo a bajas corrientes gradualmente desarrolla un punto caliente en el centro y rompe tan pronto se alcanza la temperatura de fundición.

- El elemento corto, a la misma corriente desarrolla un punto caliente que no alcanza la temperatura de fusión dejando el fusible calentado, pero no fundido.

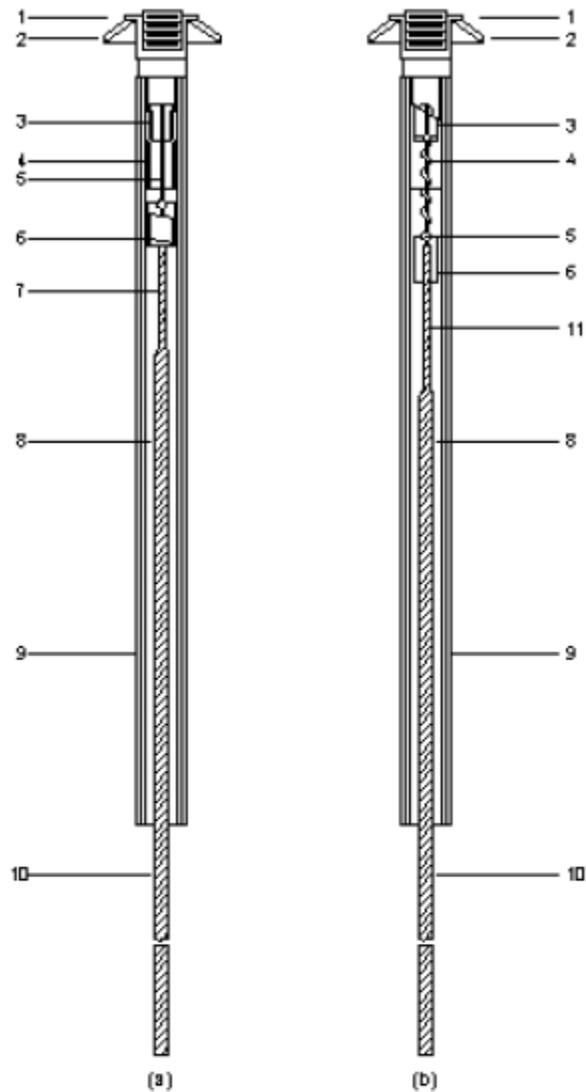
A altas corrientes ningún elemento tiene tiempo de sacar el calor hacia fuera. [4]

6.4.2. Operación.

Una vez que ha operado el elemento sensible a la corriente la interrupción se logra no sólo por la reacción del tubo aislante de material ablativo y por la expulsión del cable de cobre estañado, sino también por la acción de caída del tubo portafusible, haciéndose visible la operación y la ubicación de la falla. [4]

En algunos diseños de fusibles de baja corriente nominal se agrega un resorte interior de tensión o compresión que ayuda a separar más rápido al cable de cobre estañado del contacto interior fijo, sujetado de alguna forma al contacto superior. [4]

Imagen 7. Eslabón fusible típico usado en cortacircuitos de distribución tipo intemperie. a). para menos de 10 A y b). entre 10 A y 100 A.



1. Cabezal del botón de contacto con rosca.
3. Terminal superior.
5. Pantalla protectora contra corona.
7. Hilo tensor (o muelle de tensión)
9. Coraza protectora (también sirve como soporte al muelle de tensión).
11. Hilo forjado.

2. Arandela.
4. Elemento fusible.
6. Terminal inferior.
8. Cable interior.
10. Cable exterior.

Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

Inmediatamente después de que ocurre la fusión (o prearqueo) del elemento sensible a la corriente aparece el arco, cuya temperatura es superior a 12 000 K, que al estar en contacto con el material ablativo forma una capa envolvente de vapor a una temperatura del orden de los 3000 K. En este tipo de fusibles el arco es enfriado por convección, siendo el flujo refrigerante generado por la vaporización del material aislante por el arco. La extinción del arco se logra por la acción de dos agentes. [4]

- Enfriamiento por convección de los gases desionizantes que se generan a alta presión.
- La expulsión hacia el exterior del cable de cobre estañado, al cual estuvo conectado previamente el elemento sensible a la corriente.

Existen dos formas para la expulsión de los gases generados [4]:

- La expulsión por un extremo de tubo portafusible.
- La expulsión de los gases por ambos extremos del tubo portafusible.

El cilindro de material aislante de una sola pieza puede soportar varias operaciones que dependen de la magnitud de la corriente que se pretende interrumpir, del material utilizado en su construcción y de la construcción del elemento sensible a la corriente. Dicho de otra manera, cuando ocurre una falla, el elemento fusible se funde y se establece un ARCO (trayectoria conductiva de partículas ionizadas como iones metálicos y gas ionizado). Dicho arco debe ser extinguido rápidamente a fin de prevenir daño al sistema y a los equipos. [4]

El fusible de expulsión típico usa elementos relativamente CORTOS para detectar sobrecorrientes y empezar la interrupción. [4]

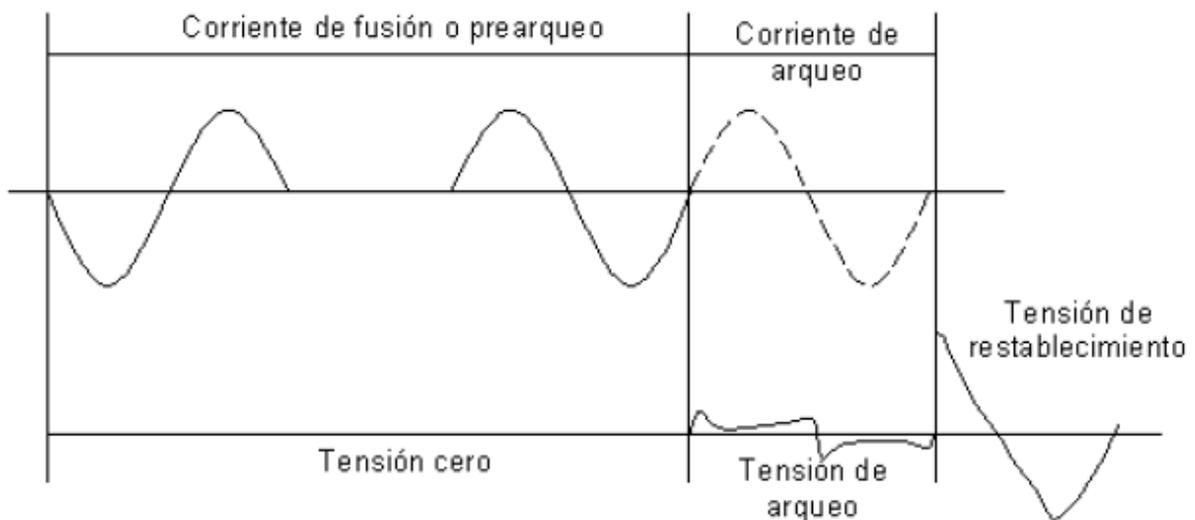
Los elementos que producen gas desionizado son uno o varios de los siguientes: fibra, melamina, ácido bórico, aceite y tetracloruro de carbón. Estos gases se mezclan rápidamente con los gases ionizados y los desioniza, crean turbulencia de alta presión y cuando la corriente alcanza el CERO se recupera la fortaleza del

dieléctrico y se extingue el arco, se presenta un transitorio de voltaje antes de recuperar el voltaje del sistema. [4]

En la medida que la corriente de falla es mayor, la duración del periodo de arco será menor. Sin embargo, la interrupción siempre ocurrirá hasta que la corriente pase por su valor cero en uno o más semiciclos. En las gráficas 27 y 28 se representa la de característica de operación de estos fusibles bajo la acción de corriente de falla de baja y alta magnitud a la tensión del sistema. [4]

La gráfica 28, muestra las señales típicas de corriente, voltaje y tiempo que se presentan durante la interrupción normal del fusible de expulsión. Puede observarse que no hay limitación de corriente y al final del tiempo de interrupción el voltaje puede rápidamente restablecerse, pero antes se presenta un alto transitorio de recuperación de voltaje. [4]

Gráfica 27. Interrupción de una corriente de falla de baja magnitud.



Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

Una ventaja del fusible de expulsión es que, una vez quemado el fusible, puede ser recargado con mucha facilidad. [4]

Otra ventaja: el portafusible admite una amplia variedad de eslabones fusible y de posibilidades de coordinación. [4]

Después que la corriente de arco se reduce a cero, para asegurar la interrupción definitiva de la corriente de falla, la rigidez dieléctrica del fusible debe ser mayor que la tensión de restablecimiento (ver Gráfica 29). [4]

Hasta el instante de interrupción de la corriente de arco, la tensión en los bornes del fusible tiene un valor muy reducido, pero inmediatamente después la tensión de restablecimiento se incrementa para alcanzar o rebasar el valor cresta de la tensión del sistema. Sin embargo, debido a la presencia de la capacitancia C y de la inductancia L de la red, esa transición ocurre con una oscilación amortiguada por la resistencia R siempre presente. El circuito que representa la condición anterior se ilustra en la imagen 8. [4]

La frecuencia natural de oscilación se determina por [4]:

$$fn = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

y el factor de amplitud es:

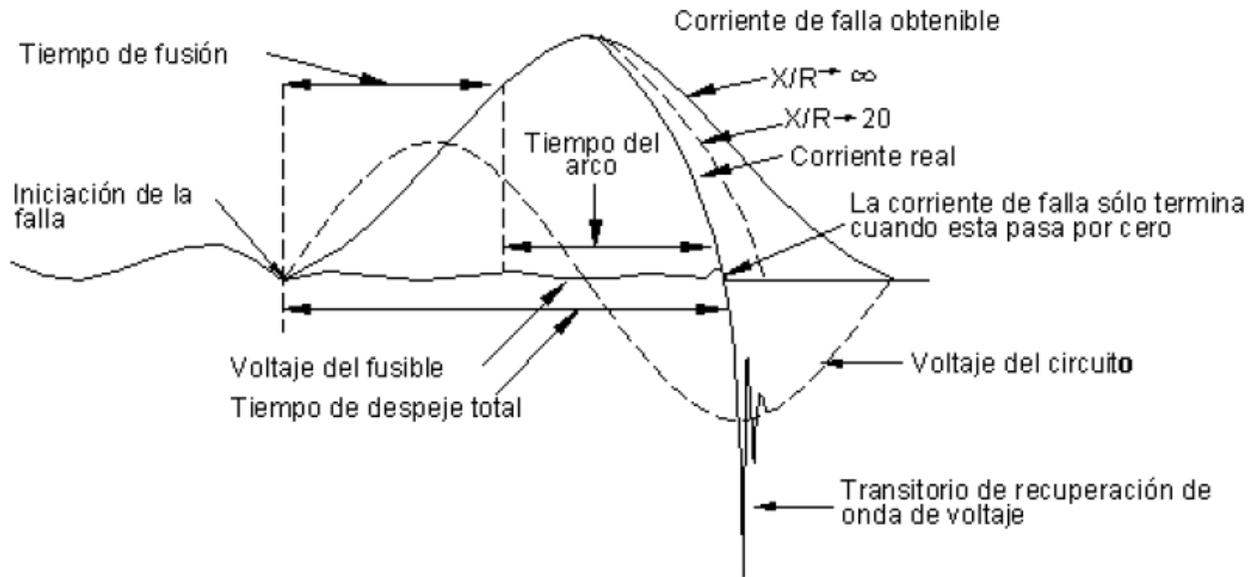
$$fa = \frac{Vc}{Vm}$$

Donde

Vc = Cresta máxima de la tensión transitoria de restablecimiento.

Vm = Cresta de la tensión del sistema en estado estable.

Gráfica 28. Interrupción de una corriente de falla de alta magnitud y diferentes asimetrías.



Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

El trabajo que desarrolla un fusible durante su operación por cortocircuito está en función del incremento de temperatura y la presión generada en su interior, de manera que cuando su magnitud es excedida más allá de su capacidad interruptora, el fusible se puede dañar, o en el caso más extremo, explotar. [4]

El trabajo desarrollado (W_a) durante el periodo de arqueo se expresa de la siguiente forma [4]:

$$W_a = \int_{t_1}^{t_2} E I dt$$

en donde:

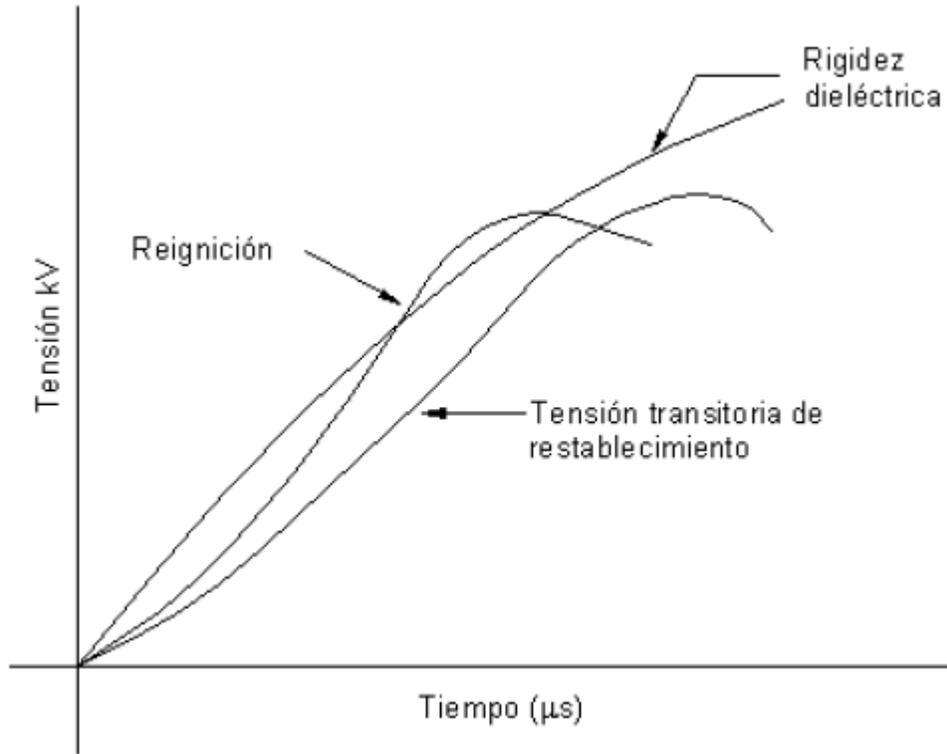
E = Tensión de arco.

I = Corriente de arco.

t_1 = Instante en que termina la fusión.

t_2 = Instante en que se logra la extinción de arco.

Gráfica 29. Rigidez dieléctrica y tensión de restablecimiento entre los bornes del fusible.



Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

Si se considera el circuito monofásico de la imagen 8, despreciando en este caso capacitancia (C) de la red, se obtiene la siguiente ecuación [4]:

$$E = e(t) - IR - L \left(\frac{di}{dt} \right)$$

Sustituyendo

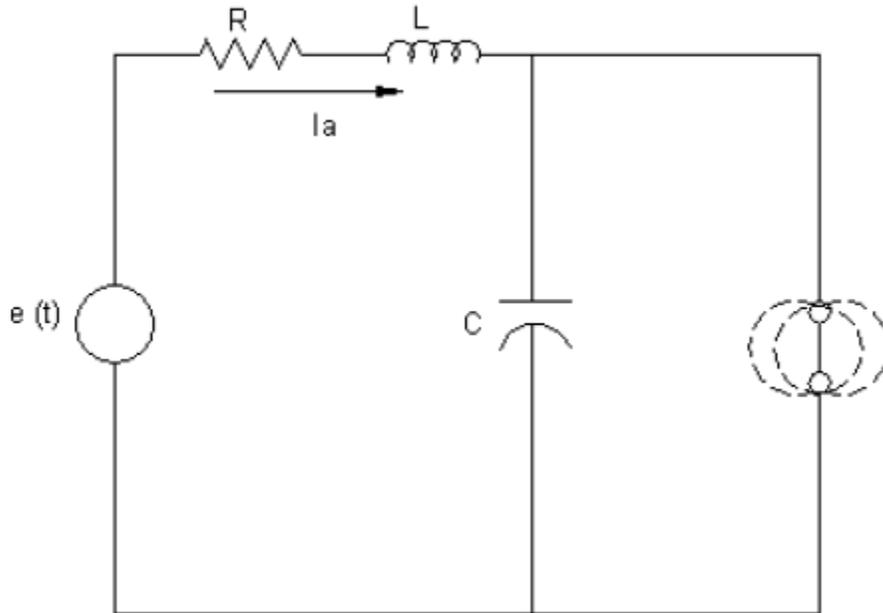
$$Wa = \int_{t_1}^{t_2} e(t)I dt - \int_{t_1}^{t_2} I^2 R dt - \int_{t_1}^{t_2} LI \left(\frac{di}{dt} \right) dt$$

Se tiene que:

$$\int_{t_1}^{t_2} e(t)I dt = \text{Energía suministrada por la fuente durante el periodo de arqueo}$$

$$\int_{t_1}^{t_2} I^2 R dt = \text{Energía consumida en la resistencia del circuito.}$$

Imagen 8. Circuito RLC.



Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

En el instante t_2 se tiene que $I = 0$

y en el instante t_1 se tiene que $I = I_f =$ corriente de fusión.

Por tanto [4]:

$$\int_{I_f}^0 LI \left(\frac{di}{dt} \right) dt = - \left[\left(\frac{1}{2} \right) LI^2 \right]_{I_f}^0 = \left(\frac{1}{2} \right) LI_f^2$$

Donde:

$\left(\frac{1}{2} \right) LI_f^2 =$ energía magnética almacenada en el circuito durante el comienzo del arco.

La relación de fusión se define como el cociente entre la corriente nominal de un fusible primario y la corriente nominal del transformador correspondiente. Es deseable trabajar con las relaciones de fusión lo más bajas posible siempre y cuando se tome en consideración el efecto de las corrientes transitorias de energización de los transformadores y las corrientes de energización de otras cargas que fluyen en un circuito, después de una interrupción momentánea. [4]

Los fusibles de expulsión se ven sometidos a diferentes condiciones de operación del sistema durante el tiempo que duran instalados en la red, lo que afecta sus características eléctricas y mecánicas. Estos cambios son producidos principalmente por [4]:

- El efecto de las sobretensiones inducidas en las redes por las descargas atmosféricas.
- Las interrupciones en el servicio.
- Las características de la carga.

Debido al efecto de esos agentes, los fusibles envejecen a consecuencia de cambios en su estructura metalográfica. En algunos casos el cambio se manifiesta por la fusión parcial del elemento sensible a la corriente, condición bajo la cual llegan a operar en ausencia de sobrecargas o fallas de cortocircuito. [4]

En el caso particular de las unidades fusibles de 3 amperios tipo K, por estar su elemento sensible a la corriente, sometido a la acción simultánea del efecto térmico de la corriente eléctrica y el esfuerzo de tensión mecánica que durante su vida útil ejerce el resorte de compresión que trae consigo, el índice de fusibles operados es realmente alto. [4]

Los cambios que se originan en el elemento sensible a la corriente debido a la acción de estos agentes hacen que las curvas características corriente – tiempo de fusión se desplacen hacia la izquierda con respecto a su posición original, perdiéndose parcialmente la coordinación con otros elementos de protección contra sobrecorrientes conectados en serie. [4]

De acuerdo con estudios realizados en alimentadores de distribución de 23 kV, las corrientes producidas por sobretensiones inducidas por descargas atmosféricas y corrientes magnetizantes de energización causan la operación del 32.4 % de las unidades fusibles 3 K, que se utilizan en la protección de los transformadores de 75 y 112.5 kVA. [4]

Aun cuando los transformadores se encuentren protegidos con pararrayos siempre estarán sometidos al efecto de las sobretensiones de corta y larga duración inferiores o iguales a la tensión de descarga del pararrayos. [4]

Los pararrayos de clase distribución limitan las sobretensiones a 50 kV, magnitud suficiente para producir saturación en los núcleos de los transformadores. [4]

Las interrupciones en el servicio traen consigo la aplicación de pulsos de corriente a 60 Hertz en forma de corrientes magnetizantes de energización a los fusibles de protección primarios de los transformadores conectados a un alimentador. [4]

En una serie de pruebas de aplicación de corrientes de magnetización a un transformador de 75 kVA 23/0.22 kV, conexión delta - estrella aterrizada, a unidades fusibles 3K (conectando en serie en cada fase), se encontró que su resistencia eléctrica sufrió un incremento de acuerdo con las características constructivas o de aplicación de cada una de ellas. En la gráfica 30, se muestran los incrementos de resistencia de los fusibles instalados en una de las fases del circuito de pruebas. [4]

El distinto comportamiento de los fusibles de 3 amperios tipo K se puede apreciar en la gráfica 31, en donde se muestra la variación de la resistencia óhmica de los fusibles instalados en alimentadores con carga mixta y residencial. [4]

Los efectos producidos por las sobretensiones de origen atmosférico en las redes de distribución se han estudiado desde dos puntos de vista diferentes [4]:

- En relación con el aislamiento, se consideran los impulsos de tensión con frente de onda muy escarpado, los cuales producen flameos tanto en aisladores como en terminales de transformadores. En este último caso, se provoca la falla de fase o de fases a tierra en el lado de media tensión, con la consecuente operación de las unidades fusibles.
- Desde el punto de vista de la operación de los transformadores, las sobretensiones a considerar son las llamadas de larga duración (del orden

de milisegundos), cuyo efecto se refleja en el transformador como un cambio en el flujo de operación en el instante de aplicación de la sobretensión y, por tanto, en la presencia de corrientes anormales que pueden hacer operar a los fusibles o al menos dañarlos.

Con la aplicación de un impulso de tensión aparecen varias componentes de corrientes transitorias. De ellas las que más daño causan a los fusibles son [4]:

- La componente impulsiva de la corriente, posterior a la saturación del núcleo.
- La corriente transitoria de magnetización a la frecuencia de estado estable.

Por otra parte, se tiene que todo impulso de tensión, sin importar cuán pequeño sea, provoca cambios en el flujo de operación del transformador y, por tanto, la aparición de corrientes transitorias de magnetización, cuya magnitud depende del tamaño del impulso y del punto de incidencia sobre la onda de tensión a 60 Hz. [4]

6.4.3. Relación tiempo – corriente (curvas características $t - i$).

La gráfica 32, muestra las siguientes curvas [4]:

- Tiempo de fusión mínima.
- Tiempo de despeje total.

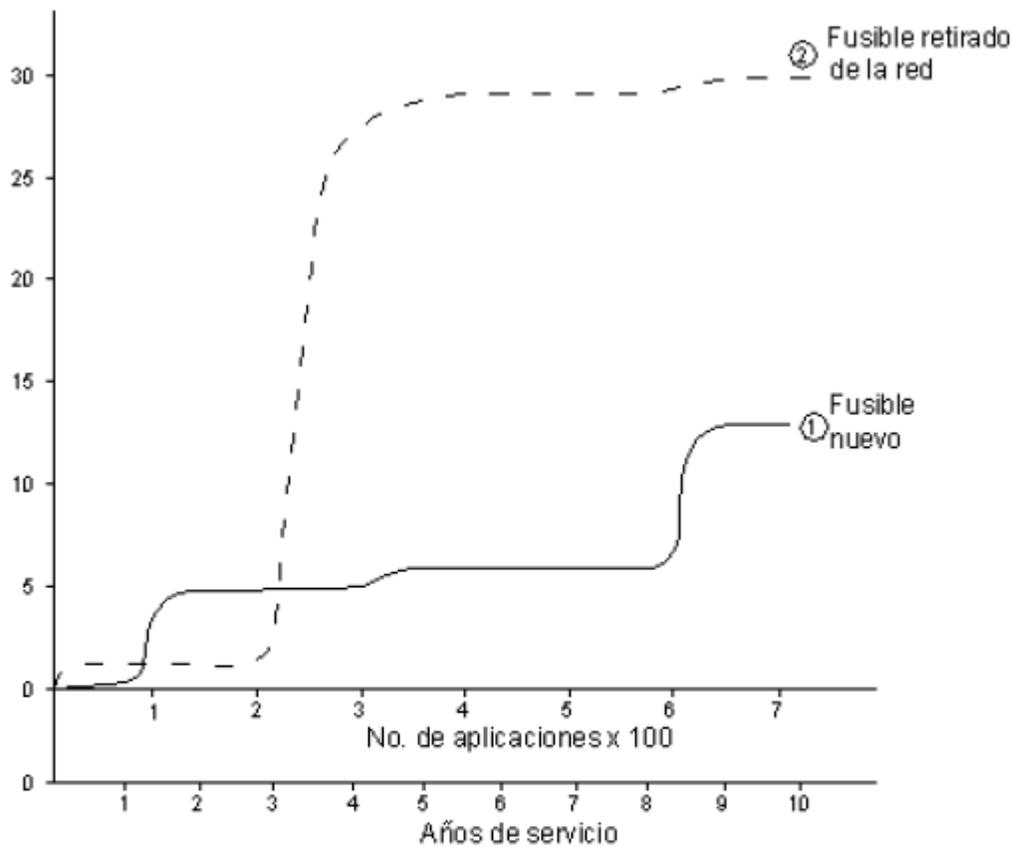
Son determinadas por pruebas y dibujadas en escala log-log para un fusible de 10k.

Ambas curvas son herramientas esenciales para la aplicación apropiada de eslabones fusible en un sistema coordinado. [4]

Las curvas deben contener información para 3 intervalos de tiempo a [4]:

- 300 o 600 segundos de acuerdo con la corriente nominal que se tenga.
- A 0.1 segundos.
- A 10 segundos.

Gráfica 30. Incremento de la resistencia en fusibles de expulsión



Curva	Resistencia en mΩ	
	Inicial	Final
1	107.775	121.490
2	117.515	152.758

Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

VALORES NOMINALES DE FUSIBLES DE EXPULSIÓN

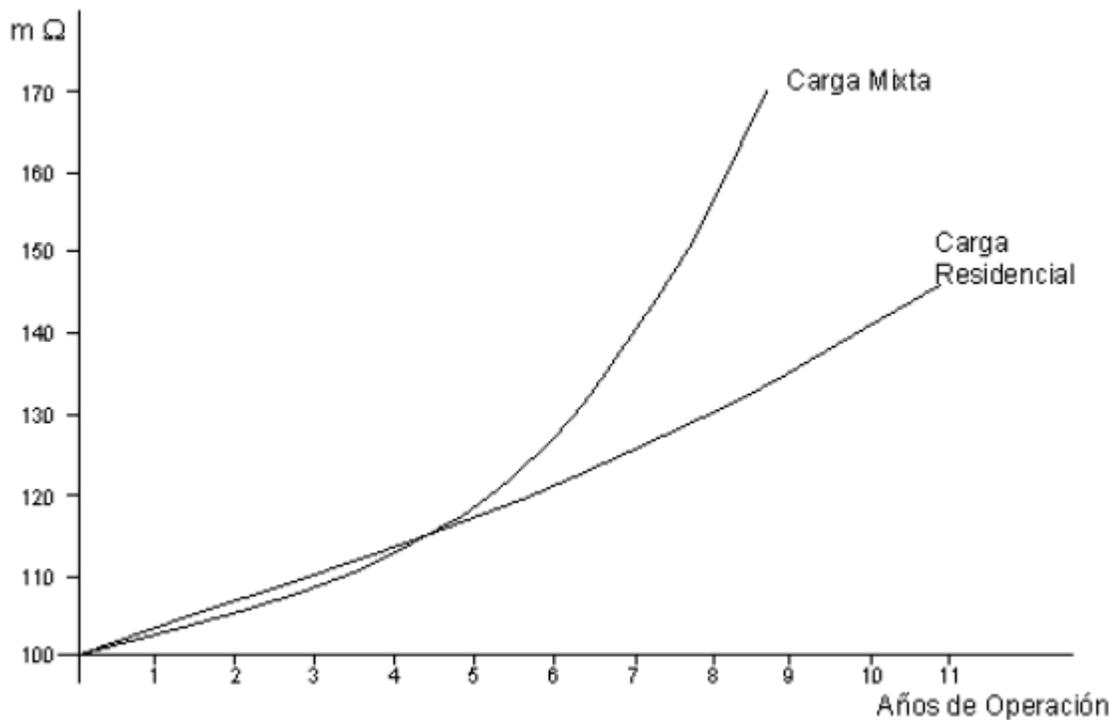
- Voltaje nominal del fusible V_{nf} [4]

$V_{nf} \geq V_{f-t}$ sistema cuando se aplica sobre f-t en un sistema 3φ

- Corriente de interrupción I_i [4]

$I_i \geq$ corriente de falla máxima presente en el punto de ubicación del fusible.

Gráfica 31. Variación de la resistencia de fusibles dependiendo de su carga de expulsión.



Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

- Corriente nominal continua [4]

$I_n \geq$ corriente de carga máxima.

Los fusibles pueden operar en la porción asimétrica de la corriente de falla basados en la relación X/R.

Las corrientes de carga y de sobrecarga permitidas por el crecimiento de la carga y los transitorios de corriente tales como [4]:

- Corriente Inrush de los transformadores.
- Corrientes de puesta en marcha en frío de motores.

Ambas deben ser considerados

Fueron establecidas Normas (EEI – NEMA) que especifican los valores nominales de corrientes y las características $t - i$ para prever la intercambiabilidad eléctrica de fusibles de todos los fabricantes de la misma característica nominal. [4]

Categorías de las corrientes nominales.

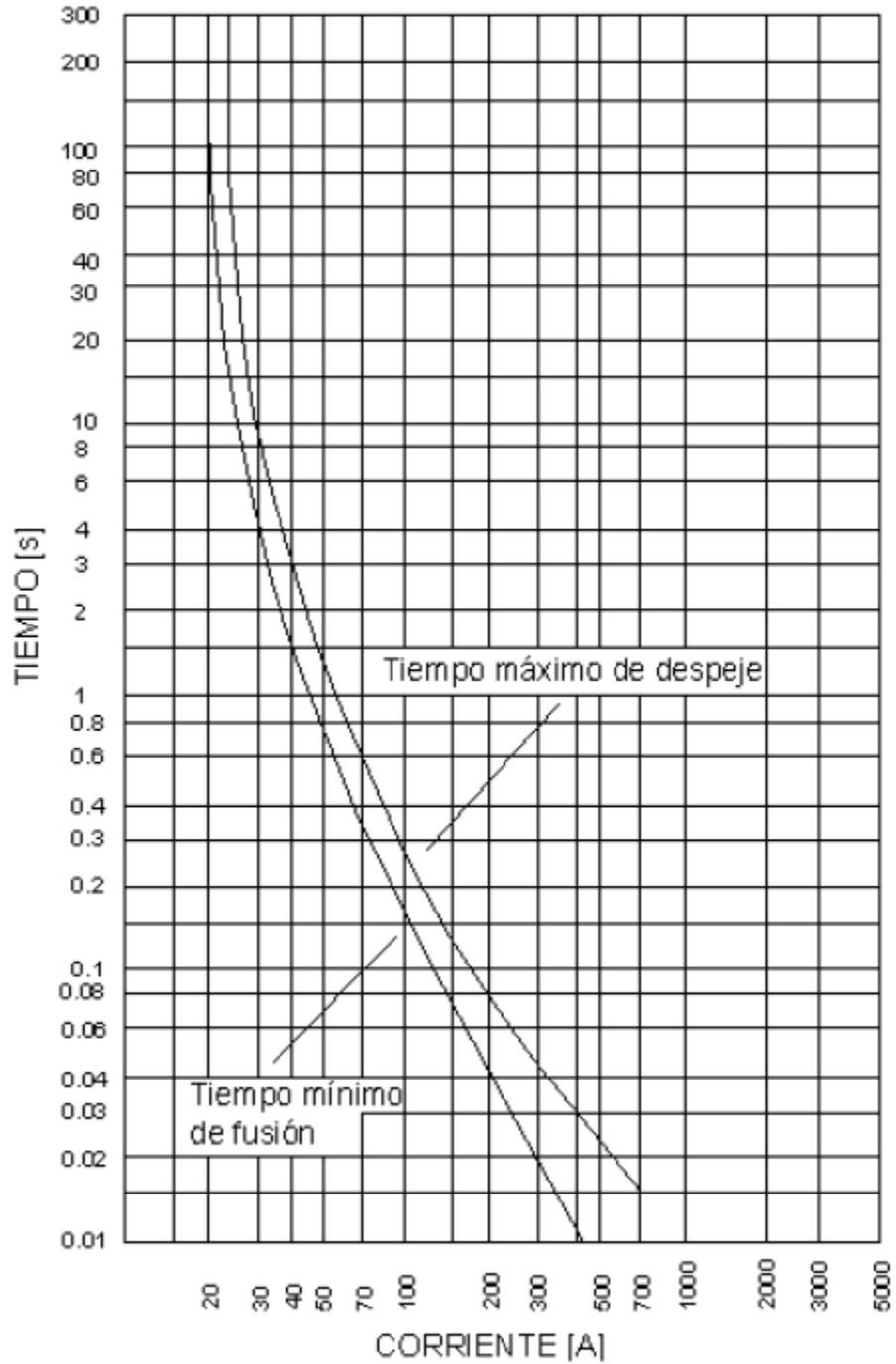
1ª Tamaños preferidos: 6 – 10 – 15 – 25 – 45 – 65 – 100 – 140 – 200 A.

2ª Tamaños no preferidos: 8 – 12 – 20 – 30 – 50 – 80 A.

3ª Por debajo de 6 Amperios: 1 – 2 – 3 – 5 A.

Si se mezclan fusibles adyacentes de categorías 1ª y 2ª se limita el rango de coordinación. [4]

Gráfica 32. Curvas t - I de fusión mínima y de despeje total para un fusible 10 K.



Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

6.4.4. Fusibles lentos – fusibles rápidos y de alta descarga.

Las normas EEI-NEMA han dividido a los fusibles de expulsión en dos tipos: rápidos y lentos, los cuales son designados por las letras K y T, respectivamente. [4]

Los eslabones K y T del mismo valor nominal tienen puntos idénticos a los 300 segundos. La grafica 33 muestra que tienen curvas distintas de tiempo - corriente y que el tipo T es más lento en altas corrientes de falla que el tipo K. [4]

La diferencia entre los dos tipos es la relación de velocidad, la cual es la relación entre la corriente de fusión a 0.1 segundos y 300 segundos para los eslabones nominales por debajo de 100 A, y de 0.1 segundos y 600 segundos para eslabones nominados por encima de 100 A. Por ejemplo, un fusible tipo K nominado en 10 A tiene en 0.1 segundos, una corriente de fusión de 120 A, y en 300 segundos una corriente de fusión de 18 A; la relación de velocidad es, entonces, $120/18 = 6.67$. [4]

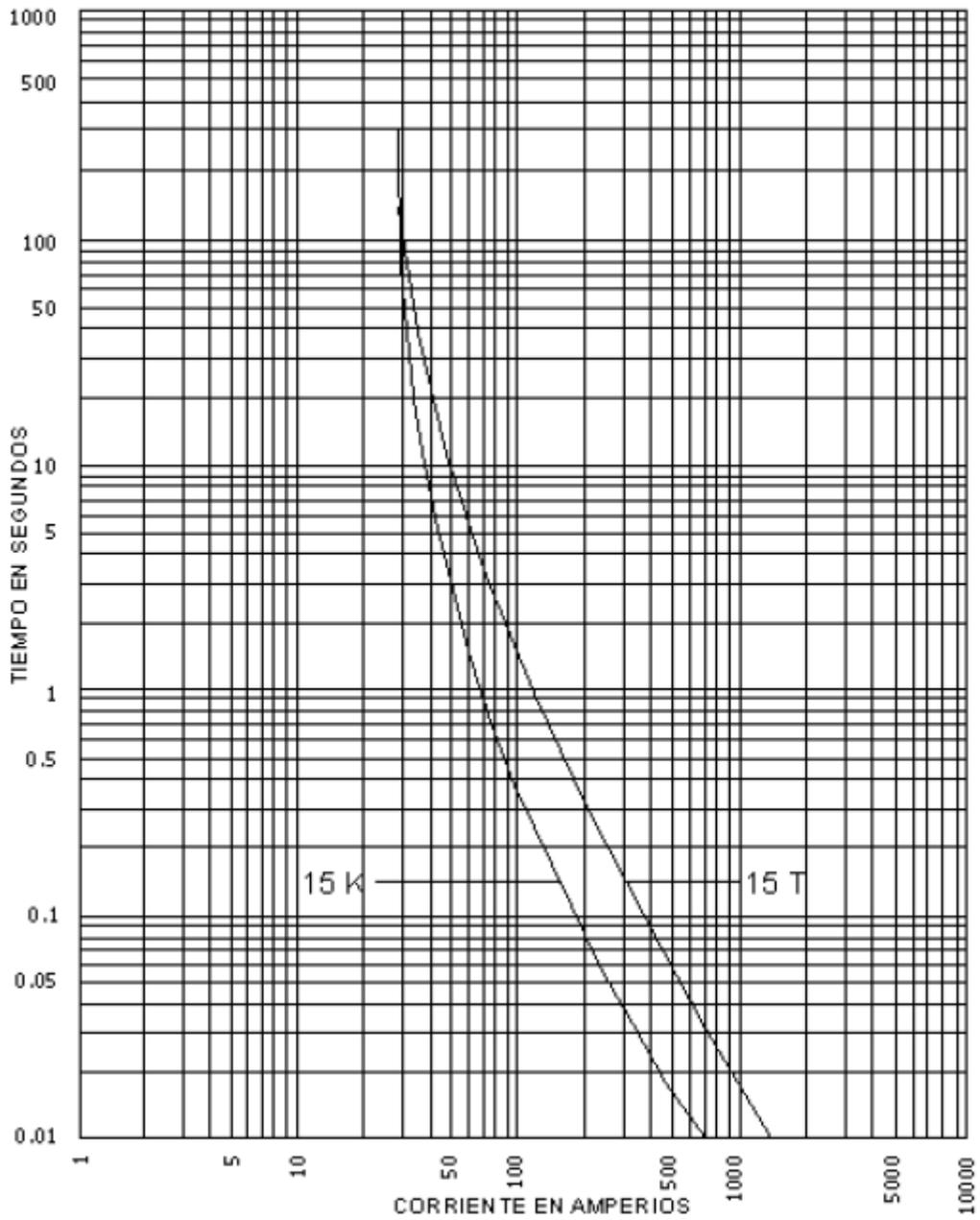
Se han diseñado otros eslabones fusibles con relaciones de velocidad diferentes a la de los tipos K y T; dichos eslabones son designados por las letras H y N. Los tipos H son diseñados para proveer protección de sobrecarga y evitar la operación innecesaria durante las ondas de corrientes transitorias de corta duración asociadas con arranque de motores y descargas atmosféricas; los eslabones N se diseñan con valores nominales de uno, dos, tres, cinco y ocho amperes. La tabla 22 muestra las corrientes mínimas y máximas de fusión y la relación de rapidez para fusibles tipo K y T. [4]

Tabla 22. Datos característicos de eslabones tipo K y T.

Tipo del fusible	300 seg.		10 seg.		0.1 seg.		Relación de rapidez	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
	x In.	x In.	x In.	x In.	x In.	x In.		
K	2	2.4	2.25	3.4	12	14.3	6	7.6
T	2	2.4	2.5	3.8	20	24	10	13

Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

Gráfica 33. Curvas de fusión mínima de fusibles 15K y 15T.



Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

Los fusibles T y K del mismo valor nominal tienen diferentes puntos 300 segundos a 600 segundos, pero como lo muestra la gráfica 33 tiene diferentes curvas $t - i$. [4]

A altas corrientes el fusible T es más lento que el fusible k del mismo tamaño. [4]

La diferencia entre los 2 fusibles la da la relación de velocidad así [4]:

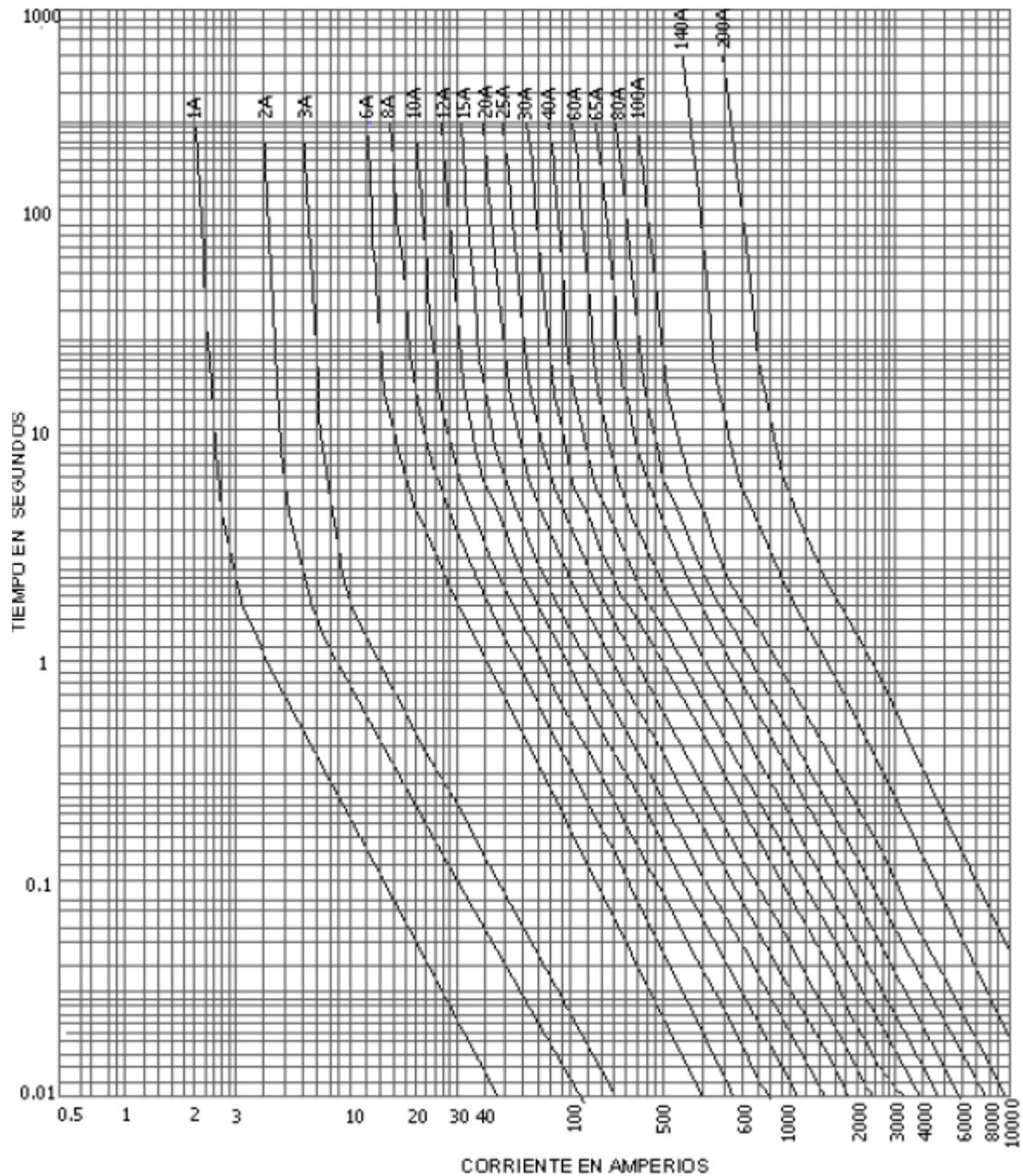
$$\text{Relación de velocidad} = \frac{I \text{ de fusión a } 0.1s}{I \text{ de fusión a } 300s} \text{ para fusibles } < 100A$$

$$\text{Relación de velocidad} = \frac{I \text{ de fusión a } 0.1s}{I \text{ de fusión a } 600s} \text{ para fusibles } > 100A$$

Los fusibles lentos T tiene relación de velocidad entre 10 y 13. (véase gráficas 34 y 35). [4]

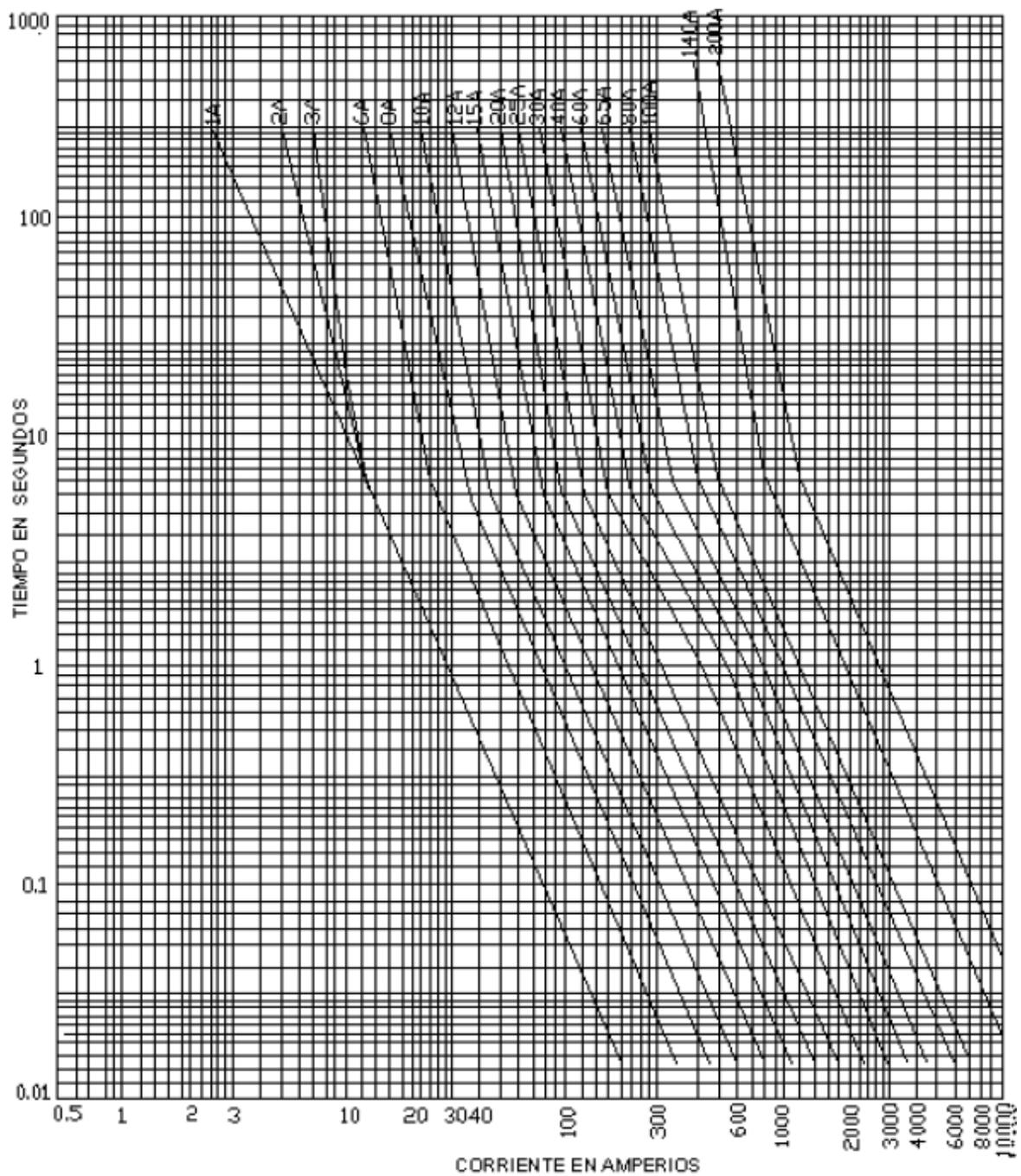
Los fusibles rápidos K tiene relación de velocidad entre 6 y 8.1 (véase gráficas 36 y 37). [4]

Gráfica 34. Curvas características t-I de fusión mínima para fusibles tipo T (de la Kerney) instalados en cortacircuitos A.B.B.



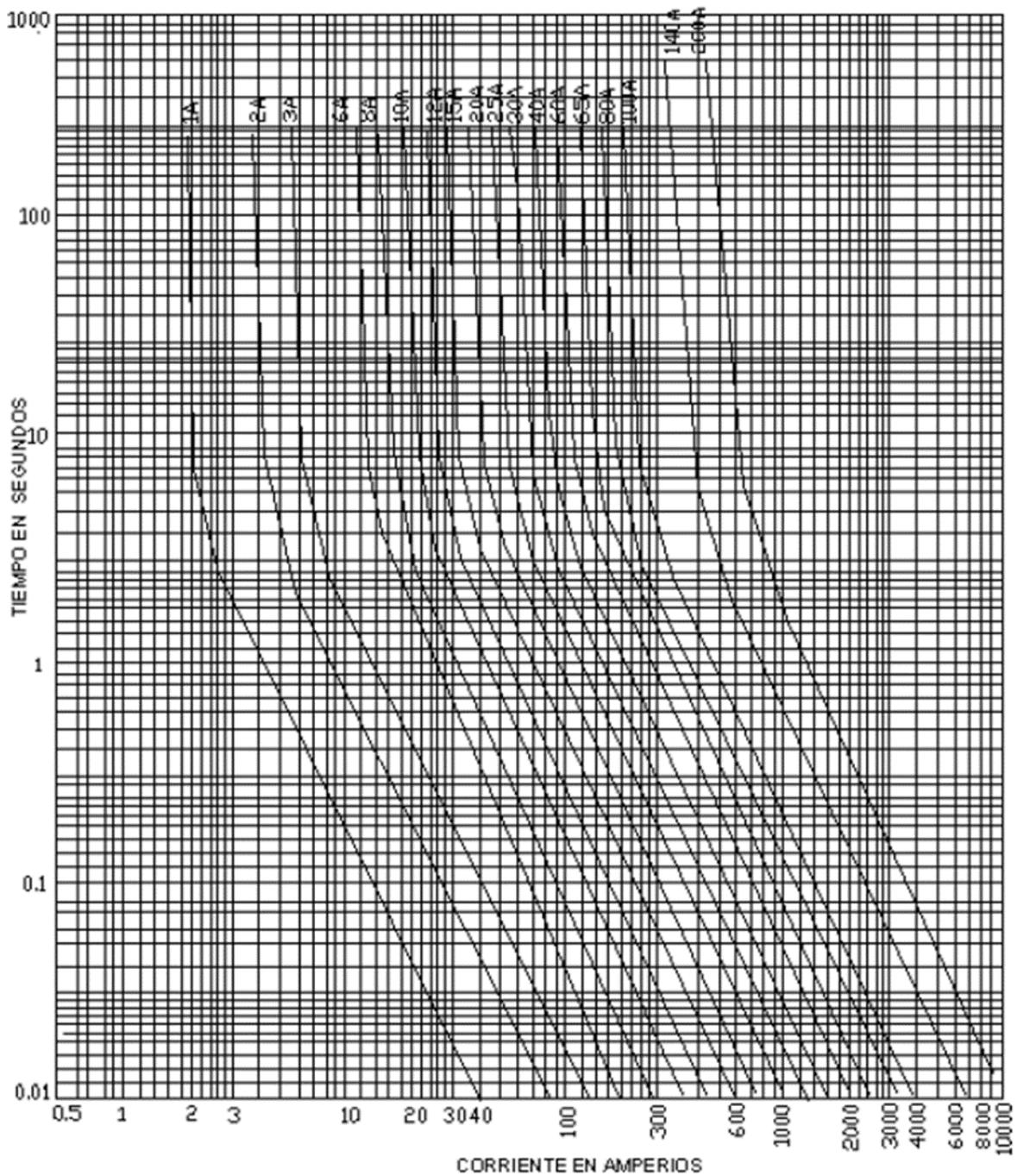
Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

Gráfica 35. Curvas características t-I de despeje máximo para fusibles tipo T (de la kerney) instalados en cortacircuitos A.B.B.



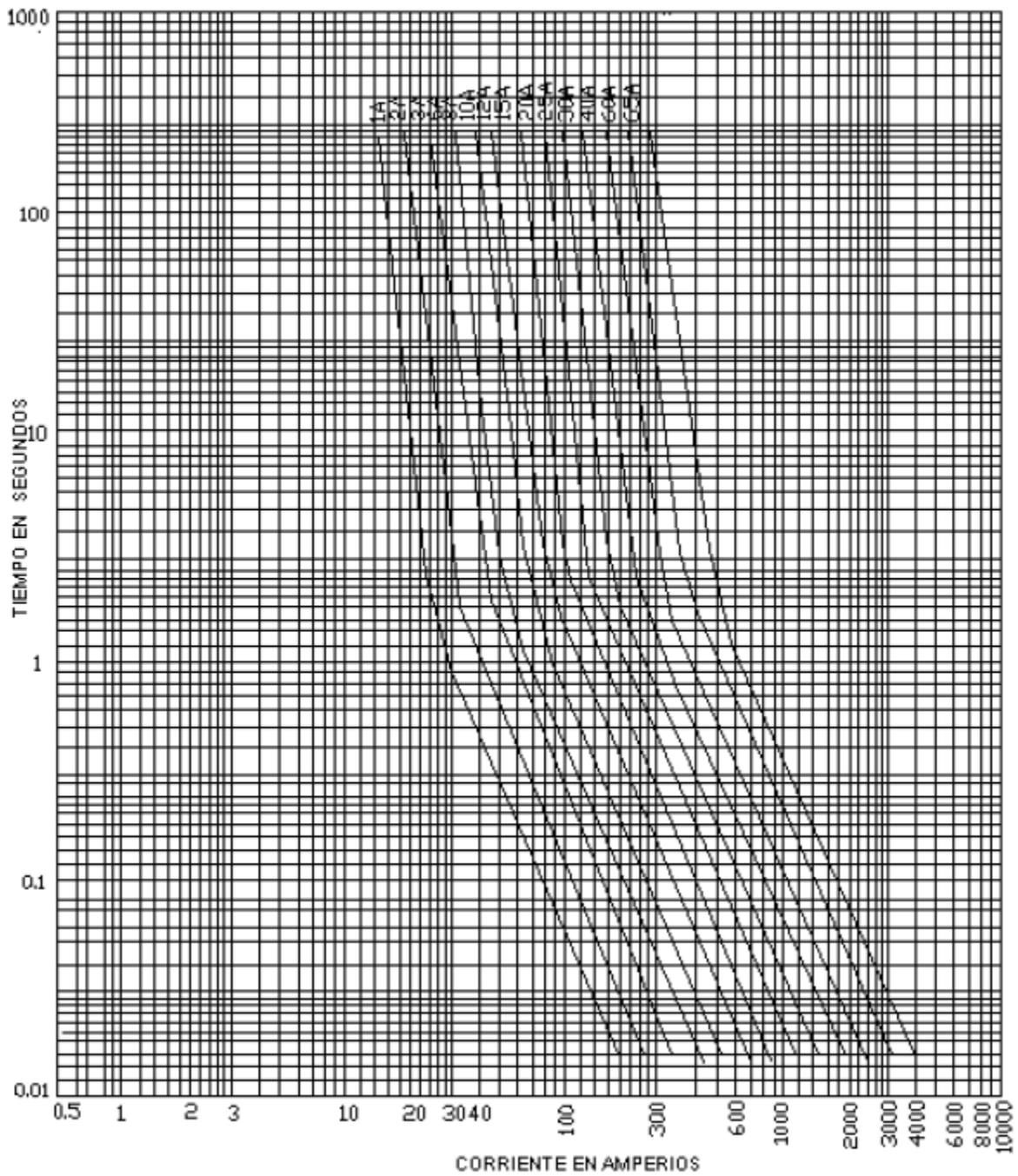
Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

Gráfica 36. Curvas características t-I de fusión mínima para fusibles tipo K (de la Kerney) instalados en cortacircuitos A.B.B.



Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

Gráfica 37. Curvas características t-I de despeje máximo para fusibles tipo K (de la Kerney) instalados en cortacircuitos A.B.B.



Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

6.5. FACTORES DE SELECCIÓN PARA ELEMENTOS FUSIBLE Y CORTACIRCUITOS

6.5.1. Para selección de cortacircuitos.

Los valores nominales para cortacircuitos de distribución son listados en las tablas 18 y 19. [4]

Los datos requeridos para facilitar la selección de los cortacircuitos de un sistema de distribución son [4]:

- La seguridad.
- La economía.
- La localización
- Uso preferente.
- Voltaje del sistema.
- Tipo de sistema.
- Relación X/R.
- Corriente de falla máxima presentada.
- Corriente de carga.
- Régimen continuo de corriente.
- Capacidad de interrupción.

6.5.1.1. Selección de la corriente nominal.

$I_{\text{nominal continua}} \geq \text{Corriente de carga continua máxima.}$

En la determinación de la corriente de carga del circuito se deben considerar la corriente de sobrecarga del circuito, la corriente de sobrecarga normal incluyéndose los armónicos sostenidos. [4]

6.5.1.2. Selección de voltajes nominales (fusibles de expulsión).

El voltaje nominal es determinado por las siguientes características [4]:

1. Voltaje f – t o f – f máximo del sistema.

2. Sistema de puesta a tierra.
3. Circuitos 1f o 3f.

Voltaje de restauración < Voltaje máximo nominal del cortacircuito.

6.5.1.3. Reglas de selección.

1. En sistemas subterráneos: V régimen máximo $\geq V$ f – f máximo del sistema
2. En sistemas 3f efectivamente puestos a tierra:
 - a). Para cargas 1f de derivaciones de líneas:
 V de régimen máximo fusible \geq Voltaje f – t del sistema.
 - b). Para aplicaciones 3f:
Las reglas dictan el uso de voltajes nominales f – f. [4]

Sin embargo, las fallas que producen condiciones donde cortacircuitos 1f puedan interrumpir voltajes f – f son raras en estos sistemas. Existe entonces la tendencia a emplear cortacircuitos que tienen voltajes nominales duales como 7.8 / 13.5 kV y 15 / 26 kV. [4]

La tabla 23 lista los voltajes nominales recomendados para varios sistemas.

Selección de voltajes nominales (FLC) [4]:

V nominal máximo $\geq V$ máximo f – f del sistema para 3 f

V nominal máximo $\geq V$ máximo f – t del sistema para 1 f

Selección de los valores nominales de interrupción [4]:

I interrupción nominal simétrico fusible $\geq I$ de falla máxima posible calculada sobre el lado de carga del fusible.

Tabla 23. Recomendaciones para la correcta aplicación de cortacircuitos en los diferentes voltajes de sistemas de distribución.

Voltaje nominal del sistema	Voltaje nominal de cortacircuitos cuando es usado	
	línea a tierra	en la línea
2.400 Delta	—	5.200
2.400/4.160 Y aterrizado	5.200	5.200
2.400/4.160 Y no aterrizado	—	5.200
4.800 Delta	—	5.200
7.200 Delta	—	7.800
4.800/8.320 Y aterrizado	5.200	5.200
4.800/8.320 Y no aterrizado	5.200	7800/13.500
12.000 Delta	—	15.000
7.200/12.470 Y aterrizado	7.800	7.800/13.500
7.200/12.470 Y no aterrizado	—	7.800/13.500
13.200 Delta	—	15.000
7.620/13.200 Y aterrizado	7.800	7.800/13.500
7.620/13.200 Y no aterrizado	—	7.800/13.500
13.800 Delta	—	15.000
7.960/13.800 Y aterrizado	7.800	7.800/13.500
7.960/13.800 Y no aterrizado	—	7.800/13.500
14.400 Delta	—	15.000
14.400/24.900 Y aterrizado	27.000	15.000/26.000
19.900/34.500 Y aterrizado	27.000	38.000

Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

6.5.2. Aplicación de los eslabones fusible.

6.5.2.1. Para fusibles en líneas con propósito de seccionamiento.

Se deben considerar los siguientes aspectos [4]:

1. Corrientes nominales y de sobrecarga del circuito incluyendo armónicos prolongados.
2. Corrientes transitorias del circuito: I de magnetización de transformadores.
I de arranque de motores.
I inrush de capacitores.
I de puesta en marcha en frío.
3. Características de Burn-down de los conductores (quema).

4. Coordinación con otros dispositivos de protección.

6.5.2.2. Para protección de equipos.

Se deben considerar los siguientes factores [4]:

1. Capacidad de sobrecarga de corto tiempo de los equipos.
2. Corrientes transitorias tales como las descritas en 6.5.2.1.
3. Importancia relativa de protección del equipo versus aprovisionamiento del servicio continuado.
4. Coordinación con otras protecciones.

6.5.3. Variables de operación de los fusibles.

6.5.3.1. Precarga.

A causa de corrientes de carga previas, la precarga incrementa la temperatura del fusible causando que el tiempo de fusión sea reducido para todos los valores de la corriente de falla. [4]

6.5.3.2. Temperatura ambiente.

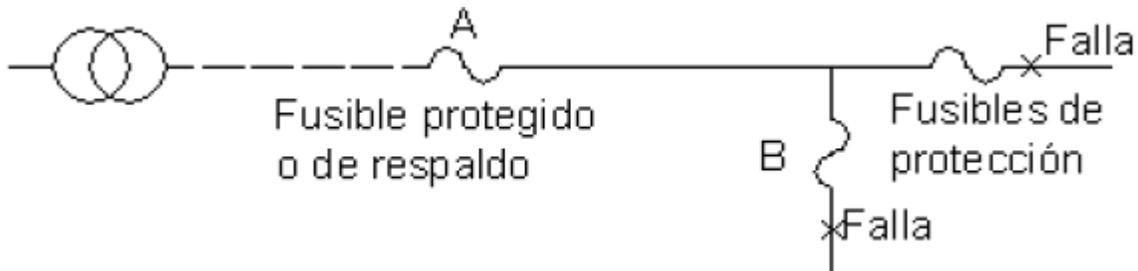
Cuando aumenta por encima de 25°C el tiempo de fusión decrece y cuando la temperatura ambiente disminuye, el tiempo de fusión aumenta. [4]

6.5.3.3. Calor de fusión.

Calor adicional requerido para convertir un sólido a su temperatura de fusión en un líquido a la misma temperatura. [4]

6.5.4. Reglas de aplicación (para coordinación).

Imagen 9. Localización de los fusibles de protección y protegido.



Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

La imagen 9 proporciona la definición convencional de dispositivos de protección basados en la localización. [4]

- Una regla esencial para aplicación de fusibles establece que el tiempo de despeje máximo del fusible de protección no excederá el 75% del tiempo de fusión mínimo del fusible protegido, lo que asegura que el fusible de protección despejará la falla antes de que el fusible protegido se dañe. El factor del 75% compensa los efectos de las variables de operación. [4]
- Otra regla sostiene que la corriente de carga en el punto de aplicación no debe exceder la capacidad de corriente continua del fusible. [4]

La capacidad continua de corriente es aproximadamente 150% del valor nominal para fusibles T y K con elementos fusibles de estaño y aproximadamente 100% para fusibles H y N y fusibles K de plata. [4]

La tabla 20 lista las corrientes de régimen continuo que los fusibles H, N, T y K transportarán sin sobrecalentarse cuando son instalados en cortacircuitos de tamaño apropiado. [4]

Los fusibles tipo H, aunque nos son normalizados, son llamados fusibles extra rápidos y sus relaciones de velocidades son de 4 a 6. [3]

7. ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES AGUAS ABAJO DEL ARRANQUE FSW363 DEL CIRCUITO PALDONJUANA DEL SDL DE CENS.

En los sistemas de distribución actuales, la coordinación de los dispositivos de protección debe hacerse en serie; también se le conoce como "cascada", debido a la que la mayoría de estos operan en forma radial. Cuando dos o más dispositivos de protección son aplicados en un sistema, el dispositivo más cercano a la falla del lado de alimentación es el dispositivo protector, y el siguiente más cercano del lado de la alimentación es el dispositivo "respaldo" o protegido.

Para realizar la coordinación de dispositivos en cascada entre fusibles de expulsión se tiene los siguientes métodos:

- 1. Usando curvas tiempo – corriente.**
- 2. Usando tablas de coordinación.**
- 3. Reglas practicas o empíricas.**

Durante el desarrollo del trabajo se utilizan los métodos 1 y 2.

Para la primera parte se realiza la coordinación de protecciones con el método 1, el cual es a través de curvas de tiempo – corriente, simuladas en un software (Digsilent) para facilitar y evitar el tratamiento tedioso que conlleva realizar un flujo de carga a mano de forma escrita al circuito. Esta simulación se realiza solo para las dos más grandes cargas que tiene la derivación con respecto a los transformadores.

Con la información disponible en los aplicativos MAPS y OMS (sistema de gestión de interrupciones), se definen las condiciones de la red y equipos de protección del ramal aguas abajo de los cortacircuitos FSW363.

Se toma como referencia el DGS del circuito PALBOCHALEMA con el fin de importarlo a la base de datos Digsilent Power Factory de esta forma compilarlo al proyecto seleccionado, para tener una mejor estimación de las corrientes de corto

al momento de simular sobre las curvas de los fusibles, en los diferentes nodos eléctricos que se requieran intervenir.

Luego se procede a seleccionar e importar la información de protecciones que se deberán modificar o ajustar a las condiciones eléctricas del circuito, con el fin de lograr una conveniente coordinación de protecciones sobre el circuito a tratar.

En la tabla 24, se visualiza las corrientes de falla trifásicas, bifásicas y monofásicas, simuladas en el software Digsilent Power Factory suministradas por el CET (Centro de Excelencia Técnico) de CENS. Estas corrientes son las posibles fallas que pueden ocurrir en el SDL, para los cortacircuitos aguas abajo del arranque FSW363 del circuito PALDONJUANA.

Los fusibles seleccionados para la protección de los transformadores y arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 son de 15 KV nominales y cumplen con los criterios de selección del capítulo 6.5, según las características específicas de protección de la derivación de estudio. Para la selección de los fusibles en los tramos de la derivación de estudio se tuvo en cuenta los siguientes criterios: Tensión nominal, capacidad de interrupción, corrientes de falla máxima, corriente de carga máxima y corrientes de inrush de los transformadores.

Tabla 24. Corrientes de fallas en los arranques aguas abajo del arranque FSW363.

COD. Arranque	NODO ELÉCTRICO	I_{cc} 3φ (kA)	I_{cc} 2φ (kA)	I_{cc} 1φ (kA)
FSW363	MVEL96773-2	0.58	0.45	0.45
SW6566	FMVE8223	0.56	0.44	0.44
FSW367	FMVE8231	0.5	0.39	0.38
FSW368	FMVE8233	0.49	0.38	0.37
BSW5927	MVEL96785-2	0.48	0.37	0.36
BSW5507	FMVE8282	0.45419536	0.35161785	0.33663466
FSW369	MVEL96832-3	0	0.35311582	0.33661564
BSW6011	MVEL96826-2	0.4541846	0.35160924	0.3366253
JESW5185	FMVE8295	0.44	0.34	0.33
ESW6994	FMVE8295	0.44	0.34	0.33
PASW3746	FMVE8236	0.45	0.35	0.34
BSW5642	FMVE8286	0.42913218	0.33162851	0.31508009
FSW370	FMVE8287	0.42	0.32	0.31
FSW372	FMVE8298	0	0.33	0.32
ASW8704	FMVE8312	0	0.28	0.26
FSW375	FMVE8238	0.44	0.34	0.32
SW3748	FMVE8605	0	0.31	0.29
SW3310	FMVE8243	0.41	0.32	0.3
SW6574	MVEL96877-2	0	0.31	0.29
BSW5499	MVEL96877-1	0	0.31179321	0.29136981
GSW7603	FMVE8615	0	0.31818348	0.30117953
FSW371	FMVE8615	0	0.32	0.3
PASW3744	FMVE3447	0.38	0.29	0.27
FSW376	FMVE8319	0.44	0.34	0.32
FSW365	FMVE8606	0	0.3	0.28
PASW3875	FMVE8248	0.38	0.3	0.28
FSW364	FMVE8249	0.38	0.29	0.28
GSW4088	FMVE8335	0	0.28	0.26
SW6575	FMVE8339	0.36	0.27	0.26
FSW377	FMVE8339	0.36	0.27	0.26
ASW3654	MVEL96921-2	0	0.27	0.25
GSW9772	FMVE8253	0.35361293	0.27163465	0.25269372
PASW3868	FMVE8329	0.34	0.26	0.24
RSW3647	MVEL96925-1	0	0	0.26

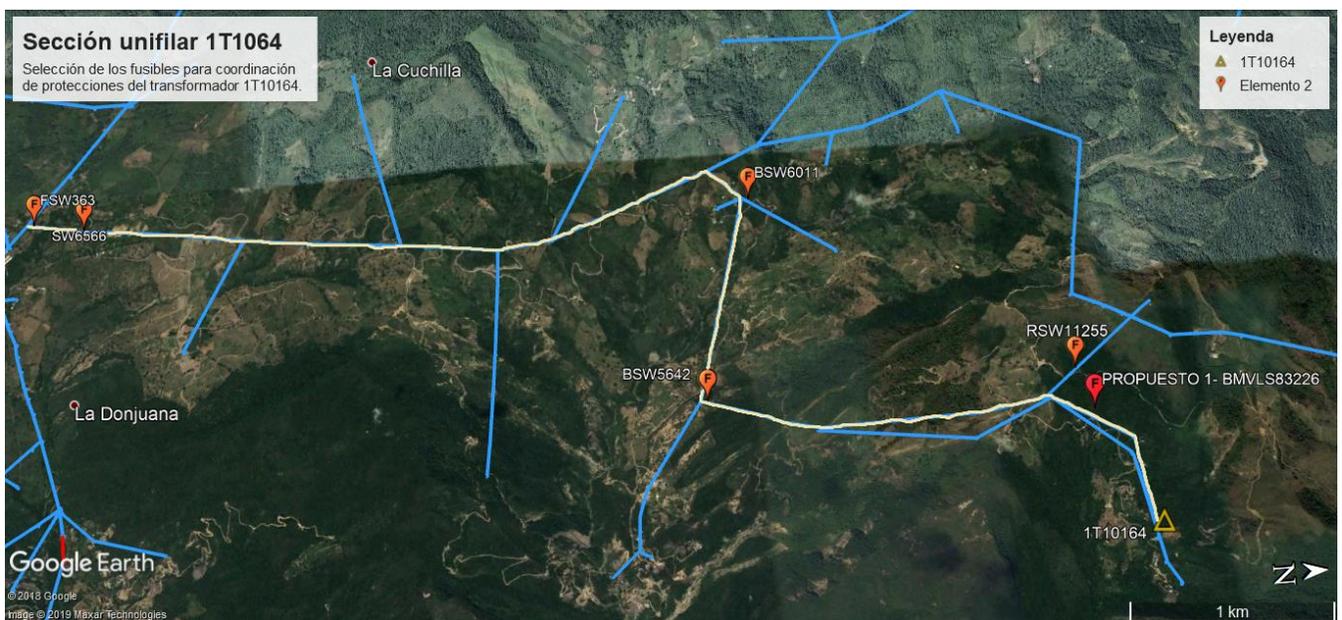
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

7.1. CASOS CRITICOS DE COORDINACIÓN EN EL RAMAL

Como casos críticos se seleccionan los transformadores de mayor capacidad del ramal, en este caso se realiza la coordinación de protecciones de estos con el Cortacircuitos FSW363. Coordinando la protección de estos transformadores se garantiza que las demás protecciones cumplan su coordinación a través del método de tablas.

7.1.1. CASO CRITICO 1, TRANSFORMADOR 1T10164 CON CAPACIDAD DE 225 KVA

Imagen 10. Recorrido de coordinación de equipos, para el transformador 1T10164 de 220 KVA



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la imagen 10, se puede observar el recorrido que se realizó para la coordinación de los equipos de protección desde la protección propia del transformador 1T10164 hasta el inicio del ramal con los cortacircuitos FSW363. Garantizando esta

coordinación se logra que los ramales de carga menor a está, logren una coordinación con los cortacircuitos que se encuentren aguas arriba.

7.1.1.1. CURVAS DE PROTECCIONES

En la gráfica 38 y 39, se visualiza las cuatro curvas de los fusibles que coordinan desde el transformador 1T10164 hasta el arranque FSW363. Empieza la coordinación con la curva “azul” la cual le pertenece al fusible como protección principal del transformador; luego viene la curva “morada” la cual pertenece al fusible propuesto 1 del que se desprende el transformador; en seguida llega la curva “verde” que pertenece al fusible del arranque BSW5642 y por ultimo tenemos la curva “roja” la cual corresponde al fusible del arranque FSW363, que es principal, de él se deriva todo el resto del segmento al cual se realizó el estudio.

También observamos en la graficas en color “negro” las curvas del transformador, la ubicada en la parte inferior de las gráficas es la curva de magnetización o Inrush y la otra en la parte superior de las gráficas es la curva de daño o destrucción del transformador.

Tabla 25. Selección de las protecciones para la coordinación del transformador 1T10164.

Selección de protecciones para coordinación en el transformador 1T10164			
Ubicación	Protección (Fusible)	Tiempo de fusión mínimo [seg]	Tiempo de despeje máximo [seg]
Transformador 1T10164	10K	0,012	0,02
Arranque propuesto 1	10T	0,04	0,052
Arranque BSW5642	15T	0,095	0,132
Arranque BSW6011	25T	0,222	0,357
Arranque SW6566	35T	0,385	0,617
Arranque FSW363	40T	0,622	1

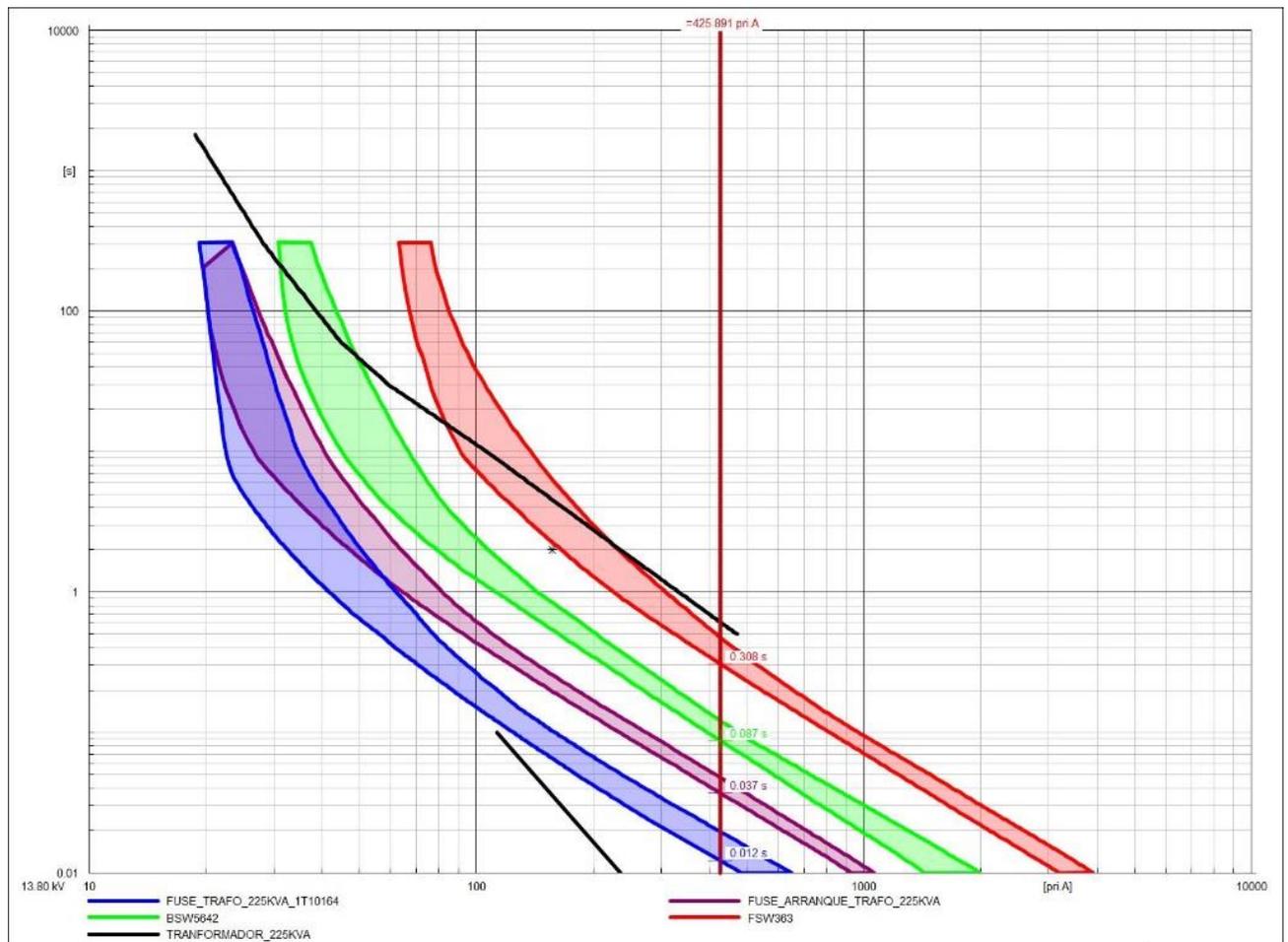
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la tabla 25, se visualiza los tipos de fusibles seleccionados para la coordinación de protecciones ajustada para el transformador 1T10164. Estos fusibles fueron seleccionados acorde a las curvas de simulación realizadas en Digsilent (gráficas 38-40). En dicha tabla además se tiene los tiempos de fusión mínimo y tiempo de despeje máximo de cada curva a la cual pertenece su respectivo fusible.

Para obtener una buena coordinación se debe cumplir la relación mencionada en el capítulo 6.5.4, que indica:

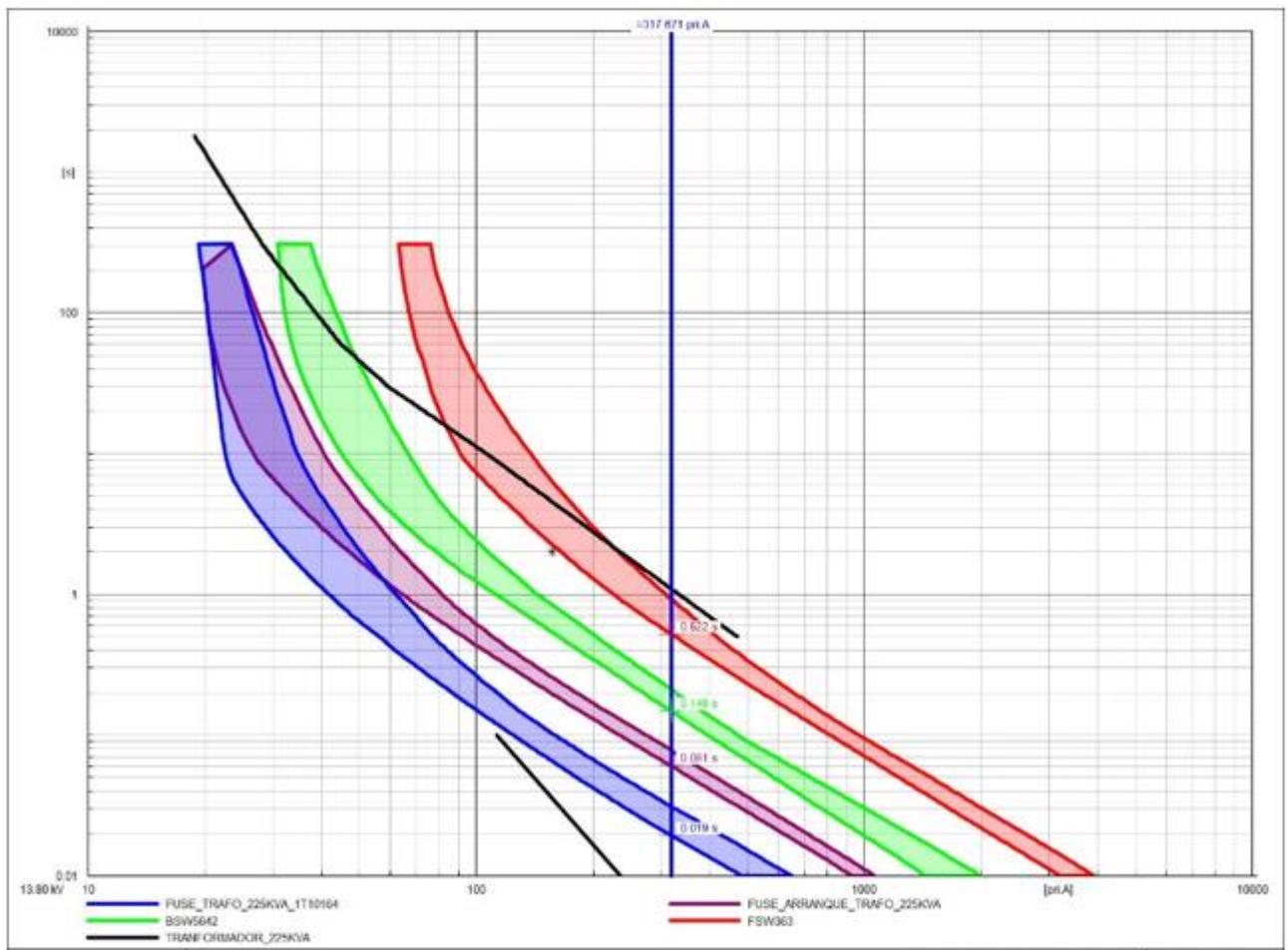
$$\frac{\text{tiempo de despeje máx. del fusible protector}}{\text{tiempo de fusión mín. del fusible protegido}} * 100 < 75\%$$

Gráfica 38. Simulación de cortocircuito trifásico máxima a 0Ω para coordinar protecciones hasta transformador 1T10164.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 39. Simulación de cortocircuito monofásico máxima a 2Ω para coordinar protecciones hasta transformador 1T10164.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Como se puede observar en la gráfica 38 y 39 que ante una corriente de falla franca trifásica de 425,89 amperios y 317,67 amperios para la corriente de falla monofásica de 2Ω en el lado de 13.2 KV del transformador, existirá coordinación de protecciones, actuando en primer lugar la protección propia del transformador y finalizando la coordinación con en el cortacircuitos FSW363.

Gráfica 40. Simulación de cortocircuito trifásico máxima a 0Ω para coordinar protecciones hasta transformador 1T10164.

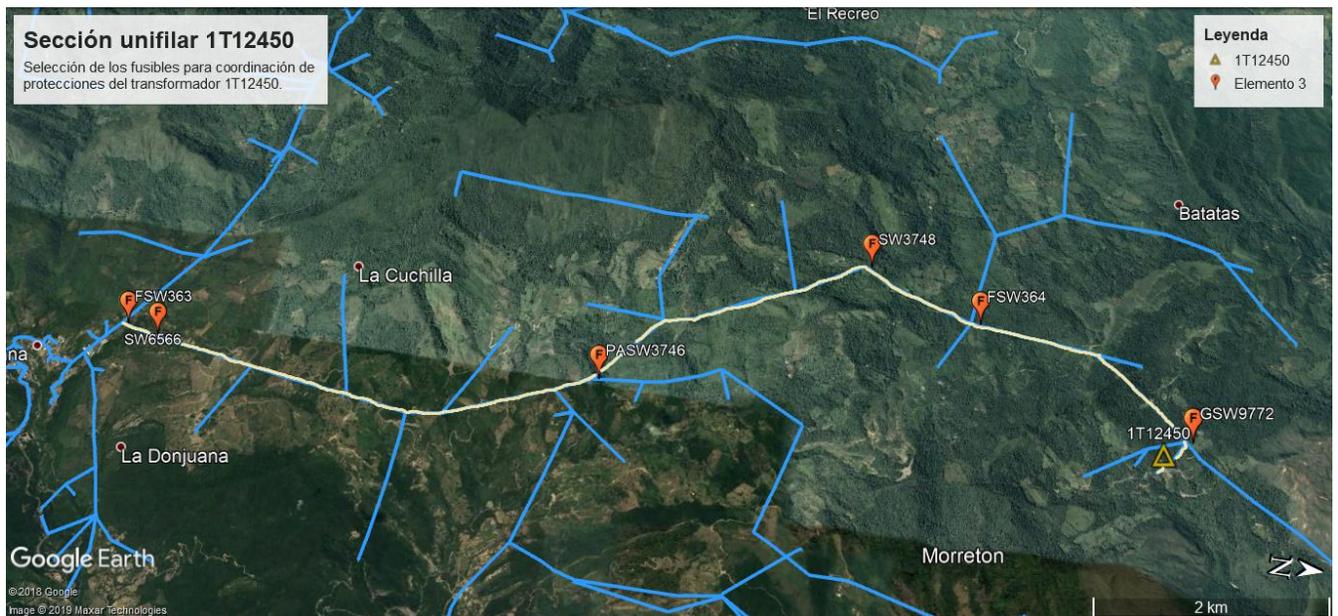


Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Se visualiza en la gráfica 40, la coordinación de protecciones hacia el arranque RSW11255 en conjunto con la coordinación del transformador de mayor capacidad de la derivación.

7.1.2. CASO CRÍTICO 2, TRANSFORMADOR 1T12450 CON CAPACIDAD DE 150 KVA

Imagen 11. Recorrido de coordinación de equipos, para el transformador 1T12450 de 150 KVA.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la imagen 11, se puede observar el recorrido que se realizó para la coordinación de los equipos de protección desde la protección propia del transformador 1T12450 hasta el inicio del ramal con los cortacircuitos FSW363. Garantizando esta coordinación se logra que los ramales de carga menor a está, logren una coordinación con los cortacircuitos que se encuentren aguas arriba.

7.1.2.1. CURVAS DE PROTECCIONES

En la gráfica 41 y 42, se visualiza las cuatro curvas de los fusibles que coordinan desde el transformador 1T12450 hasta el arranque FSW363. Empieza la coordinación con la curva “celeste” la cual le pertenece al fusible de la protección principal del transformador; luego viene la curva “verde oscuro” la cual pertenece al fusible del arranque GSW9772 del que se desprende el transformador; en seguida llega la curva “azul” que pertenece al fusible del arranque FSW364; posteriormente aparece la curva “verde claro” la cual corresponde al arranque PASW3746 y por ultimo tenemos la curva “roja” la cual corresponde al fusible del arranque FSW363, que es principal, de él se deriva todo el resto del segmento al cual se realizó el estudio.

También observamos en la graficas en color “morado” las curvas del transformador, la ubicada en la parte inferior de las gráficas es la curva de magnetización o Inrush y la otra en la parte superior de las gráficas es la curva de daño o destrucción del transformador.

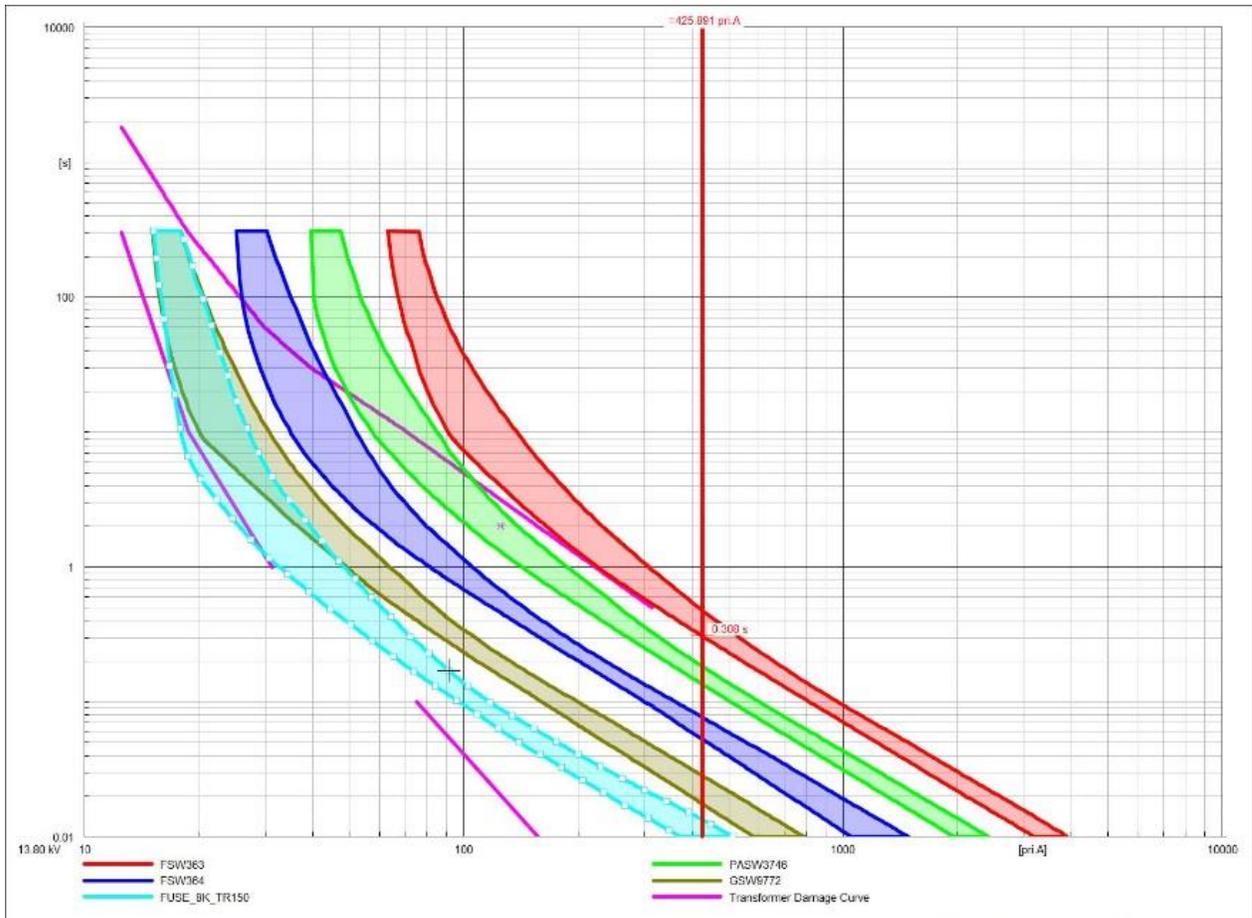
Tabla 26. Selección de las protecciones para la coordinación del transformador 1T12450.

Protecciones para coordinación del trafo 1T12450			
Ubicación	Protección (Fusible)	Tiempo de fusión mínimo [seg]	Tiempo de despeje máximo [seg]
Transformador 1T12450	8K	0,0098	0,014
Arranque GSW9772	8T	0,0187	0,03
Arranque FSW364	12T	0,05	0,08
Arranque PASW3746	20T	0,148	0,2
Arranque SW6566	35T	0,385	0,617
Arranque FSW363	40T	0,622	1

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

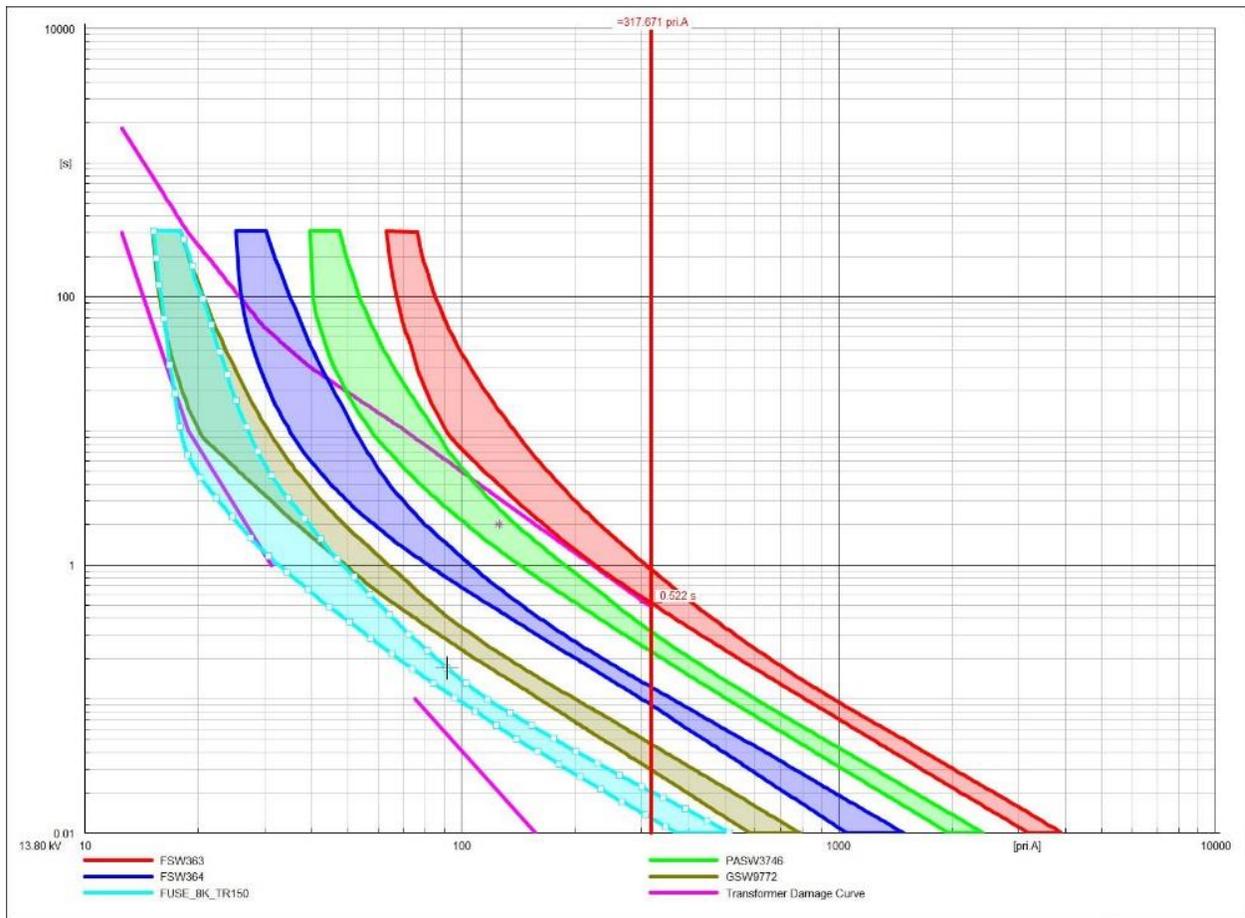
En la tabla 26, se visualiza los tipos de fusibles seleccionados para la coordinación de protecciones adecuada para el transformador 1T12450, según los resultados de simulación de las curvas realizada en Digsilent.

Gráfica 41. Simulación de cortocircuito trifásico máxima a 0Ω para coordinar protecciones hasta transformador 1T12450.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 42. Simulación de cortocircuito monofásico máxima a 2 Ω para coordinar protecciones hasta transformador 1T12450.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Como se puede observar en la gráfica 41 y 42 que ante una corriente de falla franca trifásica de 425,89 amperios y 317,67 amperios para la corriente de falla monofásica de 2 Ω en el lado de 13.2 KV del transformador 1T12450, existirá coordinación de protecciones, actuando en primer lugar la protección propia del transformador y finalizando la coordinación con en el cortacircuitos FSW363.

7.2. TABLAS DE FUSIBLES PROPUESTOS PARA TRANSFORMADORES Y ARRANQUES AGUAS ABAJO DEL CORTACIRCUITOS FSW363.

Para realizar la selección de las protecciones a los tramos de la derivación que restan se utilizó el método 2, el cual es a través de tablas de coordinación que se encuentra en las normas y fueron realizadas mediante pruebas en laboratorios de simulación.

Las tablas de las cuales se realizó la selección de dispositivos para los tramos son las siguientes:

Tabla 27. Coordinación entre fusibles tipo K (EEI-NEMA).

FUSIBLE DE PROTECCIÓN	FUSIBLE PROTEGIDO (RESPALDO)														
	6K	8K	10K	12K	15K	20K	25K	30K	40K	50K	65K	80K	100K	140K	200K
	CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO MÁXIMA [A]														
1K	-	-	45	250	470	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3650	5800	9200
2K	-	-	45	250	470	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3650	5800	9200
3K	-	-	45	250	470	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3650	5800	9200
5K	-	-	45	250	470	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3650	5800	9200
6K			190	350	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3650	5800	9200
8K				210	440	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3650	5800	9200
10K					300	540	840	1060	1340	1700	2200	2800	3650	5800	9200
12K						320	710	1050	1340	1700	2200	2800	3650	5800	9200
15K							430	870	1340	1700	2200	2800	3650	5800	9200
20K								500	1100	1700	2200	2800	3650	5800	9200
25K									660	1350	2200	2800	3650	5800	9200
30K										850	1700	2800	3650	5800	9200
40K											1100	2200	3650	5800	9200
50K												1450	3500	5800	9200
65K													2400	5800	9200
80K														4500	9200
100K														2000	9100
140K															4000

Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

Las tablas 27 y 28 muestran los valores máximos de las corrientes de falla a las cuales los fusibles EEI, NEMA se coordinan (K con K y T con T). Estas tablas están basadas en las curvas de tiempo de despeje máximo para los fusibles de protección y el 75% de las curvas de tiempo fusión mínima para los fusibles protegidos.

TABLA 28. Coordinación entre fusibles tipo T (EEI - NEMA).

FUSIBLE DE PROTECCIÓN	FUSIBLE PROTEGIDO (RESPALDO)														
	6T	8T	10T	12T	15T	20T	25T	30T	40T	50T	65T	80T	100T	140T	200T
	CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO MÁXIMA [A]														
1T	-	265	500	710	930	1200	1530	1950	2540	3200	4000	5000	6400	9700	15200
2T	-	265	500	710	930	1200	1530	1950	2540	3200	4000	5000	6400	9700	15200
3T	-	265	500	710	930	1200	1530	1950	2540	3200	4000	5000	6400	9700	15200
5T	-	265	500	710	930	1200	1530	1950	2540	3200	4000	5000	6400	9700	15200
6T			350	680	930	1200	1530	1950	2540	3200	4000	5000	6400	9700	15200
8T				430	840	1200	1530	1950	2540	3200	4000	5000	6400	9700	15200
10T					530	1010	1530	1950	2540	3200	4000	5000	6400	9700	15200
12T						620	1280	1950	2540	3200	4000	5000	6400	9700	15200
15T							720	1950	2540	3200	4000	5000	6400	9700	15200
20T								880	2000	3200	4000	5000	6400	9700	15200
25T									1200	2600	4000	5000	6400	9700	15200
30T										1300	3100	5000	6400	9700	15200
40T											1700	3800	6200	9700	15200
50T												1750	4700	9700	15200
65T													2200	9000	15200
80T														6800	15200
100T														2900	13800
140T															7500

Fuente: Ramírez Samuel. Redes de distribución de energía [4].

Los fusibles normalizados como medio de protección para los transformadores monofásicos y trifásicos a montar en poste deberán ser del Tipo K.

La siguiente tabla normaliza los fusibles Tipo K o rápido que deberán instalarse en el sistema monofásico a 7620 V y trifásico a 13200 V del SDL de las EPM, de acuerdo a la capacidad y tipo de transformador de distribución así [11]:

Tabla 29. Fusibles de expulsión tipo K normalizados para los transformadores de distribución.

FUSIBLES DE EXPULSIÓN TIPO K PARA LA PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS.			
TRANSFORMADOR MONOFÁSICO 7620 V		TRANSFORMADOR TRIFÁSICO 13200 V	
KVA	Capacidad (A) Fusible K	Tipo de conexión DYg	
		KVA	Capacidad (A) Fusible K
3	0,5	30	2
5	1	45	2
10	2	75	4
15	3	112,5	5
25	5	150	7
37,5	7	225	10
50	10	300	15
75	15	500	25
100	20	750	40
		1000	50
		1500	65

Fuente: Norma EPM. RA8-005 [11].

Los siguientes criterios fueron considerados en la selección del fusible K [11]:

- Los fusibles seleccionados presentan un mejor comportamiento de protección que el fusible tipo Dual para cierto rango de corrientes de falla al despejarlas mucho más rápido.
- La selección del fusible tuvo en cuenta el impacto de la corriente Inrush de magnetización, Cold Load y curva de daño del transformador.
- El fusible indicado en la tabla representa la capacidad mínima en amperios que garantiza la protección y coordinación segura para el transformador. La instalación de fusibles de menor capacidad causará actuación del fusible ante corrientes Inrush o fallas reflejadas desde el lado secundario del transformador. La instalación de fusibles de mayor capacidad comprometerá la protección del transformador en su curva de daño.

7.2.1. Protección propuesta para transformadores y arranques aguas abajo del arranque FSW363.

En las siguientes imágenes (12 - 25) se presentan los tramos de la derivación aguas abajo del arranque FSW363 encerradas en “blanco” a las cuales se quiere plantear una propuesta para la coordinación de protecciones. Se inicia la selección de zonas desde el arranque FSW363 hacia el exterior de la derivación.

Imagen 12. Primera zona aguas abajo del arranque FSW363.



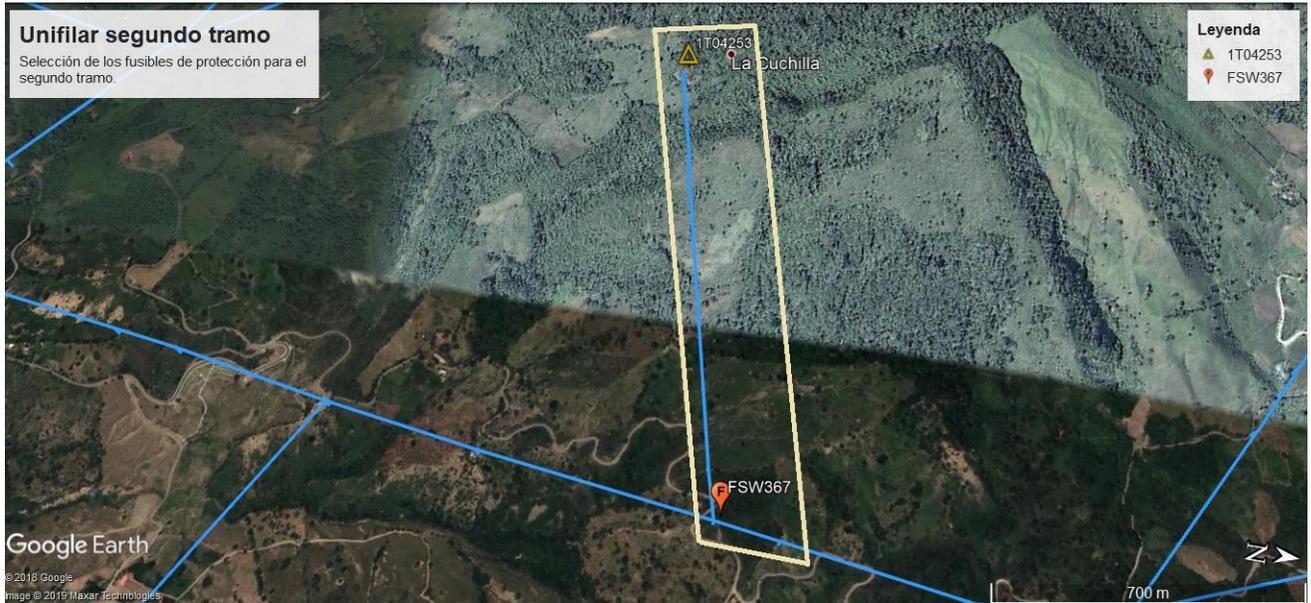
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 30. Selección de las protecciones para la primera zona.

ELEMENTO	CODIGO	CAPACIDAD [KVA]	FUSIBLE
TRANSFORMADOR	1T04254	5	1K
TRANSFORMADOR	1T04255	10	1K
CORTACIRCUITO	FSW363	-	40T
CORTACIRCUITO	SW6566	-	35T
CORTACIRCUITO	Propuesto 2	-	1T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Imagen 13. Segunda zona aguas abajo del arranque FSW363.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 31. Selecciones de las protecciones para la segunda zona.

ELEMENTO	CODIGO	CAPACIDAD [KVA]	FUSIBLE
TRANSFORMADOR	1T04253	5	1K
CORTACIRCUITO	FSW367	-	3T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Imagen 14. Tercera zona aguas abajo del arranque FSW363.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 32. Selección de las protecciones para la tercera zona.

ELEMENTO	CODIGO	CAPACIDAD [KVA]	FUSIBLE
TRANSFORMADOR	1T08087	75	4K
TRANSFORMADOR	1T04256	15	1K
CORTACIRCUITO	FSW368	-	6T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Imagen 15. Cuarta zona aguas abajo del arranque FSW363.



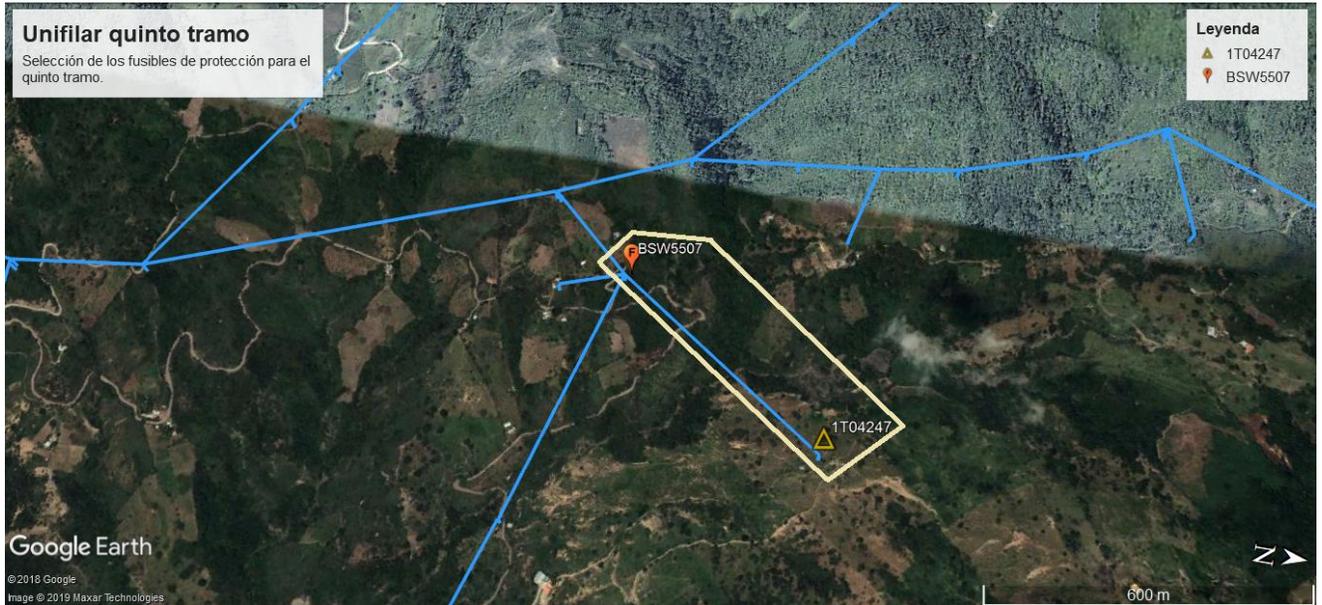
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 33. Selección de las protecciones para la cuarta zona.

ELEMENTO	CODIGO	CAPACIDAD [KVA]	FUSIBLE
TRANSFORMADOR	1T04258	30	2K
CORTACIRCUITO	BSW5927	-	5T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Imagen 16. Quinta zona aguas abajo del arranque FSW363.



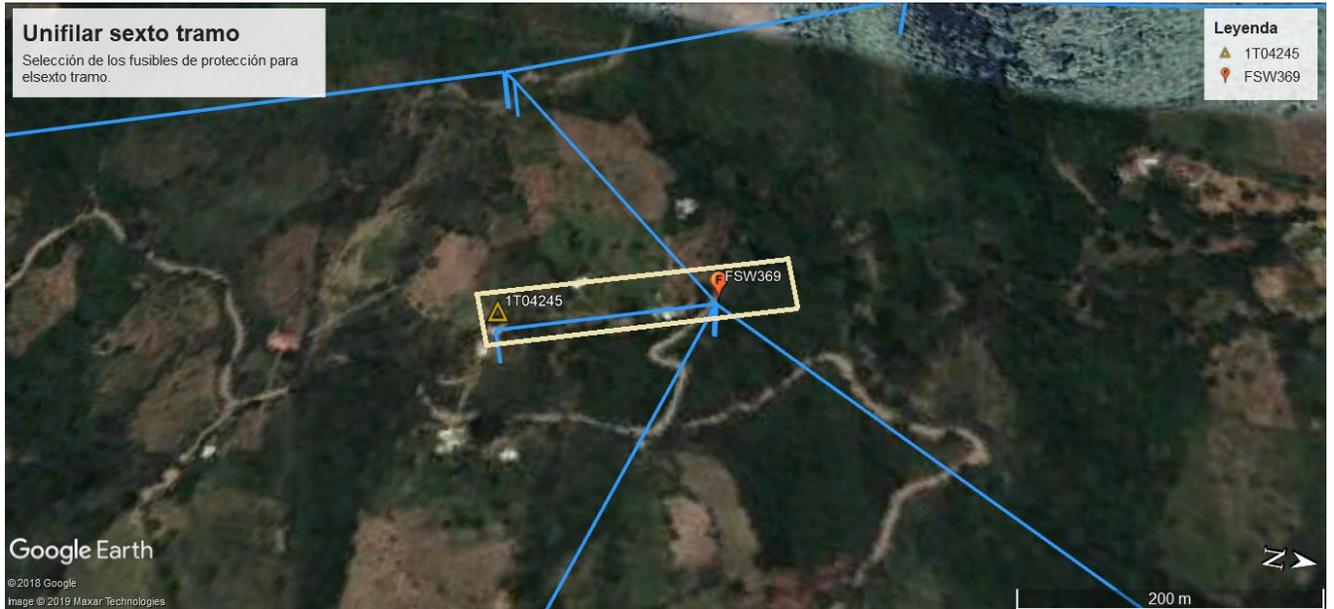
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 34. Selección de las protecciones para la quinta zona.

ELEMENTO	CODIGO	CAPACIDAD [KVA]	FUSIBLE
TRANSFORMADOR	1T04247	15	1K
CORTACIRCUITO	BSW5507	-	3T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Imagen 17. Sexta zona aguas abajo del arranque FSW363.



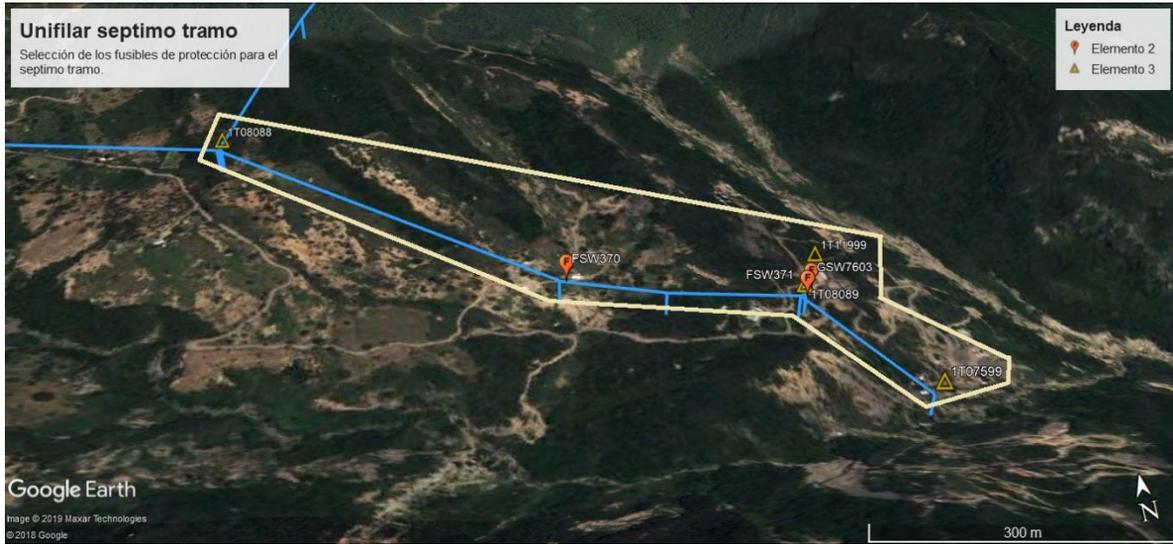
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 35. Selección de las protecciones para la sexta zona

ELEMENTO	CODIGO	CAPACIDAD [KVA]	FUSIBLE
TRANSFORMADOR	1T04245	15	1K
CORTACIRCUITO	FSW369	--	2T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Imagen 18. Séptima zona aguas abajo del arranque FSW363.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 36. Selecciones de las protecciones para la séptima zona.

ELEMENTO	CODIGO	CAPACIDAD [KVA]	FUSIBLE
TRANSFORMADOR	1T08089	15	1K
TRANSFORMADOR	1T08088	10	1K
TRANSFORMADOR	1T07599	75	4K
TRANSFORMADOR	1T11999	75	4K
CORTACIRCUITO	FSW370	-	8T
CORTACIRCUITO	FSW371	-	6T
CORTACIRCUITO	GSW7603	-	6T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Imagen 19. Octava zona aguas abajo del arranque FSW363.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 37. Selección de las protecciones para la octava zona.

ELEMENTO	CODIGO	CAPACIDAD [KVA]	FUSIBLE
TRANSFORMADOR	1T11139	75	2K
CORTACIRCUITO	RSW11255	-	5T
CORTACIRCUITO	BSW5642	-	15T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Imagen 20. Novena zona aguas abajo del arranque FSW363.



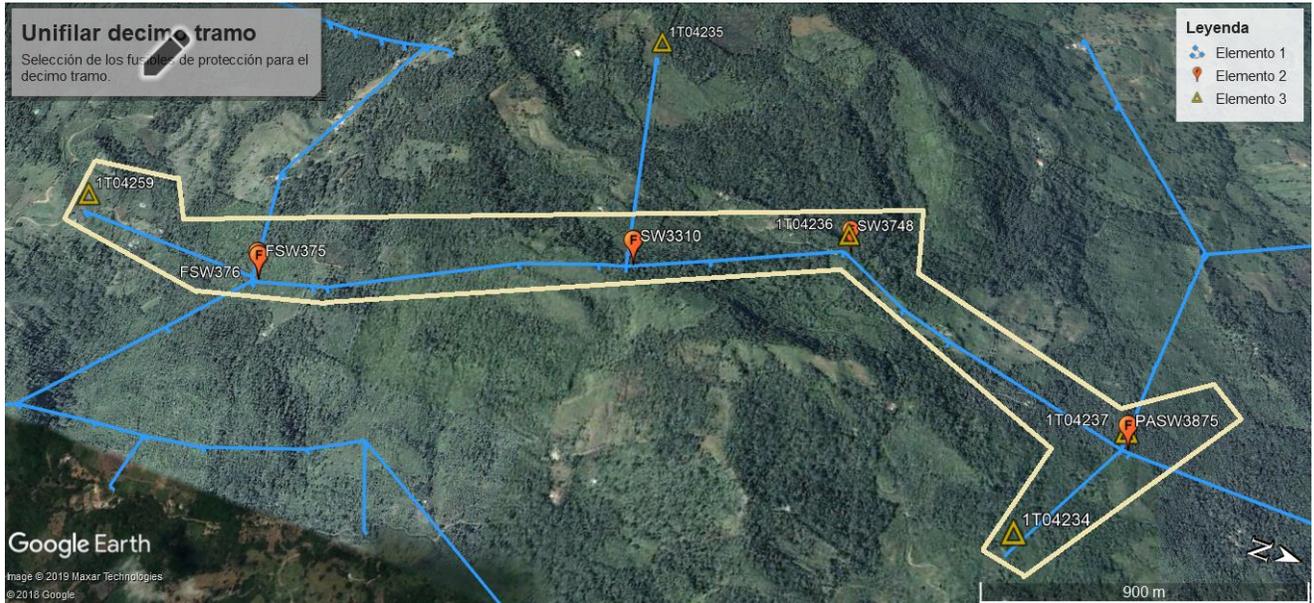
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 38. Selección de las protecciones para la novena zona.

ELEMENTO	CODIGO	CAPACIDAD [KVA]	FUSIBLE
TRANSFORMADOR	1T09827	15	1K
TRANSFORMADOR	1T04246	15	1K
TRANSFORMADOR	1T09826	37.5	3K
CORTACIRCUITO	BSW5499	-	6T
CORTACIRCUITO	SW6574	-	5T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Imagen 21. Décima zona aguas abajo del arranque FSW363.



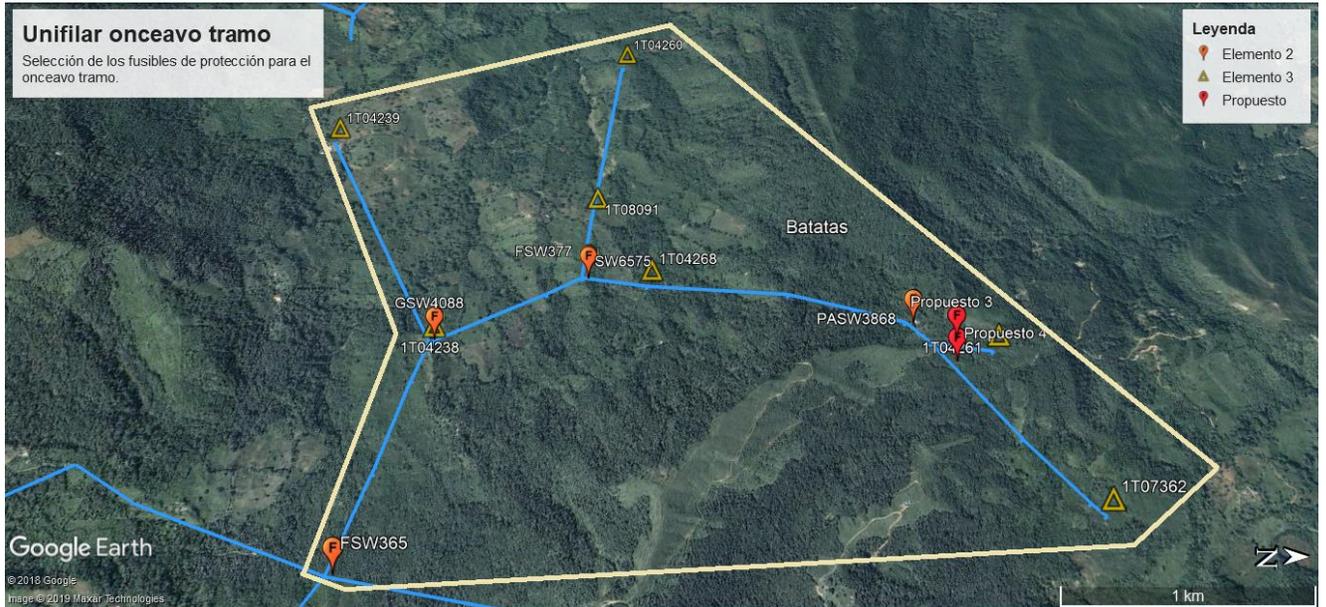
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 39. Selecciones de las protecciones para la décima zona.

ELEMENTO	CODIGO	CAPACIDAD [KVA]	FUSIBLE
TRANSFORMADOR	1T04259	15	1K
TRANSFORMADOR	1T04235	10	1K
TRANSFORMADOR	1T04236	15	1K
TRANSFORMADOR	1T04234	15	1K
TRANSFORMADOR	1T04237	15	1K
CORTACIRCUITO	FSW375	-	8T
CORTACIRCUITO	FSW376	-	3T
CORTACIRCUITO	SW3310	-	2T
CORTACIRCUITO	SW3748	-	15T
CORTACIRCUITO	PASW3875	-	3T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Imagen 22. Onceava zona aguas abajo del arranque FSW363.



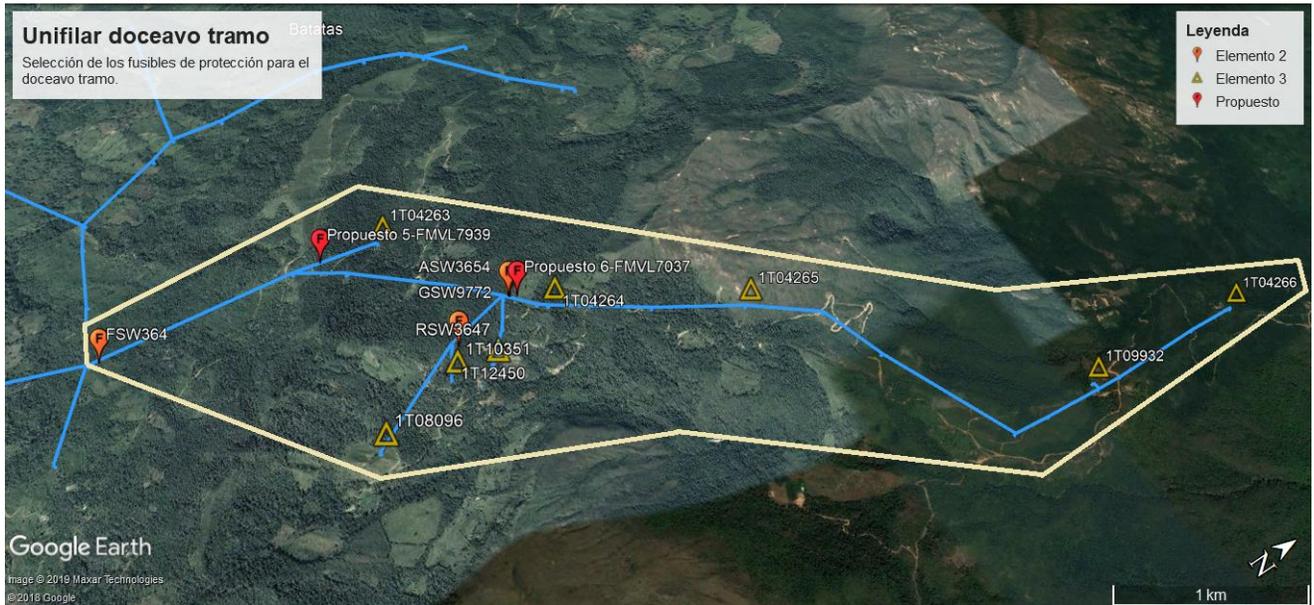
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 40. Selección de las protecciones para la onceava zona.

ELEMENTO	CODIGO	CAPACIDAD [KVA]	FUSIBLE
TRANSFORMADOR	1T04238	10	1K
TRANSFORMADOR	1T04239	10	1K
TRANSFORMADOR	1T04260	15	1K
TRANSFORMADOR	1T08091	15	1K
TRANSFORMADOR	1T04268	10	1K
TRANSFORMADOR	1T04261	15	1K
TRANSFORMADOR	1T07362	15	1K
CORTACIRCUITO	FSW365	-	10T
CORTACIRCUITO	GSW4088	-	3T
CORTACIRCUITO	SW6575	-	5T
CORTACIRCUITO	FSW377	-	6T
CORTACIRCUITO	PASW3868	-	3T
CORTACIRCUITO	Propuesto 3	-	1T
CORTACIRCUITO	Propuesto 4	-	1T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Imagen 23. Doceava zona aguas abajo del arranque FSW363.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 41. Selección de las protecciones para la doceava zona.

ELEMENTO	CODIGO	CAPACIDAD [KVA]	FUSIBLE
TRANSFORMADOR	1T04263	10	1K
TRANSFORMADOR	1T08096	15	1K
TRANSFORMADOR	1T10351	3	1K
TRANSFORMADOR	1T12450	150	8K
TRANSFORMADOR	1T04264	15	1K
TRANSFORMADOR	1T04265	5	1K
TRANSFORMADOR	1T09932	45	2K
TRANSFORMADOR	1T04266	15	1K
CORTACIRCUITO	FSW364	-	12T
CORTACIRCUITO	RSW3647	-	1T
CORTACIRCUITO	ASW3654	-	3T
CORTACIRCUITO	GSW9772	-	8T
CORTACIRCUITO	Propuesto 5	-	2T
CORTACIRCUITO	Propuesto 6	-	6T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Imagen 24. Treceava zona aguas abajo del arranque FSW363.



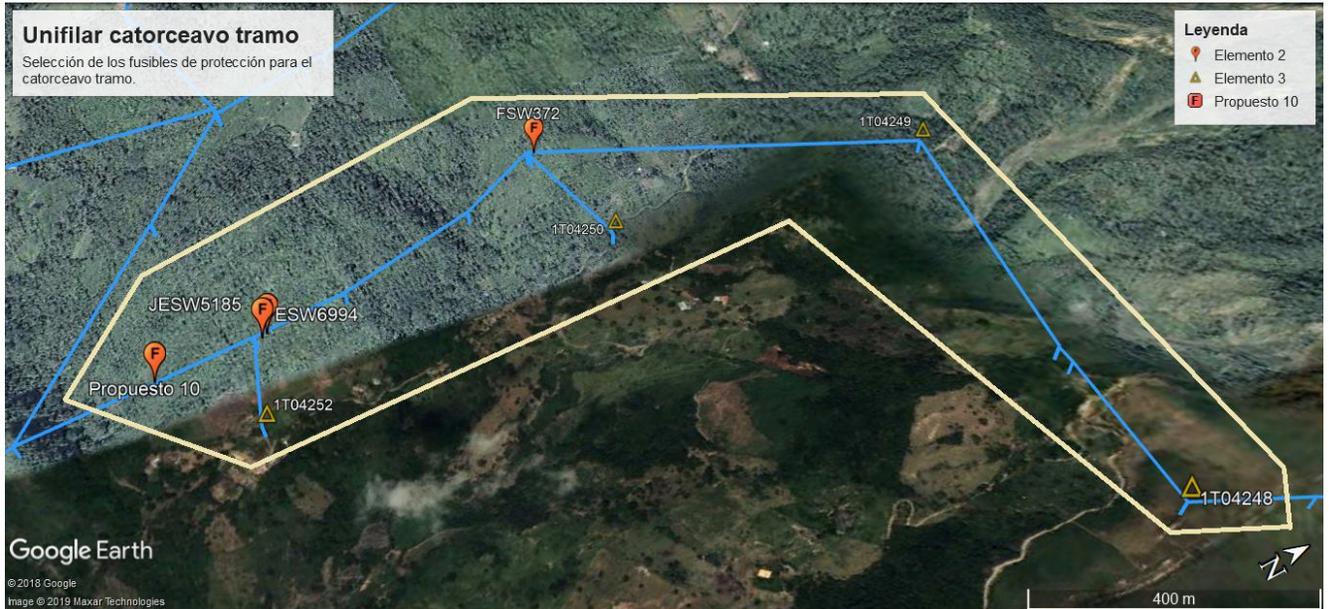
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 42. Selección de las protecciones para la treceava zona.

ELEMENTO	CODIGO	CAPACIDAD [KVA]	FUSIBLE
TRANSFORMADOR	1T04240	15	1K
TRANSFORMADOR	1T04241	15	1K
TRANSFORMADOR	1T04242	15	1K
TRANSFORMADOR	1T04243	10	1K
TRANSFORMADOR	1T12223	50	4K
CORTACIRCUITO	ASW8704	-	5T
CORTACIRCUITO	Propuesto 7	-	2T
CORTACIRCUITO	Propuesto 8	-	2T
CORTACIRCUITO	Propuesto 9	-	6T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Imagen 25. Catorceava zona aguas abajo del arranque FSW363.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 43. Selección de las protecciones para la treceava zona.

ELEMENTO	CODIGO	CAPACIDAD [KVA]	FUSIBLE
TRANSFORMADOR	1T04252	15	1K
TRANSFORMADOR	1T04250	10	1K
TRANSFORMADOR	1T04249	10	1K
TRANSFORMADOR	1T04248	15	1K
CORTACIRCUITO	JESW5185	-	3T
CORTACIRCUITO	ESW6994	-	8T
CORTACIRCUITO	FSW372	-	2T
CORTACIRCUITO	Propuesto 10	-	10T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En las tablas anteriores (30 a 43), se visualiza los fusibles seleccionados para cada transformador y arranque de los tramos escogidos aguas abajo del arranque FSW363.

Tabla 44. Selección de los fusibles de protección para los transformadores aguas abajo del arranque FSW363.

CODIGO DE TRANSFORMADOR	DEMANDA [WH]	POTENCIA [KVA]	FASES	VOLTAJE [KV]	CORRIENTE NOMINAL [A]	FUSIBLE
1T04234	3319	15	AC	13,2	1,1364	1K
1T04235	568	10	BC	13,2	0,7576	1K
1T04236	488	15	BC	13,2	1,1364	1K
1T04237	523	15	BC	13,2	1,1364	1K
1T04238	363	10	BC	13,2	0,7576	1K
1T04239	351	10	AB	13,2	0,7576	1K
1T04240	1344	15	AB	13,2	1,1364	1K
1T04241	526	15	AB	13,2	1,1364	1K
1T04242	350	15	AB	13,2	1,1364	1K
1T04243	654	10	AB	13,2	0,7576	1K
1T04244	8189	25	BC	13,2	1,8939	2K
1T04245	2858	15	AC	13,2	1,1364	1K
1T04246	0	15	BC	13,2	1,1364	1K
1T04247	281	15	BC	13,2	1,1364	1K
1T04248	604	15	AB	13,2	1,1364	1K
1T04249	2145	10	AB	13,2	0,7576	1K
1T04250	3191	10	AB	13,2	0,7576	1K
1T04251	688	15	BC	13,2	1,1364	1K
1T04252	4958	15	AB	13,2	1,1364	1K
1T04253	197	5	BC	13,2	0,3788	1K
1T04254	1584	5	AC	13,2	0,3788	1K
1T04255	949	10	AB	13,2	0,7576	1K
1T04256	1510	15	AB	13,2	1,1364	1K
1T04258	3322	30	ABC	13,2	1,3122	2K
1T04259	682	15	BC	13,2	1,1364	1K
1T04260	888	15	BC	13,2	1,1364	1K
1T04261	218	15	BC	13,2	1,1364	1K
1T04262	0	15	BC	13,2	1,1364	1K
1T04263	218	10	BC	13,2	0,7576	1K
1T04264	447	15	BC	13,2	1,1364	1K
1T04265	168	5	AC	13,2	0,3788	1K
1T04266	98	15	BC	13,2	1,1364	1K
1T04267	0	10	BC	13,2	0,7576	1K
1T04268	188	10	AC	13,2	0,7576	1K
1T07362	508	15	AB	13,2	1,1364	1K
1T07599	21440	75	ABC	13,2	3,2804	4K
1T08087	3532	75	ABC	13,2	3,2804	4K
1T08088	1174	10	AC	13,2	0,7576	1K

1T08089	2916	15	BC	13,2	1,1364	1K
1T08091	461	15	BC	13,2	1,1364	1K
1T08096	1842	15	AC	13,2	1,1364	1K
1T08098		10	BC	13,2	0,7576	1K
1T09826	279	37,5	BC	13,2	2,8409	3K
1T09827	3297	15	BC	13,2	1,1364	1K
1T09932	0	45	ABC	13,2	1,9682	2K
1T10164	27720	225	ABC	13,2	9,8412	10K
1T10351	1041	3	CN	7,6	0,3947	1K
1T11139	0	30	ABC	13,2	1,3122	2K
1T11999	16560	75	ABC	13,2	3,2804	4K
1T12223	8510	50	AB	13,2	3,7879	4K
1T12450	0	150	ABC	13,2	6,5608	8K

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la tabla anterior (tabla 44), se presenta los transformadores aguas abajo del arranque FSW363 con su respectivo código Spard, demanda, capacidad, conexión de fases, nivel de tensión, corriente nominal y por último la selección de la protección contra sobrecorriente. Estas protecciones son cortacircuitos o fusibles de expulsión tipo K (acción rápida), los cuales se eligieron por sus adecuadas características de protección para los transformadores.

En la tabla 45, se presenta la selección de los fusibles para protección de los arranques e incluyendo en la lista 10 cortacircuitos más (tabla 46), con sus respectivos fusibles propuestos los cuales están distribuidos por toda la derivación. Los fusibles seleccionados para todos los arranques son de expulsión tipo T (acción lenta), estos se eligieron de acuerdo a las necesidades específicas de protección que se requería en la derivación aguas abajo del arranque FSW363.

Tabla 45. Selección de los fusibles de protección para los cortacircuitos aguas abajo del arranque FSW363.

Arranque	Ubicación	Protección (Fusible)
ASW3654	AYACUCHO	3T
ASW8704	VRDA AYACUCHO	5T
BSW5499	VEREDA LA SELVA	6T
BSW5507	KDX 80 LA SELVA	3T
BSW5642	VRD AYACUCHO	15T
BSW5927	KDX 8 VEREDA OROPE	5T
BSW6011	VEREDA AYACUCHO	25T
ESW6994	VDA AYACUCHO	8T
FSW363	LA DONJUANA	40T
FSW364	VEREDA MORRETON	12T
FSW365	ARRANQUE MORRETON	10T
FSW367	ARRANQUE VRDA MARACAICITO	3T
FSW368	ARRANQUE FINCA EL TRIUNFO	6T
FSW369	ARRANQUE MINA LA CARLOTA	2T
FSW370	MINA COOPSELVA	8T
FSW371	MINA COOPSELVA	6T
FSW372	ARRANQUE LA PLAYA	2T
FSW375	VEREDA LA SELVA	8T
FSW376	VEREDA LA SELVA	3T
FSW377	VEREDA MORRETON	6T
GSW4088	MORRETON	3T
GSW7603	VEREDA LA SELVA	6T
GSW9772	MINA CAMILA	8T
JESW5185	HACIA LA VDA AYACUCHO	3T
PASW3744	VDA AYACUCHO	5T
PASW3746	ARRANQUE A AYACUCHO-MORRETON	20T
PASW3868	VEREDA AYACUCHO	3T
PASW3875	VEREDA EL MORRETON	3T
RSW3647	VDA AYACUCHO	1T
RSW11255	LA DONJUANA	5T
SW3310	ARRANQUE VEREDA MORRETON	2T
SW3748	VRDA LA MORRETON	15T
SW6566	VEREDA LA CUCHILLA	35T
SW6574	LA DONJUANA	5T
SW6575	VEREDA MORRETON	5T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 46. Selección de los fusibles de protección para los cortacircuitos propuestos aguas abajo del arranque FSW363.

Arranque	Ubicación	Protección (Fusible)
Propuesto 1	VEREDA LA SELVA	10T
Propuesto 2	VEREDA LA CUCHILLA	1T
Propuesto 3	VEREDA AYACUCHO	1T
Propuesto 4	VEREDA AYACUCHO	1T
Propuesto 5	VEREDA MORRETON	2T
Propuesto 6	AYACUCHO	6T
Propuesto 7	VRDA AYACUCHO	2T
Propuesto 8	VRDA AYACUCHO	2T
Propuesto 9	LA DONJUANA	6T
Propuesto 10	VDA AYACUCHO	10T

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

8. IMPACTO EN LOS INDICADORES DE CALIDAD SAIDI Y SAIFI.

8.1. Antecedentes del impacto al indicador SAIDI.

Realizar una propuesta para mejorar la calidad del servicio de energía hacia los usuarios finales es el motivo final de este trabajo y como tal es el objetivo principal de las empresas distribuidoras de energía en este caso CENS S.A E.S.P.

El efectuar una adecuada selección de las protecciones, mantiene el servicio de energía a la mayor cantidad de usuarios disponibles, ante una posible falla en el sistema de distribución local y de esta forma contribuye a la disminución de porcentajes en los indicadores de calidad del servicio, evitando penalización a la empresa por los entes reguladores.

8.1.1. Impacto al indicador SAIDI en el 2018.

En las tablas 47 y 49, se registra la cantidad de tiempo fuera de servicio que aportan los arranques del circuito PALDONJUANA al indicador SAIDI, durante los periodos indicados respectivamente.

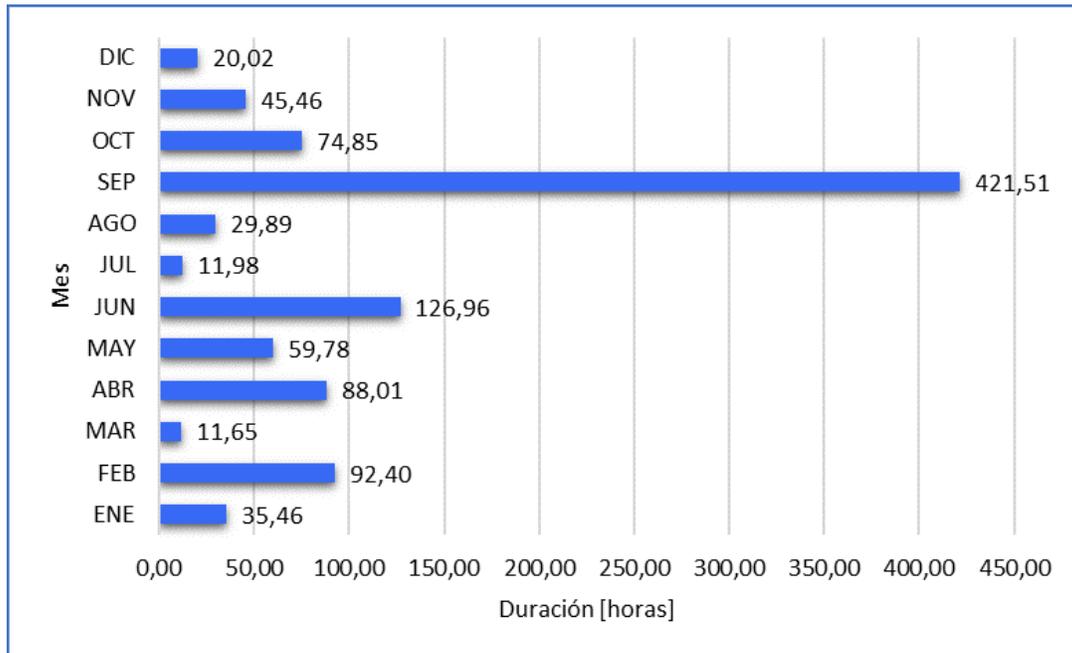
Tabla 47. Indicador SAIDI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2018.

SAIDI DEL CIRCUITO PALDONJUANA EN LOS ARRANQUES DEL 2018						
MES	Duración [Minutos]	Usuarios sin servicio	DNA [KWH]	SAIDI [Horas]	VALOR [\$/KWH]	PÉRDIDAS DE DINERO[\$]
ENE	8061	784	831,34	35,46	490,17	\$ 407.498
FEB	15388	1070	2428,02	92,40	494,14	\$ 1.199.782
MAR	5063	410	1492,00	11,65	516,99	\$ 771.349
ABR	11801	1329	2878,79	88,01	508,92	\$ 1.465.074
MAY	7507	1419	840,49	59,78	503,41	\$ 423.111
JUN	13564	1668	3429,20	126,96	516,67	\$ 1.771.765
JUL	5633	379	349,33	11,98	521,27	\$ 182.095
AGO	5765	924	1020,38	29,89	519,33	\$ 529.914
SEP	16181	4642	4001,81	421,51	523,21	\$ 2.093.787
OCT	10494	1271	1992,97	74,85	521,77	\$ 1.039.872
NOV	10202	794	1626,33	45,46	523,01	\$ 850.587
DIC	2063	1729	903,40	20,02	530,52	\$ 479.272
TOTAL	111722	16419	21794,06	1017,96	6169,41	\$ 11.214.105
Promedio				84,83	514,12	\$ 934.509

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 43, se visualiza una gran cantidad de tiempo aportado al indicador SAIDI durante el mes de Septiembre, superando en este mes incluso la cantidad de usuarios que tiene el circuito PALDONJUANA (2970 usuarios). De igual manera en la gráfica 45, se observa que durante el mes de Junio hubo una gran cantidad de horas fuera de servicio aportadas al indicador.

Gráfica 43. SAIDI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

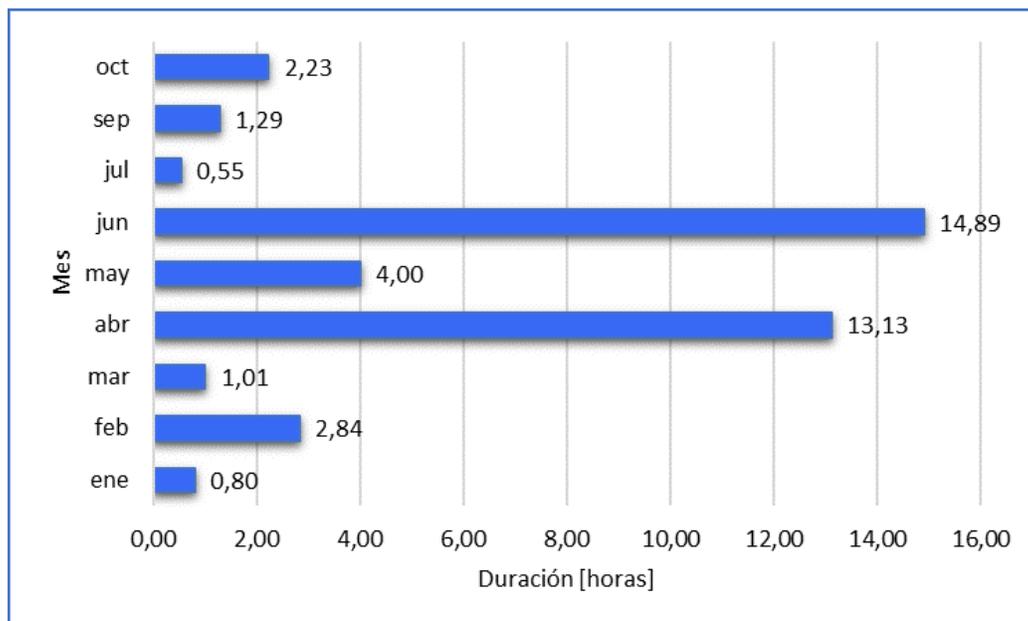
En las tablas 48 y 50 se registra la cantidad de horas fuera de servicio que aporta los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 con respecto a todos los usuarios el circuito PALDONJUANA. Para el año 2018 los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 aportó al indicador SAIDI de todo el circuito el 4% aproximadamente de horas sin servicio de energía y en lo corrido del año hasta Junio del 2019 aportó el 4.5% aproximadamente de todo el circuito.

Tabla 48. Indicador SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2018.

SAIDI AGUAS ABAJO DEL FSW363 EN LOS ARRANQUES DEL 2018						
MES	Duración [Minutos]	Usuarios sin servicio	DNA [KWH]	SAIDI [Horas]	VALOR [\$/KWH]	PÉRDIDAS DE DINERO[\$]
ene	3876	37	239,70	0,80	490,17	\$ 117.494
feb	7899	64	738,48	2,84	494,14	\$ 364.913
mar	3217	56	974,03	1,01	516,99	\$ 503.564
abr	8011	292	2112,09	13,13	508,92	\$ 1.074.885
may	3009	237	223,39	4,00	503,41	\$ 112.457
jun	6822	389	2462,73	14,89	516,67	\$ 1.272.419
jul	3136	31	74,78	0,55	521,27	\$ 38.981
sep	1098	209	594,73	1,29	523,21	\$ 311.169
oct	1957	203	144,68	2,23	521,77	\$ 75.490
TOTAL	39025	1518	7564,61	40,74	4596,55	\$ 3.871.369
Promedio				4,53	510,73	\$ 430.152

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 44. SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 44, se observa una gran cantidad de horas fuera de servicio lo cual aporta al indicador SAIDI en el mes de Junio con 14,89 horas de desconexión, incluso superando en este mes la cantidad de usuarios aguas abajo del arranque FSW363 (225 usuarios).

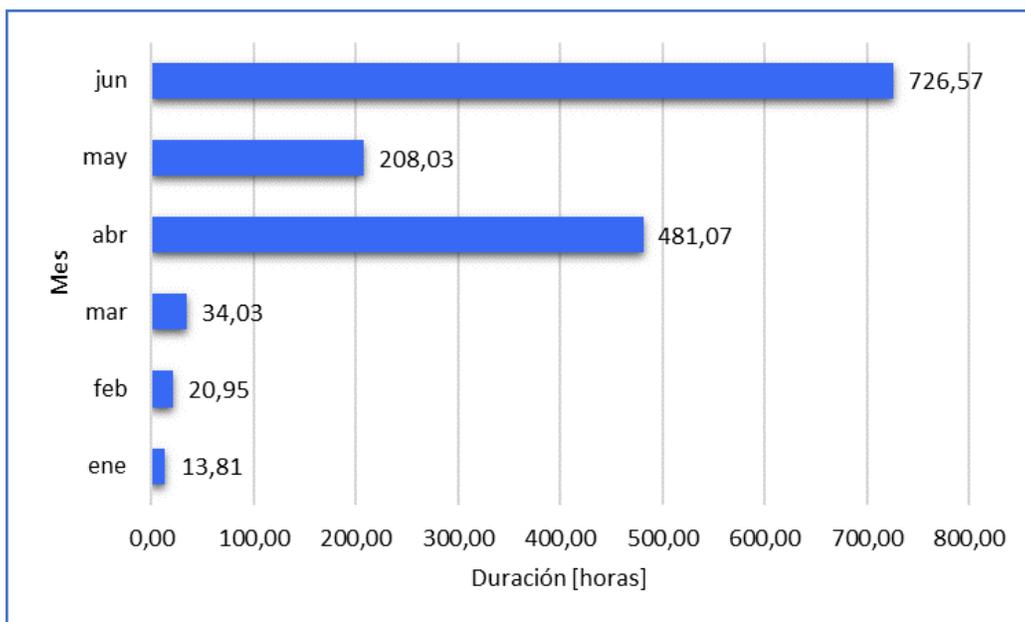
8.1.2. Impacto al indicador SAIDI en el 2019.

Tabla 49. Indicador SAIDI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2019.

SAIDI DEL CIRCUITO PALDONJUANA EN LOS ARRANQUES DEL 2019						
MES	Duración [Minutos]	Usuarios sin servicio	DNA [KWH]	SAIDI [Horas]	VALOR [\$/KWH]	PÉRDIDAS DE DINERO[\$]
ene	5988	411	704,09	13,81	523,68	\$ 368.718
feb	5287	706	657,58	20,95	531,36	\$ 349.412
mar	8353	726	4775,13	34,03	550,86	\$ 2.630.428
abr	30486	2812	6612,19	481,07	542,02	\$ 3.583.939
may	11947	3103	4072,89	208,03	519,61	\$ 2.116.314
jun	64192	2017	16407,71	726,57	523,33	\$ 8.586.647
TOTAL	126253	9775	33229,59	1484,46	3190,86	\$ 17.635.458
Promedio				247,41	531,81	\$ 2.939.243

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 45. SAIDI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2019.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

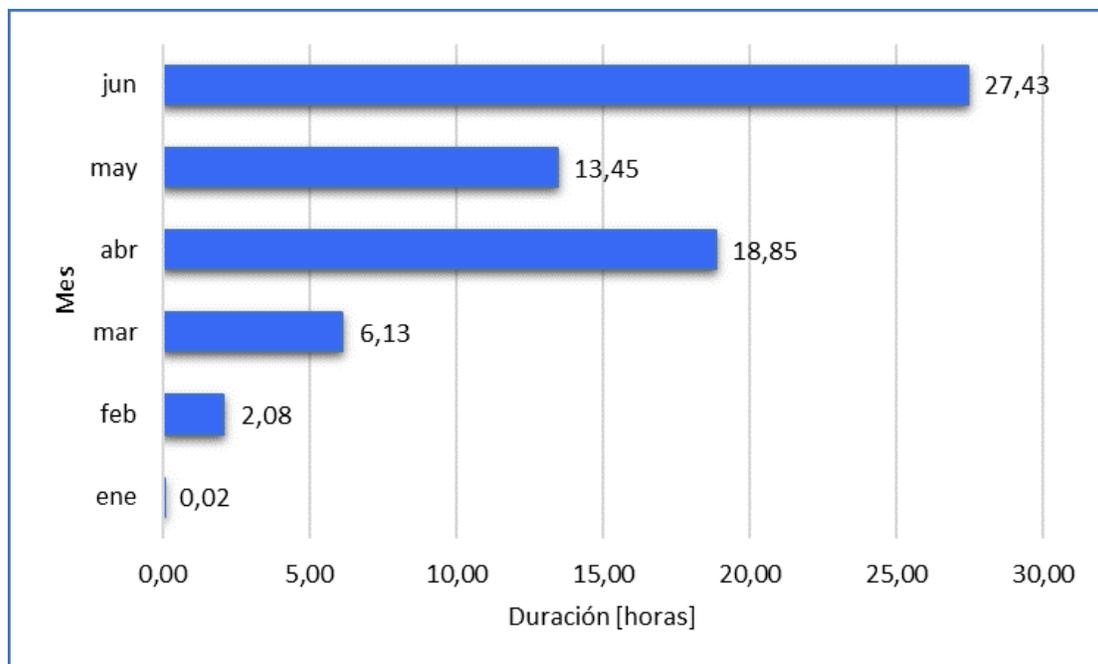
De las tablas 47 a 52, se observa además que registran la cantidad de energía no entregada (demanda no atendida) por las fallas ocurridas en los arranques y el promedio de horas de desconexión que percibió cada usuario en cada uno de los periodos de tiempo analizados.

Tabla 50. Indicador SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2019.

SAIDI AGUAS ABAJO DEL FSW363 EN LOS ARRANQUES DEL 2019						
MES	Duración [Minutos]	Usuarios sin servicio	DNA [KWH]	SAIDI [Horas]	VALOR [\$/KWH]	PÉRDIDAS DE DINERO[\$]
ene	459	7	19,379	0,02	523,68	\$ 10.148
feb	1657	224	274,352	2,08	531,36	\$ 145.780
mar	3488	313	4346,673	6,13	550,86	\$ 2.394.408
abr	7466	450	4161,247	18,85	542,02	\$ 2.255.479
may	4541	528	2500,442	13,45	519,61	\$ 1.299.255
jun	14211	344	13159,181	27,43	523,33	\$ 6.886.594
TOTAL	31822	1866	24461,274	67,97	3190,86	\$ 12.991.664
Promedio				11,33	531,81	\$ 2.165.277

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 46. SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2019.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 46, se observa una gran cantidad de horas fuera de servicio en el mes de Junio lo cual aporta al indicador SAIDI con 27,43 horas de desconexión, incluso superando en este mes la cantidad de usuarios aguas abajo del arranque FSW363.

8.1.3. Impacto al indicador SAIDI por coordinación de protecciones.

8.1.3.1. SAIDI por coordinación de protecciones en el 2018.

Tabla 51. Indicador SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2018.

SAIDI DE LOS ARRANQUES AGUAS ABAJO DEL CORTACIRCUITO FSW363 POR FALLAS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN EL 2018						
MES	Duración [Minutos]	Usuarios sin servicio	DNA [KWH]	SAIDI [Horas]	VALOR [\$/KWH]	PÉRDIDAS DE DINERO[\$]
ene	2057	7	67,45	1,07	490,17	\$ 33.064
feb	1873	6	15,57	0,83	494,14	\$ 7.692
mar	1303	20	964,89	1,93	516,99	\$ 498.840
abr	1658	214	1655,20	26,28	508,92	\$ 842.365
may	218	8	18,62	0,13	503,41	\$ 9.376
oct	78	189	117,85	1,09	521,77	\$ 61.489
TOTAL	7187	444	2839,59	31,33	3035,4	\$ 1.452.826
Promedio				5,22	505,90	\$ 242.138

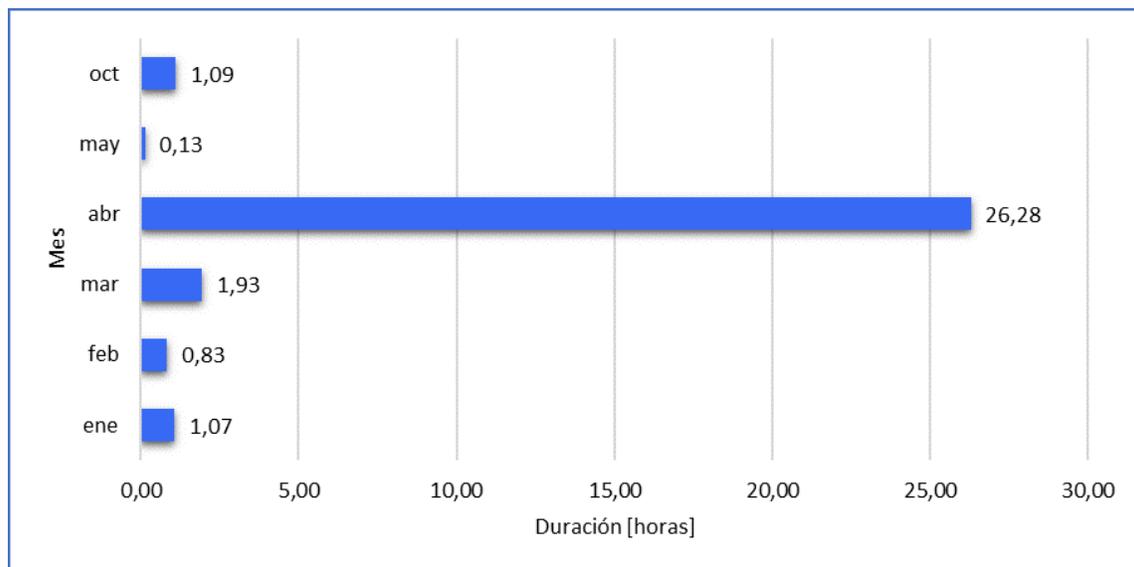
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 52. Indicador SAIDI de los arranques con respecto a los usuarios aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2018.

SAIDI AGUAS ABAJO DEL FSW363 EN LOS ARRANQUES DEL 2018				
MES	Duración [Minutos]	Usuarios sin servicio	DNA [KWH]	SAIDI [Horas]
ene	3876	37	239,70	10,62
feb	7899	64	738,48	37,45
mar	3217	56	974,03	13,34
abr	8011	292	2112,09	173,27
may	3009	237	223,39	52,82
jun	6822	389	2462,73	196,57
jul	3136	31	74,78	7,20
sep	1098	209	594,73	17,00
oct	1957	203	144,68	29,43
TOTAL	39025	1518	7564,61	537,72
Promedio				59,75

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 47. SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la tabla 51, se observa la cantidad de horas aportadas por desconexión al indicador SAIDI, aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas debido a una mala selección de las protecciones. Esta causa contribuye con el 5,8% de desconexiones al indicador y dejó de suministrar en ese tiempo un total de energía de 2839,59 KWh con respecto a todos los usuarios aguas abajo del arranque FSW363 durante el año 2018. A través de la gráfica 47, se visualiza que el mes de Abril contribuyó con 26,28 horas sin servicio de energía al indicador; incluso sacó 214 usuarios en ese mes, mostrando de esta manera la gran falencia en la selección de protecciones aguas abajo del arranque.

8.1.3.2. SAIDI por coordinación de protecciones en el 2019.

Tabla 53. Indicador SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2019.

SAIDI DE LOS ARRANQUES AGUAS ABAJO DEL CORTACIRCUITO FSW363 POR FALLAS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN EL 2019						
MES	Duración [Minutos]	Usuarios sin servicio	DNA [KWH]	SAIDI [Horas]	VALOR [\$/KWH]	PÉRDIDAS DE DINERO[\$]
ene	459	7	19.379	0.24	523.68	\$ 10,148
feb	1251	202	254.502	18.72	531.36	\$ 135,232
mar	2102	76	2263.219	11.83	550.86	\$ 1,246,717
abr	1843	6	30.688	0.82	542.02	\$ 16,634
may	1208	47	271.945	4.21	519.61	\$ 141,305
jun	7442	78	4222.425	43.00	523.33	\$ 2,209,722
TOTAL	14305	416	7062.158	78.81	3190.86	\$ 3,759,758
Promedio				13.14	531.81	\$ 626,626

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 54. Indicador SAIDI de los arranques con respecto a los usuarios aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2019.

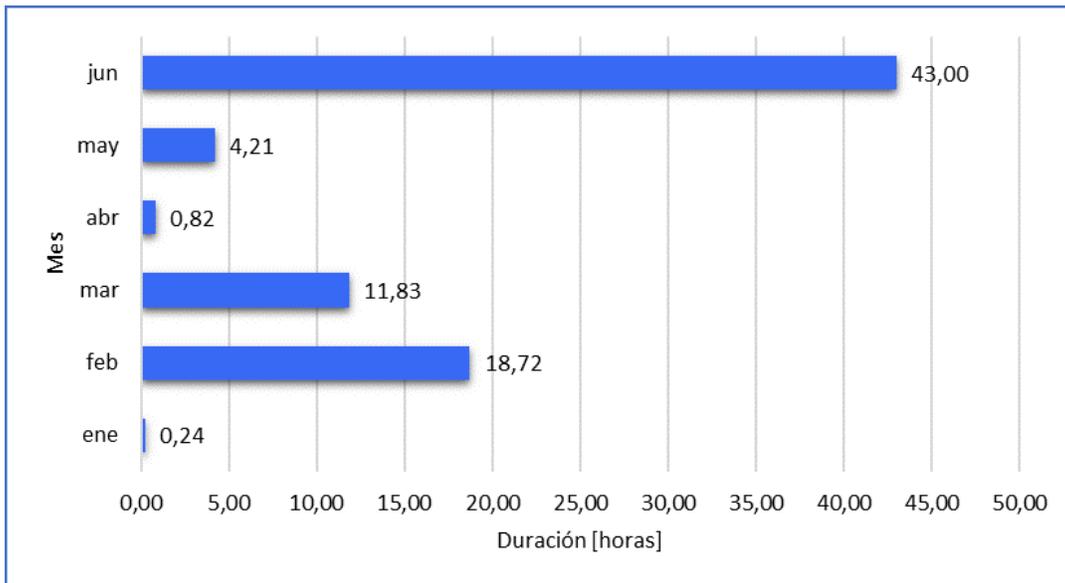
SAIDI AGUAS ABAJO DEL FSW363 EN LOS ARRANQUES DEL 2019				
MES	Duración [Minutos]	Usuarios sin servicio	DNA [KWH]	SAIDI [Horas]
ene	459	7	19.379	0.24
feb	1657	224	274.352	27.49
mar	3488	313	4346.673	80.87
abr	7466	450	4161.247	248.87
may	4541	528	2500.442	177.60
jun	14211	344	13159.181	362.12
TOTAL	31822	1866	24461.274	897.19
Promedio				149.53

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En las tablas anteriores (47 – 54), se visualiza la cantidad de pérdidas en dinero que acarrearán esos eventos de desconexión de los arranques en cada uno de los periodos registrados.

En la tabla 53, se observa la cantidad de horas aportadas por desconexión al indicador SAIDI, aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas debido a una mala selección de las protecciones. Esta causa contribuye con el 8,78% de desconexiones al indicador y dejó de suministrar en ese tiempo un total de energía de 7062,158 KWh con respecto a todos los usuarios aguas abajo del arranque FSW363 durante Enero a Junio del año 2019. A través de la gráfica 48, se visualiza que el mes de Febrero contribuyó con 18,72 horas sin servicio de energía al indicador; incluso sacó 202 usuarios en ese mes, mostrando de esta manera que la falencia en selección de protecciones aguas abajo del arranque continuo sin tomarse medidas correctivas.

Gráfica 48. SAIDI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2019.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

De \$ 11.214.105 perdidos durante el periodo del 2018 por desconexiones de arranques en el circuito Paldonjuana, el 35% (\$ 3.871.369) de este dinero perdido se debe a los eventos presentados en la derivación FSW363 y del 100% (\$ 3.871.369) del dinero perdido en la derivación, el 38% (\$ 1.452.826) fue debido a

una inadecuada coordinación de protecciones. De igual forma de \$ 17.635.458 perdidos durante los primeros 6 meses del 2019 por desconexiones de arranques en el circuito Paldonjuana, el 74% (\$ 12.991.664) de este dinero perdido se debe a los eventos presentados en la derivación FSW363 y del 100% (\$ 12.991.664) del dinero perdido en la derivación, el 29% (\$ 3.759.758) fue debido a una inadecuada coordinación de protecciones.

8.2. Antecedentes del impacto al indicador SAIFI.

8.2.1. Impacto al indicador SAIFI en el 2018.

En las tablas 55 y 57, se registra la cantidad de veces fuera de servicio que aportan los arranques del circuito PALDONJUANA al indicador SAIFI, durante los periodos indicados respectivamente.

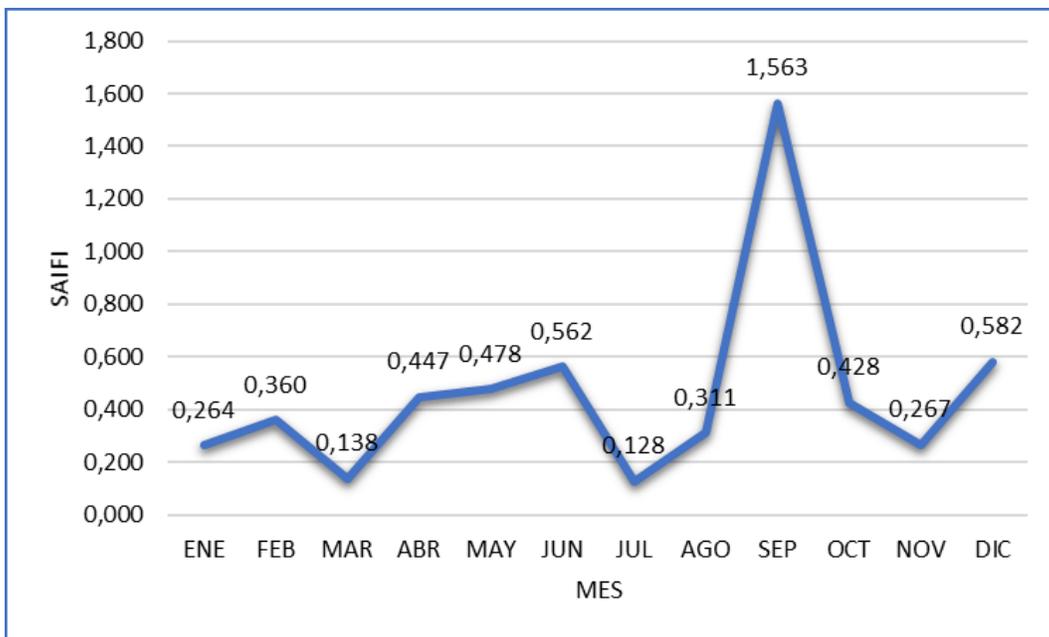
Tabla 55. Indicador SAIFI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2018.

SAIFI DEL CIRCUITO PALDONJUANA DE LOS ARRANQUES EN EL 2018		
MES	Usuarios sin servicio	SAIFI
ENE	784	0,264
FEB	1070	0,360
MAR	410	0,138
ABR	1329	0,447
MAY	1419	0,478
JUN	1668	0,562
JUL	379	0,128
AGO	924	0,311
SEP	4642	1,563
OCT	1271	0,428
NOV	794	0,267
DIC	1729	0,582
TOTAL	16419	5,528
Promedio	1368	0,461

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 49, se visualiza una gran cantidad de veces aportado al indicador SAIFI durante el mes de Septiembre en el 2018, superando en este mes incluso la cantidad de usuarios que tiene el circuito PALDONJUANA (2970 usuarios). De igual manera en la gráfica 51, se observa que durante el mes de Mayo hubo una gran cantidad de veces fuera de servicio aportadas al indicador en el periodo del 2019. Incluso en ambos periodos durante los dos meses nombrados todos usuarios percibieron al menos una desconexión.

Gráfica 49. SAIFI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

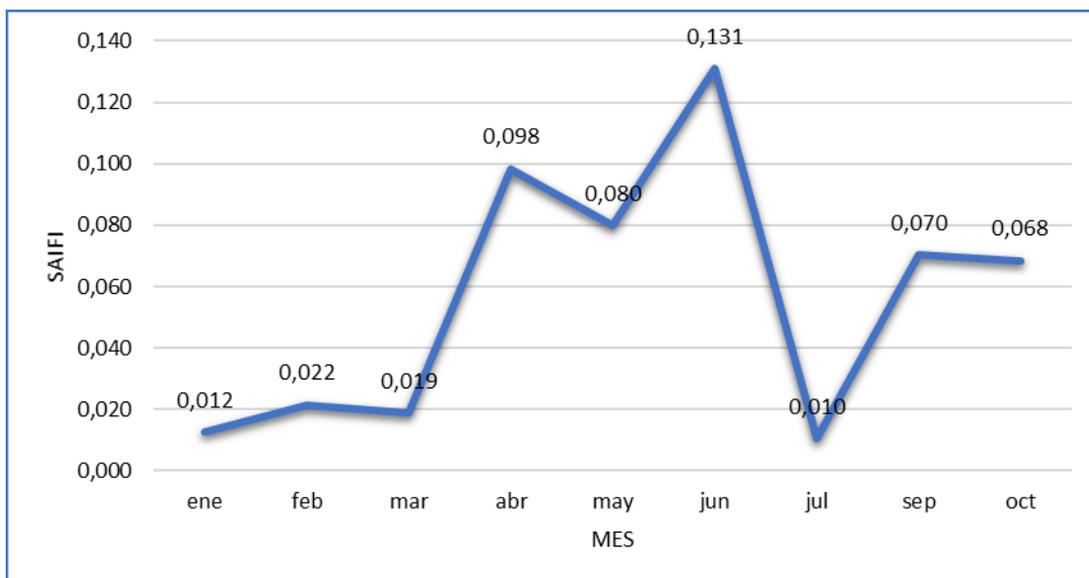
En las tablas 56 y 58 se registra la cantidad de veces fuera de servicio que aporta los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 con respecto a todos los usuarios el circuito PALDONJUANA. Para el año 2018 los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 aportó al indicador SAIFI de todo el circuito el 9,25% aproximadamente de veces de desconexión de energía y en el periodo comprendido de Enero - Junio del 2019 aportó el 19,09% aproximadamente de todo el circuito.

Tabla 56. Indicador SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2018.

SAIFI EN LA DERIVACIÓN FSW363 DE LOS ARRANQUES EN EL 2018		
MES	Usuarios sin servicio	SAIFI
ene	37	0,012
feb	64	0,022
mar	56	0,019
abr	292	0,098
may	237	0,080
jun	389	0,131
jul	31	0,010
sep	209	0,070
oct	203	0,068
TOTAL	1518	0,511
Promedio	169	0,057

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 50. SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 50, se observa una gran cantidad de veces fuera de servicio lo cual aporta al indicador SAIFI en el mes de Junio con 0,131 veces de desconexión, incluso superando en este mes la cantidad de usuarios aguas abajo del arranque FSW363 (225 usuarios).

8.2.2. Impacto al indicador SAIFI en el 2019.

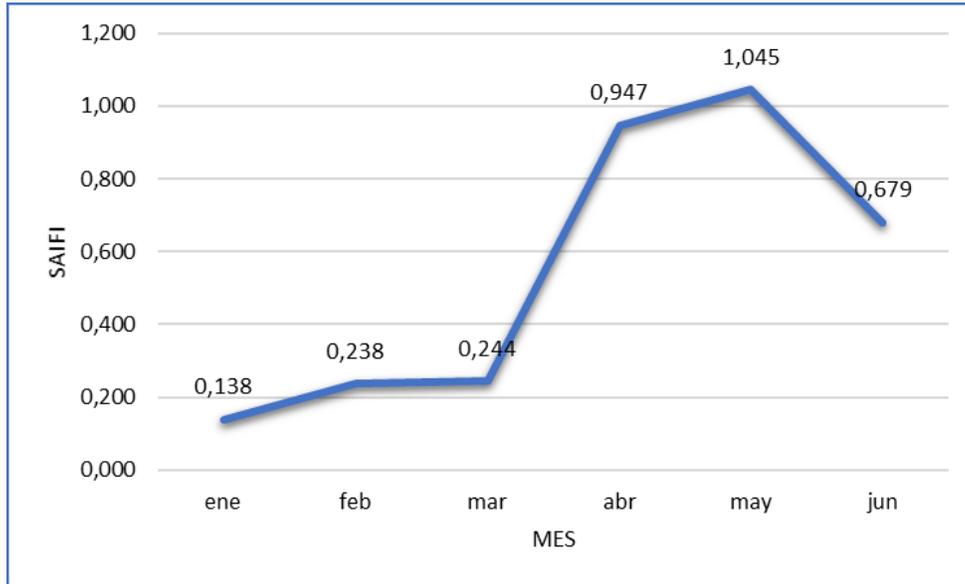
De las tablas 55 a 61, se observa el promedio de veces de desconexión que percibió cada usuario en cada uno de los periodos de tiempo analizados

Tabla 57. Indicador SAIFI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2019.

SAIFI DEL CIRCUITO PALDONJUANA DE LOS ARRANQUES EN EL 2019		
MES	Usuarios sin servicio	SAIFI
ene	411	0,138
feb	706	0,238
mar	726	0,244
abr	2812	0,947
may	3103	1,045
jun	2017	0,679
TOTAL	9775	3,291
Promedio	1629	0,549

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 51. SAIFI de los arranques del circuito PALDONJUANA en el 2019.



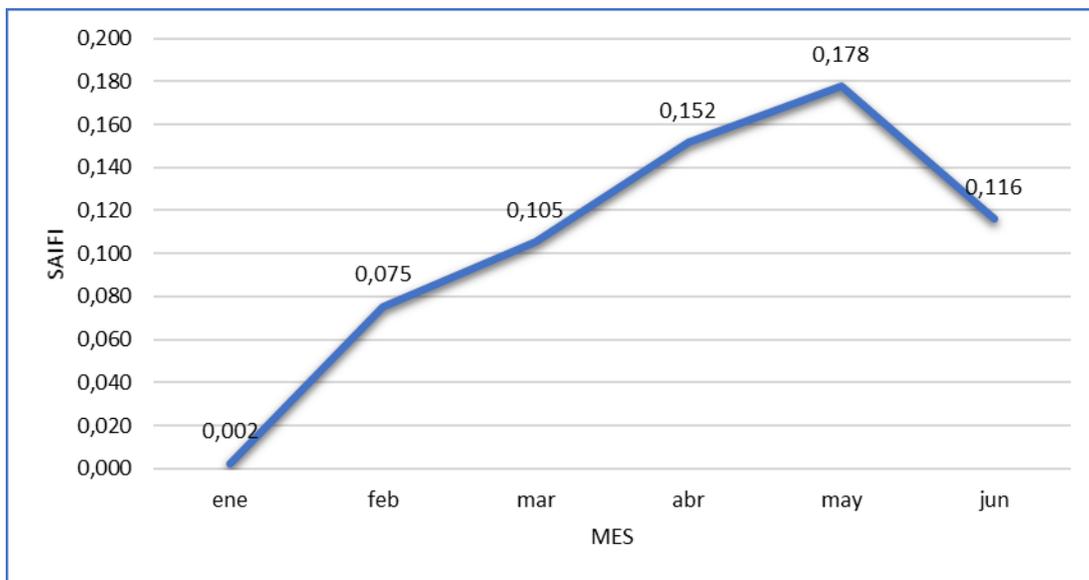
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 58. Indicador SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 con los usuarios del circuito Paldonjuana en el 2019.

SAIFI EN LA DERIVACIÓN FSW363 DE LOS ARRANQUES CON LOS USUARIOS DEL CIRCUITO EN EL 2019		
MES	Usuarios sin servicio	SAIFI
ene	7	0,002
feb	224	0,075
mar	313	0,105
abr	450	0,152
may	528	0,178
jun	344	0,116
TOTAL	1866	0,628
Promedio	311	0,105

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 52. SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 con los usuarios del circuito Paldonjuana en el 2019.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la gráfica 52, se observa una gran cantidad de veces fuera de servicio en el mes de Mayo lo cual aporta al indicador SAIFI con 0,178 veces de desconexión, incluso superando en este mes la cantidad de usuarios aguas abajo del arranque FSW363.

8.2.3. Impacto al indicador SAIFI por coordinación de protecciones.

8.2.3.1. SAIFI por coordinación de protecciones en el 2018.

Tabla 59. Indicador SAIFI de los arranques con respecto a los usuarios aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2018.

SAIFI EN LA DERIVACIÓN FSW363 DE LOS ARRANQUES EN EL 2018		
MES	Usuarios sin servicio	SAIFI
ene	37	0,164
feb	64	0,284
mar	56	0,249
abr	292	1,298
may	237	1,053
jun	389	1,729
jul	31	0,138
sep	209	0,929
oct	203	0,902
TOTAL	1518	6,747
Promedio	169	0,750

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

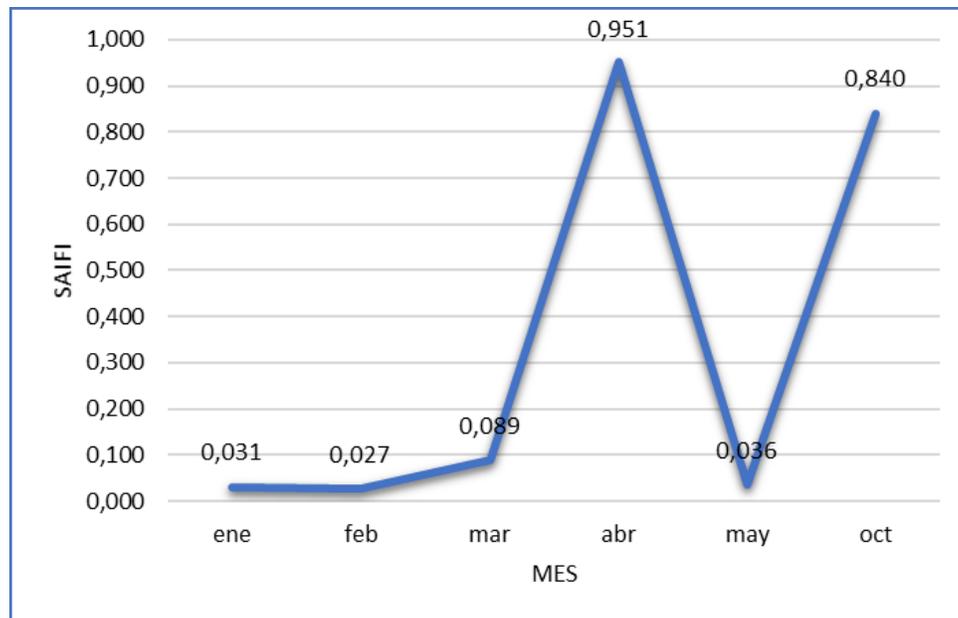
En la tabla 60, se observa la cantidad de veces aportadas por desconexión al indicador SAIFI, aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas debido a una mala selección de las protecciones. Esta causa contribuye con el 29,25% de desconexiones al indicador y dejó de suministrar en esas veces un total de energía de 2839,59 KWh con respecto a todos los usuarios aguas abajo del arranque FSW363 durante el año 2018. A través de la gráfica 53, se visualiza que el mes de Abril contribuyó con 0,951 veces sin servicio de energía al indicador; incluso sacó 214 usuarios en ese mes, mostrando de esta manera la gran falencia en la selección de protecciones aguas abajo del arranque.

Tabla 60. Indicador SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2018.

SAIFI DE LOS ARRANQUES POR FALLAS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN LA DERIVACION FSW363 EN EL 2018		
MES	Usuarios sin servicio	SAIFI
ene	7	0,031
feb	6	0,027
mar	20	0,089
abr	214	0,951
may	8	0,036
oct	189	0,840
TOTAL	444	1,973
Promedio	74	0,329

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 53. SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2018.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

8.2.3.2. SAIFI por coordinación de protecciones en el 2019.

Tabla 61. Indicador SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 en el 2019.

SAIFI EN LA DERIVACIÓN FSW363 DE LOS ARRANQUES EN EL 2019		
MES	Usuarios sin servicio	SAIFI
ene	7	0,031
feb	224	0,996
mar	313	1,391
abr	450	2,000
may	528	2,347
jun	344	1,529
TOTAL	1866	8,293
Promedio	311	1,382

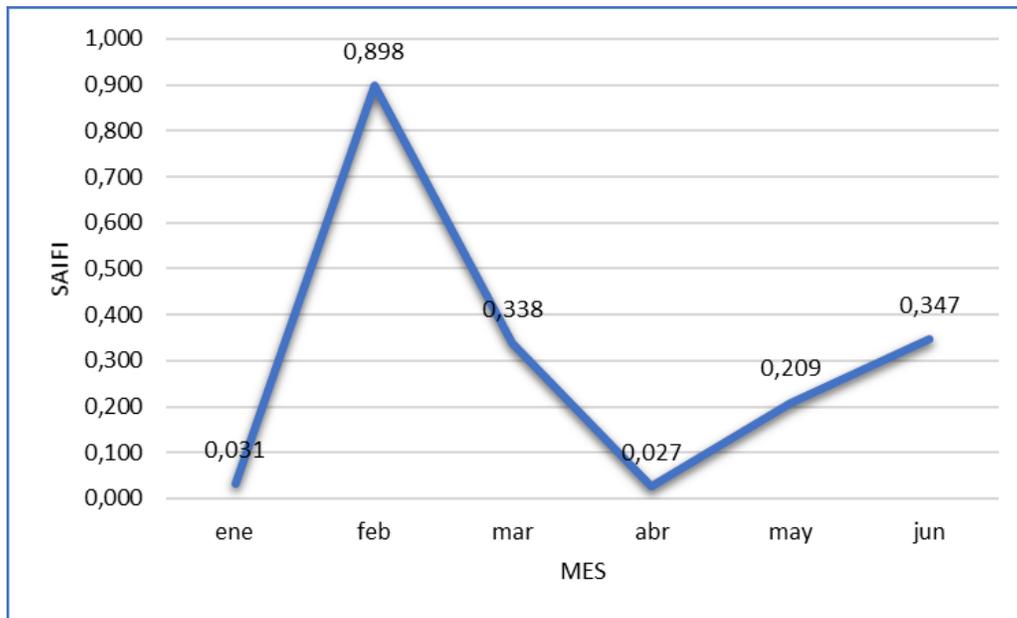
Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 62. Indicador SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2019.

SAIFI DE LOS ARRANQUES POR FALLAS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN LA DERIVACIÓN FSW363 EN EL 2019		
MES	Usuarios sin servicio	SAIFI
ene	7	0.031
feb	202	0.898
mar	76	0.338
abr	6	0.027
may	47	0.209
jun	78	0.347
TOTAL	416	1.849
Promedio	69	0.308

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Gráfica 54. SAIFI de los arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas de coordinación de protecciones en el 2019.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

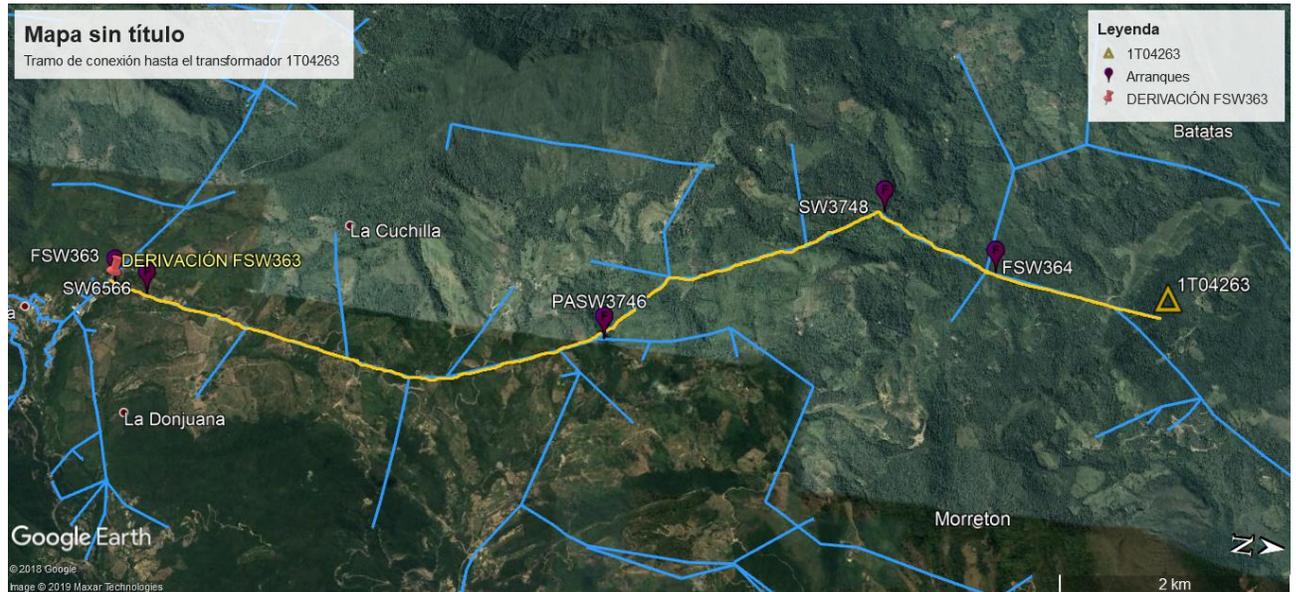
La tabla 61 registra la cantidad de veces de desconexión aportadas al indicador SAIFI en la derivación FSW363 con respecto a los usuarios de está durante el periodo indicado del 2019.

En la tabla 62, se observa la cantidad de veces aportadas por desconexión al indicador SAIFI, aguas abajo del cortacircuito FSW363 por fallas debido a una mala selección de las protecciones. Esta causa contribuye con el 22,29% de desconexiones al indicador y dejó de suministrar en esas veces un total de energía de 7062,158KWh con respecto a todos los usuarios aguas abajo del arranque FSW363 durante Enero a Junio del año 2019. A través de la gráfica 54, se visualiza que el mes de Febrero contribuyó con 0,898 veces sin servicio de energía al indicador; incluso sacó 202 usuarios en ese mes, mostrando de esta manera que la falencia en selección de protecciones aguas abajo del arranque continuo sin tomarse medidas correctivas.

8.3. Casos hipotéticos de fallas

La elaboración de una ajustada coordinación de protecciones para los transformadores y arranques aguas abajo del cortacircuito FSW363, evita posibles escenarios de fallas en los cuales afecten más ramas del sistema de distribución en donde nunca hubo presencia de fallas. Según lo anteriormente dicho se considera un posible escenario de falla sobre el transformador 1T04263 sin que aplique la adecuada selección de protecciones. En la imagen 26, se visualiza la ubicación y conexión del transformador en el SDL.

Imagen 26. Conexión al transformador 1T04263.



Fuente CENS: Elaborado por el autor.

8.3.1. Caso hipotético para el primer escenario

En el caso hipotético del escenario donde se presente una falla (trifásica, bifásica o monofásica) en el transformador 1T04263, suponiendo en este caso que no se cuente con un ajuste de protecciones adecuado para el transformador ni para su arranque FSW364 del cual se deriva su conexión, dicha falla produciría grandes aportes a los indicadores de calidad de manera negativa.

Si para este escenario supuesto de falla consideramos que el evento se presenta durante un viernes en las horas de la tarde/noche, cuando ya los técnicos de la empresa terminaron su semana laboral y la retoman hasta el lunes de la siguiente semana. Dicha falla tendría una duración de hasta al menos 50 horas de desconexión aproximadamente (más de 2 días), debido al fin de semana y se restablecería hasta que los técnicos de la empresa vuelvan a laborar.

Por falta de coordinación de protecciones, para este escenario de falla se accionaría el cortacircuito del arranque SW3748, sacando el resto de los arranques y transformadores aguas abajo de él, en los cuales no ocurrió ninguna falla. Esto dejaría un total de 66 usuarios sin servicio de energía eléctrica, con sus 17 transformadores y 11 arranques respectivamente, aportando de esta forma más usuarios desconectados al indicador SAIFI y al mismo tiempo aumenta la cantidad de horas de desconexión por usuario al indicador SAIDI. En la tabla 64, se observa la cantidad de transformadores desconectados y su respectiva cantidad de usuarios que alimentan, para dicho escenario de falla.

En la tabla 63, se observa la cantidad de usuarios afectados aguas abajo del arranque FSW364, que serán desconectados por el posible escenario de falla en el cual no hubo una adecuada selección de protecciones.

Tabla 63. Cantidad de transformadores afectados aguas abajo del arranque FSW364.

USUARIOS AFECTADOS HASTA EL ARRANQUE FSW364		
Cod. Arranque	Cod. Transformad	CANTIDAD DE USUARIOS
FSW364	1T04263	4
	1T04264	1
	1T04265	1
	1T09932	2
	1T04266	2
ASW3654	1T08096	6
GSW9772	1T12450	2
RSW3647	1T10351	3
TOTAL		21

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

Tabla 64. Cantidad de transformadores afectados aguas abajo del arranque SW3748.

USUARIOS AFECTADOS HASTA EL ARRANQUE SW3748		
Cod. Arranque	Cod. Transformador	CANTIDAD DE USUARIOS
SW3748	1T04237	7
PASW3875	1T04234	11
FSW365	1T04238	3
FSW364	1T04263	4
	1T04264	1
	1T04265	1
	1T09932	2
	1T04266	2
GSW4088	1T04239	2
SW6575	1T08091	4
	1T04260	3
FSW377	1T04268	7
ASW3654	1T08096	6
GSW9772	1T12450	2
PASW3868	1T04261	5
	1T07362	3
RSW3647	1T10351	3
TOTAL		66

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

8.3.2. Caso hipotético para el segundo escenario

Ahora bien, si consideramos otro posible escenario en el cual se presenta una falla en el mismo transformador 1T04263 (trifásica, bifásica o monofásica). Pero ahora no se cuenta con ninguna coordinación de protecciones en la derivación aguas abajo del arranque FSW363.

En este escenario supuesto de falla consideramos que el evento se presenta durante un jueves en las horas de la tarde/noche, pero al siguiente día (viernes) no se despeja la falla debido a que la empresa tiene acumulación de eventos y por

ende los técnicos no logran resolver esté antes del viernes; para aumentar la criticidad del evento suponemos que el fin de semana se presenta con lunes de puente festivo y el evento se estaría atendiendo hasta el martes de la siguiente semana, cuando ya los técnicos de la empresa retoman jornada laboral. Dicha falla tendría una duración de hasta al menos 100 horas de desconexión aproximadamente (más de 4 días).

Por falta de coordinación de protecciones, para este escenario de falla se accionaría el cortacircuito del arranque FSW363, sacando todos los arranques y transformadores aguas abajo de él, en los cuales no ocurrió ninguna falla. Esto dejaría un total de 225 usuarios sin servicio de energía eléctrica, con sus 52 transformadores y 34 arranques respectivamente, contribuyendo de esta forma más usuarios desconectados al indicador SAIFI y al mismo tiempo aumenta la cantidad de horas de desconexión por usuario al indicador SAIDI.

En la tabla 65, se observa la cantidad de usuarios afectados aguas abajo del arranque PASW3746, que serán desconectados por el posible escenario de falla en el cual no hubo una adecuada selección de protecciones en el tramo de conexión hasta el transformador 1T04263.

Tabla 65. Cantidad de transformadores afectados aguas abajo del arranque PASW3746.

USUARIOS AFECTADOS HASTA EL ARRANQUE PASW3746		
Cod. Arranque	Cod. Transformado	CANTIDAD DE USUARIOS
SW3748	1T04237	7
PASW3875	1T04234	11
FSW365	1T04238	3
FSW364	1T04263	4
	1T04264	1
	1T04265	1
	1T09932	2
	1T04266	2
GSW4088	1T04239	2
SW6575	1T08091	4
	1T04260	3
FSW377	1T04268	7
ASW3654	1T08096	6
GSW9772	1T12450	2
PASW3868	1T04261	5
	1T07362	3
RSW3647	1T10351	3
PASW3746	1T04236	6
FSW375	1T04267	1
	1T04251	5
	1T04262	2
SW3310	1T04235	6
TOTAL		86

Fuente CENS: Elaborado por el autor.

En la imagen 27, se visualiza el recorrido que realiza la corriente de falla de los supuestos casos hipotéticos que se presenta en el transformador 1T04263 hasta llegar al cortacircuito del arranque principal FSW363. También se observa cuantos usuarios desconecta en cada sub-arranque principal por el paso de la corriente de falla del evento en el transformador.

CONCLUSIONES

Con base en el análisis que se realizó para la selección de los transformadores y arranques, los cuales tuvieron eventos durante los periodos de tiempo examinados (2018 a Junio 2019), aguas abajo del arranque FSW363 del circuito Paldonjuana del SDL de CENS S.A. E.S.P, se constató una gran cantidad de tiempo en el cual no se suministró la energía a los usuarios finales. El tiempo de los arranques desconectados en los eventos presentados fue de 1180,78 horas del cual el 30% (358.20 horas) fue debido a la inadecuada coordinación de protecciones dejando de entregar por esta causa una energía de 9901,74 KWH en la derivación.

La ubicación y selección apropiada de las protecciones en la derivación, permitió identificar en el diseño que otros tramos de esta salgan sin una causa tangible de falla, debido a la particular radialidad de la cual se caracterizan los sistemas de distribución locales de la empresa hasta el momento. El seccionamiento de tramos en el unifilar alivió la derivación de tal forma que ante una presencia de falla tipo permanente, la demanda no atendida (DNA) sería menor en comparación a la de un ramal completo.

El estudio que se plasmó para la selección de los fusibles de protección fue bajo los criterios específicos escogidos del sistema de distribución. Para el caso de los transformadores de distribución se tuvo más en cuenta como parámetro primordial la corriente de magnetización (I_{inrush}), la cual puede ser estimada aproximadamente como 12 veces la corriente nominal del transformador durante un lapso tiempo de 0,1 segundos.

La adecuada selección de los dispositivos de protección se hizo a partir de la coordinación de fusibles a través de simulación en el software Digsilent. Pero dicha coordinación dependió de la filosofía de protección predispuesta propiamente por el

sistema a proteger; por ende, se empezó primero coordinando los fusibles de los dos más grandes transformadores y definiendo dos subtruncas de la derivación hasta el arranque principal FSW363 con ayuda del software, para luego determinar los fusibles de los tramos faltantes por medio de tablas de coordinación y que estos ya se ajustaran a los simulados. También se propuso 10 nuevos cortacircuitos o arranques para seccionalizar la derivación, de manera que sí ocurre una falla saque menos usuarios de los ramales.

El ajustado diseño de coordinación de protecciones elaborado, permite disminuir la cantidad de pérdidas de dinero a la empresa con respecto a la energía no entregada por los eventos. La empresa asume otras pérdidas de dinero que van asociadas a la calidad de servicio suministrado al usuario, la cual es evaluada y regulada por la resolución CREG 015 del 2018; dicha resolución plantea límites para los indicadores de calidad, para SAIDI 41,07 horas y SAIFI 10,56 veces con respecto a la regional y para empresa como tal un SAIDI 27,07 horas y SAIFI 10,15 veces.

RECOMENDACIONES

Una vez culminado el libro de tesis se debe tener en cuenta como propuesta de apoyo para el equipo del área de mantenimiento de la empresa y también considerar como guía para en caso de nuevos proyectos de expansión del sistema de distribución local.

Definir los costos de los activos o dispositivos de protección seleccionados para la derivación, incluyendo de igual forma los costos de mano de obra y servicios auxiliares.

De no solventar esta causa que provoca gran cantidad de eventos en los ramales aguas abajo del cortacircuito FSW363, afectaría la calidad del servicio por continuas fallas las cuales repercuten en la demanda no atendida, compensación a usuarios sin servicio y penalización de los reguladores por incumplir los límites establecidos para los indicadores de calidad del servicio estipulados bajo la resolución CREG 015 del 2018.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Díaz Navas, S.R. y Ludizaca Gonzáles, J.P. Coordinación del sistema de protecciones del alimentador 124 de la empresa eléctrica Azogues c. a. considerando la incorporación de la red subterránea en el centro histórico de la ciudad. Azogues. 2010. P82.
- [2] COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 015 de 2018 «Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional», Enero 29 de 2018.
- [3]. Zapata Castrillón, W, H. Coordinación de protecciones en sistemas de distribución de energía – Manual de referencia y fundamentos. Medellín. 2011. P88.
- [4]. Ramírez Castaño, S. Redes de distribución de energía. Manizales. Tercera edición. Enero 2004.
- [5]. IEEE, (Institute of Electrical and Electronics Engineers). C37.41-2016. Pruebas de diseño estándar IEEE para fusibles y accesorios de alto voltaje (> 1000 V).
- [6]. NTC, (Norma Técnica Colombiana). 2132. Ensayos de diseño para fusibles de alta tensión. interruptores para distribución monopolares en aire, encapsulados; interruptores desconectores con fusibles y accesorios. 2007.
- [7]. IEEE, (Institute of Electrical and Electronics Engineers). C37.42-2016. Especificaciones estándar IEEE para fusibles y accesorios de alto voltaje (> 1000 V).

[8]. NTC, (Norma Técnica Colombiana). 2133. Especificaciones para fusibles tipo expulsión de alta tensión para distribución, cortacircuitos, seccionadores de fusible e hilos fusibles. 2003.

[9]. EEI-NEMA, (National Electrical Manufacturers Association). Fusibles de media tensión: Tipo H (sobretensión alta), EEI-NEMA Tipo K (acción rápida), EEI-NEMA Tipo T (acción lenta).

[10]. Rivera Guerrero, C.E. Análisis de fallas en la derivación FSW363 del circuito PALDONJUANA del SDL de CENS. Pamplona. 2019.

[11]. Norma EPM (Empresas Públicas de Medellín). RA8 005. Fusibles para protección de ramales y transformadores de distribución a instalar en poste. Medellín. 2011.