



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

---

**HERRAMIENTA EDUCATIVA EN MOODLE PARA LA ASIGNATURA  
SUBESTACIONES ELÉCTRICAS**

**KEVIN FABIAN GÓMEZ PABON**

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

**DIRECTOR:  
M.Sc EDISON CAICEDO PEÑARANDA  
CODIRECTOR:  
M.Sc LUIS DAVID PABÓN FERNÁNDEZ**

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



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

---

**HERRAMIENTA EDUCATIVA EN MOODLE PARA LA ASIGNATURA  
SUBESTACIONES ELÉCTRICAS**

**KEVIN FABIAN GÓMEZ PABON**

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

**DIRECTOR:  
M.Sc EDISON CAICEDO PEÑARANDA  
CODIRECTOR:  
M.Sc LUIS DAVID PABÓN FERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
PAMPLONA N. DE S. – COLOMBIA  
DICIEMBRE 2019**

---

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO EEST  
INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE  
INGENIERO ELECTRICO

Titulo

HERRAMIENTA EDUCATIVA EN MOODLE PARA LA ASIGNATURA  
SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

ACEPTACIÓN Y AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTAR:

AUTOR: KEVIN FABIAN GÓMEZ PABON

DIRECTOR: M.Sc EDISON CAICEDO PEÑARANDA

CODIRECTOR M.Sc LUIS DAVID PABÓN FERNÁNDEZ

DIRECCIÓN ADMINISTRATIVA

Pamplona, Colombia  
Diciembre 2019

(Acta de sustentación diligenciada y Escaneada)

ROGRAMA: \_\_\_\_\_ INGENIERÍA ELÉCTRICA \_\_\_\_\_

**MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO**

Investigación  Pasantía de Investigación  Docencia  Práctica Empresarial  
 Recital de Grado  Diplomado  Práctica Integral

**EL JURADO CALIFICADOR CONFORMADO POR:** (Nombres, apellidos y documento de identidad).

**JURADO 1:** \_\_\_\_\_ / **C.C:** \_\_\_\_\_

**JURADO 2:** \_\_\_\_\_ / **C.C:** \_\_\_\_\_

**JURADO 3:** \_\_\_\_\_ / **C.C:** \_\_\_\_\_

**EN SU SESIÓN EFECTUADA EN:** \_\_\_\_\_ **A LAS** \_\_\_\_\_ **HORAS, DEL**  
**DÍA** \_\_\_\_\_ **DEL MES** \_\_\_\_\_ **DEL AÑO** \_\_\_\_\_

Terminadas sus deliberaciones, y en cumplimiento de las normas y acuerdos de los órganos de dirección de la Universidad de Pamplona, se ha llegado a la siguiente conclusión:

**Primera Conclusión:** Otorgar la Calificación de: \_\_\_\_ . \_\_\_\_ (en números)

Meritorio (>=4.50)  Excelente (>=4, <=4.49)  Aprobado (>=3, <=3.99)  Incompleto (<=2.99)

**AL TRABAJO DE GRADO TITULADO:** \_\_\_\_\_

**AUTOR(ES):** Número de Autores ( 1 )

Nombres: \_\_\_\_\_ COD. \_\_\_\_\_

**DIRECTOR Y/O TUTOR:** \_\_\_\_\_ / **Pas:** \_\_\_\_\_

**Segunda Conclusión:** Emitir los siguientes criterios

No.	DESCRIPCIÓN	RECOMENDAR	
		SI	NO
1.	Recomendar para presentar en eventos.		
2.	Recomendar para publicación.		
3.	Recomendar para ser continuado en otros trabajos.		

Otras: \_\_\_\_\_

**Tercera Conclusión:** Avalar el cumplimiento del Trabajo de Grado, para optar por el Título de

**Firmas del Jurado Calificador:**

\_\_\_\_\_  
**JURADO 1**

\_\_\_\_\_  
**JURADO 2**

\_\_\_\_\_  
**JURADO 3**

\_\_\_\_\_  
**Director Comité Trabajo de Grado**

\_\_\_\_\_  
**Director Unidad Académica**

---

*Dedicatoria*

*A mi padre Fabio Gómez y a mi madre Mercedes Pabón*

*A mi abuela Helena Flores*

*A todos mis familiares*

*A mis docentes*

*A mis amigos*

---

## *Agradecimientos*

*A mis padres Fabio Gómez y Mercedes Pabón, por el apoyo incondicional brindado en estos años de estudio, por sus consejos, por el ánimo que me daban, por todo el amor y cariño, por hacer hasta lo imposible para ver un sueño cumplirse, mi ángel de la guarda, Mechis.*

*A mi abuela, por creer en mí, por esos "tinticos" que me brindaba con todo el amor del mundo mientras yo estudiaba, si no me bastaba con uno, ella, mi segundo ángel de la guarda, Helena.*

*A mis familiares, por brindarme su apoyo siempre que lo necesitaba, por ser grandes personas con un gran corazón.*

*A mis docentes, por brindarme sus conocimientos, experiencias y consejos que hicieron parte de mi formación profesional.*

*A todos aquellos amigos y conocidos que de una forma u otra aportaron a mi crecimiento personal y profesional*

---

## Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	8
Lista de figuras.....	9
Resumen.....	13
Introducción.....	14
Planteamiento del problema y justificación .....	15
Delimitación.....	16
OBJETIVO GENERAL .....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
ACOTACIONES.....	16
Capítulo I.....	17
1. MARCO TEÓRICO .....	17
1.1 HERRAMIENTA EDUCATIVA.....	17
1.2 LAS TIC EN LA EDUCACIÓN .....	17
1.3 MOODLE.....	19
1.4 SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.....	24
Capítulo II.....	27
2. CONTENIDO PROGRAMÁTICO .....	27
2.1 PLAN DE ESTUDIOS.....	27
2.2 CONTENIDO PROGRAMÁTICO.....	27
2.3 CONTENIDO PROGRAMÁTICO DE LA ASIGNATURA SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE ALGUNAS UNIVERSIDADES NACIONALES. ....	28
2.4 COMPARATIVA ENTRE LOS DIFERENTES CONTENIDOS PROGRAMÁTICOS DE LAS UNIVERSIDADES 48	
2.5 DISEÑO DEL NUEVO CONTENIDO PROGRAMÁTICO DE LA ASIGNATURA SUBESTACIONES ELÉCTRICAS .....	49
Capítulo III.....	53
3. CONTENIDOS.....	53
3.1. RECURSOS DE LOS MÓDULOS .....	54
3.1.1 MÓDULO 1: CONCEPTOS GENERALES SOBRE SUBESTACIONES .....	54
3.1.2 MÓDULO 2: CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE SUBESTACIONES .....	73
3.1.3 MÓDULO 3: CONFIGURACIONES DE LAS SUBESTACIONES .....	84
3.1.4 MÓDULO 4: COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO, DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD .....	96
3.1.5 MÓDULO 5: FORMAS CONSTRUCTIVAS Y DISPOSICIÓN DE UNA SUBESTACIÓN .....	115
3.1.6 MÓDULO 6: APANTALLAMIENTO Y SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA .....	125
3.1.7 MÓDULO 7: SISTEMAS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y SERVICIOS AUXILIARES .....	139
Capítulo IV.....	153
4. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	153
4.1. Contenido programático.....	153
4.2. Elaboración de los Módulos.....	153
4.3. Creación de los recursos visuales.....	153



4.4.	Problemas y actividades .....	155
4.5.	Implementación de los módulos.....	160
4.6.	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>164</b>
4.6.1.	Contenido programático reestructurado.....	164
4.6.2.	Módulos de la herramienta educativa.....	168
4.6.3.	Recursos visuales y didácticos .....	172
4.6.4.	Problemas y ejemplos.....	174
4.6.5.	Implementación de los módulos en la plataforma Moodle.....	176
	Conclusiones y recomendaciones .....	181
	Referencias .....	182

## Lista de figuras

<i>Figura 1. Contenido programático de la asignatura de Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira. [15]</i>	29
<i>Figura 2. Métodos de aprendizaje y evaluación de la asignatura de Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira. [15]</i>	30
<i>Figura 3. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas en la Universidad del Valle. [16]</i>	32
<i>Figura 4. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas en la Universidad del Valle. [16]</i>	32
<i>Figura 5. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [17]</i>	34
<i>Figura 6. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [17]</i>	34
<i>Figura 7. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [17]</i>	35
<i>Figura 8. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [17]</i>	36
<i>Figura 9. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad Industrial de Santander. [18]</i>	37
<i>Figura 10. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad Industrial de Santander. [18]</i>	38
<i>Figura 11. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad del norte. [19]</i>	39
<i>Figura 12. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad del norte. [19]</i>	40
<i>Figura 13. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad del Norte. [19]</i>	41
<i>Figura 14. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad de Pamplona. [20]</i>	42

Figura 15. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad de Pamplona. [20]	43
Figura 16. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad de Pamplona. [20]	44
Figura 17. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad de Pamplona. [20]	45
Figura 18. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad de Pamplona. [20]	46
Figura 19. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad de Pamplona. [20]	47
Figura 20. Diseño del nuevo contenido programático.	52
Figura 21. Contenidos seleccionados para la implementación en la plataforma Moodle para la asignatura Subestaciones Eléctricas.	53
Figura 22. Aspectos constructivos del transformador. [24]	58
Figura 23. Transformador de tensión inductivo y transformador de tensión capacitivo. [21]	59
Figura 24. Transformadores de corriente. [25]	60
Figura 25. Banco de capacitores. [7]	61
Figura 26. Pararrayos de la oleada de la clase de estación 500kV. [27]	61
Figura 27. Esquema típico interno de un pararrayos de óxido metálico (ZnO). [21]	62
Figura 28. Seccionador de alta tensión. [28]	63
Figura 29. Seccionador. [29]	64
Figura 30. Banco de baterías. [30]	65
Figura 31. Bobinas de bloqueo. [31]	65
Figura 32. Esquema bobina de bloqueo. [21]	66
Figura 33. Sistema de suministro eléctrico. [32]	67
Figura 34. Subestación elevadora. [34]	68
Figura 35. Subestación eléctrica. [35]	69
Figura 36. Montaje subestación de distribución. [36]	70
Figura 37. Subestación eléctrica tipo intemperie. [37]	71
Figura 38. Subestación eléctrica tipo interior. [38]	71
Figura 39. Subestación encapsulada de 220kV [39]	72
Figura 40. Configuración Barra sencilla	85
Figura 41. Configuración de Barra principal más Barra de transferencia	86
Figura 42. Configuración de Doble barra	87
Figura 43. Configuración de Doble barra más seccionador de By-Pass	88
Figura 44. Configuración de doble barras más seccionador de transferencia	89
Figura 45. configuración de doble barra más barra de transferencia	90
Figura 46. Configuración de anillo	91
Figura 47. Configuración de interruptor y medio	92
Figura 48. Configuración doble barra con doble interruptor	93
Figura 49. Tasa de falla de una subestación de distribución en función de la tasa de falla de los interruptores. [21]	94
Figura 50. Tasa de falla de una subestación de distribución teniendo en cuenta el tiempo de mantenimiento de los interruptores. [21]	95
Figura 51. Tipos de sobretensiones. [21]	100
Figura 52. Procedimiento para coordinación de aislamiento. [21]	105

Figura 53. Dimensiones medidas de un operador. [21]	109
Figura 54. Circulación de personal. [21]	110
Figura 55. Protección para equipos en bajo nivel. [21]	111
Figura 56. Circulación de vehículos. [21]	111
Figura 57. Mantenimiento de rutina. [21]	112
Figura 58. Seccionador de apertura central. [21]	116
Figura 59. Seccionador de rotación central. [21]	116
Figura 60. Seccionador de apertura vertical. [21]	117
Figura 61. Seccionador pantógrafo. [21]	117
Figura 62. Seccionador semipantografo. [21]	118
Figura 63. Barra sencilla con bahía de transformación. [41]	118
Figura 64. Doble barra. [41]	119
Figura 65. Doble barra con bahía de transformación. [41]	119
Figura 66. Barra principal más transferencia. [41]	119
Figura 67. Barra principal más transferencia con bahía de transformación. [41]	120
Figura 68. Disposición clásica modificada, barra principal y de transferencia. [21]	120
Figura 69. Disposición clásica modificada, Doble barra. [21]	121
Figura 70. Disposición clásica modificada, Doble barra con BY-pass o paso directo. [21]	121
Figura 71. Arreglo diagonal modificado, barra principal y de transferencia. [21]	121
Figura 72. Pantógrafos en arreglo diagonal, barra rígida, barras principal más barra de transferencia. [21]	122
Figura 73. Doble barra con barra rígida. [21]	122
Figura 74. Subestación interior compartimentada. [21]	123
Figura 75. Módulo MCI. [21]	124
Figura 76. Proceso de la descarga atmosférica. [21]	126
Figura 77. Mapa isocerámico de Colombia. [21]	127
Figura 78. Ángulos fijos para cables de guarda. [21]	128
Figura 79. Ángulos fijos para mástiles. [21]	129
Figura 80. Concepto de la esfera de radio igual a la distancia de descarga Sm. [21]	130
Figura 81. Tensiones de toque, paso y transferencia en una subestación. [21]	133
Figura 82. Tensión de paso cerca de una estructura conectada a tierra. [23]	134
Figura 83. Tensión de contacto a una estructura conectada a tierra. [23]	134
Figura 84. Método Wenner. [21]	137
Figura 85. Sistema de control centralizado. [21]	140
Figura 86. Sistema de control distribuido. [21]	141
Figura 87. Principio de los sistemas de automatización de subestaciones SAS. [21]	143
Figura 88. Estructura jerárquica de un sistema de control SAS. [21]	144
Figura 89. Estructura jerárquica de un sistema de control convencional. [21]	144
Figura 90. Esquema radial y un solo alimentador de media tensión. [21]	148
Figura 91. Alimentación media tensión radial doble. [21]	149
Figura 92. Alimentación media tensión con alimentador de reserva. [21]	150
Figura 93. Sistema de servicios auxiliares centralizado. [21]	151
Figura 94. Servicios auxiliares distribuidos. [21]	152
Figura 95. Lista de actividades disponibles en la plataforma Moodle.	155
Figura 96. Pantalla de presentación del Glosario de Subestaciones Eléctricas.	155
Figura 97. Ventana para agregar los conceptos y definiciones.	156

---

Figura 98. Pantalla de presentación del cuestionario de Subestaciones Eléctricas.	157
Figura 99. Tipos de pregunta disponibles en la actividad cuestionario.	157
Figura 100. Preguntas tipo opción múltiple con única respuesta.	158
Figura 101. Preguntas de relación gráfica.	158
Figura 102. Preguntas tipo respuesta corta.	159
Figura 103. Pregunta tipo Arrastrar y soltar.	159
Figura 104. Pregunta tipo Elegir la palabra correcta.	159
Figura 105. Enlace URL	160
Figura 106. Vista principal del curso Subestaciones Eléctricas.	160
Figura 107. Herramientas de la plataforma Moodle.	161
Figura 108. Edición de las configuraciones del curso.	161
Figura 109. Herramientas para edición del curso.	162
Figura 110. Editor interno de texto.	162
Figura 111. Vista final de los 7 Módulos elaborados.	163
Figura 112. Interfaz para la creación de actividades.	164
Figura 113. Datos relevantes del nuevo contenido programático.	165
Figura 114. Actividades, temas y subtemas del nuevo contenido programático.	166
Figura 115. Actividades y metodología del contenido programático.	167
Figura 116. Bibliografía presente en el nuevo contenido programático.	168
Figura 117. Presentación Modulo 1: Conceptos generales sobre subestación.	169
Figura 118. Presentación Modulo 2: Criterios básicos para el diseño de subestaciones	169
Figura 119. Presentación Modulo 3: Configuraciones de las subestaciones	170
Figura 120. Presentación Modulo 4: Coordinación de aislamiento y distancias de seguridad.	170
Figura 121. Presentación del Módulo 5: Formas constructivas y disposiciones de una subestación.	171
Figura 122. Presentación Modulo 6: Apantallamiento y sistemas de puesta a tierra.	171
Figura 123. Presentación Modulo 7: Sistemas de control, protección y servicios auxiliares.	172
Figura 124. Imágenes de apoyo.	172
Figura 125. Imágenes de apoyo.	173
Figura 126. Imágenes de apoyo.	173
Figura 127. Material didáctico y apoyo visual.	174
Figura 128. . Material didáctico y apoyo visual.	174
Figura 129. Banco de Preguntas	175
Figura 130. Presentación del cuestionario	175
Figura 131. Portal Web, Universidad de Pamplona.	176
Figura 132. Enlace a la plataforma Moodle de la página principal de la Universidad de Pamplona.	176
Figura 133. Enlace a la plataforma Moodle.	177
Figura 134. Plataforma principal y personal de la plataforma Moodle.	177
Figura 135. Listado de cursos presentes en Moodle.	178
Figura 136. Listado de cursos presentes en Moodle.	178
Figura 137. Ventana principal del curso de Subestaciones Eléctricas, parte superior.	179
Figura 138. Ventana principal del curso de Subestaciones Eléctricas, parte inferior.	179

---

## Resumen

En el siguiente proyecto se pretende diseñar e implementar una herramienta educativa para la asignatura de Subestaciones eléctricas en el portal institucional Moodle, donde se desarrollaran los contenidos y módulos académicos, por medio de recursos visuales que mejoren la presentación y exposición de los temas del plan de estudios, procedimientos matemáticos demostrativos de los fenómenos físicos, adicionalmente se pretende presentar de forma detallada la solución de problemas ingenieriles enmarcados en el área, mediante el planteamiento de bancos de ejercicios, bibliografía, talleres y guías de laboratorio, apoyando el proceso formativo de la asignatura en concordancia con la visión y misión del programa.

## Abstract

In the following project it is possible to design and implement an educational tool for the subject of Electrical Substations in the Moodle institutional portal, where the contents and academic modules will be developed, through visual resources that improve the presentation and exhibition of the themes of the plan of Studies, mathematical procedures demonstrating physical phenomena, additionally it is intended to present in detail the solution of engineering problems framed in the area, through the approach of exercise benches, bibliography, workshops and laboratory guides, supporting the training process of the subject in accordance with the vision and mission of the program.

---

## Introducción

En la actualidad el modelo de enseñanza ha presentado diversos cambios, donde las tecnologías de la comunicación han jugado un rol importante, se han presentado nuevos espacios para los procesos educativos en donde se ha pasado de dictar clases presenciales a dictarlas a distancia a través de las tecnologías de la información y la comunicación o TIC's que han presentado un desarrollo exponencial en la última parte del siglo XX y comienzos del siglo XXI, Estas nuevas formas de aprendizaje permiten al estudiante encontrar respuestas y conocer las bases teóricas del tema propuesto de forma diferente o con materiales de apoyo diferentes a las horas cátedras.

Moodle hace parte de estas formas de aprendizaje, esta herramienta educativa posibilita un sistema de elaboración y distribución del conocimiento capaz de promover un aprendizaje más eficaz de la información actual.

En el presente trabajo se da a conocer el proceso de creación de una herramienta educativa para la asignatura de Subestaciones Eléctricas del programa de Ingeniería Eléctrica de la universidad de Pamplona, partiendo de la reestructuración del contenido programático de la asignatura se procederá a diseñar los contenidos que harán parte de este y finalmente se implementara en la plataforma Moodle la cual se encuentra ubicada en la página oficial de la Universidad de Pamplona.

---

## Planteamiento del problema y justificación

La aparición de nuevas tecnologías en el ámbito de la información y la comunicación han impactado de forma contundente el día a día de las personas, quienes han utilizado los mismos mecanismos de educación tradicionales y limitados, el potencial presente en la tecnología puede ser de ayuda para la transmisión y adquisición de conocimientos.

El programa de Ingeniería Eléctrica puede mejorar y actualizar el plan de estudios y el material de apoyo docente en el área de subestaciones eléctricas, empleando las nuevas tecnologías que faciliten la transmisión de los contenidos y se centre en el proceso formativo de los estudiantes en el área, aumentando la información respecto a la asignatura.

La carencia de diversidad de material educativo de la asignatura subestaciones eléctricas se hace evidente en el registro bibliográfico de la Universidad de Pamplona. Esto dificulta la adquisición de información por parte de los estudiantes. Por otra parte, la Universidad de Pamplona cuenta con la plataforma web Moodle la cual no se está aprovechando al máximo, ya que en esta plataforma se manejan escasas materias del contenido programático de la carrera.

---

## Delimitación

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar una herramienta educativa en Moodle para la asignatura Subestaciones Eléctricas del programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Pamplona.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estructurar el contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas, comparando el plan de estudios con el de otras instituciones y seleccionando el contenido de los módulos necesarios para cumplir el objetivo de formación de la asignatura.
- Diseñar los recursos visuales y didácticos para la herramienta educativa.
- Diseñar un conjunto de problemas y ejemplos enmarcado en el desarrollo de las habilidades del curso.
- Implementar los módulos diseñados en el portal institucional Moodle.

### **ACOTACIONES**

La herramienta educativa estará acoplada y regida al programa académico de la asignatura subestaciones eléctricas ofertada por el departamento de ingenierías eléctrica, electrónica, sistemas y telecomunicaciones en la facultad de Ingenierías de la Universidad de Pamplona.

La herramienta educativa será un portal en Moodle ubicada en los recursos informáticos de la Universidad de Pamplona con el fin de que esta pueda tener control de los recursos. Las aplicaciones serán desarrolladas en el Software licenciado en la Universidad de Pamplona.



# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 HERRAMIENTA EDUCATIVA

Las herramientas educativas, “Son programas educativos didácticos que son diseñados con el fin de apoyar la labor de los profesores en el proceso de enseñanza- aprendizaje; las herramientas educativas están destinadas a la enseñanza y el aprendizaje autónomo y permite el desarrollo de ciertas habilidades cognitivas”. [1]

Las herramientas tienen diversas características:

- Facilidad de uso
- Capacidad de motivación
- Relevancia curricular
- Versatilidad
- Enfoque pedagógico
- Orientación
- Evaluación

Complementando la definición de lo que es una herramienta educativa tenemos a expertos en este campo que nos dicen:

-Para García Aretio (2002: 241) la herramienta educativa es “El documento que orienta el estudio, acercando a los procesos cognitivos del alumno el material didáctico, con el fin de que pueda trabajarlo de manera autónoma”.

-Mercer (1998: 195) la define como la “Herramienta que sirve para edificar una relación entre el profesor y los alumnos”.

-Castillo (1999: 90) complementa la definición anterior al afirmar que la herramienta educativa es “una comunicación intencional del profesor con el alumno sobre los pormenores del estudio de la asignatura y del texto base [...]”.

-Para Martínez Mediano (1998:109) “constituye un instrumento fundamental para la organización del trabajo del alumno y su objetivo es recoger todas las orientaciones necesarias que le permitan al estudiante integrar los elementos didácticos para el estudio de la asignatura”.

Una herramienta educativa es una herramienta valiosa que complementa y dinamiza el texto básico; con la utilización de creativas estrategias didácticas, simula y reemplaza la presencia del profesor y genera un ambiente de diálogo, para ofrecer al estudiante diversas posibilidades que mejoren la comprensión y el autoaprendizaje. [2]

## 1.2 LAS TIC EN LA EDUCACIÓN

Las TIC son parte de los cambios a nivel económico, social y tecnológico que se están produciendo en la sociedad actual, y las instituciones educativas no pueden mantenerse al margen. Deben adaptarse a las características individuales y a las necesidades propias

del alumnado, para así aportar mayor flexibilización en las trayectorias académicas y facilitar al máximo el desarrollo de sus potencialidades. [3]

### **1.2.1. Definición de las TIC's**

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) son todas aquellas que giran en torno a las tecnologías de almacenamiento, procesamiento, recuperación y comunicación de la información a través de diferentes dispositivos electrónicos e informáticos. [4]

Las nuevas tecnologías ofrecen el acceso a una gran cantidad de información. El uso de las TIC en la educación facilita un aprendizaje constructivista y significativo. El alumno construye su saber mediante la unión de los conocimientos previos que ya posee con la adquisición de los nuevos conocimientos que aprende por medio de la indagación y búsqueda de información con las nuevas tecnologías. Durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, el alumno requiere de una serie de condiciones de carácter específico que facilite la adquisición de conocimientos en la realización y desarrollo de diferentes tareas. Cada alumno posee un gran talento y por ello tienen diferentes ritmos de aprendizaje en cuanto a la asimilación y adquisición de nuevos conocimientos. [3]

### **1.2.2. Integración de las TIC en la educación**

El avance tecnológico ha permitido elevar a la sociedad de la información en la que vivimos por ende se requiere de nuevos retos a nivel educativo para los ciudadanos. Entre estos retos se encuentra:

- Disponer de ciertos criterios para la búsqueda y selección de la información efectiva, que permitan acceder a la información relevante de calidad.
- El conocimiento de nuevo códigos de comunicativos utilizados en los nuevos medios.
- Potenciar que los nuevos medios contribuyan a difundir los valores universales, sin discriminación a ningún colectivo.
- Formar ciudadanos críticos, autónomos y responsables que tengan una visión clara sobre las transformaciones sociales que se van produciendo y puedan participar activamente en ellas.
- Adaptar la educación y la formación a los cambios continuos que se van produciendo a nivel social, cultural y profesional.

El uso de las TIC no conduce necesariamente a la implementación de una determinada metodología de enseñanza/aprendizaje. Se producen en múltiples ocasiones procesos educativos que integran las TIC siguiendo una metodología tradicional en la que se enfatiza el proceso de enseñanza, en donde el alumno recibe la información que le trasmite el profesor y en la que se valoran fundamentalmente la atención y memoria de los estudiantes. No obstante, los profesores que deseen guiar los aprendizajes de sus alumnos, fomentando la interacción y el aprendizaje colaborativo siguiendo los postulados del constructivismo social de Vygostsky o el aprendizaje por descubrimiento de Bruner, tienen en las TIC un fuerte aliado, fundamentalmente en los diferentes recursos y servicios que ofrece Internet. [4]

El impacto de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) sobre la educación, propicia posiblemente uno de los mayores cambios en el ámbito de la Educación. A través de Internet y de las informaciones y recursos que ofrece, en el aula se abre una nueva ventana que nos permite acceder a múltiples recursos, informaciones y comunicarnos con otros, lo que nos ofrece la posibilidad de acceder con facilidad a conocer personalidades de opiniones diversas. Por otro lado, las nuevas teorías de aprendizaje que centran su atención no tanto en el profesor y el proceso de enseñanza, como en el alumno y el proceso de aprendizaje, tienen un buen aliado en estos medios, si se utilizan atendiendo a los postulados del aprendizaje socio constructivo y bajo los principios del aprendizaje significativo. [4]

El uso de las TIC's en la educación depende de múltiples factores como los son la infraestructura, formación, actitudes, apoyo del equipo directivo entre los cuales el más relevante es el interés y la formación por parte del docente, tanto a nivel instrumental como pedagógico. El proceso de integración de los docentes con los recursos tecnológicos conlleva 5 etapas: [4]

- Acceso: aprende el uso básico de la tecnología
- Adopción: utiliza la tecnología como apoyo a la forma tradicional de enseñar.
- Adopción: integra la tecnología en prácticas tradicionales de clase.
- Apropiación: actividades interdisciplinarias, colaborativas, basadas en proyectos de aprendizaje.
- Invención: descubren nuevos usos para la tecnología o combinan varias tecnologías de forma creativa.

La inserción de las tecnologías de la información y la comunicación en la enseñanza se está llevando a cabo desde hace tiempo con la creación de los llamados centros TIC o con programas tipo 2.0 para que esta integración de las TIC se lleve a cabo hace falta, además de la disponibilidad de estos recursos, una adecuada formación del docente, lo que a su vez hace que algunos investigadores estudien como el docente hace frente a este reto de la integración de la TIC y como le está dando una nueva función educadora, pues desarrollo tecnológico y las nuevas formas de comunicación en las que estamos inmersos socialmente están configurados y reclamando un nuevo espacio educativo, un replanteamiento de las finalidades de la educación y de los propios procesos de enseñanza. [5]

### **1.3 MOODLE**

#### **1.3.1. ¿Qué es Moodle?**

Moodle es una plataforma de aprendizaje diseñada para proporcionarles a educadores, administradores y estudiantes un sistema integrado único, robusto y seguro para crear ambientes de aprendizaje personalizados, La cual será nuestro campo de trabajo y apoyo en la realización de este trabajo de grado. [6]

Moodle es una herramienta sencilla con un gran potencial esta nos otorga gran libertad y autonomía a la hora de gestionar los cursos. Nos ofrece un montón de ventajas en las clases en línea, o completar el aprendizaje presencial y las tutorías de alumnos virtuales. Moodle funciona sobre Linux, Mac y Windows. No es necesario saber programar para

poder utilizarlo. Es muy seguro al admitir la contraseña del protocolo estándar LDAP, todos los archivos están cifrados y se realizan continuas copias de seguridad automáticas de los cursos que impiden la pérdida de cursos, documentos y archivos. Los profesores pueden añadir una clave de acceso a los cursos lo que nos permite diferentes opciones como abrir el curso sólo a nuestros estudiantes, o convidar a invitados e incluso a otros profesores a trabajar y cooperar en nuestra asignatura. La plataforma Moodle se extiende exponencialmente por los centros de enseñanza de todo el mundo. Es muy útil como herramienta para la enseñanza. Permite la gestión de la asignatura, y son muchas sus utilidades, desde colgar los más diversos contenidos multimedia (apuntes, videos, imágenes) hasta poder evaluar las diferentes tareas de nuestros alumnos o realizar exámenes online. Resulta esencial para crear “objetos de aprendizaje” o “unidades didácticas” y para fomentar el autoaprendizaje y el aprendizaje cooperativo. También es la herramienta ideal para gestionar la organización de las comunidades educativas y permitir la comunicación y el trabajo en red entre sus distintos integrantes y con otros centros. Resultando especialmente útil para la integración e implementación de los currículos, la comunicación con las familias y su uso en el ámbito extraescolar. [7]

Esta herramienta educativa es de software libre y gratis. Además, se retroalimenta del trabajo realizado por múltiples instituciones y participantes que colaboran en red, lo cual nos permite acceder libremente e incorporar a nuestra asignatura múltiples módulos y recursos creados por otros usuarios. Actualmente existen en el mundo cerca de 330.000 cursos registrados de 196 países y en 70 lenguas diferentes. La Open University del Reino Unido cuenta con 180.000 alumnos registrados. [7]

Moodle siendo una herramienta de e-learning, posibilita el aprendizaje no presencial de los alumnos, este aspecto es de gran importancia pues muchos de los alumnos que no pueden acudir a clase por situación laboral o personal, lo que hace preciso contar con esta herramienta que facilite la virtualidad, aspecto fundamental con el nuevo formato de tutorías que obliga a un mayor trabajo organizativo, lo mismo que la gestión de las prácticas y los trabajos, derivados de la implementación de pedagogías más activas en consonancia con la filosofía de la escuela nueva. [7]

### **1.3.2. Ventajas**

A nivel pedagógico:

La plataforma educativa Moodle presenta grandes avances para el mundo educativo y para la enseñanza en general, a nivel pedagógico esta plataforma ofrece una importante autonomía de uso al profesorado permitiendo la posibilidad de tener toda información y/o recurso didáctico en una aplicación web todo esto a disposición del alumno, además de llevar un control y seguimiento de los trabajos realizados por el estudiante en el aula virtual. [8]

Los docentes en general se han tenido que ir adaptando paulatinamente al cambio, al uso de nuevas tecnologías en el aula, básicamente las nuevas generaciones ya son nativos digitales pero los nacidos hace unas décadas se han tenido que integrar como han podido a ese nuevo medio tecnológico que es internet y que, sin duda alguna, ha tendido impacto en todas las clases sociales. Teniendo en cuenta ciertas circunstancias sociológicas, esta plataforma está concebida para que el nivel tecnológico sea un sistema relativamente fácil de manejar por parte del profesorado y que también sea dúctil, con una gran escalabilidad,

capacidad de personalización de la interfaz y un funcionamiento eficaz tanto con pequeños grupos como con grandes grupos de trabajo. [8]

Los alumnos inscritos a los cursos de esta plataforma pueden gozar de mayor autonomía en cuanto a ritmo de trabajo, aprendizaje y estudio. La satisfacción en todos los niveles y perfiles de quienes manejan esta plataforma podemos considerarla altísima y muy beneficiosa para todos. [8]

Además, podemos decir que utilizar Moodle como complemento didáctico a las sesiones teórico-prácticas en cualquier materia, conlleva las siguientes ventajas añadidas: [5]

- Un ajuste idóneo a los estilos de aprendizaje de los alumnos. Tanto en los casos de los alumnos con problemas de asimilación, deficiencias, etc. como en los casos de los alumnos con un nivel mayor de intelectualidad que la media, Moodle permite que cada uno de ellos progrese en el curso a su propio ritmo. El profesor puede incluso plantear diversas actividades en función de cada tipología o atenciones especiales para así que cada uno saque el mayor provecho posible a su formación.
- Una gran capacidad para incrementar el nivel de motivación de los discentes hacia los contenidos impartidos en clase. De hecho, el uso de las nuevas tecnologías en la enseñanza hoy día es en todos los niveles, una manera de atraer y captar la atención del alumnado. Vivimos en una sociedad moderna y avanzada, en plena sociedad de la información, y los niños y jóvenes actuales son sin lugar a dudas nativos digitales. No conciben su mundo ajeno al avance tecnológico, por lo que incorporar todas las novedades del mismo a la enseñanza supone un acercamiento a sus propias realidades sociales y cotidianas.
- Moodle además es ecológico, permitiendo ahorrar millones de fotocopias en papel y de paso mantener la superficie arbolada. Y tiene sobre todo un carácter público ya que permite a los que disponen pocos ahorros o recursos como es el caso de muchos estudiantes, poder disponer de la información relativa a su asignatura sin tener que dilapidar una fortuna en fotocopias. También permitiría la integración de diferentes necesidades especiales como invalidez, sordera o ceguera.
- Sustancial aumento de la disponibilidad de la información. El uso de estas nuevas plataformas de aprendizaje permite al profesorado la posibilidad de ofrecer mayor variedad de materiales para el aprendizaje de un tema, tanto teóricos, como audiovisuales, referencias bibliográficas o a páginas webs educativas relacionadas con la materia, la creación de foros, aulas virtuales, etc.
- Facilidad para implementar módulos de aprendizaje activo. En realidad, el uso de Moodle favorece la interactividad que se puede llevar a cabo en una enseñanza presencial por la posibilidad de incluir los foros, sesiones de chats, etc. A su vez, estos medios de comunicación no se producen únicamente de profesor a alumno o viceversa, sino que también pueden producirse entre los propios alumnos del grupo, algo que enriquece muchísimo la labor de participación en el aprendizaje, tanto individual como colectivo.

Por otra parte, debemos recordar que las Nuevas Tecnologías (TIC) abren nuevas posibilidades para la educación en general. Los entornos virtuales de aprendizaje se caracterizan, entre otras cosas, por su estructura hipertextual que supone un aprendizaje exploratorio, fruto de la navegación hipertextual, que conduce a una nueva manera de aprender y enseñar, caracterizada por la interactividad, favoreciendo procesos de integración y contextualización en un grado difícilmente alcanzable con las técnicas lineales de presentación. Aprender en un entorno con estas características supone

flexibilidad en espacio y tiempo e interacción entre los participantes para el aprendizaje significativo. De este modo, un aprendizaje virtual interactivo debe diseñar estrategias que posibiliten la interacción sincrónica y asincrónica efectiva entre: alumno-contenido; tutor-alumno; alumno-alumno; tutor-tutor. [5]

### 1.3.3. Niveles educativos que impacta Moodle

Desde que fue lanzada oficialmente la plataforma en febrero del 2006, estuvo más enfocada al ámbito universitario, pero en la actualidad se puede aplicar sin ningún inconveniente a cualquier otro nivel educativo, siendo una forma de aprendizaje online resulta muy atractiva para los niveles de primaria, secundaria y bachillerato. Moodle también es utilizada por varias organizaciones sin ánimo de lucro, empresas privadas, profesores independientes e incluso padres de alumnos. [8]

El uso generalizado que se le puede llegar a dar a esta plataforma formativa, se debe tanto a las prestaciones que ofrece, la variedad de módulos que contempla, y a sus posibilidades de adaptación al nivel oportuno. [9]

### 1.3.4. Herramientas de Moodle

La plataforma Moodle contiene diversos módulos para el desarrollo de actividades, algunas de estas son: [9]

- **Tareas:** esta actividad permite que el docente a cargo asigne un trabajo a los alumnos que deberán preparar en cualquier medio digital y remitirlo, subiéndolo al servidor. Estas tareas comunes implican ensayos, proyectos, informes. Dentro de este módulo se incluyen diversas herramientas para la calificación.
- **Chat:** esta actividad permite que los participantes mantengan una conversación en tiempo real. Es muy útil, el tener la posibilidad de tener un mayor conocimiento de los otros temas y del tema en debate. El módulo de chat contiene utilidades para administrar y revisar las conversaciones.
- **Foros:** esta actividad se encuentra la mayor cantidad de debates, los foros pueden estructurarse de diferentes maneras igual que los mensajes que son publicados, se pueden incluir archivos adjuntos e imágenes incrustadas. Al inscribirse a un foro los participantes reciben copias de cada mensaje en su buzón de correo electrónico. Dentro de este módulo de foros se encuentran dos categorías como son el foro de aprendizaje y el foro general.
- **Glosarios:** este módulo permite a los participantes crear y mantener una lista de definiciones, como si fuera un diccionario.
- **Cuestionarios:** esta actividad permite al profesor diseñar y plantear cuestionarios consistentes, entre otras opciones, de opción múltiple, falso/ verdadero y respuestas cortas. Las preguntas que se suben a la base de datos pueden ser reutilizadas en el mismo curso o en otros cursos. Estos cuestionarios se pueden realizar varias veces y cada intento será registrado y calificado. El control total lo tendrá el docente a cargo del curso.

- **Consultas:** esta actividad consiste en que el profesor realice una pregunta específica y una serie de respuestas entre las cuales deben elegir los estudiantes. Es muy útil para hacer encuestas rápidas con el fin de estimular la reflexión sobre un asunto.
- **Encuestas:** el módulo de encuestas proporciona un conjunto de instrumentos verificados que se han mostrado útiles para evaluar y estimular el aprendizaje en contextos de aprendizaje en línea, los docentes pueden usarlas para recopilar datos de sus alumnos.
- **Lecciones:** este módulo proporciona contenidos de forma interesante y flexible. Consiste en una serie de páginas. Cada una de ellas normalmente termina con una pregunta y un número de respuestas posibles. Dependiendo del resultado del estudiante pasará a la próxima página o volverá a la anterior.

Estos algunos de los módulos que componen la herramienta educativa Moodle. Sin embargo, sin importar el número de prestaciones y la diversidad de módulos y actividades que ofrece la plataforma Moodle, existen varios retos, por un lado, fomentar el uso por parte del docente. Y a que es importante que los docentes sean conscientes de todo el potencial que conlleva esta herramienta de aprendizaje en cuanto a gestión de contenidos, comunicación y sistemas de evaluación que permiten mayor atención a los alumnos con necesidades especiales, con un ritmo individual de aprendizaje, la realización de diversas actividades extraescolares, la participación e implicación de las familias en proyectos de clase, y por otro lado, también es importante que los alumnos asimilen el uso de esta plataforma y que hagan un buen uso de esta. [8]

### 1.3.5. Recursos de Moodle

Se pueden mencionar tres grandes recursos que componen esta herramienta educativa: Gestión de contenidos, Comunicación y evaluación.

- **Gestión de contenidos:** en el área de gestión de contenidos se puede usar para presentar a los estudiantes del curso que podemos complementar con otros materiales como imágenes, graficas, videos y también tendremos la oportunidad de entrar en otras páginas web relacionadas con el tema. Moodle tiene un editor HTML. Lo que permite a los usuarios, ya sean alumnos o docentes escribir texto como se viene trabajando y la posibilidad de incluir o enlazar links, las más variadas fuentes y recursos 2.0 como múltiples blogs, imágenes, videos o documentos que hacen mucho más variado el contenido. [7]
- **Comunicación:** para comunicarse con los estudiantes, Moodle dispone de varias opciones siendo la más utilizada la de los foros, por medio de los cuales se gestiona las tutorías de manera individual o grupal, aspecto fundamental con la implementación de los ECTS. La plataforma Moodle facilita el aprendizaje cooperativo a través de estos foros en los que los propios alumnos dan respuesta las preguntas y dudas generales planteadas por otros alumnos del grupo. [7]
- **Evaluación:** en el tema de evaluaciones los alumnos dispondrán de múltiples opciones en función del grado de implantación de las pedagogías acticas, de este modo se pueden enviar tareas que estén relacionadas a las capacidad o competencias que tengan que acreditar los alumnos. [7]

## 1.4 SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Una subestación eléctrica es una instalación vital para el funcionamiento de cualquier sistema eléctrico, cuya función es conectar entre sí varios elementos de la red, con el fin de hacer llegar la energía generada en las centrales eléctricas hasta los consumidores. Esta función exige casi siempre el cambio de la tensión de la energía eléctrica, para adecuarla a cada caso: elevándola cuando se trata de mover grandes cantidades de energía a grandes distancias o disminuyéndola cuando se trata de acercarla a los consumidores. [10]

### 1.4.1. Tipos de Subestación eléctrica

Existen diferentes tipos de subestaciones, estas se clasifican en tres tipos generación, maniobra y transformación los cuales se pueden analizar según su nivel de tensión, por su operación en la red o por la forma de construcción. [11]

Según su función encontramos:

- Subestación de generación
- Subestación de Distribución
- Subestación de Transporte

Por el nivel de tensión:

- Subestaciones de transmisión. A partir de 220kV.
- Subestaciones de subtransmisión. Entre 220 kV y 115kV.
- Subestaciones de distribución primaria. Entre 115 kV y 13,8 kV.
- Subestaciones de distribución secundaria. Debajo de 230 V. 7

Por su construcción:

- Subestaciones eléctricas a la intemperie
- Subestaciones eléctricas de tipo interior
- Subestaciones eléctricas blindadas o aisladas en hexafluoruro de azufre

En la subestación, además, se recoge toda la información relativa al funcionamiento de los equipos y elementos de la red de transporte, información que es enviada al centro de control. [10]

### 1.4.2. Elementos de una subestación

El principal elemento de una subestación es el transformador, pero las subestaciones eléctricas están dotadas de elementos de maniobra y protección que desempeñan un papel fundamental en los procesos de mantenimiento y operación de las redes de distribución y transporte. En consecuencia, con lo anterior se requiere tener un equipo de protección personal especial, al realizar cualquier tipo de maniobra, como zapatos de seguridad y guantes, ambos de materiales dieléctricos, que produzcan suficiente aislación para la tensión de operación. [12]

- Transformador:
- Pararrayos:
- Interruptor:
- Seccionador:



- Transformadores de instrumento
- Barras o buses

Las subestaciones pueden encontrarse en el exterior o interior de los edificios. Actualmente en las ciudades las subestaciones están en el interior de los edificios para ahorrar espacio y contaminación. En cambio, las instalaciones al aire libre están situadas en las afueras de la ciudad. [11]



## Capítulo II

### 2. CONTENIDO PROGRAMÁTICO

#### 2.1 PLAN DE ESTUDIOS

Según el Ministerio de Educación Nacional, el plan de estudios es el “esquema estructurado de las áreas obligatorias y fundamentales y de áreas optativas con sus respectivas asignaturas que forman parte del currículo de los establecimientos educativos”. El plan de estudios debe contener al menos los siguientes aspectos: [12]

- a) La intención e identificación de los contenidos, temas y problemas de cada área, señalando las correspondientes actividades pedagógicas.
- b) La distribución del tiempo y las secuencias del proceso educativo, señalando en qué grado y período lectivo se ejecutarán las diferentes actividades.
- c) Los logros, competencias y conocimientos que los educandos deben alcanzar y adquirir al finalizar cada uno de los períodos del año escolar, en cada área y grado, según hayan sido definidos en el proyecto educativo institucional-PEI- en el marco de las normas técnicas curriculares que expida el Ministerio de Educación Nacional. Igualmente incluirá los criterios y los procedimientos para evaluar el aprendizaje, el rendimiento y el desarrollo de capacidades de los educandos.
- d) El diseño general de planes especiales de apoyo para estudiantes con dificultades en su proceso de aprendizaje.
- e) La metodología aplicable a cada una de las áreas, señalando el uso del material didáctico, textos escolares, laboratorios, ayudas audiovisuales, informática educativa o cualquier otro medio que oriente soporte la acción pedagógica.
- f) indicadores de desempeño y metas de calidad que permitan llevar a cabo la autoevaluación institucional. [12]

Dentro del reglamento estudiantil de la Universidad de Pamplona se establece que un plan de estudio es:

#### **ARTÍCULO 6.- Plan de Estudios.**

“Es el conjunto de cursos obligatorios y electivos, estructurados por niveles, con su correspondiente asignación de créditos y requisitos”. [13]

#### 2.2 CONTENIDO PROGRAMÁTICO

Los contenidos programáticos son organizados y estructurados en la planeación de la enseñanza que es el conjunto de actividades realizadas por el docente antes de impartir la clase. Por este procedimiento se agrupan y combinan los temas y subtemas del contenido en un todo coherente y significativo. La finalidad del proceso es acomodar los contenidos y habilidades por aprender de acuerdo con un orden lógico, psicológico y pedagógico. De esta manera se resaltan los distintos niveles y jerarquías de los conocimientos, destacando los tipos de relación que guardan entre sí. La finalidad de estas actividades es ayudar al alumno a clarificar la interrelación que tiene el conocimiento a dominar, ya que al señalar sus conexiones se aprende mejor facilitando su comprensión significativa y el recuerdo de la información. [14]

Dentro del reglamento estudiantil de la Universidad de Pamplona se establece que:

**ARTÍCULO 7.- Contenidos Programáticos.**

Al iniciar cada curso el profesor deberá dar a conocer y publicar a los estudiantes el programa, los objetivos, los contenidos, la metodología, los recursos, la bibliografía y las indicaciones sobre la forma y el sistema de evaluación. Dichos programas deberán estar acordes con los aprobados por el Consejo Académico, evaluados y aprobados por el respectivo Consejo de Facultad. [13]

**2.3 CONTENIDO PROGRAMÁTICO DE LA ASIGNATURA SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE ALGUNAS UNIVERSIDADES NACIONALES.**

En los siguientes incisos se mostrarán diversos contenidos programáticos de la asignatura de Subestaciones Eléctricas de algunas universidades nacionales. Esto con el fin de verificar los contenidos programáticos planteados en cada uno de ellos, con el contenido fundamentado en el PEP del programa Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Pamplona, a partir de esto realizar un análisis en conjunto con el docente a cargo de la materia de Subestaciones Eléctricas sobre cuales temas son de mayor relevancia y redactar un documento el cual contenga el modelo del nuevo contenido programático de la asignatura.

### 2.3.1. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

La siguiente imagen ilustra las características generales de la asignatura de Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica que se manejan en la Universidad Tecnológica de Pereira.



**Código de asignatura: IE973**

<b>Nombre del programa académico</b>	Ingeniería Eléctrica
<b>Nombre completo de la asignatura</b>	Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica
<b>Area académica o categoría</b>	Profesionales y específicas
<b>Semestre y año de actualización</b>	Semestre 1 – 2016
<b>Semestre y año en que se imparte</b>	Semestre 8 – Año 4
<b>Tipo de asignatura</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Obligatoria <input type="checkbox"/> Electiva
<b>Número de créditos ECTS</b>	5
<b>Director o contacto del programa</b>	José Germán López Quintero
<b>Coordinador o contacto de la asignatura</b>	Ricardo Alberto Hincapié Isaza

#### Descripción y contenidos

<p>1. Breve descripción <i>La asignatura de Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica es de naturaleza teórico-práctica, y tiene como propósito el análisis y diseño de sistemas eléctricos de distribución de media y baja tensión. Se abordan los siguientes temas: clasificación de los sistemas de distribución, características de los diferentes elementos que componen estos sistemas, normatividad y aspectos básicos de diseño y análisis operativo considerando aspectos de regulación de tensión, cargabilidad y pérdidas técnicas.</i></p>
<p>2. Objetivos <i>Se espera que al finalizar este curso el estudiante este en capacidad de entender, analizar y diseñar sistemas de distribución de energía eléctrica (OP-2) y (OP-3).</i></p>
<p>3. Resultados de aprendizaje <i>RA1. Analizar las características de la demanda. RA2. Calcular pérdidas de potencia y energía, cargabilidades de elementos y regulación de tensión. RA3. Diseñar y planificar sistemas de distribución de energía eléctrica de forma eficiente, confiable y económica, considerando diferentes niveles de tensión.</i></p>
<p>4. Contenido <i>T1: Introducción a sistemas de distribución (4 h). T2: Características de la demanda (8 h). T3: Transformadores de distribución (8 h). T4: Flujos de carga empleados en sistemas de distribución (8 h). T5: Redes de distribución secundarias (12 h). T6: Redes de distribución primarias (8 h). T7: Análisis operativo de sistemas de distribución (8 h). T8: Subestaciones (8 h). Se corresponde con los siguientes resultados de aprendizaje del programa (RAP-1), (RAP-2), (RAP-4), (RAP-6), (RAP-12), (RAP-15).</i></p>
<p>5. Requisitos <i>Asignatura: Análisis de Sistemas de Potencia (IE883).</i>  <i>Competencias: Debe conocer aspectos teóricos sobre circuitos eléctricos y el análisis de sistemas eléctricos de potencia.</i></p>
<p>6. Recursos <i>Libros de texto: [1] Gonen, T. Electric power distribution system engineering. Mc Graw Hill, Segunda Edición, 1986. [2] Kersting, W.H. Distribution system modeling and analysis. CRC Press, Segunda Edición, 2007.</i>  <i>Recursos de internet: ▪ Bases de datos de IEEE y Elsevier.</i></p>
<p>7. Herramientas técnicas de soporte para la enseñanza</p>

Figura 1. Contenido programático de la asignatura de Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira. [15]

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Ejercicios prácticos.</i></li> <li>▪ <i>Exposiciones opcionales.</i></li> </ul>
<p>8. Trabajos en laboratorio y proyectos <i>Diseño de un sistema de distribución para un sector residencial (20 h).</i></p>
<p>9. Métodos de aprendizaje <i>Clases magistrales complementadas con ejercicios de aplicación.</i> <i>Tutorías.</i> <i>Aprendizaje basado en problemas.</i></p>
<p>10. Métodos de evaluación <i>Para la obtención de la nota se realizan diferentes pruebas escritas individuales y un proyecto de diseño grupal, de las cuales están previstas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Examen 1: Introducción a sistemas de distribución (T1), Características de la demanda (T2) y Transformadores de distribución (T3): (30%) (RA1).</i></li> <li>▪ <i>Examen 2: Flujos de carga empleados en sistemas de distribución (T4) y Redes de distribución secundarias (T5): (20%) (RA1, RA2).</i></li> <li>▪ <i>Examen 3: Redes de distribución primarias (T6), Análisis operativo de sistemas de distribución (T7) y Subestaciones (T8): (20%) (RA2, RA3).</i></li> <li>▪ <i>Proyecto final: Diseño de un sector de distribución residencial (T2, T3, T5, T6): (30%) (RA1, RA2, RA3).</i></li> </ul>

Figura 2. Métodos de aprendizaje y evaluación de la asignatura de Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica de la Universidad Tecnología de Pereira. [15]

En el plan de estudio de esta universidad no está concebida la asignatura Subestaciones Eléctricas, en su reemplazo se ve la asignatura Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica en donde se ve el contenido relacionado al proceso de transmisión, transformación, y distribución de la energía eléctrica la cual cuenta con un total de 5 créditos, esta materia tiene como requisito la materia Análisis de sistemas de potencia, por ende se necesitan conocimiento previo de cierta áreas del sector eléctrico. Dentro de la temática vista se encuentra Subestaciones con un total de 8hrs, esto representa una falencia, debido a que en este tiempo se hace imposible ver todo el contenido relacionado a una subestación eléctrica.

### 2.3.2 UNIVERSIDAD DEL VALLE

la siguiente imagen ilustra las características generales de la asignatura de Subestaciones Eléctricas que se manejan en la Universidad del Valle.



## Programa Académico de Ingeniería Eléctrica

### FICHA RESUMEN DE CURSO

<b>ASIGNATURA</b>	<b>SUBESTACIONES ELÉCTRICAS (710143M)</b>				
<b>SEMESTRE</b>	7	<b>TIPO</b>	Asignatura Profesional (AP)	<b>CRÉDITOS</b>	3
<b>HORAS/SEMANA</b>	3	<b>HABILITABLE</b>	NO	<b>VALIDABLE</b>	SÍ
<b>REQUISITOS</b>	MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS I (710184M) (CO) LÍNEAS Y REDES (710067M) (CO)				

Prerrequisito aprobado (PA), Prerrequisito visto (PV), Correquisito (CO)

#### INTRODUCCIÓN

El curso tiene como objetivo brindar a los estudiantes los conceptos sobre subestaciones y su función dentro de un sistema de potencia, y desarrollar el procedimiento requerido para el diseño eléctrico de una subestación.

#### OBJETIVOS

- Tener clara disposición y topología fundamental de los principales tipos de subestaciones de alta tensión
- Tener conocimientos de las principales características de los equipos que conforman una subestación eléctrica
- Estar capacitado para el diseño fundamental de una subestación
- Entender los planos de una subestación

#### CONTENIDO

##### 1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. Generalidades
- 1.2. Clasificación
- 1.3. Diagramas unifilares
- 1.4. Convenciones

##### 2. ESQUEMAS BÁSICOS DE CONFIGURACIONES

- 2.1. Distancias eléctricas y dimensiones de los equipos

##### 3. DISPOSICIONES FÍSICAS Y SECUENCIAS DE OPERACIÓN

##### 4. APARATOS DE CORTE

- 4.1. Seccionadores, cortacircuitos e interruptores
- 4.2. Demostración de arco en laboratorio de alta tensión

##### 5. DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES

- 5.1. Pararrayos y apantallamiento

##### 6. TRANSFORMADORES

- 6.1. De potencia

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Fecha de elaboración: junio de 2018  
Página 1 de 2

Figura 3. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas en la Universidad del Valle. [16]



## Programa Académico de Ingeniería Eléctrica

- 6.2. De medida
- 6.3. De protección
- 7. EQUIPOS DE TABLERO**
  - 7.1. De protección
  - 7.2. De control
  - 7.3. De medida
- 8. MALLA DE TIERRA**
  - 8.1. Conceptos generales
  - 8.2. Procedimiento de diseño
- 9. SERVICIOS AUXILIARES**
  - 9.1. Conceptos generales y clasificación
  - 9.2. Sistema de AC y sistema de DC
- 10. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN**
  - 10.1. Diagrama unifilar
  - 10.2. Planos de principio AC y DC
  - 10.3. Planos de tableros y de cableado

**IMPORTANTE**

Esta ficha es orientativa y no constituye el contenido oficial del curso.

Figura 4. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas en la Universidad del Valle. [16]

El contenido programático de la asignatura de Subestaciones Eléctricas de la Universidad del Valle presenta una ventaja y es la estructura y el manejo de los temas vistos a lo largo del semestre, estos están acorde a la materia y con ellos se logra cumplir con los objetivos de la materia, pero presenta un déficit, solo cuenta con 3 créditos, el tiempo que maneja esta materia es de 3 horas/semana esto es un inconveniente ya que en este tiempo se dificulta dictar de forma completa toda la temática estipulada en el contenido programático, algunos temas se pasarían de largo y otros no se les daría la importancia que tiene.



**2.3.2. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

La siguiente imagen pertenece al contenido programático de la materia de Subestaciones Eléctricas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas con sus respectivas características generales.



		<b>UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>SYLLABUS</b> <b>PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA ELÉCTRICA</b>				
<b>Nombre del Docente</b>						
<b>ESPACIO ACADÉMICO (Asignatura):</b> <b>SUBESTACIONES ELÉCTRICAS</b>					<b>Código:</b>  <b>241</b>	
Obligatorio	<input checked="" type="checkbox"/>	Básico	<input checked="" type="checkbox"/>	Complementario		
Electivo		Intrínseco		Extrínseco		
<b>Número de Estudiantes</b>				<b>Grupo</b>		
<b>Número de Créditos</b>				Tres (3)		
<b>TIPO DE CURSO:</b>		Teórico	<input checked="" type="checkbox"/>	Práctico		Teórico - Práctico
<i>Alternativas Metodológicas:</i>						
Clase Magistral	<input checked="" type="checkbox"/>	Seminario		Seminario-Taller		Taller
Proyectos Tutoriados		Otros			<input checked="" type="checkbox"/>	Prácticas
<b>HORARIO</b>						
DÍA		HORAS			SALÓN	
<b>I. JUSTIFICACIÓN DEL ESPACIO ACADÉMICO</b>						
<p>Dentro de los procesos asociados con generación, transmisión y distribución de energía, las empresas poseen subestaciones que demandan profesionales con conocimientos específicos en esta área. Ello debe involucrar más allá de los aspectos de diseño conocimientos adecuados en la operación del sistema y conocimiento de las tendencias en configuraciones. Es necesario formar profesionales que puedan tomar decisiones operativas bien sea desde el punto de vista particular de una subestación o en su momento desde un centro de control, sitio de operación y supervisión del sistema.</p>						
<b>Conocimientos Previos:</b>						
Sistemas de Potencia, Líneas de Transmisión (Transferencia), Circuitos eléctricos, Máquinas eléctricas (Transformadores)						
Requisitos Previos:						
Análisis de sistemas de potencia						
<b>II. PROGRAMACIÓN DEL CONTENIDO</b>						
<b>OBJETIVO GENERAL</b>						
Analizar con los estudiantes del Programa de Ingeniería Eléctrica los conceptos, técnicas y tendencias actuales para la operación y diseño de subestaciones eléctricas.						
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>						

Figura 5. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [17]

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comprender palabras clave como flexibilidad, confiabilidad y seguridad de un sistema</li> <li>2. Desarrollar la habilidad y capacidad para analizar contingencias operativas y optar por la mejor solución que permita tomar decisiones bajo ambiente de presión, producto de fallas o contingencias del sistema.</li> <li>3. Identificar los elementos constitutivos de una subestación tanto de los equipos de patio como los de sala de control y conocer su influencia como parámetro que se debe considerar en el diseño de subestaciones.</li> <li>4. Generar conceptos introductorios relacionados con las protecciones eléctricas, transformadores de instrumentos, distancias de seguridad y aislamiento.</li> <li>5. Evaluar criterios de seguridad en subestaciones.</li> </ol>							
<b>COMPETENCIAS DE FORMACIÓN</b>							
<i>Competencias de Contexto</i>							
Consolidar una formación con alto contenido y responsabilidad social, valores éticos para tomar decisiones en su vida profesional							
<i>Competencias Básicas:</i>							
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poseer criterios para el cálculo y selección de los equipos de una subestación eléctrica, de acuerdo con unas necesidades determinadas.</li> <li>• Aplicar criterios para diseño eléctrico de una subestación eléctrica.</li> <li>• Construir y operar subestaciones eléctricas.</li> <li>• Hacer el mantenimiento de subestaciones eléctricas.</li> <li>• Realizar pruebas de funcionamiento para aceptar el recibo y la puesta en marcha de subestaciones eléctricas.</li> <li>• Aplicar la reglamentación vigente en la construcción y la operación de subestaciones eléctricas.</li> </ul>							
<i>Competencias Laborales:</i>							
Participar en el diseño y construcción, operar y mantener subestaciones eléctricas.							
<b>PROGRAMA SINTÉTICO:</b>							
Unidad 1 Generalidades							
Unidad 2. Transformadores de Instrumentos - Protecciones							
Unidad 3. Sobretensiones – Pruebas – Subestaciones modulares - Encapsuladas							
Unidad 4. Sistemas de Control y Servicios Auxiliares							
<b>III. ESTRATEGIAS</b>							
Metodología Pedagógica y Didáctica							
	Horas			Horas profesor/semana	Horas Estudiante/semana	Horas Estudiante/semestre	Créditos
<b>Tipo de Curso</b>	TD	TC	TA	(TD + TC)	(TD + TC+TA)	X 16 semanas	3
<b>Teórico</b>	4	0	5	4	9	144	
<p><b>Trabajo Directo (TD):</b> Trabajo de aula con plenaria de todos los estudiantes.</p> <p><b>Trabajo Cooperativo (TC):</b> Trabajo de tutoría del docente a pequeños grupos o de forma individual a los estudiantes.</p> <p><b>Trabajo Autónomo (TA):</b> Trabajo del estudiante sin presencia del docente, que se puede realizar en distintas instancias: en grupos de trabajo o en forma individual, en casa o en biblioteca, laboratorio, etc.</p>							
<b>IV. RECURSOS</b>							
<i>Medios y Ayudas</i>							
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aula física, Video Beam, Videos, Fotos, Computador, Software especializado.</li> <li>• Computadores para simulación</li> <li>• Plataforma virtual para acompañamiento de los temas del curso</li> <li>• Una o dos visitas técnicas en instalaciones fuera de la universidad con demostraciones industriales reales o en laboratorios especializados.</li> </ul>							

Figura 6. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [17]

<ul style="list-style-type: none"> <li>• MEJIA VILLEGAS S.A, Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, 2003.</li> <li>• RUS Bulletin, Design Guide for Rural Substation, June 2001</li> <li>• SOSA ESCALADA Julio, S/E de alta tensión aisladas en Gas, Octubre 2002</li> <li>• ALPIZAR H Paulo A., Análisis comparativo de Subestaciones de Distribución en la compañía nacional de Fuerza y Luz S.A, Universidad de Costa Rica, Agosto 2005</li> <li>• DONALD G FINK,H. WAYNE, Manual del Ingeniero Electricista, Decimotercera edición, McGraw Hill, 2001</li> <li>• STEVENSON, William D. "Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia". Ediciones del Castillo</li> <li>• HARPER ENRIQUEZ, Elementos de diseño de subestaciones eléctricas, Segunda edición, Editorial Limusa,2005</li> <li>• BLANDÓN J., Cálculo de separación entre electrodos de un cuerno, memorias IEB Ltda., Medellín 1989.</li> <li>• RAMIREZ VÁSQUEZ José, Estaciones Transformadoras y de Distribución, CEAC 1981.</li> <li>• ACIEM, Curso de actualización en subestaciones eléctricas,</li> <li>• UNIVERSIDAD NACIONAL, Seminario Internacional sobre SF6, Facultad de Ingeniería 1983.</li> <li>• CABARETE Jorge, Disposiciones constructivas en subestaciones a la intemperie en altas y muy altas tensiones, 1978.</li> </ul>																																																																				
<p><i>Textos Complementarios</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Resolución 025 de 1995, Resolución 080 de 1999, Colombia.</li> <li>• Comité de Operación del Sistema Interconectado nacional (COES-SINAC), 2005. Criterios de ajuste y coordinación de los sistemas de protección del SEIN, México.</li> <li>• Normas IEC, ANSI, JIS, BS, UDE, NEMA</li> </ul>																																																																				
<p><i>Revistas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revistas y catálogos de los fabricantes como ABB, SIEMENS, ALSTHOM, EFACEC</li> </ul>																																																																				
<p><i>Direcciones de Internet</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="http://new.abb.com/substation-automation">http://new.abb.com/substation-automation</a></li> <li>• <a href="http://www.creg.gov.co">http://www.creg.gov.co</a></li> <li>• <a href="http://www.alstom.com/microsites/grid/products-and-services/">http://www.alstom.com/microsites/grid/products-and-services/</a></li> <li>• <a href="http://www.siemens.com/entry/cc/en/#product/188180">http://www.siemens.com/entry/cc/en/#product/188180</a></li> <li>• <a href="http://new.abb.com/substation-automation">http://new.abb.com/substation-automation</a></li> <li>• <a href="http://www.efacec.pt/presentationLayer/efacec_competencias_00.aspx?idioma=4&amp;area=2&amp;local=98">http://www.efacec.pt/presentationLayer/efacec_competencias_00.aspx?idioma=4&amp;area=2&amp;local=98</a></li> <li>• <a href="http://arteche.com/es/un/smart-grid">http://arteche.com/es/un/smart-grid</a></li> <li>• <a href="https://prezi.com/i5qjhzottajw/subestaciones-de-potencial/">https://prezi.com/i5qjhzottajw/subestaciones-de-potencial/</a></li> </ul>																																																																				
<p><b>V. ORGANIZACIÓN / TIEMPOS</b></p>																																																																				
<p><i>Espacios, Tiempos, Agrupamientos</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">PROGRAMA SINTÉTICO</th> <th colspan="16">SEMANAS ACADÉMICAS</th> </tr> <tr> <th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th><th>13</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <b>Unidad 1 Generalidades</b>                      Conceptos básicos                      Terminología, Equipos                      Configuraciones                      Conexión por Barras                        Conexión por Interruptores                 </td> <td style="background-color: #4F81BD;"></td><td style="background-color: #4F81BD;"></td><td style="background-color: #4F81BD;"></td><td style="background-color: #4F81BD;"></td><td style="background-color: #4F81BD;"></td><td style="background-color: #4F81BD;"></td><td style="background-color: #4F81BD;"></td><td style="background-color: #4F81BD;"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Unidad 2. Transformadores de</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: #4F81BD;"></td><td style="background-color: #4F81BD;"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>		PROGRAMA SINTÉTICO	SEMANAS ACADÉMICAS																1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	<b>Unidad 1 Generalidades</b> Conceptos básicos Terminología, Equipos Configuraciones Conexión por Barras  Conexión por Interruptores																	Unidad 2. Transformadores de																
PROGRAMA SINTÉTICO	SEMANAS ACADÉMICAS																																																																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																																																				
<b>Unidad 1 Generalidades</b> Conceptos básicos Terminología, Equipos Configuraciones Conexión por Barras  Conexión por Interruptores																																																																				
Unidad 2. Transformadores de																																																																				

Figura 7. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [17]



### 2.3.3. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

En el siguiente cuadro podemos observar el contenido programático de la materia Subestaciones Eléctricas de la Universidad Industrial de Santander con sus respectivas características generales.

<p>PROPÓSITOS DEL CURSO:</p> <p>Los estudiantes:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Conocerán los componentes básicos de una subestación eléctrica.</li><li>• Conocerán los diferentes tipos de subestaciones eléctricas.</li><li>• Comprenderán los conceptos básicos sobre la operación de subestaciones eléctricas.</li><li>• Comprenderán los conceptos básicos sobre el diseño de subestaciones eléctricas.</li></ul> <p>ESTRATEGIAS PEDAGÓGICAS Y CONTEXTOS POSIBLES DE APRENDIZAJE PARA HORAS TIPO TAD Y TI</p> <p>El desarrollo del curso estará caracterizado por que los estudiantes tendrán la oportunidad de integrar en este curso los conocimientos adquiridos durante el curso de la carrera y visualizar a la vez su aplicación práctica.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Exposición precisa de los conceptos fundamentales para la comprensión de fenómenos en las subestaciones eléctricas.</li><li>• Desarrollo y discusión de problemas básicos.</li><li>• Realización de trabajo práctico en el que los estudiantes podrán aplicar lo visto en la materia.</li><li>• Evaluación y seguimiento permanentes a través de planteamiento de interrogantes para verificar y realimentar la apropiación de competencias por parte de los estudiantes.</li><li>• Visita Técnica.</li></ul> <p>Universidad industrial de Santander Contenido programático</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Generalidades<ol style="list-style-type: none"><li>1.1 Definiciones</li><li>1.2 Capacidad</li><li>1.3 Tensiones</li><li>1.4 Nomenclatura y simbología</li><li>1.5 Configuraciones</li><li>1.6 Planeamiento de instalaciones</li><li>1.7 Dimensionado por tensión</li><li>1.8 Aislamiento</li><li>1.9 Distancias dieléctricas y correcciones</li><li>1.10 Corrientes en una subestación.</li></ol></li></ol>
---

Figura 9. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad Industrial de Santander. [18]

2. Equipo Principal
2.1 Introducción
2.2 El transformador de potencia
2.3 El transformador de potencial
2.4 El transformador de corriente
2.5 Banco de condensadores
2.6 Pararrayos
2.7 El interruptor
2.8 El seccionador
2.9 Bancos de baterías
2.10 Equipos y elementos de protección.
3. Tipos de Subestaciones
3.1 Subestaciones convencionales
3.2 Subestaciones aisladas en gas.
3.3 Subestaciones con electrónica de potencia.
4. Diseño asistido.
4.1 Software para el diseño asistido de subestaciones.
5. Diseño de barras.
5.1 Materiales utilizados en las barras.
5.2 Esfuerzos electromecánicos
5.3 Efecto del viento
5.4 Efectos telúricos
5.5 Efectos térmicos
6. Diseño de la Malla de tierra
6.1 Materiales utilizados en la malla de tierra
6.2 Configuraciones
6.3 Métodos utilizados en el diseño de la malla de tierra.

Figura 10. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad Industrial de Santander. [18]

En el contenido programático de esta universidad se observa dos grandes características, una de ellas es la introducción del Diseño Asistido, el cual consiste de un software para el diseño asistido de subestaciones, esta temática no está presente en un gran porcentaje de universidades siendo así una gran opción para la inclusión en el contenido programático de la asignatura. Otra característica es la presencia de temas de otras materias como lo es el Diseño de la Malla de Tierra. Lo cual es algo inoficioso ya que se utiliza espacio de la materia en ver temas ya vistos y no hacer énfasis en temática propia de la asignatura.

### 2.3.4. UNIVERSIDAD DEL NORTE

En el siguiente cuadro se observa las características generales del contenido programático de la materia Subestaciones Eléctricas de la Universidad del norte.

<p>Código y Nombre de la Asignatura: IEL 7150 - SUBESTACIONES ELECTRICAS División Académica: División de Ingenierías Departamento Académico: Dpto.Ing Eléctrica-Electrónica IEL 7010 Calificación Mínima de 3.0 Número de créditos: Intensidad horaria (semanal para nivel pregrado y total para nivel postgrado): 3.000 Horas de Teoría 0.000 Horas de Laboratorio Niveles: Educación Superior Pregrado Tipos de Horario: Teoría</p> <p>2. Descripción amplia de la asignatura Este curso brinda los conceptos sobre las subestaciones eléctricas y su función dentro de un sistema de potencia. Se estudian las subestaciones para el conocimiento de equipos, componentes y esquemas de operación. Se enseñan los conceptos básicos sobre el diseño, mantenimiento, técnicas para la operación de equipos de maniobra y protección, obras civiles y los costos de construcción de subestaciones eléctricas. Al finalizar el curso, los estudiantes deberán demostrar ser capaces de identificar los equipos de las subestaciones eléctricas; deberán conocer los conceptos sobre el diseño y el mantenimiento de subestaciones; analizar fallas y seleccionar los esquemas de protecciones eléctricas adecuadas. Los estudiantes tendrán una visión global de las tendencias tecnológicas ligadas a los sistemas móviles, utilizarán los conceptos básicos aprendidos en la ingeniería eléctrica y mostrarán conocimientos sobre el mantenimiento, la operación, el control, y los requerimientos básicos para el diseño y la construcción de subestaciones eléctricas.</p> <p>3. Justificación Como parte fundamental de los sistemas eléctricos de potencia existe un eslabón fundamental dentro del proceso de transmisión de la energía: las subestaciones eléctricas. Como parte fundamental del conocimiento que debe poseer un ingeniero electricista en el desarrollo de su profesión, se encuentra tener conocimiento de los diferentes tipos de subestaciones, los elementos que las componen, posibilidades de operación, formas constructivas y aspectos generales de las mismas. Dado lo anterior, la asignatura de subestaciones eléctricas ofrece al estudiante estos conceptos y le permite desenvolverse adecuadamente en el ejercicio profesional.</p>
---

Figura 11. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad del norte. [19]

### 4. Objetivo general

Identificará los criterios básicos para el diseño de subestaciones eléctricas, así como sus principales equipos, elementos y configuraciones

### 5. Objetivos específicos

- Presentar conceptos y definiciones, disposición física y los tipos de configuraciones de barras más usados en las subestaciones a partir de los diferentes niveles de tensión y de su uso
- Desarrollar estudios de coordinación de aislamiento, puesta a tierra y apantallamiento
- Definir los equipos de patio, los equipos de protección y control y servicios auxiliares de una subestación

### 7. Metodología

La asignatura será desarrollada con la exposición magistral del profesor de los tópicos 1 al 4 y 6 al 8. El tópico 5 será trabajado por los estudiantes por medio de exposiciones a sus compañeros de grupo, para lo cual realizarán una clase magistral y entregarán un documento tipo artículo. Durante las presentaciones se realizarán foros de debate en los que los estudiantes deberán discutir el tema de la clase y formularán preguntas a los demás grupos de trabajo. Cada grupo de trabajo realizará un proyecto final, el cual se irá desarrollando a medida que se van tratando los temas magistrales de la clase. Al final cada grupo realizará la presentación de los criterios utilizados en su proyecto final con las conclusiones y aclaraciones del trabajo.

### 8. Medios

Debido a que los temas de la clase se desarrollan en forma magistral, se presentarán diapositivas y videos con los conceptos que se traten en cada uno. Se empleará información como planos unifilares, catálogos de equipos, datos de fabricante y demás información relevante a cada tema de estudio. Además, se realizarán visitas técnicas como mínimo a dos (2) subestaciones eléctricas con nivel de tensión de 220/110/34,5 kV de la zona, en la cual se pongan en práctica los conceptos adquiridos y se observen los equipos explicados en las sesiones magistrales.

### 9. Contenido

- Conceptos Generales sobre subestaciones eléctricas (S/E)
- Criterios Básicos para el diseño de Subestaciones
- Configuraciones de las subestaciones
- Coordinación de Aislamiento, distancias mínimas de seguridad y Apantallamiento
- Equipos de Patio de Subestaciones
- Sistemas de puesta a tierra
- Sistema de Control, Protección y Servicios Auxiliares
- Costos de equipos de S/E

Figura 12. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad del norte. [19]



### 11. Bibliografía

Texto guía:

[1] Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión- Ramírez, C. Editorial Mejía Villegas S.A., 2003.

Textos de referencia:

[2] Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas. Enríquez H., G. México, Limusa, 1990.

[3] Tierras-Soporte de la seguridad eléctrica. Casas, F., ICONTEC, 5ª Edición, 2010.

[4] Conferencias del Docente y Apuntes de clase

[5] Power System Analysis . Grainger, J., Stevenson, W., McGraw Hill, 2nd Edition, 1994

[6] Soluciones prácticas para la puesta a tierra de Sistemas Eléctricos de Distribución. Díaz, P., McGraw Hill, México, 2001

[7] Artículos seleccionados de bases de datos como IEEE, IEC y EPRI

[8] Resoluciones y Normas aplicadas a las Subestaciones Eléctricas (RETIE, NTC 2050, entre otras)

Presentaciones Orales:

1. Transformadores de Potencia

2. Interruptores de potencia

3. Seccionadores

4. Transformadores de tensión y de corriente (TC's y TP's)

5. Descargadores de Sobretenión


6. Subestaciones Encapsuladas en SF

Figura 13. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad del Norte. [19]

El contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Universidad del Norte no cuenta con una descripción detallada de la temática del contenido, en este se observa la inclusión de un nuevo tema no tratado en otros contenidos y es el Costos de equipos de una S/E, es un tema no muy conocido pero tentativo a tener en cuenta en la creación del nuevo contenido programático. Este contenido también maneja una excelente bibliografía en donde basarse.

### 2.3.5. UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

En la siguiente imagen se observa el contenido programático de la materia Subestaciones Eléctricas de la Universidad de Pamplona con sus características generales.

	<b>Contenidos Programáticos</b>	<b>Código</b>	FGA-23 v.01
		<b>Página</b>	1 de 4

FACULTAD: INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO DE: INGENIERIA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,

TELECOMUNICACIONES Y SISTEMAS

PROGRAMA: INGENIERIA ELÉCTRICA

ASIGNATURA :  CODIGO:

AREA:

REQUISITOS:   
  
 CORREQUISITO:

CREDITOS:  TIPO DE ASIGNATURA:

**JUSTIFICACION:**

Las subestaciones eléctricas establecen el enlace entre los centros de generación y los centros de consumo de energía en cualquier sistema eléctrico, contribuyendo así en un normal funcionamiento y crecimiento de la economía de un país y en sus hábitos diarios de vida. El conocer las subestaciones del sistema eléctrico colombiano, sus componentes físicos y su modelamiento eléctrico es indispensables para determinar y entender el comportamiento de las redes ante ciertos fenómenos eléctricos y poder especificar las protecciones asociadas y realizar la planeación de trabajos de expansión futuros.

**OBJETIVO GENERAL:**

Dar a conocer a los estudiantes la importancia de las subestaciones dentro del proceso de generación, transmisión, distribución y transformación de la energía eléctrica.


**OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- proveer de herramientas para el análisis de las subestaciones según ciertos comportamientos eléctricos, suministrando conocimientos correspondientes a los parámetros de diseño de subestaciones, redes de trasmisión y distribución y normatividad en cuanto a su construcción y operación.

**COMPETENCIAS**

- El estudiante desarrollará competencias para analizar los conceptos básicos del diseño de una subestación, recordados con trabajos específicos en cada área de diseño, además de analizar los sistemas eléctricos de plantas eléctricas y repotenciación de las mismas.

Figura 14. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad de Pamplona. [20]

	<b>Contenidos Programáticos</b>	<b>Código</b>	FGA-23 v.01
		<b>Página</b>	2 de 4

**UNIDAD 1: CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO**

TEMA	HORAS DE CONTACTO DIRECTO	HORAS DE TRABAJO INDEPENDIENTE DEL ESTUDIANTE.
<b>TEMA 1: FUNDAMENTOS DE CALCULO</b> Efectos de los cortocircuitos. Estudio de la corriente de cortocircuito. Procedimiento de cálculo. Conceptos básicos para el cálculo de la potencia y corriente de cortocircuito.	2	4
<b>TEMA 2: ESFUERZOS Y LIMITACIONES DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO</b> Esfuerzos electrodinámicos: consecuencias y cálculo. Esfuerzos térmicos: consecuencias y cálculo. Limitación por elevación de la tensión de servicio. Limitación por elevación de la impedancia de cortocircuito.	2	4

**UNIDAD 2: SUBESTACIONES**

TEMA	HORAS DE CONTACTO DIRECTO	HORAS DE TRABAJO INDEPENDIENTE DEL ESTUDIANTE.
<b>TEMA 3: INTRODUCCIÓN</b> Definición de una Subestación: sus tipos. Esquema descriptivo de una Subestación: sus partes.	3	6
<b>TEMA 4: EMBARRADOS</b> Tipos de embarrados: rígidos/flexibles y simples/dobles. Aislamiento: separación y distancia de embarrados. Cálculo eléctrico y mecánico de embarrados.	3	6
<b>TEMA 5: GENERALIDADES DE LOS APARATOS DE MANIOBRA</b> Definiciones. Características de los aparatos según su función. Características nominales. Tensiones nominales. Corrientes nominales. Capacidad y ruptura. Potencia nominal de ruptura. Poder de conexión. Sobreintensidad admisible.	3	6
<b>TEMA 6: SECCIONADORES</b> Conceptos generales. Seccionadores de cuchillas giratorias. Seccionadores de cuchillas deslizantes. Seccionadores de columnas giratorias. Seccionadores de pantógrafo. Seccionadores	3	6

Figura 15. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad de Pamplona. [20]



	<b>Contenidos Programáticos</b>	<b>Código</b>	<b>FGA-23 v.01</b>
		<b>Página</b>	<b>3 de 4</b>
de potencia. Mando de seccionadores.			
<b>TEMA 7: INTERRUPTORES</b> Generalidades del arco eléctrico: su extinción y condiciones. Corte de corriente de cargas inductivas, capacitivas y de cortocircuito. Interruptores de pequeño y gran volumen de aceite, aéreos, neumáticos, de soplado magnético y exafluoruro de azufre: accionamiento y funcionamiento.	3	6	
<b>TEMA 8: SOBRETENSIONES</b> Definición y clasificación. Sobretensiones de origen externo e interno. Protección contra sobretensiones: Explosores, pararrayos y descargadores de sobretensión. Cable de tierra. Protección contra derivaciones a tierra.	3	6	
<b>TEMA 9: SOBREINTENSIDADES</b> El relé como protector de la sobreintensidad. Relés empleados en las subestaciones: tipos y combinación. Protección de transformadores. Protección de embarrados.	2	4	
<b>TEMA 10: APARATOS DE MEDIDA EN SUBESTACIONES</b> Conceptos generales. Aparatos indicadores para cuadro de distribución. Aparatos de medida. Aparatos registradores. Aparatos contadores. Transformadores de tensión e intensidad.	3	6	
<b>TEMA 11: ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA SUBESTACIÓN</b> Esquema de conexiones y de principio. Cuadro de control. Celdas. Batería de acumuladores. Alumbrado. Canalizaciones. Dispositivo contra-incendios. Batería de condensadores como compensadores síncronos. Ejemplo de planos de una Subestación.	3	6	


Figura 16. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad de Pamplona. [20]

	<b>Contenidos Programáticos</b>	Código	FGA-23 v.01
		Página	4 de 4

**UNIDAD 3: CENTROS DE TRANSFORMACIÓN**

TEMA	HORAS DE CONTACTO DIRECTO	HORAS DE TRABAJO INDEPENDIENTE DEL ESTUDIANTE.
<b>TEMA 12: INTRODUCCIÓN</b> Definición de un centro de transformación: sus tipos. Esquema descriptivo de un centro de transformación tipo.	3	6
<b>TEMA 13: CENTROS DE TRANSFORMACIÓN INTERIOR Y SUBTERRÁNEO</b> Clasificación y diferencias. Descripción de un centro de transformación interior. Cálculo de un centro de transformación interior.	2	4
<b>TEMA 14: CENTROS DE TRANSFORMACIÓN INTEMPERIE</b> Clasificación. Descripción de un centro de transformación intemperie. Cálculo de un centro de transformación intemperie.	2	4
<b>TEMA 15: CENTROS DE TRANSFORMACIÓN MODULARES Y PREFABRICADOS</b> Clasificación. Descripción de un centro de transformación modular. Diseño y selección de celdas. Comparativa con centros de transformación de obra civil.	3	3
<b>TEMA 16: PUESTA A TIERRA DE CENTROS DE TRANSFORMACIÓN</b> Electrodo de puesta a tierra: sus tipos. Intensidad de defecto a tierra: su cálculo. Potenciales creados en el terreno: tensiones de paso y contacto. Selección y diseño del sistema de puesta a tierra.	3	6
<b>TEMA 17: INSTALACIONES DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN</b> Cuadro de distribución de baja tensión: elementos de composición y fusibles. Equipos de medida. Ventilación de centros de transformación.	2	4
<b>TEMA 18: NORMATIVA</b> Reglamento sobre centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. Normas ONSE. Normas UNE. Recomendaciones UNESA.	2	4

Figura 17. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad de Pamplona. [20]

	<b>Contenidos Programáticos</b>	<b>Código</b>	FGA-23 v.01
		<b>Página</b>	5 de 4

**PRÁCTICAS DE LABORATORIO:**

TEMA	HORAS DE CONTACTO DIRECTO	HORAS DE TRABAJO INDEPENDIENTE DEL ESTUDIANTE.
<b>PRÁCTICA N° 1:</b> Simulación de maniobras básicas en subestaciones.	1.5	3
<b>PRÁCTICA N° 2:</b> Diseño software de centros de transformación modulares.	3	6
<b>PRÁCTICA N° 2:</b> Constatación teórico-práctica de las tensiones de paso y contacto.	2.5	5

**METODOLOGÍA**

El curso se desarrollará a través de clases teóricas fundamentales acompañadas de prácticas como proyectos de aplicación en los temas que lo requieran. Elaboración de pruebas escritas sobre conceptos teóricos, calificación de la elaboración de informes, sustentación y verificación de las prácticas de laboratorios

**SISTEMA DE EVALUACIÓN:**

**ARTÍCULO 77.-** Evaluaciones Parciales: son aquellas que se han establecido previamente en cada programa, con un valor fijado previamente; se realizan durante el desarrollo de las asignaturas y tienen por objeto examinar aspectos parciales de las mismas.


**PARÁGRAFO.-** La evaluación parcial puede obtenerse mediante la realización de uno (1) o varios exámenes de la materia vista, trabajos de investigación, informes de lectura, sustentación de trabajos o por combinación de estos medios.

**ARTÍCULO 78.-** Evaluación final: es aquella que se realiza al finalizar una asignatura y que tiene por objetivo evaluar el conocimiento global de la materia programada. Podrá hacerse mediante un examen o trabajo de investigación, o práctica, según la metodología que debe constar en el programa.

**CRITERIOS DE EVALUACION:**

- Participación en Clase
- Desarrollo de actividades Practicas
- Cumplimiento con Investigaciones, talleres y actividades extracurriculares
- Asistencia a Clase

Figura 18. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad de Pamplona. [20]

	<b>Contenidos Programáticos</b>	<b>Código</b>	FGA-23 v.01
		<b>Página</b>	6 de 4

**BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:**

- [1] Montané Segura, P. "Protección en las Instalaciones Eléctricas". Marcombo. Barcelona, 1.993  
 [2] Roeper, R. "Corrientes de Cortocircuito en Redes Trifásicas". Marcombo. Barcelona, 1.985  
 [3] Raul Martín, J. "Diseño de Subestaciones Eléctricas". McGraw Hill, México D. F., 1.987  
 [4] Enriquez Harper, G. "Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas". Limusa. México D.F., 1.980  
 [5] Orille Fernández, A. L. "Centrales Eléctricas III". Ediciones UPC. Barcelona, 1.993  
 [6] Moreno Clemente, J. "Instalaciones de Puesta a Tierra en Centros de Transformación". Málaga, 1.991  
 [

**BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA**

- [7] Reglamento sobre Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación  
 [8] Normas ONSE de la Compañía Sevillana de Electricidad  
 [9] Normas UNE  
 [10] Recomendaciones UNESA

**DIRECCIONES ELECTRONICAS DE APOYO AL CURSO**

- <http://www.manelcatra.com/materiale.htm>  
<http://www.multinetmo.com.ar/trafofer/index.html>  
[http://www.polylux.com/esp/cata\\_esp.htm](http://www.polylux.com/esp/cata_esp.htm)  
<http://www.powerbras.com.br/>  
<http://www.rale.ch/>  
<http://www.tpm.ca/espagnol/interiores.htm>  
<http://www.transformadores.net>  
<http://www.transformadores.com>  
<http://www.trafo.com.br/>  
<http://www.transfcav.com.br/transfcav/default.htm>

Figura 19. Contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Eléctricas de la Universidad de Pamplona. [20]

El contenido programático de la Universidad de Pamplona cuenta con tres Unidades, con un total de dieciocho temas y con tres laboratorios para su desarrollo en un tiempo de 16 semanas. La estructura de este contenido programático es compleja presentando diversas falencias, una de estas es la presencia de temas de otras asignaturas lo cual hace que se consuma tiempo de clase dictando temática ya vista y perdiendo el enfoque de la asignatura, al mismo tiempo que sea enseñada de forma superficial debido a que el tiempo es reducido para todos los temas y siendo tantos temas se dificulta la evaluación de estos, La bibliográfica presente es poca para el contenido que se maneja.

## 2.4 COMPARATIVA ENTRE LOS DIFERENTES CONTENIDOS PROGRAMÁTICOS DE LAS UNIVERSIDADES

La siguiente tabla ilustra los temas que se manejan en los contenidos programáticos de cada universidad.

Tabla 1 Temas que se incluyen en cada contenido programático de las Universidades Nacionales.


Temas/contenidos Programáticos	Universidad Distrital de Pereira	Universidad del Valle	Universidad Distrital Francisco José de Caldas	Universidad Industrial de Santander	Universidad del Norte	Universidad de Pamplona
Introducción S/E	X	X	X	X	X	X
Características Generales de las S/E	X	X	X	X	X	X
Configuraciones de las S/E		X	X	X	X	X
Diseño Asistido (Software)				X		
Distancias Mínimas de Seguridad		X	X		X	X
Aparatos de corte en S/E		X	X	X	X	X
Malla a Tierra		X		X	X	
Transformadores	X	X		X		X
Sistemas de Control		X	X		X	
Servicios Auxiliares			X		X	
Pruebas a S/E			X			X
Diseño de S/E		X		X		
Costos de Equipos de S/E					X	
Normativa						X
Prácticas de Laboratorio						X

De lo anterior se concluye que ningún contenido programático es el mejor debido a que cada universidad le da un enfoque diferente a la asignatura para cumplir con los objetivos planteados para esta.



## 2.5 DISEÑO DEL NUEVO CONTENIDO PROGRAMÁTICO DE LA ASIGNATURA SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

Comprometido con el desarrollo y mejoramiento del programa Ingeniería Eléctrica, se propone el siguiente contenido programático.

	<b>Contenidos Programáticos Programas de Pregrado</b>	<b>Código</b>	FGA-23 v.03
		<b>Página</b>	1 de 4

**FACULTAD:** Ingenierías y Arquitectura

**PROGRAMA:** Ingeniería Eléctrica

**DEPARTAMENTO DE:** Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Telecomunicaciones y Sistemas

**CURSO:**  **CÓDIGO:**

**ÁREA:**

**REQUISITOS:**  **CORREQUISITO:**

**CRÉDITOS:**  **TIPO DE CURSO:**

**FECHA ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN**

### JUSTIFICACIÓN

Las subestaciones eléctricas establecen el enlace entre los centros de generación y los centros de consumo de energía en cualquier sistema eléctrico, contribuyendo así en un normal funcionamiento y crecimiento de la economía de un país y en sus hábitos diarios de vida. El conocer las subestaciones del sistema eléctrico colombiano, sus componentes físicos y su modelamiento eléctrico es indispensables para determinar y entender el comportamiento de las redes ante ciertos fenómenos eléctricos y poder especificar las protecciones asociadas y realizar la planeación de trabajos de expansión futuros.

### OBJETIVO GENERAL


Dar a conocer a los estudiantes la importancia de las características eléctricas de las subestaciones en los procesos de generación y transporte de energía eléctrica.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS


- Proveer de herramientas para el análisis de las subestaciones según ciertos comportamientos eléctricos, suministrando conocimientos correspondientes a los parámetros de diseño de subestaciones, redes de transmisión y distribución y normatividad en cuanto a su construcción y operación.

### COMPETENCIAS

- El estudiante desarrollará competencias para analizar los conceptos básicos del diseño de una subestación, recordados con trabajos específicos en cada área de diseño, además de analizar los sistemas eléctricos de plantas eléctricas y repotenciación de las mismas.

	<b>Contenidos Programáticos Programas de Pregrado</b>	<b>Código</b>	FGA-23 v.03
		<b>Página</b>	2 de 4


<b>TEMA</b>	<b>HORAS DE CONTACTO DIRECTO</b>	<b>HORAS DE TRABAJO INDEPENDIENTE DEL ESTUDIANTE</b>
<b>UNIDAD 1: CONCEPTOS GENERALES SOBRE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS</b> 1.1 Definiciones 1.2 Capacidad 1.3 Tensiones 1.4 Equipos de una subestación El transformador de potencia El transformador de potencial El transformador de corriente Banco de condensadores Pararrayos El interruptor El seccionador Bancos de baterías Bobinas de bloqueo 1.5 Tipos de Subestaciones Subestaciones convencionales Subestaciones aisladas en gas. Subestaciones con electrónica de potencia.		
<b>UNIDAD 2: CRITERIOS BASICOS PARA EL DISEÑO DE SUBESTACIONES</b> 2.1 Procedimiento general de diseño 2.2 Presupuesto 2.3 Planos 2.4 Normativa relacionada		
<b>UNIDAD 3. CONFIGURACIONES DE LAS SUBESTACIONES</b> 3.1 Configuraciones de conexión de barras-tendencia europea 3.2 Configuraciones de conexión de interruptores-tendencia americana 3.3 Selección de una configuración 3.4 Simulación de maniobras 3.5 Normativa relacionada		
<b>UNIDAD 4: COORDINACION DE AISLAMIENTO, DISTANCIAS MINIMAS DE SEGURIDAD</b> 4.1 Sobretensiones 4.2 Nivel de aislamiento normalizado 4.3 Mecanismos de protección contra sobretensiones 4.4 Dimensionamiento de las distancias mínimas 4.5 Dimensionamiento de las distancias de seguridad 4.6 Dimensionamiento de una subestación 4.7 Normativa relacionada		

	<b>Contenidos Programáticos Programas de Pregrado</b>	<b>Código</b>	FGA-23 v.03
		<b>Página</b>	3 de 4

TEMA	HORAS DE CONTACTO DIRECTO	HORAS DE TRABAJO INDEPENDIENTE DEL ESTUDIANTE
<b>UNIDAD 5: FORMAS CONSTRUCTIVAS Y DISPOSICIÓN DE UNA SUBESTACIÓN</b>  5.1 Disposiciones clásicas 5.2 Disposiciones modificadas 5.3 Elementos compactos 5.4 Subestaciones con electrónica de potencia. 5.5 Software para el diseño asistido de subestaciones 5.6 Normativa relacionada		
<b>UNIDAD 6: APANTALLAMIENTO Y SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA</b>  6.1 Métodos empíricos 6.2 Modelo electro geométrico 6.3 Normativa relacionada 6.4 Materiales utilizados en la malla de tierra 6.5 Configuraciones del sistema de una malla 6.6 Diseño del sistema de malla de puesta a tierra		
<b>UNIDAD 7 SISTEMA DE CONTROL, PROTECCIÓN Y SERVICIOS AUXILIARES</b>  7.1 Tipos de sistemas de control 7.2 Características del control en una subestación 7.3 Elementos de protección y equipos asociados 7.4 Configuraciones de sistemas de servicio auxiliares		

### METODOLOGIA

<p>La asignatura se rige por los principios del plan de estudios del programa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exigencia y justeza</li> <li>• Rigor profesional</li> <li>• Profundidad y simpleza</li> <li>• Transparencia y coherencia</li> </ul> <p>Centrados en el enfoque curricular de "formar para la vida" presente y futura a través de una "formación integral para la convivencia", donde la formación de independencia se estructura a través de una enseñanza "activa y desarrolladora" con fundamentos en el principio de "Zona de desarrollo próximo" de Vygotsky, explicado en detalle en el plan de estudios del programa PEP.</p>
---

	<b>Contenidos Programáticos Programas de Pregrado</b>	<b>Código</b>	FGA-23 v.03
		<b>Página</b>	4 de 4

**SISTEMA DE EVALUACIÓN**

Según Reglamento Académico Estudiantil y las fechas programadas en el calendario académico.

**BIBLIOGRAFÍA DISPONIBLE EN UNIDAD DE RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

- [1] MEJIA VILLEGAS S.A, Subestaciones de Alta y Extra alta Tensión, 2003
- [2] Roeper, R. "Corrientes de Cortocircuito en Redes Trifásicas". Marcombo. Barcelona, 1.985
- [3] Raul Martín, J. "Diseño de Subestaciones Eléctricas". McGraw Hill, México D. F., 1.987
- [4] Enríquez Harper, G. "Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas". Limusa. México D.F., 1.980
- [5] Orille Fernández, A. L. "Centrales Eléctricas III". Ediciones UPC. Barcelona, 1.993
- [6] Moreno Clemente, J. "Instalaciones de Puesta a Tierra en Centros de Transformación". Málaga, 1.991
- [7] Montané Segura, P. "Protección en las Instalaciones Eléctricas". Marcombo. Barcelona, 1.993

**BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA**

- [8] Reglamento sobre Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación
- [9] Normas ONSE de la Compañía Sevillana de Electricidad
- [10] Normas UNE
- [11] Recomendaciones UNESA

NOTA: EN CADA UNA DE LAS UNIDADES EL DOCENTE DEBERA PROPONER MÍNIMO UNA LECTURA EN LENGUA INGLESA Y SU MECANISMO DE CONTROL

Figura 20. Diseño del nuevo contenido programático.

### 3. CONTENIDOS

Para cumplir el objetivo planteado por el plan de estudios, se distribuyeron los contenidos de la signatura en siete módulos descritos a continuación:



Módulo 1: Conceptos generales sobre subestaciones



Módulo 2: Criterio básico para el diseño de subestaciones



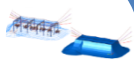
Módulo 3: Configuración de las subestaciones



Módulo 4: Coordinación de aislamiento, distancias mínimas de seguridad



Módulo 5: Formas constructivas y disposición de una subestación



Módulo 6: Apantallamiento y sistemas de puesta a tierra



Módulo 7: Sistemas de control, protección y servicios auxiliares

Figura 21. Contenidos seleccionados para la implementación en la plataforma Moodle para la asignatura Subestaciones Eléctricas.

### 3.1. RECURSOS DE LOS MÓDULOS

#### 3.1.1 MÓDULO 1: CONCEPTOS GENERALES SOBRE SUBESTACIONES

##### Definiciones

Las siguientes definiciones fueron tomadas del libro Subestaciones eléctricas de alta y extra alta tensión, del autor Mejía Villegas. [21]

**Acople:** operación mediante la cual se enlazan los barrajes constitutivos de una subestación. Nombre que se asigna al campo de conexión de barrajes.

**Barraje:** punto común de conexión de los diferentes circuitos asociados a una subestación (nodo del sistema)

**Campo de conexión (bahía, modulo):** conjunto de los equipos de una subestación para la maniobra, protección y medida de un circuito que se conecta a ella.

**Capacidades** La capacidad de una subestación se puede fijar considerando la demanda actual de la zona en kVA., El incremento por extrapolación durante los siguientes diez años, Previendo el espacio necesario para las futuras ampliaciones.

**Configuración:** ordenamiento dado a los equipos de maniobra de una subestación que permite definir sus propiedades y características de operación.

**Construcción:** conjunto de actividades que se realizan para adelantar la ejecución de las obras físicas de la subestación.

**Disposición física:** ordenamiento físico de los diferentes equipos y barrajes constitutivos del patio de conexiones enlazados de acuerdo con el tipo de configuración de la subestación.

**Energización/ puesta de servicio:** procedimiento que se realiza para la toma de tensión y la toma de carga de los equipos y sistemas de la subestación y de los circuitos asociados, para disponer en operación comercial la instalación.

**Equipos de patio:** elementos electromecánicos de alta tensión utilizados para realizar la maniobra. Protección y medida de los circuitos y barrajes de una subestación.

**GPS:** instrumento que permite establecer las coordenadas geográficas de un sitio a partir de un sistema satelital.

**Interruptor:** dispositivo de maniobra capaz de interrumpir, establecer y llevar las corrientes normales o asignadas del circuito y las anormales o de cortocircuito, mediante la conexión y desconexión de circuitos.

**Modularidad:** propiedad mediante la cual es posible modificar la configuración de la subestación, mediante la adición de módulos.

**Montaje:** conjunto de actividades que se realizan para ejecutar el ensamble y la conexión de los equipos y sistema que conforman la subestación.

**Pararrayos:** dispositivo para la protección del sistema de potencia y sus componentes contra las sobretensiones, ya sea producidas por descargas atmosféricas o por maniobras en el sistema durante fallas.

**Patio de conexiones:** área en donde se instalan los equipos de patio y barrajes con el mismo nivel de tensión.

**Pruebas:** conjunto de actividades que se realizan para verificar el diseño, la fabricación, el correcto montaje y la funcionalidad de los equipos y sistemas de la subestación de acuerdo con las especificaciones técnicas, los diseños de detalle y las condiciones operáticas definidas.

**Seccionador:** dispositivo de maniobra utilizado para aislar los interruptores, porciones del subestación o circuitos, para mantenimiento; en configuraciones de barras son utilizados para seleccionar la forma de conectar los circuitos a los barrajes.

**Sistema de comunicaciones:** conjunto de dispositivos que operan de acuerdo con condiciones preestablecidas que permiten el manejo de señales de comunicación según los requerimientos de operación de los equipos y sistemas de la subestación.

**Sistema de control:** conjunto de dispositivos que operan de acuerdo con condiciones preestablecidas que emplean para realizar el manejo y supervisión de todos los equipos, dispositivos y sistemas instalados en la subestación.

**Sistema de protección:** conjunto de dispositivos que operan siguiendo condiciones preestablecidas para proteger los circuitos, sistemas y dispositivos instalados en una subestación.

**Sistema de servicios auxiliares:** conjunto de dispositivos que operan de acuerdo con condiciones preestablecidas para realizar el suministro de la potencia necesaria para la operación de los equipos y sistemas instalados en la subestación.

**Sistemas secundarios:** sistemas utilizados en la subestación para ejecutar el control, la protección, las comunicaciones y el suministro de servicios auxiliares.

**Subestación convencional o abierta:** subestación cuyos componentes se instalan de tal forma que el aislamiento para su nivel de tensión se obtiene a través del aire a presión atmosférica. Son también denominadas AIS, subestaciones aisladas al aire.

**Subestación encapsulada:** subestación cuyos componentes se instalan en ductos metálicos de tal forma que el aislamiento para su nivel de tensión se obtiene con un gas diferente al aire, normalmente SF<sub>6</sub> a presión por encima de la atmósfera. Son también denominadas GIS, subestaciones aisladas en gas.

**Transferencia:** operación mediante la cual se conmuta un circuito desde su campo de conexión hasta el barraje dispuesto en la subestación para dicho propósito. Nombre que se asigna al barraje sobre el cual se conmuta un circuito conectado a la subestación.

**Transformadores de instrumentos:** dispositivos de monitoreo que censan, por medio de un acople inductivo, capacitivo u óptico, el cambio de estado de los parámetros de tensión y corriente del sistema.

**Urbanización:** distribución de las diferentes áreas que conforman la subestación dentro del predio dispuesto para su construcción.

## 1. TENSIONES

### 1.1. Tensiones asignadas y tensiones de servicio de las subestaciones

El servicio que ofrece las subestaciones a la red no permanece constante, sino que varía debido a las condiciones de funcionamiento del sistema eléctrico. Las variaciones presentes en la tensión del sistema no pueden superar los límites establecidos por los aislamientos de los equipos y por la normativa vigente, por ende, se debe mantener dentro de estos límites para evitar la aparición de fallas de aislamiento. Por razón, los equipos constituyentes de las estaciones se construyen

para una determinada tensión asignada y para una tensión máxima de servicio, conceptos que se definen a continuación. [21]

La tensión asignada de un sistema se define, según la IEC 60038, Como aquella con la cual se designa el sistema y a la cual se referencian ciertas características de operación. Por otro lado, la tensión de servicio en un punto cualquiera de un sistema eléctrico es el valor realmente existe en dicho punto, en un instante determinado. El valor de la tensión de servicio podría variar en los diferentes puntos de la red para que la tensión en los terminales de toma de los usuarios se mantenga dentro de los límites admisibles; el mayor valor de esta tensión se presenta en cualquier instante y punto, bajo condiciones normales de explotación de la red, se denomina tensión máxima del sistema, En las siguientes tablas se aprecian los valores de tensión asignada y las tensiones máximas de servicio normalizado por la comisión electrotécnica internacional IEC. [21]

Tabla 2 Tensiones para sistemas de menos de 35kV

Serie 1		Serie 2	
Tensión asignada kV	Tensión máxima kV	Tensión asignada kV	Tensión máxima kV
3.3(1)	3(1)	3.6(1)	4.4(1)
6.6(1)	6(1)	7.2(1)	-
11	10	12	-
-	-	-	12.47(2)
-	-	-	13.2(2)
-	-	-	13.8(1)
-	(15)	(17.5)	-
22	20	24	-
-	-	-	24.94(2)
33(3)	-	36(3)	-
-	-	-	34.5(2)
-	35(3)	40.5(3)	-

Notas:

- La serie 1 es para 50 y 60 Hz
- La serie 2 es para 60 Hz (prácticamente Norteamérica)
- Los valores indicados son entre fases y son utilizados para sistemas de 3 hilos salvo es que se indique otra cosa.
- Los valores indicados entre paréntesis no son comunes y no deben ser usados para sistemas nuevos
- (1) estos valores no deben ser usados para sistemas de distribución pública
- (2) estos valores son para sistemas de 4 hilos
- (3) la unificación de estos valores está bajo consideración

Tabla 3. Tensiones para sistemas de más de 35Kv

Tensión asignada kV	Tensión máxima kV
(45)	(52)
66	72.5
110	123
132	145
(150)	(170)



220	230	245
(1)		(300)
(1)		362
(1)		420
(1)		550 o 525
(1)		800 o 765
(1)		1050 o 1100
(1)		1200

Notas:

- Los valores son aplicables para las dos series
- Los valores indicados son entre fases
- Los valores indicados entre paréntesis no son muy comunes y no deben ser usados para sistemas nuevos
- (1) valores no especificados por la norma

Los niveles de tensión anteriormente se pueden agrupar en las siguientes categorías: [21]

- Alta tensión, AT:  $52kV \leq Um \leq 300kV$
- Extra alta tensión, EAT:  $300kV \leq Um \leq 550kV$
- Ultra alta tensión, UAT:  $Um \geq 8000kV$

Para Colombia encontramos los siguientes niveles de tensión: [22]

- Nivel IV:  $57.5 \text{ kV} \leq \text{Tensión nominal} < 220 \text{ kV}$
- Nivel III:  $30 \text{ kV} \leq \text{Tensión nominal} < 57.5 \text{ kV}$
- Nivel II:  $1 \text{ kV} \leq \text{Tensión nominal} < 30 \text{ kV}$
- Nivel I: Tensión nominal  $< 1 \text{ kV}$

Los niveles de tensión de una subestación se pueden fijar en función de los siguientes factores:

- Si la subestación es alimentada en forma radial. La tensión se puede fijar en función de la potencia de la misma.
- Si la alimentación proviene de un anillo, la tensión queda obligada por la misma del anillo.
- 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. [23]

## 2. EQUIPOS DE UNA SUBESTACIÓN

A continuación, se describe a grandes rasgos las características más importantes del equipo principal de una subestación.

### 2.1. Transformadores de potencia:

“Un transformador de potencia es una maquina electromagnética, cuya función principal es cambiar la magnitud de las tensiones eléctricas. Son los que se utilizan para subestaciones y transformación de energía en media y alta tensión. Se aplican en subestaciones, centrales de generación y usuarios de gran potencia. Se construyen en potencias, voltajes y frecuencias estandarizadas según la región o país en donde va trabajar. Está formado por tres partes principales: Parte activa, Parte pasiva y Accesorios”. [23]

Partes del transformador:

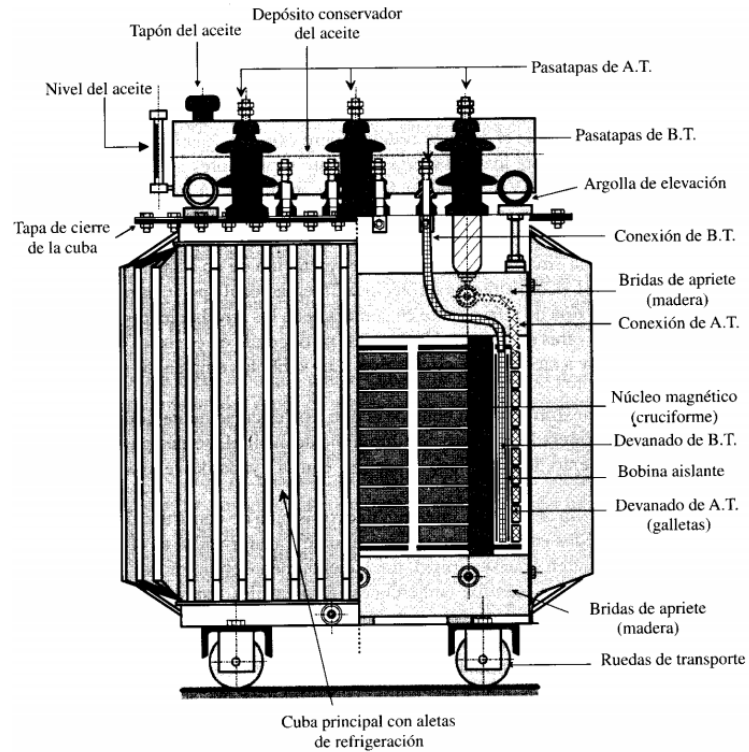


Figura 22. Aspectos constructivos del transformador. [24]

## 2.2. Transformadores de Potencial

Cuando se trabaja con tensiones superiores a los 600 voltios las mediciones de tensión no son hechas directamente en la red primaria sino a través de equipos denominados transformadores de tensión. [21]

La finalidad de estos transformadores son las siguientes:

- Aislar el circuito de baja tensión del circuito de alta tensión
- Procurar que los efectos transitorios y de régimen permanente aplicados al circuito de alta tensión sean reproducidos lo más fielmente posible en el circuito de baja tensión.

Los transformadores de tensión pueden ser:

Transformadores inductivos: pueden ser construidos para conexión fase-tierra o para conexión fase-fase; los cuales se utilizan primordialmente en media tensión.

Los divisores resistivos y mixtos no se utilizan normalmente en sistemas, pero si se usan en circuitos de prueba e investigación en laboratorio. [18]

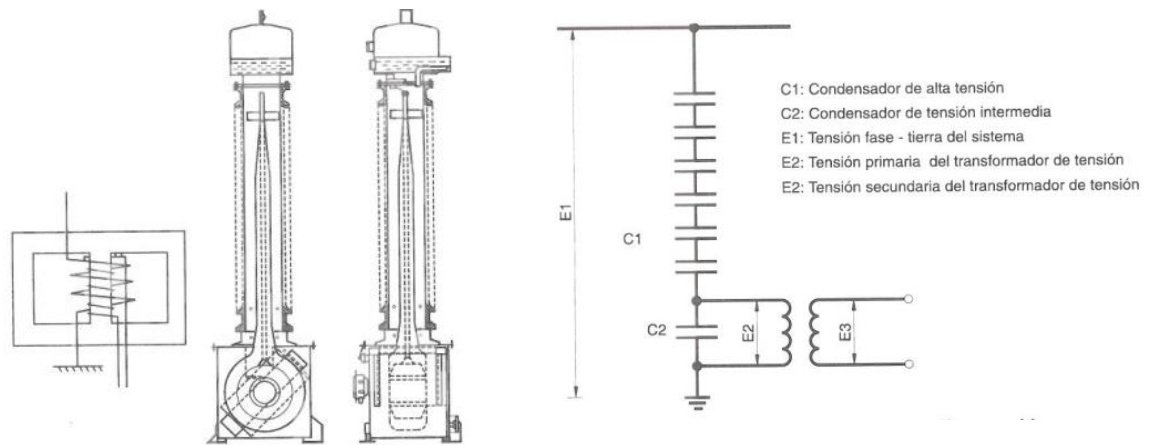


Figura 23. Transformador de tensión inductivo y transformador de tensión capacitivo. [21]

Para tensiones dentro del rango de 600 voltios y 72,5kv los transformadores inductivos son los más utilizados. Para tensiones superiores no existe preferencia en la utilización, pero en sistemas donde se emplea comunicación por onda portadora, PLC, La utilización del divisor capacitivo se hace necesario. Para tensiones superiores a los 145kV los divisores capacitivos son predominantes. [21]

### 2.3. Transformador de corriente

Los transformadores de corriente se utilizan para realizar mediciones de corriente en sistemas eléctricos de una forma segura. Estos tienen su devanado primario conectado en serie con el circuito de alta tensión. y la impedancia del transformador de corriente, vista desde el devanado primario se desprecia si la comparamos con la del sistema en el cual estará instalado, aun así, se tiene en cuenta la carga que se conecta en su devanado secundario. la corriente que circulará en el primario de los transformadores de corriente está determinada por el circuito de potencia. [21]

Los transformadores de corriente se diferencian según su construcción eléctrica como son:

Con varios núcleos: “transformador de corriente con varios devanados secundarios independientes y montados cada uno de su propio núcleo, formando conjunto con un único devanado primario, cuyas espiras enlazan todos los núcleos secundarios”. [21]

Secundario de relación múltiple o multi-relación: “la relación de transformación se puede variar por medio de tomas en las vueltas del devanado secundario, presentan el inconveniente de la disminución de la capacidad en las relaciones más bajas”. [21]

También, se pueden encontrar según su uso en el sistema:

Transformadores de corriente para medida: “son transformadores de corriente utilizados para alimentar instrumentos de medida, contadores de energía y otros instrumentos análogos”. [21]

Transformadores de corriente para protección: “son los transformadores utilizados para alimentar relés de protección. Dependiendo de las características de su

funcionamiento, los núcleos de los transformadores de corriente para protección pueden ser de varios tipos". [21]



Figura 24. Transformadores de corriente. [25]

#### 2.4. Banco de capacitores

En sistemas eléctricos de potencia, uno de los factores a tener en cuenta es el factor de potencia en las redes. Este factor indica que tanta potencia que entrega la res es realmente aprovechada por los dispositivos conectados a la misma. Es la potencia que se transforma en luz en las luminarias, en calor en planchas, cocinas y hornos, además de transformarse en energía mecánica en maquinarias y electrodomésticos. Se conoce por el nombre de Potencia Activa. [26]

Aunque, existe otro tipo de potencia en la red, esta potencia no se traduce en energía aprovechable, pero que ocupa recursos energéticos de la red y que es necesaria para el funcionamiento de algunos elementos. Es la energía que sostiene los campos magnéticos en motores y transformadores eléctricos, Esta es conocida como Potencia Reactiva. [26]

El factor de potencia es el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente. Para un mejor aprovechamiento energético de los recursos de la red eléctrica, conviene que el factor de potencia tenga un valor lo más cercano a 1 que sea posible. Esto se logra tratando de reducir la potencia reactiva. [26]

Como la potencia reactiva inductiva es la más frecuente en las redes eléctricas, la manera más sencilla de reducirla es agregando a la red elementos capacitivos, cuya potencia reactiva se opone a la de los elementos inductivos. Convenientemente calculados, los capacitores reducen la potencia reactiva total hasta valores lo bastante bajos para mantener el factor de potencia cercano a la unidad. [26]

El propósito de un banco de capacitores es mantener el factor de potencia por encima de un 0.9. aunque este valor puede fluctuar debido a las cargas inductivas en la red, correspondientes a los aparatos que se usan a diario, variará a lo largo del tiempo, según se encienden o apagan equipos, o se agregan y retiran. [26]



Figura 25. Banco de capacitores. [7]

## 2.5. Pararrayos



Figura 26. Pararrayos de la oleada de la clase de estación 500kV. [27]

Los pararrayos son elementos de protección de los equipos de las subestaciones contra sobretensiones, inicialmente los pararrayos se fabrican con descargadores y resistencias no lineales de carburo de silicio, pero en los últimos años han sido desplazados por pararrayos construidos con resistencias no lineales de óxido de zinc sin descargadores.

[21]

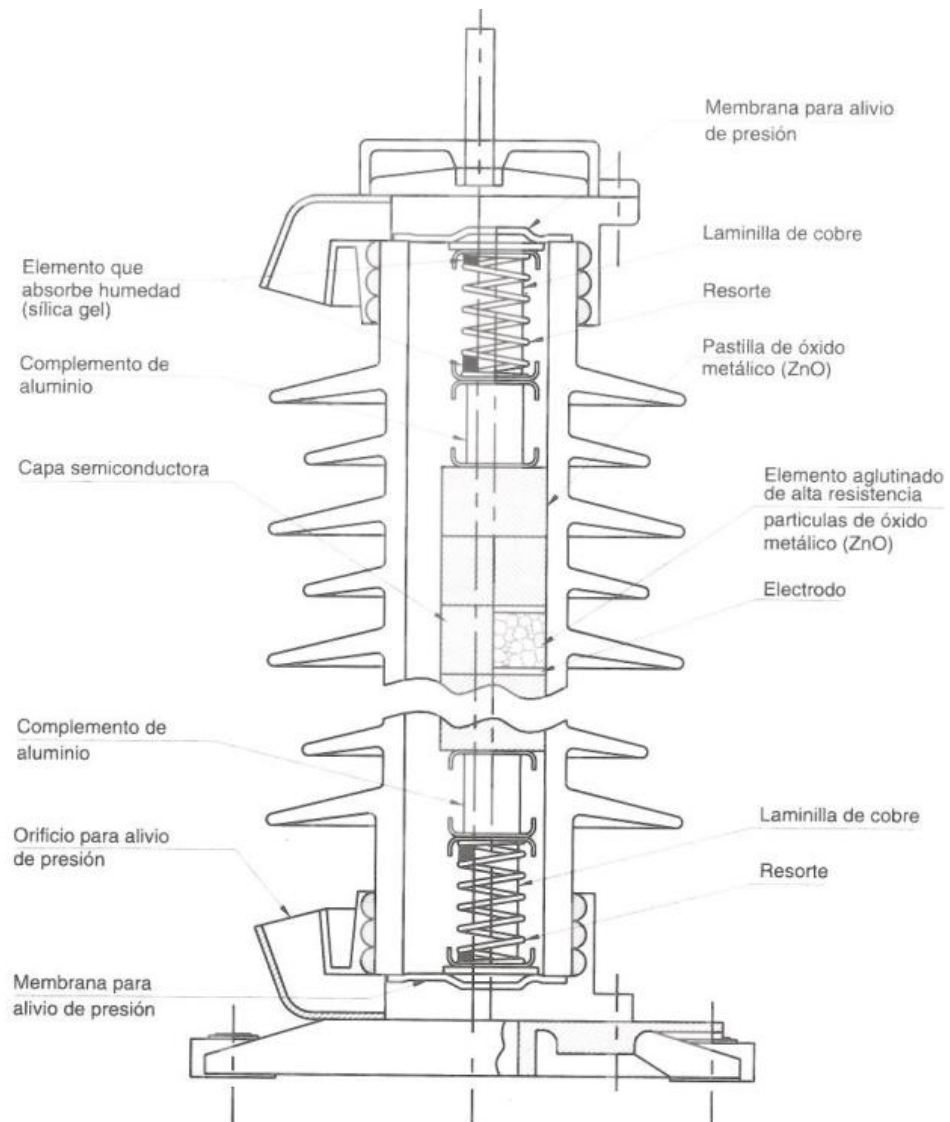


Figura 27. Esquema típico interno de un pararrayos de óxido metálico (ZnO). [21]

El pararrayos nos permite proteger las instalaciones contra sobre tensiones de tipo atmosférico. Las ondas que se presentan durante una descarga atmosférica viajan a la velocidad de la luz y dañan al equipo sino se tiene protegido en forma correcta; para la protección del mismo se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos: [21]

- Descargas directas sobre la instalación
- Descargas indirectas

De los casos anteriores el más interesante, por presentarse con mayor frecuencia, es el de las descargas indirectas.

## 2.6. Interruptor



Figura 28. Seccionador de alta tensión. [28]

Los interruptores de potencia automáticos son elementos mecánicos de interrupción los cuales son aptos para conducir, interrumpir y establecer corrientes de condiciones nominales. También pueden conducir durante un tiempo especificado, interrumpir y establecer corrientes en condiciones anormales como tales como corrientes de cortocircuito. Su función básica es conectar o desconectar de un sistema o circuito energizado líneas de transmisión, transformadores, reactores o barrajes. [21]

Los interruptores de potencia son el elemento central de las subestaciones aisladas en aire (AIS) y aisladas en gas (GIS).

Estos se pueden agrupar con base en diferentes criterios como son:

- El nivel de tensión
- El sitio de instalación
- Las características de diseño externo.

Sin embargo, los criterios de clasificación más importantes son el medio y el mecanismo de operación para la interrupción de la corriente. Como son los interruptores de aceite, aire comprimido, hexafluoruro de azufre (SF6). [21]

## 2.7. Seccionador

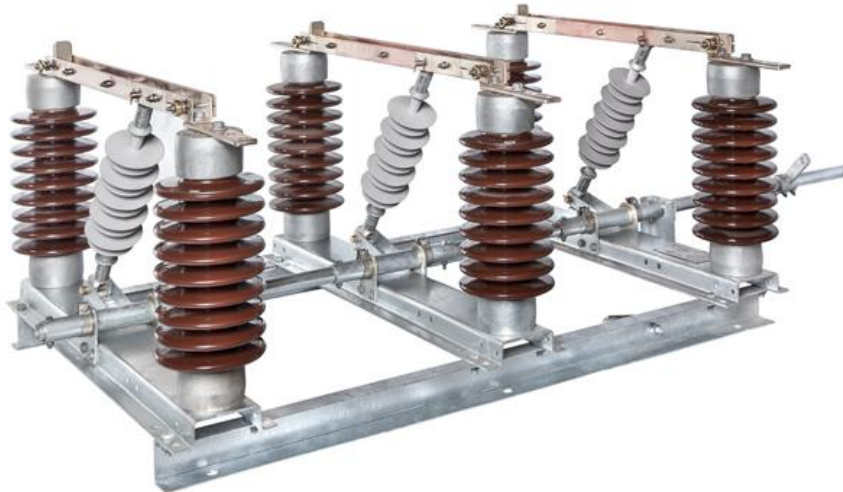


Figura 29. Seccionador. [29]

Es un dispositivo mecánico de maniobra sin carga, el cual asegura en posición abierto una distancia de aislamiento que se emplea para aislar un elemento de una red eléctrica o una parte de la misma a la red. Con esto se pone fuera de servicio o en mantenimiento los dispositivos aislados. [29]

Los seccionadores pueden ser clasificados de acuerdo con las funciones que desempeñen en un sistema eléctrico de potencia: [21]

- Seccionadores de maniobra
- Seccionadores de puesta a tierra
- Seccionadores de operación en carga
- Seccionadores de puesta a tierra rápida

También, pueden ser clasificados por el tipo de construcción: [21]

- Seccionadores de apertura central
- Seccionadores de doble apertura o rotación central
- Seccionadores de apertura vertical
- Seccionadores tipo pantógrafo y semipantógrafo



## 2.8. Banco de baterías



Figura 30. Banco de baterías. [30]

Los bancos de batería según Pedro Alberto son “bancos de baterías estacionarios con capacidad para suministrar potencia en corriente directa a los esquemas de protección, control, señalización y todo lo que requiera de corriente directa a través de centros de carga”. [30]

Estos bancos de baterías deben estar alimentados por su cargador - rectificador que convierte la corriente alterna en corriente directa para la carga de los mismos. Las baterías, que se utilizan en las subestaciones son del tipo de electrolito pueden ser ácidas o alcalinas. [30]

## 2.9. Bobinas de bloqueo



Figura 31. Bobinas de bloqueo. [31]

Las bobinas de bloqueo también son conocidas como trampas de ondas. Estos elementos se conectan en serie en las líneas de alta tensión. Su impedancia a la correcta frecuencia es despreciable en el sistema, esto hace que no perturbe la trasmisión de energía, pero debe ser relativamente alta para cualquier banda de frecuencia utilizada para comunicación por portadora. Por lo general el rango de frecuencia utilizado para comunicación por portadores de 30kHz-500kHz. [21]

La función principal de estos equipos es bloquear señales transportadas en la portadora para que solo pasen al equipo de comunicaciones y prevenir el paso de setas señales a la subestación. [21]

La bobina de bloqueo consiste en una bobina principal, un pararrayos y, usualmente, un dispositivo de sintonización. La bobina principal es una inductancia por la cual circula la corriente del circuito o línea de transmisión, ala frecuencia industrial. El pararrayos protege la bobina de bloqueo contra sobretensiones transitorias que puedan presentarse a través de ella. El equipo de sintonía sirve para obtener una impedancia de bloqueo para una o más frecuencias o para bandas de frecuencia. [21]

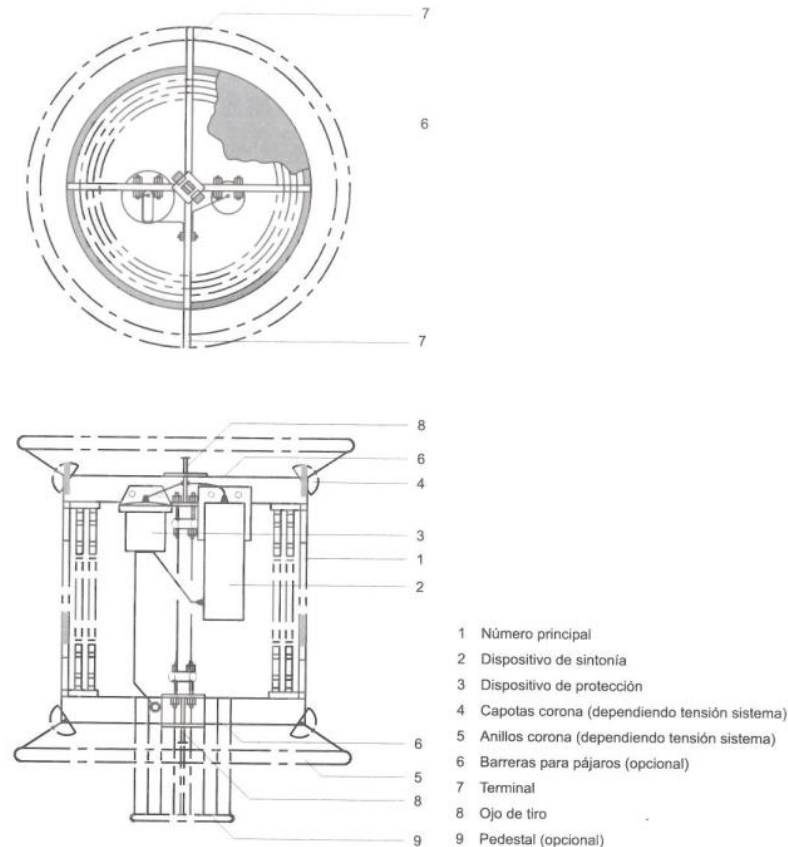


Figura 32. Esquema bobina de bloqueo. [21]

### 3. Tipos de subestaciones

Las subestaciones eléctricas se clasifican en tres tipos generación, maniobra y transformación los cuales se pueden analizar según su nivel de tensión, por su operación en la red o por la forma de construcción.

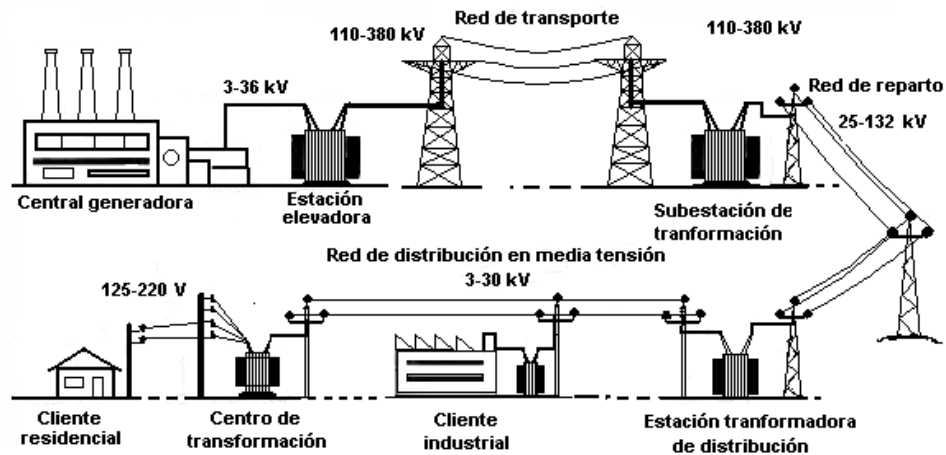


Figura 33. Sistema de suministro eléctrico. [32]

**Por el nivel de tensión:**

- Subestaciones de transmisión. A partir de 220kV.
- Subestaciones de subtransmisión. Entre 220 kV y 115kV.
- Subestaciones de distribución primaria. Entre 115 kV y 13,8 kV.
- Subestaciones de distribución secundaria. Debajo de 230 V.

**Por su operación en el sistema:**

- Elevadoras
- De maniobra
- Reductoras
- Inversoras rectificadoras
- De compensación

**Por su construcción**

- Subestaciones eléctricas a la intemperie
- Subestaciones eléctricas de tipo interior
- Subestaciones eléctricas blindadas o aisladas en hexafluoruro de azufre

**3.1. Subestaciones elevadoras**

Este tipo de subestación se encuentran en centrales generadoras, se encuentran alojadas en los centros de consumo y estas sirven para elevar la tensión a niveles óptimos y económicos para la transmisión de energía eléctrica. En estas subestaciones los transformadores elevadores tienen conexión en delta estrella aterrizada, esto para evitar que las armónicas producidas por el generador pasen a la red de alta tensión y con la estrella aterrizada se permite el aterrizamiento del neutro para evitar sobretensiones y permitir la operación rápida de las protecciones eléctricas del sistema. [33]

Los diseños de estos transformadores se basan de acuerdo a las características de los generadores de la planta. En los casos en que la potencia de las unidades es muy grande, se usan bloque generador-transformadores. [33]

En las subestaciones elevadoras se requiere sólo el interruptor del lado de alta tensión y el bloque se maneja como unidad, como las centrales hidroeléctricas están normalmente alejadas de los centros de consumo, con frecuencia se utilizan bancos de cuatro transformadores monofásicos, y se colocan tres transformadores monofásicos con lo cual solo tres de cuatro se tiene en operación normal y se tiene uno de reserva para cualquier eventualidad como sería mantenimiento o reparación de alguno de estos y como reserva. [33]



Figura 34. Subestación elevadora. [34]

### 3.2. Subestaciones reductoras

Las subestaciones reductoras, reducen el nivel de tensión de transmisión y de subtransmisión a tensiones menores con el fin de facilitar la distribución de la energía eléctrica. Las tensiones intermedias entre la transmisión y distribución son varias, porque dependen de la potencia que se transmite la energía eléctrica. Los niveles de tensiones de las subestaciones reductoras son muy variados ya que responden a las condiciones concretas del sistema, a las características de las cargas y del territorio. [33]

En las subestaciones reductoras al igual que en las elevadoras se manejan dos o más niveles de tensión y se requieren por lo tanto transformadores o autotransformadores. El número de transformadores utilizado depende de la potencia y los esquemas del dispositivo de distribución utilizado. [33]

Existen subestaciones reductoras con un solo transformador o con muchos, según el grado de confiabilidad que se requiera la S.E. y de la potencia de la misma. Se puede utilizar transformadores de tres devanados cuando se requiere enlazar tres niveles de tensión. También se usan en estos casos autotransformadores para tener una mayor eficiencia que los transformadores, sobre todo cuando la relación de tensión es menor de tres. [33]

### 3.3. Subestaciones de maniobra

En el sistema eléctrico, usualmente se presentan variaciones de carga, por ende, surge la necesidad de realizar maniobras de conmutación para modificar la estructura del sistema, para lograr con esto un régimen de operación económico, confiable y seguro. Hay entran las subestaciones de maniobra, estas se

interconectan con varios sistemas y con esto se distribuye energía eléctrica a otras subestaciones o a otros sistemas, lo más importante es la flexibilidad de la subestación, la seguridad y la confiabilidad, esto depende de la importancia que ejerza la subestación en el sistema de potencia. [33]

Por las noches cuando hay poca demanda se desconectan líneas y transformadores y por las mañanas se vuelven conectar. Algunas subestaciones muy importantes del sistema están sirviendo para estos propósitos y se llaman subestaciones de maniobra. Estas ocupan nodos de interconexión de partes del sistema, por lo cual a través de ellas pasan grandes bloques de energía que pueden poner en riesgo la estabilidad del sistema cuando se presentan fallas en las barras de la S.E. [33]

Los sistemas longitudinales tienen que realizar frecuentes maniobras, lo cual trae como consecuencia desgastes excesivos del equipo de conmutación y la posibilidad de errores humanos que pueden tener graves consecuencias como el colapso total del sistema. En los sistemas mallados la necesidad de las maniobras de este tipo se reduce considerablemente. En el sistema nacional la variación de la carga es del orden del 40% entre la demanda máxima al pico y la demanda mínima que se presenta en horas nocturnas. [33]



Figura 35. Subestación eléctrica. [35]

### 3.4. Subestaciones de distribución

Este tipo de subestación transforma y/o secciona la energía eléctrica de un sistema de potencia primario y la entrega a un subsistema de distribución secundaria. Los transformadores de potencia son el corazón de la subestación de distribución, los cuales ejecutan la tarea principal de reducir las tensiones de sub-transmisión a los niveles de distribución. Los equipos de maniobra, protección y control se instalan tanto en el lado primario como en el secundario. [33]

Las subestaciones de distribución son las encargadas de reducir la tensión de subtransmisión (220kV.) y de distribución: (115Kv.), a niveles inferiores para su distribución. Los alimentadores primarios abastecen de energía a los transformadores de distribución que reducen la tensión a (13.8/ 0.22 Kv). De las subestaciones de distribución salen los alimentadores primarios del sistema de distribución con tensiones de 13.8Kv. [33]

Las subestaciones de distribución tienen potencias variables dependiendo de la zona que se atiende y principalmente de la concentración de la demanda. La potencia que se tiene es de 2 MVA hasta de 50 o 60 MVA. [33]



Figura 36. Montaje subestación de distribución. [36]

### 3.5. Subestaciones a la intemperie

Las subestaciones de intemperie pueden ser de tipo convencional o de tipo compacto. Estas subestaciones son aquellas cuyos elementos están diseñados para operar al aire libre y por ende soportar los embates del clima; Lluvia, viento, granizo, contaminación atmosférica, etc. los aislamientos de estas subestaciones están diseñados para que operen con alta grado de humedad y bajo lluvia, por lo cual los aisladores tienen grandes faldones que sirven para alargar la distancia dieléctrica y para mantener la rigidez dieléctrica necesaria en condiciones de lluvia y contaminación. [33]

Las subestaciones de intemperie convencionales, se caracterizan por ocupar espacios con equipo montado sobre estructuras de acero y concreto. [33]



Figura 37. Subestación eléctrica tipo intemperie. [37]

### 3.6. Subestaciones de tipo interior

Este tipo de subestaciones tiene un equipo el cual está diseñado para operar en el interior de edificios o construcciones especiales para la subestación, por lo tanto, no se encuentran sujetas a las condiciones de intemperie. A diferencia de las subestaciones compactas se construyen en el sitio y no en fábricas. Las subestaciones de tipo interior pueden utilizar tableros de fuerza producidos en fábricas especializadas con lo que la calidad obtenida es óptima en campo solo se construye el edificio de la subestación. Los tableros en estos casos sirven para enlazar con el sistema y la energía generada en la planta se canaliza directamente a los alimentadores primarios a través de reactores de línea. [33]



Figura 38. Subestación eléctrica tipo interior. [38]

### 3.7. Subestaciones aisladas en gas

Las subestaciones encapsuladas o también conocidas como blindadas o subestaciones aisladas de SF6 fueron introducidas en el mercado al final de la década de 1960 para niveles relativamente bajos de tensión, pero, con la introducción de nueva tecnología se ha aumentado el nivel de operación de estas. Debido a sus características, como reducido tamaño y precio moderado a altas tensiones, las subestaciones aisladas son particularmente adecuadas para este rango de tensiones de alta y extra-altas. [21]

Estas subestaciones tienen un equipo eléctrico dentro de módulos herméticamente cerrados, aislados con gas SF6 (hexafluoruro de azufre) a presión con blindaje metálico. A pesar de que el equipo eléctrico en estos casos es más caro que el equipo convencional, las subestaciones en hexafluoruro de azufre pueden en ciertas condiciones resultar más económicas. [21]

Las ventajas principales de las subestaciones aisladas en gas son:

- Tamaño reducido. La superficie necesaria para una subestación GIS es del 10% al 15% de la superficie requerida para una subestación convencional.
- Son a prueba de contaminación ambiental
- Requieren menor mantenimiento
- Brindan mayor seguridad para los operadores.



Figura 39. Subestación encapsulada de 220kV [39]



## 3.1.2 MÓDULO 2: CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE SUBESTACIONES

### 1. Diseño de Subestaciones

#### Generalidades

#### Procedimiento general de diseño

Para el diseño de una subestación se debe tener en cuenta el procedimiento general con base en los criterios, exigencias y tendencias modernas.

#### Datos de entrada

La iniciación de los diseños parte del establecimiento de la necesidad de una nueva subestación o del a ampliación de una ya existente en el sistema, para lo cual se requiere que el personal de planeación haya establecido la siguiente información antes de comenzar las actividades: [21]

- Localización general
- Tensión de diseño
- Numero de circuitos iniciales
- Equipos de transformación y/o compensación requeridos
- Aplicaciones futuras (tamaño final de la subestación)

la unidad de planeación de una compañía de producción t transmisión de energía o el regulador de la expansión del sistema de transmisión de un país o región, es quien se encarga de determinar el número de circuitos de transmisión, el número de patios de conexión y la ubicación general de la subestación en el sistema. En el caso de una subestación asociada con la planta generadora, el número de circuitos de generación está determinado por el diseño mismo de la central. Esta información es entregada en forma de diagrama unifilar general, a cada circuito se debe asignar el año de entrada y la etapa de desarrollo a la que pertenezca. [21]

#### 1.1. Datos generales

Una vez se haya determinado el predio en el que se construirá la obra, según Mejía Villegas se debe proceder a recolectar o complementar la siguiente información: [21]

- Altura sobre el nivel del mar
- Temperatura mínima, media y máxima anual y mensual
- Humedad relativa
- Viento máximo
- Grado de contaminación ambiental
- Exposición solar
- Precipitación pluvial
- Nivel de descargas atmosféricas
- Amenaza sísmica
- Características topográficas
- Planos generales del área. Con indicación de vías de acceso y líneas de transmisión

- Condiciones de suelos del terreno
- Resistividad del terreno.

### 1.2. Datos del sistema

- Tensión y frecuencia asignadas de la instalación
- Estudio de flujos de cargas para diferentes años
- Corriente de cortocircuito máxima
- Requerimientos de estabilidad del sistema
- Capacidad máxima de transporte y longitud de las líneas de transmisión
- Sobretensiones transitorias y de régimen permanente del sistema, especialmente para sistemas EAT y UAT
- Requerimientos de compensación reactiva del sistema en el punto de la subestación. [21]

Una vez se tengan disponibles estos datos iniciales se determinan la importancia y las necesidades de la subestación en el sistema, se identifica el tipo de subestación y se le asigna una configuración. Para la asignación de la configuración se deben tener en cuenta los requerimientos y preferencias de la compañía dueña de la subestación. De acuerdo con las diferentes etapas de desarrollo se determina si se justifica efectuar un desarrollo modular (cambios de configuración en diferentes etapas de la subestación establecidos desde el diseño inicial). [21]

Con la configuración asignada se procede a efectuar una selección preliminar de la forma constructiva o disposición física; la selección es preliminar ya que puede ser modificada una vez se tenga el conocimiento detallado del predio disponible para la subestación o se tenga en cuenta aspectos normativos o de las preferencias de la entidad propietaria de la instalación. [21]

### 1.3. Proceso de ejecución

A continuación, se presentan las diferentes actividades relacionadas con los diseños electromecánicos, civiles y ambientales de una subestación- el orden en que se describen no representa, en forma estricta, una secuencia de ejecución ya que muchas de las actividades de diseño pueden realizarse simultáneamente. [21]

#### Estudios del sistema

Bajo esta actividad se llevan a cabo los estudios eléctricos que permiten definir parámetros útiles en el diseño de la subestación. Estos estudios se realizan a partir de las condiciones estacionarias y transitorias del sistema de potencia en el cual será implantada la subestación y permiten definir los parámetros fundamentales exigidos para su conexión al sistema y para su correcta operación. Puesto que con base en los datos de planeación se conoce la ubicación aproximada de la subestación y su posible altura sobre el nivel del mar se puede asignar el nivel de aislamiento de los equipos.

En la Tabla 4 se presenta un resumen de los estudios a realizar. Con la información que es obtenida y con la utilización de esta información del diseño de la subestación. [21]

Tabla 4. Estudios del sistema [21]

Estudios	Información obtenida	Utilización de la información
Estudio fundamentales		

Flujo de cargas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flujos máximos de potencia</li> <li>• Corrientes máximas</li> <li>• Tensiones máximas y mínimas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustes de protecciones</li> <li>• Establecer necesidades de compensación</li> <li>• Relaciones de TC's y Tp's</li> </ul>
Cortocircuito	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrientes de cortocircuito</li> <li>• Distribución de corrientes y aportes</li> <li>• Relación X/R</li> <li>• Sobretensiones fallas asimétricas</li> <li>• % de corriente cd aperiódica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equivalente de Thevenin</li> <li>• Coordinación de protecciones</li> <li>• Selección de pararrayos</li> </ul>
Sobretensiones temporales <ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto Ferranti</li> <li>• Rechazo de carga</li> <li>• Por falla monofásica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corriente capacitiva de líneas</li> <li>• Máxima tensión extremo abierto</li> <li>• Sobretensiones fase sanas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selección pararrayos</li> <li>• Selección interruptores</li> <li>• Selección compensación</li> <li>• Ajustes de relés de sobretensión</li> </ul>
Estudio Z(w)-armónicos	Frecuencia de resonancia (polos y ceros)	Determinación de la necesidad de filtros (para el caso de sistemas de compensación)
<b>Estudios transitorios</b>		
Sobretensiones de maniobra <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energizaciones</li> <li>• Aperturas</li> <li>• Re-cierres</li> <li>• Re-cierre monopolar</li> <li>• Descarga capacitores</li> <li>• Despeje de fallas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobretensiones máximas</li> <li>• Corrientes de energización</li> <li>• TTR en interruptores de alta tensión</li> <li>• Corrientes máximas</li> <li>• Bobinas limitadores</li> <li>• Energía pararrayos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensionamiento reactancias limitadores</li> <li>• Selección pararrayos</li> <li>• Sintonización reactores de neutro</li> <li>• Selección interruptores</li> <li>• Selección dispositivos de protección bobinas de bloqueo</li> </ul>
Sobretensiones atmosféricas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Descargas directas e indirectas</li> <li>• Efecto distancia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máximas sobretensiones</li> <li>• Energía pararrayos</li> <li>• Distancias de pararrayos a equipos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selección pararrayos</li> <li>• Coordinación de aislamiento</li> </ul>

#### 1.4. Selección del sitio

Bajo esta actividad se lleva a cabo el proceso de selección del sitio para una nueva subestación, para lo cual se parte de unos requerimientos técnicos o restricciones especiales tales como niveles de tensión, tamaño de la subestación, número de circuitos, ampliaciones futuras etc., hasta llegar a la definición o propuesta final del sitio recomendado. [21]

Para esto se definen unas condiciones mínimas del sitio. Unas restricciones y unas criticidades con sus respectivos pesos. De acuerdo con las diferentes dimensiones del análisis: económica, política, sociocultural, física, biótica y técnica. Puede emplearse un análisis SIG. Sistema de información geográfico. [21]

Luego de la verificación de condiciones mínimas y de la evaluación ambiental en campo de las alternativas puntuadas durante el estudio, se selección la mejor opción para la localización de la nueva subestación. [21]

### **1.5. Características generales del sitio**

Para obtener en detalle las características y la información relacionada con el sitio donde será localizada la subestación, requeridas para realizar los respectivos diseños electromecánicos y civiles, es necesario realizar una visita de reconocimiento y las actividades de recopilación de información relacionada con el sitio, tanto en el lugar como en las entidades públicas y privada, ubicación y orientación de la subestación, establecimiento de los parámetros ambientales y meteorológicos, determinación de la contaminación ambiental presente en el área donde será instalada la subestación y medida de resistividad del terreno. [21]

### **1.6. Estudios topográficos**

Estos estudios determinan el levantamiento planimétrico y altimétrico del área del proyecto y amarra al sistema de coordenadas Estableciendo para la subestación. El amarra puede realizarse con GPS.

Los estudios topográficos se realizan con base en la información recolectada en la visita de reconocimiento del predio en las vías a levantar (si se requieren) y en la identificación de puntos de amarra. Se atienden los requerimientos de información mínima para la ejecución de los diseños de las obras civiles de la subestación y para establecer los límites del predio. [21]

### **1.7. Estudios geotécnicos**

Un estudio geotécnico se define como un conjunto de actividades que tienen por objeto la investigación del subsuelo con el fin de recomendar los criterios necesarios para el diseño y la construcción de las obras en contacto con el suelo para garantizar su comportamiento adecuado.

El alcance de los estudios geotécnicos se determina con base en la visita de reconocimiento y en las características geomorfológicas del sitio donde se construirá la indicación de vías de acceso a construir (si se requiere), en la urbanización del predio y en las características del edificio de control y de los equipos. [21]

### **1.8. Estudios sísmicos**

Los estudios para la evaluación de la amenaza sísmica local se realizan con el fin de establecer los efectos sísmicos a considerar en el diseño de las obras civiles y estructuras metálicas y en las verificaciones de la confiabilidad sísmica a los equipos electromecánicos del proyecto. [21]

Los estudios para la evaluación de la amenaza sísmica local se realizan, para el caso colombiano con base a los catálogos sísmicos de la red sismológica nacional y de Ingeominas, en la información geológica disponible en la zona del proyecto y en los estudios de suelo correspondientes al sitio del proyecto. [21]

### **1.9. Aspectos ambientales**

Se identifica y evalúan los impactos que podrían causar una subestación hacia el entorno y cada una de sus etapas de construcción y operación bajo la mirada objetiva de cinco dimensiones de análisis: cultural, política, económica, física, y biótica. [21]

Se elaboran documentos de diseño para la evaluación de posibles escenarios con los cuales se puede construir un documento ambiental, según la legislación vigente, en el ciclo instalación de la subestación. cada uno de los documentos y orientada hacia las especificaciones técnicas correspondientes y presenta en detalle la metodología para la identificación y construcción de los impactos ambientales que permite al evaluador construir los programas del plan de manejo Ambiental de acuerdo con el entorno caracterizado en el estudio de impacto ambiental de la obra para lograr una adecuada inserción del proyecto en la región en el cual se construye, teniendo en cuenta aspectos tales como: contratación de obra de mano local, capacitación educación ambiental, señalación la protección del patrimonio arqueológico, gestión de condiciones atmosféricas, abastecimiento de agua, gestión de residuos líquidos, gestión de residuos sólidos, control de erosión y sedimentación normas básicas para el desmonte descapote y revegetalización, adecuación paisajista y ornamentación, control de vegetación en el patio, manejo de fauna, entre otros. [21]

### 1.10. Equipos de alta tensión

Se realiza la selección de los siguientes equipos normalizados de alta tensión según Mejía Villegas: [21]

- Interruptores automáticos
- Seccionadores
- Seccionadores de puesta a tierra
- Transformadores de corriente
- Transformadores de tensión
- Pararrayos para los sistemas
- Aisladores
- Material de conexión

### 1.11. Equipos de media tensión

bajo esta actividad se realiza la definición y la especificación de los equipos de maniobra y conexión a tensiones entre 72,5 kV y 1000 V. Estos equipos pueden diseñarse para instalación exterior o para instalación en celdas. Los equipos de media tensión son los siguientes según Mejía Villegas: [21]

- Celdas
- Interruptores automáticos seccionadores de puesta a tierra
- Transformadores de corriente
- Transformadores de tensión
- Pararrayos para el sistema
- Aisladores de soporte para el sistema
- Cables y terminales de media tensión.

### 1.12. Malla de tierra

El cálculo de la malla de tierra y la elaboración de los planos correspondientes se realiza con base en la medida de la resistencia del suelo y en la urbanización del predio.

### **1.13. Sistemas de protección y análisis de fallas**

Esta actividad cubre la selección de los sistemas de protección y análisis de falla que se requieren dentro del proyecto de construcción de una subestación, teniendo en cuenta que las líneas involucradas son nuevas o existentes, y si su interacción con campos de estaciones remotas nuevas o existentes. [21]

Para el diseño de los sistemas de protección y registro se requiere conocer la información acerca de tipos y cantidades de campo que conforman la subestación la longitud de las líneas, si son nuevas o existentes, si tendrá equipo de compensación reactiva en cualquiera de los dos extremos Y si requiere control de sobretensiones por disparo transferido. [21]

### **1.14. Sistemas de telecomunicaciones**

Bajo esta actividad se realiza la selección del sistema de telecomunicación para cada conexión de subestación con otras subestaciones asociadas al proyecto y con el centro de control remoto de la instalación más apropiado para la subestación, teniendo en cuenta el diseño mismo, su configuración su calidad y desempeño dentro del Sistema Nacional de telecomunicaciones el sistema de telecomunicaciones deberá ser seleccionado entre los siguientes según Mejía Villegas: [21]

- Red de radio de microondas
- Sistema fibra óptica
- Enlace de onda portadora por la línea de potencia PPL
- Estación satelital
- Abonos de la red telefónica pública total RTPL
- Red de radio móvil.

#### **Servicios auxiliares**

Esta actividad comprende la definición detallada de los siguientes aspectos relacionados con los servicios auxiliares según Mejía Villegas: [21]

- Configuración
- Tensión de alimentación y distribución
- Capacidad, tipo y características de equipos que componen el sistema
- Sistema de cableado

### **1.15. Cables de media y baja tensión**

Bajo esta actividad se determinan las cantidades y calibre de los cables aislados de media y baja tensión para los servicios auxiliares de equipos de patio, gabinete y otros equipos, tanto en edificio como en caseras de control. Además, se consideran los diferentes circuitos de control y señalización de los equipos de patio, controladores y equipos de protección en edificios y casetas de control. [21]

### **1.16. Sistema de automatización de la subestación**

Esta actividad se refiere a la selección de los tipos y cantidades de controladores que componen el sistema de automatización de la subestación y los respectivos listados de señales propios para cada tipo de controlador con base en la información suministrada por las actividades de implantación eléctrica sistemas de protección y registro de fallas y servicios auxiliares [21]

### **1.17. Estructuras metálicas**

En esta actividad se realizan los diseños de estructuras metálicas de pórticos y soportes de equipos para la subestación teniendo en cuenta las características específicas de los equipos que se suministran para el proyecto. [21]

### **1.18. Adecuación del predio**

Esta actividad comprende los estudios para establecer los movimientos de tierra requeridos para disponer de las áreas necesarias para el proyecto considerando criterios económicos técnicos y ambientales y el diseño de las obras de protección de los taludes y los sistemas de recolección de aguas freáticas y de escorrentía sobre los mismos [18]

La adecuación definitiva del predio depende de las condiciones topográficas del terreno de las condiciones de estabilidad del suelo y de la disposición física de la subestación con sus diferentes partes de conexiones. [21]

## **2. DISEÑO DE OBRAS CIVILES**

Esta actividad cubre la ejecución de los diseños de las vías interiores y de acceso de la subestación drenajes de aguas lluvias, tipos y longitudes de cárcamo y ductos, ubicación de cajas de tiro cerramientos señalización interior y ubicación de las casetas para el sistema contra incendio cimentaciones de pórticos y equipos foso y cimentación para transformadores y autotransformadores reactores de línea, reactores de terciario, reactores de neutro, transformadores zig zag, carrileras y tanques separadores de aceite, y muros cortafuego, alumbrado exterior conformado por el alumbrado perimetral de seguridad y de patio, el alumbrado de patio de equipos y el alumbrado de las vías de acceso de la subestación. [21]

El diseño de las vías de la subestación depende de las condiciones topográficas del predio y de las condiciones de estabilidad del suelo características que se determinan a partir de los estudios correspondientes los radios de curvatura de las vías dependen del tipo de vehículos que ingresaron a la subestación y del tipo de vehículos que se utilizarán para el mantenimiento. El diseño del sistema de drenaje depende de la disposición física establecida para la sub-estación además para la ejecución de los diseños, se toman como información los datos de vías y acabados de patio los diseños para los cerramientos del predio se realizan con base en la información correspondiente a topografía de la predicción general del predio, urbanización del predio y detalles para la instalación de malla de puesta a tierra. [21]

### **2.1. Edificaciones**

Bajo esta actividad se seleccionan las diferentes edificaciones que conforman la subestación como son: edificios de control, casetas de control, portería y parqueadero, dependiendo de las características técnicas del proyecto. [21]

Se realizan además otras actividades que complementan estas edificaciones como son: la selección del sistema de abasto de agua potable para el proyecto, el trazado de las redes exteriores de alcantarillado de aguas residuales, la selección de los sistemas de aire acondicionado t la conexión de la acometida telefónica. [21]

### **2.2. Recomendaciones y normas**

Para la elaboración de los diseños y metodología de selección de equipos se considera la utilización de las normas establecidas por la compañía dueña de la instalación: dentro de

las recomendaciones de la IEC, las siguientes son las más importantes en el área de subestaciones. [21]

- IEC 60038 Tensiones asignadas
- IEC 60044 Transformadores de instrumentos
- IEC 60071 Coordinaciones de aislamiento
- IEC 60076 Transformadores de potencia
- IEC 60099 Pararrayos
- IEC 60114 Barrajes de aluminio
- IEC 60120 aisladores de suspensión
- IEC 60137 Bujes para tensiones mayores a 1000V
- IEC 60143 Condensadores de serie
- IEC 60168 Aisladores de poste
- IEC 60227 Cables de control
- IEC 60255 Relés de protección
- IEC 60289 Reactores
- IEC 60297 Dimensiones de tableros y bastidores
- IEC 60481 Equipos de comunicaciones
- IEC 60815 Selección de aisladores con respecto a condiciones contaminadas
- IEC 60865 Calculo de corrientes de cortocircuito
- IEC 60870 Equipos y sistemas de telecontrol

### **3. Elaboración de presupuestos**

En la elaboración de presupuestos de la subestación se deben considerar todos aquellos aspectos que constituyen el coste agregado de la misma, según Mejía Villegas son los siguientes: [21]

- Compra de predios
- Obra civil
- Equipos y materiales de importación
- Fletes, seguros y gastos de importación de los equipos
- Equipos y materiales nacionales
- Fletes y seguros nacionales
- Montaje, pruebas y puesta en servicio
- Ingeniería y administración

El mecanismo para elaborar un presupuesto consiste en identificar en la forma más real posible los costos relacionados con la subestación que se está considerando, hacer su discriminación según se trate de desembolsos en moneda nacional o extranjera y asignar una partida apropiada para los costos imprevistos. [21]

Como se comprenderá, es imposible generalizar el proceso, puesto que cada caso constituye una aplicación particular. Sin embargo, a continuación, se dan algunas guías que pueden contribuir a hacer claridad sobre los ítems de costo para una subestación cualquiera. [21]

#### **3.1. Compra de predios, servidumbres y vías de acceso**

En el prediseño de la subestación se establecen las dimensiones mínimas requeridas, pero en muchas ocasiones la compañía propietaria se verá obligada a adquirir un terreno que



no se ajuste necesariamente a ellas. En las comparaciones de los diferentes predios disponibles es necesario tener en cuenta tres aspectos íntimamente ligados a los mismos, a saber: [21]

- La existencia i necesidad de nuevas vías de acceso.
- La influencia que la topografía o construcciones perimetrales alrededor de sitio escogido puedan tener sobre la ruta y ubicaciones de las torres.
- La disponibilidad o facilidad de obtención de servicios públicos necesarios para la construcción y operación de la subestación, como energía, acueducto, alcantarillado teléfono y aseo.
- Obras regionales futuras que puedan afectar los predios.

### **3.2. Obras civiles**

Las obras civiles comprenden dos etapas muy definidas como son la adecuación inicial del predio y la construcción propiamente dicha. Tampoco en este caso es posible establecer un criterio general para cuantificar el presupuesto, ya que este quedara condicionado por las cantidades de obra asociadas al diseño particular por las circunstancias propias de la región. [21]

### **3.3. Equipos y materiales**

Para fines de presupuesto se pueden dividir en la forma siguiente:

- Equipos de transformación y compensación: su presupuesto se puede estimar con base en un valor por kVA, que depende de los niveles de tensión.
- Equipos de patio. Incluye interruptores, seccionadores, trampas de onda, transformadores de medida y pararrayos, todos ellos con sus correspondientes estructuras de soporte.
- Dentro de la misma licitación anterior, se pueden incluir además otros quipos como los tableros de control, medida y protección.
- Por último, en la lista de equipos pueden incluirse:
  - Terminales de telecomunicación
  - Estructuras metálicas
  - Cables de control y fuerza
  - Servicios auxiliares: gabinete, baterías, cargadores plantas de emergencia
  - Postes y luminarias.

### **Fletes, seguros y gastos de importación**

Su valor inicial dependerá del origen de los equipos, se du costo, de su volumen y peso de embarque y del sitio de la subestación. Debe tenerse en cuenta que es necesario considerar los siguientes aspectos: [11]

- Transporte marítimo
- Seguro marítimo
- Transporte terrestre
- Seguro terrestre
- Gastos de puerto
- Derechos de aduana.

### **Montajes, pruebas y puesta en servicio**

Para la ejecución de estas obras en una subestación, pueden elaborarse el presupuesto aplicando un factor de valor resultante de sumar el costo FOB (free on board) de los equipos importados y el costo en fábrica de los nacionales. Este factor se determina generalmente con base en datos históricos que pese cada compañía. [21]

### **3.4. Planos y diagramas**

#### **Planos y diagramas eléctricos**

Según Mejía Villegas algunos de los planos y diagramas eléctricos que se deben desarrollar durante el diseño de una subestación son los siguientes: [18]

##### **Planos generales**

- Lista de planos
- Localización del proyecto
- Símbolos y convenciones
- Gálibos, carreteras y ferrocarriles
- Espectro para diseño sísmico.

##### **Planos de equipos de transformación y compensación**

##### **Diagramas unifilares y nomenclatura operativa**

##### **Planos de disposición física**

- Planta general
- Sección y planta salida autotransformador o transformador
- Sección y planta salida de línea
- Sección y planta campo de acople
- Lista de materiales y detalles de conexión.

##### **Planos de estructuras metálicas**

- Disposición física de pórticos y templas
- Isométrico de pórticos y cargas de conexión de cables
- Estructuras soportes de quipos
- Placas de intensificación para pórticos y soportes.

##### **Diagrama de servicios auxiliares**

- Diagramas unifilares 120/208 Vca
- Diagramas unifilares 125 Vcc
- Diagramas unifilares 48Vcc
- Diagramas unifilares 120 Vca regulado

##### **Diagramas de sistema de control**

- Diagrama de sistema de la subestación
- Circuito de cierre interruptor
- Circuito de apertura interruptor
- Circuito de apertura y cierre de seccionadores.

##### **Diagramas de los sistemas de protección**

- Acción de protecciones- campo o bahía de línea
- Acción de protecciones- campo o bahía de acople
- Acción de protecciones- autotransformador/ transformador

- Acción de protecciones- campo o bahía de batería de condensadores
- Acción de protecciones- reactores.

#### **Otros documentos**

- Manuales de operación y puesta en servicio
- Manuales de mantenimiento
- Documentos de cableado

#### **Planos de obras civiles**

##### **Planos de localización general y adecuación del predio**

- Localización del proyecto
- Planos topográficos de la vía de acceso
- Adecuación general del predio
- Detalles de adecuación del predio
- Diseños estructurales detalles de muros de contención.

##### **Planos de planta general, vías drenajes, cárcamos, y ductor**

- Disposición general de la subestación
- Detalles de señalización
- Planos de vías y acabado de patios
- Planos de vías y acabado de patios
- Planos para la vía de acceso
- Planos de drenajes
- Planos de cárcamos y ductos
- Disposición de cimentaciones, cárcamos y ductos
- Detalles típicos de caja de tiro y ductos de embebidos.

##### **Planos de alumbrado exterior**

- Detalles para alumbrado y tomas exteriores
- Alumbrado perimetral de vías y patio de subestación.

##### **Planos de edificio de control y otras edificaciones**

- Arquitectónicos
- Estructurales
- Alumbrado y circuitos eléctricos
- Abasto de aguas
- Alcantarillado aguas lluvias y aguas negras
- Cárcamos y ductos
- Apantallamiento
- Aire acondicionado
- Sistema contra incendio.

#### **3.5. Normativa**

- IEEE Std. 1127, —IEEE Guide for the Design, Construction, and Operation of Safe and Reliable Substations for Community Acceptance and Environmental Compatibility. II

### 3.1.3 MÓDULO 3: CONFIGURACIONES DE LAS SUBESTACIONES

#### CONFIGURACIÓN

Se denomina configuración al arreglo de los equipos electromecánicos constitutivos de un patio de conexiones o pertenecientes a un mismo nivel de tensión de una subestación, de tal forma que su operación permita dar a la subestación diferentes grados de confiabilidad, seguridad o flexibilidad para el manejo, transformación y distribución de la energía. [21]

Básicamente existen dos tendencias generales con respecto a los tipos de configuraciones para subestaciones de alta tensión (AT) y extra alta tensión (EAT). Estas tendencias son la europea o de conexión de barras y la americana o de conexión de interruptores. Cada una de las tendencias tiene diversos tipos de configuraciones. Dichas configuraciones son aplicables tanto para subestaciones convencionales como para subestaciones encapsuladas SF6. [21]

La utilización de una tendencia obviamente está condicionada por la tradición y uniformidad de operación y mantenimiento, mientras que la utilización de una configuración está ligada a requerimiento de la empresa dados por principalmente por el sistema de potencia. [21]

#### Definiciones

**Flexibilidad:** propiedad de la instalación para acomodarse a las diferentes condiciones que se puedan presentar especialmente por cambio operativos en el sistema y demás, por contingencias y/o mantenimiento. [21]

Los cambios operativos que pueden darse en un sistema se realizan buscando: [21]

- Control de potencia reactiva y activa para optimizar la carga de los generadores. Esto implica alguna forma de independizar o agrupar circuitos de carga y/o generación.
- Limitar niveles de cortocircuito. Cualquier arreglo o configuración que incorpore medio para dividir la subestación de dos secciones independientes puede reducir los niveles de cortocircuito.
- Incrementar la estabilidad del sistema. La reducción de cortocircuito no solo trae como consecuencia el tener equipos de menor capacidad, sino que también incrementa la estabilidad del sistema.

**Confiabilidad:** se define como la probabilidad de que una subestación pueda suministrar energía durante un periodo de tiempo dado, bajo la condición de que al menos un componente de la subestación este fuera de servicio. Es decir, que cuando ocurra una falla en un elemento de la subestación se pueda continuar con el suministro de energía después de efectuar una operación interna mientras se efectúa la reparación de dicho elemento. Esto es aplicable en el caso del mantenimiento. [21]

Definir el grado de confiabilidad que requiere una subestación para una aplicación puede resultar algo complejo, y en algunos casos la experiencia de los ingenieros de diseño y operación será un factor determinante para establecer finalmente cual configuración de subestación permite lograr la confiabilidad requerida. [21]

**Seguridad:** propiedad de una instalación de dar continuidad de servicio (suministro de energía) sin interrupción alguna durante fallas de los equipos de potencia, especialmente interruptores y barrajes. La seguridad implica confiabilidad.

Al igual que el caso de la confiabilidad, es difícil determinar el grado de seguridad requerido en una subestación particular. Por lo general, la seguridad está determinada por la potencia que se pierde durante la falla y su impacto en la estabilidad y en el comportamiento del resto del sistema. [21]

## 1. CONFIGURACIONES DE CONEXIÓN DE BARRAS- TENDENCIA EUROPEA

Por configuraciones de conexión de barras se entiende aquellas en las cuales cada circuito tiene un interruptor, con la posibilidad de conectarse a una o más barras por medio de seccionadores. Las configuraciones más utilizadas en esta tendencia para niveles de AT y EAT son: [21]

### 1.1. Barra sencilla

Como su nombre lo indica, es una configuración que cuenta con un solo barraje colector al cual se conectan los circuitos por medio de un interruptor. Es económica, simple, fácil de proteger, ocupa poco espacio y no presenta muchas posibilidades de operación incorrecta. Como desventaja principal puede citarse la falta de confiabilidad, seguridad y flexibilidad teniendo así que suspender el servicio en forma total cuando se requiera hacer una revisión o reparación en la barra colectora, o del circuito cuando la revisión o reparación es en el interruptor; sin embargo, con un seccionamiento longitudinal se obtiene alguna confiabilidad y flexibilidad pues se hace posible separar en dos partes el barraje, lo cual facilita las reparaciones, trabajos de ampliación y, en determinadas circunstancias, aun la operación de la misma subestación, se requiere un planeamiento muy cuidadoso ya que durante la operación normal no se pueden cambiar los circuitos de una barra a la otra. Un seccionamiento mal planteado puede inclusive atentar contra la seguridad del sistema. [21]

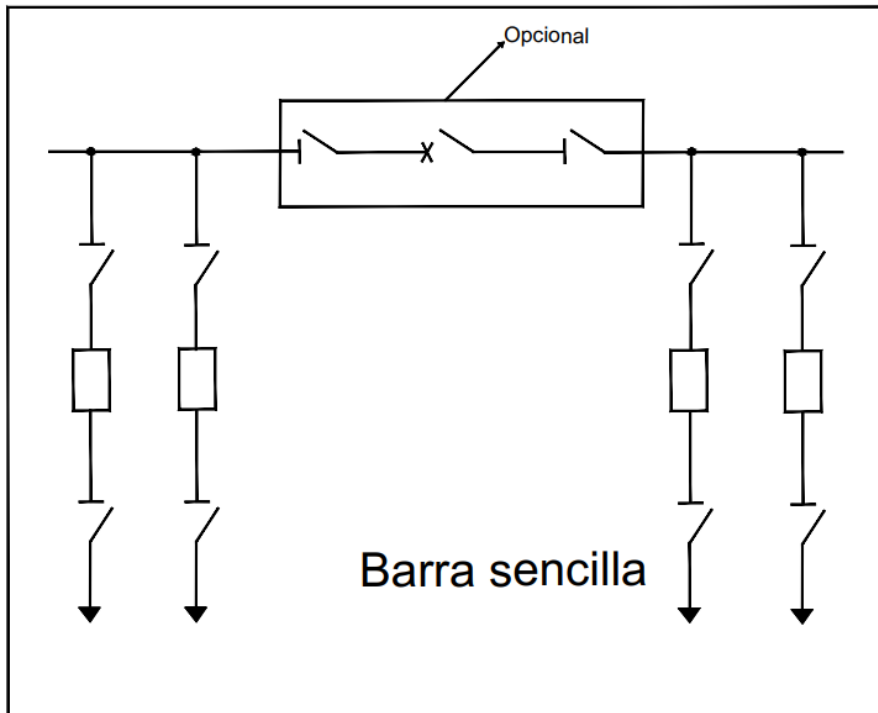


Figura 40. Configuración Barra sencilla

Una aplicación práctica del seccionamiento del barraje ocurre cuando se tienen dos circuitos provenientes de una misma subestación y alimentan dos transformadores para

conformar las configuraciones denominadas en 'H'. si los dos circuitos provienen de subestaciones distintas, el seccionamiento no debe comprometer la seguridad de dichas subestaciones por la suspensión de la interconexión entre ellas. [21]

## 1.2. Barra principal y barra de transferencia

Para mejorar la confiabilidad por falla en interruptores en la configuración de barra sencilla a esta se le puede agregar una barra auxiliar o de transferencia, a cada circuito un seccionador para la conexión a dicha barra interruptor para unir las dos barras, conformándose así una configuración llamada barra principal y de transferencia. [21]

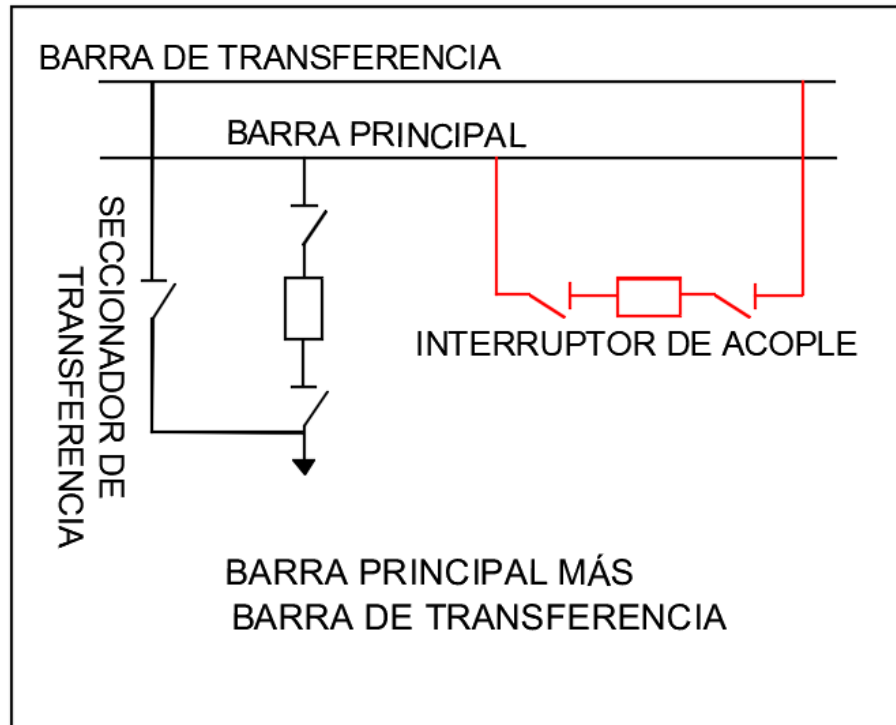


Figura 41. Configuración de Barra principal más Barra de transferencia

Con esta configuración k5 se puede conectar por medio del interruptor de transferencia a la barra de igual nombre como conservando en esta forma el servicio del circuito respectivo durante el mantenimiento del interruptor o fallas del mismo, siempre y cuando no exista fallas en el circuito, lo que demuestra la buena confiabilidad que la configuración presenta bajo estas circunstancias. Si la barra principal se divide por medio de un seccionador, para cada parte de ella, y el interruptor de transferencia se coloca entre los dos seccionadores, se tiene la posibilidad de hacer mantenimiento de barras dejando sin servicio únicamente la mitad de la subestación, y aún se puede mantener en servicio por medio del interruptor de transferencia y la barra de transferencia uno de los circuitos dientes a la barra que se quiere aislar, lográndose en esta forma alguna flexibilidad punto además coma con el seccionamiento se logra alguna confiabilidad por fallas en el barraje. [21]

Esta configuración es económica en costo inicial y final a pesar de existir interruptor de transferencia. Es posible también en casos especiales usar la barra de transferencia como fuente de paso de una línea que entra a la subestación y vuelve a salir de ella. Por otra parte, una falla en el barraje o en un interruptor cerca de servicio toda la subestación o en

el circuito asociado al interruptor hasta que pueda aislarse la falla, lo cual implica falta de seguridad de la configuración.

Esta configuración es muy utilizada en subestaciones de centrales de generación de mediana importancia, así como en subestaciones de transformación. [21]

### 1.3. Doble barra

Para aumentarle la flexibilidad a la barra sencilla se puede adicionar una segunda barra principal y un interruptor para el acoplamiento de las dos barras conformándose así una configuración llamada doble barra. [21]

Esta configuración es flexible pues permite separar circuitos en cada una de las barras así dividir sistemas; además, tiene confiabilidad, pero no seguridad por falla en barras y en interruptores; es posible también hacer mantenimiento en barras sin suspender el servicio y por ello se usa en áreas de alta contaminación ambiental. Se adapta muy bien a sistemas muy enmallados en donde es necesario disponer de flexibilidad; debido a esta flexibilidad se puede usar el acople como seccionador de barras, permitiendo así conectar a una y otra barra circuitos provenientes de una misma fuente sin necesidad de hacer crecer de las líneas a la entrada de la subestación. Tiene la ventaja adicional, sobre el seccionamiento longitudinal en las configuraciones anteriores, de que la conexión de un circuito a una barra u otra puede ser efectuada en cualquier momento dependiendo de circunstancias o consignas operativas del sistema. [21]

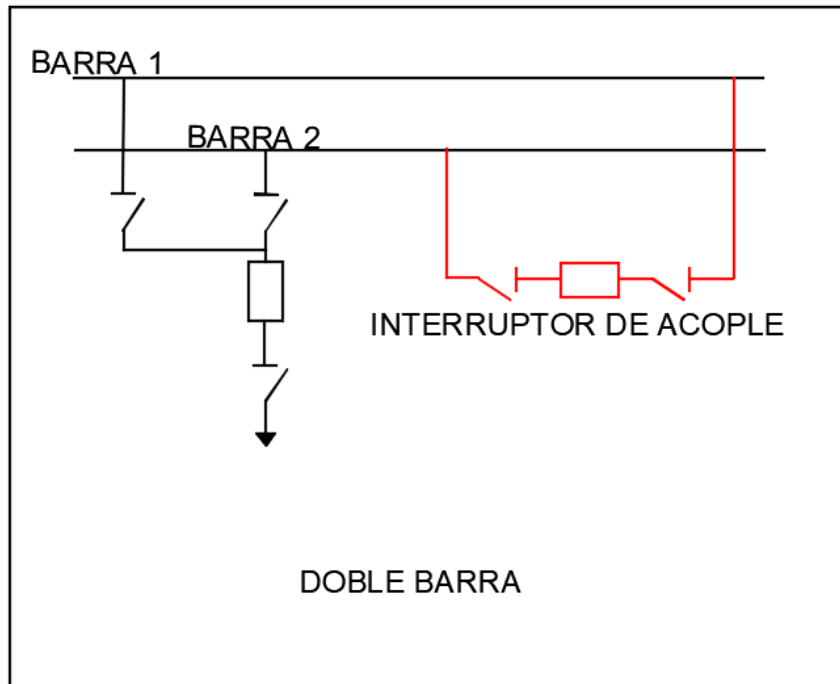


Figura 42. Configuración de Doble barra

En el diseño es necesario considerar que las dos barras deben tener la misma capacidad total de la subestación; el interruptor de acople hace parte de los barrajes y por lo tanto debe tener la misma capacidad que estos o, por lo menos, la capacidad equivalente a la máxima transferencia posible entre los dos barrajes en cualquier topología de la subestación. Además, se deben tener especial cuidado con el tipo de la protección diferencial de barras que se requiere utilizar. Los transformadores de corriente pueden estar localizados adyacentes a los interruptores, el campo de acoplamiento requiere

transformadores de corriente para la protección diferencial de barras. Para el mantenimiento de interruptores es necesario suspender el servicio de la respectiva salida. Sin embargo, cuando el sistema es muy enmallado y diseñado para la operación continúa durante la salida de un circuito. La desconexión de un circuito no tiene mucho efecto en su comportamiento. [21]

#### 1.4. Doble barra más seccionador de by-pass o paso directo

Reúne, pero no simultáneamente, las características de la barra principal y transferencia y la doble barra. Esto se logra a partir de la doble barra conectando un seccionador de by-pass o paso directo al interruptor de cada salida y adicionando además otro seccionadores adicionales se puede operar la subestación, complementariamente a la operación normal de doble barra, con una barra siendo la principal y la otra de transferencia, utilizando el interruptor de acoplamiento como de transferencia para uno cualquiera de los interruptores de línea que se encuentre en mantenimiento. Cuando se tienen circuitos conectados a una y otra barra no es posible hacer mantenimiento. Cuando se tienen circuitos conectados a una y otra barra no es posible hacer mantenimiento a interruptores sin suspender el servicio, pues para ello se necesita que una de las barras estuviera completamente libre para usarla como barra de transferencia, no presentándose así conjuntamente las propiedades de flexibilidad y confiabilidad. [21]

Esta configuración requiere un mayor número de equipos por campo, presentándose Asimismo una más elevada posibilidad de operación incorrecta durante las maniobras. por lo general, a esta configuración no se le explota su flexibilidad, pues se usa una de las barras como simple barra de reserva y/o transferencia, no compensan 12 Así la alta inversión que ella implica. La configuración de doble barra con seccionador de bypass permite además algunas variantes entre las cuales se pueden mencionar la partición de una de las barras mediante interruptor o seccionador, localización de interruptores de acople en una o ambas Mitades de la barra seccionada, etc., pero esto hace la subestación más costosa y más compleja en su operación. [21]

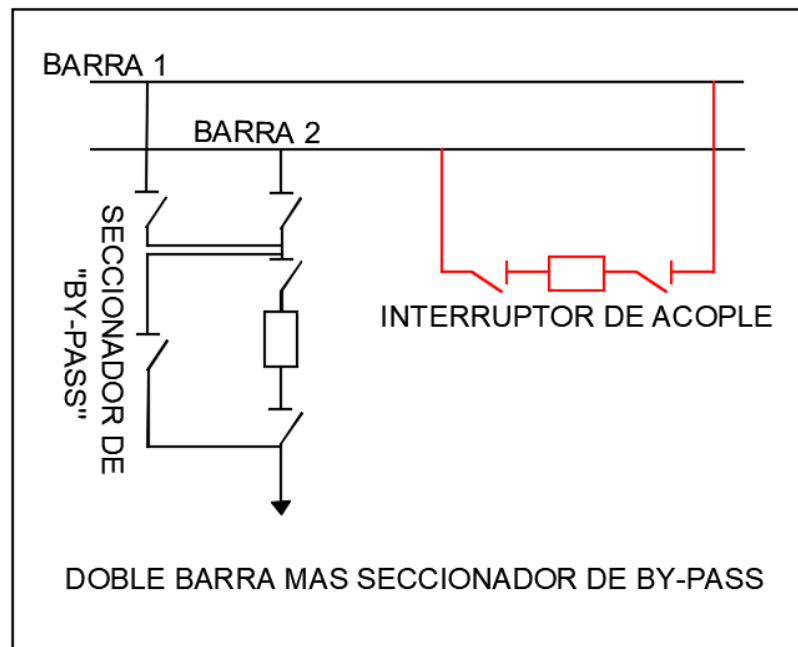


Figura 43. Configuración de Doble barra más seccionador de By-Pass



### 1.5. Doble barra más seccionador de transferencia

Esta configuración es una variante de la anterior, pero utilizando un seccionador menos. Para lograr esta configuración en forma práctica se requiere la utilización de seccionadores del tipo pantógrafo o semipantógrafo (en donde la conexión o desconexión se efectúa verticalmente) seccionadores instalados en los pórticos de la subestación en por lo menos una de las conexiones a las barras. Tiene las mismas características generales de la doble barra con seccionador de bypass. [21]

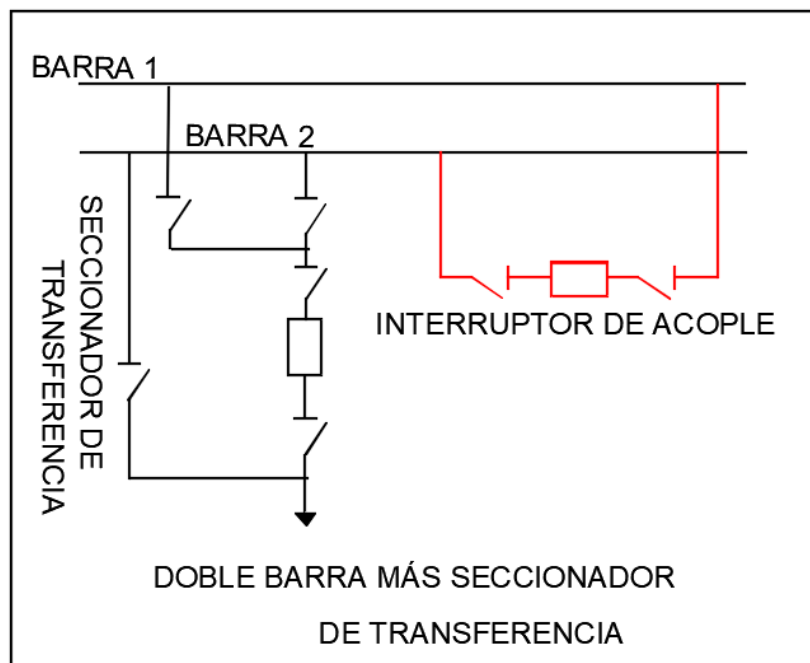


Figura 44. Configuración de doble barras más seccionador de transferencia

### 1.6. Doble barra más barra de transferencia

Esta es una combinación de la barra principal y de transferencia y la doble barra, ya que se tienen 2 barras principales más una de transferencia, dando como resultado un arreglo que brinda simultáneamente con fiabilidad y flexibilidad. [21]

Normalmente no se usan dos interruptores para las funciones de acople y transferencia, o es respectivamente, pudiéndose así efectuar en forma simultánea ambas operaciones. En algunos casos se utiliza un solo interruptor para las dos operaciones, perdiéndose así la función fundamental de las tres barras con lo cual se asimila esta configuración a las dos anteriores; sin embargo, cuando se prefiere dejar uno de los barrajes como reserva se puede disponer de un solo interruptor con lo cual la solución muy económica. [18]

En el diseño se deben tener en cuenta lo estipulado anteriormente para la barra principal y de transferencia y la doble

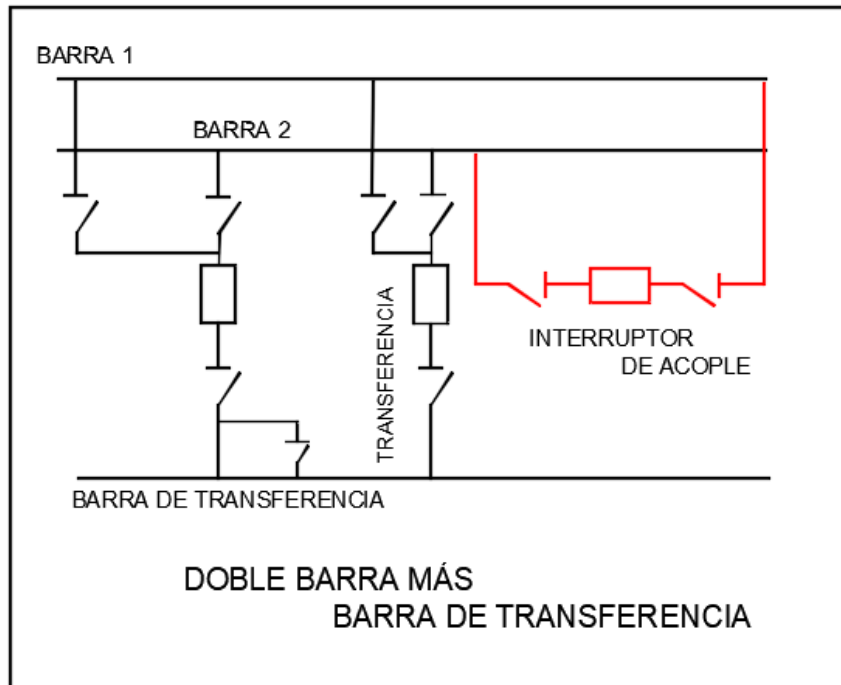


Figura 45. configuración de doble barra más barra de transferencia

En Europa, esta disposición encuentra un campo de aplicación muy amplio a nivel de 220kV. Como desventaja puede anotarse que requiere una mayor área en comparación con las otras configuraciones anteriores. [18]

## 2. CONFIGURACIONES DE CONEXIÓN DE INTERRUPTORES- TENDENCIA AMERICANA

Por configuraciones de conexión de interruptores se entienden aquellas en las cuales los circuitos se conectan a las barras o entre ellas por medio de interruptores. Estas configuraciones incluyen la barra sencilla, el anillo, el interruptor y medio. El anillo cruzado, y la doble barra con doble interruptor, lo mismo que otras versiones que son poco prácticas y por ellos no serán descritas. [21]

### 2.1. Anillo

Esta configuración no existe una barra colectora como tal, la conexión de los circuitos se realiza sobre un anillo conformado por interruptores, con los circuitos conectados entre cada dos de ellos. Para aislar un circuito es necesaria la apertura de dos interruptores correspondientes, abriéndose así el anillo. Cuando se requiere aislar un circuito por un período largo, se debe abrir el seccionador de conexión del mismo para poder cerrar los interruptores asociados a dicho circuito y así dar continuidad al anillo. [21]

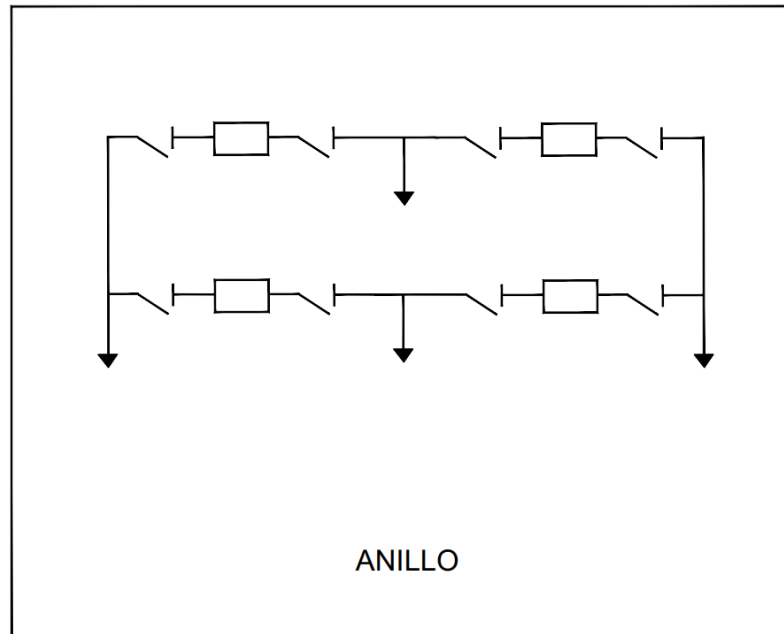


Figura 46. Configuración de anillo

Es una configuración económica y segura, además de confiable, pero sin flexibilidad. Es segura y confiable, pero permitir continuidad de servicio por falla o durante mantenimiento de un interruptor, ya que cada línea o circuito está asociado a dos interruptores. El principal inconveniente consiste en que, el caso de falla en un circuito mientras se hace mantenimiento en otro, el anillo puede quedar / y presentar falta de servicio para alguna de las partes o perderse la seguridad en el sistema. Para cumplir la función de seguridad y confiabilidad para los cuales esta estación fue ideada, es necesario operarla con todos los interruptores cerrados; por lo tanto, bajo el punto de vista de la flexibilidad la subestación es similar a una barra sencilla. [18]

La aplicación de la disposición en anillo exige especial cuidado en lo referente a ciertos aspectos como la operación de los interruptores con la falla en una salida, el recierre automático, lo protección lo mismo que la protección y la medida. El daño de un interruptor durante la falla en uno de los circuitos de salida, origina la pérdida de otro circuito debido a la operación de la protección contra falla de interruptores. El sistema en anillo es muy utilizado en los Estado Unidos de América para todo tipo de subestaciones y a nivel mundial para subestaciones encapsuladas en SF6 en AT y EAT. [21]

## 2.2. Interruptor y medio

Esta configuración debe su nombre al hecho de existir tres interruptores por cada dos salidas. un grupo de tres interruptores, ya, se conecta entre los dos barrajes principales. se puede hacer mantenimiento a cualquier interruptor o barra sin suspender el servicio y sin alterar el sistema de protección; al, una falla en un barraje no interrumpe el servicio a ningún circuito, presentando así un alto índice de confiabilidad y de seguridad tanto por falla en los interruptores como en los circuitos y en las barras. Normalmente se opera con ambas barras energizadas y todos los interruptores cerrados y, por tal motivo, no es flexible; además, el tener dos barras no significa que los circuitos pueden ser conectados independientemente a cualquiera de ellas manteniendo la configuración, como es el caso de la doble barra. [21]

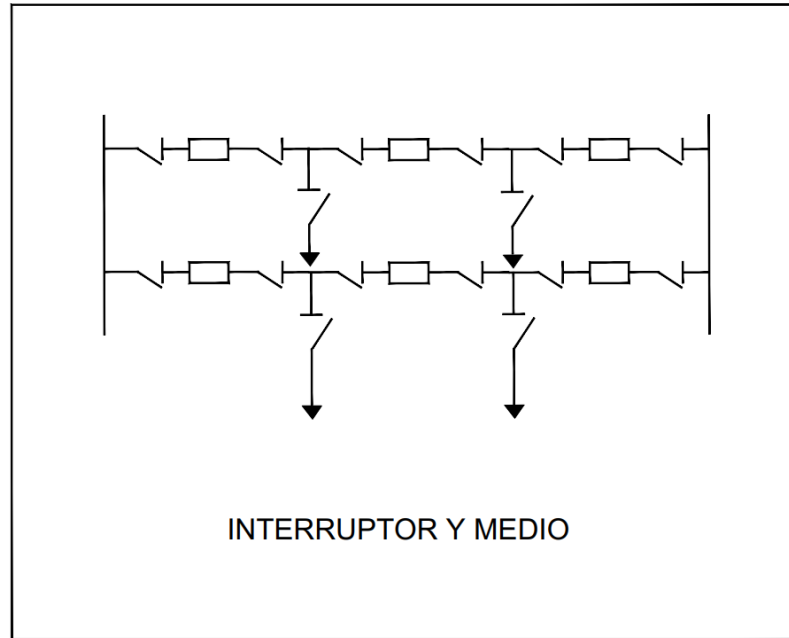


Figura 47. Configuración de interruptor y medio

Como en el caso del anillo, la desconexión de un circuito implica la apertura de dos interruptores. La protección y el recierre automático se dificultan por el hecho de que el interruptor intermedio debe trabajar con uno u otro de los circuitos asociados. Por, la falla de un interruptor en el peor de los casos sólo saca de servicio un circuito adicional. [21]

Estas configuraciones admiten ciertas modificaciones para ahorrar alguna cantidad de equipos en salidas para transformadores, colocando un solo interruptor por campo y un seccionador a modo de transferencia conectado directamente a los transformadores a las barras. [21]

La disposición de interruptor y medio es bastante utilizada en países no europeos, particularmente en los Estado Unidos de América, parado todo tipo de subestación y a nivel mundial para subestaciones encapsuladas en SF6 en AT y EAT. [21]

### 2.3. Doble barra con doble interruptor

En esta configuración se duplican tanto las barras como los interruptores de cada circuito. Presenta la mayor seguridad, tanto por fallas en barras como interruptores, entre todas las configuraciones y gran libertad para operación, para trabajos de revisión y mantenimiento. Para lograr la mayor seguridad, cada circuito se conecta a ambas barras o sea que la aplicación normal es con todos los interruptores cerrados y las dos barras energizadas. En algunos casos, los circuitos se pueden separar en dos grupos conectándose cada uno a una barra; en tal condición, la falla en una de las barras saca de servicio todo lo que está conectado a ella perdiéndose la seguridad que brinda la operación normal y no justificándose el extra costo con respecto a una doble barra. [21]

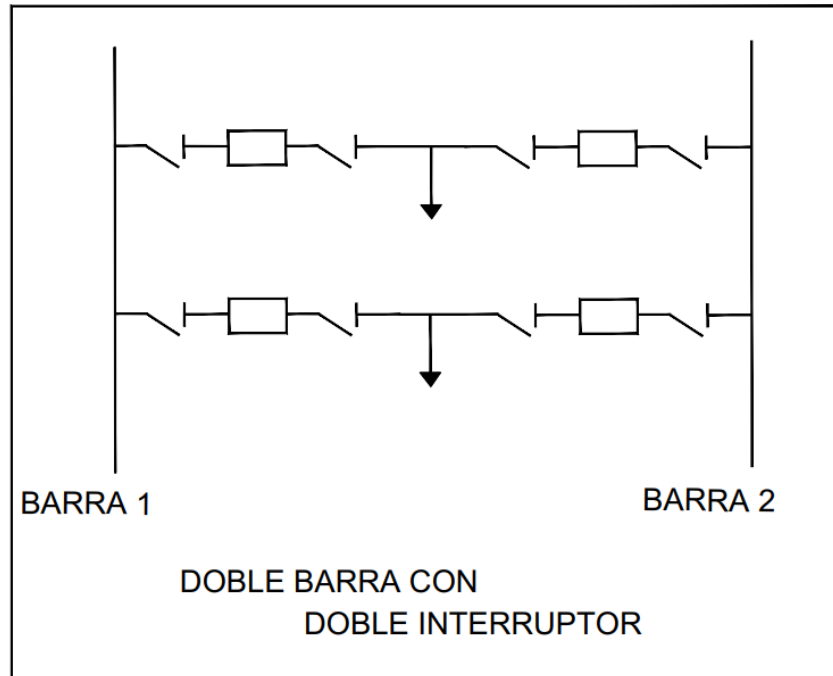


Figura 48. Configuración doble barra con doble interruptor

Es la más costosa de todas las configuraciones a expensas de su seguridad desde el punto de vista del suministro, por lo cual su adopción en un caso particular requiere una justificación cuidadosa. También, con configuración de interruptor y medio, esta puede sufrir de modificaciones para la conexión de los transformadores directamente a barras. [21]

#### 2.4. Anillo cruzado

Las anteriores configuraciones de conexión de interruptores han probado proveer una mayor confiabilidad que las configuraciones de conexión de barras, debido básicamente a que cada circuito de salida está conectado al resto de la instalación por dos interruptores en 'paralelo'. [21]

La de puedes no puede ser incremento es en paralelo en lugar de dos. Esto puede ser ejecutado de muchas formas, siendo la más factible lograr desde el punto de vista práctico, la configuración en anillo cruzado. La cantidad requerida de interruptores es  $(n+n/2)$ , en donde  $n$  es el número de nodos, siendo esta cantidad la misma requerida por la configuración de interruptor y medio. Cuando se tiene un número impar de nodos, se puede introducir un nodo 'ficticio' tal como se hace para el interruptor y medio. La operación normal de la subestación es con todos los interruptores cerrados. [21]

Esta configuración fue ideada por ingenieros de la firma BBC a principios de la década de 1980.

### 3. SELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE UNA SUBESTACIÓN

Para la selección de una subestación se deben conocer los siguientes aspectos: [21]

- Oficio que desempeña la subestación en el sistema de potencia para determinar el grado de flexibilidad, confiabilidad y seguridad que requiere.

- Tipo de subestación, es decir: generación, transformación o maniobra, o bien cuál de estas funciones es prioritaria si en un caso dado ocurren más de una.
- Características de las diferentes configuraciones
- Facilidad de extensión y modulación de acuerdo con la planeación y normalización de la empresa
- Simplicidad en el control de protección
- Facilidad de mantenimiento
- Área disponible
- Costos

### 3.1. Oficio que desempeña la subestación en el sistema de potencia

Cuando se planea selección una subestación se debe analizar como parte integral de todo el sistema, de tal forma que por fallas no se afecte la seguridad o capacidad operativa del sistema, Una subestación debe disponer de una mayor o menor grado de flexibilidad, confiabilidad o seguridad. [21]

A continuación, se muestra una comparación de confiabilidad de subestaciones.

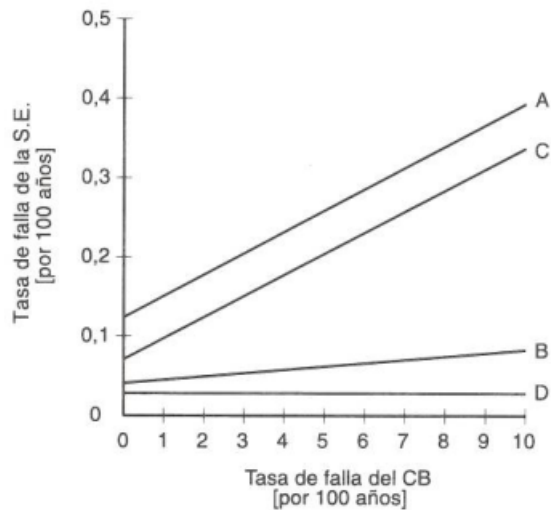


Figura 49. Tasa de falla de una subestación de distribución en función de la tasa de falla de los interruptores. [21]

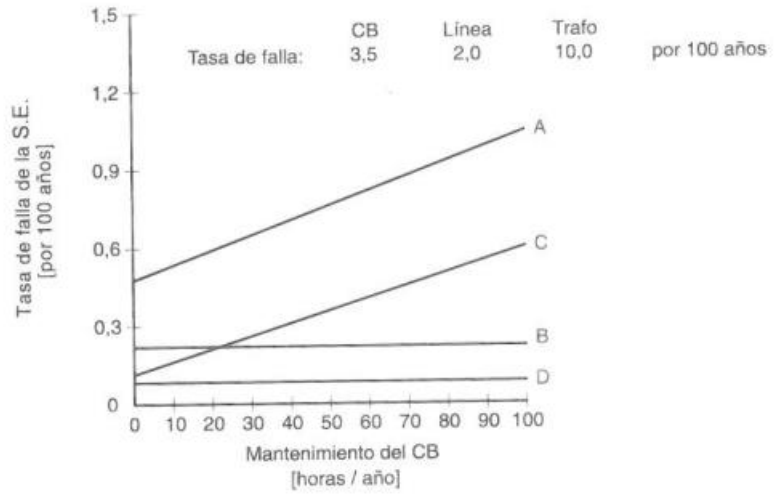


Figura 50. Tasa de falla de una subestación de distribución teniendo en cuenta el tiempo de mantenimiento de los interruptores. [21]

### 3.1.4 MÓDULO 4: COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO, DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD

En el siguiente modulo se describen los parámetros para la selección de los niveles de aislamiento y coordinación de estos en las subestaciones de alta y extra-alta tensión.

#### DEFINICIONES

Los siguientes términos se extrajeron del libro Subestaciones de alta y extra alta tensión del Mejía Villegas S.A:

- **Aislamiento externo:** son las distancias en el aire y las superficies en contacto con el aire del aislamiento sólido del equipo, que están sujetas a los esfuerzos dieléctricos y a los efectos atmosféricos y otras condiciones externas.
- **Aislamiento interno:** son las partes internas sólidas, líquidas o gaseosas del aislamiento del equipo, las cuales están protegidas de los efectos atmosféricos y otras condiciones externas.
- **Aislamiento auto-regenerativo:** el aislamiento que recobra completamente sus propiedades de aislamiento después de una descarga disruptiva.
- **Aislamiento no auto-regenerativo:** el aislamiento que pierde sus propiedades de aislamiento, o no las recobra completamente, después de una descarga disruptiva.
- **Clasificación de tensiones y sobretensiones:** de acuerdo con su forma y duración, las tensiones y sobretensiones se dividen en las siguientes clases:
  - **Tensión continua:** tensión a frecuencia industrial, que se considera que tiene un valor R.M.S constante, continuamente aplicado a cualquier par de terminales de una configuración de aislamiento.
  - **Sobretensión temporal:** sobretensión a frecuencia industrial de duración relativamente larga.
  - **Sobretensión transitoria:** sobretensión de corta duración de unos pocos milisegundos o menos, oscilatoria o no oscilatoria, por lo general altamente amortiguada. Las sobretensiones transitorias son divididas en:
    - **Sobretensión de frente lento:** usualmente unidireccional, con tiempo de pico  $20\mu s < T_p < 5000\mu s$
    - **Sobretensión de frente rápido:** usualmente unidireccional, con tiempo de pico  $0.1\mu s < T_1 < 20\mu s$ .
    - **Sobretensión de frente muy rápido:** usualmente unidireccional, con tiempo de pico  $T_f < 0.1\mu s$  con duración total de  $< 3\mu s$
    - Sobretensión combinada: consiste de dos componentes de tensión aplicadas simultáneamente entre cada par de terminales de fase de un aislamiento fase-fase y tierra. Esta sobretensión está clasificada por la componente con el valor pico más alto.
- **Configuración de aislamiento:** la configuración geométrica completa consistente del aislamiento y de todos los terminales. Esto incluye todos los elementos los cuales tienen influencia en su comportamiento dieléctrico. Se identifican las siguientes configuraciones de aislamiento.
  - **Trifásico:** consiste en tres terminales de fase, un terminal de neutro y un terminal de tierra.
  - **Fase-tierra:** es una configuración de aislamiento trifásico en la cual dos terminales de fase no se tienen en cuenta y, excepto en casos particulares, el terminal de neutro es aterrizado.



- **Fase-fase:** es una configuración de aislamiento trifásica donde un terminal de fase no se considera. En casos particulares, los terminales de neutro y tierra tampoco se consideran.
- **Longitudinal:** teniendo dos terminales de fase y un terminal de tierra. Los terminales de fase pertenecen a la misma fase de un sistema trifásico temporalmente separado en dos partes energizadas independientemente.
- **Coordinación de aislamiento:** es la selección de la rigidez dieléctrica de un equipo en relación con las tensiones que pueden aparecer en el sistema en el cual el equipo operara tomando en cuenta las condiciones de servicio y las características de los equipos de protección contra sobretensiones disponibles.
- **Formas de tensión normalizados:**
  - Tensión normalizada de corta duración a frecuencia industrial: tensión senoidal con frecuencia entre 48Hz y 2Hz y duración de 60s.
  - Impulso de maniobra normalizado: impulso de tensión que tiene un tiempo de pico de 250  $\mu$ s y un tiempo de mitad de onda de 2500 $\mu$ s.
  - Impulso atmosférico normalizado: impulso de tensión que tiene un tiempo de frente de 1.2 $\mu$ s y un tiempo de mitad de onda de 50  $\mu$ s.
- **Tensión de soportabilidad:** es el valor de la tensión de prueba a ser aplicado bajo condiciones específicas en una prueba de soportabilidad, durante la cual se tolera un número específico de descargas disruptivas. La tensión de soportabilidad se define como:
  - Tensión de soportabilidad asumida convencional: cuando el número de descargas disruptivas toleradas es cero. Corresponde a una probabilidad de soportabilidad  $P_w=100\%$
  - Tensión de soportabilidad estadística: cuando el número de descargas disruptivas toleradas está relacionado con una probabilidad de soportabilidad especificada la probabilidad es  $P_w=90\%$
- **Sistema de neutro aislado:** un sistema donde el punto de neutro no es conectado a tierra intencionalmente. Excepto para conexiones de alta impedancia con propósitos de media o protección
- **Sobretensión:** cualquier tensión entre un conductor de fase y tierra o entre conductores de fase cuyo valor pico de la tensión más alta del equipo.
- **tensión de soportabilidad normalizada,  $U_w$ :** valor normalizado de la tensión de prueba aplicada en un ensayo de soportabilidad normalizado. Este es el valor asignado del aislamiento y prueba que el aislamiento cumple con una o más tensiones de soportabilidad requeridas.

## 1. SOBRETENSIONES

Las sobretensiones son el aumento de la tensión en la red eléctrica medido entre dos fases, estas pueden producir daños en la instalación y en los equipos eléctricos. Pueden ser transitorias y permanentes.

### 1.1. Causas

Las sobretensiones pueden ser provocadas de dos formas de acuerdo con su naturaleza.

**Sobretensiones por descargas atmosféricas:** debido a las tormentas eléctricas que se presentan habitualmente en el planeta estas son peligrosas ya que, al impactar, el rayo provoca un impulso de corriente que llega a alcanzar decenas de miles de amperios esta descarga genera una sobretensión den el sistema eléctrico. [40]

**Sobretensiones de conmutación:** Estas sobretensiones son generadas en las líneas eléctricas, fundamentalmente debido a estos motivos: [40]

- Conmutación de maquinaria de gran potencia como los motores eléctricos son cargas inductivas que por medio de la conexión y desconexión provocan sobretensión.
- Maniobras y/o defectos en el suministro eléctrico como los son cortocircuitos en un punto de la red, donde actúan las protecciones presentes que tratan de reengancharse por si una fuera una falta transitoria.
- Sobretensiones conducidas, como sería un rayo el cual al impactar directamente en las líneas aéreas propaga una sobretensión la cual llega al usuario derivándose a tierra a través de sus equipos y produciendo averías.
- Sobretensiones inducidas: el campo electromagnético que provocan las descargas eléctricas induce corrientes transitorias en los equipos próximos.
- Sobretensiones por acoplamiento capacitivo: siempre va a existir un acoplamiento capacitivo, entre cualquier pareja de conductores esto genera sobretensiones y de acuerdo a cuanto mayor sea la rapidez de la forma de onda será la de tensión implicada.

## 1.2. Daños

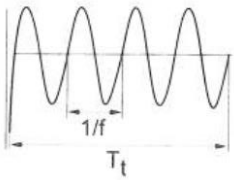
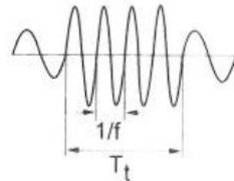
Las sobretensiones de gran magnitud pueden dañar componentes tales como placas de circuitos, transistores con bajo aislamiento y otros elementos afectando directamente la instalación eléctrica creando interrupciones de las operaciones de sistemas, perdida y corrupción de datos, fallos en los sistemas computo. [40]

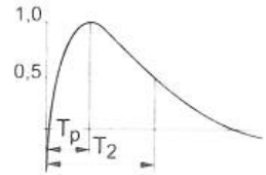
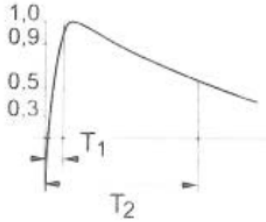
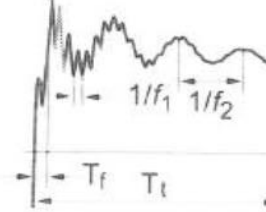
## 2. Tipos de sobretensiones

De acuerdo con la norma IEC 60071-1 se clasifican los esfuerzos a los cuales serán sometidos los equipos a partir de las características propias tales como la duración de la tensión a frecuencia industrial o la forma de onda de las sobretensiones, esto en función del efecto sobre el aislamiento o sobre el equipo de protección. [21]

A continuación, se muestran los esfuerzos clasificados.

Tabla 5. Clases y formas de tensiones y sobretensiones. 0.- [21]

Clase	Forma de la tensión	Rango de las formas de la tensión	Forma de onda normalizada	Prueba de soportabilidad normalizada
Continua		$f = 50\text{Hz}; 60\text{Hz}$ $T \geq 3600\text{s}$	$f = 50\text{Hz}; 60\text{Hz}$	*
Temporal		$10\text{Hz} < f < 500\text{Hz}$ $3600 \geq T \geq 0.03\text{s}$	$48\text{Hz} < f < 60\text{Hz}$ $T = 60\text{s}$	Prueba de corta duración a frecuencia industrial

Frente lento		$5000\mu s < f < 20\mu s$ $T_1 \leq 20\mu s$	$T_1 = 250\mu s$ $T_1 = 2500\mu s$	Prueba con impulso de maniobra
Frente rápido		$20\mu s > T > 20\mu s$ $T_1 \leq 300\mu s$	$T_1 = 1.2\mu s$ $T_1 = 50\mu s$	Prueba con impulso atmosférico
Frente muy rápido		$100ns < T < 3ns$ $T_1 \leq 3\mu s$		

- **Tensiones continuas con frecuencia industrial:** originadas por la operación del sistema en condiciones normales.
- **Sobretensiones temporales:** pueden originarse por fallas, maniobras tales como rechazo de carga, condiciones de resonancia, no linealidades o por la combinación de estas.
- **Sobretensiones de frente lento:** pueden originarse por fallas, maniobras o por descargas atmosféricas directas sobre los conductores de las líneas aéreas.
- **Sobretensiones de frente rápido:** pueden originarse por fallas o maniobras en subestaciones aisladas en gas.
- **Sobretensiones de frente muy rápido:** pueden originarse por fallas o maniobras en subestaciones aisladas en gas.
- **Sobretensiones combinadas:** pueden tener algún origen de los mencionados anteriormente. Ocurren entre las fases del sistema o en la misma fase entre partes separadas del sistema.

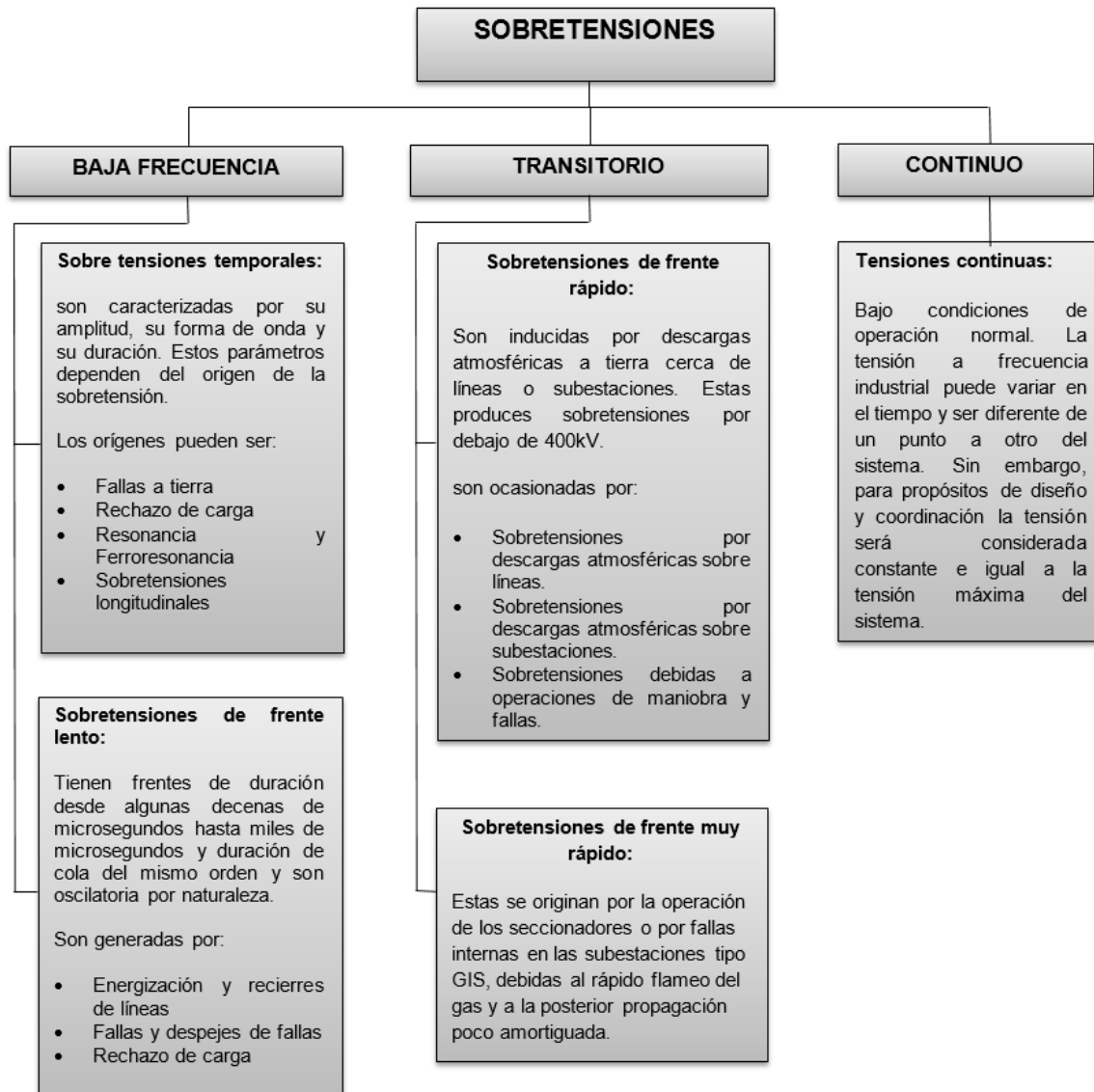


Figura 51. Tipos de sobretensiones. [21]

### 3. NIVELES DE AISLAMIENTO NORMALIZADOS

Los niveles de tensión normalizados están asociados a la tensión máxima para los equipos, esto de acuerdo con el rango donde se encuentre.

Para los sistemas con tensiones bajas se pudo normalizar unos pocos niveles aislamiento, en algunos casos solo un valor para cada sistema de tensión, ya que estos sistemas están bien establecidos y a que el costo del aislamiento es comparativamente bajo. Mientras que para un nivel de tensión relativamente alto se logró obtener un amplio catálogo de niveles de aislamiento para un diseño económico.

Los niveles de aislamiento normalizado por la IEC de acuerdo con la clasificación por el nivel de tensión asignado para aislamiento fase-fase y longitudinal son:

Tabla 6. niveles de aislamiento normalizados por la IEC. [21]

Clasificación	Rango I	Rango II
Aislamiento fase-fase	Las tensiones fase-fase de soportabilidad de frecuencia industrial de corta duración e impulso atmosférico son iguales a las tensiones de soportabilidad fase-tierra respectivas.	Las tensiones de soportabilidad normalizada al impulso atmosférico son igual al impulso atmosférico fase-tierra.
Aislamiento longitudinal	Las tensiones de soportabilidad normalizadas a frecuencia industrial de corta duración y al impulso atmosférico son iguales a las respectivas tensiones de soportabilidad fase-tierra.	El componente del impulso de maniobra normalizado de la tensión de soportabilidad combinada este dado con el valor pico de la componente de la frecuencia industrial de polaridad opuesta igual a $\sqrt{2} \frac{U_m}{\sqrt{3}}$

Tabla 7. NIVELES de aislamiento normalizado para tensiones asignadas del rango 1. [21]  
 **$1kV < U_m \leq 245kV$**

Tensión máxima del equipo $U_m$ [kV] (valor eficaz)	Tensión de soportabilidad normalizada de corta duración a frecuencia industrial [kV] (valor eficaz)	Tensión de soportabilidad normalizada al impulso tipo rayo [kV] (valor pico)
3,6	10	20
		40
7,2	20	40
		60
12	28	60
		75
		95
17,5	38	75
		95
		95
24	50	95
		125
		145
36	70	145
		170
52	95	250
72,5	140	325
123	(185)	450
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
	275	650
170	(230)	(550)
	275	650
	325	750
245	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1 050

Tabla 8. Niveles de aislamiento normalizado para las tensiones asignadas del rango II.  
 $U_m > 245kV$  [21]

Tensión máxima del equipo $U_m$ [kV] (valor eficaz)	Tensión de soportabilidad normalizada al impulso tipo maniobra			Tensión de soportabilidad normalizada al impulso tipo rayo [kV] (valor pico)
	Aislamiento longitudinal <sup>(2)</sup> [kV] (valor pico)	Fase-tierra [kV] (valor pico)	Fase-fase (relación con el valor pico fase-tierra)	
300	750	750	1,50	850
				950
	750	850	1,50	950
				1 050
362	850	850	1,50	950
				1 050
	850	950	1,50	1 050
				1 175
420	850	850	1,60	1 050
				1 175
	950	950	1,50	1 175
				1 300
	950	1 050	1,50	1 300
				1 425
525 <sup>(3)</sup>	950	950	1,70	1 175
				1 300
	950	1 050	1,60	1 300
				1 425
	950	1 175	1,50	1 425
				1 550
765 <sup>(3)</sup>	1 175	1 300	1,70	1 675
				1 800
	1 175	1 425	1,70	1 800
				1 950
	1 175	1 550	1,60	1 950
				2 100

Para definir el nivel de aislamiento del equipo solo se requieren dos tensiones de soportabilidad normalizadas. [21]

Para equipo en rango I:

- La tensión de soportabilidad normalizada al impulso atmosférico.
- La tensión de soportabilidad normalizada a frecuencia industrial de corta duración.

Para equipo de rango II:

- La tensión de soportabilidad normalizada al impulso de maniobra.
- La tensión de soportabilidad normalizada al impulso atmosférico.

#### 4. MECANISMOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRE TENSIONES

Normalmente se encuentran dos tipos de mecanismos de protección contra sobretensiones:

- Pararrayos del tipo normalizado no lineal con descargadores en serie.
- Pararrayos de óxido metálico sin descargadores.

Estos se encuentran estandarizados por la IEC. Para escoger entre varios mecanismos con diferente nivel de protección se debe tener en cuenta varios factores como, por ejemplo: la importancia del equipo a ser protegido y las consecuencias por la interrupción del equipo. Los mecanismos de protección se diseñan para limitar la magnitud de las sobretensiones a un valor que no debe ser excedido en el equipo. [21]

A continuación, se muestran algunas características de protección de los pararrayos.

Tabla 9. Características de protección contra sobretensiones. [21]

Protección	Frente Rápido	Frente lento
Pararrayos de resistencia no lineal con descargadores en serie	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tensión de cebado para impulso tipo atmosférico normalizado.</li> <li>– Tensión residual a la corriente de descarga asignada seleccionada.</li> <li>– Máxima tensión de cebado con impulso de 1.2/5.0<math>\mu</math>s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– El nivel de protección al impulso de maniobra de un pararrayos es la máxima tensión de cebado.</li> <li>– Con descargadores activos la tensión total mostrada por el pararrayos debe ser menor que la tensión de cebado.</li> </ul>
Pararrayos de óxido metálico sin descargadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tensión residual a la corriente de descarga nominal seleccionada.</li> <li>– Tensión residual al impulso escarpado de corriente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– El nivel de protección al impulso se toma como la máxima tensión residual al impulso de corriente de maniobra especificado.</li> <li>– La evaluación del nivel de protección da un valor que generalmente representa una aproximación aceptable.</li> </ul>
Explosores	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La protección contra sobretensiones está definida por la característica tensión-tiempo del explosor, la forma de onda y la variación de tensión de cebado.</li> </ul>	

## 5. COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO

Se define coordinación de aislamiento al ordenamiento de los niveles de aislamiento en los diferentes equipos de una instalación eléctrica, de tal manera que la presentarse una falla, esta se descargue a través del elemento de protección adecuado más cercano, como pueden ser el explosor o el pararrayos, sin producir arcos eléctricos ni afecte a los equipos adyacentes. [23]

La coordinación de aislamiento compara las características de operación de un pararrayos, de acuerdo a sus curvas de tensión-tiempo, contra las características de respuesta de aislamiento del equipo a proteger, dadas también por sus curvas tensión-tiempo. La coordinación de aislamiento se refiere a la correlación entre los esfuerzos dieléctricos aplicados y los esfuerzos dieléctricos resistentes. [23]

En un sistema eléctrico existen tres niveles de aislamiento.

Tabla 10. Niveles de aislamiento. [23]

Nivel	Descripción
Nivel I (Nivel alto)	Se utiliza en los aislamientos internos, no auto recuperables de aparatos como transformadores, cables o interruptores.
Nivel II (Nivel medio o de seguridad)	Está constituido por el nivel de aislamiento auto recuperable de las partes vivas de los diferentes equipos que están en contacto con el aire. Este nivel se adecua de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar.
Nivel III (Nivel bajo o de protección)	Está constituido por el nivel de tensión de operación de los explosores de los pararrayos de protección.

El aislamiento puede fallar mediante tres pasos principales: [21]

- La ionización inicial en uno o varios puntos.
- El crecimiento de un canal ionizado a través de la distancia de aislamiento.
- Aparición del arco y la transición de una descarga auto mantenida.

Algunos factores tienen influencia en la rigidez dieléctrica. [21]

- La magnitud, forma, duración y polaridad de la tensión aplicada.
- La distribución del campo eléctrico en el aislamiento: campo eléctrico homogéneo o no homogéneo, electrodos adyacentes a la distancia de aislamiento considerada y su potencial.
- La deformación del aislamiento bajo esfuerzo, efectos químicos, efectos de la superficie del conductor.

El aislamiento tiene diferentes características dependiendo del medio en el que se encuentre:

El aislamiento en aire puede fallar dependiendo de la configuración de la distancia de aislamiento como de la polaridad y la forma de onda de la tensión aplicada, además, las condiciones atmosféricas afectan la resistencia de aislamiento. [21]

En aislamiento líquido, las impurezas y las burbujas causadas por efectos físicos y químicos o por descargas locales, pueden reducir drásticamente la rigidez del aislamiento. Por ende, es importante notar la degradación química del aislamiento puede tender a aumentar con el tiempo. [21]

### **Procedimiento para la coordinación de aislamiento**

Para determinar la coordinación de las tensiones de soportabilidad se debe seleccionar el valor más bajo de las tensiones soportadas por el aislamiento que cumplan con el criterio de desempeño cuando el aislamiento está sujeto a las sobretensiones respectivas en condiciones de servicio.



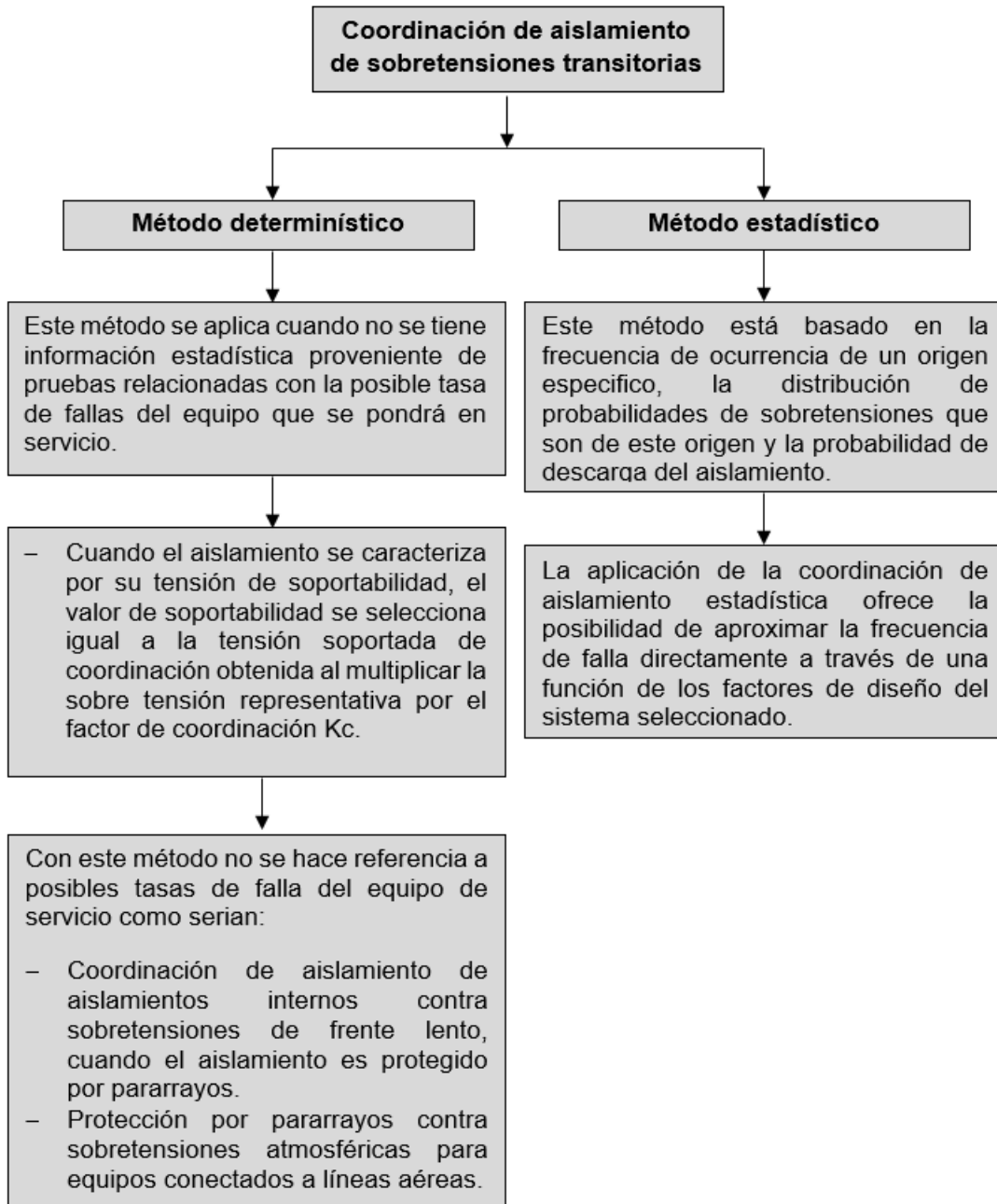


Figura 52. Procedimiento para coordinación de aislamiento. [21]

A partir de estos dos métodos se derivan diversos procedimientos para la coordinación de aislamiento:

- Procedimiento para la coordinación de aislamiento para sobretensiones de frente lento.
- Procedimiento para la coordinación de aislamiento para sobretensiones de frente rápido.

## 6. DISTANCIAS MÍNIMAS EN EL AIRE Y DISTANCIAS DE SEGURIDAD

En este apartado se realiza un análisis sobre el dimensionamiento de las distancias mínimas en aire que se deben tener en las subestaciones exteriores que cuenten con aislamiento en aire, para garantizar el adecuado nivel de aislamiento, se deben fijar las distancias a través del aire, entre partes vivas de fases diferentes y entre parte viva de fase y tierra teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas, los requerimientos de seguridad, el mantenimiento de la instalación para tener sustancialmente distancias mayores. [21]

Algunos términos importantes: [21]

- **Distancias mínimas en el aire:** todos aquellos valores que garantizan la soportabilidad dieléctrica de la subestación ante los impulsos de tensión tipo rayo, maniobra o sobretensiones a frecuencia industrial.
- **Distancias de seguridad:** distancias mínimas que deben ser mantenidas en el aire entre partes energizadas de equipos conductores y tierra, o entre equipos conductores sobre los cuales es necesario llevar a cabo un trabajo.

### 6.1. Dimensionamiento de distancias mínimas en aire

Con las distancias eléctricas se está asegurando la soportabilidad dieléctrica de forma adecuada donde no es posible probarlas ante los impulsos de tensión tipo rayo, maniobra o a sobretensiones a frecuencia industrial.

La soportabilidad a tensiones de impulso tipo rayo o maniobra en condiciones atmosféricas debe ser igual o mayor que los valores especificados en la norma IEC 60071-2, en esta se definen los niveles de aislamiento normalizados para instalaciones eléctricas correspondientes a las tensiones máximas  $U_m$  permisibles, con combinaciones de dos componentes. [21]

- Las tensiones soportadas asignadas de impulso atmosférico y de frecuencias industrial de corta duración, para equipos con  $U_m < 300kV$ , denominado rango I.
- Las tensiones soportables de impulso atmosférico, de maniobra y de frecuencia industrial para equipos con  $U_m \geq 300kV$  denominado rango II.

Para el dimensionamiento de las distancias mínimas en el aire solo es determinante aquella componente que produce el esfuerzo más fuerte para un tipo dado de electrodos. En el rango  $U_m < 300kV$ , esta es generalmente la tensión de impulso atmosférico con polaridad positiva; y en el rango de  $U_m \geq 300kV$ , generalmente la tensión de impulso de maniobra con polaridad positiva. [21]

Tabla 11. Correlación entre tensiones de soportabilidad al impulso atmosférico y distancias mínimas en el aire  $Um < 300kV$ . [21]

Tensión nominal soportada al impulso tipo rayo [kV]	Distancia mínima [mm]	
	Punta-estructura	Conductor-estructura
20	60	
40	60	
60	90	
75	120	
95	160	
125	220	
145	270	
170	320	
200	380	
250	480	
325	630	
450	900	
550	1 100	
650	1 300	
750	1 500	
850	1 700	1 600
950	1 900	1 700
1 050	2 100	1 900
1 175	2 350	2 200
1 300	2 600	2 400
1 425	2 850	2 600
1 550	3 100	2 900
1 675	3 350	3 100
1 800	3 600	3 300
1 950	3 900	3 600
2 100	4 200	3 900

Tabla 12. Correlación entre tensiones de soportabilidad al impulso de maniobra y distancias mínimas fase-tierra en el aire  $Um \geq 300kV$ . [21]

Tensión nominal soportada al impulso de maniobra [kV]	Distancia mínima fase-tierra [mm]	
	Conductor-estructura	Punta-estructura
750	1 600	1 900
850	1 800	2 400
950	2 200	2 900
1 050	2 600	3 400
1 175	3 100	4 100
1 300	3 600	4 800
1 425	4 200	5 600
1 550	4 900	6 400

Tabla 13. Correlación entre tensiones de soportabilidad al impulso de maniobra y distancias mínimas fase-fase en el aire  $Um > 300kV$ . [21]

Tensión nominal soportada al impulso de maniobra			Distancia mínima fase-fase [mm]	
Fase-tierra [kV]	Valor fase-fase	Fase-fase [kV]	Conductor-conductor paralelo	Punta-conductor
	Valor fase-tierra			
750	1,5	1 125	2 300	2 600
850	1,5	1 275	2 600	3 100
850	1,6	1 360	2 900	3 400
950	1,5	1 425	3 100	3 600
950	1,7	1 615	3 700	4 300
1 050	1,5	1 575	3 600	4 200
1 050	1,6	1 680	3 900	4 600
1 175	1,5	1 763	4 200	5 000
1 300	1,7	2 210	6 100	7 400
1 425	1,7	2 423	7 200	9 000
1 550	1,6	2 480	7 600	9 400

En las tablas se muestran los valores establecidos en la norma IEC 60071-2 para las separaciones mínimas en aire fase-tierra y fase-fase para los diferentes valores de los niveles de aislamiento.

Tabla 14. Utilidad de cada tabla. [21]

Nombre	Descripción
Tabla 11	Correlaciona la separación mínima en aire con la tensión de soportabilidad normalizada al impulso tipo rayo para las configuraciones de electrodos del tipo punta-estructura.
Tabla 12	Correlaciona la separación mínima en aire para distancias fase-tierra para las configuraciones de electrodos del tipo conductor-estructura y del tipo punta-estructura con las tensiones de soportabilidad normalizadas al impulso de maniobra.
Tabla 13	Correlaciona la separación mínima en aire para distancias fase-tierra para las configuraciones de electrodos de los tipos mencionados con la tensión de soportabilidad normalizada al impulso de maniobra.

## 7. DISTANCIAS DE SEGURIDAD

### Calculo

El valor básico debe garantizar el espaciado correcto para la prevención de cualquier riesgo de flameo aún bajo las condiciones más desfavorables. Este valor básico se determina con base a las distancias mínimas en el aire de fase-tierra correspondientes al nivel de aislamiento que se determinó para la instalación. [21]

Los criterios utilizados para determinar las distancias de seguridad están basados en lo publicado por el comité No. 23 de la CIGRÉ. Se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones. [21]

- Distancias desde tierra: factores tales como tensión de la instalación, altura de una persona, capa de nieve donde sea aplicable.

- Distancias de vehículos: altura típica de los vehículos de mantenimiento. Y camiones usados para el transporte.
- Distancias de cercos, muros, etc.
- Un valor básico relacionado al nivel de aislamiento, el cual determina una zona de guarda alrededor de las partes energizadas.
- Un valor que está en función del movimiento del personal como el equipo de trabajo, esto determina una Zona de seguridad.

### Determinación de la zona de seguridad

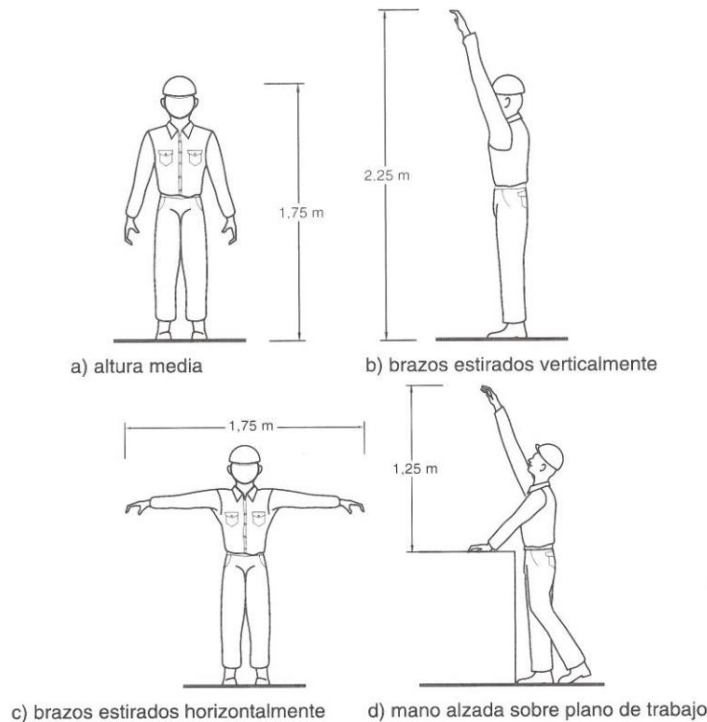


Figura 53. Dimensiones medidas de un operador. [21]

Se hace necesario aumentar el valor básico en una cantidad que depende de la altura del personal de mantenimiento y de la naturaleza del trabajo sobre el equipo. En la figura 52 se observan las dimensiones estandarizadas para un operador.

#### 7.1. Movimiento del personal

Cuando no se presenta barreras, muros o mallas protectoras la distancia entre la tierra y la parte energizada más baja de la subestación debe tener en cuenta para la libre circulación del personal una distancia corresponde al valor básico aumentado en 2.25 m. Esta distancia de seguridad está dada para una circulación normal en el patio de una subestación sin que el personal use escaleras u objetos que los puedan acercar a las partes energizadas. [21]

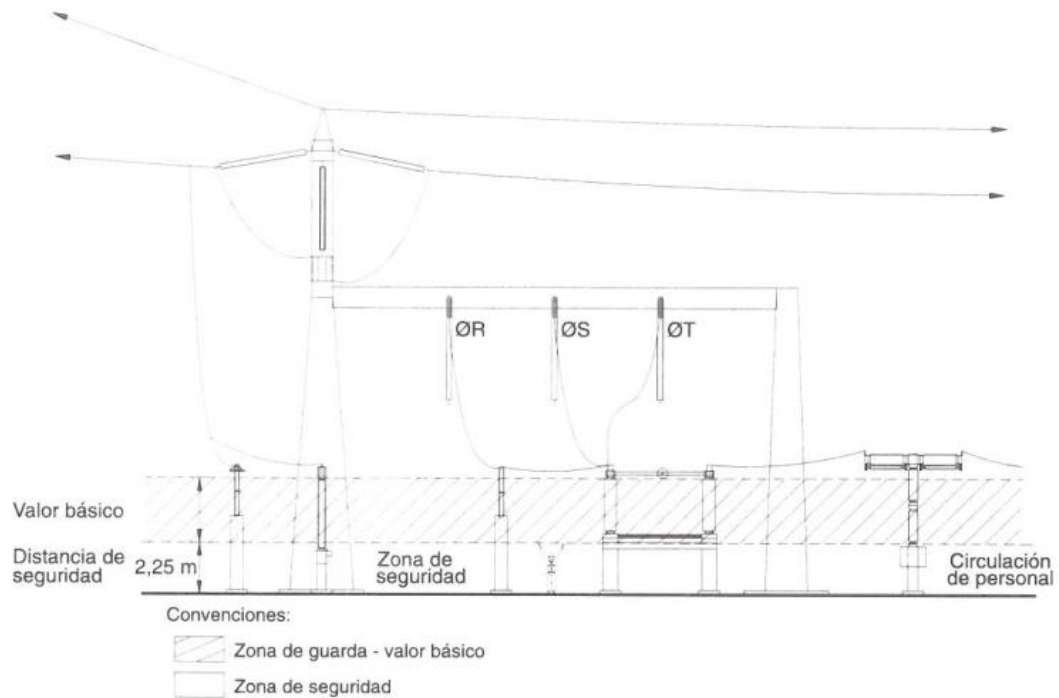


Figura 54. Circulación de personal. [21]

Cuando la zona este ocupada por conexiones o equipos instalados a una altura de piso menor que la definida, se debe cubrir por medio de mallas, pantallas, compartimientos o barandas cuya posición y altura deber ser determinadas dependiendo de las condiciones de trabajo. [21]

Para la selección de estas se tiene dos métodos:

Tabla 15. Métodos de selección de protección. [21]

Método	Descripción
Método 1	Un compartimiento o malla protectora de 2.25m de altura, separada del conductor o equipo por una distancia igual al valor básico.
Método 2	Una baranda de 1.20m de altura separada del conductor o equipo por una distancia igual al valor básico más 0.60m como mínimo.

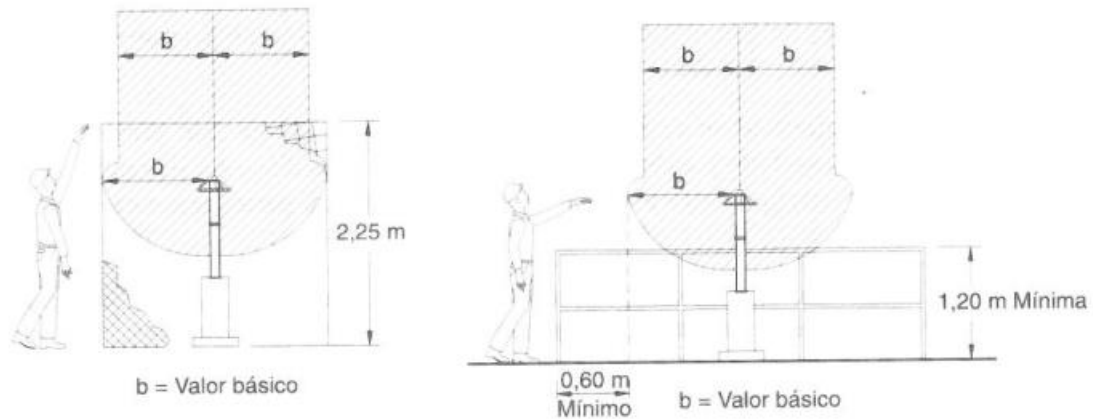


Figura 55. Protección para equipos en bajo nivel. [21]

### 7.2. Movimientos de vehículos

Para el paso vehicular en la subestación como pueden ser grúas se debe prever una zona de seguridad para estos casos está delimitada por el perfil vehicular de más de 0.7m para permitir inevitables imprevisiones en la conducción.

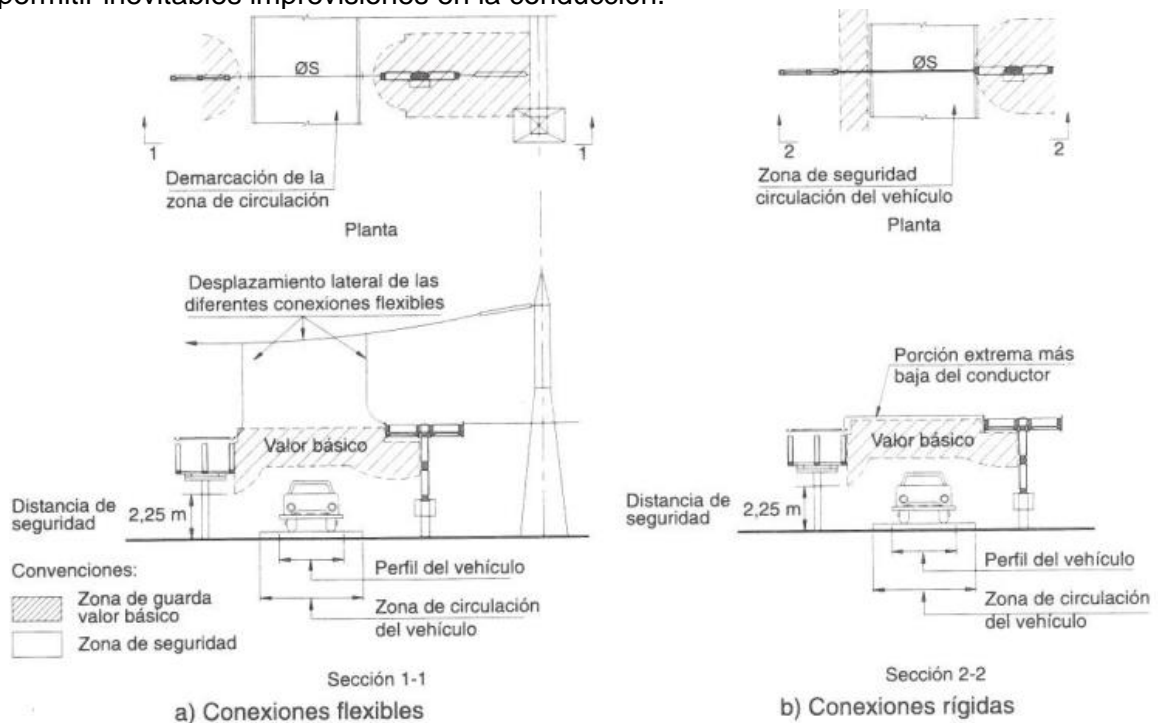


Figura 56. Circulación de vehículos. [21]

### 7.3. Trabajos sobre equipos o sobre conductores

Al momento de realizarse un trabajo en una subestación con presencia de tensión en los conductores y equipos de los circuitos adyacentes, es necesario prever de una zona protectora la cual debe cumplir con ciertos parámetros para equipo de acuerdo con el trabajo de mantenimiento, el vehículo y las herramientas que normalmente se utilizan. No deben tener un valor por debajo de 3m. [21]

Cuando se presenta un mantenimiento de rutina que requiera solamente el uso de herramientas livianas, el factor que se le adiciona al valor básico debe ser:

- Horizontalmente 1.75m que corresponde a las dimensiones prometidas de un operador con los brazos estirados.
- Verticalmente 1.25m por encima del plano de trabajo que corresponde al operador en la posición con brazos estirados hacia arriba.

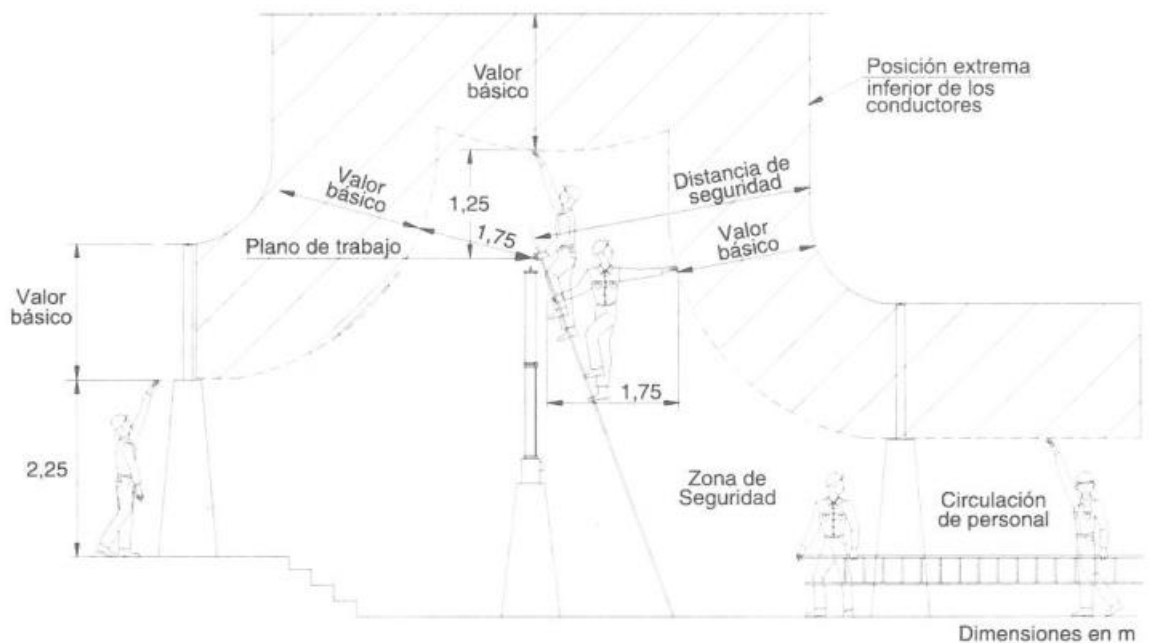


Figura 57. Mantenimiento de rutina. [21]

Cuando se trate de herramientas pesadas o vehículos, la zona de seguridad se calcula con base en lo dicho anteriormente, más la zona de seguridad determinada para el movimiento de vehículos.

## 8. DISTANCIAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UNA SUBESTACIÓN

Para el dimensionamiento de una subestación con una configuración, disposición física y nivel de tensión establecidos, esta condicionados por:

- Ancho de barras
- Ancho de campo
- Altura de campo
- Longitud de campo
- 

Estos aspectos dependen directamente de las distancias mínimas y las distancias de seguridad, además se consideran otros aspectos tales como la facilidad para el mantenimiento y estética.

En la siguiente tabla se resumen los aspectos principales de cada condición.



Tabla 16. Distancias para el dimensionamiento de subestaciones. [21]

Nombre	Descripción
Ancho de barras	<p>Las barras pueden ser rígidas, tubos de aluminio o cobre o del tipo flexible los cuales utilizan cables de cobre, aluminio, aleación de aluminio o ACSR.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Se utilizan distancias mínimas fase-fase en el aire con un factor de seguridad de 5% al 10%.</li> <li>– Cuando se utilizan conductores flexibles es necesario tener en cuenta el desplazamiento horizontal durante cortocircuitos.</li> <li>– Cuando se utilizan conductores flexibles es necesario tener en cuenta el desplazamiento horizontal durante cortocircuitos.</li> <li>– Es una práctica común diseñar los barrajes con una flecha máxima del 3% del vano, L.</li> </ul>
Ancho de campo	<p>Se designa la distancia entre los ejes de las columnas que forman el pórtico de entrada de líneas. El ancho de campos de una subestación está determinado por la configuración y las dimensiones de los equipos y de los barrajes utilizados.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Templas o barrajes superiores a lo largo del campo.</li> <li>– Dimensiones de los equipos.</li> <li>– Cuando se tiene seccionadores de apertura central, estos tienen gran incidencia en la determinación del ancho de campo.</li> <li>– Cuando se tiene conexiones largas entre equipos con conductores flexibles y especialmente para bajantes de templas superiores es necesario tener en cuenta el desplazamiento durante cortocircuitos.</li> </ul> <p>Para reducir el ancho de campo de las subestaciones se utiliza:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Conductores rígidos entre equipos</li> <li>– Evitar pórticos interiores o intermedios</li> </ul>
Altura de campo	<p>Esta determinada principalmente por el tipo de conductores que se utilicen, así como también por el número de niveles de conexión que requiera la configuración de la subestación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– El primer nivel está conformado por la conexión entre equipos, cuya altura está determinada por las distancias de seguridad.</li> <li>– El segundo nivel de conexión generalmente está conformado por los barrajes, cuya altura debe estar por encima del nivel de equipos en distancia por lo menos igual a la distancia mínima fase-fase, cable-cable.</li> <li>– Cuando se utilizan seccionadores del tipo pantógrafo, son estos los que determinan la altura del barraje.</li> <li>– Cuando se tiene conductores flexibles es necesario tener en cuenta la flecha de los barrajes.</li> </ul>
Longitud de campo	<p>Está determinada por la configuración de la subestación y por las distancias entre los diferentes equipos. Estas distancias no están determinadas por las distancias mínimas o de seguridad, sino más bien por razones de mantenimiento o de estética.</p> <p>Para el montaje y mantenimiento se recomienda que los terminales de los equipos sean accesibles por el personal desde cualquier punto.</p>

## **9. NORMATIVA**

- IEEE Std 1119 (1988). Distancias mínimas de salidas de líneas que pasan por encima de cercos perimetrales.
- IEC 60071-1 Coordinación de aislamiento parte 1: Definiciones y reglas.
- IEC 60072-2 Coordinación de aislamiento parte 2: Guía de aplicación
- IEC 60270 Métodos convencionales
- IEC 6478 Métodos no convencionales

### 3.1.5 MÓDULO 5: FORMAS CONSTRUCTIVAS Y DISPOSICIÓN DE UNA SUBESTACIÓN

En este capítulo se describe las principales disposiciones físicas de una subestación convencional de AT y BT, así como algunos aspectos que intervienen en su selección para una determinada subestación. También se hace una descripción de soluciones con subestación compactas.

#### **Definiciones:**

**Disposición física:** ordenamiento de los diferentes equipos constitutivos de un patio de conexiones de una subestación exterior para cada uno de los tipos de configuraciones.

**Patio de conexiones:** conjunto de equipos y barrajes que tiene el mismo nivel de tensión y están localizados en el mismo sector o área de la subestación. [21]

#### **Selección de la disposición física de una subestación**

Para la selección de la disposición física se debe tener en cuenta los siguientes criterios: [21]

- Configuración seleccionada de acuerdo con la metodología
- Equipos a utilizar (EL tipo de seccionador influye en gran medida)
- Corriente nominal y de corto circuito para seleccionar el tipo de barraje más apropiado.
- Distancias mínimas y de seguridad que se deben utilizar para los niveles de tensión y de aislamiento de la subestación.
- Costos del predio y su adecuación, de estructuras metálicas y de equipos
- Otros aspectos como el impacto ambiental.

#### **1. FORMAS CONSTRUCTIVAS DE DISPOSICIÓN FÍSICA**

En una subestación los equipos de alta tensión como los seccionadores determinan que disposición física se va a implementar debido a que el tipo de seccionador influye directamente en el espacio a utilizar. Algunos seccionadores pueden ser: [21]

- Seccionadores de apertura central.
- Seccionadores de rotación central.
- Seccionadores de apertura vertical.
- Seccionador tipo pantógrafo.
- Seccionador pantógrafo horizontal.

Los seccionadores pantógrafos o semipantógrafo son los que determinan una menor área de subestación e implican subestaciones con estructuras metálicas más reducidas, pero la desventaja que tienen este tipo de seccionador es su elevado costo en relación a los demás.

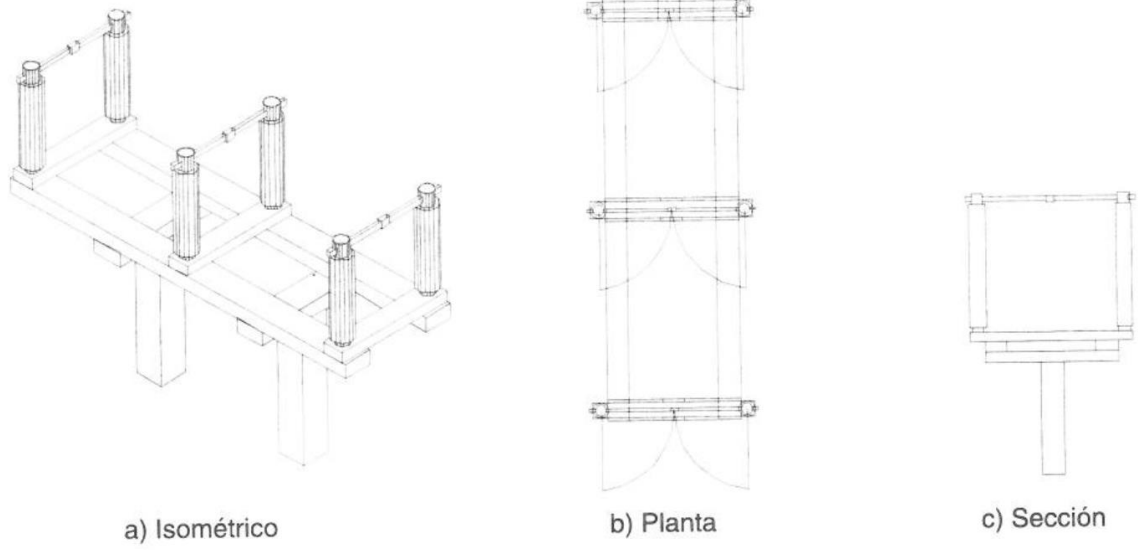


Figura 58. Seccionador de apertura central. [21]

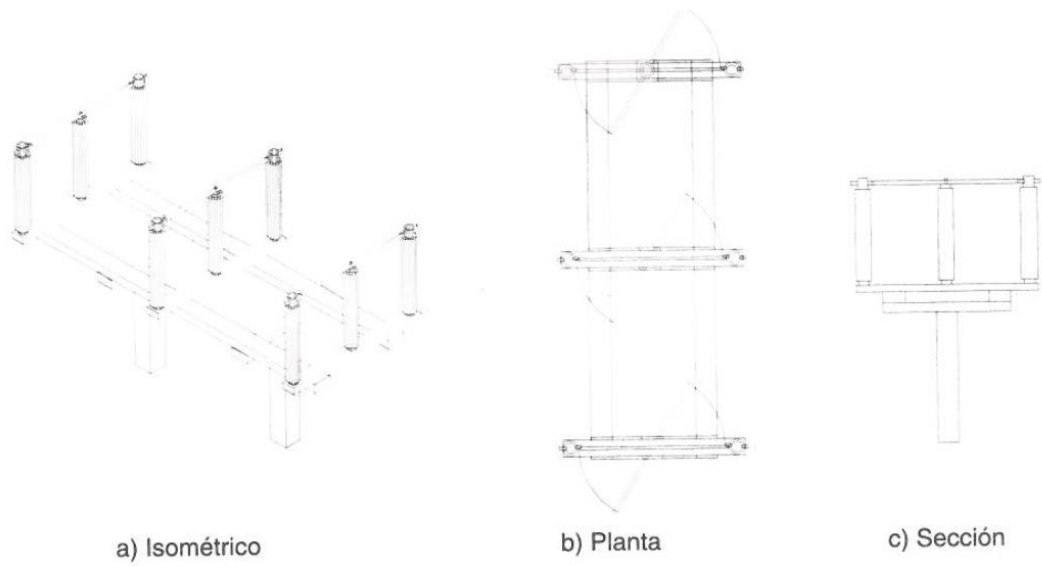


Figura 59. Seccionador de rotación central. [21]

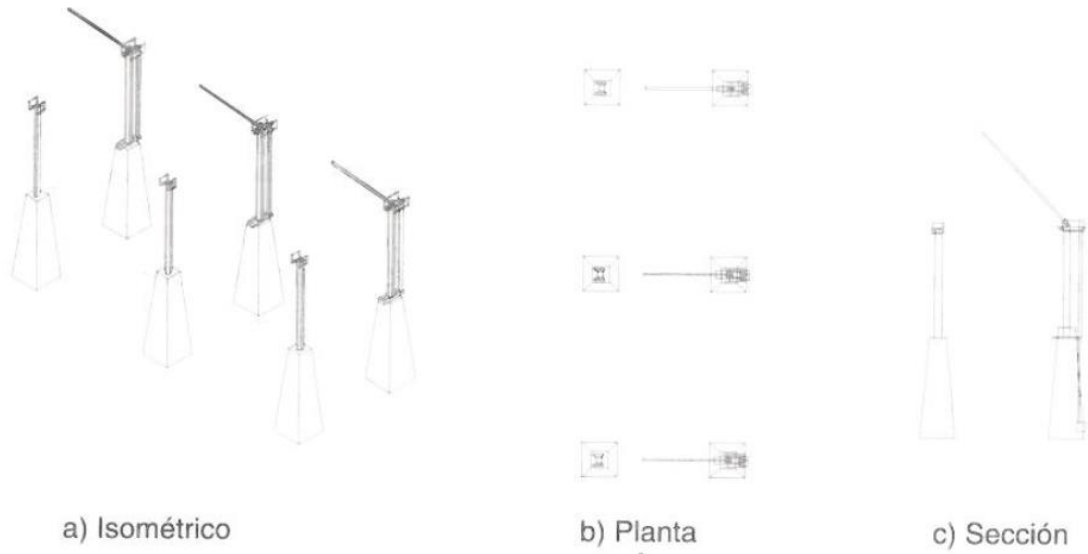


Figura 60. Seccionador de apertura vertical. [21]

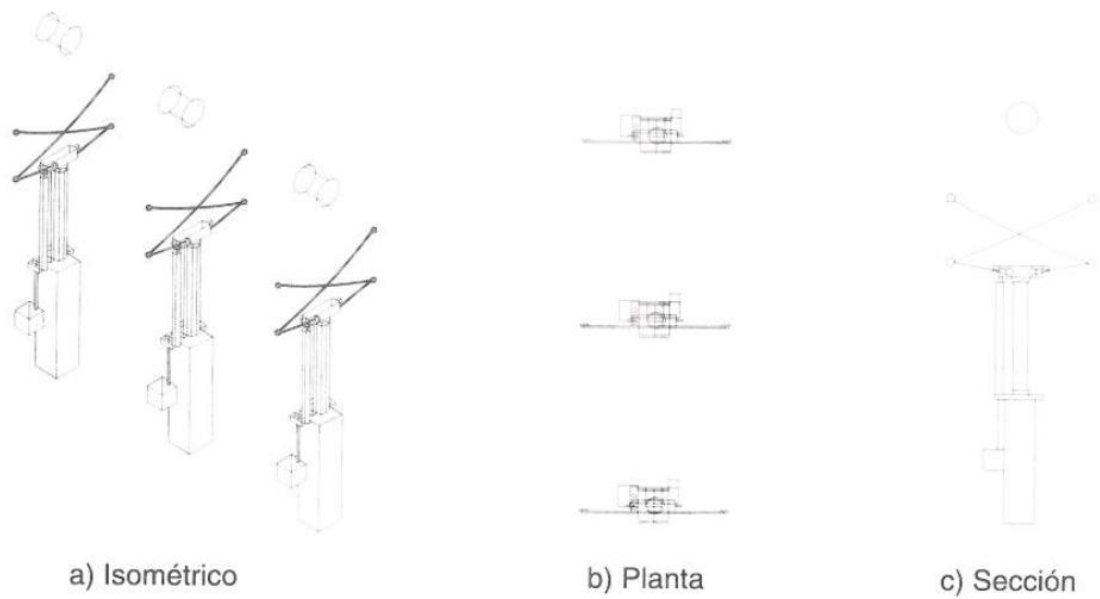


Figura 61. Seccionador pantógrafo. [21]

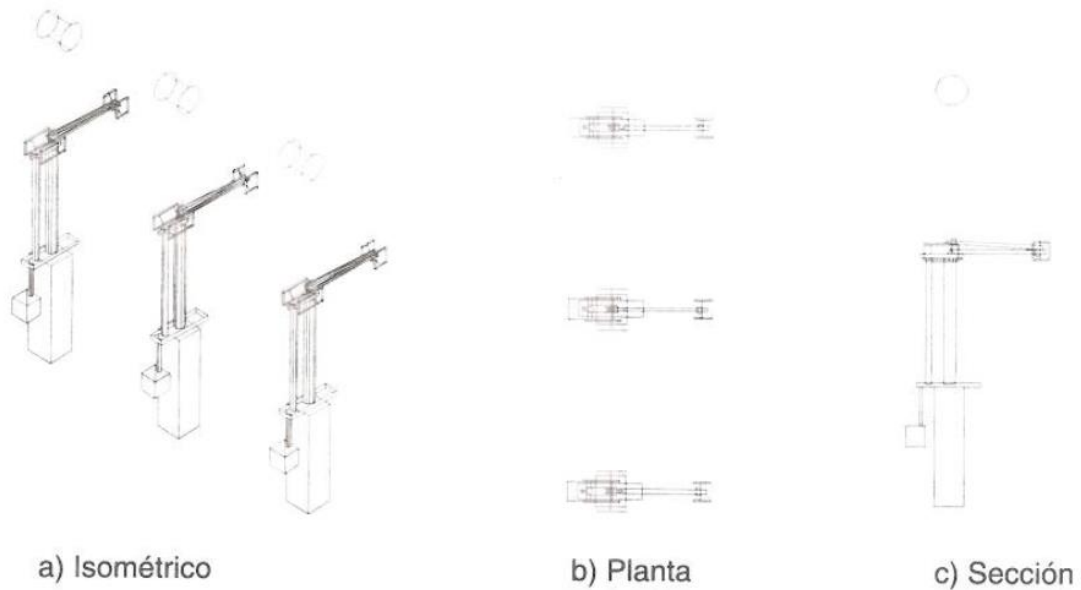


Figura 62. Seccionador semipantografo. [21]

Otro aspecto determinante en la conformación de las diferentes disposiciones físicas es el tipo de barraje, este puede ser de tipo rígido el cual está conformado por tubos de aluminio o tipo flexible el cual está constituido por cables de aluminio, aleación de aluminio ACSR. Los tipos de conexiones varían dependiendo del tipo de seccionadores y de los tipos de barraje al combinar estos se obtiene varias combinaciones de formas de conexión a barras.

### 1.1. Disposición clásica

#### Formas constructivas de disposición física

A continuación, se describen las disposiciones físicas más utilizadas.

- Barra sencilla
- Barra principal y de transferencia
- Doble barra
- Doble barra más by-pass o paso directo
- Doble barra más barra de transferencia.

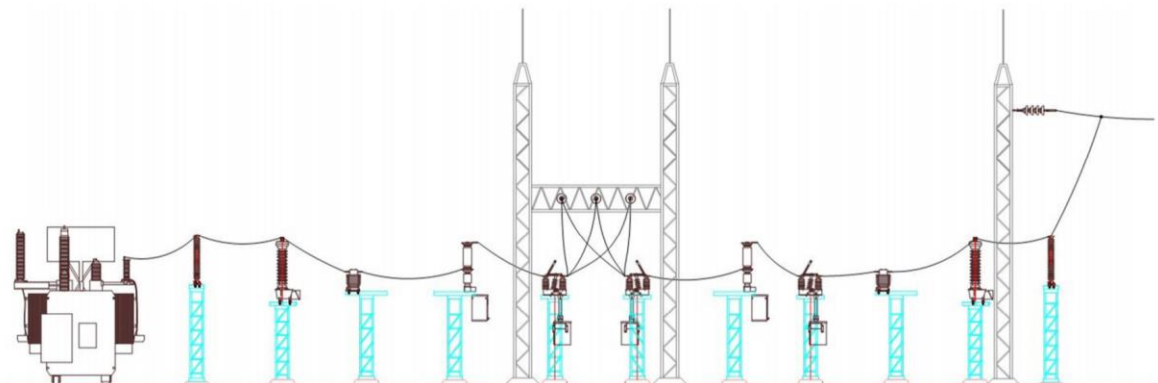


Figura 63. Barra sencilla con bahía de transformación. [41]

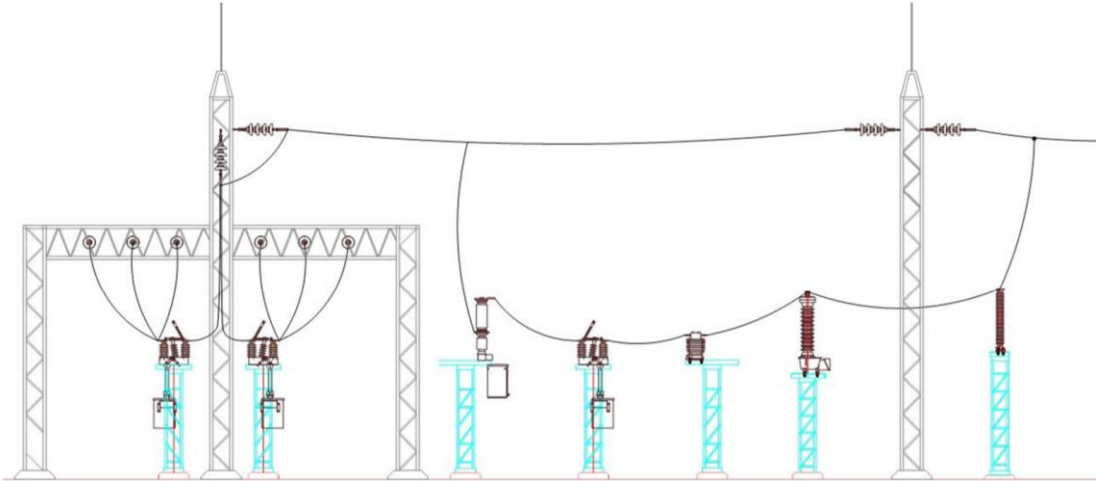


Figura 64. Doble barra. [41]

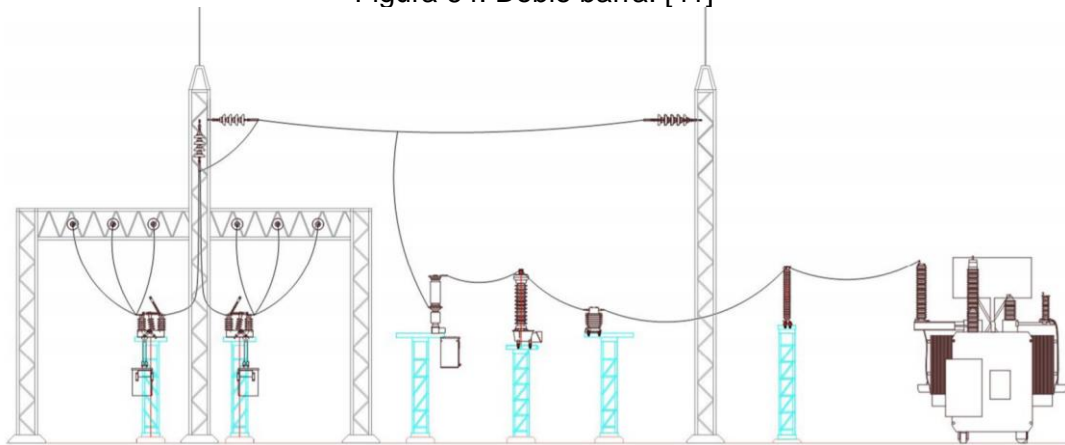


Figura 65. Doble barra con bahía de transformación. [41]

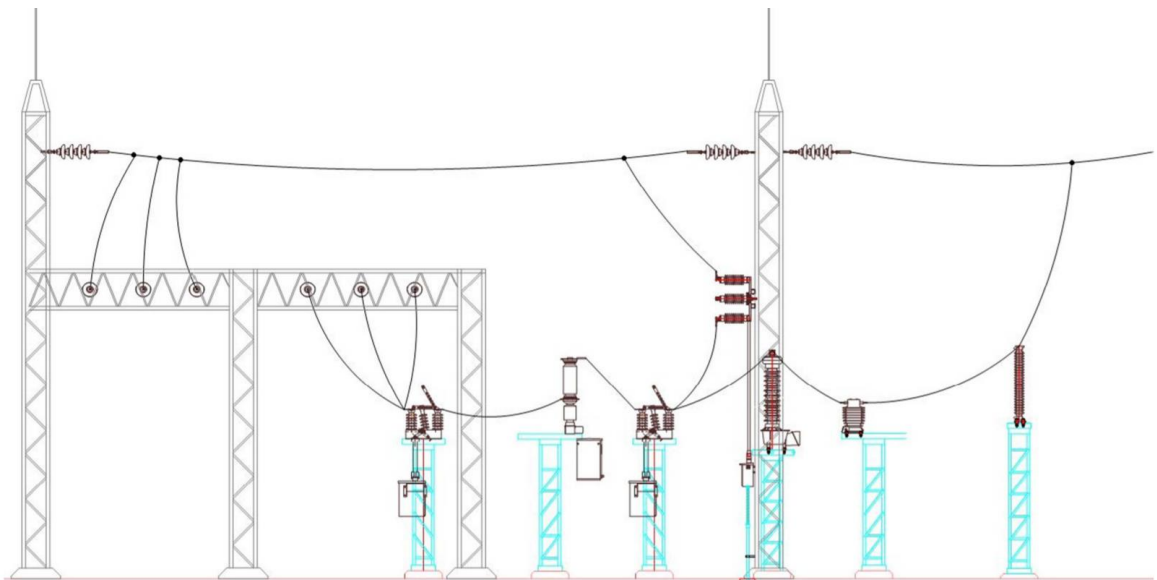


Figura 66. Barra principal más transferencia. [41]



Figura 67. Barra principal más transferencia con bahía de transformación. [41]

En las anteriores disposiciones físicas se trabajó con barra flexible, pero se puede utilizar la barra rígida acompañada de conexiones rígidas o la barra rígida con conexiones flexibles.

## 2. FORMAS CONSTRUCTIVAS MODIFICADAS O COMBINADAS

A parte de los arreglos normales vistos para subestaciones exteriores existen otras disposiciones físicas especiales, estas tienen características únicas que se ajustan de acuerdo a las necesidades y a las circunstancias particulares, como puede ser el terreno, condiciones de servicio y selección de arreglo constructivo. Estas disposiciones combinan diferentes tipos de seccionadores, pantógrafo o semipantógrafo. [21]

A continuación, se tratarán las disposiciones modificadas:

### 2.1. Clásica modificada:

Algunas disposiciones clásicas pueden cambiar según el tipo de seccionador que se utilice del lado del barraje de la línea y según como se coloque diagonalmente. Esta variante elimina un nivel de conexiones y al mismo tiempo permite un ahorro de estructuras. [21]

Algunas disposiciones clásicas modificadas son:

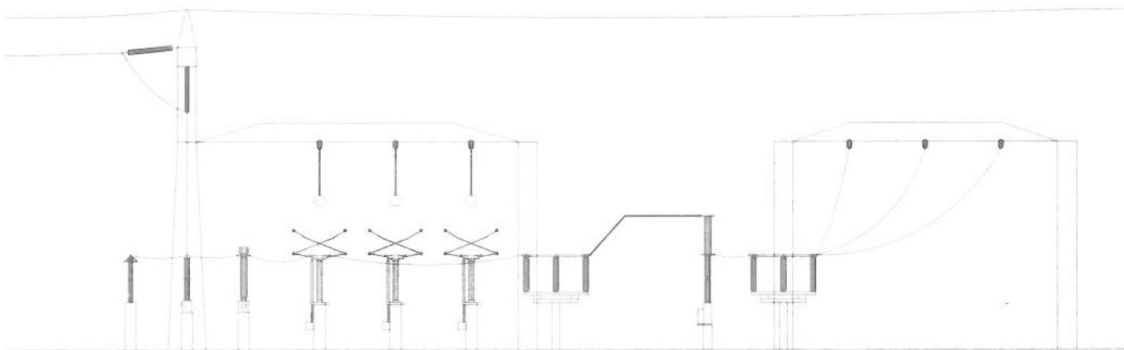


Figura 68. Disposición clásica modificada, barra principal y de transferencia. [21]



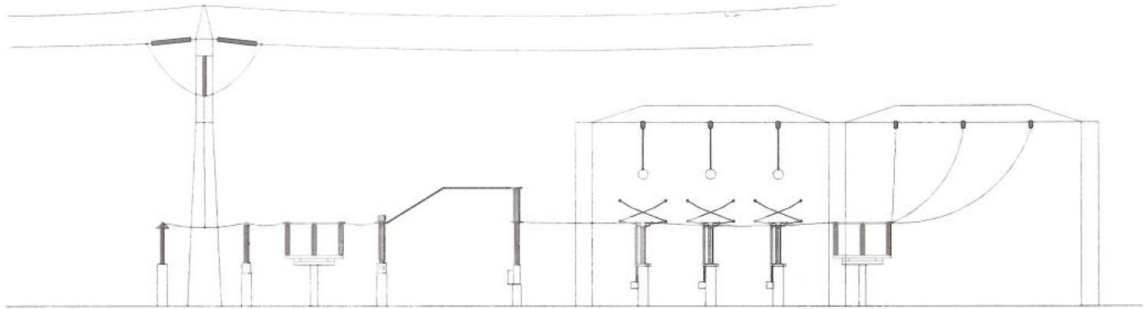


Figura 69. Disposición clásica modificada, Doble barra. [21]

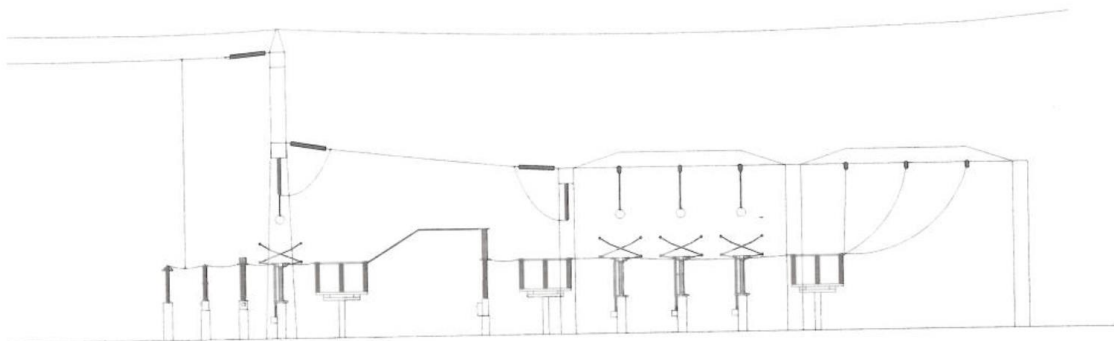


Figura 70. Disposición clásica modificada, Doble barra con BY-pass o paso directo. [21]

## 2.2. Arreglo diagonal modificado, barras colectoras arriba

En este arreglo se utilizan seccionadores tipo pantógrafo de ambos barrajes por ende se convierte en un arreglo diagonal modificado con barras colectoras arriba esto tiene una ventaja en la reducción adicional del ancho de campo. [21]

Algunos arreglos modificados en diagonal son:

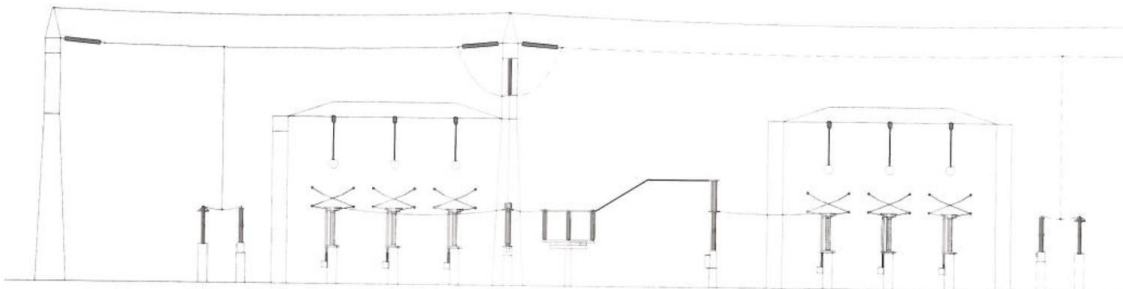


Figura 71. Arreglo diagonal modificado, barra principal y de transferencia. [21]

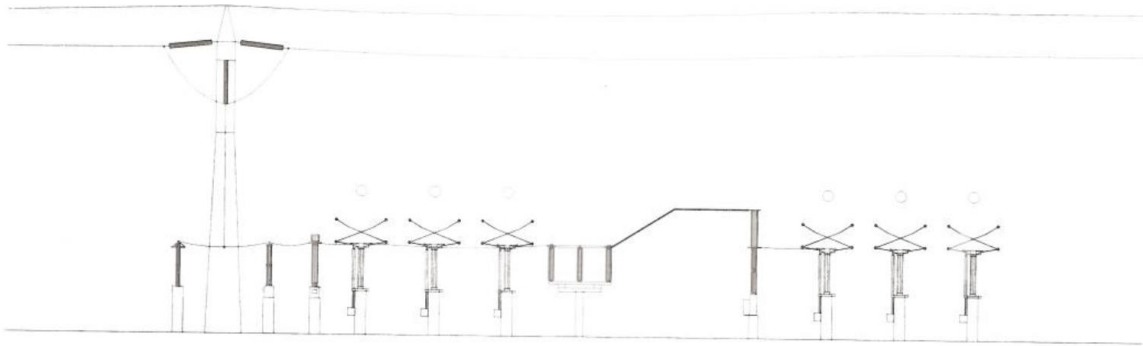


Figura 72. Pantógrafos en arreglo diagonal, barra rígida, barras principal más barra de transferencia. [21]

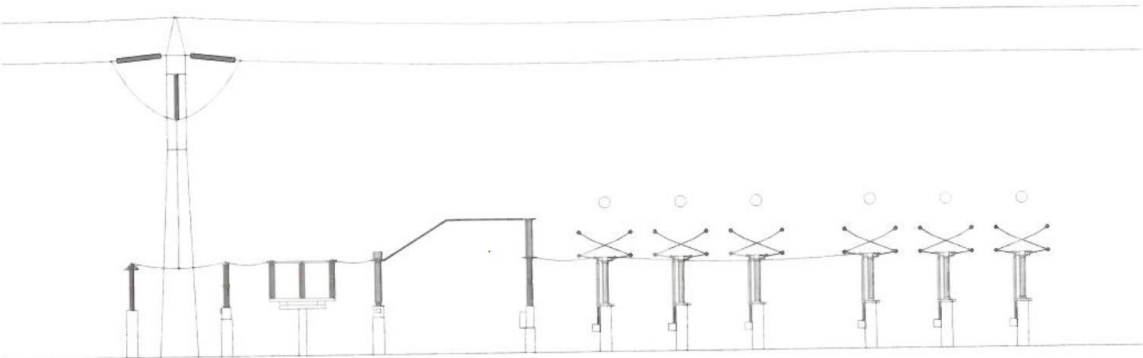


Figura 73. Doble barra con barra rígida. [21]

### 3. SUBESTACIONES COMPACTAS

En la actualidad se busca diseñar subestaciones con el menor costo según el análisis del costo de vida de la instalación, se han desarrollado unos elementos que permiten tener reducciones en el espacio requerido para la disposición física de la subestación y que pueden ser utilizados para actualizaciones como para ampliaciones a antiguas instalaciones. [21]

A continuación, se presentan algunos modelos desarrollados por fabricantes de alta tensión.

#### 3.1. Subestaciones PIC

PIC o subestación interior compartimentada por sus siglas en francés, esta consiste en disponer de los equipos de alta tensión en un edificio adaptado según las distancias eléctricas necesarias para el nivel de tensión. Los elementos de alta tensión se consideran hasta un nivel de tensión de 115kV con una corriente de cortocircuito asignada de 31.5kV y de ellos solamente el seccionador tiene una construcción especial ya que es un elemento mecánico.

Todos los elementos se instalan en un edificio con lo cual se reduce el espacio necesario para la subestación. Este tipo de subestación se utiliza en zonas de alta contaminación ya que contribuye a reducir las acciones de mantenimiento. También favorece la protección contra el ruido y las interferencias electromagnéticas. [21]

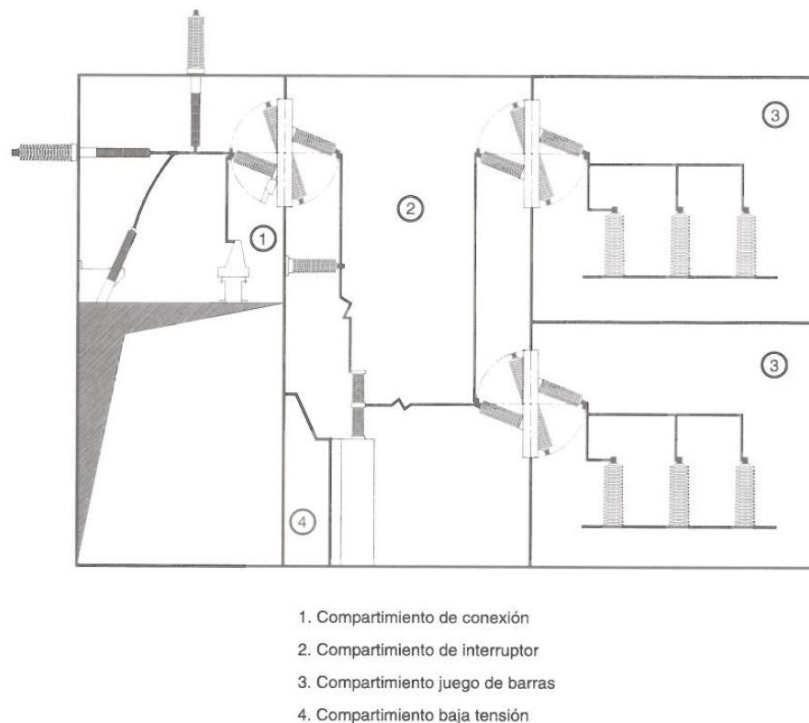


Figura 74. Subestación interior compartimentada. [21]

### 3.2. Módulos compactos de alta tensión

Los fabricantes han desarrollado unos módulos compactos de alta tensión que van desde 123kV hasta los 550kV mediante la combinación de componentes convencionales. Estas subestaciones se conocen bajo el concepto de IAIS (Integrated Air Insulated Substations). Este tipo de subestación permite una reducción del espacio requerido por la subestación. Estos módulos están confirmados por un interruptor, dos seccionadores, dos seccionadores de puesta a tierra y dos transformadores de corriente del tipo óptico. [21]

La implementación de este tipo de subestaciones reduce sustancialmente al espacio requerido para la instalación, con una configuración de interruptor y medio el espacio utilizado es de un 65% del que ocupado una subestación convencional con equipo convencional. Además, se pueden obtener ventajas de reducción de obras civiles requeridas, mejores tiempos de instalación y cableado de control. [21]

En la siguiente figura se puede observar la constitución física de un módulo MCI de SCHNEIDER completo con todas las funciones mencionadas.

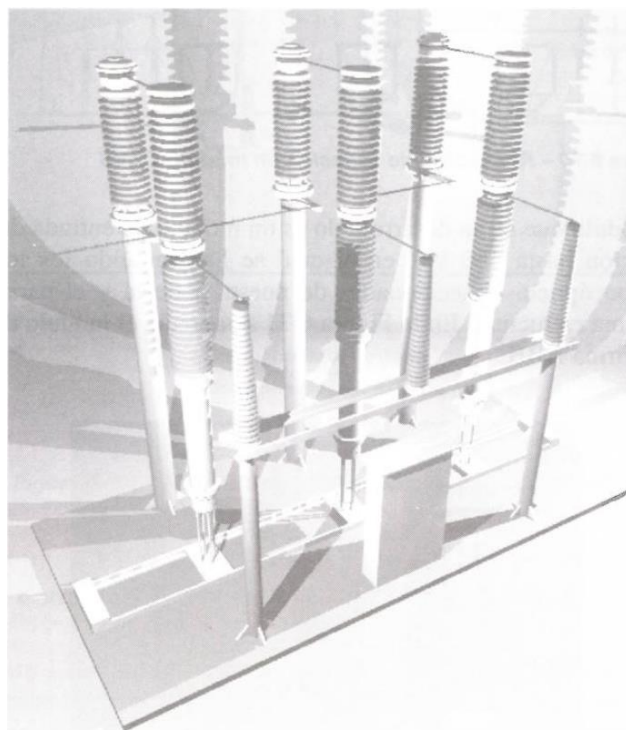


Figura 75. Módulo MCI. [21]

### 3.1.6 MÓDULO 6: APANTALLAMIENTO Y SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

Se define apantallamiento de una subestación al conjunto de elementos instalados con el objetivo principal del proteger los equipos y elementos de la subestación, contra descargas atmosféricas directas como son los rayos. [21]

Por medio de la normativa IEEE Std se presentan tres metodologías para el diseño del apantallamiento de subestaciones, las cuales son altamente utilizadas:

- Método clásico de ángulos fijos
- Método clásico de curvas empíricas
- Método electrogeométrico

A continuación, se definirán algunos términos importantes tomados del libro de subestaciones de alta y extra alta tensión de Mejía Villegas para la comprensión de los temas a trabajar:

- **Distancias de descarga, Sm:** longitud de último paso de la guía de un rayo, bajo la influencia de la tierra o de un terminal que lo atrae.
- **Corriente de retorno, Ic:** corriente que circula entre la tierra y la nube, una vez la guía de un rayo establece una ruta ionizada por la cual la tierra trata de neutralizar la carga de la nube.
- **Porcentaje de exposición, Pc:** porcentaje de rayos que se espera no sean efectivamente apantallados
- **Tensión crítica de flameo, CF0:** tensión que aplicada como una onda negativa de impulso normalizada  $1,2 \cdot 50 \mu s$  produce flameo en el aislante bajo prueba, en el 50% de los casos.
- **Altura efectiva del apantallamiento, he:** altura sobre la parte superior del pórtico que sostiene los conductores de fases más elevados de la subestación, a la cual debe instalarse el cable de guarda para un apantallamiento efectivo.
- **Altura mínima:** altura a la cual debe ubicarse el cable de guarda por encima de las partes energizadas, de tal forma que, si se ubica a una altura menor, se producirá una zona de no apantallamiento en algunos puntos, que deberían ser apantallados por dicho cable.
- **Nivel cerámico, Ni:** número promedio de días por año durante los cuales se escuchan truenos en un sitio específico.
- **Densidad de rayos a tierra, GFD:** número promedio de descargas a tierra por unidad de área y por unidad de tiempo en un sitio determinado.

El aislamiento de una subestación de transmisión necesita tener ciertas consideraciones como son la magnitud, frecuencia de ocurrencia y tipo de sobretensiones que puedan presentarse durante su operación. El evento que se presenta con mayor frecuencia es la sobretensión transitoria esta es producida por las descargas atmosféricas que inciden en la subestación; bien sea que lleguen a través de la línea de transmisión o que se deban a descargas directas sobre los equipos de la subestación. [21]

En el momento que una descarga atmosférica alcanza un sistema de potencia, aparece una sobretensión elevada a través de los equipos en la subestación, cuando la sobretensión excede la soportabilidad del aislamiento, este se romperá y aparecerá un arco de potencia

que será mantenido por la tensión a frecuencia industrial del sistema. Y se haría necesario entonces la operación de interruptores para eliminar el cortocircuito.

En la práctica, la función del apantallamiento consiste en proteger a los equipos de la subestación contra esas descargas directas. [21]

### 1. DESCARGA ATMOSFÉRICA

El conocimiento de la formación de las descargas eléctricas es de gran utilidad para entender como los diversos elementos (claves de guarda, mástiles, etc.) ofrecen protección. La trayectoria de un rayo en el aire es originada cuando una nube ya sea que este cargada positiva o negativamente, progresa en forma de pasos discretos de una longitud variable y en un tiempo cercano a los  $50\mu\text{s}$  por paso. La longitud que predomina es de 50m y cada paso tiene una dirección variable. [21]

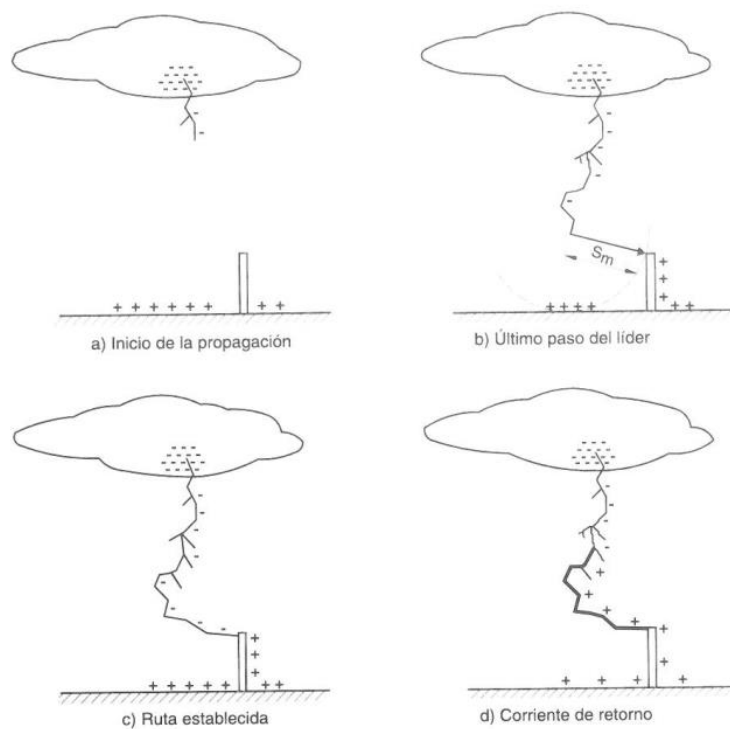


Figura 76. Proceso de la descarga atmosférica. [21]

Una vez que el rayo tiene una guía al tocar al objeto, se establece un camino ionizado entre la nube y el objeto, por el cual va a circular una corriente hacia la nube que intenta neutralizar la carga de la misma. El camino generado no siempre procede de la nube, también puede generarse a través de estructuras en punta a grandes alturas. [21]

#### 1.1. Magnitud de la descarga

El valor más importante a tener en cuenta a la hora de presentarse una sobredescarga tipo rayo es la magnitud de corriente pico de la descarga. Anderson (1987) define que la magnitud media de una descarga atmosférica es de 31kA y que la probabilidad de que cierta magnitud de corriente sea excedida en una descarga. [21]

### 1.2. Nivel cerámico

El nivel cerámico se define como el número promedio de días al año en los que se presentan tormentas eléctricas. en la práctica se mide como el número de días al año en los que se escuchan descargas atmosféricas. [21]

En la figura se observa los promedios anuales de los niveles cerámicos para una región el Colombia.

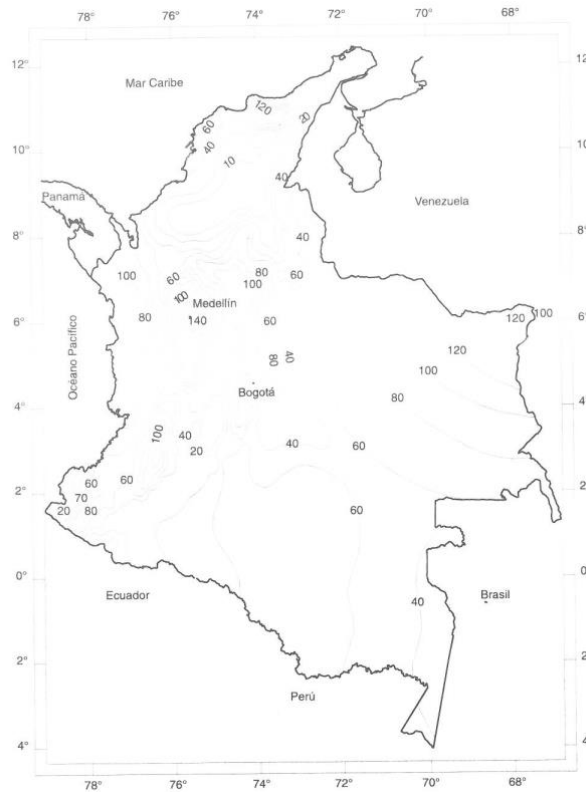


Figura 77. Mapa isocerámico de Colombia. [21]

## 2. DISPOSITIVOS DE APANTALLAMIENTO

Tabla 17. Dispositivos de apantallamiento. [21]

Dispositivo	Características
<p><b>Cables de guarda:</b> Son cables que se encuentran ubicados por encima del quipo a proteger y están conectados a la tierra a través de los pórticos de la subestación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Protegen a lo largo de todo el cable.</li> <li>– Son económicos y livianos por lo que no requieren estructuras muy fuertes.</li> <li>– Aprovechan pórticos como estructuras de soporte.</li> <li>– La impedancia característica presentada al rayo es notablemente inferior.</li> <li>– Mejora las condiciones de disposición de la malla de tierra al transportar parte de la corriente de secuencia cero en casos de cortocircuito a tierra.</li> </ul>

<p><b>Puntas:</b> Se encuentran colocadas sobre los pórticos y requieren como estructura adicional un castillete.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son económicamente parecidos a los cables de guarda.</li> <li>- Tiene la tendencia a aumentar las corrientes de retorno, con lo cual se hacen atractivas a los rayos, pero a la vez presentan mayores problemas para la disipación de esa corriente.</li> <li>-</li> </ul>
<p><b>Mástiles:</b> Tienen restricción ya que se usan en casos especiales como equipos que no tengan pórticos aledaños.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tienen como desventaja la gran cantidad de disipación de corriente requerida, dada su tendencia a incrementar las corrientes de retorno.</li> <li>- Estos requieren una estructura propia por ende suelen ser más costosos.</li> </ul>

### 2.1. Métodos de diseño empíricos

Normalmente se han utilizado dos métodos, métodos clásicos, con los cuales se ha logrado proteger las subestaciones contra las descargas directas, con estos métodos se obtiene un nivel aceptable de protección. Son llamados métodos geométricos y estos son: [21]

- Método de los ángulos fijos
- Método de las curvas empíricas

### 2.2. Método de los ángulos fijos

En este método se utilizan los ángulos verticales para determinar la cantidad, posición y altura de los cables de guarda o mástiles.

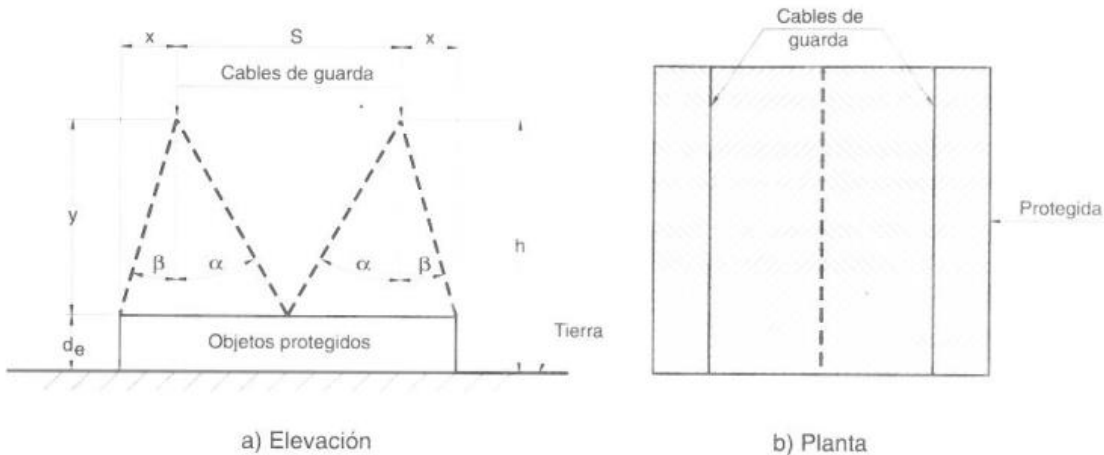


Figura 78. Ángulos fijos para cables de guarda. [21]



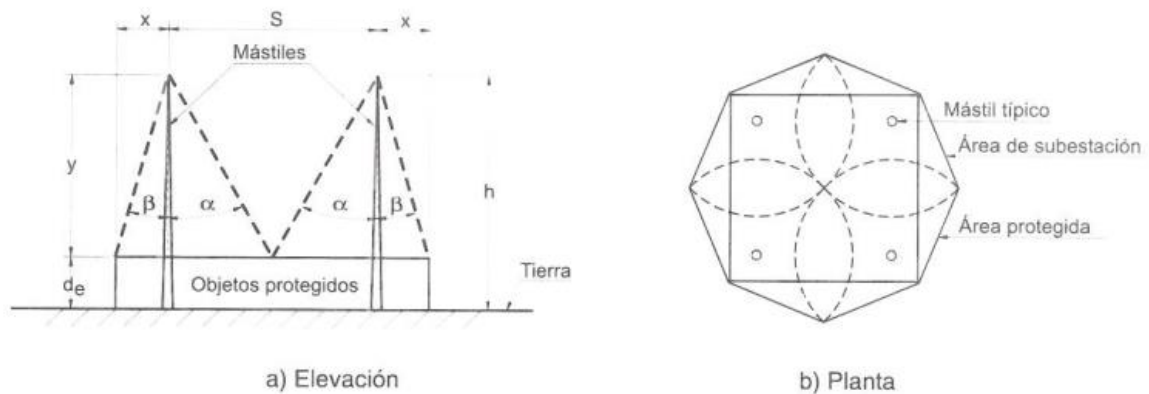


Figura 79. Ángulos fijos para mástiles. [21]

Para la selección del ángulo se tiene en cuenta el grado de exposición a las descargas, para el ángulo  $\Theta$  normalmente se le asigna el valor de  $45^\circ$  y para el ángulo  $\beta$  se utilizan valores de  $30^\circ$  y  $45^\circ$ . Con estos ángulos se asegura que para el diseño se reducen los ángulos de apantallamiento a medida que la altura de las estructuras de la subestación se incrementa y mantener una baja tasa de falla. [21]

En la siguiente tabla se observa el ángulo de protección el cual decrece a medida que los conductores se elevan, para mantener uniforme la tasa de falla.

Tabla 18. Ángulos de apantallamiento. [21]

Altura del cable de guarda [m]	Falla de apantallamiento por cada 100 km / año (método del ángulo de protección)						
	$15^\circ$	$20^\circ$	$25^\circ$	$30^\circ$	$35^\circ$	$40^\circ$	$45^\circ$
10	0	0	1,1E-4	0,0087	0,0383	0,1032	0,2286
15	0	6,4E-5	0,0068	0,0351	0,0982	0,2182	0,4483
20	8,3E-6	0,0026	0,0214	0,0711	0,1695	0,3466	0,6903
25	0,0011	0,0087	0,0404	0,1123	0,2468	0,4819	0,9429
30	0,0035	0,0170	0,0620	0,1565	0,3275	0,6208	1,2008
35	0,0069	0,0269	0,0853	0,2024	0,4100	0,7616	1,4608
40	0,0109	0,0378	0,1096	0,2494	0,4936	0,9035	1,7214
45	0,0155	0,0493	0,1345	0,2969	0,5776	1,0462	1,9820
50	0,0204	0,0612	0,1598	0,3447	0,6619	1,1892	2,2423

En el momento de aplicar este método se debe tener en cuenta:

- Se supone una altura del mástil o cable de guarda y su localización
- Se determina el cubrimiento para equipos o barrajes de acuerdo con los ángulos superpuestos.
- Se incrementa la altura del mástil o de ubicación de los cables de guarda, se relocalizan los mástiles o se adicionan para obtener un cubrimiento completo.

### 2.3. Método de las curvas empíricas

Este método fue desarrollado por Wagner en el año 1941 y está concebido en la normativa IEEE Std 998 de 1996. Plantea el uso de un modelo electrogeométrico, con el cual se proporcionan datos estadísticos para construir las figuras que relacionan las dimensiones de la subestación con un nivel de exposición o porcentaje de rayos no apantallados efectivamente. [21]

Este método contiene ciertos pasos a seguir para una correcta aplicación: [21]

- se selección un nivel de exposición  $P_e$ ; generalmente para diseño se considera una exposición del 0.1%
- se determinan la altura de cables, quipos o estructuras a proteger,  $d_c$  y el ancho del campo  $S$ , o la distancia horizontal desde el mástil o cable de guarda.
- Se asigna una altura del cable de guarda o mástil  $h$ .
- Se calcula el valor  $y=h*d_c$  el cual se localiza en la ordenada de la gráfica empírica aplicable y se desplaza horizontalmente hasta interceptar la curva aplicable.
- En caso de no obtenerse el cubrimiento deseado, se modifican la altura o localización de mástiles o cables de guarda o se adicionan elementos hasta lograr el resultado deseado.

### 3. MODELO ELECTROGEOMÉTRICO

Este modelo fue desarrollado por Gilman y Whitehead en el año 1973, en él se pretende que los objetos a ser protegidos sean menos atractivos a los rayos que los elementos apantalladores, esto se logra determinando la llamada **DISTANCIA DE DESCARGA** del rayo a un objeto, básicamente es la longitud del último paso de la guía de un rayo, bajo la influencia de la tierra o de un terminal que lo atrae. [21]

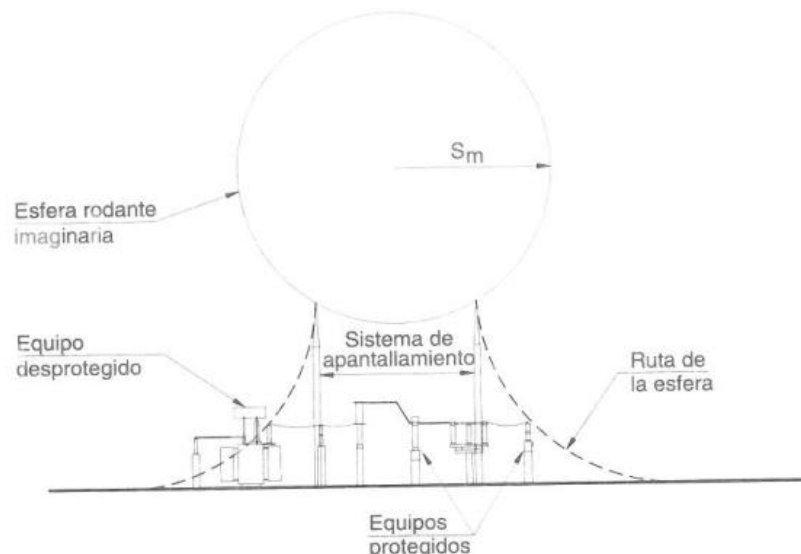


Figura 80. Concepto de la esfera de radio igual a la distancia de descarga  $S_m$ . [21]

La posición de la estructura apantallada con respecto a las estructuras que protege es determinada por la distancia de descarga, se debe tener en cuenta la altura de cada uno respecto a la tierra.

Aproximadamente el 50% de las empresas utilizan este modelo electrogeométrico para diseñar el apantallamiento de subestaciones. En la práctica, para determinar gráficamente la altura mínima de los dispositivos de protección, se trazan arcos de circunferencia, con radio igual a la distancia de descarga a los objetos a ser protegidos, de tal forma que los arcos sean tangentes a la tierra y a los objetos, o tangentes entre los objetos. [21]

Una manera diferente de entender este concepto consiste en imaginar un balón o una esfera de radio igual a la distancia de descarga, rodando sobre la superficie de la subestación y sobre los objetos de la misma. Todos los equipos que logre tocar la esfera serán protegidos por los dispositivos de apantallamiento. [21]

### 3.1. Procedimiento para el diseño

Para realizar el cálculo del apantallamiento en la subestación se debe seguir el siguiente procedimiento tanto para cables de guarda como para mástiles: [21]

1. Cálculo de la altura promedio de los barrajes.
2. Cálculo de la impedancia impulso del barraje teniendo en cuenta el radio corona,  $Z_0$ .
3. Cálculo de la corriente crítica de descarga,  $I_c$
4. Cálculo de la distancia de descarga crítica  $S_m$  la cual se convierte en el radio de la esfera.

En el momento que se usan cables de guarda se tiene en cuenta:

1. Cálculo de la altura efectiva del cable de guarda,  $h_e$
2. Cálculo de la máxima separación de los cables de guarda,  $2d_{max}$ .

Cuando se desea utilizar mástiles se debe tener en cuenta lo siguiente

1. Se asigna una altura inicial del mástil,  $h$ .
2. Cálculo del área de protección de un solo mástil,  $x$ .
3. Cálculo de la máxima separación de los mástiles,  $S$ .
4. Con esta información los mástiles pueden ser ubicados en la subestación.

Normativa

- NTC 4552 de 1999: esta norma establece las medidas que se deben adoptar para lograr la protección eficaz contra los riesgos asociados a la exposición directa o indirecta de personas, animales y equipos y el entorno a las descargas atmosféricas.
- IEC 62305-2

## 4. MALLA DE TIERRA

Una característica importante de una subestación es la protección contra sobretensiones esto se logra por medio de un sistema de malla de tierra adecuada en donde se conectarán los neutros de los aparatos. Los pararrayos, los cables de guarda, las estructuras metálicas y todo elemento metálico que deba estar a potencial de tierra. [23]

Las funciones del sistema de malla a tierra son: [23]

- Proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de las corrientes de tierra, ya sea que se deban a una falla de cortocircuito o a la operación de un pararrayos.
- Evitar que, durante la circulación de estas corrientes de tierra, puedan producirse diferencias de potencial entre distintos puntos de la subestación, significando un peligro para el personal.
- Facilitar, mediante sistemas de relevadores, la eliminación de las fallas a tierra en los sistemas eléctricos.
- Dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio eléctrico.

En el momento de presentarse una falla en la subestación se presentan unas tensiones que dependen básicamente de la corriente de falla a tierra y la resistencia de puesta a tierra de la malla. La corriente de falla depende del sistema de potencia al cual se conecte la subestación y la resistencia dependen de algunos factores como lo son la resistividad del suelo, el calibre de los conductores de la malla, su separación, su profundidad den enterramiento y la resistividad de la capa de triturado. [21]

Para un mejor entendimiento de la temática se presentan las siguientes definiciones dadas por la norma IEEE Std 80:

- **Corriente de tierra:** una corriente circulando hacia o desde la tierra o su cuerpo equivalente que le sirve de tierra.
- **Electrodo de tierra:** una placa metálica solida o un sistema de conductores, con muy poco espaciamiento, que es conectado y puesto sobre la malla de tierra o en cualquier lugar sobre la superficie para obtener una margen extra de protección y minimizar así el peligro de exposición a altas tensiones de paso y toque.
- **Tensión de choque:** comprende las tensiones de toque y paso.
- **Tensión de lazo o de retícula:** la máxima tensión de toque encontrada dentro de un lazo o retícula de una malla de puesta a tierra.
- **Tensión de toque:** las diferencias de tensión entre el GPR y la tensión en la superficie en el punto en donde una persona se para, mientras al mismo tiempo tiene sus manos en contacto con una estructura puesta a tierra.
- **Tensión de paso:** la diferencia de tensión en la superficie, experimentada por una persona con los pies separados a una distancia de un metro y sin estar en contacto con ningún objeto aterrizado.
- **Tensión transferida:** un especial caso de tensión de toque en donde una tensión es transferida dentro o fuera de una subestación.

#### 4.1. Elementos de la red de tierra

Tabla 19. Elementos de la red de tierra. [23]

Elemento	Descripción
<b>Conductores</b>	Los conductores que se utilizan normalmente en los sistemas de tierra son de cobre calibres igual o superior de 4/0 AWG dependiendo del sistema que se utilice. Se utiliza este calibre por sus características mecánicas y de cobre por su conductividad, tanto eléctrica como térmica, y sobre todo por ser resistente a la corrosión.

<p><b>Electrodos</b></p>	<p>Son varillas o laminas que se clavan en el terreno y su función es encontrar zonas más húmedas con menor resistividad eléctrica. Y también de mantener la toma a tierra de los conductores que están conectados a ella.</p>
<p><b>Electrodos para pararrayos</b></p>	<p>Son el conjunto de electrodos que se instalan sobre la parte más elevada de la estructura de una subestación y su función es complementar la red de cables de guarda para protegerla de las posibles descargas atmosféricas., estos están fabricados con tubo de hierro galvanizado.</p>
<p><b>Conectores y accesorios</b></p>	<p>Son todos aquellos elementos que se utilizan para unir la red de tierra con los electrodos, estructuras, los neutros de los transformadores.</p> <p>Los conductores utilizados son tres:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conector atornillado</li> <li>• Conector a presión</li> <li>• Conector soldados</li> </ul> <p>Estos conductores deben soportar las corrientes de la red de tierra y las condiciones ambientales de la zona.</p>

#### 4.2. Tensiones de toque y paso

Las situaciones más comunes ante un choque eléctrico que involucran a una persona en presencia de una falla en una malla de tierra están representadas en la siguiente figura.

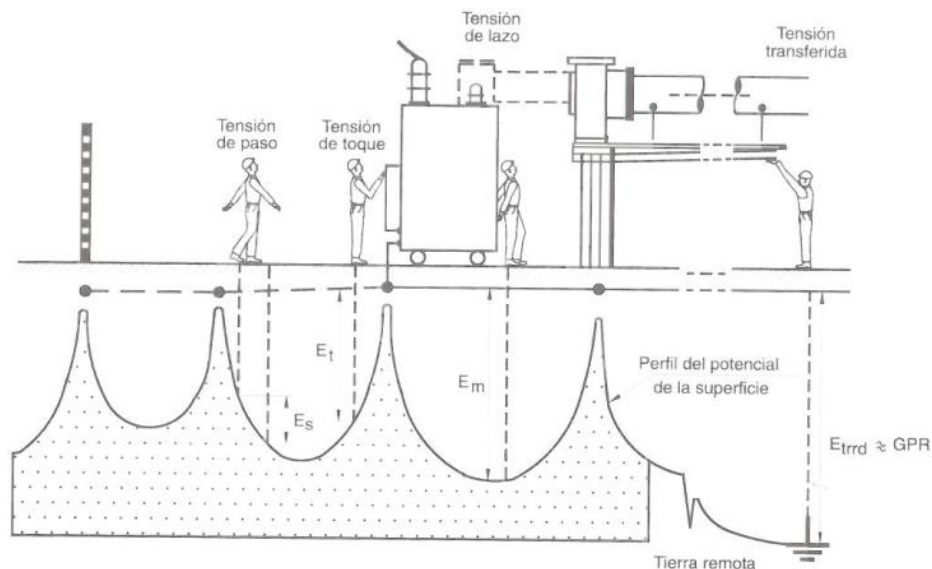


Figura 81. Tensiones de toque, paso y transferencia en una subestación. [21]

La seguridad del personal de una subestación es de vital importancia, para ello se debe evitar que una cantidad de energía sea absorbida antes de que la falla sea despejada y el sistema desenergizado. Las tensiones máximas permitidas se determinan de acuerdo a las corrientes máximas permitidas por el cuerpo humano y el circuito equivalente que forma

el cuerpo cuando está parado o toca un objeto, se encuentran dadas por las siguientes ecuaciones: [21]

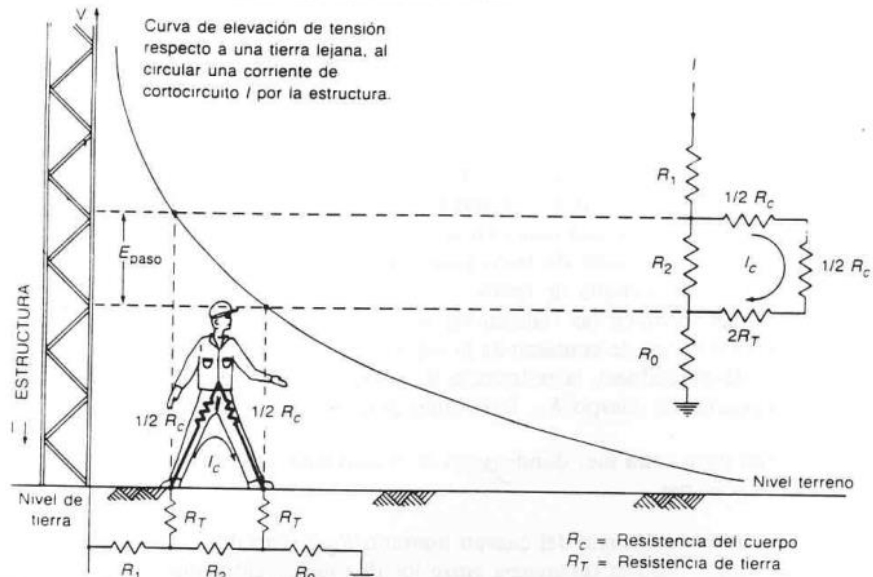


Figura 82. Tensión de paso cerca de una estructura conectada a tierra. [23]

La tensión de paso es la diferencia de potencial que llega a experimentar una persona entre sus pies cuando estos están separados a un metro de distancia, en el momento el que se presenta una falla en una estructura cercana con puesta a tierra.

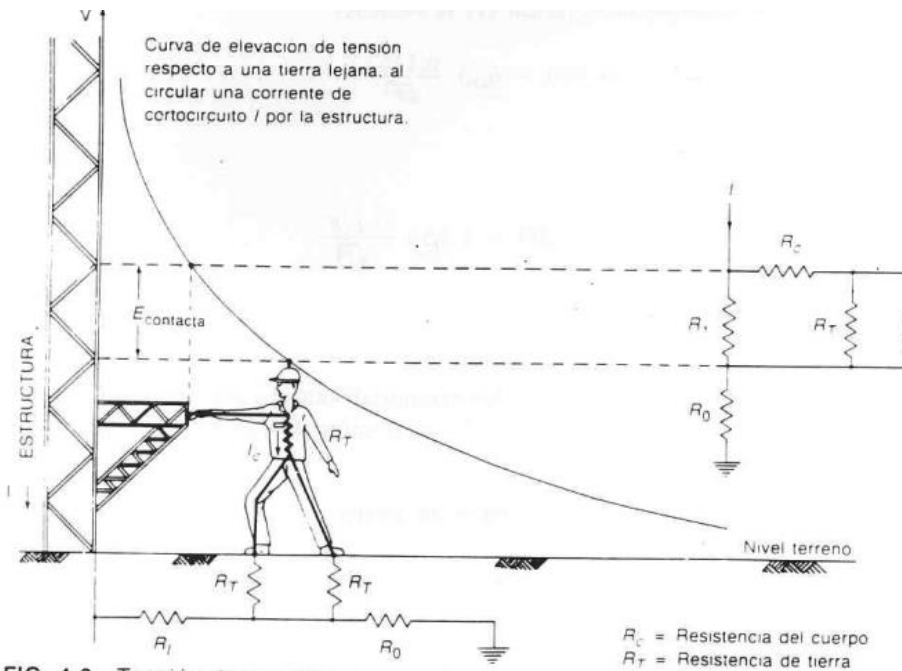


Figura 83. Tensión de contacto a una estructura conectada a tierra. [23]

La tensión de contacto es la diferencia de potencial que puede experimentar una persona en el momento que tiene contacto con una superficie metálica que tenga puesta a tierra y el suelo. [21]

Para calcular las tensiones de paso se tiene:

$$E_s - 50 = (1000 + 6C_s P_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (1)$$

$$E_s - 70 = (1000 + 6C_s P_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (2)$$

Y para la tensión de toque:

$$E_t - 50 = (1000 + 1.5C_s P_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (3)$$

$$E_t - 70 = (1000 + 1.5C_s P_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (4)$$

En donde:

$t_s$ : duración de la corriente de choque, s.

$C_s$ : factor de reducción que depende del espesor de la capa de cascajo de la superficie de la subestación  $h_s$ , y el factor de reflexión  $K$ ;  $C$  se determina a partir de la figura TALLLL. Cuando  $C_s=1$  la resistividad de la capa de acabado es igual a la del terreno ( $p_s=p$ ).

$$K = \frac{p - p_s}{p + p_s}$$

$P_s$ : resistividad de la capa de acabado de la superficie de la subestación, normalmente se encuentra con un rango entre 2000Ωm y 5000Ωm.

$P$ : valor de la resistividad del terreno, Ωm.

### 4.3. Características del suelo

#### 4.3.1. Resistividad del suelo

La resistividad es una característica que mide la oposición al flujo de electrones. La resistividad se define como la tensión medida entre dos puntos dividida por la corriente que atraviesa la sección cuadrada del material, por ende, el resultado es en unidades de Ωm. [21]

La resistividad del suelo es determinada por va

Ríos aspectos, los cuales varían de un lugar a otro, y puede que en un mismo terreno se presente diferentes valores de resistividad, algunos factores son: el tipo de suelo, la humedad, los minerales y sales disueltos en el suelo y la temperatura. [21]

Entre los tipos de suelo más comunes encontramos se tienen:

Tabla 20. Resistividades típicas de los suelos. [21]

Tipo de suelo	Resistividad (Ω)
Pirita, galena, magnetita	0.000001-0.01
Agua de mar	1
Suelo orgánico	1-50
Arcilla	1-100

Esquisto	10-100
Arena o grava	50-1000
Arenisca	20-2000
Piedra caliza, colcita, dolomita	3000

Algunas variables que afectan la resistividad del suelo.

Tabla 21 Variables que afectan la resistividad. [21]

Variable	Característica
<b>La humedad</b>	La humedad es un factor que afecta inversamente la resistividad del suelo, entre mayor sea la humedad menor será la resistividad de este. Por ende, los sitios como riveras de ríos y costas marinas pueden presentar una baja resistividad del terreno
<b>La temperatura</b>	La temperatura también es un factor que afecta los valores de resistividad del suelo. Al aumentar la temperatura disminuye la humedad del suelo aumentando la resistividad; sin embargo, se debe tener en cuenta que este fenómeno afecta más la superficie del suelo que a las capas interiores del suelo. Mientras que la disminución de la temperatura igual o menores a cero incrementa considerablemente el valor de la resistividad debido a que el agua contenida en el suelo se congela y el hielo es un mal conductor.

#### 4.3.1. Medidas de resistividad

Para la correcta medición de la resistividad del suelo se utilizan modelos matemáticos para representar la resistividad del suelo. Entre los métodos más utilizados se encuentra el método de las cuatro picas de Wenner, el cual consiste en clavar cuatro varillas enterradas a lo largo de una línea recta. Con una distancia pareja entre ellas a y enterradas a una profundidad b,

El método consiste en que las dos varillas externas inyectan una corriente alterna en el suelo y las dos varillas internas captan la caída de tensión que ocurre entre ellas y mediante la ley de ohm se calculó la resistencia del suelo y para calcular la resistividad del suelo se hace por medio de la siguiente ecuación. [21]

Ecuación 1:

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}}}$$

Donde:

- $\rho$  =resistividad del suelo,  $\Omega$ m
- R= resistencia resultante de la medida,  $\Omega$
- a= distancia entre electrodos adyacentes, m
- b=profundidad de enterramiento de los electrodos, m

En la siguiente imagen se puede apreciar el método Wenner



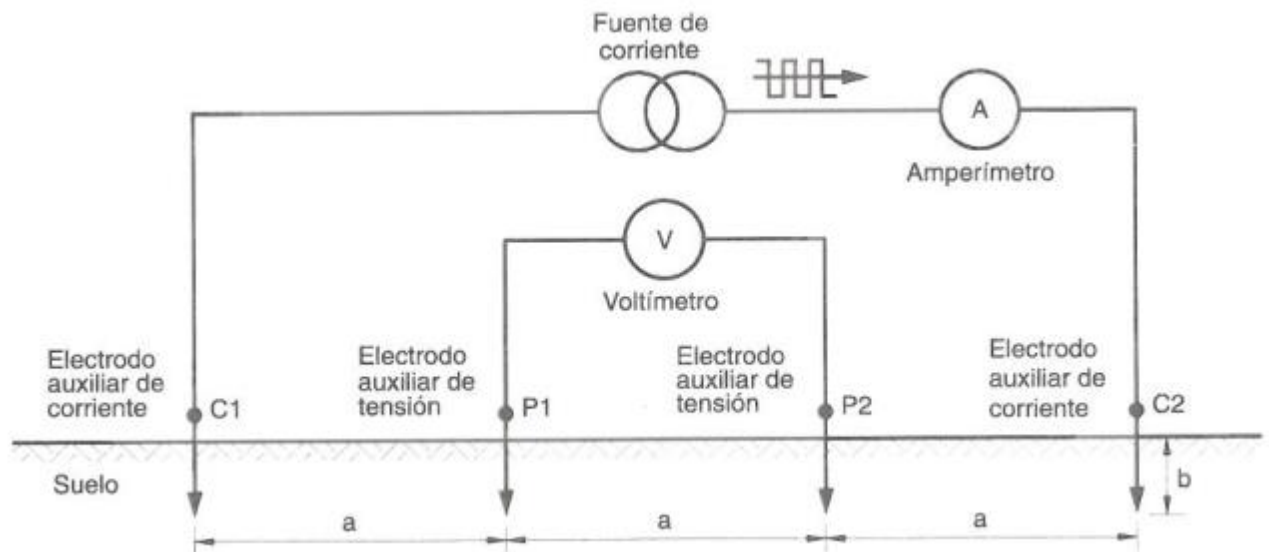


Figura 84. Método Wenner. [21]

En el momento de realizar las medidas con el método con una determinada distancia  $a$ , de separación entre varillas se considera que el valor de resistividad obtenido  $\rho$  corresponde aproximadamente a la resistividad del suelo a una profundidad del mismo valor de  $a$ . esto se entiende cuanto mayor sea la separación  $a$ , más profundos son los caminos predominantes de la corriente. En la práctica se realizan mediciones de  $a$  de 2m, 4m, 8m, 12m, y de 16m.

Para determinar la resistividad de un terreno es necesario efectuar varios grupos de mediciones sucesivas y en diferentes coordenadas debido a las condiciones heterogéneas del terreno. Los valores de resistividad medidos a una misma profundidad difieren según el sitio de medida, por lo que se hace necesario utilizar un criterio para definir la resistividad, el más común es el método de Husock del año 1979. [21]

## 5. DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

El siguiente procedimiento de diseño se extrajo del libro de Subestaciones Eléctricas de alta y extra alta tensión del autor Mejía Villegas

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. De los diseños preliminares de la subestación se puede determinar el área de cubrimiento de la malla, las mediciones de la resistividad darán el valor de  $\rho$  y el modelo del suelo a utilizar.
2. Determinar el tamaño del conductor de la malla teniendo en cuenta en la estimación de la corriente de falla. La máxima corriente de podría llegar a conducir algún conductor del sistema de tierra y el tiempo máximo posible de interrupción.
3. Se determinan las tenciones máximas tolerables de toque y de paso.
4. Se debe incluir el diseño del conductor alrededor de la periferia del área, y conductores paralelos para brindar acceso a la conexión de equipos.
5. Se calcula la resistencia de la malla, ya sea mediante las ecuaciones presentadas anteriormente o por un análisis computacional.
6. Se calcula la corriente  $I_g$ .

7. Se calcula el  $GPR=I_gR_g$  si su valor es menor que la tensión tolerable de toque no se requiere un análisis más profundo.
8. Se calculan la tensión de retícula o de lazo y de paso de la malla.
9. Cuando la tensión calculada de retícula es menor que la tensión tolerable de toque, se continua al paso 10. De lo contrario se debe hacer una revisión del diseño de la malla.
10. si la tensión de paso está por debajo de la tensión tolerable correspondiente, se continua con el paso 12, si no, se revisa el diseño.
11. Si las tensiones tolerables se exceden, se debe realizar una revisión de la malla. Esta revisión puede incluir aspectos tales como: menos espaciamiento de los conductores o un mayor número de varillas.
12. En el momento que se satisfacen las tensiones tolerables de toque y de paso, se puede decir que el diseño está completo adicionando los conductores para la puesta a tierra de los equipos y otros detalles.

### NORMATIVA

- IEEE Std 80 del 2000: Guía para la seguridad de puesta a tierra en subestaciones de C.A.
- IEEE Std 142 de 1991: Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.
- DIN VDE-0141 DE 1989: Earthing systems for power installations with rated voltages above 1 kV

### 3.1.7 MÓDULO 7: SISTEMAS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y SERVICIOS AUXILIARES

En el siguiente capítulo se presentan los criterios generales que se deben tener para el diseño de los sistemas de control de subestaciones de alta y extra alta tensión.

#### Introducción sistemas de control

Se define sistema de control al conjunto formado por dispositivos o funciones de medida, indicación, registro, señalización, regulación, control manual y automático de los equipos y los relés de protección. El sistema de control tiene como función principal supervisar, controlar y proteger la transmisión y distribución de la energía eléctrica durante condiciones anormales o de maniobra. El sistema de control deberá asegurar la continuidad de la calidad del servicio de energía eléctrica. [21]

#### Definiciones:

Para el mejor entendimiento de este capítulo se presentan las siguientes definiciones extraídas del libro de subestaciones eléctricas de alta y extra alta tensión: [21]

- **Control local:** consiste en la maniobra y/o control directo sobre un equipo.
- **Control remoto:** es el control de un equipo desde un lugar distante.
- **Supervisión:** función en la cual todas las indicaciones de estado de la subestación y equipos asociados se administran en una o varias estaciones maestras.
- **Monitoreo:** consiste en realizar la adquisición de variables de la subestación para las funciones de supervisión.
- **Scada:** sistema de control que trabajo sobre redes de comunicación para supervisión y adquisición de datos de las diferentes subestaciones, plantas de generación y líneas de transmisión del sistema interconectado.

#### 1. Clasificación de sistemas de control de subestaciones de acuerdo con su ubicación física

##### 1.1. Sistemas de control centralizado

Este modelo tiene centralizado en un solo sitio, el edificio de control, todos los elementos de control y componentes auxiliares como controladores, protecciones, estaciones de trabajo, equipos de comunicación, servicios auxiliares.

En este modelo de control centralizado, las señales provenientes del patio de la subestación generalmente se agrupan en cajas que están ubicadas lejos de los equipos. Las señales son llevadas al edificio de control por medio de cárcamos y se distribuyen en los diferentes tableros de control. [21]

En la siguiente imagen se observa la distribución del sistema de control centralizado.

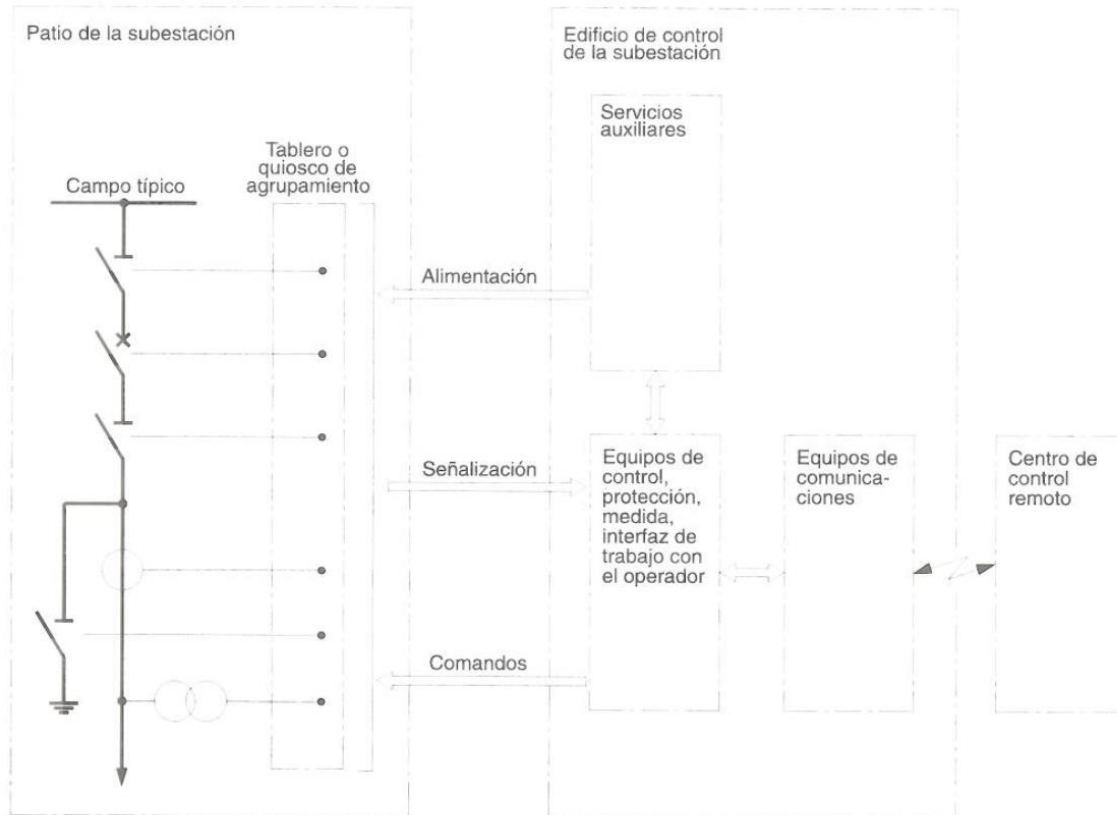


Figura 85. Sistema de control centralizado. [21]

## 1.2. Sistema de control distribuido

Este método consiste en repartir en casetas de control los elementos de la subestación, los controladores de campo, protecciones y equipos de comunicación. En el edificio de control se instala un controlador central y la estación de trabajo del operador, estos se conectan a los demás controladores ubicados en las casetas de control mediante cables de fibra óptica, en este modelo se puede dejar los servicios auxiliares en el edificio de control o también distribuirse en las casetas de control. [21]

Este método aprovecha las ventajas de los equipos basados en microprocesadores y medios de transmisión de información por redes de fibra óptica para acercar las funciones de control a los equipos, por ende, se ahorra en cableado convencional del control.

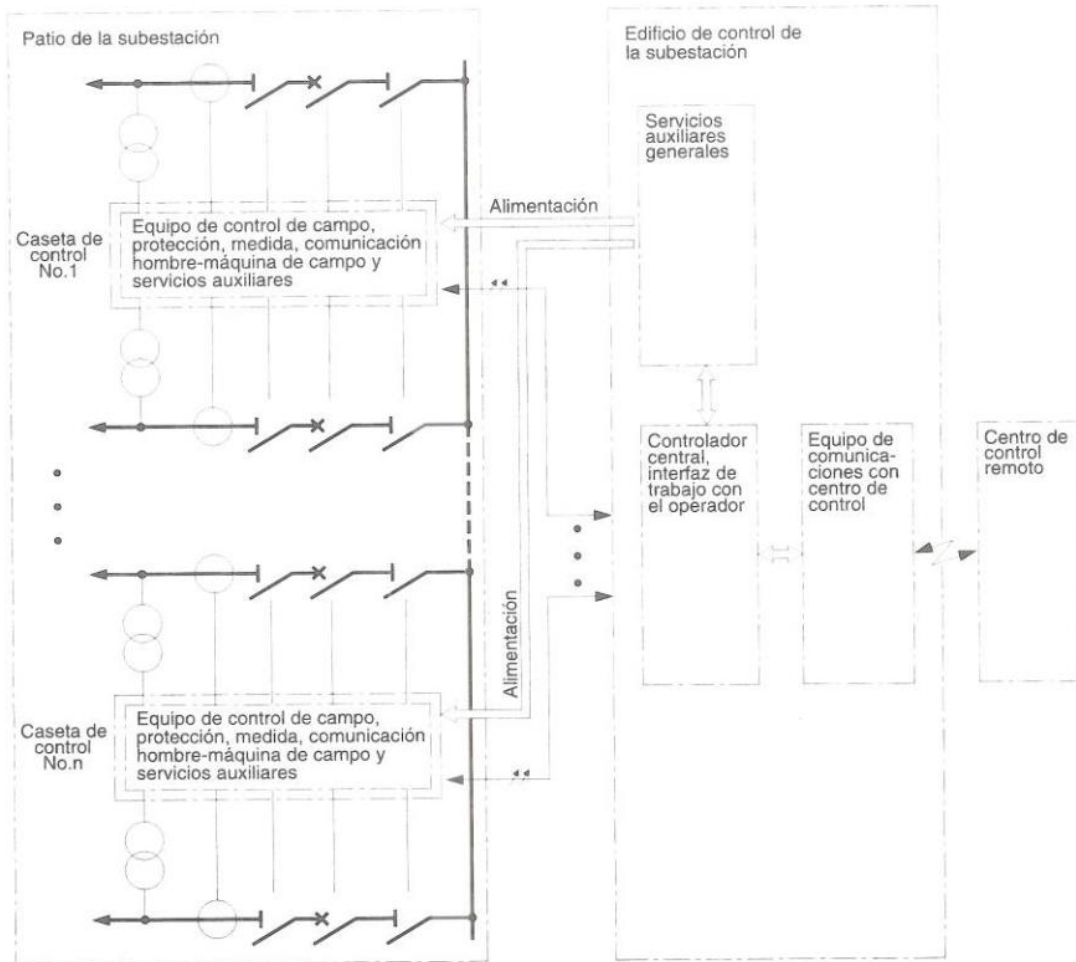


Figura 86. Sistema de control distribuido. [21]

## 2. Tecnologías de los sistemas de control

En la actualidad los avances tecnológicos han dado pasos gigantescos en los avances de supervisión y recolección de datos, el control de las subestaciones ha evolucionado rápidamente desde sistemas completamente manuales a sistemas completamente automáticos de operación remota con etapas intermedias. [21]

### 2.1. Sistemas de control convencional

El sistema convencional tiene funciones de control y supervisión que son realizadas por dispositivos que intercambian información entre sí de manera cableada.

Un sistema de control convencional está constituido por los siguientes elementos: [21]

- Unidades terminales remotas para el control remoto y registro secuencial de eventos.
- Tablero térmico
- Sistema de protección, incluyendo los relés principales y los de respaldo, recierre, localización de fallas, riesgo de fallas, verificación de sincronismo, mando sincronizado y auxiliares.

- Contadores de energía
- Sistema de alarmas
- Mando y señalización de los equipos
- Equipos de comunicación
- Servicios de corriente alterna y continua

Las subestaciones antiguas están construidas bajo estas especificaciones, pero las nuevas prácticamente no la usan, la tendencia de los últimos años ha sido modernizar estos sistemas a sistemas automáticos o combinación de ellos.

### **2.2. Sistemas de control coordinado SCC**

Este tipo de sistema las funciones de control y supervisión son realizadas por dispositivos independientes y autónomos de los de medida y protección, los cuales intercambian información entre sí, bien sea a través de enlaces de datos, o en forma convencional a través de relés o señales analógicas. [21]

Este sistema está constituido por los siguientes elementos:

- Controladores para el procesamiento de información, programación de enclavamientos
- Interfaz hombre-máquina con el operador para visualización de alarmas, mando y señalización de los equipos.
- Sistema de protección
- Control paralelo de transformadores
- Equipos de comunicación
- Servicios de corriente alterna y continua

Para este sistema toda la información de la subestación, incluyendo las señales de los equipos de protección se señala mediante contactos de señalización cableados a entradas digitales de los controladores. Las señales analógicas también se conectan a entradas analógicas de los controladores o mediante transductores externos. [21]

### **2.3. Sistema de automatización de subestaciones SAS**

Este sistema se basa en el uso de IED's, los cuales son dispositivos autónomos e independientes con facilidades de comunicación a través de protocolos normalizados que emplean microprocesadores con capacidad de recibir y enviar información desde o hacia una fuente externa. [21]

El sistema de automatización busca la integración en una misma plataforma informática los datos suministrados por los diferentes equipos. El medio físico de conexión de la red de datos entre los diferentes IED's es normalmente en fibra óptica o cable trenzado UTP categoría 5. Cuando el controlador central no se encuentra en el mismo edificio se utiliza la fibra óptica por la inmunidad a las interferencias electromagnéticas. [21]

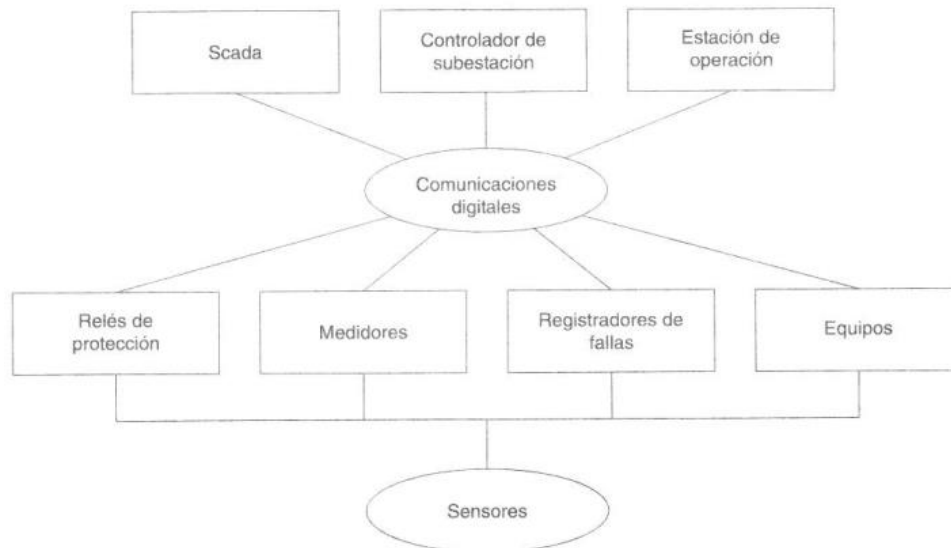


Figura 87. Principio de los sistemas de automatización de subestaciones SAS. [21]

### 3. Arquitectura de los sistemas de control

La arquitectura de los sistemas de control tiene cierto control jerárquico el cual engloba todas las actividades de la subestación, esto lo logra empujando una estructura con diferentes niveles de control y tipos de equipos según el nivel y función que ejerzan. Todos estos elementos se conectan entre sí para lograr una estructura jerarquizada o piramidal. La conexión se puede realizar mediante cables o a través de redes de comunicación de datos. [21]

Las subestaciones pueden ser del tipo atendidas, en las que las maniobras de conexión y desconexión se realizan desde las propias subestaciones con personal asignado a la operación en un horario de 7 días/ semana, 24 horas al día. En este caso las maniobras se realizan bajo la supervisión y dirección de los entes de operación global designados por las leyes, ya sea un centro nacional de despacho, centro regional de control, coordinador de operación etc.

En las subestaciones que no son atendidas la supervisión se realiza por medio del personal de mantenimiento, el cual asiste a la subestación solo cuando existen fallas en los equipos o durante operaciones de mantenimiento. [21]

#### 3.1. Arquitectura de los SAS

En la actualidad los suministradores de sistemas de control SAS permiten conectar de una misma red de comunicaciones todas los IED's manteniendo los controladores de campo a un nivel superior a los demás IED's. La estructura jerárquica de control de la subestación se define por niveles, estos corresponden a la arquitectura la cual tiene una configuración distribuida en la cual los equipos y programas se encuentran descentralizados en la subestación. [21]

Nivel 3	Sistemas remotos de información		
Nivel 3 - Nivel 2, comunicaciones e interfaces			
Nivel 2	Sistema de procesamiento del nivel 2	Almacenamiento de datos históricos y de tiempo real	Interfaz de operación – Controlador de subestación
Nivel 2 - Nivel 1, comunicaciones e interfaces (red de estación)			
Nivel 1	Controladores y puntos de I/O individuales	Interfaz de operación local (básica) Despliegues en controladores de campo	
Nivel 1 - Nivel 0, comunicaciones e interfaces			
Nivel 0	IED's (relés de protección, transductores numéricos, contadores de energía, equipos de monitoreo, etc.)		
Equipos de alta tensión y servicios auxiliares			

Figura 88. Estructura jerárquica de un sistema de control SAS. [21]

En donde encontramos que: [21]

- Nivel 3: corresponde a los sistemas remotos de información, desde los cuales se pueden monitorear y controlar los principales equipos de la subestación. El grado de control se define según las necesidades de las empresas.
- Nivel 2: corresponde al sistema de procesamiento de las SAS, al almacenamiento de datos y la interfaz de operación, localizados en la sala de control de la subestación.
- Nivel 1: está conformado por los controladores de campo que sirven como maestros para la adquisición de datos, calculo, acciones de control y procesamiento de la información relacionada
- Nivel 0: está conformado por los equipos de patio y los equipos auxiliares de la subestación, por los IED's y equipos de medida.

### 3.2. Arquitectura de los sistemas de control convencional

Este tipo de arquitectura es muy parecida al control SAS, estos también están constituidos por subsistemas y equipos que conforman diferentes niveles de control.

Nivel 2	Sistemas remotos de información	
Nivel 2 - Nivel 1, comunicaciones e interfaz por medio de unidad terminal remota (UTR)		
Nivel 1	Elementos de control convencional como anunciadores de alarmas, conmutadores, pulsadores, etc.	Interfaz de operación local (básica) Mímico
Nivel 1 - Nivel 0, cableado de control		
Nivel 0	IED's (Relés de protección, transductores, contadores de energía, equipos de monitoreo, etc.)	
Equipos de alta tensión y servicios auxiliares		

Figura 89. Estructura jerárquica de un sistema de control convencional. [21]

En donde se definen los niveles como: [21]

- Nivel 2: corresponde a los sistemas remotos de información, desde los cuales se pueden monitorear y controlar los principales equipos de la subestación. El grado de control se define según las necesidades de la empresa.
- Nivel 1: este nivel está conformado por el mímico de control y los anunciadores de alarmas que sirven para las acciones de control y adquisición de alarmas de los dispositivos y equipos de cada campo y servicios auxiliares de la subestación.



- Nivel 0: está conformado por dispositivos de protección, registradores de falla, reguladores de tensión, equipos de monitoreo, unidad de control y protección propia de los equipos, equipos de medida y también los servicios auxiliares de la subestación.

### 3.3. Modos de operación para los equipos de alta tensión

De acuerdo con los niveles jerárquicos de control se presentan los modos de operación que se usan con frecuencia, estos modos de operación varían dependiendo de las condiciones, necesidades y de acuerdo con las prácticas y criterios de operación de cada empresa: [21]

- Nivel 0: corresponde al mando que se ejecuta directamente desde los mecanismos de operación de los interruptores automáticos y seccionadores. Generalmente, los mecanismos de operación tienen un conmutador con los modos de operación remoto/loca. Se debe tener en cuenta que en remoto solo se pueden ejecutar comandos desde los niveles superiores, mientras que local solo se pueden ejecutar comandos por medio de los pensadores de cierre.
- Nivel 1: corresponde al mando de los equipos de alta tensión por medio de la interfaz hombre/máquina local IHM del campo o diámetro según se denomine. Aquí hay dos métodos de operación local y remoto como en el nivel anterior.
- Nivel 2: en sistemas SAS: corresponde al mando desde las interfaces de operación, por medio de las cuales se seleccionan los modos de operación remoto y subestación, cuando se elija remoto solo se podrán ejecutar los comandos desde el sistema de control remoto y cuando se seleccione subestación, solo se pueden ejecutar comandos desde la interfaz de la operación.
- Nivel 3: en sistemas SAS corresponde al mando desde el sistema de control remoto, en donde se supervisan, operan y controlan en forma remota los equipos de la subestación. [21]

### 4. Dispositivos y elementos usados en control

Las instalaciones de control comprenden los siguientes elementos:

Tabla 22. Elementos usados en el control. [23]

Elemento	Características
<b>Elementos ejecutores:</b> esto aparatos se utilizan para operar, a través de los interruptores y cuchillas, el equipo de alta tensión y el equipo auxiliar necesario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Interruptores</li> <li>– Cuchillas de fases</li> <li>– Cuchillas de tierra</li> <li>– Cambiadores automáticos de derivaciones, bajo carga.</li> </ul>
<b>Dispositivos de control automático:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Recierre de interruptores</li> <li>– Sincronización</li> <li>– Cambiadores de derivaciones de transformadores</li> <li>– Transferencia de alimentadores</li> <li>– Transferencia de potenciales</li> </ul>
<b>Dispositivos de alarma</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Cuadros de alarma</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zumbadores o timbres</li> </ul>
<b>Dispositivos de protección</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Transformadores de corriente</li> <li>– Transformadores de potencial</li> <li>– Relevadores de protección t auxiliares</li> <li>– Equipos de comunicación</li> </ul>
<b>Dispositivos de medición</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Amperímetros</li> <li>– Voltímetros</li> <li>– Watt metros</li> </ul>
<b>Aparatos registradores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Registrador de eventos</li> <li>– Osciloperturbografos</li> </ul>
<b>Cables de control</b>	Los cables de control sirven para interconectar las distintas partes de las instalaciones de control, los relevadores de protección y los aparatos de medición.
<b>Tableros de control</b>	Son los soportes de los aparatos de protección, medición, control alarmas, lámparas de señalización, a través de los cuales se controla toda la instalación de que se trate.

## 5. Sistemas de servicios auxiliares

Se define servicios auxiliares como el conjunto de instalaciones conformadas por las fuentes de alimentación de corriente directa y corriente alterna de baja tensión los cuales se empelan para energizar los sistemas de control, protección, señalización, alarma y alumbrado de una subestación.

Para diseñar un sistema de servicios auxiliares se tienen diversas consideraciones que van relacionadas con la instalación y operación de la subestación, algunas de estas consideraciones son: [21]

- **Confiabilidad:** la cual debe ser superior a la confiabilidad evaluada para la propia subestación.
- **Cargas:** se requiere definir, antes de dimensionar el sistema de servicios auxiliares, las cargas y sus consumos.
- **Modularidad:** la cual busca facilitar el crecimiento de la subestación sin requerir el cambio del sistema de servicios auxiliares.
- **Flexibilidad:** la cual busca optimizar las posibilidades topológicas de conexión del esquema.
- **Simplicidad:** la cual busca eliminar las complejidades operativas del esquema.
- **Mantenibilidad:** la cual pretende garantizar las facilidades de mantenimiento del esquema sin degradar la confiabilidad del mismo.

### 5.1. Niveles de tensión y límites de tensión

La tensión asignada para los equipos de cierre y apertura de los servicios auxiliares se contempla en la norma IEC 60694, aquí deben ser atendidas como la tensión de medida en los terminales de los aparatos durante su operación.

Los valores de tensión deben estar dentro de la siguiente tabla.

Tabla 23. Tensión corriente continua. [21]

Tensión
24
48
60
110 o 125
220 o 250

Tabla 24. Tensión corriente alterna. [21]

Sistemas trifásicos, 3 o 4 hilos [V]	Sistemas monofásicos, 3 hilos [V]	Sistemas monofásicos 2 hilos [2]
-	120/240	120
120/208	-	120
220/380	-	220
230/400	-	230
240/415	-	240
277/480	-	277
347/600	-	347

Según la norma ANSI C84.1, para los sistemas de corriente alterna se definen las tensiones nominales.

Tabla 25. Tensiones típicas en corriente alterna. [21]

Sistema trifásico de 3 o 4 hilos [V]	Sistema monofásico de 2 o 3 hilos [V]
-	120
120/208	-
-	120/240
127/220	-
220	-
277/480	-
480	-

## 5.2. Configuraciones de servicios auxiliares de subestaciones

Para seleccionar la configuración de los sistemas auxiliares de media y baja tensión en AC/DC, se tiene en cuenta la importancia y la incidencia de dichos sistemas en el funcionamiento de la subestación, se aplican ciertos criterios para establecer la prioridad que deben tener dentro de la subestación. Los servicios auxiliares de una subestación dependen del tipo de control que tenga, estos pueden ser centralizados o distribuido, en el sistema de control centralizado todos los elementos y equipo ya sea en AC o en DC de los servicios auxiliares se encuentran ubicados en un edificio y las cargas se encuentran distribuidas en el edificio de control y la subestación.

En el sistema de control distribuido los equipos se distribuyen, una parte se localiza en el edificio de control y los demás elementos en las casetas de control distribuidas por la subestación. [21]

A continuación, se describen los esquemas utilizados para cualquier tipo de subestación:

### 5.2.1. Configuración de media tensión

A partir de la importancia de la subestación en el sistema de potencia los sistemas de servicios auxiliares deben tener la infraestructura necesaria para recibir en media tensión hasta dos alimentadores de una red de distribución rural de media tensión y un alimentador de subestación de distribución localizada en la misma subestación. En caso de que la subestación sea de menor importancia, solo es necesario tener un circuito de alimentación a media tensión, el cual puede ser respaldado con un grupo electrógeno en baja tensión. [21]

Los siguientes esquemas corresponden a algunas configuraciones típicas en media tensión.

#### 5.2.1.1. Esquema radial simple y un solo alimentador

Cuando se trata de una subestación de menor importancia se puede utilizar este esquema radial simple, este no cuenta con ningún respaldo ante la falla de cualquier elemento ubicado entre la fuente de alimentación y la carga. En el momento que no se tiene la disponibilidad de dos circuitos de media tensión, se debe implementar el circuito de media tensión y se aumenta la confiabilidad del sistema a través de grupos electrógenos. [21]

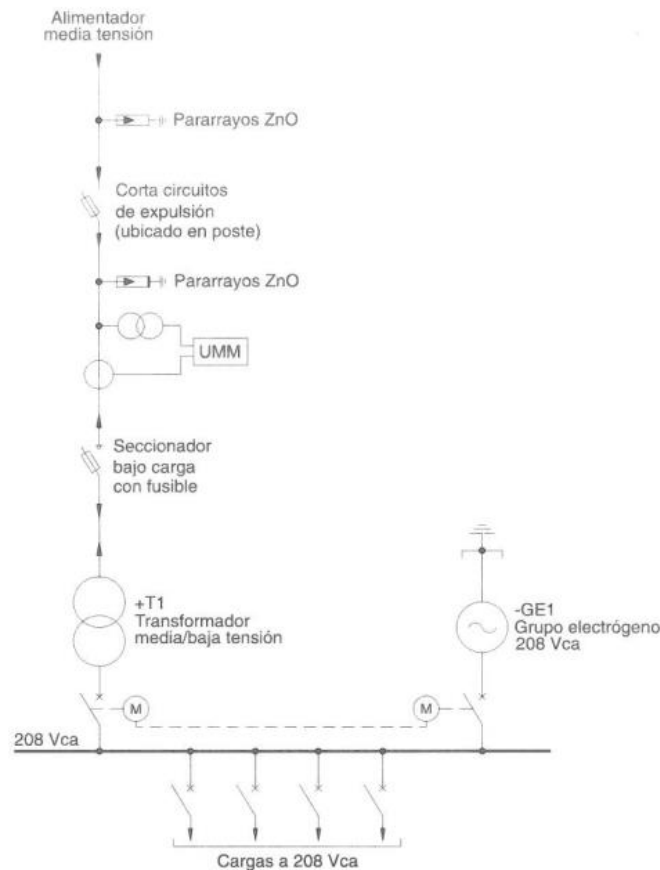


Figura 90. Esquema radial y un solo alimentador de media tensión. [21]

### 5.2.1.2. Esquema radial doble

Cuando el funcionamiento de la subestación en el sistema de potencia es de alta importancia, se recomienda utilizar dos fuentes independientes y se debe utilizar dos transformadores de media y baja tensión, los cuales se deben instalar en recintos separados. Cada transformador debe estar en la capacidad de suministrar energía a todas las cargas de los servicios auxiliares de la subestación y cada transformador dispondrá de un circuito de media tensión.

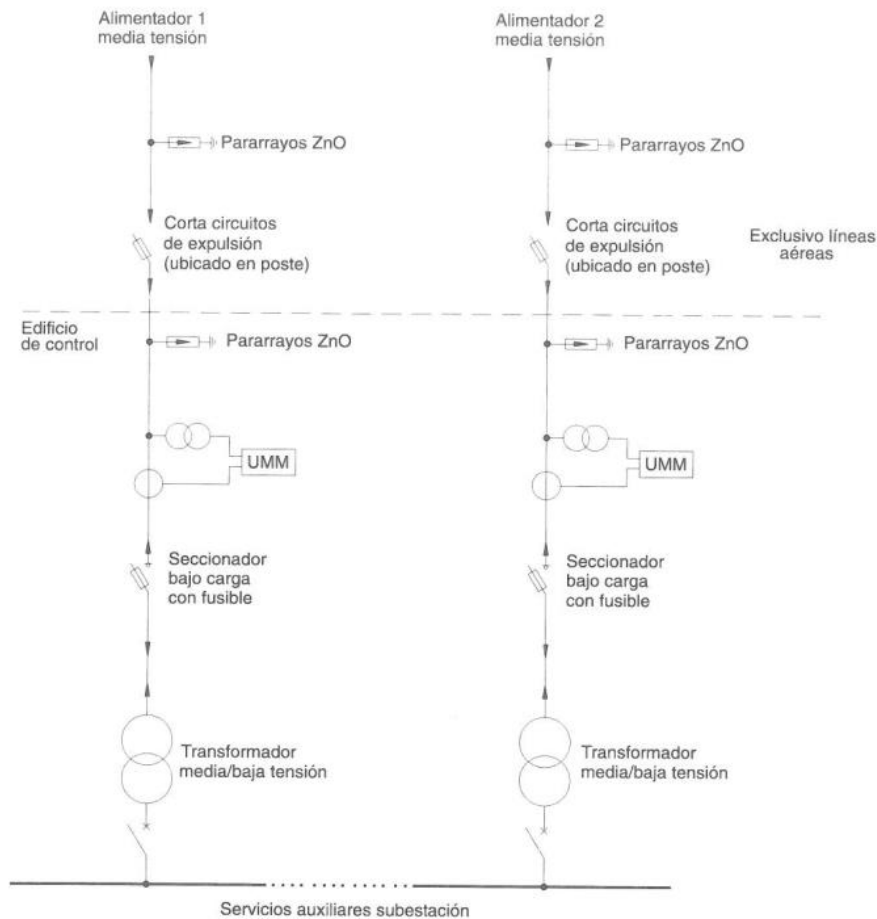


Figura 91. Alimentación media tensión radial doble. [21]

### 5.2.1.3. Esquema con alimentador de reserva

En subestaciones que requieren sistemas muy confiables se puede contar hasta con tres transformadores de media y baja tensión. en la siguiente figura se observa que el transformador T1 de la subestación puede compartir el mismo alimentador de media tensión del transformador T3 y el transformador T2 se alimenta desde una fuente independiente garantizando de esta forma una alta disponibilidad del sistema. [21]

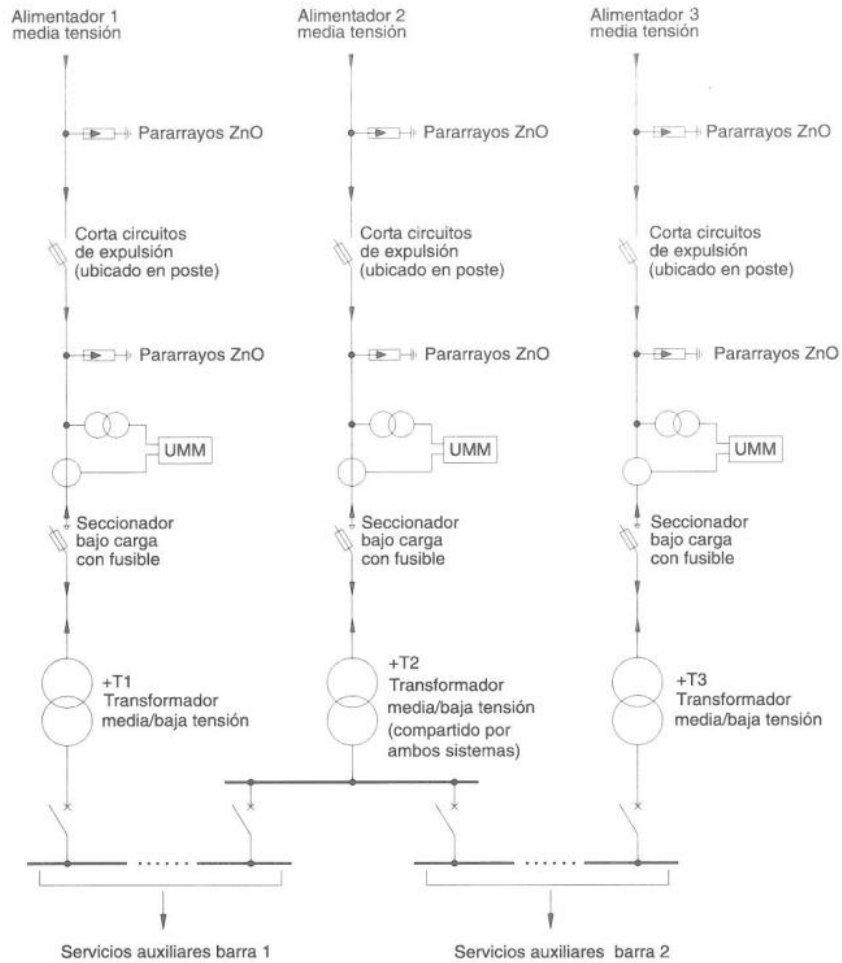


Figura 92. Alimentación media tensión con alimentador de reserva. [21]

### 5.2.2. Configuración general para los sistemas centralizados y distribuidos

En las siguientes figuras se muestran las configuraciones típicas para los sistemas centralizados y distribuidos, estas configuraciones dependen del sistema de control que se tenga y de la importancia de la subestación en el sistema.

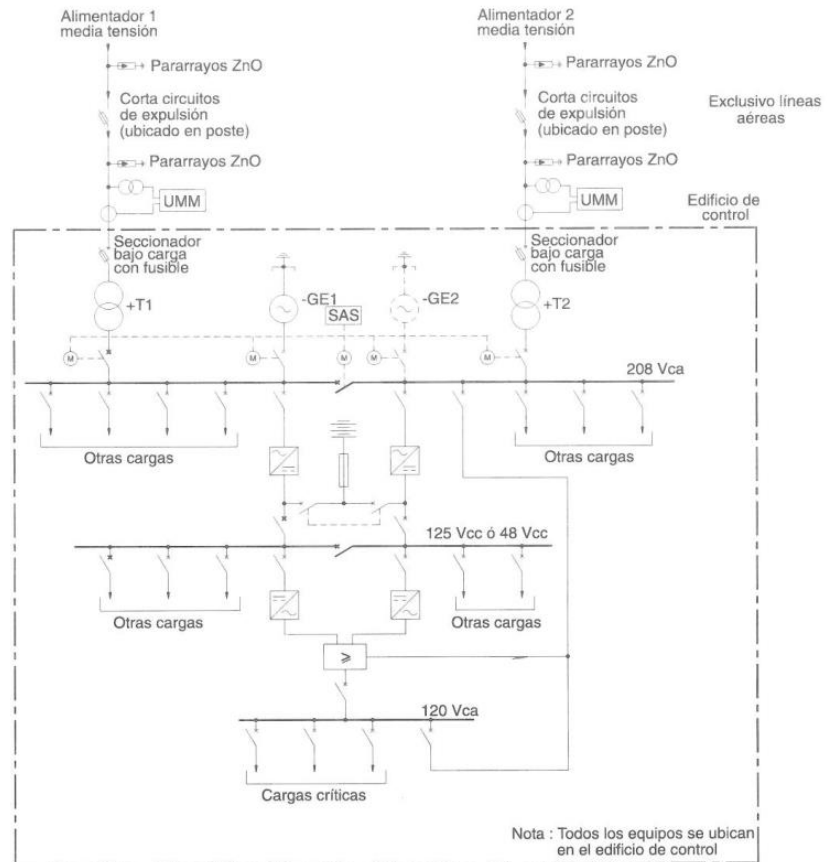


Figura 93. Sistema de servicios auxiliares centralizado. [21]

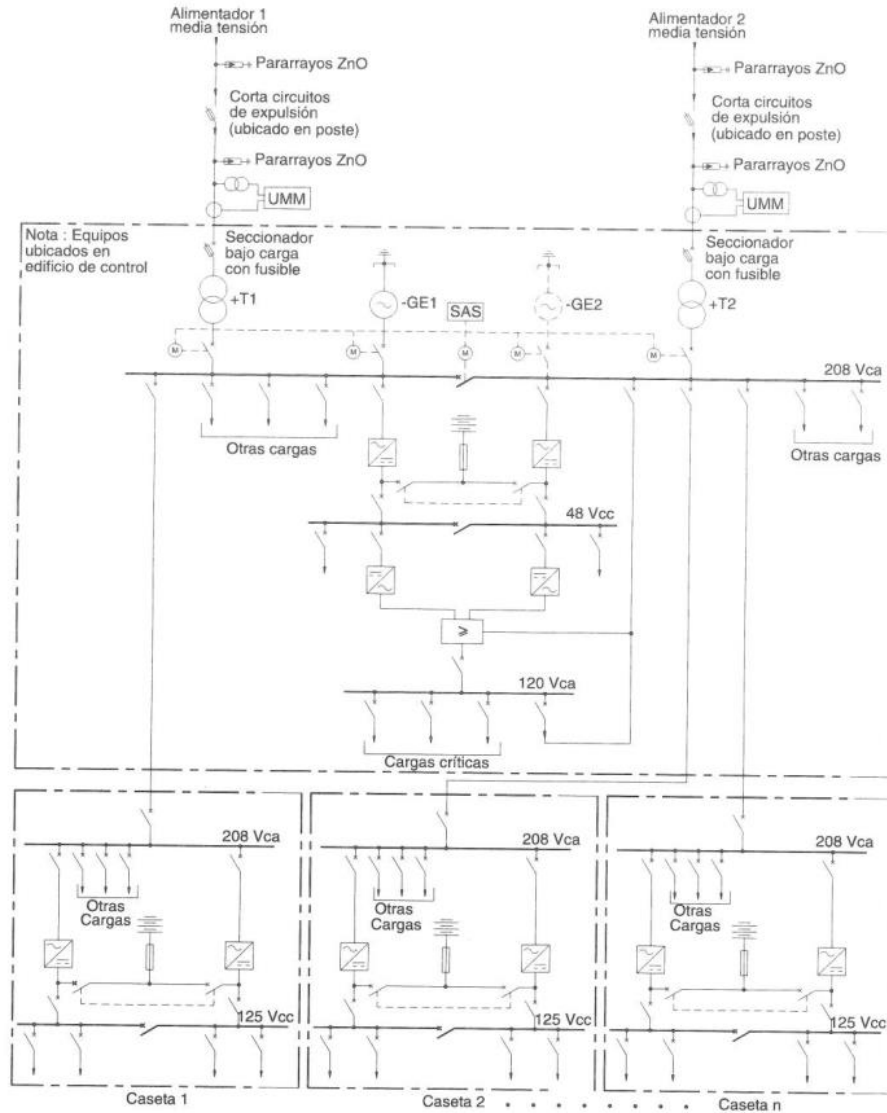


Figura 94. Servicios auxiliares distribuidos. [21]



## Capitulo IV

### **4. DESARROLLO DEL PROYECTO**

El desarrollo de este proyecto se dividió en varias partes que se enunciarán a continuación.

#### **4.1. Contenido programático**

Para el desarrollo de esta actividad se partió de una investigación acerca de los contenidos programáticos de la asignatura Subestaciones Eléctricas en Universidades Colombianas, para esto se buscó en las páginas oficiales de cada universidad el documento correspondiente, en algunos casos se tuvo la fortuna de encontrar el formato descargable propio de la universidad, en otros casos se tuvo que extraer la información de unas imágenes presentes en la página. Esto se puede apreciar en el Capítulo II inciso 2.3.

Una vez obtenida la información de algunos contenidos programáticos se inició la tarea de forma mancomunada con el docente a cargo de la materia de analizar, comparar, evaluar y seleccionar los temas y actividades más relevantes de estos contenidos con el fin de elaborar un contenido programático que abarcara la mayor cantidad de información que hay respecto al tema de subestaciones eléctricas sin descuidar puntos principales como lo es el tiempo de ejecución de actividades, la relación que pueden tener con otras materias y la innovación e impacto que tienen en la actualidad.

Teniendo esta idea en mente se estructuró el nuevo contenido programático de la asignatura Subestaciones Eléctricas (Ver Capítulo II inciso 2.5), el cual contempla los módulos necesarios para cumplir el objetivo de formación de la asignatura.

#### **4.2. Elaboración de los Módulos**

Para la ejecución de esta actividad se partió de los temas seleccionados en las unidades que se encuentran en el nuevo contenido programático de la asignatura de Subestaciones Eléctricas de la Universidad de Pamplona.

A partir de esto se inició el proceso para la creación de los módulos, se iba buscando información referente al tema de la unidad que se estuviera trabajando, ya fuera en libros, artículos, páginas web, normativas o trabajos de grado, etc., se extraía la información pertinente y con ayuda del docente del área de Subestaciones Eléctricas se inspeccionaba y se daba un visto bueno para ser agregada en los módulos. Este procedimiento se repitió 7 veces. Esta labor fue ardua debido a la basta cantidad de información que se manejó.

#### **4.3. Creación de los recursos visuales**

Para el desarrollo de este objetivo se elaboraron diversos recursos visuales como son la creación de cuadros conceptuales, tablas, adquisición de imágenes en HD y la elaboración de figuras y planos en 2D, esto a través de diferentes programas.

Para la creación de los cuadros conceptuales y las tablas se utilizó el programa Word, aquí mediante cuadros de texto y la posibilidad de insertar líneas y tablas, se diseñaron los cuadros conceptuales y demás recursos, para la elaboración de estos recursos visuales se escogió la información pertinente a la temática tratada en el módulo.

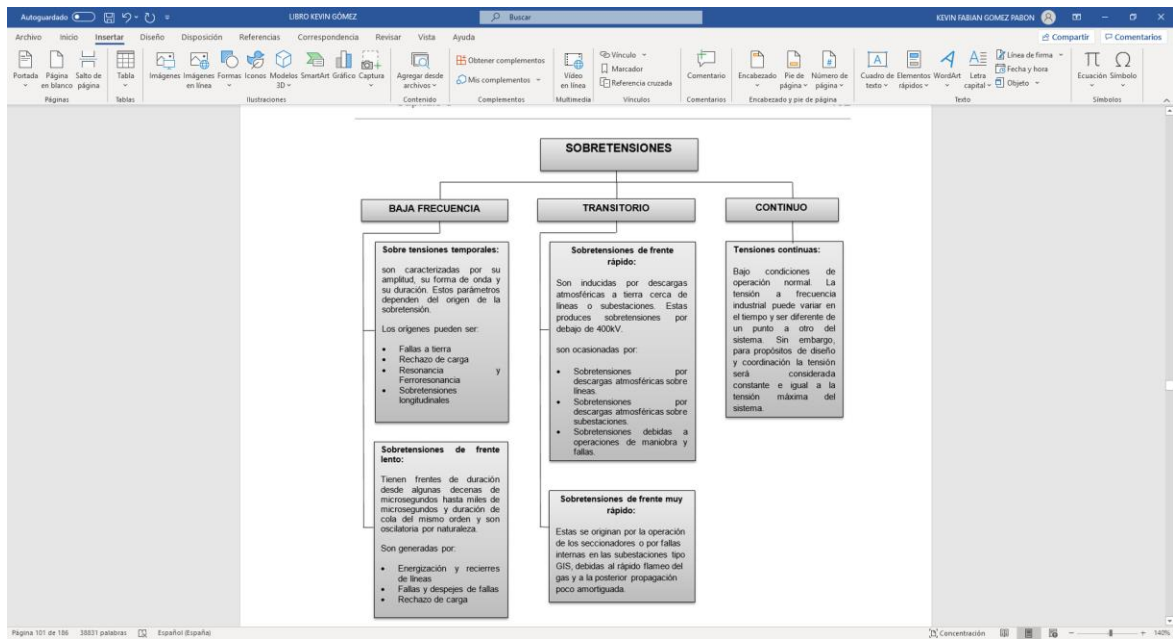


Figura 95. Programa Word

En la figura 95 se observa la p programa Word con el resultado final de un cuadro conceptual.

Para la elaboración de las figuras se utilizó el programa AutoCAD, y a través del libro de Subestaciones eléctricas de alta y extra alta tensión de Mejía Villegas S.A se extraían las figuras de los temas presentes y se iban diseñando las nuevas configuraciones en el programa, estas mejoran la presentación de las configuraciones y disposiciones físicas de las subestaciones.

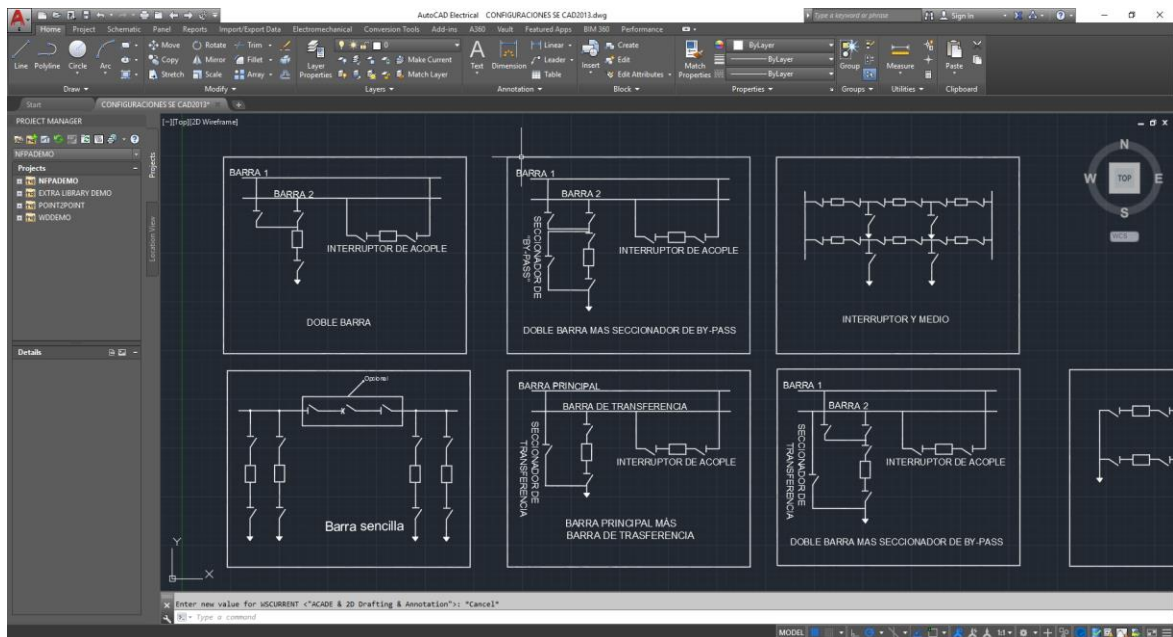


Figura 96. Programa AutoCAD

En la figura 96 se observa la página principal del programa AutoCAD con las figuras elaboradas en 2D.

#### 4.4. Problemas y actividades

Para la elaboración de los problemas y actividades del curso se partió de las diferentes modalidades de actividad que presenta la plataforma Moodle. Se elaboró un glosario, un cuestionario, y un enlace tipo URL.

En la siguiente figura se aprecian las diferentes actividades disponibles.

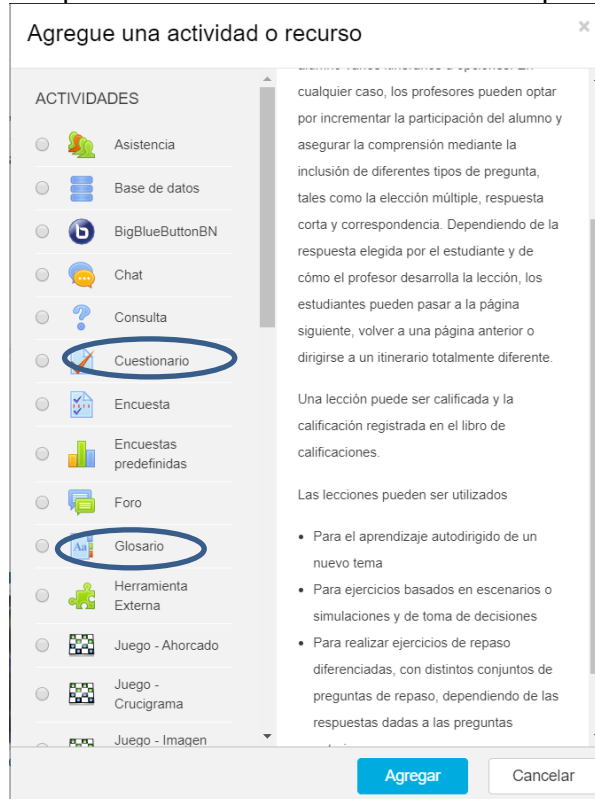


Figura 97. Lista de actividades disponibles en la plataforma Moodle.

##### 4.4.1. Glosario

Para la elaboración de un glosario en la plataforma Moodle, se ingresó en la opción de “activar edición” y en el apartado de “Agregar una actividad o recurso”, una vez hecho esto se despliega una nueva ventana con las actividades disponibles, al seleccionar la opción de glosario y agregar, se abra creado en la página principal del curso un apartado en donde se podrá editar el nombre y otros parámetros relevantes del glosario.

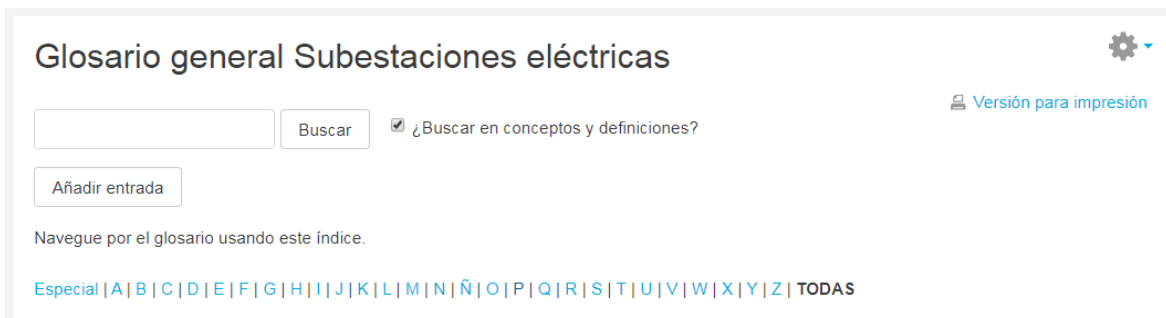


Figura 98. Pantalla de presentación del Glosario de Subestaciones Eléctricas.

En la Figura 98 se observa la presentación del glosario en el momento en que se selecciona, aquí el estudiante podrá buscar directamente la palabra deseada o podrá seleccionar una letra en donde se encuentra ubicada y se mostrarán todas las palabras existentes en el glosario que comiencen con la misma letra.

Figura 99. Ventana para agregar los conceptos y definiciones.

En la figura 99 se observa la ventana para la edición del contenido del glosario, aquí se puede anexar tanto texto como imágenes, esto último para complementar las definiciones y conceptos.

Una a una se anexaron las palabras en la plataforma, Las palabras fueron mayormente extraídas del libro de subestaciones eléctricas de Alta y extra alta tensión del Mejía Villegas.

### 4.4.2. Cuestionario

Como segunda actividad se elaboró un cuestionario para complementar y afianzar los conocimientos adquiridos en los módulos vistos en el curso, para la elaboración del cuestionario se ingresó en la opción de “activar edición” y en el apartado de “Agregar una actividad o recurso”, se selecciona la opción de cuestionario.



Figura 100. Pantalla de presentación del cuestionario de Subestaciones Eléctricas.

En la Figura 100 se observa la pantalla principal del cuestionario de subestaciones eléctrica, en esta se observan diversas características del curso, como es el tiempo límite de desarrollo y el método de calificación.

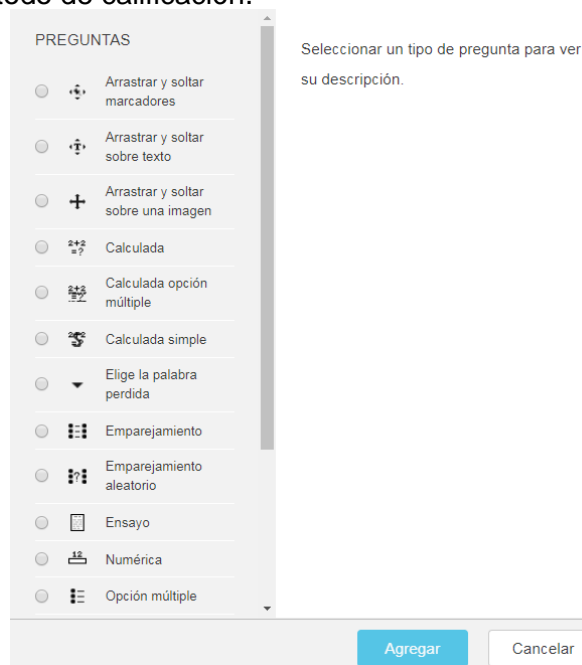


Figura 101. Tipos de pregunta disponibles en la actividad cuestionario.

Para el desarrollo de esta actividad se implementaron diversas formas de evaluar el conocimiento del estudiante, en la Figura 101 se observan los tipos de preguntas presentes en la plataforma Moodle para la elaboración de cuestionarios. A continuación, se observan los tipos de preguntas utilizadas en el cuestionario.

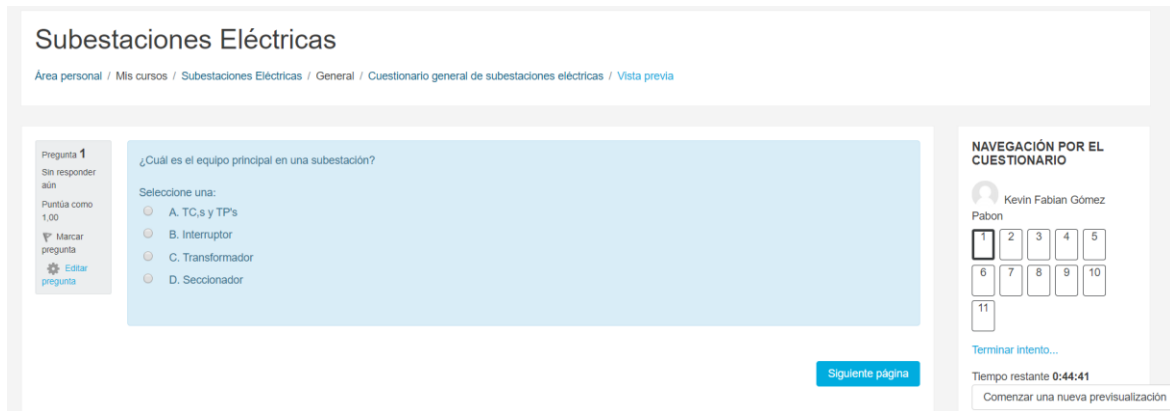


Figura 102. Preguntas tipo opción múltiple con única respuesta.

Este tipo de pregunta es la forma de evaluación más común, aquí el estudiante debe seleccionar una única opción entre una lista de respuestas. En las opciones y ajustes del cuestionario el docente a cargo del curso podrá modificar parámetros relevantes del curso, duración de la prueba, cantidad de preguntas y respuestas y demás parámetros que permitirán la correcta ejecución del cuestionario.

En este cuestionario el estudiante seleccionara la respuesta que le parezca correcta y una vez allá avanzado la plataforma le dará a conocer el resultado, a través de un mensaje dará aviso de que la respuesta sea "correcta" o "incorrecta", la plataforma siempre mostrara en la parte inferior de la pantalla la respuesta correcta con el fin de que el estudiante tome nota sobre el resultado.



Figura 103. Preguntas de relación gráfica.

En la Figura 103 se observa otra forma de evaluar al estudiante, este es un tipo de pregunta en la cual el estudiante tenga que seleccionar una imagen que represente lo pedido en la pregunta. por medio de la relación grafica entre el conocimiento adquirido y una figura que represente, el estudiante debe seleccionar cual imagen se acoge mejor a la descripción.

Mencione un tipo de seccionador según la función que realiza en la subestación

Respuesta:

Figura 104. Preguntas tipo respuesta corta.

En la Figura 104 se observa un tipo pregunta que consiste en evaluar al estudiante por medio de una repuesta corta y concisa, aquí el estudiante tendrá que digitar la respuesta que crea correcta.

Ubicar en la posición correcta las siguientes partes del transformador. Para esto debe seleccionar las palabras que aparecen abajo y arrastrarla al lugar correspondiente.

El diagrama muestra un transformador con las siguientes etiquetas: Tapón del aceite, Depósito conservador del aceite, Nivel del aceite, Tapa de cierre de la cuba, Bridas de apriete (madera), Bobina aislante, Bridas de apriete (madera), Ruedas de transporte, and Cuba principal con aletas de refrigeración. Debajo del diagrama hay una lista de palabras desordenadas: Pasatapas de B.T, Pasatapas de A.T, Argolla de elevación, Devanado de B.T, Devanado de A.T, Núcleo Magnético, Conexión de B.T, and Conexión de A.T.

Figura 105. Pregunta tipo Arrastrar y soltar.

En la Figura 105 se observa un tipo de pregunta en la cual el estudiante deberá seleccionar en la parte inferior un rectángulo y arrastrarlo hasta el lugar en donde crea que corresponde. Este tipo de pregunta motiva al estudiante al ser algo diferente e innovador.

Elegir...

:Este tipo de subestación están ubicadas en centrales generadoras, se encuentran alojadas en los centros de consumo y estas sirven para elevar la tensión a niveles óptimos y económicos para la transmisión de energía eléctrica. En estas subestaciones los transformadores tienen conexión en delta estrella aterrizada, esto para evitar que las armónicas producidas por el generador pasen a la red de alta tensión y con la estrella aterrizada se permite el aterrizamiento del neutro para evitar sobretensiones y permitir la operación rápida de las protecciones eléctricas del sistema.

Figura 106. Pregunta tipo Elegir la palabra correcta.

En la Figura 106 se observa un tipo de pregunta en la que el estudiante debe seleccionar una opción entre una lista posible de respuestas para completar el párrafo.

#### 4.4.3. Enlaces URL

El desarrollo de esta actividad consta de la creación en la plataforma Moodle de una actividad llamada “URL” en esta se albergan los links y enlaces que llevan al estudiante a diferentes paginas educativas con el fin de afianzar o complementar los temas vistos en el curso.



Equipo de una Subestación eléctrica

Figura 107. Enlace URL

#### 4.5. Implementación de los módulos

Una vez realizados los módulos del contenido del curso, se inicia el proceso para subir la información a la plataforma, Moodle tiene una interfaz sencilla de interpretar y de trabajar, esto facilita el trabajo a la hora de crear los módulos y organizar toda la información en ellos.

A continuación, se muestra el proceso para subir los módulos a la plataforma Moodle.



Figura 108. Vista principal del curso Subestaciones Eléctricas.

En la figura 108. Se observa la interfaz de la página principal del curso de Subestaciones Eléctricas, esta cuenta con una introducción, 3 actividades y 7 módulos.

Para la creación de los módulos se ingresa en el apartado de editar ajustes como lo muestra la figura 109.





Figura 109. Herramientas de la plataforma Moodle.

Una vez hallamos entrado en el apartado de editar ajustes aparecerán una serie de opciones para modificar parámetros relevantes del curso como lo muestra la Figura 109.

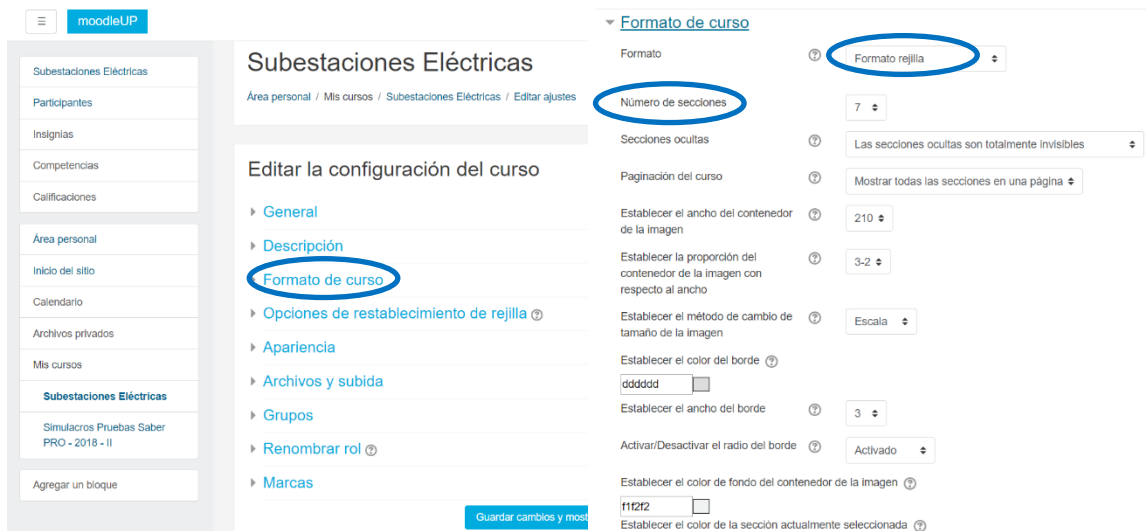


Figura 110. Edición de las configuraciones del curso.

En la sección de Formato de curso, se puede modificar el formato con el cual se presenta el curso, para este proyecto se seleccionó la opción rejilla, con esta se permite una interacción con el usuario más eficiente identificando la temática del módulo ya sea por el título o por una imagen que se agrega a la rejilla.

Para poder editar los cursos creados anteriormente, se debe activar la opción Activar edición.



Figura 111. Herramientas para edición del curso.

Una vez creada la ubicación del módulo y activado el modo edición se procede a ingresar en las opciones de Edición y después Ajustar sección. En la Figura 112 se observa el espacio de trabajo que tiene la plataforma Moodle para la edición de la información, el editor de contenidos tiene varias herramientas similares a Word y una zona de trabajo donde se incluye la información que se quiere mostrar para fundamentar la asignatura.

Aquí se agrega la información pertinente a cada módulo, el ingreso del texto se hace de forma directa, pero las imágenes y tablas deberán ser agregadas de forma diferentes, estas se deberán insertar.

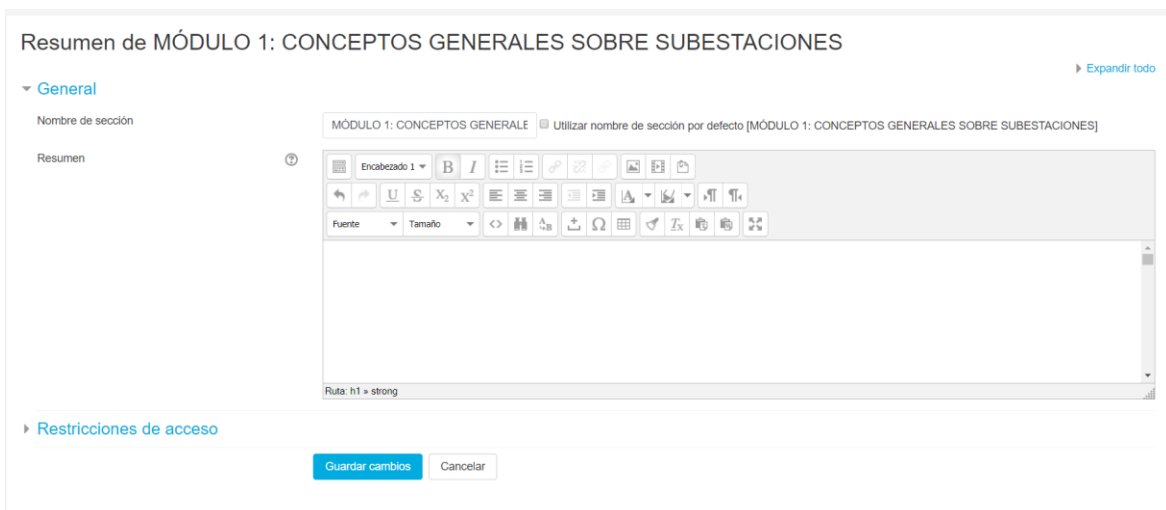


Figura 112. Editor interno de texto.

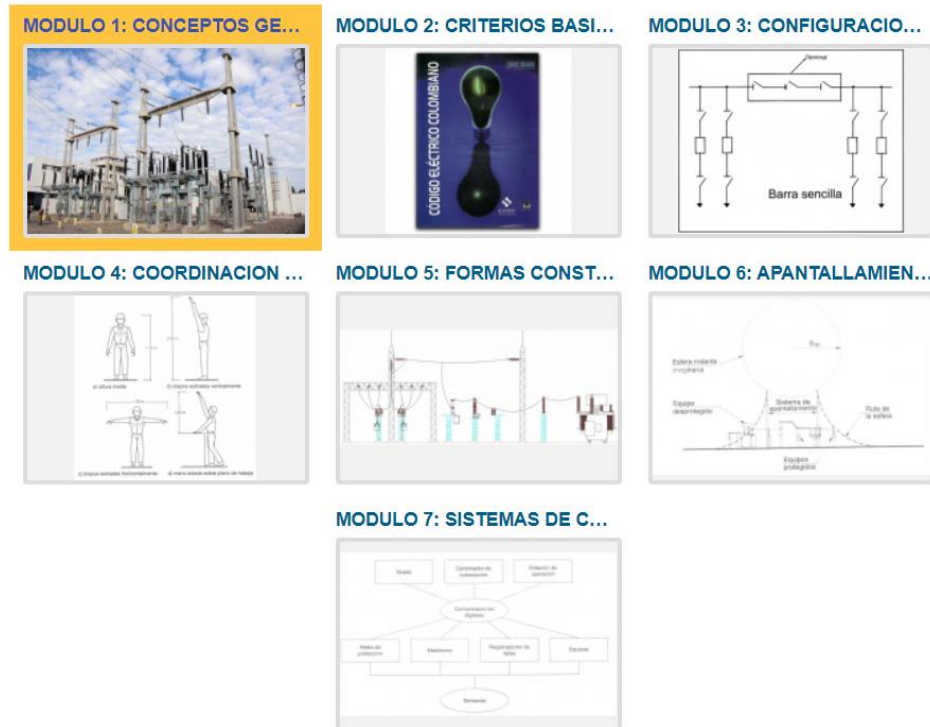


Figura 113. Vista final de los 7 Módulos elaborados.

En la Figura 113 se observa cómo queda el formato de la plataforma una vez agregada toda la información de los módulos que componen la herramienta educativa.

La siguiente actividad a realizar, es agregar actividades al curso, para ello se ingresa en la opción de Agregar una actividad o recurso, en la Figura 114 se observa las actividades con las que cuenta la plataforma Moodle, para este proyecto fueron necesarias las opciones de Archivo, Cuestionario y Glosario.

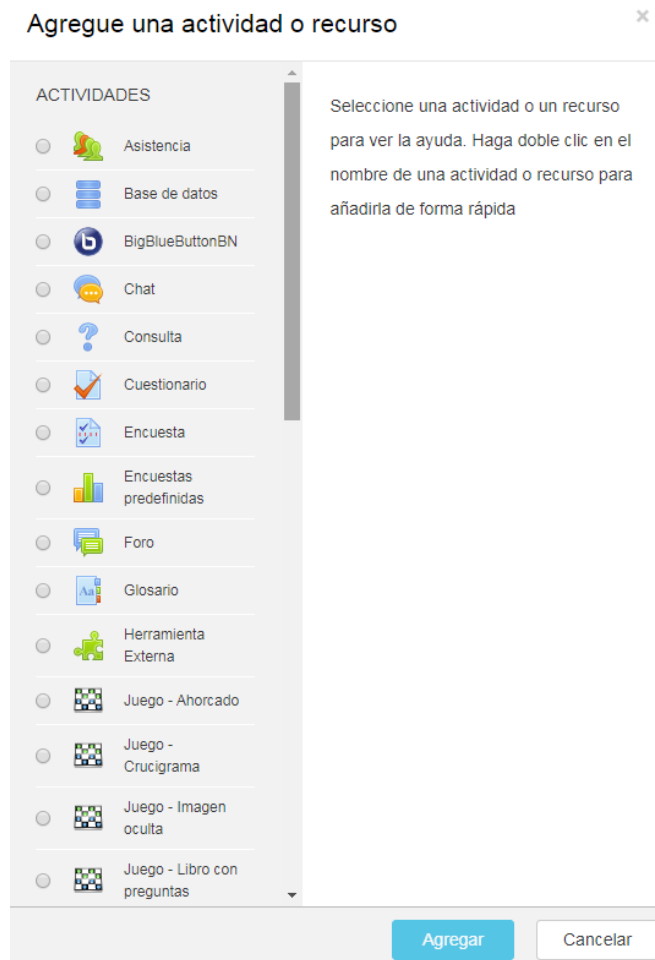


Figura 114. Interfaz para la creación de actividades.

La plataforma Moodle da la opción de agregar actividades en la pantalla principal del curso o dentro de cada módulo creado, dependiendo de las necesidades que tenga el docente.

## 4.6. RESULTADOS

Una vez culminado este proyecto se tiene los siguientes resultados.

### 4.6.1. Contenido programático reestructurado

A continuación, se observa el formato final que se realizó para el contenido programático de la asignatura de Subestaciones Eléctricas de la Universidad de Pamplona.

	<b>Contenidos Programáticos Programas de Pregrado</b>	<b>Código</b>	FGA-23 v.03
		<b>Página</b>	1 de 4

**FACULTAD:** Ingenierías y Arquitectura

**PROGRAMA:** Ingeniería Eléctrica

**DEPARTAMENTO DE:** Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Telecomunicaciones y Sistemas

**CURSO:**  **CÓDIGO:**

**ÁREA:**

**REQUISITOS:**  **CORREQUISITO:**

**CRÉDITOS:**  **TIPO DE CURSO:**

**FECHA ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN**

**JUSTIFICACIÓN**

Las subestaciones eléctricas establecen el enlace entre los centros de generación y los centros de consumo de energía en cualquier sistema eléctrico, contribuyendo así en un normal funcionamiento y crecimiento de la economía de un país y en sus hábitos diarios de vida. El conocer las subestaciones del sistema eléctrico colombiano, sus componentes físicos y su modelamiento eléctrico es indispensables para determinar y entender el comportamiento de las redes ante ciertos fenómenos eléctricos y poder especificar las protecciones asociadas y realizar la planeación de trabajos de expansión futuros.

**OBJETIVO GENERAL**

Dar a conocer a los estudiantes la importancia de las características eléctricas de las subestaciones en los procesos de generación y transporte de energía eléctrica.

**OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Proveer de herramientas para el análisis de las subestaciones según ciertos comportamientos eléctricos, suministrando conocimientos correspondientes a los parámetros de diseño de subestaciones, redes de trasmisión y distribución y normatividad en cuanto a su construcción y operación.

**COMPETENCIAS**

- El estudiante desarrollará competencias para analizar los conceptos básicos del diseño de una subestación, recordados con trabajos específicos en cada área de diseño, además de analizar los sistemas eléctricos de plantas eléctricas y repotenciación de las mismas.

Figura 115. Datos relevantes del nuevo contenido programático.

En la Figura 115. Se observa información relevante del curso como es el número de créditos, objetivos específicos y general y la justificación de por qué es importante esta materia

	<b>Contenidos Programáticos Programas de Pregrado</b>	Código	FGA-23 v.03
		Página	2 de 4

TEMA	HORAS DE CONTACTO DIRECTO	HORAS DE TRABAJO INDEPENDIENTE DEL ESTUDIANTE
<b>UNIDAD 1: CONCEPTOS GENERALES SOBRE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS</b> 1.1 Definiciones 1.2 Capacidad 1.3 Tensiones 1.4 Equipos de una subestación El transformador de potencia El transformador de potencial El transformador de corriente Banco de condensadores Pararrayos El interruptor El seccionador Bancos de baterías Bobinas de bloqueo 1.5 Tipos de Subestaciones Subestaciones convencionales Subestaciones aisladas en gas. Subestaciones con electrónica de potencia		
<b>UNIDAD 2: CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE SUBESTACIONES</b> 2.1 Procedimiento general de diseño 2.2 Presupuesto 2.3 Planos 2.4 Normativa relacionada		
<b>UNIDAD 3. CONFIGURACIONES DE LAS SUBESTACIONES</b> 3.1 Configuraciones de conexión de barras-tendencia europea 3.2 Configuraciones de conexión de interruptores-tendencia americana 3.3 Selección de una configuración 3.4 Simulación de maniobras 3.5 Normativa relacionada		
<b>UNIDAD 4: COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO, DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD</b> 4.1 Sobretensiones 4.2 Nivel de aislamiento normalizado 4.3 Mecanismos de protección contra sobretensiones 4.4 Dimensionamiento de las distancias mínimas 4.5 Dimensionamiento de las distancias de seguridad 4.6 Dimensionamiento de una subestación 4.7 Normativa relacionada		

Figura 116. Actividades, temas y subtemas del nuevo contenido programático.

En la Figura 116 se observa las 4 primeras unidades que componen el contenido programático, para la selección de estos temas se realizó una comparativa con otros contenidos programáticos de diversas universidades y con ayuda del docente del área de Subestaciones Eléctricas se escogieron los temas más relevantes.

TEMA	HORAS DE CONTACTO DIRECTO	HORAS DE TRABAJO INDEPENDIENTE DEL ESTUDIANTE
<b>UNIDAD 5: FORMAS CONSTRUCTIVAS Y DISPOSICIÓN DE UNA SUBESTACIÓN</b>  5.1 Disposiciones clásicas 5.2 Disposiciones modificadas 5.3 Elementos compactos 5.4 Subestaciones con electrónica de potencia. 5.5 Software para el diseño asistido de subestaciones 5.6 Normativa relacionada		
<b>UNIDAD 6: APANTALLAMIENTO Y SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA</b>  6.1 Métodos empíricos 6.2 Modelo electro geométrico 6.3 Normativa relacionada 6.4 Materiales utilizados en la malla de tierra 6.5 Configuraciones del sistema de una malla 6.6 Diseño del sistema de malla de puesta a tierra		
<b>UNIDAD 7 SISTEMA DE CONTROL, PROTECCIÓN Y SERVICIOS AUXILIARES</b>  7.1 Tipos de sistemas de control 7.2 Características del control en una subestación 7.3 Elementos de protección y equipos asociados 7.4 Configuraciones de sistemas de servicio auxiliares		

**METODOLOGIA**


La asignatura se rige por los principios del plan de estudios del programa:

- Exigencia y justeza
- Rigor profesional
- Profundidad y simpleza
- Transparencia y coherencia

Centrados en el enfoque curricular de "formar para la vida" presente y futura a través de una "formación integral para la convivencia", donde la formación de independencia se estructura a través de una enseñanza "activa y desarrolladora" con fundamentos en el principio de "Zona de desarrollo próximo" de Vygotsky, explicado en detalle en el plan de estudios del programa PEP.

Figura 117. Actividades y metodología del contenido programático.

En la Figura 117. Se observan la estructura de las unidades 5, 6 y 7 del nuevo contenido programático, estas fueron seleccionadas de forma meticulosa con ayuda del docente de la asignatura y la metodología con la cual se rige la asignatura.

	<b>Contenidos Programáticos Programas de Pregrado</b>	<b>Código</b>	FGA-23 v.03
		<b>Página</b>	4 de 4

**SISTEMA DE EVALUACIÓN**

Según Reglamento Académico Estudiantil y las fechas programadas en el calendario académico.

**BIBLIOGRAFÍA DISPONIBLE EN UNIDAD DE RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

- [1] MEJIA VILLEGAS S.A. Subestaciones de Alta y Extra alta Tensión, 2003
- [2] Roeper, R. "Corrientes de Cortocircuito en Redes Trifásicas". Marcombo. Barcelona, 1.985
- [3] Raul Martín, J. "Diseño de Subestaciones Eléctricas". McGraw Hill, México D. F., 1.987
- [4] Enríquez Harper, G. "Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas". Limusa. México D.F., 1.980
- [5] Orille Fernández, A. L. "Centrales Eléctricas III". Ediciones UPC. Barcelona, 1.993
- [6] Moreno Clemente, J. "Instalaciones de Puesta a Tierra en Centros de Transformación". Málaga, 1.991
- [7] Montané Segura, P. "Protección en las Instalaciones Eléctricas". Marcombo. Barcelona, 1.993

**BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA**

- [8] Reglamento sobre Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación
- [9] Normas ONSE de la Compañía Sevillana de Electricidad
- [10] Normas UNE
- [11] Recomendaciones UNESA

Figura 118. Bibliografía presente en el nuevo contenido programático.

El diseño del contenido programático consiste en 7 Unidades, estas albergan los temas más relevantes e innovadores en el área de subestaciones eléctricas con los cual se podrá tener las bases necesarias para cumplir el objetivo de formación de la asignatura.

La reestructuración de este contenido programático se ejecutó con el fin de ser implementado en el plan de estudio de la asignatura Subestaciones Eléctricas de la Universidad de Pamplona, a través del docente de la asignatura se llevó a cabo el proceso de gestión para la validación, autorización y próxima implementación de esta nueva reestructuración.

**4.6.2. Módulos de la herramienta educativa**

Como resultados de este objetivo se tiene la creación de 7 módulos los cuales cuentan con la información competente a la temática propuesta en el nuevo contenido programático. La estructura de estos módulos consiste en una introducción unos términos y definiciones y a partir de ahí se comienza a tratar los temas por individual desde un enfoque ingenieril acompañados de imágenes y otros recursos visuales para mejorar la comprensión de estos.



**MÓDULO 1: CONCEPTOS GENERALES SOBRE SUBESTACIONES**

**DEFINICIONES**

Las siguientes definiciones fueron tomadas del libro Subestaciones eléctricas de alta y extra alta tensión, del autor Mejía Villegas. [1]

- **Acople:** operación mediante la cual se enlazan los barrajes constitutivos de una subestación. Nombre que se asigna al campo de conexión de barrajes.
- **Barraje:** punto común de conexión de los diferentes circuitos asociados a una subestación (nodo del sistema)
- **Campo de conexión (bahía, módulo):** conjunto de los equipos de una subestación para la maniobra, protección y medida de un circuito que se conecta a ella.
- **Capacidades:** La capacidad de una subestación se puede fijar considerando la demanda actual de la zona en KVA. El incremento por extrapolación durante los siguientes diez años. Previendo el espacio necesario para las futuras ampliaciones.
- **Configuración:** ordenamiento dado a los equipos de maniobra de una subestación que permite definir sus propiedades y características de operación.
- **Construcción:** conjunto de actividades que se realizan para adelantar la ejecución de las obras físicas de la subestación.
- **Disposición física:** ordenamiento físico de los diferentes equipos y barrajes constitutivos del patio de conexiones enlazados de acuerdo con el tipo de configuración de la subestación.
- **Energización/ puesta de servicio:** procedimiento que se realiza para la tirma de tensión y la toma de carga de los equipos y sistemas de la subestación y de los circuitos asociados, para disponer en operación comercial la instalación.
- **Equipos de patio:** elementos electromecánicos de alta tensión utilizados para realizar la maniobra. Protección y medida de los circuitos y barrajes de una subestación.
- **GPS:** instrumento que permite establecer las coordenadas geográficas de un sitio a partir de un sistema satelital.
- **Interruptor:** dispositivo de maniobra capaz de interrumpir, establecer y llevar las corrientes normales o asignadas del circuito y las anormales o de cortocircuito, mediante la conexión y desconexión de circuitos.
- **Modularidad:** propiedad mediante la cual es posible modificar la configuración de la subestación, mediante la adición de módulos.
- **Montaje:** conjunto de actividades que se realizan para ejecutar el ensamble y la conexión de los equipos y sistema que conforman la subestación.
- **Pararrayos:** dispositivo para la protección del sistema de potencia y sus componentes contra las sobretensiones, ya sea producidas por descargas atmosféricas o por maniobras en el sistema durante fallas.
- **Patio de conexiones:** área en donde se instalan los quipos de patio y barrajes con el mismo nivel de tensión.
- **Pruebas:** conjunto de actividades que se realizan para verificar el diseño, la fabricación, el correcto montaje y la funcionalidad de los equipos y sistemas de la subestación de acuerdo con las especificaciones técnicas, los diseños de detalle y las condiciones operáticas definidas.
- **Seccionador:** dispositivo de maniobra utilizado para aislar los interruptores, porciones del subestación o circuitos, para mantenimiento; en configuraciones de barras son utilizados para seleccionar la forma de conexión de circuitos y los barrajes.

Figura 119. Presentación Modulo 1: Conceptos generales sobre subestación.

En la Figura 119 se muestra el formato en el que se da a conocer la información del contenido del módulo 1: Conceptos generales sobre subestaciones, en este módulo se aborda temas como definiciones, equipo de una subestación y tipos de subestaciones, con el fin de introducir al estudiante en la temática y comience a manejar términos técnicos y definiciones.

**MÓDULO 2: CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE SUBESTACIONES**

**DISEÑO DE SUBESTACIONES**

**Generalidades**

**Procedimiento general de diseño**

Para el diseño de una subestación se debe tener en cuenta el procedimiento general con base en los criterios, exigencias y tendencias modernas.

**Datos de entrada**

La iniciación de los diseños parte del establecimiento de la necesidad de una nueva subestación o del a ampliación de una ya existente en el sistema, para lo cual se requiere que el personal de planeación haya establecido la siguiente información antes de comenzar las actividades: [1]

- Localización general
- Tensión de diseño
- Numero de circuitos iniciales
- Equipos de transformación y/o compensación requeridos
- Aplicaciones futuras (tamaño final de la subestación)

la unidad de planeación de una compañía de producción t transmisión de energía o el regulador de la expansión del sistema de transmisión de un país o región, es quien se encarga de determinar el número de circuitos de transmisión, el número de patios de conexión y la ubicación general de la subestación en el sistema. En el caso de una subestación asociada con la planta generadora, el número de circuitos de generación está determinado por el diseño mismo de la central. Esta información es entregada en forma de diagrama unifilar general, tal como se ilustra en la figura #: a cada circuito se debe asignar el año de entrada y la etapa de desarrollo a la que pertenece. [1]

**Datos generales**

Figura 120. Presentación Modulo 2: Criterios básicos para el diseño de subestaciones

En la Figura 120 se observa el contenido del Módulo 2: Criterios básicos para el diseño de subestaciones, en este módulo se trata la temática de diseño de subestaciones de una forma superficial debido a que este tema es complejo y el tiempo disponible no alcanza, la idea es que el estudiante aborde el tema y consiga entender la metodología para el diseño.

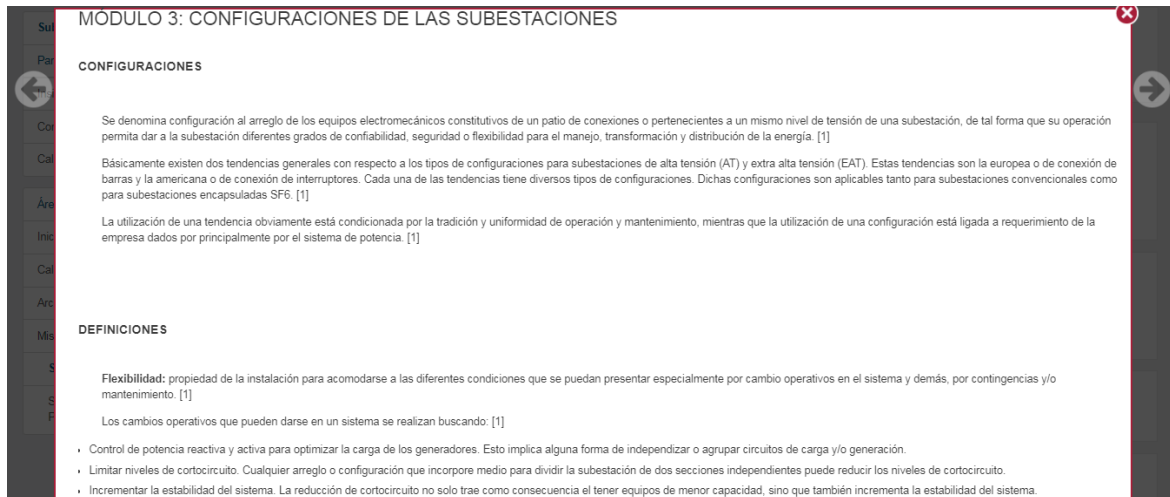


Figura 121. Presentación Modulo 3: Configuraciones de las subestaciones

En la Figura 121 se presenta el Módulo 3: Configuraciones de las subestaciones, este módulo contiene las diferentes configuraciones utilizadas en la actualidad. La idea es que el estudiante entienda el arreglo de los equipos de una subestación a través de diferentes gráficas, imágenes, ilustraciones y tenga la capacidad de seleccionar la mejor configuración dependiendo de las necesidades de la subestación.

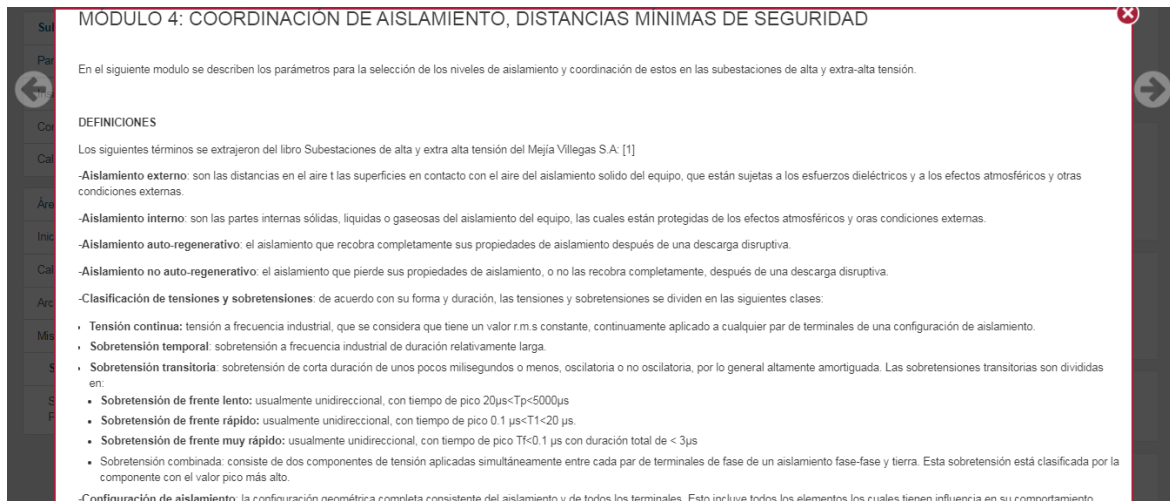


Figura 122. Presentación Modulo 4: Coordinación de aislamiento y distancias de seguridad.

En la Figura 122 se presenta el Módulo 4: Coordinación de aislamiento y distancias de seguridad, en este módulo se tratan temas algo complejos y robustos, se inicia con definiciones y términos para introducir al estudiante en el tema, luego se va adentrando con sobretensiones, niveles de aislamiento, mecanismos de protección contra sobretensiones, coordinación de aislamiento y se termina con distancias de seguridad. Con esta temática se busca que el estudiante tenga el criterio para dimensionar distancias de seguridad y calcular las tensiones de impulso tipo rayo y como proteger las instalaciones de ellas.

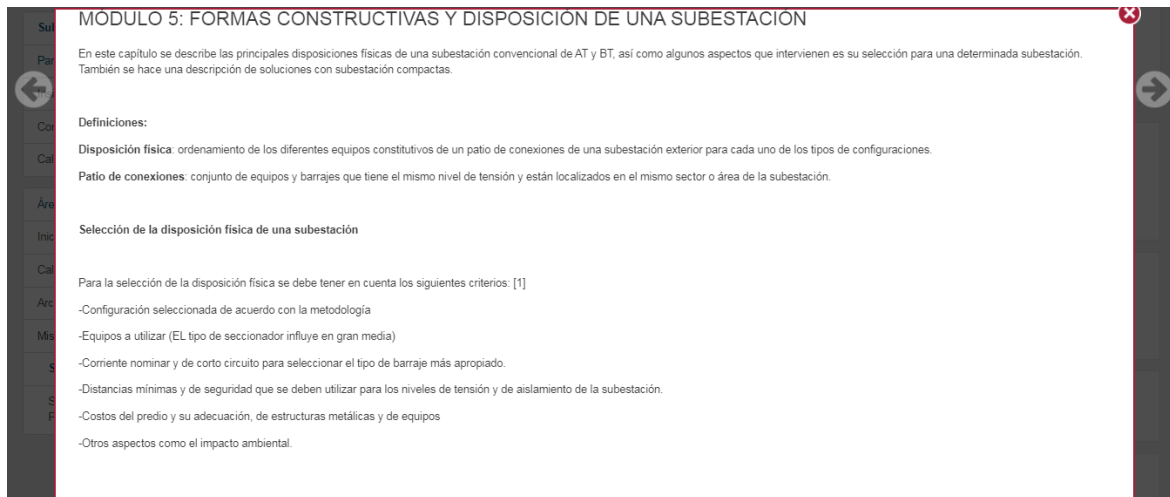


Figura 123. Presentación del Módulo 5: Formas constructivas y disposiciones de una subestación.

En la Figura 123 se observa el Módulo 5: Formas constructivas y disposición de una subestación. En este módulo se tratan los temas principales de disposición física de una subestación convencional en AT y MT y algunos aspectos que intervienen en su elección. Para este módulo se crearon algunas disposiciones físicas con el objetivo de que el estudiante pueda apreciar de forma detallada la ubicación de los elementos.

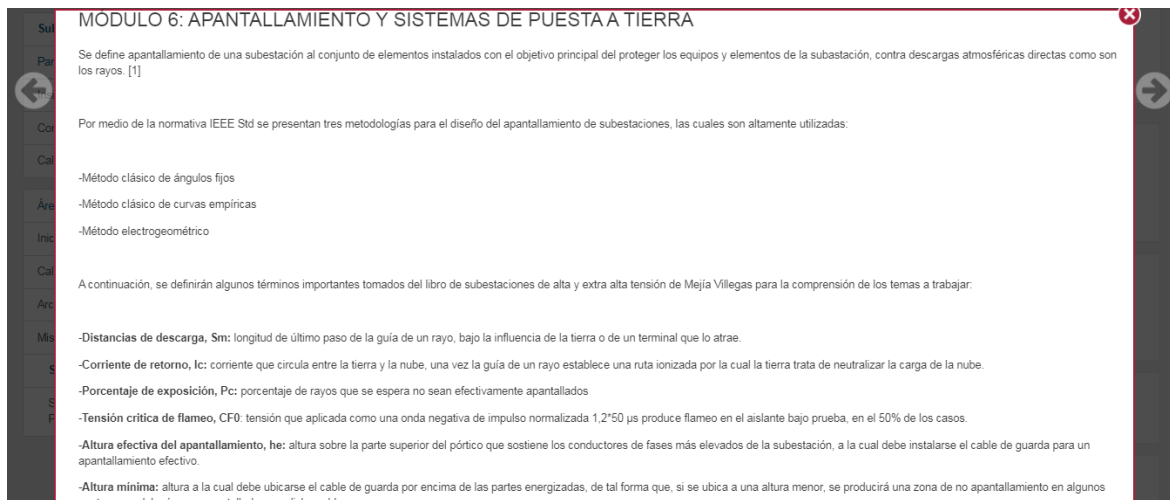


Figura 124. Presentación Modulo 6: Apantallamiento y sistemas de puesta a tierra.

En la Figura 124 se muestra la presentación del Módulo 6 el cual consiste en definiciones del tema de apantallamiento y sistemas de puesta a tierra, descripciones de dispositivos para el apantallamiento, métodos para el cálculo de apantallamiento, cálculo para el sistema de puesta a tierra y tensiones de paso y de contacto. En este módulo se dan características técnicas para el cálculo de resistividad, tensiones de paso y contacto y otros parámetros fundamentales en el tema de sistema de puesta a tierra.

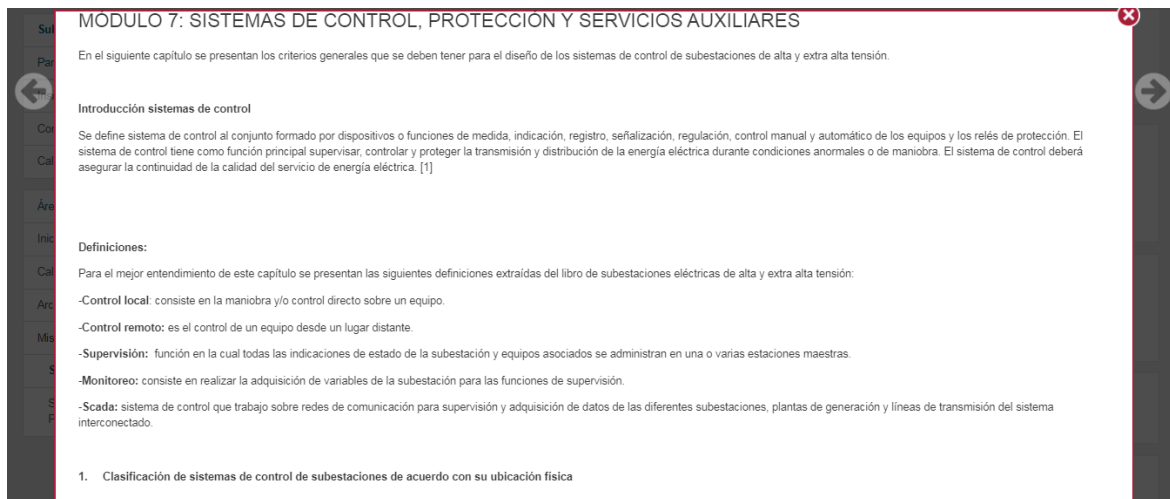


Figura 125. Presentación Modulo 7: Sistemas de control, protección y servicios auxiliares.

En la Figura 125 se presenta el Módulo 7, este módulo alberga toda la información referente a sistemas de control su clasificación, tecnologías presentes, diagramas y estructuras de estos y modos de operación en equipos de alta tensión. también trata los sistemas de servicios auxiliares algunas definiciones, niveles de tensión, configuraciones y esquemas.

#### 4.6.3. Recursos visuales y didácticos

Se diseñaron y crearon diversos recursos visuales y didácticos para complementar y afianzar los temas vistos en cada módulo.

A continuación, se observan los diferentes recursos utilizados en los diferentes módulos.

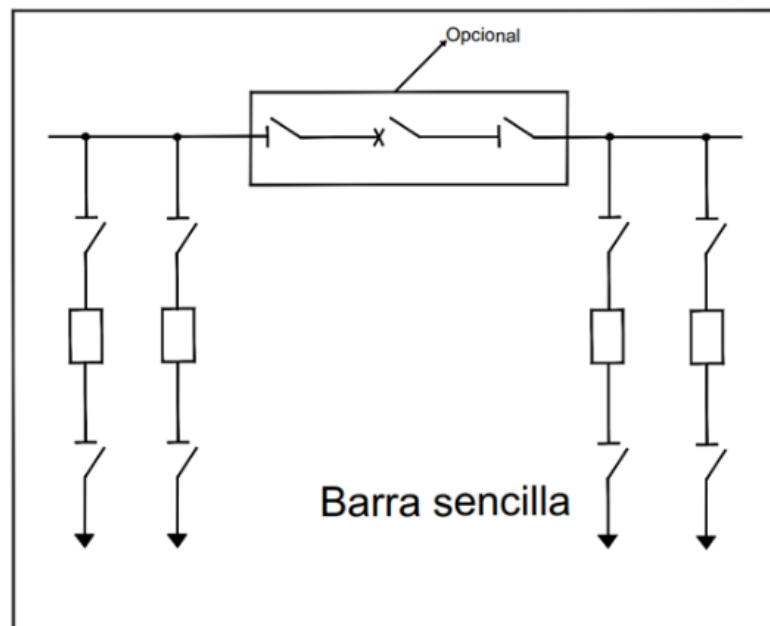


Figura 126. Imágenes de apoyo.

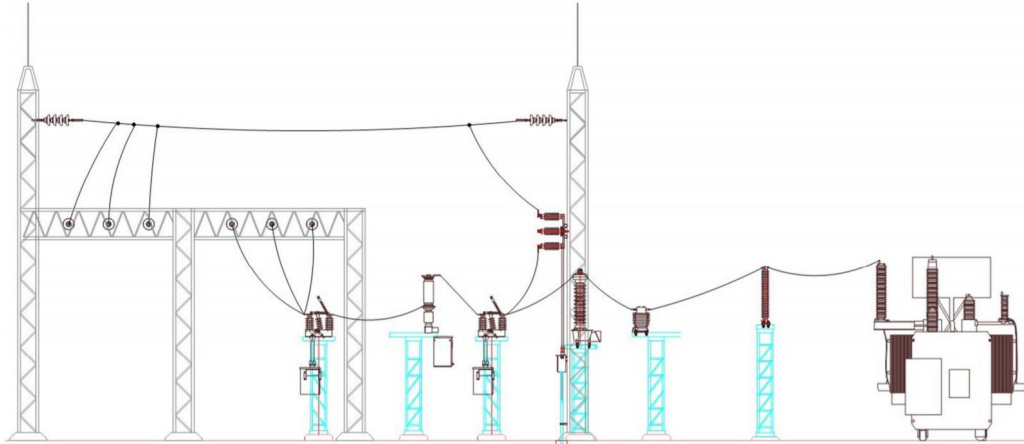


Figura 127. Imágenes de apoyo.

En la Figura 126 y Figura 127 se muestra un tipo de recurso visual para el apoyo de la temática vista en los módulos, estas imágenes fueron elaboradas a través del programa AutoCAD con el fin de que el estudiante pueda ver de manera detallada los elementos que componen una configuración o una disposición física.

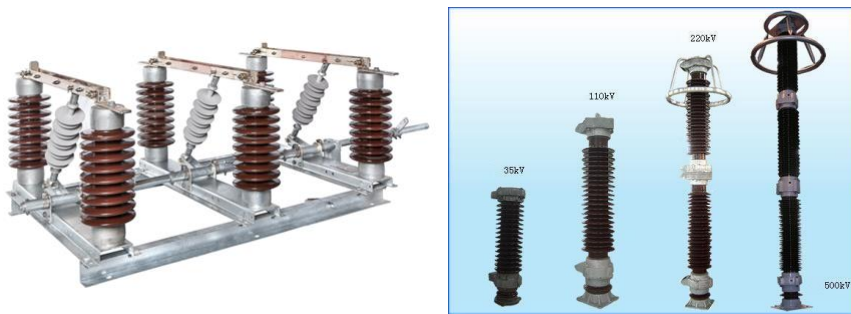


Figura 128. Imágenes de apoyo.

En la Figura 128 se observa otro tipo de recurso utilizado en los módulos, este consiste en imágenes en buena calidad de los elementos que componen la subestación eléctrica o de cualquier otro equipo o componente el cual se necesite de una gráfica para darse a conocer mejor. Estas imágenes se extrajeron de diferentes páginas como catálogos de empresas.

4.1 Procedimiento para la coordinación de aislamiento

Para determinar la coordinación de las tensiones de soportabilidad se debe seleccionar el valor más bajo de las tensiones soportadas por el aislamiento que cumplan con el criterio de desempeño cuando el aislamiento está sujeto a las sobretensiones respectivas en condiciones de servicio.

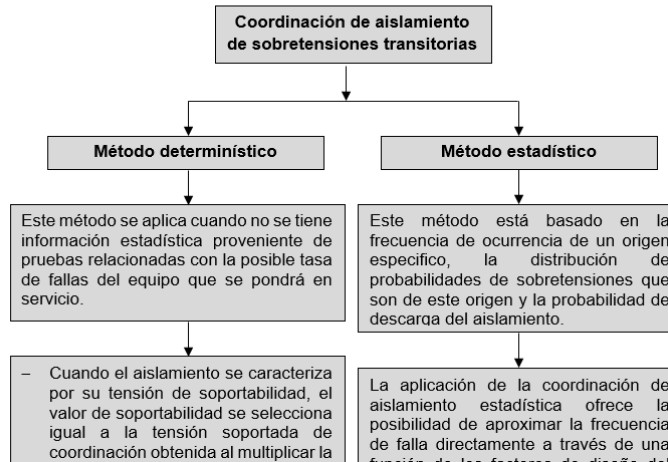


Figura 129. Material didáctico y apoyo visual.

En las Figuras 129 se observa un tipo de recurso visual el cual consiste en un cuadro conceptual, este sirve como herramienta para organizar de manera gráfica y simplificada conceptos y enunciados a fin de reforzar un conocimiento.

2. DISPOSITIVOS DE APANTALLAMIENTO

Tabla 17. Dispositivos de apantallamiento. [1]

Dispositivo	Características
<b>Cables de guarda:</b> Son cables que se encuentran ubicados por encima del quipo a proteger y están conectados a la tierra a través de los pórticos de la subestación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Protegen a lo largo de todo el cable.</li> <li>– Son económicos y livianos por lo que no requieren estructuras muy fuertes.</li> <li>– Aprovechan pórticos como estructuras de soporte.</li> <li>– La impedancia característica presentada al rayo es notablemente inferior.</li> <li>– Mejora las condiciones de disposición de la malla de tierra al transportar parte de la corriente de secuencia cero en casos de cortocircuito a tierra.</li> </ul>
<b>Puntas:</b> Se encuentran colocadas sobre los pórticos y requieren como estructura adicional un castillete.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Son económicamente parecidos a los cables de guarda.</li> <li>– Tiene la tendencia a aumentar las corrientes de retorno, con lo cual se hacen atractivas a los rayos, pero a la vez presentan mayores problemas para la disipación de esa corriente.</li> </ul>
<b>Mástiles:</b> Tienen restricción ya que se usan en casos especiales como equipos que no tengan pórticos aledaños.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tienen como desventaja la gran cantidad de disipación de corriente requerida, dada su tendencia a incrementar las corrientes de retorno.</li> <li>– Estos requieren una estructura propia por ende suelen ser más costosos.</li> </ul>

Figura 130. . Material didáctico y apoyo visual.

En la Figura 130 se observa otro tipo de recurso el cual consiste en tratar la información en tablas, estas permiten organizar la información en filas y columnas de forma que se puede mejorar el diseño de los documentos ya que facilitan la distribución de los textos contenidos en los módulos.

4.6.4. Problemas y ejemplos

Como resultado de este objetivo se tiene la creación de un cuestionario ubicado en la plataforma Moodle y de varios ejemplos dentro de las temáticas realizadas en los módulos.

La función del cuestionario es evaluar el conocimiento adquirido del estudiante a través del proceso que realizó en la lectura de los módulos.

**Banco de preguntas**

Seleccionar una categoría: Por defecto en Cuestionario general subestaciones eléctricas (15) ▾

Categoría por defecto para preguntas compartidas en el contexto Cuestionario general subestaciones eléctricas.

Mostrar el enunciado de la pregunta en la lista de preguntas

Opciones de búsqueda ▾

Mostrar también preguntas de las sub-categorías

Mostrar también preguntas antiguas

Crear una nueva pregunta...

Pregunta	Creado por		Última modificación por
	Nombre / Apellido(s) / Fecha	Nombre / Apellido(s) / Fecha	Nombre / Apellido(s) / Fecha
<input type="checkbox"/> Partes del transformador	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 19:40	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 19:43	Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 19:43
<input type="checkbox"/> Subestación de distribución	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 20:28	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 20:30	Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 20:30
<input type="checkbox"/> Subestación elevadora	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 20:16	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 20:19	Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 20:19
<input type="checkbox"/> Subestación reductora	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 20:16	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 20:26	Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 20:26
<input type="checkbox"/> Equipo principal de una subestación	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:04	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:06	Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:06
<input type="checkbox"/> Factor de carga	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:34	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:34	Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:34
<input type="checkbox"/> Pararrayos	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 10:32	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 10:32	Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 10:32
<input type="checkbox"/> relé de Buchholz	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:46	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:46	Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:46
<input type="checkbox"/> Relé de protección	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:36	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:36	Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:36
<input type="checkbox"/> SCADA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:27	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:27	Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:27
<input type="checkbox"/> Sistema de distribución	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:31	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:31	Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:31
<input type="checkbox"/> Taps en transformadores de distribución	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:22	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:22	Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 09:22
<input type="checkbox"/> Ubicación y conexión del pararrayos	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 19:53	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 20:06	Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 20:06
<input type="checkbox"/> Tipos de seccionadores	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 19:53	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 20:06	Kevin Fabian Gómez Pabon 8 de diciembre de 2019, 20:06

Figura 131. Banco de Preguntas

En la figura 131 se observa el banco de preguntas del cuestionario, este cuenta con 15 preguntas las cuales abarcan a grosso modo la temática vista dentro de los módulos, los formatos utilizados en las preguntas son:

- Opción múltiple con única respuesta
- Relación grafica
- Respuesta corta
- Arrastrar y soltar
- Elegir palabra correcta

**Pregunta 1**

Sin responder aún

Puntúa como 1,00

Marcar pregunta

¿Cuál es el equipo principal en una subestación?

Seleccione una:

A. Seccionador

B. Interruptor

C. Transformador

D. TC,s y TP's

**NAVEGACIÓN POR EL CUESTIONARIO**

Kevin Fabian Gómez Pabon

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15

[Terminar intento...](#)

Tiempo restante 0:44:27

[Siguiente página](#)

Figura 132. Presentación del cuestionario

El cuestionario tiene una duración de 45 minutos donde el estudiante podrá responder cómodamente las preguntas planteadas, la nota más alta es de 5.0 y para aprobar el cuestionario se necesita un mínimo de 3.0, los intentos posibles para resolver el cuestionario son 2, se selecciona la nota más alta entre los dos intentos, al finalizar el

cuestionario se mostrarán las respuestas correctas, con el fin de que el estudiante pueda analizar los errores que tuvo en el desenlace de este.

#### 4.6.5. Implementación de los módulos en la plataforma Moodle

A continuación, se mostrará a detalle como quedo la herramienta educativa en la plataforma Moodle.



Figura 133. Portal Web, Universidad de Pamplona.

En la Figura 133, se muestra la página principal de la Universidad de Pamplona en donde se encuentra alojado la plataforma de Moodle, para acceder se debe dar click donde se indica en la figura.



Figura 134. Enlace a la plataforma Moodle de la página principal de la Universidad de Pamplona.

En la Figura 134 se ilustra la interfaz donde el estudiante debe seleccionar el tipo de asignatura a la cual va a ingresar, para el caso del curso de subestaciones eléctricas, se debe seleccionar Asignaturas presenciales.





Figura 135. Enlace a la plataforma Moodle.

En la Figura 135 se ingresa el usuario y la contraseña que se le da al alumno, de tal forma que pueda ingresar a la plataforma.



Figura 136. Plataforma principal y personal de la plataforma Moodle.

La Figura 136 se muestra la página principal de la plataforma Moodle, aquí está toda la información personal del estudiante cursos y otras actividades. Para buscar el curso de subestaciones se debe ingresar en el apartado de TODOS LOS CURSOS en la parte inferior de la página.

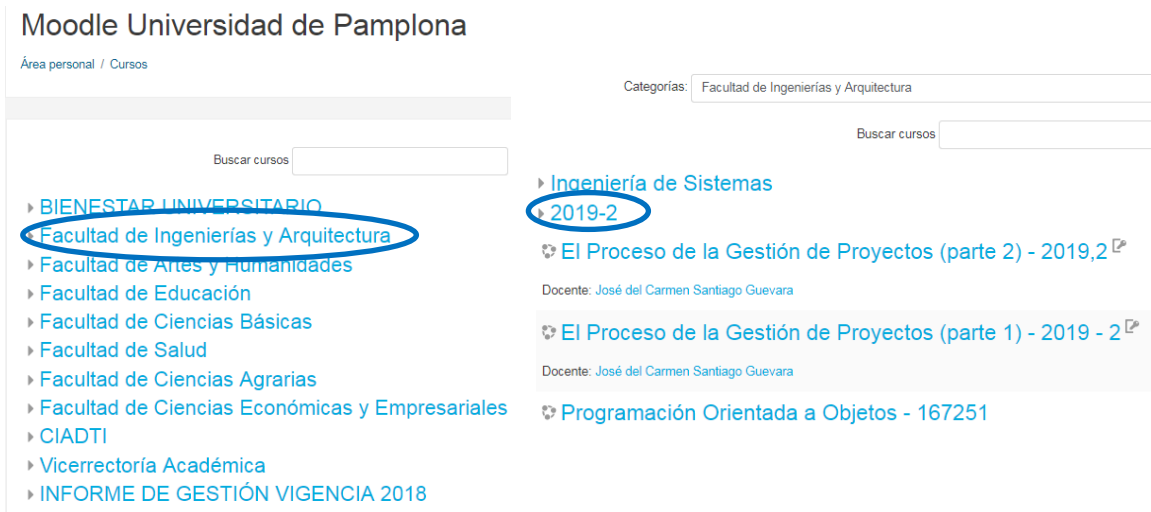


Figura 137. Listado de cursos presentes en Moodle.

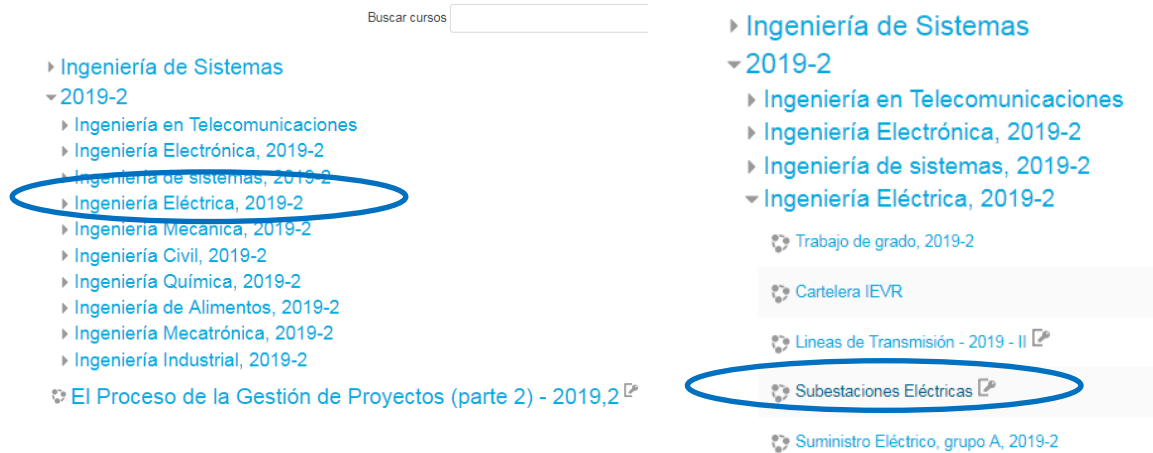


Figura 138. Listado de cursos presentes en Moodle.

En las Figuras 137 y 138 se muestran los pasos a seguir para la búsqueda del curso en cuestión. Como se observa en la Figura 136 el curso de subestaciones eléctricas aparece acompañado de una llave, esto significa que el curso tiene clave y solo aquellos estudiantes y/o participantes que tengan la clave podrán ingresar al curso. Esto se hizo para tener un control de los estudiantes que están cursando la materia de forma presencial ya que el docente a cargo de la asignatura es el único que les compartirá la clave.

El resultado final de este proyecto consiste en el curso de Subestaciones eléctricas, el cual contiene:

- Introducción
- Documentos para descargar (Contenido programático de la asignatura)
- Actividades (Cuestionario, Glosario)
- 7 módulos
- Encales de apoyo



Figura 139. Ventana principal del curso de Subestaciones Eléctricas, parte superior.

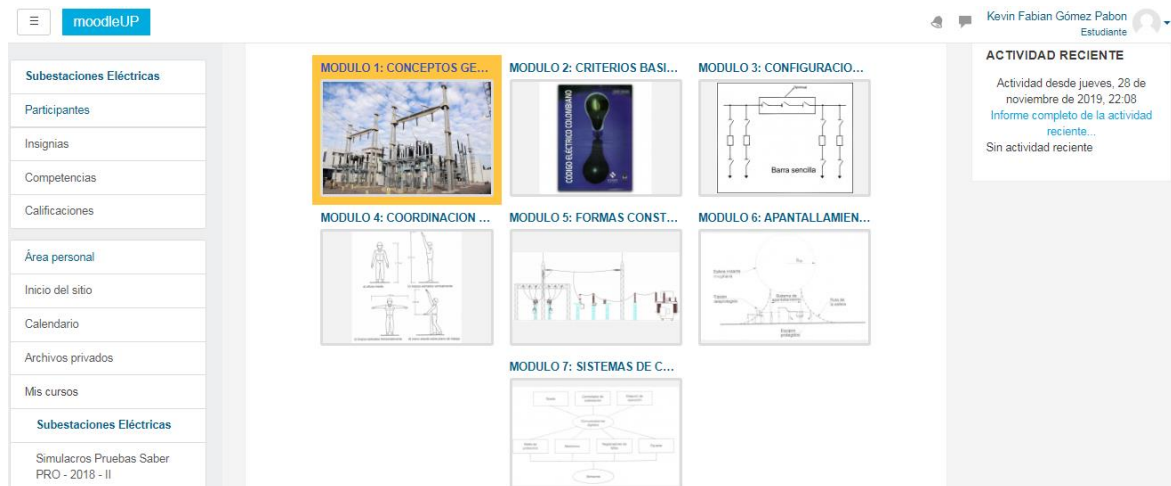


Figura 140. Ventana principal del curso de Subestaciones Eléctricas, parte inferior.

En la Figura 139 y 140 se observa la página principal del curso de Subestaciones Eléctricas, como está estructurado y se contempla toda la información de curso, también se puede observar la ubicación de la introducción, las actividades presentes y los módulos en la plataforma.



## Conclusiones y recomendaciones

- La reestructuración del contenido programático de la asignatura subestaciones eléctricas se desarrolló en conjunto con la actualización bibliográfica, lo cual proporciona mejores condiciones para el apoyo conceptual de la asignatura.
  - La herramienta de enseñanza desarrollada en el marco de las herramientas de la comunicación e información, aportan una síntesis precisa y simplificada que empleada correctamente favorece el proceso de enseñanza en el área de la ingeniería eléctrica.
  - La implementación de esta herramienta educativa en la plataforma Moodle dentro de la página oficial de la Universidad de Pamplona representa una ayuda tanto al docente como al estudiante para reforzar los temas que se ven en la asignatura de subestaciones eléctricas. ya que esta herramienta educativa cuenta con material visual didáctico y práctico que facilita la comprensión de los temas vistos en clase.
  - Se hace necesario establecer un periodo de tiempo en el cual se ponga a prueba esta herramienta educativa, con el fin de buscar datos que ayuden a mejorar y pulir el curso de Subestaciones Eléctricas.
- 
- Realizar herramientas educativas similares a esta, pero en las diferentes áreas que conforman el plan de estudio de la carrera Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Pamplona. La integración y uso de las TICs no solo se debe dar en las asignaturas con escasos recursos, sino en todas las asignaturas propuestas en el plan de estudio de la carrera; razón por la cual se requiere de capacitaciones a los docentes para la formación en el ámbito de las TICs.

## Referencias

- [1 Anonimo, «Herramientas educativas,» 16 05 2013. [En línea]. Available:  
] <http://computazion2013.blogspot.com/2013/07/que-son-las-herramientas-educativas.html>. [Último acceso: 02 05 2019].
- [2 R. M. A. Feijoo, «DIDACTIC GUIDE FOR PROMOTING SELF-STUDY THE. UTPL 'S  
] OPEN AND DISTANCE DEPARTMENT'S QUALITY ASSESSMENT AND IMPROVEMENT),» 20 03 2006. [En línea]. Available:  
<http://www.biblioteca.org.ar/libros/142124.pdf>. [Último acceso: 15 06 2019].
- [3 A. S. Navarro, «MEDAC Instituto Oficial de Formación Profesional,» 04 03 2019. [En  
] línea]. Available: <https://medac.es/articulos-educacion-infantil/las-herramientas-tic-en-la-educacion/>. [Último acceso: 02 05 2019].
- [4 C. Bellech, «Las Tecnologías de la información y Comunicación en el aprendizaje,»  
] [En línea]. Available: <https://www.uv.es/bellochc/pedagogia/EVA1.pdf>. [Último acceso: 02 05 2019].
- [5 J. L. G. V. José Luis Arostegui Plaza, «El papel de las TIC en la mejora de la calidad  
] docente en secundaria: un estudio multicasos,» *Multidisciplinary Journal of Educational Research*, nº 4, pp. 101-124, 2014.
- [6 Moodle, «moodle.org,» 18 01 2019. [En línea]. Available:  
] [https://docs.moodle.org/all/es/Acerca\\_de\\_Moodle](https://docs.moodle.org/all/es/Acerca_de_Moodle). [Último acceso: 02 05 2019].
- [7 I. R. M. d. Lahidalga, «Moodle, la plataforma para la enseñanza y organización  
] escolar,» *Revista de Didáctica*, p. 12, 2008.
- [8 M. R. D. Lázaro, «Moodle, una plataforma formativa con gran proyección en los  
] nuevos modelos de enseñanza,» *Revista DIM*, nº 19, pp. pp. 1-14, 2010.
- [9 F. C. Rivas, «La plataforma de aprendizaje moodle como instrumento para el trabajo  
] social en el contexto del espacio europeo de la educación superior,» *Acciones e investigaciones sociales*, nº 1, p. 367, 2006.
- [1 R. e. d. España, «Entrelineas.ree.es,» 28 08 2015. [En línea]. Available:  
0] <https://entrelineas.ree.es/conoce-mejor/que-es-una-subestacion>. [Último acceso: 02 05 2019].
- [1 Mejía Villegas S.A, Subestaciones de alta y extra alta tensión, Colombia: HMV  
1] Ingenieros, 2003, p. 809.

- [1 Edensa, «edensa educa,» 2014. [En línea]. Available:  
2] [https://www.endesaeduca.com/opencms/opencms/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/el-transporte-de-electricidad/16transporteF](https://www.endesaeduca.com/opencms/opencms/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-transporte-de-electricidad/16transporteF). [Último acceso: 02 05 2019].
- [1 «www.mineducacion.gov.co,» Ministerio de Educación Nacional, [En línea]. Available:  
3] <https://www.mineducacion.gov.co/1621/article-79419.html>. [Último acceso: 02 05 2019].
- [1 Universidad de Pamplona, «www.unipamplona.edu.co,» 02 12 2005. [En línea].  
4] Available:  
[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_214/recursos/general/19022019/acuerdo\\_186.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_214/recursos/general/19022019/acuerdo_186.pdf). [Último acceso: 02 05 2019].
- [1 Universidad de Colima , «Aprender a enseñar,» [En línea]. Available:  
5] [internet:http://ceupromed.ucol.mx/nucleum/APRENDER%20A%20ENSEÑAR/AaE\\_3\\_contenidos-escolares.htm](internet:http://ceupromed.ucol.mx/nucleum/APRENDER%20A%20ENSEÑAR/AaE_3_contenidos-escolares.htm) . [Último acceso: 02 05 2019].
- [1 Universidad Tecnologia de Pereira , «Plan de estudio ingeniería eléctrica,» 2014. [En  
6] línea]. Available: [https://ingenierias.utp.edu.co/ingenieria-electrica/ficha\\_tecnica/plan](https://ingenierias.utp.edu.co/ingenieria-electrica/ficha_tecnica/plan). [Último acceso: 03 05 2019].
- [1 Universidad del Valle, «Programa académico de ingeniería eléctrica,» 06 2018. [En  
7] línea]. Available: <http://eiee.univalle.edu.co/images/materias/ingenieria-electrica/7/subestaciones-electricas.pdf> . [Último acceso: 03 05 2019].
- [1 Universidad Distrital Francisco José de Caldas, «Plan de estudios de ingeniería  
8] eléctrica 323,» 2015. [En línea]. Available:  
<https://ingenieria.udistrital.edu.co/mod/folder/view.php?id=381>. [Último acceso: 03 05 2019].
- [1 Universidad Industrial de Santander , «Programa académico de Ingeniería eléctrica,»  
9] 2019. [En línea]. Available:  
<http://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/facultades/fisicoMecanicas/escuelas/e3t/programasAcademicos/ingenieriaElectrica/planEstudios.html>. [Último acceso: 03 05 2019].
- [2 Universidad del Norte , «Plan de estudios de ingeniería eléctrica,» 14 06 2013. [En  
0] línea]. Available: <https://www.uninorte.edu.co/web/ingenieria-electrica/plan-de-estudios>. [Último acceso: 03 05 2019].
- [2 Universidad de Pamplona, «Contenidos programaticos de ingeniería eléctrica,» 2016.  
1] [En línea]. Available:

[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_131/recursos/general/09092017/contenidos\\_2016.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_131/recursos/general/09092017/contenidos_2016.pdf). [Último acceso: 03 05 2019].

[2 X. S.A.E.S.P, «Características del sistema eléctrico Colombiano,» Gerencia Centro Nacional de Despacho, 22 02 2007. [En línea]. Available: <http://www.xm.com.co/BoletinXM/Boletines%20Anteriores/1456/Caracter%C3%ADsticas%20del%20Sistema%20El%C3%A9ctrico%20Colombiano.pdf>. [Último acceso: 2019 06 2019].

[2 J. R. Martín, Diseño de subestaciones eléctricas, México D.F: McGraw Hill, 2000. 3]

[2 J. F. Mora, Maquinas Eléctricas, Madrid: McGraw Hill, 2003. 4]

[2 L. G. Bruno, «Ingeniería eléctrica explicada,» 31 10 2009. [En línea]. Available: 5] <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2009/10/transformadores-de-corriente.html> . [Último acceso: 15 06 2019].

[2 Dezzain, «Plantas Eléctricas,» 21 12 2017. [En línea]. Available: 6] <https://www.luzplantas.com/que-es-un-banco-de-capacitores/> . [Último acceso: 15 06 2019].

[2 KAYI, «Pararrayos de ka oleada,» [En línea]. Available: 7] <http://spanish.polymericinsulators.com/sale-8138205-500kv-station-class-surge-arrester-transmission-line-porcelain-surge-arrester.html> . [Último acceso: 10 06 2019].

[2 S. States, «Direct Industry,» [En línea]. Available: 8] <http://www.directindustry.es/prod/southern-states-llc/product-67436-662879.html> . [Último acceso: 10 06 2019].

[2 T. T. Foundry, «Sector Eléctrico,» 17 06 2018. [En línea]. Available: 9] <http://www.sectorelectricidad.com/20135/seccionadores/> . [Último acceso: 10 06 2019].

[3 P. A. C. Alvarez, «Subestación eléctrica de distribución telecontrolada,» 21 10 2012. 0] [En línea]. Available: <http://subestacionesdedistribucion.blogspot.com/2012/10/bancos-de-baterias.html> . [Último acceso: 10 06 2019].

[3 L. G. Bruno, «Ingeniería eléctrica explicada,» 17 01 2010. [En línea]. Available: 1] <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2010/01/caracteristicas-de-la-bobina-de-onda.html> . [Último acceso: 10 06 2019].



- [3 P. commonswiki, «Wikimedia Commons,» 28 03 2006. [En línea]. Available:  
2] <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=665993>. [Último acceso: 15 06 2019].
- [3 G. C. Jesús, «Tipos de Subestaciones eléctricas,» [En línea]. Available:  
3] <https://es.scribd.com/doc/173723006/tipos-de-subestaciones-electricas-pdf>. [Último acceso: 10 06 2019].
- [3 edensa, «endesa,» 2014. [En línea]. Available:  
4] [https://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/el-transporte-de-electricidad/xvi.-las-subestaciones-electricas](https://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-transporte-de-electricidad/xvi.-las-subestaciones-electricas). [Último acceso: 15 06 2019].
- [3 Noticiasmallorca.es, «Noticias Mallorca.es,» 18 12 2015. [En línea]. Available:  
5] <https://www.noticiasmallorca.es/noticias/Actualidad/2015/12/18/48615-6474681.php>. [Último acceso: 15 06 2019].
- [3 G. SAC, «GEPROCEM SAC,» 2017. [En línea]. Available:  
6] <https://www.geprocem.com/servicios/proyectos-electromecanicos/montaje-de-subestaciones-de-distribucion-/detalle>. [Último acceso: 15 06 2019].
- [3 E. B. Mexico, «ENERGY Business.MX,» 15 03 2019. [En línea]. Available:  
7] <http://www.energybusiness.mx/2019/03/15/licita-cfe-obras-para-lineas-en-puerto-lazaro-cardenas-2/>. [Último acceso: 15 06 2019].
- [3 H. d. I. C. Pérez, «Mantenimiento de Subestaciones de Rectificación, en el sistema  
8] de transporte colectivo metro,» 01 12 2015. [En línea]. Available:  
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/9557/1/Tesina.pdf>  
. [Último acceso: 15 06 2019].
- [3 ABB, «ABB en Sudamérica,» 26 07 2011. [En línea]. Available:  
9] <http://www.abb.cl/cawp/seitp202/07eb6e8fdedeae0ec12578d9006d1d28.aspx>. [Último acceso: 15 06 2019].
- [4 Aplicaciones Tecnológicas , «at3w.com,» 2019. [En línea]. Available:  
0] [https://at3w.com/upload/ficheros/05\\_sobretensiones\\_transitorias\\_es.pdf](https://at3w.com/upload/ficheros/05_sobretensiones_transitorias_es.pdf). [Último acceso: 03 02 2019].
- [4 CREG Comisión de regulación de energía y gas, 04 2014. [En línea]. Available:  
1] [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/1aac1f3ebdfe5b5b05257cfd006ac84a/\\$FILE/Circular038-2014%20Anexo5.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/1aac1f3ebdfe5b5b05257cfd006ac84a/$FILE/Circular038-2014%20Anexo5.pdf). [Último acceso: 11 11 2019].