



**ELABORACION DE ALTERNATIVAS PARA LA ACTUALIZACIÓN  
TECNOLÓGICA DE INTERRUPTORES DE POTENCIA DE LA ES-COV,  
UBICADA EN LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO-PARAGUAY.**

**DIEGO JOEL GONZÁLEZ BERUTTI**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

Coronel Oviedo - Paraguay

Año 2020

**ELABORACION DE ALTERNATIVAS PARA LA ACTUALIZACIÓN  
TECNOLÓGICA DE INTERRUPTORES DE POTENCIA DE LA ES-COV,  
UBICADA EN LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO-PARAGUAY.**

**Elaborado por**

**DIEGO JOEL GONZÁLEZ BERUTTI**

Tutor

**Ing. Sebastián Espínola Colman**

Trabajo presentado a la Facultad de Ciencias y  
Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú,  
como requisito para la obtención del título de Ingeniero en  
Electricidad

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD  
Coronel Oviedo - Paraguay  
Año 2020**

## **PÁGINA DE APROBACIÓN**

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Electricista aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores.

-----  
Prof. Ing.

-----  
Prof. Ing.

-----  
Prof. Ing.

## **Dedicado a**

### **Agradecimientos:**

A mis padres y hermanos por su motivación incansable desde el inicio hasta la culminación de mi carrera profesional.

A mi esposa, por su aporte y asistencia en el enfoque metodológico de este proyecto final de grado.

A mi tutor, Ingeniero Sebastián Espínola por la orientación y apoyo en la elaboración de este proyecto.

**ELABORACION DE ALTERNATIVAS PARA LA ACTUALIZACIÓN  
TECNOLÓGICA DE INTERRUPTORES DE POTENCIA DE LA ES-COV,  
UBICADA EN LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO-PARAGUAY.**

**DIEGO JOEL GONZÁLEZ BERUTTI**

**RESUMEN**

El presente proyecto consiste en la elaboración de alternativas para la actualización tecnológica de interruptores de potencia de la ES-COV, ubicada en la ciudad de Coronel Oviedo – Paraguay. Con el objetivo de elaborar alternativas para la actualización tecnológica de interruptores de potencia, además; Elevar situación actual de interruptores de potencia de la estación Coronel Oviedo a través de la recolección de datos, clasificar los interruptores de potencia agrupándolos por su tiempo de servicio dentro de la estación, establecer criterios técnicos y económicos para la selección de la tecnología a ser adoptada, proponer diversas opciones tecnológicas para la actualización de los interruptores de potencia de la ES-COV y elaborar evaluación económica de la alternativa seleccionada

**PREPARATION OF ALTERNATIVES FOR THE TECHNOLOGICAL UPDATE OF POWER SWITCHES OF THE ES-COV, LOCATED IN THE CITY OF CORONEL OVIEDO-PARAGUAY.**

**DIEGO JOEL GONZÁLEZ BERUTTI**

**ABSTRACT**

The present project consists of the elaboration of alternatives for the technological update of circuit breakers of the ES-COV, located in the city of Coronel Oviedo - Paraguay. With the objective of elaborating alternatives for the technological update of power circuit breakers, in addition to; Elevate the current situation of power circuit breakers of the Coronel Oviedo station through data collection, classify the power circuit breakers grouping them by their time of service within the station, establish technical and economic criteria for the selection of the technology to be adopted, propose various technological options for the update of the power circuit breakers of the ES-COV and elaborate an economic evaluation of the selected alternative.

---

## CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	i
Dedicado a.....	ii
Agradecimientos: .....	iii
CONTENIDO .....	vi
LISTA DE GRÁFICOS .....	xiii
LISTA DE TABLAS .....	xvii
I. INTRODUCCION .....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
CAPITULO 1 .....	3
CONCEPTOS GENERALES .....	3
2.1.1. ANTECEDENTES .....	3
1.1. DEFINICION DE TERMINOS BÁSICOS .....	5
CAPITULO 2.....	6
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA .....	6
2.2. Definición de subestación eléctrica.....	6
2.3. Generalidades de subestaciones.....	6
2.4. Capacidad de una subestacion.....	6
2.5. Parámetros de tensión de una subestacion.....	6
2.5.1. Transformador .....	7

---

2.5.2.	Interruptor de potencia .....	7
2.5.3.	Restaurador.....	7
2.5.4.	Cuchillas fusibles.....	7
2.5.5.	Cuchillas desconectoras y cuchillas de prueba .....	7
2.5.6.	Apartarrayos.....	7
2.5.7.	Transformadores de instrumento.....	8
2.6.	Clasificación de las subestaciones eléctricas .....	8
2.6.1.	Subestaciones en las plantas generadoras o centrales eléctricas .....	8
2.6.2.	Subestaciones receptoras primarias .....	8
2.6.3.	Subestaciones receptoras secundarias.....	9
2.6.4.	Subestaciones tipo intemperie.....	9
2.6.5.	Subestaciones de tipo interior .....	9
2.6.6.	Subestaciones tipo blindado.....	9
2.7.	Diagrama Unifilar .....	9
2.7.1.	Tipos de diagramas y su evaluación. ....	10
2.7.1.1.	Diagrama con un solo juego de barras.....	10
2.7.1.2.	Diagrama con un juego de barras principales y uno de barras de transferencia.....	11
2.7.1.3.	Diagrama con un juego de barras principales y uno de barras auxiliares. ....	12

---

2.7.1.4.	Diagrama con doble juego de barras y barra partida. ....	13
2.7.1.5.	Diagrama con triple juego de barras. ....	14
2.7.1.6.	Diagrama con doble juego de barras colectoras principales y uno de barras colectoras auxiliares. ....	15
2.7.1.7.	Diagrama con arreglo en anillo sencillo. ....	16
2.7.1.8.	Diagrama de arreglo de interruptor y medio. ....	17
2.7.1.9.	Diagrama con arreglo de doble interruptor. ....	19
CAPITULO 3.....		20
INTERRUPTORES DE POTENCIA .....		20
3.1.	Antecedentes.....	20
3.2.	Definición de interruptor de potencia .....	21
3.3.	Clasificación de los aparatos de corte .....	21
3.3.1.	Seccionadores.....	21
3.3.2.	Interruptores .....	21
3.3.3.	Interruptores seccionadores .....	21
3.3.4.	Disyuntores o interruptores de potencia .....	22
3.3.5.	Conceptos relacionados con los interruptores.....	23
3.3.5.1.	Tensión nominal, corriente nominal.....	23
3.3.5.2.	Frecuencia nominal.....	25
3.3.5.3.	Capacidad nominal de interrupción, simétrica y asimétrica..	26
3.3.5.4.	Tensión transitoria de restablecimiento (TTR) .....	26

3.3.5.5. Corriente nominal de tiempo corto o máxima duración del corto circuito .....	26
3.3.5.6. Nivel Básico de Aislamiento al Impulso (NBAI) .....	26
3.3.5.7. Secuencia nominal de operación. ....	27
3.3.5.8. Tareas fundamentales de los aparatos de corte .....	27
3.3.5.9. Principio de operación del interruptor .....	27
3.3.5.10. Métodos de extinción del arco eléctrico .....	28
3.3.5.11. Interrupción por alta resistencia. ....	28
3.3.5.11.1. Interrupción por baja resistencia.....	28
3.3.5.11.2. Interrupción en vacío .....	29
3.3.6. Técnicas para aumentar la resistencia del arco .....	29
3.3.7. El circuito principal.....	31
3.3.8. Extinción en corriente alterna .....	32
3.3.9. Principio de operación .....	33
3.3.10. Proceso de cierre .....	34
3.3.11. Proceso de apertura.....	35
3.4. Tipos de interruptores .....	38
3.4.1. Tipos de interruptores por nivel de tensión.....	38
3.4.2. Interruptores por lugar de instalación .....	39
3.4.3. Interruptores por características externas de diseño .....	39
3.4.4. Interruptores por método y tipo de medio de interrupción .....	40

3.4.5.	Interruptores de soplo magnético .....	41
3.4.6.	Interruptores de soplo de aire.....	42
3.4.7.	Interruptores simples de interrupción en aceite .....	44
3.4.8.	Interruptores en gran volumen de aceite .....	46
3.4.8.1.	Tipos de cámaras de extinción para interruptores en gran volumen de aceite. ....	47
3.4.9.	Interruptores en pequeño volumen de aceite. ....	48
3.4.9.1.	Tipos de cámaras de extinción usadas en interruptores de pequeño volumen de aceite .....	49
3.4.10.	Interruptores en sf6 .....	50
3.4.10.1.	Interruptores de dos presiones en SF6.....	50
3.4.10.2.	Interruptores de soplo de una presión. ....	52
3.4.10.3.	Interruptores en SF6 de dos presiones.....	53
3.4.10.4.	Interruptores en SF6 (con cámara ruptora de auto compresión dinámica) .....	53
CAPITULO 4.....		53
GENERALIDADES .....		53
4.1.	Análisis de criticidad .....	53
4.2.	Fallas funcionales .....	55
4.3.	Consecuencia de las fallas. ....	55
4.4.	Patrones de fallas [8]. ....	56

---

IV. RESUMEN EJECUTIVO .....	59
CAPITULO 5.....	59
5.1. Descripción del trabajo .....	59
5.1.1. Métodos y técnicas utilizadas .....	59
5.1.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	60
5.1.3. Fases metodológicas.....	60
5.2. Justificación .....	61
5.3. Finalidad del proyecto.....	62
5.4. Metas.....	62
5.5. Objetivos.....	62
5.5.1. Objetivos generales.....	62
5.5.2. Objetivos específicos.....	63
5.6. Beneficiarios. ....	63
5.7. Producto .....	63
5.8. Localización física y cobertura espacial.....	63
5.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas .....	64
5.10. Factibilidad técnica .....	64
5.11. Costos .....	65
V. INGENIERIA DE DISEÑO.....	66
CAPITULO 6.....	66
6.1. Estación Coronel Oviedo .....	66

---

6.1.1.	Ubicación.....	66
6.1.2.	Descripción.....	67
6.1.3.	Interruptores de Potencia ES-COV.....	69
6.1.3.1.	Descripción operacional de los IP ES-COV .....	71
6.1.4.	Análisis de criticidad general .....	75
6.1.5.	Descripción de procedimiento para análisis de criticidad. ....	76
6.1.6.	Situación de criticidad de los interruptores de la ES-COV.....	80
6.1.7.	Descripción de interruptor aplicable. ....	84
6.1.8.	Análisis de factibilidad económica .....	85
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	93
VII.	CONCLUSIÓN .....	95
VIII.	RECOMENDACIONES .....	96
IX.	ANEXOS .....	98
	ANEXO A. PARAMETROS FINANCIEROS .....	1
	ANEXO B. CALCULO TIR, VAN, IR .....	1
X.	BIBLIOGRAFIA .....	2

---

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Diagrama de conexiones con un solo juego de barras colectoras - Diseño de Subestaciones Eléctricas. Pág 5 .....	11
Gráfico 2. Un juego de barras principales y un juego de transferencia ....	12
Gráfico 3. Diagrama de conexiones con un juego de barras colectoras principales y un juego de barras colectoras auxiliares. Diseño de subestaciones eléctricas - Pág 6 .....	13
Gráfico 4. Diagrama de conexiones con doble juego de barras colectoras o barra partida. Diseño de Subestaciones Eléctricas - Pág. 7 .....	14
Gráfico 5. Diagrama de conexiones con triple juego de barras colectoras. Diseño de Subestaciones Eléctricas, Pág. 7 .....	15
Gráfico 6. Diagrama de conexiones con doble juego de barras colectoras principales y uno de barras colectoras auxiliares. Diseño de subestación eléctrica. Pág. 9 .....	16
Gráfico 7. Diagrama de conexión con arreglo de anillo sencillo. Diseño de subestaciones eléctrica - Pág 9 .....	17
Gráfico 8. Diagrama de conexiones con arreglo de interruptor y medio. Diseño de Subestaciones Electricas. Pag 12.....	18
Gráfico 9. Diagrama con arreglo de doble interruptor. Diseño de Subestaciones Eléctricas. Pag 12.....	19
Gráfico 10. Comportamiento del arco en c.a. (histéresis del arco). “Modernización de Interruptores de potencia de 400 kV en la Subestación Eléctrica Texcoco”- Pág. 14.....	29

---

Gráfico 11. Elongación del arco eléctrico por la acción del empuje térmico. “Modernización de Interruptores de potencia de 400 kV en la Subestación Eléctrica Texcoco”- Pág. 15.....	30
Gráfico 12. Representación esquemática de la técnica de enfriamiento del arco en un interruptor neumático. . “Modernización de Interruptores de potencia de 400 kV en la Subestación Eléctrica Texcoco”- Pág. 15.....	30
Gráfico 13. Representación esquemática de la división del arco. “Modernización de Interruptores de potencia de 400 kV en la Subestación Eléctrica Texcoco”- Pág. 27.....	31
Gráfico 14. Representación esquemática de la constricción del arco. “Modernización de Interruptores de potencia de 400 kV en la Subestación Eléctrica Texcoco”- Pág. 16.....	31
Gráfico 15. Comportamiento de las tensiones durante el proceso de interrupción. Manual de interruptores de potencia, marzo 2003. Pág. 13	33
Gráfico 16. Proceso de interrupción de la corriente: a) Extinción; b) Reencendido. Manual de Interruptores de Potencia. Pág. 27.....	36
Gráfico 17. Proceso de interrupción de corriente en un circuito de C.A. Manual de Interruptores de Potencia. Pág. 28.....	37
Gráfico 18. Sección transversal de una cámara de arqueo de soplo magnético. Manual de Interruptores de potencia. Pág 72.....	41
Gráfico 19. Dirección de soplo de aire (a) dirección axial, (b) dirección radial y (c) dirección transversal o sección de soplo. Manual de Interruptores de potencia. Pág 74.....	43

---

Gráfico 20. Interruptor de soplo de aire. marca Brown & Boveri, mecanismo neumático, 245 kV, 2000 A y 40 kA de capacidad interruptiva. Manual de interruptores de potencia. Pág. 75 .....	44
Gráfico 21. Interruptor simple de interrupción en aceite. Manual de interruptores de potencia. Pág. 77 .....	45
Gráfico 22. Perfil de la cámara de explosión de un interruptor de aceite. (a) Contactos cerrados, (b) Inicio de apertura y de arco, (c) Escape del gas. Manual de interruptores de potencia. Pág. 77.....	46
Gráfico 23. Tipos de cámaras de control de arco usadas en interruptores de gran volumen. Manual de interruptores de potencia. Pág. 79.....	48
Gráfico 24. Interruptor en pequeño volumen de aceite marca Sprecher & Schuh de 115 kV con mecanismo de resorte. Manual de interruptores de potencia. Pág 80.....	49
Gráfico 25. Interruptores de soplo de una presión .....	52
Gráfico 26. Patrones de falla. Fuente [8] .....	57
Gráfico 27. Mapa SIN. Página Web Ministerio de Minas y Energías .....	67
Gráfico 28. Esquema Unifilar 220 kV de la ES-COV.....	69
Gráfico 29. Listado de interruptores de Potencia ES-COV. Fuente: PGF Ing. Carlos Avalos.....	81
Gráfico 30. Pareto de Criticidad de interruptores de potencia. ....	83
Gráfico 31. Dispersión de criticidad. ....	84
Gráfico 32. Distribución Porcentual poblacional Dpto Guaira 2021. ....	88
Gráfico 33. Rentabilidad ANDE. Memoria ANDE 2021.....	92



---

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores nominales y máximo de diseño. IEC .....	23
Tabla 2. Valores recomendados de elevación de temperatura .....	25
Tabla 3. Características principales de los interruptores de 220 kV de la ESCOV. Fuente: PFG Ing Carlos Avalos .....	71
Tabla 4. Interruptores de potencia de la ES-COV.....	76
Tabla 5. Evaluación de la guía de criticidad en los interruptores de la ES- COV. Fuente: PFG Ing. Carlos Avalos.....	82
Tabla 6. Estudios de Mercado 2015-2026. Plan Maestro ANDE. ....	85
Tabla 7. Paraguay. Proyección de la población por sexo y edad, según distrito, 2000-2025. Fuente: INE .....	86
Tabla 8. Distribución Poblacional Guaira 2021. ....	87
Tabla 9. Distribución de suministros atendidos por TR-01.....	89
Tabla 10. Periodo vs Rentabilidad. Memoria ANDE 2021. ....	91

## **LISTA DE ECUACIONES**

Ecuación 1. Ecuación de Frecuencias de Fallas .....	78
Ecuación 2. Tiempo Promedio para Reparar .....	79
Ecuación 3. Ecuación de Criticidad de Interruptores .....	80
Ecuación 4. Ecuación de consumo unitario. Fuente: Elaboración propia	89
Ecuación 5. Consumo del Segmento. Fuente: Elaboración propia .....	90

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**Es- COV:** Estación de Coronel Oviedo

**ANDE:** Administración Nacional de Electricidad

**Kv:** Kilovoltio

**SIN:** Sistema Interconectado Nacional

**kVA:** Kilo Volt Ampere

**TC:** Transformadores de corriente

**TP:** Transformadores de potencial

## I. INTRODUCCION

El continuo crecimiento del país ineludiblemente es acompañado por un crecimiento del sistema energético, este indicador obliga a los elementos componentes del SIN a garantizar la confiabilidad del servicio. La ES-COV que es un componente de gran envergadura dentro del sistema interconectado actualmente presenta un gran problema en lo que se refiere al parámetro de confiabilidad de los interruptores de potencia, ya que los mismos se remontan a los años 70 en su ciclo de puesta en funcionamiento, esto conlleva a que los mismos presenten diversos tipos de averías y en su necesidad de funcionamiento obligan a recurrir a distintas acciones paliativas como las que fueren la adaptación de piezas para lograr que los mismos sigan en funcionamiento.

Ante el riesgo inminente de fallas de los interruptores mencionados es necesario proponer alternativas para la actualización de estos equipos, considerando más aún que los mismos son elementos de vital importancia para el funcionamiento de la Estación Eléctrica. Por lo demás, estos elementos además se encuentran en contacto directo con los operadores de la estación y ante fallas corren diversos tipos de riesgos que pudieran ser hasta incluso mortales.

El proyecto se desarrollará conforme al siguiente algoritmo, primero, relevamiento de datos en condiciones de funcionamiento actuales de los equipos lo cual permitirá agruparlos por su tiempo de operación y determinar la frecuencia de fallas. Se recurrirá a la revisión de normas técnicas y se elaboraran criterios a partir de estas, serán especificados los parámetros que se consideren como condiciones necesarias y suficientes para la actualización de los interruptores, logrado lo anterior se estudiaran las opciones disponibles, llevándolos a un estudio económico comparativo a fin de garantizar que la escogida sea la mejor opción buscando el balance técnico económico, a partir de ello se decantaran las opciones optando por la que reúna las cualidades requeridas y se estudiará la factibilidad económica de su implementación.

La ANDE será una de las principales beneficiarias por la realización de este proyecto de fin de grado, así como también los usuarios del servicio ya que se mejorará el servicio prestado a través de la ES COV. Los operarios de la Estación también verán incrementados los niveles de seguridad de las condiciones laborales mediante la realización de este proyecto.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### CAPITULO 1

#### CONCEPTOS GENERALES

##### 2.1.1. ANTECEDENTES

En el distrito Federal de México, en el Instituto Politécnico Nacional se desarrolló un proyecto denominado “Modernización de interruptores de potencia de 400KV en la subestación eléctrica Texcoco”, realizado por Rodrigo Barajas Arreola en el año 2010. Entre los principales aportes de dicho estudio figuran; Analizar el marco teórico y práctico para realizar el cambio de capacidad interruptiva en interruptores de potencia de 400kV, en la subestación eléctrica de Texcoco, y probar la eficiencia de su aplicación así como también analizar los beneficios que se obtienen con el cambio de interruptores de potencia, además, comparar las características interruptivas y justificar el cambio de interruptor de potencia de 400kV, marca BBC tipo DLF, con otro de marca SIEMENS tipo 3AP2-FI.

La conclusión a la que se llegó en este proyecto fue que se debe tener en consideración el medio en el cual el interruptor operará y donde se localizará. La altitud, temperatura ambiente, contaminación, servicio, accesibilidad, requerimientos de inspección, condiciones sísmicas y ruido de operación, son factores que determinan el tipo de interruptor que será seleccionado, se debe considerar que para que el diseño de sistemas de potencia se pueda utilizar un programa de corto circuito para seleccionar, ajustar y coordinar equipo de protección, como interruptores, fusibles, relevadores y transformadores de instrumento, pero también se puede hacer por cálculos analíticos, en el trabajo realizado se demuestra que el mismo se ve afectado por varios factores, los cuales si no se consideran adecuadamente pueden afectar la vida útil del interruptor y una consecuente falla del mismo [1].

En Coronel Oviedo, Paraguay en la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Nacional del Caaguazú, también se realizó un proyecto con el título “Análisis de criticidad de interruptores de potencia de la estación Coronel Oviedo de la Administración Nacional de Electricidad

(ANDE)”, realizado por Carlos Ramón Avalos García en el año 2019. Entre los principales aportes de dicho estudio se trazó como objetivo establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento, al mismo tiempo se pretendía controlar los trabajos mediante un manual de mantenimiento orientado hacia el equipo más crítico, de esa manera se buscó mejorar la confiabilidad operacional del sistema y conseguir condiciones de trabajos seguros. Para lograr el objetivo trazado, se realizó un relevamiento de datos a 14 interruptores de potencia de 220 kV que cumplen diferentes funciones dentro de la estación. Se realizó un análisis de criticidad en el que primeramente se otorgaron puntuaciones a los diferentes criterios obtenidos de acuerdo a literatura consultada, y a la configuración existente del local, para luego introducir los resultados en una matriz propuesta en la norma Norsok Z-013, cuyo resultado arrojó un interruptor en la zona alta de criticidad. El análisis realizado propició la toma de decisiones y la elección de los tipos de mantenimientos a aplicar, para lo que se elaboró un manual basado en normas y recomendaciones, adaptables a la política de la empresa y dirigida hacia el interruptor de potencia más crítico, de tal forma a garantizar un trabajo seguro y de calidad sobre el equipo. Finalmente, se realizó la evaluación económica donde se calcularon los costos estimativos de los diferentes tipos de mantenimiento que serán aplicados al equipo en cuestión, en un periodo de tiempo recomendado por normas, fabricantes y técnicos [2].

## 1.1. DEFINICION DE TERMINOS BÁSICOS

**SIN:** Sistema Interconectado Nacional

**Interruptor de potencia:** El interruptor es un dispositivo mecánico de conmutación, capaz de organizar, emprender e interrumpir corrientes bajo situaciones de circuito normal; y también de establecer, comprometer por un tiempo positivo, e interrumpir corrientes bajo ciertas situaciones atípicas que incluyen el cortocircuito.

**Estación eléctrica:** Conjunto de dispositivos utilizados para dirigir la deriva de la electricidad en una máquina de energía y asegurar la protección del sistema mediante aparatos de seguridad computarizados y para redistribuir el deslizamiento de la energía a través de las rutas comerciales durante las contingencias.

**Equipo:** Término general que abarca el tejido, el mobiliario, los accesorios, los aparatos, las instalaciones, las luminarias, los aparatos, etc., utilizados como elementos o conectados al sistema eléctrico.

**Falla:** Daño permanente o breve en cualquier parte del equipo que altera sus condiciones de funcionamiento cotidianas y suele provocar una perturbación.

## **CAPITULO 2**

### **SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

#### **2.2. Definición de subestación eléctrica**

Es un conjunto de dispositivos eléctricos, que forman parte de un sistema eléctrico de potencia; sus funciones principales son: transformar tensiones y derivar circuitos de potencia.

#### **2.3. Generalidades de subestaciones**

Las subestaciones se pueden denominar, de acuerdo con el tipo de función que desarrollan, en tres grupos:

- a) Subestaciones variadoras de tensión.
- b) Subestaciones de maniobra o seccionadoras de circuito.
- c) Subestaciones mixtas (mezcla de las dos anteriores).

De acuerdo con la potencia y tensión que manejan las subestaciones, estas se pueden agrupar en:

- a) Subestaciones de transmisión. Arriba de 230 kV.
- b) Subestaciones de subtransmisión. Entre 230 y 115 kV.
- c) Subestaciones de distribución primaria. Entre 115 y 23 kV.
- d) Subestaciones de distribución secundaria. Debajo de 23 kV. [3]

#### **2.4. Capacidad de una subestación**

La capacidad de una subestación se fija, considerando la demanda actual de la zona en kVA, más el incremento en el crecimiento, obtenido por la extrapolación, durante los siguientes diez años, previniendo el espacio necesario para las futuras ampliaciones [3].

#### **2.5. Parámetros de tensión de una subestación**

Dentro de la gama existente de tensiones normalizadas, la tensión de una subestación se puede fijar en función de los factores siguientes:

- a) Si la subestación se alimenta en forma radial, la tensión se puede fijar en función de la potencia de la misma.
- b) Si la alimentación proviene de un anillo, la tensión queda obligada por la misma del anillo.

- c) Si la alimentación se toma de una línea de transmisión cercana, la tensión de la subestación queda obligada por la tensión de la línea citada [3].

#### **2.5.1. Transformador**

Es una máquina eléctrica estática que transfiere energía eléctrica de un circuito a otro conservando la frecuencia constante, opera bajo el principio de inducción electromagnética y tiene circuitos eléctricos que están enlazados magnéticamente y aislados eléctricamente.

#### **2.5.2. Interruptor de potencia**

Interrumpe y restablece la continuidad de un circuito eléctrico. La interrupción se debe efectuar con carga o corriente de corto circuito.

#### **2.5.3. Restaurador**

Es un interruptor de aceite con sus tres contactos dentro de un mismo tanque y que opera en capacidades interruptivas bajas. Los restauradores están contruidos para funcionar con tres operaciones de re cierre y cuatro aperturas con un intervalo entre una y otra; en la última apertura el cierre debe ser manual, ya que indica que la falla es permanente.

#### **2.5.4. Cuchillas fusibles**

Son elementos de conexión y desconexión de circuitos eléctricos. Tienen dos funciones; una como cuchilla desconectadora, para lo cual se conecta y desconecta, y otra como elemento de protección. El elemento de protección lo constituye el dispositivo fusible que se encuentra dentro del cartucho de conexión y desconexión.

#### **2.5.5. Cuchillas desconectadoras y cuchillas de prueba**

Sirven para desconectar físicamente un circuito eléctrico. Por lo general se operan sin carga, pero con algunos aditamentos se puede operar con carga hasta ciertos límites.

#### **2.5.6. Apartarrayos**

Se encuentra conectado permanentemente en el sistema, descarga la corriente a tierra cuando se presenta una sobretensión de determinada magnitud. Su operación se basa en la formación de un arco eléctrico entre

dos explosores cuando se alcanza el valor para el cual esta calibrado o dimensionado.

### **2.5.7. Transformadores de instrumento**

Existen dos tipos: transformadores de corriente (TC), cuya función principal es cambiar el valor de la corriente en su primario a otro en el secundario; y transformadores de potencial (TP), cuya función principal es transformar los valores de voltaje sin tomar en cuenta la corriente. Estos valores sirven como lecturas en tiempo real para instrumentos de medición, control o protección que requieran señales de corriente o voltaje [4].

## **2.6. Clasificación de las subestaciones eléctricas**

Una subestación eléctrica es el conjunto de máquinas, aparatos y circuitos que tienen la función de modificar los parámetros de la potencia eléctrica (tensión y corriente) y de proveer un medio de interconexión y despacho entre las diferentes líneas de un sistema. Desde el punto de vista de la función que desempeñan las subestaciones se pueden clasificar como sigue:

### **2.6.1. Subestaciones en las plantas generadoras o centrales eléctricas**

Estas se encuentran adyacentes a las centrales eléctricas o plantas generadoras de electricidad para modificar los parámetros de la potencia suministrada por los generadores para permitir la transmisión en alta tensión en las líneas de transmisión, a este respecto se puede mencionar que los generadores pueden suministrar la potencia entre 5 y 25 kV y la transmisión dependiendo del volumen de energía y la distancia, se puede efectuar a 69, 85, 115, 138, 230, o 400 kV, en algunos países se emplean tensiones de transmisión de 765, 800 y hasta 1200 kV en C.A. (Corriente alterna) [5].

### **2.6.2. Subestaciones receptoras primarias**

Estas son alimentadas directamente desde las líneas de transmisión y reducen la tensión a valores menores para la alimentación de los sistemas de subtransmisión o las redes de distribución, de manera que dependiendo

de la tensión de transmisión pueden tener en su secundario tensiones del orden de 115, 69 y eventualmente 34.5, 13.2, 6.9, o 4.16 kV [5].

### **2.6.3. Subestaciones receptoras secundarias**

Estas son por lo general alimentadas por las redes de subtransmisión y suministran la energía eléctrica a las redes de distribución a tensiones comprendidas entre 34.5 y 6.9 kV [5].

Las subestaciones eléctricas también se pueden clasificar por el tipo de instalación, como:

### **2.6.4. Subestaciones tipo intemperie**

Estas subestaciones se construyen en terrenos expuestos a la intemperie y requieren de un diseño, aparatos y máquinas capaces de soportar el funcionamiento bajo condiciones atmosféricas, adversas (lluvia, vientos, nieves e inclemencias atmosféricas diversas), por lo general se adoptan en los sistemas de alta y extra alta tensión [5].

### **2.6.5. Subestaciones de tipo interior**

En esta forma de subestaciones los aparatos y máquinas utilizados están diseñados para actuar en el interior, esta solución se convirtió en utilizado hace unos años dentro de la práctica europea, en estos días hay pocas formas de subestaciones de tipo interior y se utilizan normalmente en las industrias, que consiste en la variación de las subestaciones de tipo blindado [5].

### **2.6.6. Subestaciones tipo blindado**

En estas subestaciones los equipos y máquinas están muy bien cubiertos y el hueco necesario puede ser muy pequeño en comparación con las estructuras de las subestaciones tradicionales. Suelen utilizarse en fábricas interiores, hospitales, auditorios, viviendas y centros comerciales que requieren poca superficie para estas instalaciones, por lo que normalmente se utilizan en tensiones de distribución y uso. [5].

## **2.7. Diagrama Unifilar**

El diagrama unifilar de una subestación eléctrica es el resultado de conectar simbólicamente y a través de un único cable todo el dispositivo fundamental que forma parte del conjunto, considerando el conjunto de

funcionamiento de cada uno de los circuitos. El trazado de una instalación eléctrica tiene su fundamento dentro del correspondiente esquema unifilar, que resulta del examen de las necesidades de carga de la región en cuestión y su proyección a un destino a medio plazo.

### **2.7.1. Tipos de diagramas y su evaluación.**

La elección del esquema unifilar de una subestación depende de las características únicas de cada aparato eléctrico y de la función que desempeña la subestación dentro del aparato.

El esquema de conexión a seguir determina en gran medida el coste de la instalación. Esto depende de la cantidad de aparatos que se consideren dentro del diagrama, lo que a su vez repercute en la adquisición de más terreno y, por consiguiente, en una mejor tarifa global.

Por otro lado, dentro de la conciencia de idéntico diagrama de conexión, se pueden adoptar disposiciones positivas especiales, que presentan versiones en el suelo ocupado, dependiendo del tipo de barras, el tipo de estructuras, la mayor o menor sencillez de la instalación, el elemento de la instalación, etc.; lo que también repercute en el valor final de la subestación.

Los criterios que se utilizan para elegir el diagrama unifilar más adecuado y económico para una instalación son los siguientes:

- a) Continuidad del servicio
- b) Versatilidad de operación
- c) Facilidad de mantenimiento de los equipos
- d) Cantidad y costo del equipo eléctrico.

#### **2.7.1.1. Diagrama con un solo juego de barras**

Este es el mejor diagrama. En situaciones ordinarias de funcionamiento, todas las trazas y bancos de transformadores se conectan al conjunto de barras no casadas.

Con esta disposición, en caso de trabajar el bus diferencial de seguridad, se desconectan todos los disyuntores, quedando las subestaciones completamente desenergizadas; si el bus está preparado con un duro y rápido de cuchillas, seccionadores, en caso de una avería en

el citado bus, toda la subestación queda fuera de proveedor. Entonces se abren las cuchillas mencionadas, el elemento dañado no se nota y como consecuencia la mitad no dañada del conjunto puede funcionar.

El mantenimiento de los interruptores es difícil porque hay que ignorar una parte de la subestación.

Esta es la disposición que utiliza la menor cantidad de dispositivos y, en consecuencia, es la que tiene un precio más razonable.

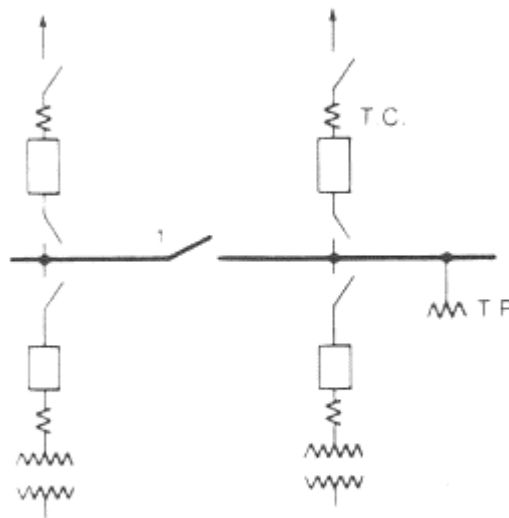


Gráfico 1. Diagrama de conexiones con un solo juego de barras colectoras - Diseño de Subestaciones Eléctricas. Pág 5

### 2.7.1.2. Diagrama con un juego de barras principales y uno de barras de transferencia.

Es una opción alternativa del caso anterior, en el que las barras de conmutación se utilizan para actualizar, a través del interruptor comodín, cualquier interruptor que necesite mantenimiento. Supongamos que se favorece la reparación del disyuntor 1, primero se abre el disyuntor 1 y luego sus cuchillas A y B. Ahora se cierran las cuchillas C del disyuntor 1 y las cuchillas A y B del disyuntor comodín. Finalmente, se cierra el disyuntor E, dejando el circuito 1 en servicio, y el disyuntor 1 se desenergiza y se prepara para su restauración.

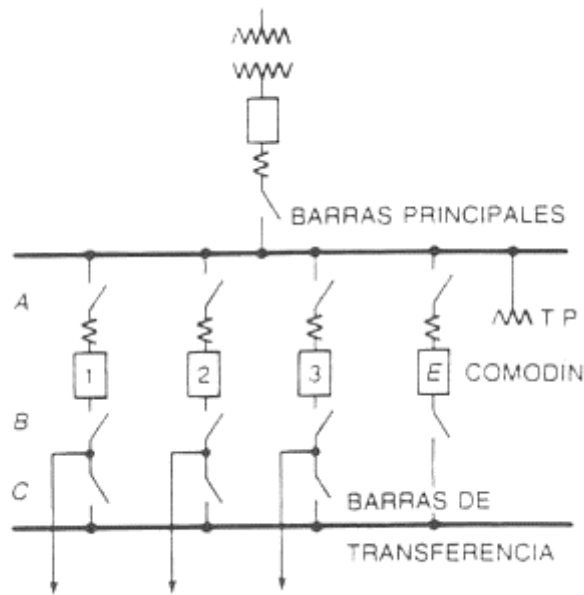


Gráfico 2. Un juego de barras principales y un juego de transferencia

### 2.7.1.3. Diagrama con un juego de barras principales y uno de barras auxiliares.

En condiciones normales de trabajo, todas las trazas y bancos de transformadores están conectados a las barras principales. Con este esquema se adquiere una verdadera continuidad de servicio.

Los esquemas con disyuntores comodín obtienen una mayor flexibilidad de trabajo, a pesar de que aumentan el rango de operaciones de conmutación en el dispositivo.

Esta asociación permite la sustitución y el mantenimiento de cualquier interruptor a través del interruptor comodín, sin cambiar el funcionamiento de la subestación en cuanto a la desconexión de cepas o bancos de transformadores.

Con respecto al caso anterior, la cantidad de equipos necesarios es mayor, así como su coste.

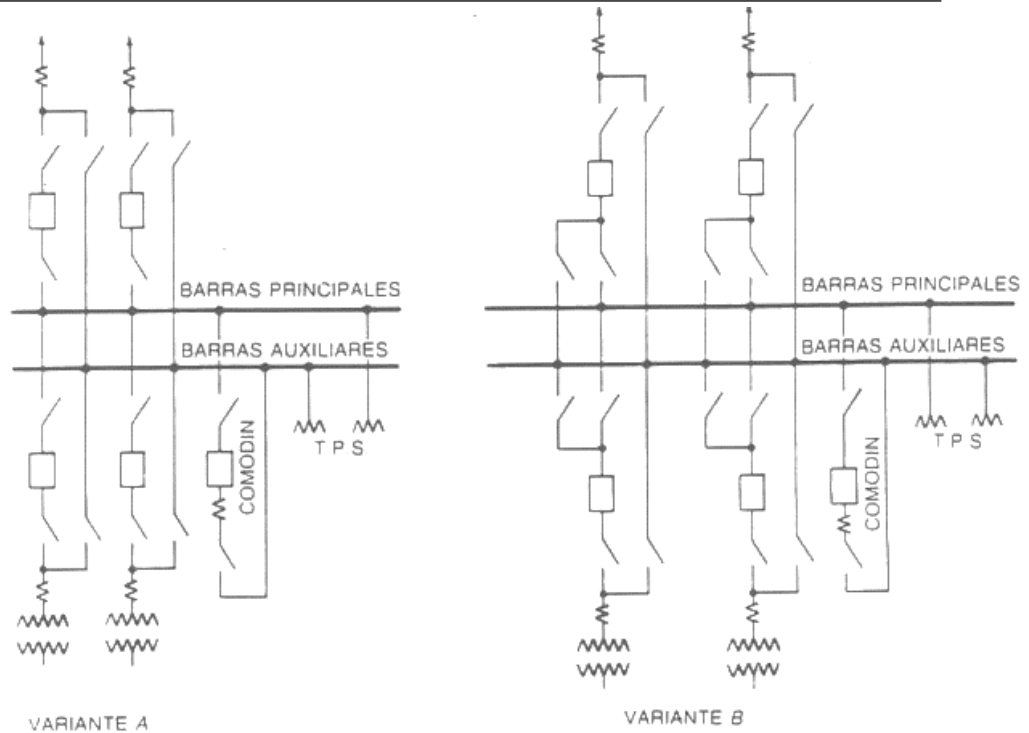


Gráfico 3. Diagrama de conexiones con un juego de barras colectoras principales y un juego de barras colectoras auxiliares. Diseño de subestaciones eléctricas - Pág 6

#### 2.7.1.4. Diagrama con doble juego de barras y barra partida.

Este diagrama se denomina igualmente bus dividido y es uno de los máximos utilizados habitualmente.

La característica de este diagrama es que la mitad de las trazas y los transformadores están conectados al menos a un conjunto de barras y la otra mitad a cualquier otro conjunto.

Desde el punto de vista de la continuidad, la disposición no siempre es correcta debido a que cada disyuntor que quiera ser atendido tiene que desconectar el transformador o línea correspondiente.

La subestación, en condiciones regulares, funciona con el interruptor de enlace y sus dos juegos de barras, el alternativo sigue funcionando, operando la subestación a 1/2 capacidad, mientras se realizan las maniobras vitales para soltar las cuchillas de todos los circuitos de las barras dañadas dejando la subestación conectada al juego de barras en condiciones óptimas, mientras se reparan las barras afectadas.

Para transportar cada disyuntor, es necesario desconectar el circuito correspondiente, lo que supone un inconveniente para este esquema. Esta asociación es un 30% más cara que la única que se maneja en el caso de un juego de barras, sin embargo es menos costosa que la única y media del caso de los interruptores que se menciona a continuación.

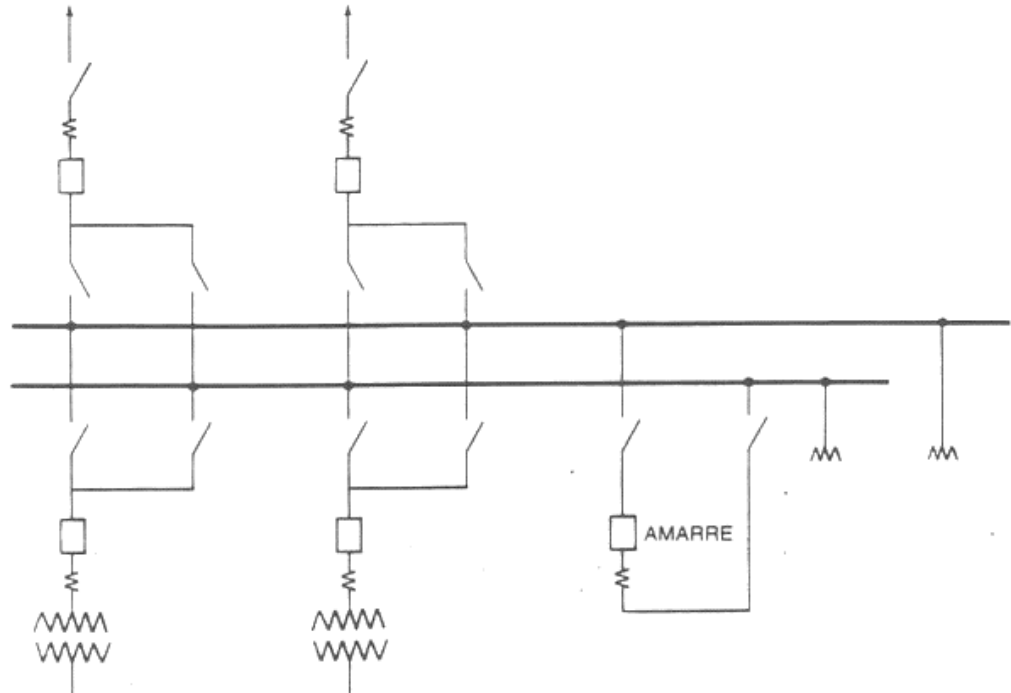


Gráfico 4. Diagrama de conexiones con doble juego de barras colectoras o barra partida. Diseño de Subestaciones Eléctricas - Pág. 7

#### 2.7.1.5. Diagrama con triple juego de barras.

Es una máquina utilizada en subestaciones en las que el corto circuito es muy elevado.

Desde el punto de vista de la continuidad, es igual que el caso anterior. El funcionamiento con tres barras permite disminuir la importancia de las corrientes de circuito rápido dentro de la subestación y no tener que alternar los interruptores por otros de mayor capacidad de interrupción. Por lo demás, en lo que respecta al funcionamiento, el comportamiento es igual que el caso anterior.

Para conservar cada disyuntor, también es importante desconectar el circuito correspondiente.

El número de disyuntores es el mismo que en el caso anterior, pero en cuanto a la cantidad de cuchillas, la cantidad se amplía en un 50%.

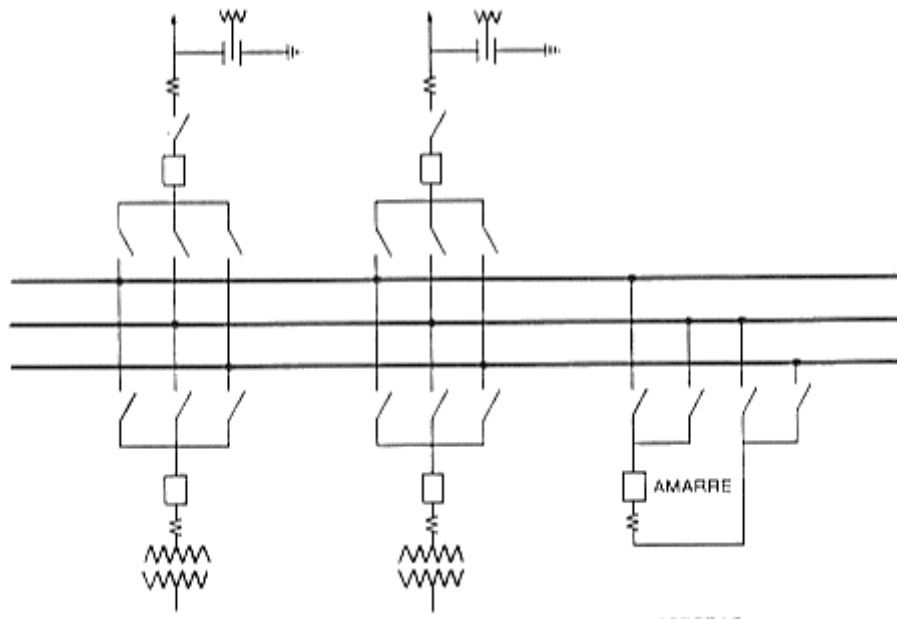


Gráfico 5. Diagrama de conexiones con triple juego de barras colectoras. Diseño de Subestaciones Eléctricas, Pág. 7

#### **2.7.1.6. Diagrama con doble juego de barras colectoras principales y uno de barras colectoras auxiliares.**

Cada juego de barras tiene su protección diferencial independientemente para evitar, en caso de una falla en estas, la desconexión total de la subestación.

Los juegos de barra de barras principales permiten que la mitad de las líneas y transformadores se conecten a un juego y la otra mitad a otro.

Las barras auxiliares sirven para que el interruptor comodín pueda sustituir la operación de cualquier interruptor de circuito.

Este arreglo permite dar mantenimiento a cualquier interruptor sustituyéndolo por el interruptor comodín, sin alterar la operación de la subestación.

La cantidad de interruptores es igual más uno al caso de barra partida y las cuchillas aumentan un 50%.

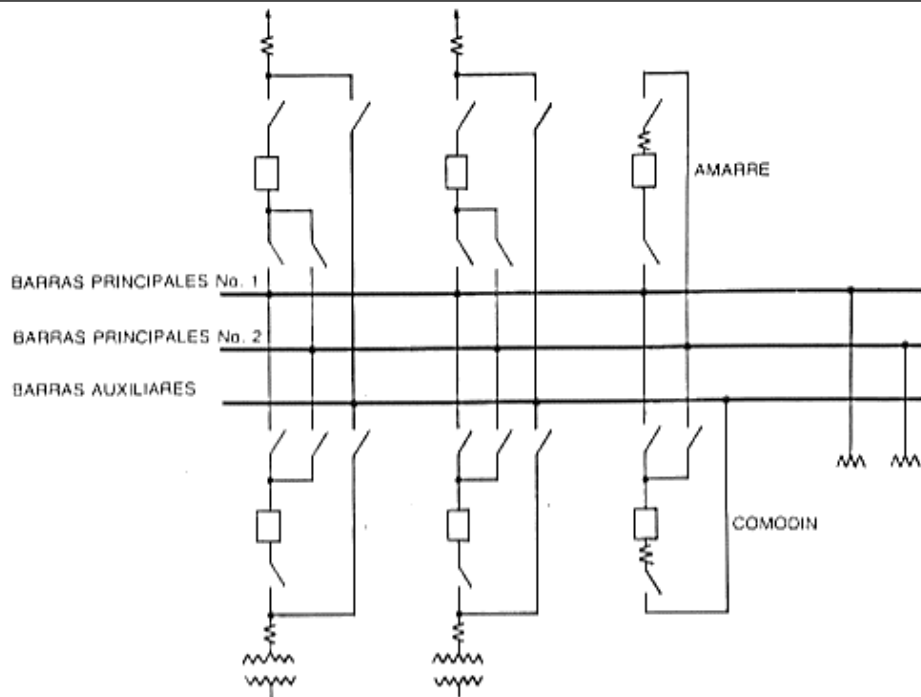


Gráfico 6. Diagrama de conexiones con doble juego de barras colectoras principales y uno de barras colectoras auxiliares. Diseño de subestación eléctrica. Pág. 9

### 2.7.1.7. Diagrama con arreglo en anillo sencillo.

En un esquema que puede ofrecerse con cualquiera de las dos ediciones A o B, y puede ser muy flexible en su funcionamiento; se utiliza ampliamente dentro de la salida de 23 kV de las subestaciones de distribución, el uso de anillo simple o doble. También se utiliza en subestaciones de 230 kV.

Permite una perfecta continuidad del servicio, incluso en el caso de que algún transformador de línea salga de servicio.

Cuando algún circuito se queda sin proveedor por una avería, los disyuntores adyacentes se abren, los disyuntores de corbata se acercan y la portadora se restablece inmediatamente. Si falla un transformador o una línea, la carga se traslada al otro transformador o línea, o se distribuye entre los transformadores o líneas adyacentes. Si hay más de transformadores, se puede utilizar una disposición de doble anillo.

Si la preservación se completa en uno de los disyuntores normalmente cerrados, mientras está desenergizado, el alimentador respectivo se transfiere al circuito vecino, después de la finalización computarizada del disyuntor de enlace.

Requiere casi el mismo aparato que el primer caso de barra única, con la ventaja de que se guarda la seguridad de la barra.

Prácticamente requiere el mismo equipo que el primer caso de barra sencilla, con la ventaja de que se ahorra la protección de barras.

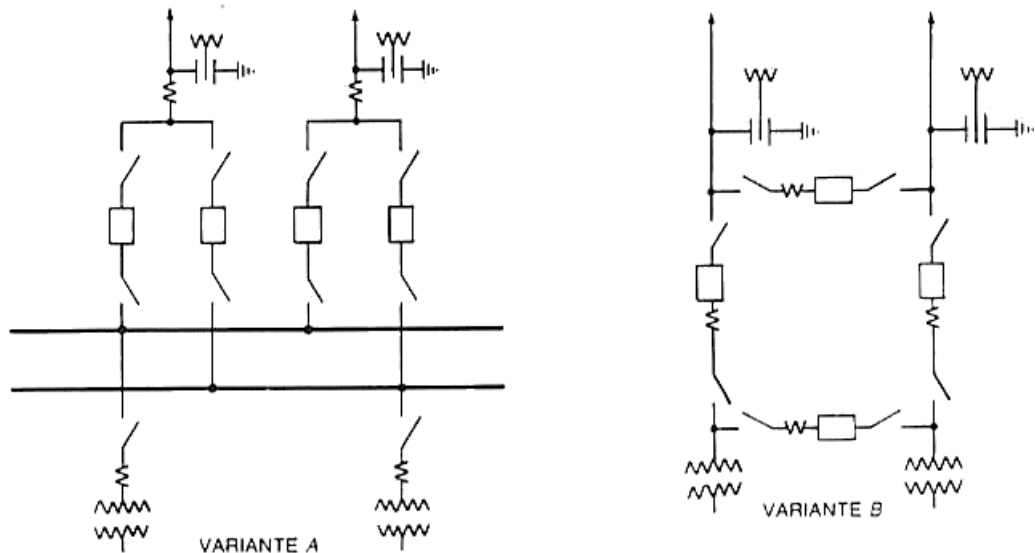


Gráfico 7. Diagrama de conexión con arreglo de anillo sencillo. Diseño de subestaciones eléctrica - Pág 9

### 2.7.1.8. Diagrama de arreglo de interruptor y medio.

Esta asociación se utiliza ampliamente en las zonas de alta tensión de las subestaciones de gran potencia, principalmente en las subestaciones de interconexión, que pueden formar parte de un aparato de aro.

En ambas variantes existe una continuidad de servicio ideal.

En condiciones ordinarias de funcionamiento, todos los disyuntores están cerrados, cada conjunto de barras tiene su propia protección diferencial y, dentro del caso de una avería en cualquier conjunto de barras afectado, ninguna línea o transformador está fuera de servicio.

Denominamos módulo a cada sección del esquema unifilar. En este caso, cada módulo incluye tres interruptores, cada uno de los cuales tiene unidades de transformadores de corriente, una en cada aspecto, y dos unidades de cuchillas, también una en cada lado.

Los interruptores exteriores se conectan con las barras, en el lado de la línea en un caso, y en el aspecto del banco en todos los demás casos. Entre los 2 interruptores exteriores y el interruptor crítico puede haber una conexión de línea o de cable en una faceta; y en la alternativa, una conexión a un transformador.

Cualquier disyuntor puede ser reparado según sea necesario, sin afectar a la continuidad del proveedor.

Este caso, en comparación con el de doble barra más barra auxiliar, requiere una gama ligeramente mayor de disyuntores, pero una cantidad mucho menor de cuchillas, lo que a la larga representa una disminución del precio total.

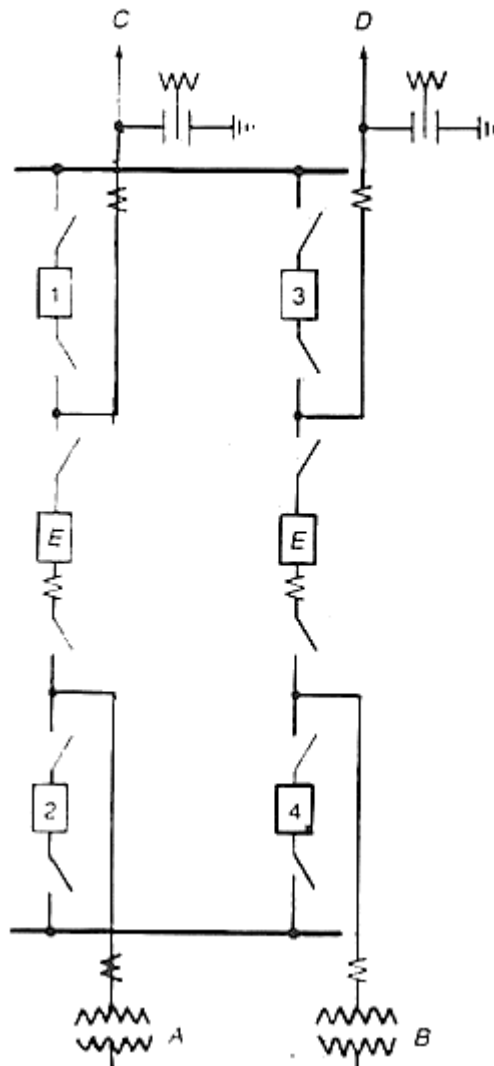


Gráfico 8. Diagrama de conexiones con arreglo de interruptor y medio. Diseño de Subestaciones Eléctricas. Pag 12

### 2.7.1.9. Diagrama con arreglo de doble interruptor.

Es cualquier otra forma de disposición poco utilizada debido a su excesiva tarifa, aunque tiene un incremento de fiabilidad notablemente mayor que en los casos de anillo o interruptor y medio.

Se considera similar al caso del interruptor y medio de. Es el caso en el que se requiere la mayor variedad de interruptores y cuchillas, por lo que se considera el más caro de los esquemas mencionados [3].

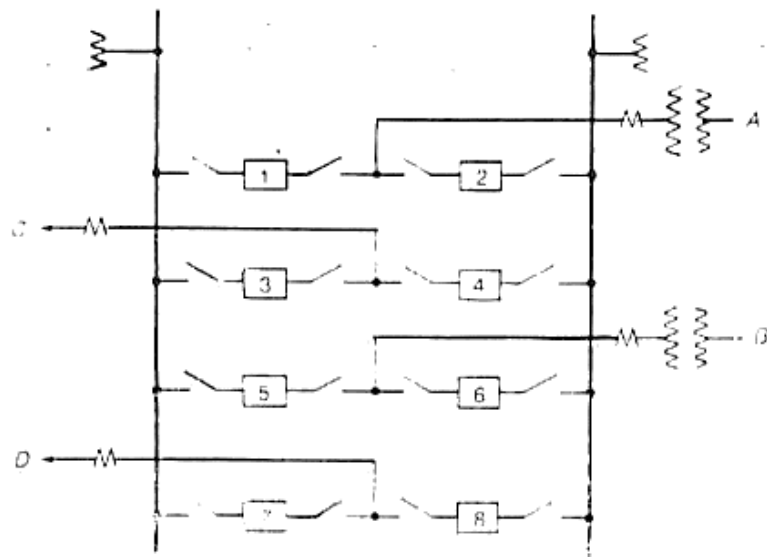


Gráfico 9. Diagrama con arreglo de doble interruptor. Diseño de Subestaciones Eléctricas. Pag 12

## CAPITULO 3

### INTERRUPTORES DE POTENCIA

#### 3.1. Antecedentes

Desde el momento en que un flotador eléctrico de día moderno cambió por primera vez, los resultados producidos por el mismo habían sido infames, por lo que ha habido una necesidad de crear un dispositivo que cambió en capaz de prevenir y reanudar el ir con el flujo de moderno eléctrico. Fundamentalmente hay dos métodos a través de los cuales el flujo de moderno puede ser detenido, uno es para disminuir la capacidad de conducción a 0 y el otro es físicamente, por medio de poner un par de contactos que crecen una abertura entre los conductores que llevan el presente eléctrico.

El disyuntor de energía es un elemento esencial de una máquina de energía eléctrica, ya que en caso de fallo o de situaciones regulares de funcionamiento debe tener la capacidad de interrumpir el día presente que fluye en él. Este dispositivo necesita caracterizarse en diversas situaciones de trabajo, lo que significa una enorme variedad de configuraciones del disyuntor - línea o equipo primario, por lo que desde que el disyuntor comenzó a utilizarse, ha sido continuamente un elemento de desafío, ya que es necesario prever su funcionamiento en cualquier condición. Por lo tanto, dentro de la puesta en marcha de un disyuntor, es necesario considerar todos los factores, tales como: el potencial de interrupción, el medio de interrupción, el mecanismo de funcionamiento, etc. Dado que el diseño de los disyuntores depende de cada fabricante, deben tenerse en cuenta todos los resultados de las inspecciones realizadas y los resultados obtenidos para garantizar un rendimiento óptimo de los disyuntores.

Cuando un disyuntor abre un circuito por debajo de la carga o para limpiar un fallo, es inevitable la presencia de un arco eléctrico, que es sin duda una situación destructiva dentro del funcionamiento de los disyuntores. Durante la presencia del arco, se mantiene el flujo de corriente dentro del circuito eléctrico. Las características del arco dependen, entre otras cosas, de:

- La naturaleza y presión del medio ambiente donde se induce.
- La presencia de agentes ionizantes o des ionizantes.
- La tensión entre los contactos y su variación en el tiempo.
- La forma, separación y estructura química de los contactos.
- La forma y composición de la cámara de interrupción.

Sistema de extinción del arco.

La creación del arco se debe a la ionización del medio entre los contactos, haciéndolo conductor, lo que permite ir contemporáneamente con la corriente. La presencia de iones se debe a la descomposición de las moléculas que componen el medio entre los contactos, debido a las colisiones entre ellos y los electrones proporcionados a través de la vanguardia.

### **3.2. Definición de interruptor de potencia**

El disyuntor es un dispositivo cuya función es garantizar la circulación ininterrumpida del día a día en una red eléctrica en situaciones de funcionamiento normal e interrumpirla cuando se producen condiciones extrañas o averías. Se utiliza para controlar el flujo de corriente y como forma de seguridad para los empleados y el equipo. Se conecta en conjunto con el circuito a cubrir.

### **3.3. Clasificación de los aparatos de corte**

#### **3.3.1. Seccionadores**

Se utilizan para abrir o cerrar un circuito mientras no está energizado y están especialmente destinados a aislar una red con tensión, una máquina eléctrica, un aparato fijo o una sección de una línea, tanto para funciones de mantenimiento como de reparación.

#### **3.3.2. Interruptores**

Es el equipo encargado de interrumpir y conectar circuitos en condiciones normales de carga nominal o en caso de falla.

#### **3.3.3. Interruptores seccionadores**

Es aquel tipo de interruptor que en posición de apertura, responden a las condiciones impuestas por los seccionadores (combinación de ambos).

### **3.3.4. Disyuntores o interruptores de potencia**

La función de un disyuntor (transferencia) es conectar e interrumpir, en cuanto o una y otra vez, en situaciones de funcionamiento regular y extraordinario, circuitos eléctricos exclusivos. Al organizar o deshacer el toque de los factores de interrupción, puede haber una breve etapa de arco entre los contactos, gobernado a través de las descargas eléctricas que se producen entre ellos. Si el moderno está fluyendo a través de un circuito, antes de que se abra a través del disyuntor en el momento de la separación se forma un arco entre los contactos y el moderno puede mantenerse a través del circuito hasta que la descarga cese.

La descarga en los disyuntores de CA, que normalmente toma la forma de un arco, tiene lugar de dos maneras. Cuando los contactos se separan, el arco es factible incluso si la fem del circuito está apreciablemente por debajo de la tensión mínima de interrupción, debido al enorme crecimiento local de la tensión por la autoinductancia del circuito. En la segunda técnica el arco se extingue en cada ocasión que el moderno pasa por 0 y sólo puede restablecerse si la tensión transitoria de recuperación entre los electrodos ya separados, que se conservan para dividirse, alcanza un precio suficientemente alto, llamado tensión de ruptura.

La capacidad nominal de un disyuntor se refiere a los valores de las características que describen las situaciones de funcionamiento para las que está diseñado y construido. Los disyuntores tienen que ser capaces de transmitir continuamente la carga completa contemporánea sin el empuje ascendente de la temperatura excesiva y necesitan soportar las fuerzas electrodinámicas. Además, tienen que ser capaces de interrumpir de forma competente las corrientes de defecto. Las capacidades de las clases excepcionales de disyuntores aparecen dentro de las numerosas especificaciones de los requisitos nacionales e internacionales, incluyendo los requisitos de IEC, IEEE, CFE y LFC, etc.

### 3.3.5. Conceptos relacionados con los interruptores

Un interruptor de C.A. presenta diferentes conceptos de capacidad nominal que se describen en los siguientes puntos.

#### 3.3.5.1. Tensión nominal, corriente nominal

La tensión nominal es la tensión de funcionamiento de la máquina entre niveles en voltios en la frecuencia nominal.

En condiciones normales de funcionamiento, la tensión no es siempre constante en cualquier factor de la comunidad, por lo que es necesario asegurar el funcionamiento preciso del interruptor en la tensión más nominal o en la tensión más de diseño.

La tensión de diseño más importante de un interruptor es el precio R.M.S. más alto de la tensión entre los niveles para los que está diseñado el interruptor y representa la máxima restricción de la tensión del sistema a la que el interruptor puede funcionar de forma continua. En la tabla 1 se pueden observar los valores nominales y máximos de diseño según la IEC.

VOLTAJE NOMINAL (KV),	VOLTAJE MAXIMO DE DISEÑO (KV)
2.2	2.2
4.16	4.16
13.8	15.5
23.0	24.6
34.5	38.0
69.0	72.5
115.0	123.0
138.0	145.0
161.0	170.0
230.0	245.0
400.0	420.0

Tabla 1. Valores nominales y máximo de diseño. IEC

La corriente nominal de un interruptor es el valor eficaz (R.M.S.) de la corriente expresada en amperes, para el cual está diseñado y que es capaz de conducir continuamente a la frecuencia nominal, sin exceder los valores recomendados de elevación de temperatura, mostrados en la tabla

2

COMPONENTE		TEMPERATURA MÁXIMA	
CONTACTOS		Temperatura total (°C)	Elevación de temperatura con temperatura ambiente menor a 40°C (°C)
Cobre sin recubrimiento	En aire	75	35
	En SF6	105	65
	En aceite	80	40
De plata, niquelados o plateados	En aire (notas 1.2)	105	65
	En SF6	105	65
	En aceite (nota 2)	90	50
Estañado	En aire	90	50
	En SF6	90	50
	En aceite	90	50
<b>CONEXIONES</b>			
Cobre	En aire	90	50
	En SF6	115	75
	En aceite	100	60
De plata, niquelados o plateados	En aire	115	75
	En SF6	115	75
	En aceite	100	60
Estañado	En aire	105	65
	En SF6	105	65
	En aceite	100	60
<b>TERMINALES EXTERNAS A CONDUCTORES</b>			
Sin recubrimiento		90	50
Plata, níquel o estañadas		105	65
<b>PARTES METALICAS QUE ACTÚAN COMO RESORTE</b>		Ver nota 4	Ver nota 4
<b>MATERIALES AISLANTES (nota 5)</b>			
Clase Y (materiales no impregnados)		90	50
Clase A (materiales impregnados o sumergidos en aceite)		105	65
Clase E		120	80
Clase B		130	90
Clase F		155	115

Clase H		180	140
Esmalte	Base aceite	100	60
	Sintético en aire	120	80
	Sintético en aceite	100	60
<b>METAL O MATERIAL AISLANTE EN CONTACTO CON ACEITE, EXCEPTO CONTACTOS</b>		100	60
<b>ACEITE AISLANTE PARA INTERRUPTORES</b>		90	50

*Tabla 2. Valores recomendados de elevación de temperatura*

**Notas de tabla 2**

- 1) Cuando se aplica una elevación de temperatura de 65°C se debe asegurar que no se ha causado daño a los materiales aislantes adyacentes.
- 2) La calidad de la cubierta de plata será de tal clase que después de las pruebas de cortocircuito y mecánicas, todavía tenga una capa de plata en los puntos de contacto y debe considerarse como "NO CUBIERTO DE PLATA".
- 3) Los valores de temperatura y de elevación de temperatura son válidos para conductores con o sin recubrimiento.
- 4) La temperatura no debe alcanzar un valor donde se afecte la elasticidad del material (reblandecimiento). Para cobre puro el límite de temperatura es de 75°C.
- 5) Se utilizan las siguientes clases de materiales aislantes:  
 CLASE "Y" (90 °C) Algodón, seda y papel sin impregnación.  
 CLASE "A" (105 °C) Algodón, seda y papel impregnados, cubiertos o sumergidos en un líquido dieléctrico como el aceite.  
 CLASE "E" (120 °C) Barnices de terminación e impregnación, compuestos de poliuretano, compuestos epóxicos y resinas.  
 CLASE "B" (130 °C) Mica, fibra de vidrio, asbesto, etc., o combinación de ellos, contruidos con varias sustancias orgánicas.  
 CLASE "F"(155 °C) Mica, fibra de vidrio contruidos con varias sustancias de otros materiales no necesariamente inorgánicos.  
 CLASE "H" (180 °C) Nomex, Mylar laminado, mica, fibra de vidrio, barniz, resilam, DMD 180, Kapton, Pyromid, Pyroglas y Pyrolam.

**3.3.5.2. Frecuencia nominal**

La frecuencia nominal de un disyuntor es la frecuencia de la red para la que el disyuntor fue diseñado y a la que corresponden las características nominales alternativas.

### **3.3.5.3. Capacidad nominal de interrupción, simétrica y asimétrica.**

Se define como el día más actual, medido en el instantáneo mientras los contactos están separados, que puede ser interrumpido por medio del interruptor con una tensión de recuperación de frecuencia esencial.

La capacidad nominal se describe mediante valores:

La capacidad de interrupción simétrica, expresada a través del coste eficaz (rms) de la emisión de corriente alterna de toda la corriente interrumpida mediante el interruptor. Se obtiene con el método posterior:

$$I_s = \frac{I_{ca}}{\sqrt{2}}$$

La capacidad de interrupción asimétrica o total, expresada a través de la tasa rms (rms) de la corriente total, que comprende los componentes de corriente alterna y continua, interrumpida con la ayuda del interruptor.

### **3.3.5.4. Tensión transitoria de restablecimiento (TTR)**

Es la restricción de la TTR prevista de los circuitos que el disyuntor debe tener la capacidad de interrumpir en ocasión de un cortocircuito en sus terminales. La forma de onda del TTR varía según la configuración de los circuitos.

### **3.3.5.5. Corriente nominal de tiempo corto o máxima duración del corto circuito**

Es el tiempo máximo de conservación del circuito rápido actual para el que se diseñó el interruptor.

### **3.3.5.6. Nivel Básico de Aislamiento al Impulso (NBAI)**

Este requisito se basa en la verdad de que las sobretensiones de rayo son una de las razones fundamentales de los viajes de los aparatos y de las averías de los aparatos de energía. La importancia y la forma de la onda de impulso dependen del grado de aislamiento de la línea y de la distancia entre el factor de origen del impulso y el punto de la carretera al que se presta atención.

---

### **3.3.5.7. Secuencia nominal de operación.**

El conjunto de operaciones nominales de un disyuntor consiste en una serie de operaciones de establecimiento (desconexión) y de permanencia (conexión) o ambas a la vez. Las instancias asociadas a las operaciones son de gran importancia, tanto desde el punto de vista de la estabilidad del sistema, como desde el punto de vista de las situaciones de calentamiento por contacto extremo. Cuanto más tiempo tarde el disyuntor en limpiar la avería de hoy en día, mayor será el daño que causará al dispositivo o a sí mismo.

### **3.3.5.8. Tareas fundamentales de los aparatos de corte**

Se requiere que cualquier aparato de corte, sin considerar su aplicación, efectúe cuatro operaciones fundamentales:

1. Cerrado, debe de ser un conductor ideal
2. Abierto, debe ser un aislador ideal
3. Cerrado, debe de ser capaz de interrumpir la corriente a la que fue diseñado, rápidamente y en cualquier instante, sin producir sobretensiones peligrosas que afecten al sistema
4. Abierto debe de ser capaz de cerrar rápidamente y en cualquier instante, bajo corrientes de falla, sin soldar los contactos por las altas temperaturas

### **3.3.5.9. Principio de operación del interruptor**

El funcionamiento de los contactos de un disyuntor se realiza por medios mecánicos.

Cuando los contactos se separan, se forma un espacio de aire entre ellos, que incluye un medio dieléctrico y de interrupción (aire, combustible SF<sub>6</sub>, vacío, aceite). En este medio se forma el arco eléctrico, a través del cual el filo de corte fluye de un contacto al otro. En este espacio de aire es en el que el circuito corre el riesgo de ser interrumpido, por la razón de que el filo de corte deja su ruta auténtica (contactos) para formar un arco dentro del medio aislante e interruptivo, cuando la conductividad de esta dirección se reduce hasta que el arco se extingue, el moderno deja de fluir.

Por lo tanto, la interrupción de un circuito eléctrico comprende pasos consecutivos:

En la primera, se intercala un entrehierro al curso original, y la segunda consiste en deshacerse de la conductividad del entrehierro. El precepto esencial de este sistema es la velocidad de recuperación del medio dieléctrico dentro del hueco de aire. Para un hueco de aire con un medio aislante gaseoso, el combustible es semiconductor a altas temperaturas y se convierte en aislante al enfriarse.

#### **3.3.5.10. Métodos de extinción del arco eléctrico**

En términos generales, hay tres estrategias conocidas de extinción de arco para los interruptores:

#### **3.3.5.11. Interrupción por alta resistencia.**

En este ejemplo, el objetivo es aumentar la resistencia del arco en función del tiempo y disminuir la moderna hasta lograr la extinción. La desventaja importante de esta técnica de interrupción es la enorme cantidad de energía disipada, por lo tanto, es mucho más efectiva utilizada en los interruptores de baja y media tensión, además de en los interruptores contemporáneos directos.

#### **3.3.5.11.1. Interrupción por baja resistencia.**

Este método se emplea para la interrupción de arcos de corriente alterna aprovechando que el arco se extingue por sí solo, 120 veces por segundo en un sistema de 60 Hz, cada vez que la corriente cruza por cero.

Este fenómeno se representa en el siguiente gráfico y es más conocido como HISTÉRESIS DEL ARCO.

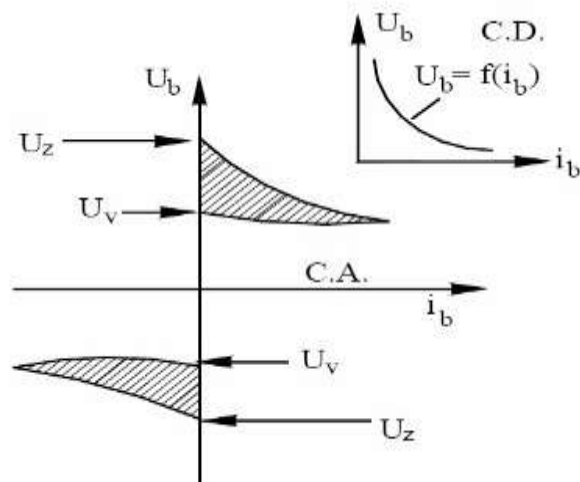


Gráfico 10. Comportamiento del arco en c.a. (histéresis del arco). "Modernización de Interruptores de potencia de 400 kV en la Subestación Eléctrica Texcoco"- Pág. 14

### 3.3.5.11.2. Interrupción en vacío

El vacío tiene dos propiedades sobresalientes:

1. Rigidez dieléctrica mayor que cualquier otro medio, y
2. Cuando se interrumpe un circuito de CA mediante la separación de contactos en vacío, la interrupción ocurre en el primer cruce por cero de la onda de corriente, presentándose inmediatamente un incremento de rigidez dieléctrica a través de los contactos, mucho mayor a la del interruptor en aire, gas SF6 o aceite.

### 3.3.6. Técnicas para aumentar la resistencia del arco

Para incrementar la resistencia del arco se emplean las técnicas siguientes:

Elongación del arco. Como la resistencia del arco es aproximadamente proporcional a su longitud, alargando el arco su resistencia aumenta.

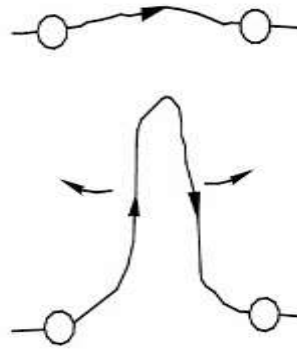


Gráfico 11. Elongación del arco eléctrico por la acción del empuje térmico. "Modernización de Interruptores de potencia de 400 kV en la Subestación Eléctrica Texcoco"- Pág. 15

Enfriamiento del arco. La tensión requerida para mantener la ionización aumenta cuando la temperatura disminuye, por lo que enfriándolo su resistencia aumenta.

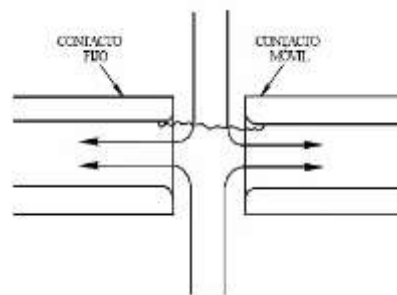


Gráfico 12. Representación esquemática de la técnica de enfriamiento del arco en un interruptor neumático. "Modernización de Interruptores de potencia de 400 kV en la Subestación Eléctrica Texcoco"- Pág. 15

División del arco. Cuando se establece un arco, existe una tensión apreciable entre las superficies de los contactos. Si el arco se divide en arcos pequeños, en serie, se reduce la tensión de la columna.

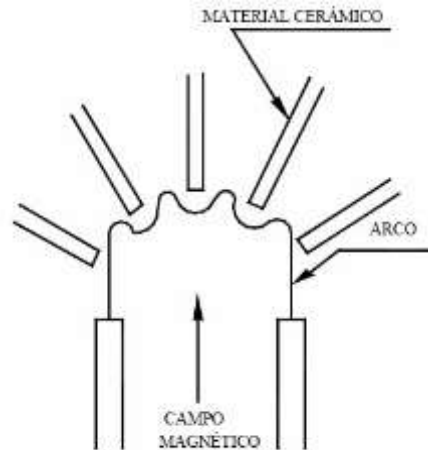


Gráfico 13. Representación esquemática de la división del arco. "Modernización de Interruptores de potencia de 400 kV en la Subestación Eléctrica Texcoco"- Pág. 27

**Contricción del arco.** Esta técnica consiste en confinar el arco en un canal muy angosto, aumentando su resistencia hasta lograr su extinción

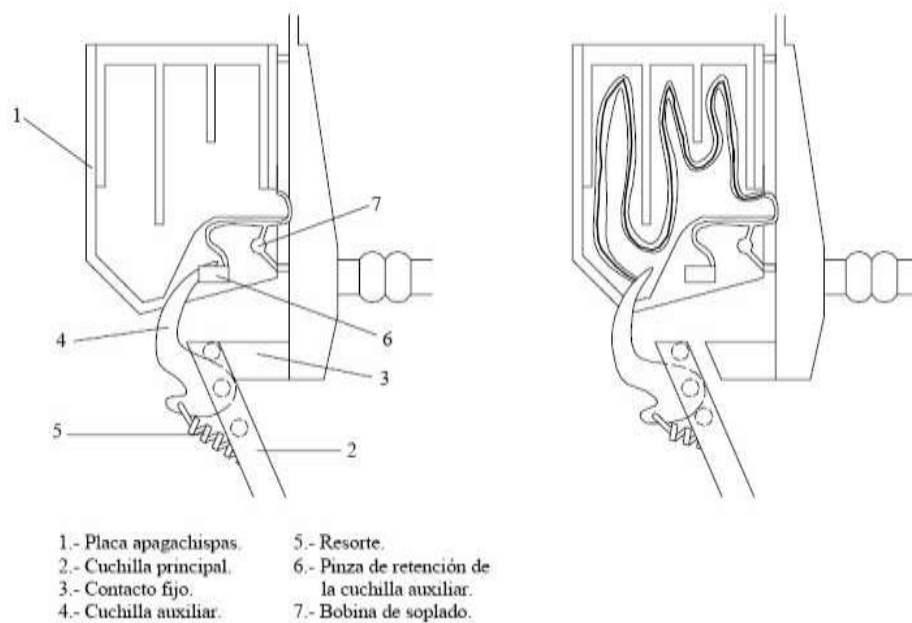


Gráfico 14. Representación esquemática de la construcción del arco. "Modernización de Interruptores de potencia de 400 kV en la Subestación Eléctrica Texcoco"- Pág. 16

### 3.3.7. El circuito principal

El circuito principal aloja los factores que pueden ser energizados a la tensión nominal y son esencialmente: contactos eléctricos, contactos auxiliares de arco, contactos deslizantes y terminales.

Todo este conjunto está contenido dentro de un campo que los continúa ensamblando. En el caso de los interruptores de tanque vivo, este contenedor es de porcelana (llamado cámara de interrupción); y en el caso

de los interruptores de tanque inútil, están contenidos en el interior de un tubo de tela aislante, que a su vez está alojado en el interior de un tanque metálico conectado a tierra.

Los interruptores de vacío no tienen contactos de arco auxiliares.

Los aditivos del circuito principal, complementados con algunos factores extra que incluyen las boquillas para guiar la deriva del medio refrigerante y aislante, el cilindro de soplado, entre otros, conforman la cámara de interrupción, para proporcionar un método de expansión y manejo de la dinámica del arco eléctrico en alguna etapa del inicio, fenómeno esencial para romper cualquier filo, sin infligir sobretensiones y llevarlo a la condición de aislante.

Un detalle esencial a tener en cuenta es el aislamiento interior y el del suelo. El aislamiento interior es el medio aislante que existe entre los contactos cuando pueden estar separados, en función abierta, que puede ser aire, aceite, combustible SF<sub>6</sub> o vacío. El aislamiento interno es el encargado de asegurar que las 2 partes de una red o sistemas interconectados a través del interruptor permanezcan separadas al mismo tiempo que el interruptor está abierto.

El aislamiento de tierra es el medio aislante entre el circuito primario y la referencia del suelo. Este aislamiento, además de evitar la fuga de energía a tierra, permite que el personal esté al descubierto ante etapas de tensiones no soportables por las personas [1].

### **3.3.8. Extinción en corriente alterna**

La extinción del arco eléctrico en corriente alterna está relacionado con el cruce por cero de la corriente. La de-ionización o recuperación de la rigidez dieléctrica del entrehierro, inicia en el momento en que el arco se extingue (cuando la corriente cruza por cero). La rigidez crece linealmente en función del tiempo, hasta alcanzar su estabilización.

Si la tensión en el interruptor ( $U_{senwt}$ ) en algún instante excede a la tensión de recuperación  $U_r$ , ocurre un reencendido. En caso contrario, si la tensión de recuperación  $U_r$  se incrementa más rápidamente que la tensión

en el interruptor, no se produce el reencendido. Este fenómeno se ilustra en la figura.

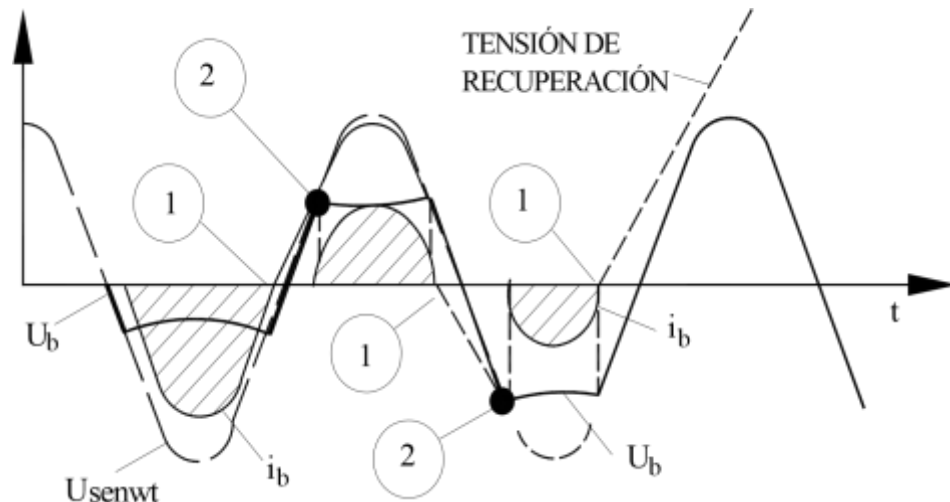


Gráfico 15. Comportamiento de las tensiones durante el proceso de interrupción. Manual de interruptores de potencia, marzo 2003. Pág. 13

La conducta anterior varía si se considera o no un circuito inductivo o capacitivo. Estos circuitos son muy críticos porque las estructuras de transmisión de fuerza suelen tener reactores en derivación o bancos de condensadores de recogida. Además, la desconexión de un transformador que trabaja en vacío representa una inductancia.

En los circuitos inductivos o capacitivos, el paso por cero del filo de corte coincide, por ser el caso, con el mayor precio de la tensión. En este tipo de circuitos es muy común que se produzcan reencendidos. Esto se debe a que al extinguirse el arco mientras el moderno cruza el 0, la tensión del circuito supera la tensión de curación.

Estos circuitos tienen un comportamiento oscilatorio debido a la presencia simultánea de inductancias y capacitancias. La tensión temporal tiene tendencia a oscilar y puede alcanzar la tensión de recuperación. Sin embargo, la mayor parte de las veces se produce una desionización del hueco de aire y, en consecuencia, una interrupción del golpe.

### 3.3.9. Principio de operación

El funcionamiento de los contactos de un disyuntor se realiza por medios mecánicos. Cuando los contactos se separan, se forma un espacio de aire entre ellos, que consiste en un medio dieléctrico y de interrupción

(aire, gas SF<sub>6</sub>, vacío, aceite). En este medio se forma el arco eléctrico, a través del cual el moderno fluye de un contacto al alternativo. En este espacio de aire es donde el circuito es vulnerable a ser interrumpido, por la razón de que el contemporáneo deja su única ruta (contactos) para formar un arco en el medio aislante e interruptivo, mientras que la conductividad de este curso se reduce hasta que el arco se extingue, el contemporáneo deja de fluir.

Por lo tanto, la interrupción de un circuito eléctrico contiene dos pasos consecutivos: en el primero, se introduce un hueco de aire en el recorrido original, y el segundo incluye la eliminación de la conductividad del hueco de aire. El principio esencial de este sistema es la tasa de restauración del medio dieléctrico dentro del agujero de aire.

Para un agujero de aire con un medio aislante gaseoso, la gasolina es semiconductor a altas temperaturas y se convierte en aislante al enfriarse.

A excepción de los sistemas que utilizan materiales semiconductores de soplado magnético y de vacío, todos los interruptores pintan sobre el principio de la liberación de algún tipo de gas. [6]

### **3.3.10. Proceso de cierre**

Los interruptores necesitan acercarse e interrumpir los circuitos, esto podría razonar ciertos problemas, específicamente si la transferencia se cierra bajo situaciones de falla.

Cuando el interruptor está abierto, la tensión en sus terminales es la tensión del sistema, a esta tensión se le denomina “tensión de cierre”. Al valor máximo de la corriente que fluye al cerrar el interruptor se le llama “corriente de cierre”. La “potencia de cierre” es el producto de la tensión de cierre por la corriente de cierre.

El tiempo restante de un disyuntor es el tiempo que transcurre desde el instante en que se energiza la bobina final hasta la conexión corporal de los contactos principales.

Durante el tiempo restante, hay tensiones eléctricas entre los contactos a medida que se acercan a cada uno de ellos, organizando arcos de preignición que provocan una puesta en contacto adicional.

El caso vital máximo tiene lugar cuando el interruptor se cierra en condiciones de fallo de máxima asimetría.

### **3.3.11. Proceso de apertura**

Si, mientras el interruptor está cerrado, se desea interrumpir el circuito, se libera el mecanismo de apertura que permite la separación de los contactos principales. La separación de los contactos genera el arco eléctrico.

Durante el inicio, el arco desempeña funciones muy vitales para la duración de la interrupción, dependiendo del tipo de medio de extinción utilizado.

La potencia de cortocircuito que el disyuntor está preparado para interrumpir viene dada por el producto del día de cortocircuito simétrico y la tensión de restablecimiento, un ciclo después de la interrupción.

Los kA del moderno de interrupción simétrico se expresan normalmente para indicar la capacidad de cortocircuito del disyuntor.

El tiempo de interrupción se da desde el momento en que se energiza la bobina del agujero hasta la extinción del arco. Este tiempo incluye 2 componentes: el tiempo propio desde la energización de la bobina del agujero hasta la separación física del contacto y el tiempo del arco y se expresa en milisegundos o ciclos.

Debido a que el disyuntor interactúa con la máquina eléctrica, está muy sometido a una gran variedad de corrientes con características capacitivas, inductivas, resistivas o mezclas de ellas.

El fabricante del disyuntor debe tener en cuenta los efectos de las corrientes de falla para el diseño adecuado del disyuntor.

La interrupción de la corriente incluye la conversión de una zona bastante ionizada dentro del entrehierro en un excelente aislante para que la corriente no se desplace a través de ella.

Cuando las técnicas modernas sinusoidales cruzan el cero, el medio aislante ionizado pierde rápidamente la temperatura y recupera sus condiciones de aislamiento. En esta última condición la tensión del sistema parece en los terminales de transferencia. La velocidad de transición del medio aislante depende de los parámetros eléctricos de la red.

La duración de la transición varía de unos milisegundos a tres décimas de 2d, dependiendo de la contemporaneidad, del medio de extinción del arco y del sistema, de la longitud del arco, etc.

Cuando se interrumpe el corte, la tasa de auge del TTR y la rigidez dieléctrica varían. Si la TTR tiene una tasa de aumento mejor que la recuperación de la rigidez dieléctrica, se produce el "reencendido" del arco. Si la recuperación del dieléctrico es más rápida que la tasa de crecimiento del TTR, se producirá una interrupción del arco.

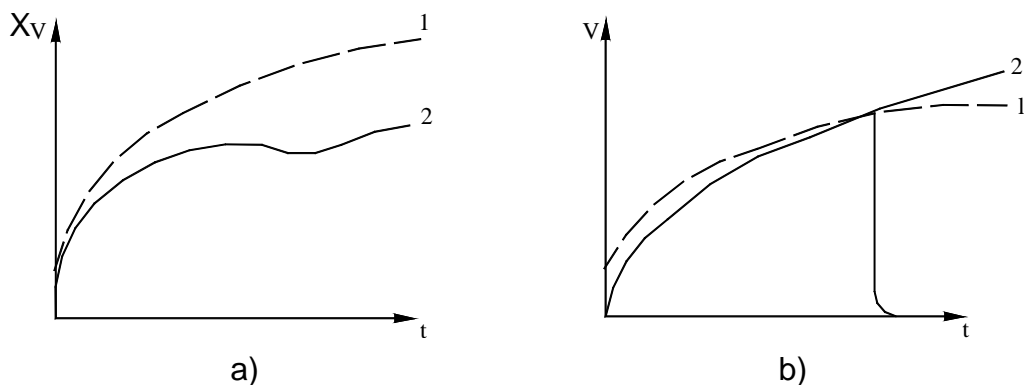


Gráfico 16. Proceso de interrupción de la corriente: a) Extinción; b) Reencendido. Manual de Interruptores de Potencia. Pág. 27

Se tienen básicamente dos posibilidades para evitar el reencendido del arco:

- Disminuir la razón de crecimiento de la TTR.
- Acelerar la regeneración dieléctrica del entrehierro.

Los pasos principales que se llevan a cabo en el proceso de la interrupción en un circuito de corriente alterna, para entender el concepto se presenta en el siguiente gráfico

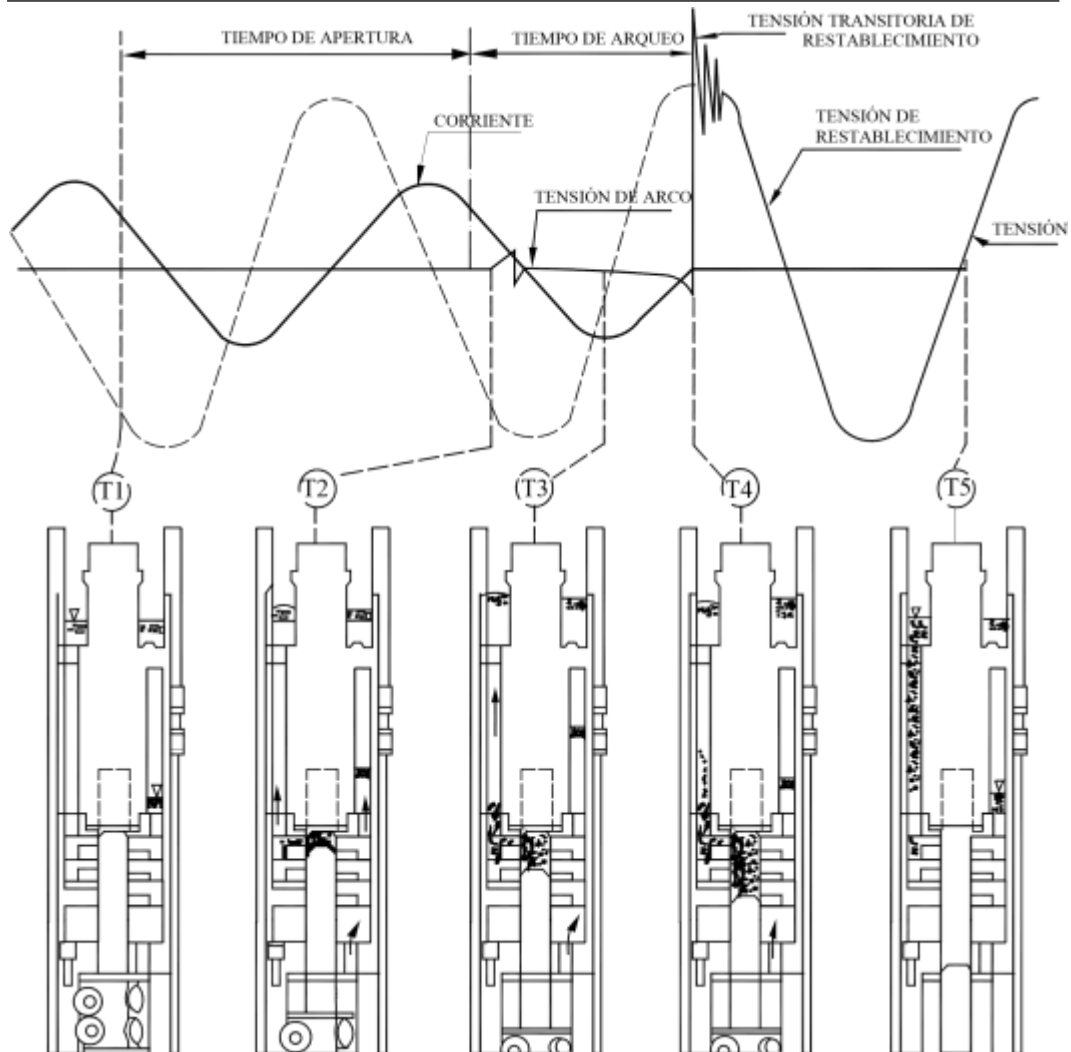


Gráfico 17. Proceso de interrupción de corriente en un circuito de C.A. Manual de Interruptores de Potencia. Pág. 28

- T1 El interruptor en posición de cerrado, recibe una señal de apertura. Se inicia la separación de los contactos, con la ayuda del resorte de apertura.
- T2 El interruptor abre y se forma el arco entre el anillo de arqueo del contacto fijo y el contacto móvil.
- T3 El contacto móvil se desplaza hacia abajo, abriendo aún más. En el cruce por cero de la corriente, se presenta un alto valor dieléctrico.
- T4 El arco se extingue, restableciéndose completamente el dieléctrico.

- T5 El interruptor termina el movimiento de contactos y queda en posición abierto.

### **3.4. Tipos de interruptores**

El disyuntor es una herramienta de desconexión que, de acuerdo con las normas, se describe como una herramienta capaz de conmutar, realizar e interrumpir corrientes en condiciones regulares y, además, conmutar y llevar a cabo corrientes durante un tiempo determinado e interrumpirlas en condiciones extraordinarias, junto con corrientes de cortocircuito.

A medida que las tensiones de funcionamiento y las capacidades de cortocircuito de los sistemas de energía han mejorado, los disyuntores de alta tensión han desempeñado una posición vital en este aumento. Se han desarrollado diferentes tecnologías, algunas de ellas con un enfoque de interrupción superior, y se siguen estudiando para conseguir un sistema más eficiente.

Para impactar en la interrupción moderna, algunos de los primeros diseños de disyuntores alargaban claramente el arco a través de un par de contactos en el aire; más tarde se incorporaron estructuras de arco, junto con algunas con bobinas de soplado magnético, al mismo tiempo que otros dispositivos utilizaban bebidas que incluyen aceite porque el medio de interrupción.

#### **3.4.1. Tipos de interruptores por nivel de tensión**

El nivel de tensión en el cual se van a usar los interruptores es una clasificación muy amplia que divide a los interruptores en:

- a) Interruptores de baja tensión, son los diseñados para usarse en tensiones de hasta 1000 volts.
- b) Interruptores de alta tensión, son los diseñados para usarse en tensiones superiores a 1000 volts.

Cada uno de esos grupos puede subdividirse.

Para el caso de los interruptores de alta tensión estos se subdividen en interruptores de 123 kV y mayores e interruptores de 72.5 kV y menores.

Frecuentemente, estos dos grupos son relacionados como interruptores para transmisión e interruptores de distribución respectivamente.

Esta clasificación de los interruptores de alta tensión es la que comúnmente es usada por las normas internacionales ANSI e IEC.

### **3.4.2. Interruptores por lugar de instalación**

Los interruptores de alta tensión pueden ser usados en instalaciones tipo interior y tipo exterior o intemperie. Los interruptores tipo interior son aquellos diseñados para usarse sólo en el interior de edificios o en envolventes resistentes a la intemperie.

Para media tensión en el rango de 4.76 kV a 34.5 kV estos son del tipo interior y están diseñados para usarse en el interior de tableros o cubículos metal clad. La única diferencia entre los interruptores tipo interior y tipo exterior es la envolvente externa o gabinete. Las partes internas tales como los contactos, las cámaras de interrupción y el mecanismo, en la mayoría de los casos, son los mismos para los dos tipos, siempre y cuando las características nominales de corriente y tensión sean las mismas y que utilicen la misma tecnología para la interrupción de corriente.

### **3.4.3. Interruptores por características externas de diseño**

Desde el punto de vista de su diseño físico estructural, los interruptores para intemperie pueden ser clasificados como interruptores de tanque muerto e interruptores de tanque vivo.

Los interruptores de tanque muerto están definidos por las normas ANSI como un dispositivo de desconexión en el cual la envolvente o tanque está sólidamente aterrizada y aloja las cámaras interruptivas y el medio aislante.

El interruptor de tanque vivo está definido como un dispositivo de desconexión, en el cual las cámaras interruptivas se encuentran soportadas en columnas aislantes y éstas quedan aislando la parte energizada del potencial a tierra.

Los interruptores de tanque muerto presentan ciertas ventajas sobre los interruptores de tanque vivo, entre las cuales se tienen:

- a) Se pueden instalar transformadores de corriente tipo boquilla, tanto en el lado de línea, como en el lado de la carga del interruptor.
- b) Su construcción ofrece una capacidad de soporte sísmico mayor.
- c) Se embarcan ya ensamblados y ajustados desde la fábrica.
- d) Tienen una mejor estética.

Por otra parte, los interruptores de tanque vivo comparados con los de tanque muerto, ofrecen las siguientes ventajas

- a) Costo menor, ya que no incluye los transformadores de corriente.
- b) Utilizan menor cantidad de fluido para interrupción.

#### **3.4.4. Interruptores por método y tipo de medio de interrupción**

En el proceso de desarrollo de las tecnologías para interruptores, los factores principales que han influido en los parámetros de diseño son, el medio aislante y el de interrupción y los métodos para efectuar la extinción del arco eléctrico.

Los medios de interrupción que se utilizaron a principio de siglo fueron el aire y el aceite, siendo notable su funcionalidad y confiabilidad. Posteriormente, al final de la década de los cincuenta, aparecieron dos tecnologías como medios interruptivos, la de vacío y la de gas hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). En la actualidad estas dos últimas tecnologías son las líderes en la interrupción del arco eléctrico.

Aunque vacío y SF<sub>6</sub> son actualmente las tecnologías más modernas, en este capítulo se presentan los aspectos tecnológicos relevantes de los interruptores en aceite y en aire debido a que aún existen interruptores con estas tecnologías en servicio; aunado a esto, muchos de los requerimientos especificados en las normas están basados en las características de operación de esos interruptores.

### 3.4.5. Interruptores de soplo magnético

El primer diseño de esta forma de disyuntor consistía en palas sencillas que funcionaban en el aire bajo situaciones atmosféricas. Este diseño tenía una capacidad muy limitada en cuanto a voltaje y capacidad de interrupción, lo que obligó a mejorar los diseños de avance que implicaban la inclusión de varios componentes cuya característica era mejorar la refrigeración del arco.

El elemento más importante era una caja que contenía una serie de placas metálicas o aislantes. También se incluyó una bobina de soplo magnético en este contenedor, en particular para aplicaciones de media tensión.

Una cámara de arco para este tipo de conmutador es una forma de campo hecha de sustancias aislantes. Cada cámara de arco rodea un polo del interruptor y en algunos casos sirve como forma para ayudar a las placas de arco. Existen básicamente variedades de cámaras de arco, que se caracterizan principalmente por el material de las placas de arco.

En el primer tipo de cámara de arco las placas están hechas de metal moderado o níquel-cadmio. En este tipo, el arco es guiado hacia las placas con la ayuda de un par de cuernos de arco. A continuación, el arco es atraído hacia la cámara de arco por la presión producida con la ayuda de la actualidat y la presión de los nuevos gases. El diagrama indica la sección de movimiento de una cámara de este tipo.

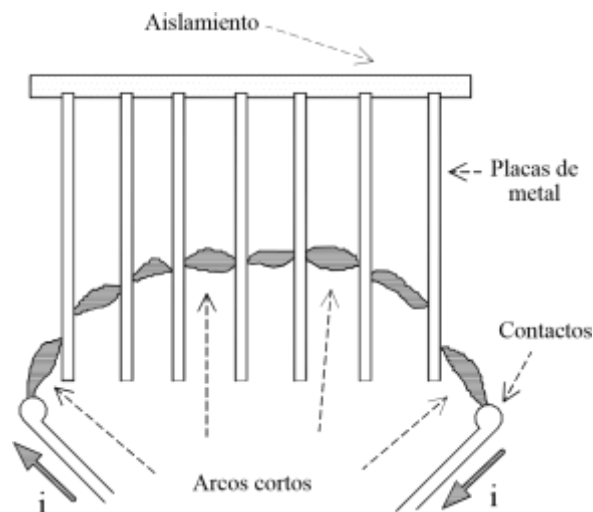


Gráfico 18. Sección transversal de una cámara de arco de soplo magnético. Manual de Interruptores de potencia. Pág 72

El segundo tipo de cámara de arco es la cámara de soplado magnético. Esta cámara se utilizó en los disyuntores para paquetes de media tensión, más de 15 kV para interrumpir corrientes de falla de más de 50 kA. También utilizaba placas de arco aislantes fabricadas con sustancias cerámicas como el óxido de circonio y el óxido de aluminio.

En esta forma de cámara, el enfriamiento del arco y su última extinción se termina mediante una combinación de enfoques. En primer lugar, el arco se alarga y se ve obligado a desplazarse en el curso formado por la geometría y la región de las placas aislantes y sus ranuras.

Al mismo tiempo, el arco se adelgaza al pasar por las ranuras y llena los espacios entre ellas. Finalmente, mientras el arco hace contacto con los tabiques de las placas aislantes, el arco se enfría por medio de la difusión en los tabiques, alcanzando su extinción.

#### **3.4.6. Interruptores de soplado de aire**

Esta generación se patentó en 1927 y se comercializó en 1940, teniendo una gran aceptación en los años noventa. En todos los diseños de interruptores de soplado de aire, la forma de interrupción se inicia con la formación del arco entre los contactos y simultáneamente, con la iniciación del arco, con la salida de una válvula neumática que produce un chorro de aire de alta tensión que alarga la columna del arco, que es sometida a los resultados de enfriamiento del soplado de aire.

Dependiendo del recorrido del aire que va con el flujo con respecto a la columna del arco, existen 3 variedades básicas de orientación del soplado, que son: soplado axial, soplado radial y soplado en movimiento como se puede ver en el gráfico.

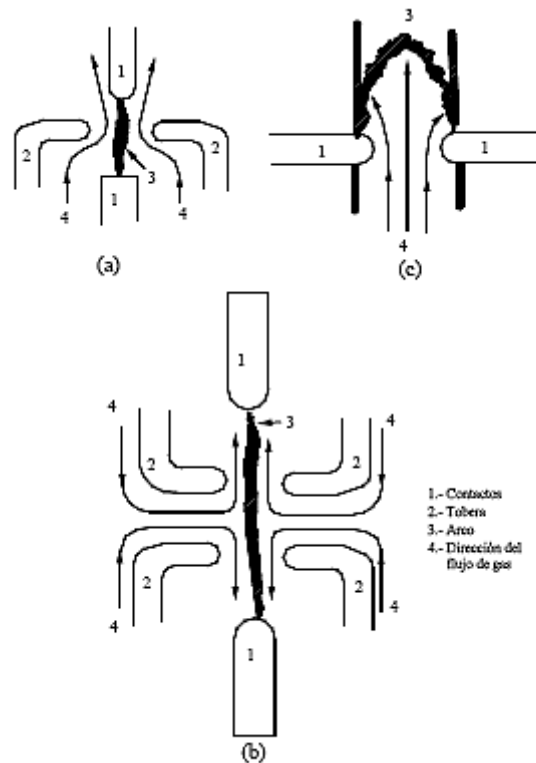


Gráfico 19. Dirección de soplo de aire (a) dirección axial, (b) dirección radial y (c) dirección transversal o sección de soplo. Manual de Interruptores de potencia. Pág 74

El soplo axial y el soplo radial se utilizan normalmente para paquetes de tensión excesiva, aunque el principio de soplo de paso se utiliza para programas de media tensión y para la interrupción de corrientes enormes.

Los disyuntores de soplado de aire, de forma similar al uso de la propiedad de extinción de arcos del aire comprimido, utilizan además el aire producido con la ayuda de la expansión para forzar los disyuntores. La extinción del arco con aire comprimido puede utilizarse para todas las tensiones y para todas las capacidades de interrupción.

La técnica de interrupción por chorro de aire depende del enfriamiento turbulento y, en consecuencia, está motivada por la utilización de la configuración aerodinámica de las toberas, pasajes o conductos para el deslizamiento del aire y la masa. El aire comprimido es un aislante extraordinario y se introduce a presión en el arco en el momento de la separación del contacto. El aire comprimido arrastra el arco a través de la boquilla y ésta permite expulsar la gasolina caliente y los productos del arco al ecosistema.

La extinción se produce mientras el primer cero contemporáneo está presente y el corte de aire comprimido aumentará, organizando una energía dieléctrica entre los contactos para soportar la tensión de restablecimiento. El auge de la energía dieléctrica es rápido, al igual que la tensión del aire, debido a la capa aislante de aire entre los contactos, lo que significa que el entrehierro final puede ser pequeño, disminuyendo el tamaño de la herramienta. La potencia suministrada para la extinción del arco se recibe del aire de alta tensión y es independiente del contemporáneo a interrumpir. El siguiente diagrama sugiere un interruptor de soplado de aire.



Gráfico 20. Interruptor de soplado de aire. marca Brown & Boveri, mecanismo neumático, 245 kV, 2000 A y 40 kA de capacidad interruptiva. Manual de interruptores de potencia. Pág. 75

### 3.4.7. Interruptores simples de interrupción en aceite

El primer disyuntor de aceite se diseñó y construyó en Estados Unidos en 1901, se montó en un dispositivo de 40 kV y era capaz de interrumpir entre 300 y 400 amperios. El formato consistía en barriles de transferencia de aceite. El formato consistía en barriles de madera llenos de un agregado de aceite y agua. Los contactos eran palas verticales que conectaban contactos constantes para cerrar el circuito. Desde entonces, esta disposición se volvió sutil y avanzada, pero, mantuvo sus rasgos de simplicidad en la creación y su capacidad para romper corrientes masivas.

Los primeros diseños de disyuntores de aceite no contaban con dispositivos específicos para contener el arco o para mejorar la forma en que el arco se extinguía. En los primeros diseños, el arco se limitaba prácticamente a las paredes de un tanque de aceite, donde el proceso de extinción se acompañaba de (a) la elongación del arco, (b) la ayuda de la tensión multiplicada producida por el calentamiento del aceite en el lugar del arco, y (c) la turbulencia generada por el aceite reciente. El concepto de este tipo de ruptura del aceite se establece dentro del gráfico.

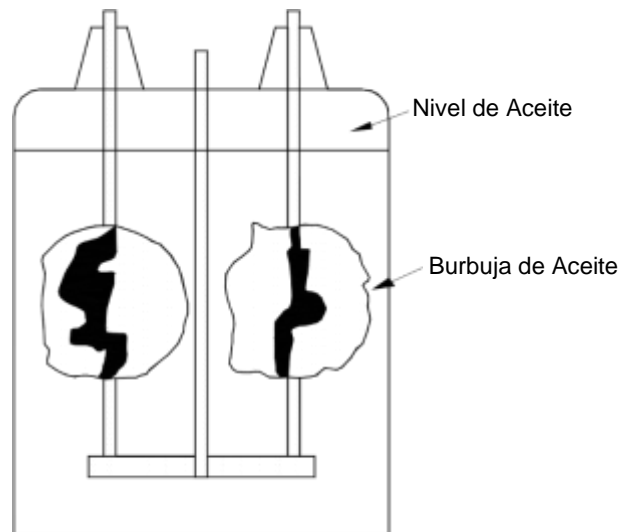


Gráfico 21. Interruptor simple de interrupción en aceite. Manual de interruptores de potencia. Pág. 77

Para conseguir una ruptura exitosa bajo estas condiciones, era vital generar un arco enormemente largo. Sin embargo, eran difíciles de controlar y, en el máximo de los casos, daban lugar a intervalos de arco muy largos. Las mezclas aleatorias de arcos largos, que daban lugar a tensiones de arco excesivas seguidas de tiempos de arco prolongados, hacían que la electricidad del arco que debía ser gestionada y extinguida por el interruptor fuera impredecible. Esto hizo que no fuera posible diseñar un dispositivo que pudiera gestionar un rango amplio e indefinido de fuerza. El software de esta forma de disyuntor quedó restringido a sistemas de quince kV y a corrientes de fallo de hasta doscientos A.

La mejora de las cámaras de extinción fue el máximo paso adelante en la mejora de los disyuntores de aceite. La principal alternativa al primer

diseño fue la inclusión de una cámara de explosión, es decir, un campo cilíndrico fabricado con tejido aislante resistente a la rutina. Esta cámara cilíndrica se establece de tal manera que encierra la estructura de contacto. En el fondo de la cámara hay un agujero en el que se inserta la varilla del contacto móvil.

El arco se forma a través de los contactos, sin embargo, con la diferencia de que ahora es millas en la cámara de interrupción, por lo que las burbujas de hidrógeno son también dentro de la cámara. A medida que los contactos se mueven y tan rápido como la varilla del contacto móvil se separa del orificio en la parte inferior de la cámara, se produce una salida en forma de boquilla que libera el hidrógeno atrapado en el interruptor, como se puede ver en el gráfico inferior.

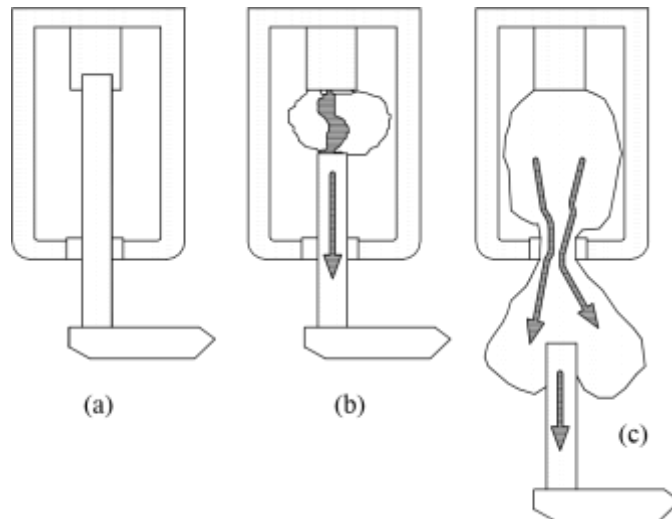


Gráfico 22. Perfil de la cámara de explosión de un interruptor de aceite. (a) Contactos cerrados, (b) Inicio de apertura y de arco, (c) Escape del gas. Manual de interruptores de potencia. Pág. 77

Los diseños posteriores de las cámaras interruptivas permitieron mejorar otras cámaras interruptivas que ahora se denominan cámaras interruptivas de gran volumen de aceite y cámaras interruptivas de pequeña cantidad de aceite. Estos se definen a continuación.

#### **3.4.8. Interruptores en gran volumen de aceite**

La principal característica de esta forma de transferencia es que utiliza aceite como medio aislante y de interrupción. Esta transferencia pertenece al diseño original de los interruptores de aceite. Posteriormente, mientras que los interruptores se han introducido en los disyuntores de

aceite con pequeñas modificaciones, hechas específicamente en el tanque de aceite, este tipo de disposición de disyuntores de aceite de gran volumen se han generalizado. En la mayoría de los casos, para tensiones de hasta 72,5 kV, las tres fases del interruptor están contenidas en un único depósito de aceite. Sin embargo, una gran variedad de disyuntores dentro de la variedad de media tensión tienen tres tanques imparciales, particularmente para tensiones superiores a ciento cuarenta y cinco kV. Las tres fases se operan simultáneamente a través de un mecanismo de trabajo.

Para satisfacer las necesidades de aislamiento del sistema, dependiendo de la tensión del software, deben considerarse las distancias entre los elementos vivos de la herramienta y el tanque conectado a tierra que contiene el aceite aislante. Por lo tanto, este tipo de disposición requiere tanques y volúmenes de aceite muy grandes. Por ejemplo, se necesitan unos 12.000 litros para un interruptor de ciento cuarenta y cinco kV y 50.000 litros para un interruptor de 230 kV.

Debido a la gran longitud de los disyuntores en gran extensión de aceite, sus cimientos tienen que ser muy grandes y robustos. Esto es para hacer frente a las tensiones desarrolladas por el disyuntor a lo largo de la interrupción de las corrientes de falta, por lo que se requiere que la morsa tenga la intención de soportar una fuerza idéntica a tanto como cuatro veces la carga del disyuntor junto con la carga del aceite. En el caso de un disyuntor de 245 kV, se requiere una presión de unas 50 cargas..

#### **3.4.8.1. Tipos de cámaras de extinción para interruptores en gran volumen de aceite.**

Con la aparición de los interruptores en gran volumen de aceite se generó también un desarrollo continuo de las cámaras interruptivas, cuya función es el control del arco.

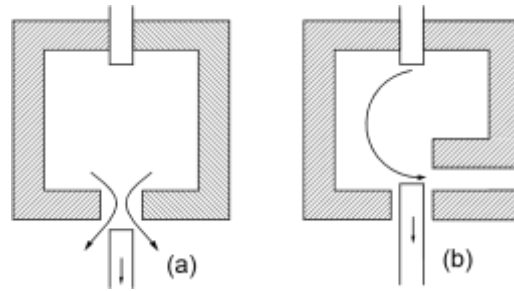


Gráfico 23. Tipos de cámaras de control de arco usadas en interruptores de gran volumen. Manual de interruptores de potencia. Pág. 79

### 3.4.9. Interruptores en pequeño volumen de aceite.

Debido a la necesidad de reducir espacio por los altos costos del terreno, a la escasez y al precio del aceite, se desarrolló en Europa el interruptor en pequeño volumen de aceite, que utiliza volúmenes de aceite mucho menores que el de gran volumen. Estos interruptores ocupan aproximadamente el 2 % de aceite de un interruptor de gran volumen de aceite para los mismos valores nominales de tensión y capacidad interruptiva.

La principal diferencia entre estos, es que el interruptor en pequeño volumen usa el aceite sólo como medio interruptivo y tiene materiales aislantes sólidos para propósitos dieléctricos, mientras que en los de gran volumen el aceite sirve para ambas funciones. Esencialmente el interruptor en pequeño volumen, consta por cada fase de un vástago móvil de contacto que se introduce en el eje del contacto fijo, ambos contactos están contenidos en una cámara interruptiva localizada dentro de aisladores huecos. Esos aisladores son fabricados de fibra de vidrio reforzada para aplicaciones de media tensión y de porcelana para tensiones mayores.

En el interruptor en pequeño volumen de aceite, cada fase tiene su propia cámara, la cual está a potencial de la línea. La parte viva y tierra están aisladas mediante soportes aislantes, lo cual clasifica a éste como un interruptor de tanque vivo.



Gráfico 24. Interruptor en pequeño volumen de aceite marca Sprecher & Schuh de 115 kV con mecanismo de resorte. Manual de interruptores de potencia. Pág 80

Debido al pequeño volumen de aceite utilizado en estos interruptores, se presenta una carbonización muy rápida por la interrupción de fallas y, por lo tanto, se requiere de un mantenimiento más frecuente que en los de gran volumen. Si el mantenimiento no es efectuado en el tiempo requerido, puede presentarse degradación interna en las superficies aislantes de la cámara interruptiva, lo cual puede provocar una falla catastrófica. Esta es la principal desventaja y una de las razones del uso limitado de estos interruptores.

#### **3.4.9.1. Tipos de cámaras de extinción usadas en interruptores de pequeño volumen de aceite**

El tipo de cámara de fuego que utilizan los interruptores automáticos en pequeñas cantidades de aceite es la llamada cámara de fuego autoinflable. Se llama así porque el propio arco proporciona la energía que

necesita para extinguirse. Esta energía crece con la corriente interrumpida, y su capacidad de ruptura última está relacionada con su robustez mecánica. En la cámara de interrupción, el golpe puede ser longitudinal o transversal. En el soplado longitudinal, el gas a presión asegura el barrido longitudinal del arco.

La presión en la cámara suele ser alta, incluso si la corriente es pequeña, debido a la descarga de gas reducida.

En la cámara de impacto cruzado, el gas escapa a través de aberturas ubicadas en la periferia exterior de la carcasa. Debido a la mayor sección transversal del orificio, la presión es más débil que en el caso anterior, lo que permite extinguir rápidamente la gran corriente. Existe la llamada cámara de soplado híbrida, que combina las ventajas del soplado longitudinal y el soplado transversal. En un interruptor automático provisto de una cámara de este tipo, a partir de los contactos fijos, se colocan primero las cámaras de fusibles transversales y luego se colocan las cámaras de fusibles longitudinales.

### **3.4.10. Interruptores en sf6**

#### **3.4.10.1. Interruptores de dos presiones en SF6**

El diseño original de este tipo de interruptor fue una modificación de la tecnología del interruptor de aire comprimido. Este cambio consistió en agregar un camino cerrado para los gases de escape. El aire se reemplazó por gas SF6 a alta presión, que se liberaba de una válvula soplado a través de una boquilla en un recipiente de baja presión en lugar de ser liberado a la atmósfera. El gas SF6 fue reciclado a través de filtros, comprimido y

almacenado en un recipiente de alta presión para su uso en operaciones posteriores.

El mecanismo de operación de los dos interruptores de presión en SF6 son casi los mismos que los que se utilizan interrupción en aceite con pequeñas modificaciones o adaptación. Esto es porque la industria está acostumbrada a la tecnología del aceite, que promueve la aceptación interruptores a presión en SF6. El interruptor de dos voltajes SF6 se divide en dos tipos: de un solo tanque y de tres tanques según el voltaje nominal. Además, se incluyen tanques de alta presión más pequeños, que están conectados a válvulas de drenaje que funcionan en sincronía con los contactos. Las presiones de operación en el lado de baja presión son 0,2 MPa y 1,7 MPa en el lado de alta presión, respectivamente. Estos interruptores automáticos se clasifican como tipos de tanque muerto.

El uso de mecanismos de operación de baja energía representa una ventaja frente al mecanismo de los interruptores de soplo de una presión. No obstante, considerando el gasto de energía total, se debe tener en cuenta la energía gastada para comprimir el gas en el proceso de almacenaje junto con la energía adicional que se utiliza para prevenir la licuefacción del SF6 a bajas temperaturas.

La licuefacción experimentada a bajas temperaturas representaba la desventaja mas significativa de este tipo de interruptores, por cual precisaba la utilización de calefacción. Otras desventajas son: los grandes volúmenes de SF6 necesarios, a tasas elevadas de fugas a raíz de las altas

presiones de funcionamiento, además de la complejidad del diseño a raíz de la necesidad de utilización de válvulas de sopro.

#### **3.4.10.2. Interruptores de sopro de una presión.**

En un interruptor de sopro, la energía mecánica proporcionada por el actuador también se usa para comprimir el aire, mientras que los de auto soplado usa energía del calor liberado por el arco para aumentar la presión del gas.

Los interruptores de sopro fueron diseñados de dos tipos: tanque vivo y tanque muerto, como se ven en las figuras mas abajo.



*Gráfico 25. Interruptores de sopro de una presión*

### **3.4.10.3. Interruptores en SF6 de dos presiones**

Estos interruptores consisten en un aislamiento a base de SF6, el cual garantiza el aislamiento a tierra de las partes con energía, la presión varía entre 3 y 6 Bars, y de presión superior (hasta 18 a 22 Bars), que es utilizada en la cámara de extensión a razón de extinción del arco eléctrico.

En términos de funcionamiento, un interruptor de dos presiones puede considerarse como un dispositivo que funciona en un ciclo cerrado. De hecho, el gas a alta presión, que se expande en el recipiente de baja presión en cada ejecución, se reutiliza devolviéndolo al recipiente de alta presión mediante el compresor. Algunos métodos de construcción tienen tres postes conectados al mismo tanque. Se utiliza un solo compresor para tomar aire de los recipientes de baja presión, comprimirlo y suministrar a los tres recipientes de alta presión.

### **3.4.10.4. Interruptores en SF6 (con cámara ruptora de auto compresión dinámica)**

Lo más reciente en tecnología de interruptores hace al interruptor en gas SF6, la diferencia básica radica en la particularidad de retraer el contacto fijo de arqueo en la fase final del movimiento de apertura. Y al cierre regresar a su posición original.

## **CAPITULO 4**

### **GENERALIDADES**

#### **4.1. Análisis de criticidad**

Los equipos componentes de un sistema eléctrico pueden ser clasificados por nivel de relevancia [7].

Se define los siguientes niveles de importancia o criticidad:

- a. Equipos críticos: equipos que representan un impacto significativo en la empresa.
- b. Equipos importantes: equipos que representan impactos significativos, pero con efectos asumibles.
- c. Equipos prescindibles: equipos con escasa incidencia en los resultados, supondrán pequeña incomodidad o limitada trascendencia.

Ocasionalmente las empresas incluyen una cuarta clasificación, equipos absolutamente críticos, esto a objeto de clasificar los equipos en más críticos y menos críticos.

Para poder realizar una clasificación debemos considerar cuatro aspectos que permitan encuadrarlos en una de las anteriores categorías, estos son: calidad, producción, mantenimiento y seguridad.

- a. Producción: cuando evaluamos el impacto de un dispositivo en la producción, nos preguntamos cómo lo afectará una posible falla. Clasificamos los equipos como A, B o C según se trate de una parada completa de la planta, parada del área de producción, paralización de los equipos de producción, pero con pérdidas de producción aceptables o sin efecto en la producción.
- b. Calidad: un equipo puede tener un impacto decisivo en la calidad del producto o servicio final, un impacto relativo que no suele ser problemático, o un impacto nulo.

- c. Mantenimiento: El equipo puede ser muy problemático, con averías frecuentes y costosas; o un equipo con costes medios de mantenimiento; o finalmente hardware muy barato que no suele dar problemas.
- d. Seguridad y medio ambiente: la falla del equipo puede causar un accidente muy grave ya sea para el medio ambiente o para las personas, y también tiene cierta probabilidad de falla; también es posible que la falla del equipo pueda causar un accidente, pero la probabilidad de que esto ocurra puede ser baja; o por último, podría ser un equipo que no afecte a la seguridad. [8]

#### **4.2. Fallas funcionales**

Hay que registrar los efectos de las fallas tal como menciona [8] en el apartado de fallas funcionales, enumera los siguientes parámetros a considerar.

- a. Evidencia, (si las hay) de que la falla existió.
- b. En que manera representa una amenaza a la seguridad del medioambiente.
- c. De que modo afecta a la producción y operaciones.
- d. Que debe hacerse para reparar la falla.

#### **4.3. Consecuencia de las fallas.**

Normalmente un análisis detallado de una industria de rango medio, tiende a arrojar entre tres y diez mil posibles modo de fallas, estas en afectan en mayor o menor escala pero con diferentes impactos.

Pueden ser afectados los parámetros de operatividad, calidad, servicio al cliente, seguridad del medio ambiente. Todas tendrán un impacto en dinero y tiempo.

En líneas generales si una falla traer consecuencias serias tenderemos a realizar acciones enfocadas a eliminar la posibilidad de aparición de estas, por otro lado, si la falla no acarree consecuencias importantes tenderemos a obviar el mantenimiento de rutina que vaya mas allá de limpieza y lubricación.

#### **4.4. Patrones de fallas [8].**

El pensamiento clásico sugiere que los registros detallados de las fallas nos permitirán determinar la vida del equipo y de ese modo hacer planes para tomar acciones preventivas antes de que el ítem comience a fallar en el futuro. Este modelo es útil para ciertos tipos de equipos simples, y para algunos más complejos con modos de fallas dominantes. En particular las características de durabilidad se encuentran cuando el equipo tiene contacto directo con el producto. Las fallas relacionadas a la edad se asocian con frecuencia con la fatiga, corrosión, abrasividad y evaporación.

Sin embargo, los equipos en general son mucho más complejos que veinte años atrás. Esto llevo a cambios iniciales en los patrones de falla, como se muestra en la Figura 12. Los gráficos muestran la probabilidad condicional de falla versus la edad operativa, en un número de equipos eléctricos y mecánicos. El patrón A es la tan conocida “curva de la bañera”. Comienza con una incidencia alta de falla (conocida como mortalidad

infantil) seguida por una probabilidad de falla condicional en lento o constante crecimiento, luego por la zona de desgaste.

El patrón B muestra una probabilidad de falla creciente, finalizando en una zona de desgaste.

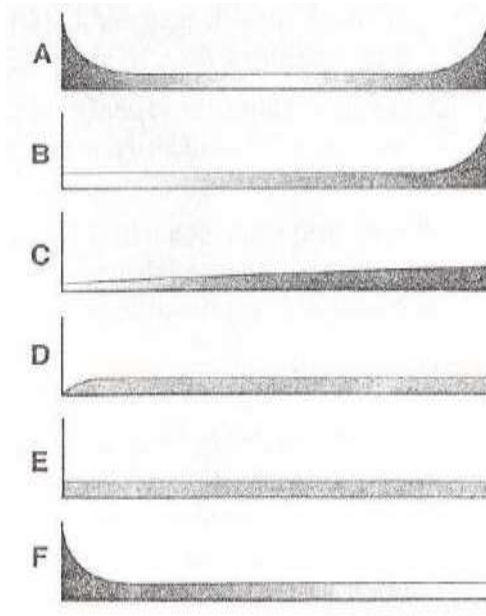


Gráfico 26. Patrones de falla. Fuente [8]

El patrón C muestra una probabilidad de falla creciente pero no hay una edad de desgaste identificable. El patrón D muestra una baja probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo o recién comprado, y luego una suba rápida a un nivel constante, mientras que el patrón E muestra una permanente probabilidad condicional de fallas a cualquier edad, (fallas casuales).

El patrón F comienza con una mortalidad infantil alta, que disminuye eventualmente a una probabilidad condicional de falla muy lenta.

Los estudios realizados a una aeronave civil mostraron que un 2% de los ítems respondían al Patrón A, 2% al B, 5% al C, 7% al D, 14% al E y no

menos del 68% al patrón F. (El número de veces que estos patrones se presentan en aeronaves, no es necesariamente el mismo que para la industria. Pero no hay duda de que a medida que los equipos se vuelven más complejos, se pueden observar más y más patrones E y F.

Estos descubrimientos contradicen la creencia de que siempre hay una conexión entre confiabilidad y edad operativa. Esta creencia lleva a la idea que cuanto más frecuentemente se examine un ítem, tendrá menos probabilidades de fallar. Hoy en día, esto es cierto muy de vez en cuando. A menos que haya una probabilidad de fallas por desgaste dominante, los límites de edad hacen poco y nada para mejorar la confiabilidad de ítems complejos. En realidad, las restauraciones programadas pueden aumentar las fallas generales, introduciendo la mortalidad infantil en sistemas que de otro modo serían más estables.

Muchas organizaciones, al observar esto, optaron por abandonar la idea de mantenimiento proactivo en su totalidad. En realidad, esto podría ser lo correcto para fallas con consecuencias menores. Pero cuando las consecuencias de las fallas son significantes, debe hacerse algo para prevenir o predecir esas fallas, o al menos para reducir las consecuencias.

## **IV. RESUMEN EJECUTIVO**

### **CAPITULO 5**

#### **5.1. Descripción del trabajo**

En este proyecto se desarrolló un análisis técnico y económico de actualización necesaria de interruptores de potencia de la Estación Coronel Oviedo parte del sistema interconectado nacional al servicio de la Administración Nacional de Electricidad (ANDE), con el fin de ejecutar un proceso de recambio a partir del análisis de criticidad ejecutado en el trabajo del Ing. Carlos Avalos [2] donde se determinó que el 75 de la posición TR-01 220/66 kV es el interruptor de mayor criticidad.

Para elaborar todo este proceso se recurrió a evaluar los factores técnicos que requieren consideración en el proceso operacional del recambio, garantizando que este sea ejecutado sin necesidad de interrupción del suministro.

Además, se evaluó y definió la factibilidad económica del proyecto para garantizar tenga un repago.

Definido estos precedentes se revisaron las normas, registros, tecnología y recomendaciones de fabricantes para proponer la ejecución previendo en la mayor dimensión posible generar impactos en el suministro de energía.

#### **5.1.1. Métodos y técnicas utilizadas**

##### **5.1.1.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación será de inicio exploratoria, buscando conocer todos los aspectos implicados en el fenómeno, a partir de la identificación de las variables será desarrollada una investigación de campo, a fin de verificar la situación actual de los interruptores de la ES-COV. Será de corte histórico en el análisis ya que la investigación se nutrirá de datos a partir de fallas registradas en eventos ocurridos en un lapso de tiempo.

Se buscará además desarrollar una investigación comparativa, buscando definir las cualidades que presentarán actualizaciones tecnológicas de los interruptores de la estación, y los índices que variarían con vista a la mejora del servicio.

### **5.1.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para la recolección de datos serán consultados registros históricos obrantes en el libro de novedades de la ES-COV, estos datos serán registrados en planillas Excel, en cuáles serán asentados y agrupados por tipo de falla y fecha, lo que permitirá identificar la periodicidad de las fallas, serán cargados además los datos de OT(Orden de Trabajo) con las cuales han sido atendidas las fallas, esto permitirá definir el parámetro temporal de respuesta ante eventos de fallas de los interruptores.

A partir de la carga de estos datos se recurrirán a estudios de los datos para identificar la cantidad de fallas que se presentaron en un intervalo de tiempo, identificando la falla de mayor frecuencia, y el tiempo de respuesta para su solución.

### **5.1.3. Fases metodológicas**

- a. Análisis de base teórica

Este trabajo se concentro en el entendimiento del pfg [2] ejecutado por el Ing. Carlos Avalos donde ejecuto el proceso de definición de criticidad de interruptores de potencia al servicio de la ES-COV de la ANDE.

b. Evaluacion técnica y económica.

El método de definición de viabilidad que se utilizo en ese trabajo se basa en evaluacion técnica mirando aspectos de disponibilidad y tecnología actualmente utilizada en proyectos similares, a partir de la definición se procedió a realizar el análisis económico para garantizar el repago.

## **5.2. Justificación**

En el año 2017, se produjo una falla por error de maniobra en la ES-COV lo que ocasionó una apertura de protección en la CH-ACARAY lo que genero un fuera de servicio de toda la carga alimentada por esta central, la pérdida económica por energía no facturada en el lapso de tiempo del fuera de servicio fue de alto impacto para la ANDE además de tener una gran repercusión en el indicador de confiabilidad del SIN. La situación planteada es la misma que se daría ante un eventual fallo de interruptor que ocurriera en la ES-COV, riesgo que a la fecha se encuentra aumentado ya que los actuales equipos de interrupción y maniobra presentan desgastes por uso prolongado lo cual será objeto fundamental de este estudio. La actualización tecnológica de estos equipos permitirá elevar el nivel de confiabilidad del servicio eléctrico brindado por la ANDE a través de la ES-COV, además de reducir el riesgo de que una se produzca una falla de

bloqueo de interruptor lo que indefectiblemente tendría impactos similares a los mencionados en principio.

La realización de este proyecto de fin de grado beneficiara a la ANDE, aumentando su nivel de confiabilidad, además de generar menores riesgos a los operadores de estos sistemas, así como a los usuarios finales por el mejor servicio que recibirán.

### **5.3. Finalidad del proyecto**

Con la elaboración de este proyecto final de grado se pretende:

- Aporte de comparativos de tecnologías disponibles en mercado.
- Mejorar la confiabilidad operacional de los interruptores de potencia de la ES-COV.
- Disponer de información relevante sobre la viabilidad de ejecución de proyectos de actualización de interruptores.

### **5.4. Metas**

Mejoramiento de la estabilidad y confiabilidad de los interruptores de potencia de la estación ES-COV mediante elección correcta de interruptores de potencia que sean económicamente viables.

### **5.5. Objetivos**

#### **5.5.1. Objetivos generales**

Elaborar alternativas para la actualización tecnológica de interruptores de potencia de la ES-COV, ubicada en la Ciudad de Coronel Oviedo-Paraguay.

### **5.5.2. Objetivos específicos**

- Establecer criterios técnicos y económicos para la selección de la tecnología a ser adoptada
- Proponer la opción tecnológica más viable para la actualización de los interruptores de potencia de la ES-COV.
- Elaborar evaluación económica de la alternativa seleccionada.

### **5.6. Beneficiarios.**

El beneficiario directo es la ES-COV de la ANDE e indirectamente todo el personal que interactúe con estos equipos.

La realización de este proyecto de fin de grado beneficiara a la ANDE, aumentando su nivel de confiabilidad, además de generar menores riesgos a los operadores de estos sistemas, asi como a los usuarios finales por el mejor servicio que recibirán.

Al mejorar la confiabilidad del equipo se logrará generar en la población usuaria una sensación de conformidad con el servicio recibido y por ende mejorar la reputación de la ANDE.

### **5.7. Producto**

- Comparación técnica de interruptores disponibles en mercado.
- Análisis económico de aplicabilidad y repago de instalación de nuevos interruptores de potencia.

### **5.8. Localización física y cobertura espacial**

Esta investigación se llevó a cabo en la ciudad de Coronel Oviedo, específicamente referida a equipos existentes en la Estación Coronel Oviedo parte del sistema interconectado nacional

perteneciente a la ANDE, distante a 132 km de la capital ubicado en el centro mismo de la región oriental del Paraguay.

### **5.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas**

Revisión de documentación teórica.

Consulta de normas internacionales.

Consulta de base teórica

Revisión de documentación técnica.

Revisión de manuales y catálogos de fabricantes

Entrevistas a ingenieros y técnicos.

Análisis del manual de mantenimiento.

Evaluación de resultados.

Evaluación económica de alternativas

Elaboración de informe final del PFG.

### **5.10. Factibilidad técnica**

Con el análisis de carácter técnico se obtuvo cual es el interruptor aplicable a la situación actual del conjunto de sistemas existentes en la ES-COV ANDE, lo cual es un aporte importante para el proceso de recambio de interruptores, en conjunto con el manual de mantenimiento desarrollado por el Ing. Carlos Avalos [2] sirven de referencia para ejecución de proceso de actualización de interruptores de la estación.

Mediante el análisis económico se definirá cuan costoso resulta y cual es el plazo de repago del proyecto.

### **5.11. Costos**

En esta sección se realizó un consolidado de costos estimados para cada la ejecución del proceso de actualización del interruptor definido como crítico, teniendo en cuenta que existen valores monetarios asociados a la adquisición del equipo y mano de obra necesaria para la instalación.

Se supuso que el proceso de montaje será ejecutado por persona de ANDE ya que cuenta con personal especializado y capacitado para la tarea.

En primera instancia fue calculado el precio por KM que se están implicados en el movimiento del personal y equipos de trabajos necesarios, este calculo de ha establecido en base a una camioneta tipo pickup de uso profesional de acuerdo con la .

En base al código laboral paraguayo se obtiene información para el cálculo del salario base.

$$\text{Costo unitario} = \frac{\text{Salario}_{base}}{\frac{30 \text{ (días)}}{8 \text{ (horas)}}$$

El salario base se pudo obtener del vector salarial del año 2018 de la empresa.

## **V. INGENIERIA DE DISEÑO**

### **CAPITULO 6**

#### **6.1. Estación Coronel Oviedo**

##### **6.1.1. Ubicación**

La ES-COV se encuentra ubicada en el centro mismo de la región oriental del Paraguay, distante a 132 kilómetros de la capital del país Asunción. La misma se sitúa físicamente a 1,2 kilometros del cruce internacional de la ciudad Coronel Oviedo en dirección SUR al margen izquierdo de la ruta PY 08. Esta instalada en un terreno propiedad del ente publico de superficie total 40.355 m<sup>2</sup>, es una estación cabecera y por envergadura preponderante para el Sistema Interconectado Nacional (SIN) de la ANDE (Gráfico 27. Mapa SIN. Página Web Ministerio de Minas y Energías)



Gráfico 27. Mapa SIN. Página Web Ministerio de Minas y Energías

### 6.1.2. Descripción

En la actualidad la ES-COV consta de una potencia instalada de 113,6 MVA distribuidos de la siguiente manera: en un transformador de potencia de 220/23 kV de 41,6 MVA, un transformador de potencia de 220/66 kV de 3x20 MVA y otro de 66/23 kV de 12,5 MVA.

Existen 10 posiciones de líneas de transmisión de 220 kV, 2 LT's que provienen de la Central Hidroeléctrica Acaray (LT-ACY 1 y 2), otras 3 que llegan desde la ES-K30 (LT-K30 1,2 y 3); en condiciones normales de flujo de potencia 5 líneas de transmisión que cumplen función de salida, estas alimentan a las grandes estaciones del sistema interconectado que se

listan: San Lorenzo (LT-SLO), Guarambaré (LT-GUA), Carayao (LT-CYO), Pirayú (LT-PIR), y la de Villarrica (LT-PPE), también cuenta con posición de banco de reactores de 3x6, 67 MVAR y la posición de acoplamiento-transferencia en 220 kV. Esta combinación de 2 barras principales y 1 de transferencia aporta flexibilidad a la estación de forma tal que cada posición cuenta con 4 seccionadores y un interruptor, con lo cual totaliza 56 seccionadores, 14 interruptores de 220 kV. Todo esto se observa en el Gráfico 28.

Para la distribución cuenta con 8 alimentadores de 23 kV en función de alimentar las ciudades de Coronel Oviedo y alrededores.

En condiciones normales la Barra 2 se encuentra en servicio, lo que implica que el seccionador de la B2 y el de lado de carga, mas con el interruptor de cada posición estarán en estado cerrado. Por la disposición de los equipos de la estación es imposible realizar una transferencia de protecciones de la B1.

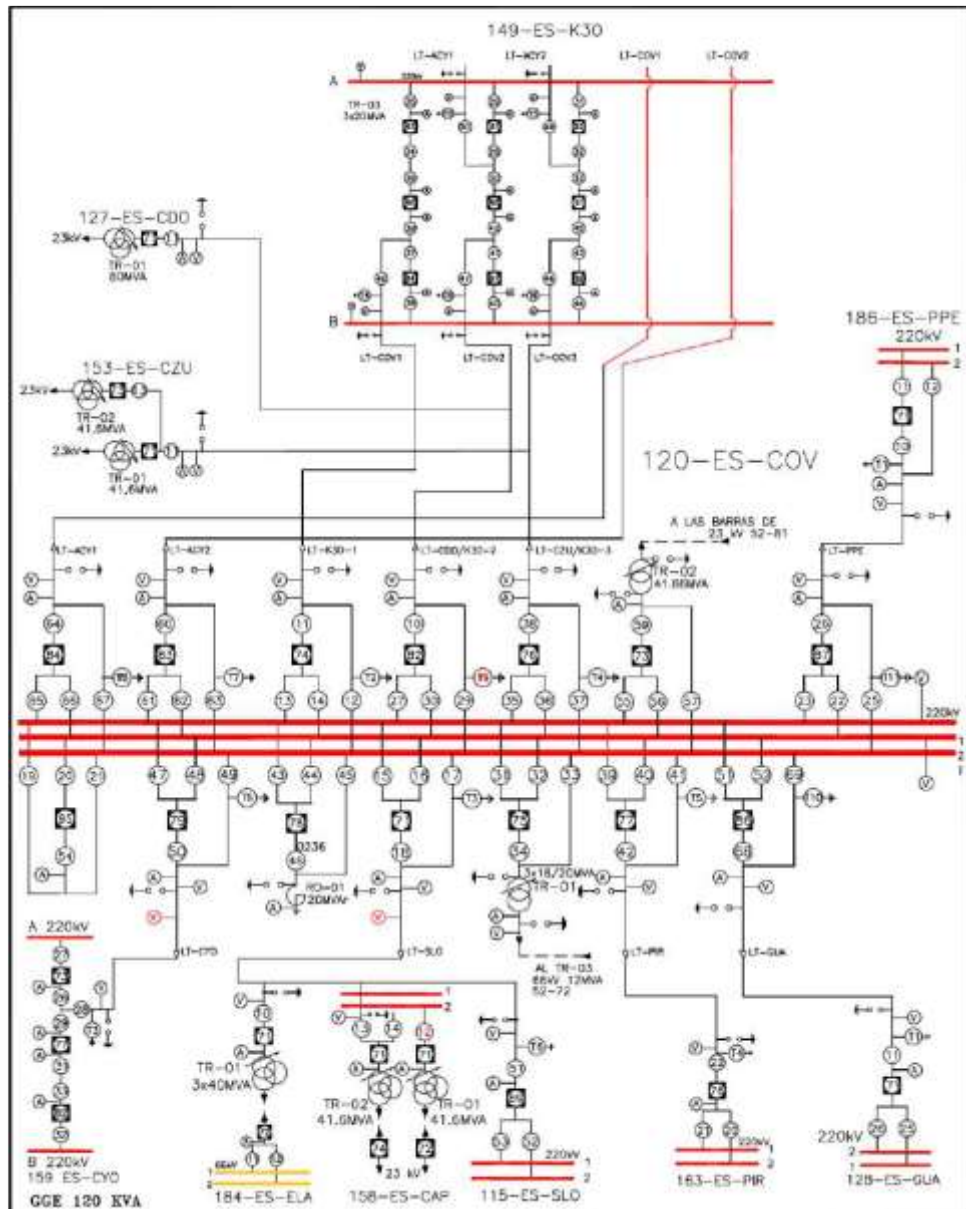


Gráfico 28. Esquema Unifilar 220 kV de la ES-COV.

Fuente: GT/TCE-(ANDE).

### 6.1.3. Interruptores de Potencia ES-COV

La principal característica común de los interruptores de 220 kV de esta esta estación es que son del tipo columna, monopolares, con tanque de voltaje, en la cual la cámara de interrupción se encuentra aislada de la tierra por un semiconductor de porcelana, en el cual el nivel de tensión

determina la longitud de los mismos en función de la cámara de interrupción y la columna aislante

Todos los interruptores son a cámara de extensión SF6, esto debido principalmente a sus especificaciones y características totales relativamente altas con relación a su precio, sumado a que estos tipos de interruptores presentan menos desgaste en el contacto principal en comparación con los interruptores de aire y aceite.

Los interruptores de la ES-COV se dividen en a resorte y neumático. Los de activación mecánica utilizan un resorte para el almacenamiento de energía; el resorte se tensa con un motor eléctrico y a partir de un sistema de enganche. Cuando el interruptor se dispara el enganche se libera por fuerza magnética. La energía del resorte desplaza los contactos por medio de transmisión de energía mecánica. Sin embargo, los de accionamiento neumático almacenan la energía como aire comprimido con un compresor de aire y esta presión de aire se convierte en movimiento mecánico por medio de un pistón. Utilizan una combinación de resorte y presión de aire, en la cual el resorte maneja la operación de cierre y la presión de aire la operación de apertura. La condición normal del resorte de cierre es que el mismo se encuentre cargado durante la operación de apertura.

Los interruptores están operados por relés de protección con detección a través de transformadores de corriente y de voltaje. Pueden ser operados también de forma eléctrica a distancia a través del sistema Scada o paneles de control ubicación en sala de mando.

En la Tabla 3 se detallan las características principales de los interruptores de potencia de 220 kV de la ES-COV [2]

Interruptores de Potencia de la ES-COV					
Marca	Nº D.C.	Serie Nº	Tipo	Camara de Extinción	Mando
MAGRINI GALILEO	83	156984	SB6 245	Monocamara a gas SF6	Neumático a gas SF6
	84	156972			
	74	153249			
	78	158428			
MAGRINI GALILEO	75	141804	245 MHM E - 2V	Bicamara a gas SF6	Neumático a aire
	76	141805			
	77	141812			
	79	141808			
NUOVA MAGRINI GALILEO	71	149662	245 MHMe - 1P	Monocamara a gas SF6	Neumatico a aire
ABB	82	8202783	HPL 245/25B1	Monocamara a gas SF6	Mecánico a resorte
AEG T&D	73	3006384/4	S1-245 F3	Monocamara a gas SF6	Mecánico a resorte
SIEMENS	86	3274	3AP1 FI	Monocamara a gas SF6	Mecánico a resorte
	87	3275			
	95	3273			

Tabla 3. Características principales de los interruptores de 220 kV de la ESCOV. Fuente: PFG Ing Carlos Avalos

En la tabla podemos observar que algunos interruptores tienen las mismas características constructivas, pero cumplen funciones diferentes dentro de la ES-COV, por ello en adelante se describen operacionalmente cada uno. [2]

### 6.1.3.1. Descripción operacional de los IP ES-COV

Según el estudio ambiental de impacto ambiental preliminar de la ES-COV citada por el Ing. Carlos Avalos en su PFG, la ciudad en la cual se sitúa la estación en cuestión tiene una altitud media de 170 metros sobre el nivel del mar y una temperatura media anual de 21,8° (+41°, -3° C).

La media de lluvias anuales varia entre 1600 a 1700 mm de Oeste a Este. La temporada de mayores lluvias se registran entre octubre y abril, con picos de sequia de mayo a agosto.

- **52-59:** tiene como función acoplar Barra 1 a Barra 2 y trasladar la carga indistintamente sobre una de ellas en caso de necesidad, es utilizado además para transferencia de protección de una posición por vez. Posee de BCU 500 de marca EFACEC en el panel de dicha posición para protección, control y supervisión del equipo.
- **52-84:** interruptor de línea (LT-ACY-COV-1), une las estaciones CHE-ACY con la ES-COV, tiene una extensión de 189 km, frecuencia de 50 Hz, potencia y corriente nominal de 229 MVA y 600 A respectivamente. Posee BCU 500 de marca EFACEC en el panel de dicha posición para protección, control y supervisión de la LT.
- **52-83:** interruptor de línea (LT-ACY-COV-2). Une las estaciones CHE-ACY con la ES-COV con longitud de 189 km, frecuencia 50 Hz, potencia y corriente nominal de 229 MVA y 600 A respectivamente. Posee BCU 500 de marca EFACEC en el panel de dicha posición para protección, control y supervisión de la LT.
- **52-79:** interruptor de línea (LT-CYO), que une las estaciones ES-CYO con ES-COV con longitud de 48 km, frecuencia 50 Hz, potencia nominal 200 MVA y corriente nominal 525 A. Sirve de interconexión entre ambas estaciones y normalmente tiene flujo de potencia entrante o saliente dependiendo de las condiciones del SIN, Posee

- BCU 500 de marca EFACEC en el panel de dicha posición para protección, control y supervisión de la LT.
- **52-78:** interruptor de protección de reactor (Ro) con potencia de 20 MVAR. Se encuentra conectado a la barra de 220 kV y es utilizado en horario fuera de punta de carga para compensar el efecto capacitivo del sistema de manera a reducir la tensión. Posee BCU 500 de marca EFACEC en el panel de dicha posición para protección, control y supervisión del reactor.
  - **52-74:** Es un interruptor de línea destinado a unir las estaciones ES-K30 con ES-COV, con longitud de 159km, potencia nominal 360 MVA, corriente nominal 945 A. Se considera como fuente de alimentación por el sentido del flujo de potencia que se define como entrante a la estación. Posee BCU 500 de marca EFACEC en el panel de dicha posición para protección, control y supervisión de la LT.
  - **52-71:** Interruptor de línea que sirve de conexión de forma directa a la ES-COV con la ES-SLO con longitud de 116 km, frec. 50 Hz, potencia 400 MVA, corriente nominal 1050 A. Flujo de potencia entrante a la estación y por nivel de carga es considerada la más importante por el efecto de las ES-ELA (Estación Eusebio Ayala) y ES-CAP (Estación Capiatá) que están colgadas por la línea en mención y alimentan grandes e importantes centros de consumo. Posee BCU 500 de marca EFACEC en el panel de dicha posición para protección, control y supervisión de la LT.

- 
- **52-82:** interruptor de línea que interconecta la ES-K30 con ES-COV, con longitud 159 km, frecuencia 50 Hz, potencia 360 MVA y corriente nominal de 945 A. Con flujo de potencia entrante a la estación. Posee BCU 500 de marca EFACEC en el panel de dicha posición para protección, control y supervisión de la LT.
  - **52-75:** interruptor destinado a la posición de banco de transformadores N° 1 (TR-01) 3x20 MVA, 220/66 kV utilizada para la alimentación de la SE-VIL (subestación Villarica) a través de una línea de 66 kV de 40 km de extensión. Es considerada como carga por el flujo de potencia saliente de la ES-COV. El panel posee una BCU 500 y una TPU TC420 de la marca EFACEC utilizada para supervisión, control y protección del transformador.
  - **52-76:** interruptor destinado a una posición de línea (LT-K30-CZU-COV) une las estaciones ES-K30 y ES-COV con longitud 159 km, frecuencia 50 Hz, potencia 229 MVA y corriente nominal 600 A. Considerado como fuente de alimentación por flujo de potencia. Posee BCU 500 de marca EFACEC en el panel de dicha posición para protección, control y supervisión de la LT.
  - **52-77:** interruptor de línea que une la ES-PIR (Estación Pirayú) con la ES-COV, con extensión de 77 Km, frecuencia 50 Hz, potencia 400 MVA y corriente nominal 1050 A. Considerado como carga por flujo de potencia saliente a la ES-COV. Posee BCU 500 de marca EFACEC en el panel de dicha posición para protección, control y supervisión de la LT.

- 
- **52-73:** interruptor dedicado al Transformador N° 2 TR-02 220/23 kV de 41,6 MVA, tiene como función proveer de energía eléctrica a toda la ciudad de Coronel Oviedo con población de 188.000 habitantes según el censo del año 2012. Es considerado como carga por el flujo de potencia saliente. El panel para esta posición posee una BCU 500 y una TPU TC420 de marca EFACEC para supervisión, control y protección del transformador.
  - **52-86:** Interruptor de línea que une la ES-COV con la ES-GUA, con extensión de 102 km, frecuencia 50 Hz, potencia y corriente nominal de 400 MVA y 1050 A respectivamente. Se considera como carga por el flujo de potencia saliente. Posee BCU 500 de marca EFACEC en el panel de dicha posición para protección, control y supervisión de la LT.
  - **52-87:** Interruptor de línea que une a las ES-COV y la ES-PPE con longitud de 42 km, frecuencia 50 Hz, potencia 210 MVA y corriente nominal 551 A. Definido como carga por flujo de potencia. Posee BCU 500 de marca EFACEC en el panel de dicha posición para protección, control y supervisión de la LT.

#### **6.1.4. Análisis de criticidad general**

Los interruptores pueden experimentar diferentes tipos de fallas, estas deben ser consideradas en las evaluaciones y análisis.

Como base de análisis de toma la evaluación realizada por el Ing. Carlos Avalos en su PFG que en su Diagnostico general de criticidad presenta la Tabla 4 de interruptores. [2]

<b>Interruptores de Potencia de la ES-COV</b>		
<b>Nomenclatura</b>	<b>Marca</b>	<b>Posición</b>
83	MAGRINI GALILEO	LT-ACY-COV-2
84		LT-ACY-COV-1
74		LT-K30-JLM-COV
78		REACTOR
75	MAGRINI GALILEO	TR-N°1
76		LT-K30-CZU-COV
77		LT-PIR
79		LT-CYO
71	NUOVA MAGRINI GALILEO	LT-ELA-CAP-SLO
82	ABB	LT-K30-CDO-COV
73	AEG T&D	TR-N°2
86	SIEMENS	LT-GUA
87		LT-PPE
95		ACOPLAMIENTO

Tabla 4. Interruptores de potencia de la ES-COV.

Fuente: PFG Ing. Carlos Avalos.

### **6.1.5. Descripción de procedimiento para análisis de criticidad.**

Para el análisis se definió la utilización de estándares NORSOK, este estándar fue desarrollado por la industria petrolera de Noruega con el fin de garantizar una seguridad industrial adecuada, un valor agregado y una rentabilidad para los desarrollos y operaciones de esta industria. Generalmente se basa en los estándares internacionales reconocidos, agregando las disposiciones que se consideran necesarias para suplir el amplio rango de necesidades de la industria petrolera de ese país.

La norma NORSOK Z-013 propone un análisis de Criticidad Cualitativo cuando no se dispone de información específica acerca de la configuración de las partes o la tasa de fallas [9].

La criticidad, según esta norma, está clasificada acorde al grado de severidad, se describen en adelante estas clasificaciones.

- Criticidad Alta: son fallas que pudieran causar lesiones severas al personal, daños mayores o que induzcan daños al sistema que desemboquen en pérdida de la misión.
- Criticidad Media: se clasifican en esta aquellas fallas que por sus características pueden producir daños menores como lesiones, o que generen daños menores al sistema que representen un retraso, pérdida de disponibilidad o degradación de la misión.
- Criticidad Baja: son fallas que no causan lesiones al personal, no generan daños en el sistema. Aunque pueden generar mantenimientos no programados o reparaciones que no representen retrasos considerables.

De forma matemática la ecuación que define la criticidad de las fallas es la siguiente:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de fallas} \times \text{Consecuencia}$$

*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)*

La frecuencia está asociada al número de fallas, eventos o averías que hayan tenido el elemento del sistema en consideración, y la

consecuencia se asocia al impacto y la flexibilidad operativa, a los costos de reparación y a los impactos en seguridad y medio ambiente.

El Ing. Carlos Avalos, en su Análisis de criticidad [2] propone un análisis que plantea los factores de: frecuencia de fallos, transferencia de potencia por medio del interruptor, el impacto a la transmisión de energía registrado durante la falla, el tiempo medio de reparación, el costo e impacto en la seguridad operacional y ambiental.

Para la articulación de criterios se utiliza un modelo de tipo semicuantitativo, estructura de criticidad llamada metodología de los puntos, siendo base fundamental del mencionado enfoque el establecimiento de un sistema de puntos para valorar la criticidad [10].

Todos los indicadores individualmente son ponderados de acuerdo con una escala de evaluación definida y como resultado se obtiene un índice de confiabilidad para cada sistema.

La frecuencia de fallas (FF) de un interruptor se define como la cantidad de fallas del equipo en un periodo de un año.

$$FF = \frac{N}{T}$$

*Ecuación 1. Ecuación de Frecuencias de Fallas*

Donde:

*FF: Frecuencia de Fallas (fallos/año)*

*N: Número total de fallos de un interruptor en el periodo de estudio*

*T: Periodo de estudio en años*

La Transferencia de Potencia por el Interruptor (TPI), es el impacto que ocasiona un fallo de interruptor en la transmisión de energía. Es la cuenta de la potencia de suministro perdida no entregada al consumidor por efecto falla o por mantenimiento del interruptor. Este indicador es posible relacionar con la potencia interrumpida que circula por el mismo.

El impacto de Impacto en la Transmisión de Energía (ITE), es cuando se tiene en cuenta la transferencia del flujo de carga mediante los interruptores de acuerdo con su ubicación en la subestación, y está en función de la redistribución necesaria al desconectar una línea determinada, por lo que diferentes cargas pueden quedar sin servicio, provocando pérdidas económicas por desconexiones no planificadas [11].

El Tiempo Promedio para Reparar (TPPR), es la medida de distribución del tiempo

$$TPPR = \frac{\text{Tiempo total de inactividad}}{\text{Numero de fallas}}$$

*Ecuación 2. Tiempo Promedio para Reparar*

El costo de mantenimiento (CM), varia en cada interruptor dependiendo del tiempo en que se realice el mantenimiento en la SE y por el uso de materiales específicos de acuerdo a la ubicación y el tipo de subestación [12].

El Impacto en la Seguridad Personal (IS), considera la posibilidad de la ocurrencia de eventos no deseados que ocasionen daños al personal al momento de ocurrir un fallo [13].

El Impacto Ambiental (IA), considera la posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados que generen daños al medio ambiente como consecuencia de la ocurrencia de eventos no deseados [14].

La ecuación que define la criticidad de los interruptores se describe de la siguiente forma

$$\text{Criticidad} = FF * [(ITE * TPI * TPPR) + CM + IS + IA]$$

*Ecuación 3. Ecuación de Criticidad de Interruptores*

#### **6.1.6. Situación de criticidad de los interruptores de la ES-COV**

A partir de los análisis corridos por en Ingeniero Carlos Avalos en su TFG para la obtención del título de Ingeniería Eléctrica [2], identifiqué que para la ES-COV, el interruptor de mayor nivel de criticidad corresponde al 75 de la posición TR-01 220/66 kV, sugiere en la misma investigación buscar estrategias para la mitigación de sus fallas y aumento de confiabilidad.

Se resume a modo de observación la siguiente tabla de representación del análisis ejecutado que servirá como antecedente a los siguientes pasos de la elaboración del proyecto.

Además, se presentan diversos análisis para evidenciar y aportar claridad en la edificación de la criticidad.

Se intentará encontrar las correlaciones existentes e identificar las variables relacionadas y que interfieren en mayor proporción en la

criticidad, intentando entender la incidencia de cada variable y su porcentaje de participación.

Esta línea de análisis permitirá en la ultima parte del estudio ejecutar el análisis buscando reducir la media de criticidad que a hoy se encuentra en índice 87,5.

<b>Interruptores de Potencia de la ES-COV</b>		
<b>Nomenclatura</b>	<b>Marca</b>	<b>Posición</b>
83	MAGRINI GALILEO	LT-ACY-COV-2
84		LT-ACY-COV-1
74		LT-K30-JLM-COV
78		REACTOR
75	MAGRINI GALILEO	TR-N°1
76		LT-K30-CZU-COV
77		LT-PIR
79		LT-CYO
71	NUOVA MAGRINI GALILEO	LT-ELA-CAP-SLO
82	ABB	LT-K30-CDO-COV
73	AEG T&D	TR-N°2
86	SIEMENS	LT-GUA
87		LT-PPE
95		ACOPLAMIENTO

Gráfico 29. Listado de interruptores de Potencia ES-COV. Fuente: PGF Ing. Carlos Avalos

Nomenclatura	FF	TPI	ITE	TPPR	CM	IS	IA	Criticidad
83	1	4	0,25	1	1	20	30	52,0
84	1	4	0,25	1	1	20	30	52,0
74	1	3	0,25	1	1	20	30	51,8
78	1	1	0,06	4	1	20	30	51,2
<b>75</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0,50</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>32</b>	<b>30</b>	<b>290,0</b>
76	1	3	0,25	2	10	20	30	61,5
77	1	4	0,50	2	10	20	30	64,0
79	3	1	0,06	1	10	20	30	180,2
71	1	4	1,00	2	5	32	30	75,0
82	1	3	0,25	1	5	20	30	55,8
73	1	1	0,75	4	10	32	30	75,0
86	1	4	0,50	2	5	20	30	59,0
87	1	3	1,00	1	5	32	30	70,0
95	1	4	1,00	4	10	32	30	88,0

Tabla 5. Evaluación de la guía de criticidad en los interruptores de la ES-COV. Fuente: PFG Ing. Carlos Avalos

A continuación, se define el Pareto de criticidad para entender el segmento en el cual se encuentra situado el interruptor 75.

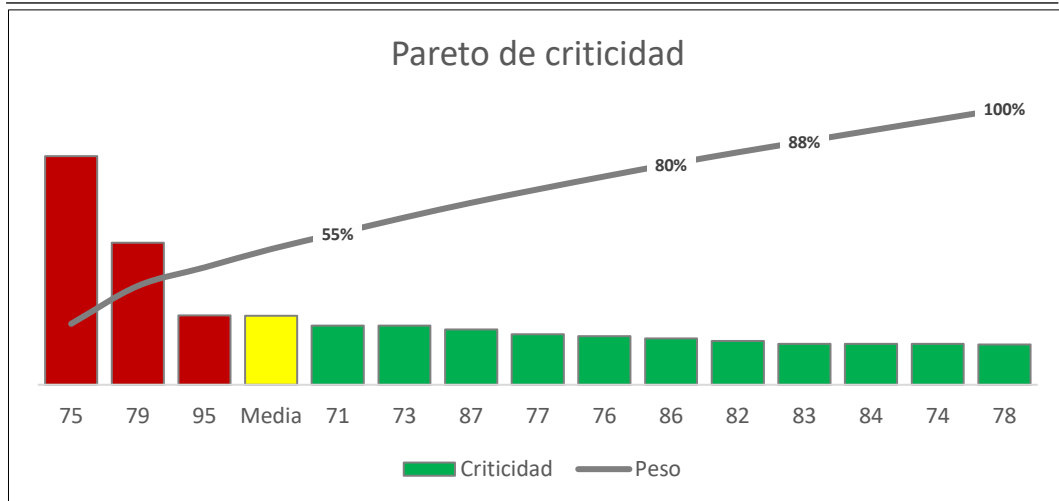


Gráfico 30. Pareto de Criticidad de interruptores de potencia.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 30 se presenta: en el eje X la nomenclatura del interruptor y en el Y el impacto de los interruptores. Se puede concluir a partir del grafico de Pareto que los interruptores 75, 79 y 95 se encuentran por sobre la media, identificando así que el 80% de los problemas se encuentran en el 20% de los elementos según regla de Pareto siendo en este caso el interruptor 75.

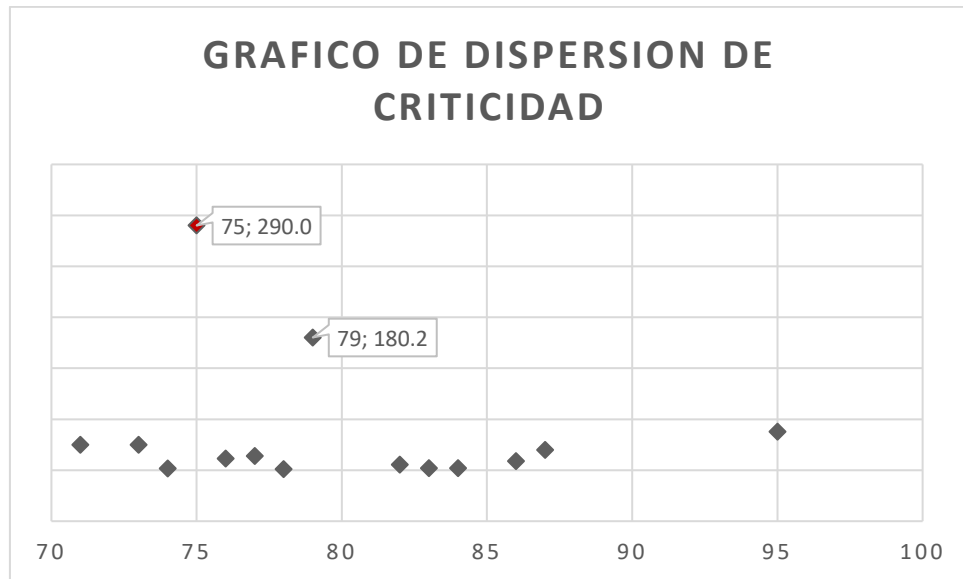


Gráfico 31. Dispersión de criticidad.

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 31, se observa que tanto el interruptor 75 como el 79 se encuentran aislados del segmento de interruptores comprendidos en la parte inferior del gráfico que compara la criticidad individual, destacándose el interruptor 75 con medida de 290 de índice de criticidad.

A partir de la interpretación y una vez identificado el interruptor 75 como el más crítico se propone el cambio del interruptor por uno que reúna las condiciones adecuadas y las estudiamos en los siguientes apartados.

#### 6.1.7. Descripción de interruptor aplicable.

Por la característica y servicio para el cual operara el interruptor dentro de la oferta de mercado el interruptor más aplicable a esta operación es el interruptor de potencia trifásico para intemperie en SF6 245 kV, completo, incluyendo Lote de repuestos, se especifica acorde a la

experiencia evidenciada a partir de los llamados a licitación de la ANDE en el ultimo periodo de tiempo 2016-2020 [15].

### 6.1.8. Análisis de factibilidad económica

La posición 75 correspondiente al TR-01, alimenta a la ciudad de Villarica como ya vimos en la descripción previa de interruptores, a partir del análisis presentado en el plan decreto7741 plan maestro ANDE [16], en ella se define una tabla comparativa de mercado por departamento:

Departamento	Guaira	
Concepto	2.016	2.020
Población (Hab.)	218.560	227.747
N° de clientes (Cant.)	48.222	51.153
Consumo (MWh)	203.120	319.269

Tabla 6. Estudios de Mercado 2015-2026. Plan Maestro ANDE.

Fuente: ANDE

A partir del análisis de proyección poblacional [17] de la Tabla 7, se logra identificar el peso poblacional en referencia al departamento de Guaira y su distribución, y en el se basa el siguiente análisis donde se define cual es el peso representativo de la ciudad de Villarica para, a fin de estudio, prorratar la población a la cual abastece de energía electica el TR-01 de la posición 75 y así definir en primera instancia la potencia atendida por este.

<b>Ciudad</b>	<b>Poblacion Actual</b>	<b>Poblacion Proyectada</b>	<b>Var poblacional</b>
Villarrica	75.332	79.354	5,34%
Borja	10.313	10.418	1,02%
Cptán. MJ Troche	11.307	11.678	3,28%
Cnel. Martinez	7.361	8.180	11,13%
Feliz Perez Cardozo	6.480	6.818	5,22%
Gral E.A. Garay	8.718	9.056	3,88%
Independencia	27.889	28.825	3,36%
Itape	8.029	8.221	2,39%
Iturbe	9.032	8.831	-2,23%
José Fassardi	7.058	7.192	1,90%
Mbocayaty	9056	9539	5,33%
Natalicio talavera	5308	5748	8,29%
Ñumí	3484	3468	-0,46%
San Sanvador	2916	2818	-3,36%
Yataity	4931	5109	3,61%
Dr. Bottrell	1772	1841	3,89%
Paso Yobai	27831	29261	5,14%
Tebicuary	3295	3497	6,13%

*Tabla 7. Paraguay. Proyección de la población por sexo y edad, según distrito, 2000-2025.  
Fuente: INE*

Se presenta en adelante con base en la Tabla 7 la tabla de distribución y su correspondiente grafico circular de composición.

<b>Ciudad</b>	<b>Poblacion Actual</b>	<b>Peso</b>
Villarrica	75.332	33%
Independencia	27.889	12%
Paso Yobai	27831	12%
Cptán. Mauricio José Troche	11.307	5%
Borja	10.313	4%
Mbocayaty	9056	4%
Iturbe	9.032	4%
Gral Eugenio A Garay	8.718	4%
Itape	8.029	3%
Cnel. Martinez	7.361	3%
José Fassardi	7.058	3%
Feliz Perez Cardozo	6.480	3%
Natalicio talavera	5308	2%
Yataity	4931	2%
Ñumí	3484	2%
Tebicuary	3295	1%
San Salvador	2916	1%
Dr. Bottrell	1772	1%

*Tabla 8. Distribución Poblacional Guaira 2021.*

*Fuente: Elaboración propia*

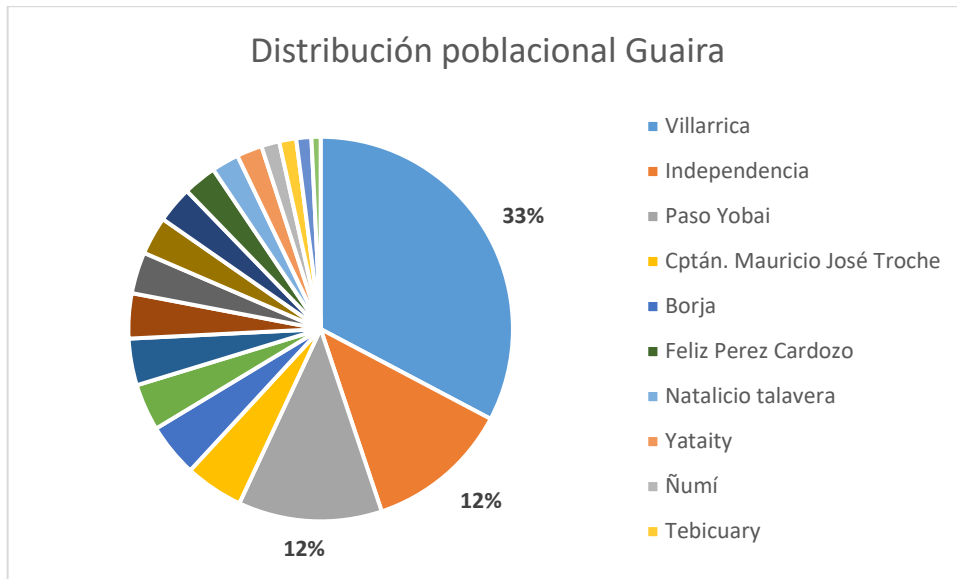


Gráfico 32. Distribución Porcentual poblacional Dpto Guaira 2021.

Fuente: Elaboración propia

Obtenida una referencia representativa de distribución poblacional y en comparación con la distribución de la

Tabla 6 es posible realizar la suposición de distribución de números de clientes atendidos por TR-01 y se calcula en la siguiente tabla, en la cual es posible definir la cantidad de suministros atendidos en relación con la distribución demográfica:

Ciudad	Poblacion Actual	Peso	N° de clientes (Cant.)
Villarrica	75.332	33%	16.621
Independencia	27.889	12%	6.153
Paso Yobai	27831	12%	6.140
Cptán. Mauricio José Troche	11.307	5%	2.495
Borja	10.313	4%	2.275
Mbocayaty	9056	4%	1.998
Iturbe	9.032	4%	1.993
Gral Eugenio A Garay	8.718	4%	1.923
Itape	8.029	3%	1.771
Cnel. Martinez	7.361	3%	1.624
José Fassardi	7.058	3%	1.557
Feliz Perez Cardozo	6.480	3%	1.430
Natalicio talavera	5308	2%	1.171
Yataity	4931	2%	1.088
Ñumí	3484	2%	769
Tebicuary	3295	1%	727
San Sanvador	2916	1%	643
Dr. Bottrell	1772	1%	391

Tabla 9. Distribución de suministros atendidos por TR-01.

Fuente: Elaboración propia

Identificado el segmento poblacional al cual atiende el TR-01 es posible definir el consumo en MWh realización calculo de consumo medio unitario con la ayuda de la siguiente función:

$$\text{Consumo unitario (MWh)} = \frac{\text{Consumo del grupo}}{\text{N° de clientes del grupo}}$$

Ecuación 4. Ecuación de consumo unitario. Fuente: Elaboración propia

Para el caso se selecciona el segmento grupo desde

Tabla 6, donde *Consumo del grupo* = 203.120 MWh, y *N° de clientes del grupo* = 48.222, por ende, reemplazando los valores en la ecuación de consumo unitario:

$$\text{Consumo unitario (MWh)} = \frac{203.120}{48.222} = 4,212 \text{ (MWh)}$$

Definido el consumo unitario (MWh), es posible calcular el consumo total de la población de la ciudad de Villarica dependiente de TR-01, aplicando la siguiente ecuación de consumo:

$$\text{Cons del segmento} = \text{Consumo unitario} \times \text{Cant de usuarios del segmento}$$

*Ecuación 5. Consumo del Segmento. Fuente: Elaboración propia*

Donde, consumo unitario es el valor obtenido a partir de la Ecuación 4, y cantidad de usuarios del segmento es la definida por la Tabla 9 para la ciudad Villarica, reemplazando los valores se obtiene:

$$\text{Cons del segmento} = 4,212 \times 16.621 = 70.010 \text{ (MWh)}$$

A partir de este valor de consumo es posible monetizar el consumo al aplicar. La ANDE en su PLIEGO DE TARIFAS N° 21 define los parámetros y valores de consumo, esta información será utilizada para definir un valor de consumo en el segmento seleccionado.

La Administración Nacional de Electricidad define una tarifa (que se utiliza para objeto de estudio en este trabajo) en 406,00 Gs / kWh [18].

Para poder unificar bases de cálculo es necesario calcular en consumo del segmento en kWh, para realizar esta utilización la relación 1 MWh = 1000 kWh, entonces a partir de esta definición se define que el Consumo del segmento en kWh es 70.010.230.

El valor monetario de consumo en kWh lo podemos determinar a partir de la cantidad de consumo del segmento por el unitario en Gs.

$$\text{Consumo del segmento (Gs)} = 70.010.230 \times 406,00 = 28.424.153.326 \text{ Gs}$$

Para fines de estudio y de simplificación de calculo este monto es convertido a USD utilizando la tasa de cambio actual (1 USD = 7.121 Gs), realizando la conversión obtenemos que:

$$\text{Consumo del segmento (USD)} = \frac{28.424.153.326}{7.121} = 3.991.596 \text{ USD}$$

Para fines de estudio, buscando definir el margen de disponibilidad para inversión se toma de referencia el índice de rentabilidad de la ANDE, esta información se encuentra disponible en su memoria anual [19], donde define el índice de rentabilidad del año 2021 en 9,57, pero de manera a delimitar el estudio y permitir una mejor exactitud en el calculo se toma la media de los ultimo 5 años, detallados en la siguiente tabla:

Periodo	Rentabilidad
2017	2,98%
2018	0,38%
2019	3,25%
2020	4,96%
2021	9,57%

Tabla 10. Periodo vs Rentabilidad. Memoria ANDE 2021.

Fuente: Elaboración propia

Bajo estos parámetros se definió que la media de rentabilidad es de 4,23%, con una tendencia a crecimiento definida por la pendiente positiva que se muestra en el siguiente gráfico.

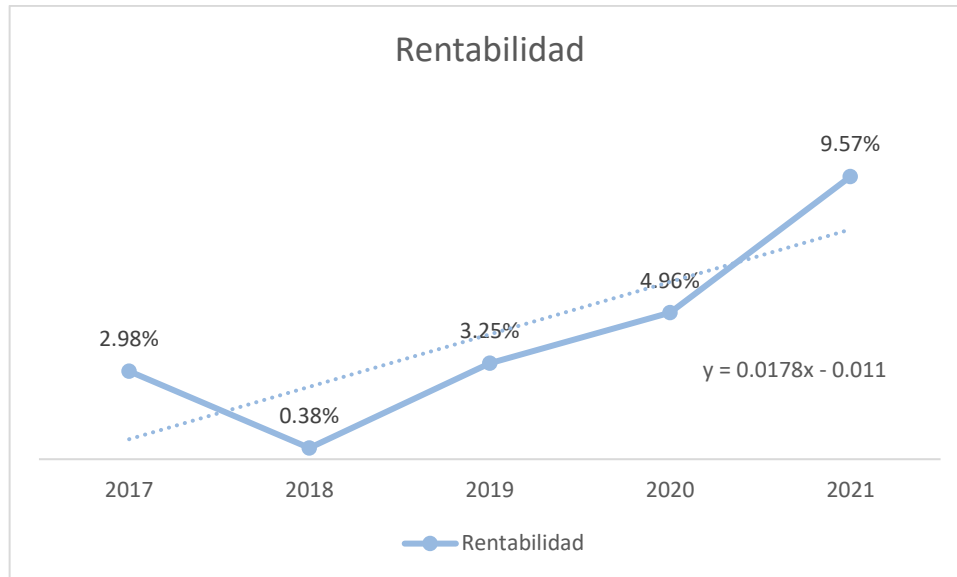


Gráfico 33. Rentabilidad ANDE. Memoria ANDE 2021.

Fuente: Elaboración Propia

#### 6.1.8.1. Tasa Interna de Retorno (TIR)

A partir de los cálculos del ANEXO B realizados para la TIR se verifico que el índice es de 13%, resultó  $> 0$  por ende el proyecto es aceptable.

#### 6.1.8.2. Valor Actualizado Neto (VAN)

A partir de los cálculos del ANEXO B realizados para el VAN se verifico que el índice  $> 0$  por ende el proyecto es ejecutable.

#### 6.1.8.3. Índice de rentabilidad (IR)

A partir de los cálculos del ANEXO B realizados para el IR se verifico que el índice  $> 0$ , sienta 1,25, y por regla de IR el proyecto es rentable.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Gráfico 31, se observa que tanto el interruptor 75 como el 79 se encuentran aislados del segmento de interruptores comprendidos en la parte inferior del grafico que compara la criticidad individual, destacándose el interruptor 75 con medida de 290 de índice de criticidad.

A partir del mismo grafico verificamos que dentro del segundo umbral también aparece el interruptor 79, este refiere un 17% de las fallas registradas dentro del conjunto inmediatamente al 75 con 21%.

Por característica y función ambos interruptores requieren alternativas y planes de actualización debido a que representan en el segmento el mayor impacto.

La Frecuencia de Fallas (FF) del 75, fue el factor determinante para sea el más crítico, ya que presenta un impacto bajo en comparación con otros interruptores en el apartado de consecuencia.

Se destaca la importancia del un buen mantenimiento y un esquema de seguimiento y control cercano al interruptor 95, ya que el mayor periodo de tiempo permanece fuera de servicio y es importante que el mismo se encuentre disponible ante cualquier evento, esta posición toma principal relevancia para el momento de la realización de la alternativa propuesta, ya que con el cambio de interruptor propuesto este deberá asumir la carga de la posición intervenida.

Los interruptores de la Marca Magrini Galileo del tipo 245MHM E-2V cuentan de gran cantidad de componentes, en consecuencia, tienen un impacto alto en frecuencia de mantenimiento.

Verificado el análisis ejecutado e identificado el interruptor de mayor relevancia considerando criticidad fue definida el cambio por otro de características ideales basados en licitaciones anteriores para procesos similares.

Una vez conocido el proceso a realizar se procedió a identificar la factibilidad del proceso de cambio en el aspecto económico arrojando parámetros de TIR, VAN e IR que indican que el proyecto es aplicable, ejecutable y rentable desde el aspecto financiero.

## **VII. CONCLUSIÓN**

Mediante la verificación de análisis de criticidad y con la interpretación obtenida a partir de la aplicación de estudios de dispersión fue posible comprobar que el interruptor crítico para la ES-COV es el de la posición 75, interruptor que atiende al TR-01 220/66, el mismo abastece a la SE-VIL (subestación Villarica) a través de una línea de 66 kV de 40 km de extensión.

A partir de la anterior definición se propone el cambio del interruptor de manera a elevar el índice de criticidad, proponiendo el cambio del interruptor de la posición 75.

Con la determinación del interruptor necesario se verifica la factibilidad del proyecto con los indicadores financieros de TIR, VAN e IR, factores que por los parámetros salientes definen que el proyecto es aplicable.

Se presento toda la información analítica para la ejecución del cambio de interruptor a fin de respaldar y comprender la necesidad y se concluyo que el proceso es altamente necesario a fin de entregar al consumidor final un mejor nivel de servicio.

El proyecto desarrollado fue de gran aporte al autor en el desarrollo del sentido analítico para definición de factibilidad del proceso.

## VIII. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente proyecto se plantean las siguientes recomendaciones:

- Generar una base de datos digital para registro de componentes y sus eventuales fallas y hallazgos. Esto permitirá aislar parámetros que son tratados como probabilidades reemplazándolos por información histórica.
- Se debe garantizar la ejecución del mantenimiento a los equipos sugeridos que sirven de respaldo para momentos de transferencias.
- Generar instancias de revisión de criticidad cada cierto intervalo de tiempo de manera a monitorear posibles cambios que pudieran existir en consecuencia del tiempo operativo.
- Arrancar el proceso de recambio de interruptores enfocados en la mejora del nivel de servicio al consumidor de ANDE.
- Realizar seguimiento enfocado a los interruptores de la marca Magrini Galileo 245 MHM E-2V, ya que por su año de servicio sufren desgastes relacionados con la antigüedad de manera frecuente.
- Correr el estudio de criticidad para la ES-COV en general, ya que permitirá identificar en conjunto cual equipo requiere una atención más enfocada.
- A futuros estudiantes, profundizar el estudio de la ES-COV ya que por su relevancia es necesario garantizar su funcionamiento correcto en el tiempo, ejecutando análisis frecuentes que permitan predecir averías que podrían ocasionar daños de alto impacto al SIN.



## **IX.    ANEXOS**

## ANEXO A. PARAMETROS FINANCIEROS

Proyecto: Cambio de Interruptor de potencia 75

Periodicidad: Anual

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<b>Ingresos</b>		2.052.207	2.079.599	2.107.357	2.135.485	2.163.989
<b>Egresos</b>	7.302.820	0	0	0	0	0

Crecimiento poblacional Vca	1,33%	1,33%	1,33%	1,33%	1,33%	1,33%
Relación Crec poblacional / Consumidores	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53
Crecimiento proyectado de población	75.332	76.338	77.356	78.389	79.435	80.496
Crecimiento proyectado de Cliente	16.621	16.843	17.068	17.295	17.526	17.760
USD / suministro	240,16	240,16	240,16	240,16	240,16	240,16
USD esperado	3.991.596	4.044.874	4.098.863	4.153.573	4.209.013	4.265.193
EBITDA ANDE	4,23%	4,23%	4,23%	4,23%	4,23%	4,23%
USD esperado * Ebitda (margen para inversion)	168.765	171.017	173.300	175.613	177.957	180.332
USD Anual ( USD Esperado +Ebitda) * 12 meses	2.025.176	2.052.207	2.079.599	2.107.357	2.135.485	2.163.989

Flujo de efectivo neto	-7.302.820	2.052.207	2.079.599	2.107.357	2.135.485	2.163.989
------------------------	------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

## Memoria de cálculo

- Crecimiento poblacional Vca: se definió el parámetro a partir del estudio de Proyecciones de población por sexo y edad, ejecutado por el instituto nacional de estadísticas, en donde se identificó la tasa de variación entre los años del estudio entendiendo que el periodo de estudio es de 4 años.

Ciudad	Poblacion Actual	Poblacion Proyectada	Var poblacional	Variacion anual
Villarrica	75.332	79.354	5,34%	1,33%
Borja	10.313	10.418	1,02%	0,25%
Cptán. Mauricio José Troche	11.307	11.678	3,28%	0,82%
Cnel. Martinez	7.361	8.180	11,13%	2,78%
Feliz Perez Cardozo	6.480	6.818	5,22%	1,30%
Gral Eugenio A Garay	8.718	9.056	3,88%	0,97%
Independencia	27.889	28.825	3,36%	0,84%
Itape	8.029	8.221	2,39%	0,60%
Iturbe	9.032	8.831	-2,23%	-0,56%
José Fassardi	7.058	7.192	1,90%	0,47%
Mbocayaty	9056	9539	5,33%	1,33%
Natalicio talavera	5308	5748	8,29%	2,07%
Ñumí	3484	3468	-0,46%	-0,11%
San Sanvador	2916	2818	-3,36%	-0,84%
Yataity	4931	5109	3,61%	0,90%
Dr. Bottrell	1772	1841	3,89%	0,97%
Paso Yobai	27831	29261	5,14%	1,28%
Tebicuary	3295	3497	6,13%	1,53%

El valor de la columna variación anual se fijó como constante para definir y proyectar el crecimiento poblacional esperado.

- Relación Crec poblacional / Consumidores: la relación fue obtenida a partir del estudio del plan maestro de ANDE del periodo 2016-2021 [20], donde se identificó el unitario de habitantes / suministro.

Departamento	San Pedro		Guaira	
Concepto	2.016	2.020	2.016	2.020
Población (Hab.)	414.503	435.126	218.560	227.747
N° de clientes (Cant.)	77.965	85.279	48.222	51.153
Consumo (MWh)	284.821	448.162	203.120	319.269
		Hab/suministro	4,53	4,53

- Crecimiento proyectado de población: para el año 0 se tomo como base la población actual y a partir del crecimiento según la rata de crecimiento previamente identificada se determinó la población proyectada.
- Crecimiento proyectado de Clientes: Se obtuvo de la división del unitario de crecimiento proyectado de población y Relación Crec poblacional / Consumidores.
- USD / suministro: Se definió en base al consumo en MWh para la ciudad de Villarica convertido a KWh, posteriormente el valor se convirtió a USD para objeto de estudio.
- USD esperado: es el valor USD / suministro multiplicado por la cantidad de suministros proyectados.
- EBITDA ANDE: Este valor se definió en base a la memoria y balance de ANDE del 2021[19], definiendo el factor de calculo en base a la media de la muestra.

Periodo	Rentabilidad	
2017	2,98%	
2018	0,38%	
2019	3,25%	
2020	4,96%	<b>MEDIA</b>
2021	9,57%	<b>4,23%</b>

- $\text{USD esperado} * \text{Ebitda (margen para inversion)}$ : Se obtuvo a partir de la multiplicación del unitario EBITDA ANDE por el valor USD Esperado.
- $\text{USD Anual ( USD Esperado +Ebitda) * 12 meses}$ : Ya que el valor de estudio es mensual se proyectó la ganancia esperada anual.
- Flujo activo neto: Es la diferencia entre el ingreso y egreso.

### ANEXO B. CALCULO TIR, VAN, IR

Tasa de rendimiento (inflación anual)	4,80%
---------------------------------------	-------

	0	1	2	3	4	5	Valor presente de la suma de flujos actualizados
Flujo de efectivo neto	-7.302.820	2.052.207	2.079.599	2.107.357	2.135.485	2.163.989	
Valor Presente	-7.302.820	1.958.213	1.893.464	1.830.856	1.770.318	1.711.782	<b>9.164.634</b>

<b>VAN</b>	<b>TIR</b>	<b>IR</b>
<b>1.861.814</b>	<b>13%</b>	<b>1,25</b>

## Memoria de cálculo

- Flujo de efectivo neto: es la diferencia entre los ingresos y egresos.
- Valor presente: es la rata de variación se obtiene a partir de la siguiente formula Valor presente neto (VPN) = Flujo de efectivo /  $(1 + \text{tasa de descuento})^{\text{número de periodos}}$ .
- Tasa de descuento: se definió en base a la inflación anual del Paraguay, seleccionando la ultima de manera a selecciona el escenario mas acorde a la actualidad.

## X. BIBLIOGRAFIA

- [1] R. B. Arreola, Modernización de interruptores de potencia de 400kV en la subestación eléctrica Texcoco, México: Instituto Politécnico Nacional, 2010.
- [2] C. Avalos, Análisis de criticidad de interruptores de potencia de la estación Coronel Oviedo de la Administración Nacional de Electricidad, Coronel Oviedo: Universidad Nacional del Caaguazú, Facultad de Ciencias y Tecnologías, 2019.
- [3] J. Martin, Diseño de Subestaciones Electricas, México: Mac Graw Hill, 1992.
- [4] H. Hernandez, E. Hernandez, J. León, J. Montero, R. Pineda y J. Sánchez, «Subestaciones eléctricas, transformando y distribuyendo energía,» *Revista Eléctrica*, vol. 34, nº 7, pp. 16 - 17, 2011.
- [5] E. Hárper, Elementos de Diseño de subestaciones Eléctricas, México: LIMUSA - Noriega Editores, 2012.
- [6] G. Paniagua Garcia, Manual de interruptores de potencia, Mexico D.F.: Gerencia de subestaciones y Líneas de transmisión, 2003.
- [7] S. G. Garrido, Organizacion y Gestion integral de mantenimiento, Madrid: Ediciones Diaz de Santos, 2003.

- [8] S. G. Garrido, Organización y gestión integral de mantenimiento, Madrid: Diaz de Santos SA, 2003.
- [9] N. S. Z-013, Risk and emergency preparedness analysis, Norway: Standars Norway, 2010.
- [10] M. A. y. I. C. E. «. d. c. i. d. a. Gutiérrez, «Scielo,» [En línea].  
Available:  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-921X2015000500012](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2015000500012). [Último acceso: 09 01 2022].
- [11] C. L. y. E. Manotas, Technical Conference Industrial & Commercial Power, Florida, USA, 2012.
- [12] Y. Martinez, Análisis de los costos de mantenimiento de un interruptor de potencia de 220 kV. Tesis para optar por el título de Licenciado en Contabilidad y Finanzas, Camagüey, Cuba: Universidad de Camagüey.: Departamento de Contabilidad, 2013.
- [13] L. Rojas, Metodología para el análisis de criticidad en la subestación Tres Picos. Tesis para optar por el título de Master en Ingeniería Eléctrica, Ignacio Agramonte Loynaz, Cuba: Universidad de Camagüey. Departamento de Ingeniería Eléctrica, 2013.
- [14] CEMA, Estudio de impacto ambiental definitivo por la construcción y operación de la nueva subestación el Fortin de la Flor y su TAP de 69 kV, Guayaquil, Ecuador, 2012.

- [15] C. P. PY, «Contrataciones Publicas,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.contrataciones.gov.py/documentos/download/convocatoria/Ug2YqDaKito%253D>. [Último acceso: 2022].
- [16] A. N. D. ELECTRICIDAD, «Plan Maestro de Generación - Periodo 2016 - 2025,» Dirección de Planificación General y Política Empresarial (DP), Asuncion, 2016.
- [17] I. N. d. Estadística, «Proyecciones de Población por sexo y edad,» Instituto Nacional de Estadística, Fernando de la Mora, 2021.
- [18] Administración Nacional de Electricidad, «Pliego de tarifas 21,» ANDE, Asunción, 2017.
- [19] Administración Nacional de Electricidad, «Memoria anual 2021,» ANDE, Asunción, 2021.
- [20] ANDE DT/EDT, «Viceministerio de Minas y Energías,» 2019. [En línea]. Available: [https://www.ssme.gov.py/vmme/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1252&Itemid=604](https://www.ssme.gov.py/vmme/index.php?option=com_content&view=article&id=1252&Itemid=604).
- [21] R. Barajas Arreola, Tesis - Modernización de interruptores de potencia de 400 kV en la Subestación Eléctrica Texcoco, Mexico, D.F., 2010.

- [22] E. Ayub, H. A., E. Rosales, N. Peña y J. Flore, Manual de Interruptores de Potencia, Mexico D.F.: Coordinadora de Transmisión y Transformación, 2003.