



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

TEMA:

**Análisis Comparativo De Las Líneas De Transmisión Eléctrica De 230 KV-
500KV Y Diagnóstico De Las Pérdidas Eléctricas Generadas En Las Líneas De
Transmisión Eléctrica Entre La Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair Y
S/E. Chorrillos Del Sistema Nacional Interconectado Del Ecuador.**

AUTOR:

Aurea Baque, Xavier Antonio

Trabajo De Titulación previo a la obtención del grado de

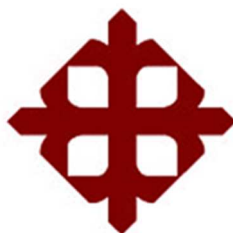
**INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TUTOR:

Gallardo Posligua, Jacinto Esteban

Guayaquil, Ecuador

16 de marzo del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Aurea Baque, Xavier Antonio** como requerimiento parcial para la obtención del Título de **INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**.

TUTOR

Gallardo Posligua, Jacinto Esteban

DIRECTOR DE LA CARRERA

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 16 del mes de marzo del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Aurea Baque, Xavier Antonio

DECLARO QUE:

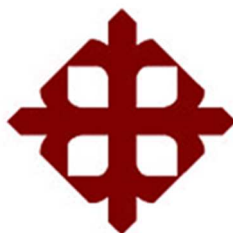
El Trabajo de Titulación “**Análisis Comparativo De Las Líneas De Transmisión Eléctrica De 230 KV-500KV Y Diagnóstico De Las Pérdidas Eléctricas Generadas En Las Líneas De Transmisión Eléctrica Entre La Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair Y S/E. Chorrillos Del Sistema Nacional Interconectado Del Ecuador**” previa a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico Mecánico, con Mención en Gestión Empresarial Industrial ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 16 del mes de marzo del año 2017

EL AUTOR

AUREA BAQUE, XAVIER ANTONIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Aurea Baque, Xavier Antonio

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Análisis Comparativo De Las Líneas De Transmisión Eléctrica De 230 KV-500KV Y Diagnóstico De Las Pérdidas Eléctricas Generadas En Las Líneas De Transmisión Eléctrica Entre La Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair Y S/E. Chorrillos Del Sistema Nacional Interconectado Del Ecuador”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 16 del mes de marzo del año 2017

EL AUTOR

AUREA BAQUE, XAVIER ANTONIO

REPORTE URKUND

The screenshot displays the URKUND web interface. At the top, the browser address bar shows the URL: <https://secure.orkund.com/view/Z5907031-738054-894206#q1bKLvayjYyNVRK5Mz8tMy0xOzEtOVblyODMwsDALMjUzsjCzNDQ0sDA3N6sFAA==>

Documento: TESIS AUREA.docx (D26127078)
Presentado: 2017-03-02 12:11 (-05:00)
Presentado por: xavi_aurea@hotmail.com
Recibido: jacinto.gallardo.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje: TESIS XAVIER AUREA [Mostrar el mensaje completo](#)
1% de esta aprox. 37 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

Lista de fuentes	Bloques
Categoria	Enlace/nombre de archivo
	http://documents.tiox.com/documents/tesis-5685e36454967.html
	tesis.pdf
	Grupo 3-ESTUDIANTE GUERRERO SUAREZ RYRON WIL FRIDO_17972_asisubmission_file_IN
	1470374248_FJFC-Lozada-Quezada.docx
	Tesis diagramada rev v4.doc
	http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/3156

65% # 25 Activo

Fuente externa: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/3156> **65%**

Instalador Panorama general del sector eléctrico y del carbón, obtenido fuente web
<http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0277.pdf> Diseño torre transmisión eléctrica autosuportada, obtenido de fuente web <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2507/1/CD-3271.pdf>
Proceso galvanizado, obtenido fuente web <http://www.cordisa.com.mx/galvanizado.html> Guía práctica para el diseño y construcción líneas eléctricas en CHILE <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103832> Análisis

y pliego tarifario del sector eléctrico sustentado en la legislación vigente y la situación del ECUADOR
<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/3156>

Sistema transmisión Extra Alta Tensión 500 KV, fuente obtenida web
http://www.celec.gob.ec/transselectric/images/stories/baners_home/

proyecto%20500kv/description_500kv.pdf Plan maestro electrificación 2013-2022, fuente obtenido web
https://www.celec.gob.ec/transselectric/index.php?option=com_content&view=article&id=312&Itemid=274&lang=es

ANEXOS

Anexo 1. Reseña histórica central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair

Anexo2. Memoria técnica línea 500 KV

Anexo3. Tabla comparativa líneas transmisión 230KV-500KV

ES 9:59 03/03/2017

AGRADECIMIENTO

Mi principal agradecimiento es para mis docentes de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil que durante el trayecto del 1er. Semestre han estado presente en momentos muy gratos en mi formación profesional de una estupenda relación maestro-alumno, instruyéndome y aconsejándome como verdaderos educadores por aprender en la vida real como lo a destacar: Ing. Héctor Gustavo Cedeño Abad, Víctor del Valle, Jacinto Gallardo Posligna, Raúl Montenegro Tejada, Carlos Romero Rosero, Orlando Philco, Luzmila Ruilova, Hugo Lucero, Pedro Tutiven y demás docentes en general.

También a mis amistades que me conocen en constante persoación y discernimiento fraterno.

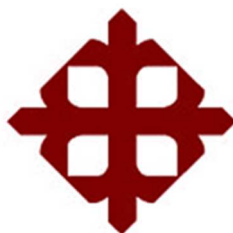
XAVIER ANTONIO AUREA BAQUE

DEDICATORIA

Todo mi trabajo titulación se lo dedico primordialmente a Dios, pues mi fe es innata con él y lleno convicciones, fortalezas, personalidad, y emprendimientos de anhelo que cada día lo ando logrando.

A mi familia en especial al esfuerzo de mi madre Susana Maruja Baque que me ha apoyado en todo infinitamente, dando gran respaldo ante las dificultades para lograr dicho objetivo con tenacidad en metas a soslayar y sin olvidar mis raíces de dónde provengo. A mis abuelitas queridas Susana Auria e Isabel Baque quienes me cuidaron mucho. A mi hermano Alex Aurea en su gran aporte dado conmigo y mis padres, Joffre Aurea y como no faltar a mi padre Aquiles Aurea Navarrete.

XAVIER ANTONIO AUREA BAQUE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
GALLARDO POSLIGUA, JACINTO ESTEBAN
TUTOR

f. _____
HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____
PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO
COORDINADOR DE TITULACION

Índice General

Índice De Figuras	XII
Índice De Tablas.....	XIV
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Planteamiento Del Problema	5
1.3. Justificación	5
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivo Específico	5
1.5. Metodología De La Investigación	6
1.6. Hipótesis	6
1.7. Alcances	6
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DEL ECUADOR	7
2.1. Introducción.....	7
2.2. Plan Soberanía Energética	10
2.2.1. Política Energética.....	10
2.2.2. Propósitos Estratégicos.....	11
2.2.3. Las Perspectivas Energéticas.....	12
2.2.4. Organización Interinstitucional	13
2.3. Ganancias Y Proyectos Exitosos.....	13
2.3.1. Comité De Ministros	14
2.3.2 Crisis Superada.....	14
2.3.3. Comunicación Alternativa.....	14
2.3.4. Asignación De Cupos	15
2.3.5. Comercialización De Gas	15
2.3.6. Sistema De Control.....	15
2.3.7. Formación Técnica	15
2.3.8. Decomisos	16
2.3.9. Operativos De Control.....	16
CAPÍTULO 3	17
3.1. Líneas De Transmisión.....	17
3.1.1. Subestaciones.....	18

3.1.2. Proyectos De Expansión De Transmisión	19
3.2. Sistema De Transmisión De 500 Kv	22
3.3. Tipos De Torres De Transmision Electrica.....	31
3.3.1. Tipos De Torres Por Su Función	32
3.3.2. Torres De Suspensión	32
3.3.3. Torres De Retención.....	33
3.3.4. Torres De Remate O Terminal	34
3.3.5. Tipos De Torres Por Su Geometría	34
3.3.6. Partes De Una Torres.....	41
3.4. Hipótesis De Carga.....	42
3.5. Galvanizado.....	42
3.6. Interconexión Ecuador – Colombia.....	43
3.6.1. Interconexión Ecuador - Perú	43
3.7. Coeficiente De Autoinducción	44
3.8. Reactancia De Autoinducción	46
3.9. Datos De Los Conductores Más Empleados Y Valores De Uso Frecuente En Los Cálculos	47
3.10. Conductores De Cable De Aluminio-Acero.....	48
3.10.1. Resistencias Eléctricas De Las Fases A 20°C, En Ohmios Por Kilómetro	49
3.10.2. Secciones De Las Fases En Milímetros Cuadrados.....	49
3.10.3. Valores De Las Intensidades Máximas Admisibles En Amperios, Para Fases Simples, Dúplex, Tríplex Y Cuádruplex.	50
3.10.4. Valores Del Factor De Potencia	51
3.11. Método Del Momento Eléctrico.....	52
3.11.1. Pérdida De Potencia En La Línea Eléctrica.....	54
3.11.2. Potencia Máxima De Transporte Por Límite Térmico	55
3.12. Ejemplos De Línea A 230kv De Tensión(Checa).....	56
3.12.1. Línea Con Un Circuito Simple A 230kv De Tensión.....	57
3.12.3.Línea Con Un Circuito Tríplex A 230kv De Tensión	61
3.12.4.Línea Con Un Circuito Cuádruplex A 230kv De Tensión	63
3.12.5.Línea Con Dos Circuitos Simples Acoplados En Paralelo A 230kv De Tensión.....	65
3.12.6. Línea Con Dos Circuitos Dúplex Acoplados A 230kv De Tensión.....	68
3.12.7. Resumen De Los Resultados De La Línea A 220kv De Tensión.(Checa)	70

3.13.	Ejemplos De Líneas A 380 Kv De Tensión(Checa)	72
3.13.1.	Línea Con Un Circuito Dúplex A 380 Kv De Tensión	73
3.13.2.	Línea Con Un Circuito Tríplex A 380 Kv De Tensión	76
3.13.3.	Línea Con Un Circuito Cuádruplex A 380 Kv De Tensión	79
3.13.4	Línea Con Dos Circuitos Dúplex Acoplados En Paralelo, A 380 Kv De Tensión	81
3.13.5.	Resumen De Líneas De 400 Km De Longitud A 380 Kv Con Diversos Conductores	85
3.14.	Ejemplos De Línea A 230kv De Tensión Con Diferentes Conductores	86
3.14.2	Línea Con Un Circuito Tríplex A 230kv De Tensión	89
3.14.3	Línea Con Un Circuito Cuádruplex A 230kv De Tensión	92
3.14.4.	Resumen De Los Resultados De La Línea A 230kv De Tensión.....	94
3.15.	Ejemplos De Líneas A 500 Kv De Tensión	95
3.15.1.	Línea Con Un Circuito Dúplex A 500 Kv De Tensión	96
3.15.2.	Línea Con Un Circuito Tríplex A 500 Kv De Tensión	99
3.15.3.	Línea Con Un Circuito Cuádruplex A 500 Kv De Tensión	101
3.15.4.	Resumen De Líneas De 400 Km De Longitud A 500 Kv Con Diversos Conductores	103
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		104
4.1.	Conclusiones:	104
4.2.	Recomendaciones:.....	104
BIBLIOGRAFÍA.....		105
ANEXOS.....		107

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 3

Figura 3. 1. Zonas operativas del sistema nacional transmisión.....	17
Figura 3. 2. Composición de las líneas de transmisión del SNT.....	18
Figura 3. 3. Sistema de transmisión extra alta tensión 500 KV, año 2015.....	19
Figura 3. 4. Sistema de transmisión extra alta tensión 500 KV, año 2016.....	20
Figura 3. 5. Sistema de transmisión extra alta tensión 500 KV, año 2016.....	20
Figura 3. 6. Sistema de transmisión extra alta tensión 500 KV.....	21
Figura 3. 7. Detalles del proyecto 500 KV.....	24
Figura 3. 8. Detalles del proyecto 500 KV, año 2013-2015.....	30
Figura 3. 9. Especificaciones técnicas 500 KV.....	31
Figura 3. 10. Torre suspensión.....	32
Figura 3. 11. Torre retención.....	33
Figura 3. 12. Torre de remate o terminal.....	34
Figura 3. 13. Tipos de geometrías para torres de alta tensión.....	35
Figura 3. 14. Torre de suspensión circuito simple de 38.1m.....	36
Figura 3. 15. Torre de suspensión circuito doble de 33.1m.....	37
Figura 3. 16. Torre de retención circuito doble de 33.1m.....	37
Figura 3. 17. Torre terminal circuito simple de 30.5m.....	38
Figura 3. 18. Torre de suspensión circuito simple de 33.5m.....	38
Figura 3. 19. Torre de retención circuito doble de 48m.....	39
Figura 3. 20. Torre de suspensión circuito doble de 52,4m.....	39
Figura 3. 21. Torre de suspensión circuito simple de 53.6m.....	40
Figura 3. 22. Torre de suspensión circuito simple 60.5m.....	40
Figura 3. 23. Partes de una torre transmisión eléctrica.....	41
Figura 3. 24. Proceso galvanizado de una estructura metálica.....	42
Figura 3. 25. Línea con un circuito dúplex a 220 KV de tensión.....	59
Figura 3. 26. Línea con un circuito tríplex a 220 KV de tensión.....	61

Figura 3. 27. Línea con dos circuitos simples a 220 KV de tensión.....	65
Figura 3. 28. Disposición y distancias entre fases.....	66
Figura 3. 29. Línea con un circuito dúplex a 380 KV de tensión.....	73
Figura 3. 30. Línea con un circuito tríplex a 380 KV de tensión.....	76
Figura 3. 31. Línea con un circuito cuádruplex a 380 KV de tensión.....	79
Figura 3. 32. Línea con dos circuitos dúplex a 380 KV de tensión.....	82
Figura 3. 33. Disposición y distancias entre fases.....	83
Figura 3. 34. Línea con un circuito dúplex a 230 KV de tensión.....	87
Figura 3. 35. Línea con un circuito tríplex a 230 KV de tensión.....	89
Figura 3. 36. Línea con un circuito dúplex a 500 KV de tensión.....	96
Figura 3. 37. Disposición y distancia torre 500KV	97

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3

Tabla 3. 1. Formulaciones coeficiente autoinducción en sus respectivas fases.....	45
Tabla 3. 2. Valores frecuencia.....	46
Tabla 3. 3. Tipos de conductores más empleados.....	47
Tabla 3. 4. Datos técnicos conductores más empleados.....	48
Tabla 3. 5. Resistencias eléctricas de las fases a 20°C. en Ω/Km	49
Tabla 3. 6. Secciones de las fases en mm^2	49
Tabla 3. 7. Valores de intensidades máximas admisibles en amperios para diferentes fases.....	50
Tabla 3. 8. Valores diferentes de factores potencia más utilizados.....	51
Tabla 3. 9. Pérdidas potencia línea 220 KV con un circuito simple.....	58
Tabla 3. 10. Pérdidas potencia línea 220 KV con un circuito dúplex.....	60
Tabla 3. 11. Pérdidas potencia línea 220 KV con un circuito tríplex.....	63
Tabla 3. 12. Pérdidas potencia línea 220 KV con un circuito cuádruplex.....	64
Tabla 3. 13. Pérdidas potencia línea 220 KV con dos circuitos simples acoplados en paralelo.....	67
Tabla 3. 14. Pérdidas potencia línea 220 KV con dos circuitos dúplex acoplados en paralelo.....	69
Tabla 3. 15. Resumen resultados líneas a 220 KV tensión.....	71
Tabla 3. 16. Pérdidas potencia línea 380 KV con un circuito dúplex.....	75
Tabla 3. 17. Pérdidas potencia línea 380 KV con un circuito tríplex.....	78
Tabla 3. 18. Pérdidas potencia línea 380 KV con un circuito cuádruplex.....	80
Tabla 3. 19. Pérdidas potencia línea 380 KV con dos circuitos dúplex acoplados en paralelo.....	84
Tabla 3. 20. Resumen resultados líneas de 400 Km a 380 KV tensión.....	85
Tabla 3. 21. Pérdidas potencia línea 500 KV con un circuito dúplex.....	88
Tabla 3. 22: Pérdidas potencia línea 230 KV con un circuito tríplex.....	91
Tabla 3. 23: Pérdidas potencia línea 230 KV con un circuito cuádruplex.....	93
Tabla 3. 24: Resumen resultados líneas a 230 KV tensión.....	94

Tabla 3. 25: Pérdidas potencia línea 500 KV con un circuito dúplex.....	98
Tabla 3. 26: Pérdidas potencia línea 500 KV con un circuito tríplex.....	100
Tabla 3. 27: Pérdidas potencia línea 500 KV con un circuito cuádruplex.....	102
Tabla 3. 28: Resumen resultados líneas de 400 Km a 500 KV tensión.....	103

RESUMEN

El presente trabajo de culminación de carrera detalla sobre el proyecto de la nueva línea de transmisión eléctrica de 500 KV que se implementara en el Ecuador y a la vez estará anexado al S.N.I. del cuál mencionaremos desde donde se inicia hasta donde finaliza el recorrido respectivo. También por su parte la recopilación de información técnica necesaria para poder desarrollar las formulaciones en el diagnóstico comparativo correspondiente e identificación de sus torres de transmisión eléctrica. Así mismo el desarrollo a lo implementado en nuestra metodología de investigación que se enfocó principalmente en dos enfoques, el primero que es el método cualitativo y el segundo en el método cuantitativo, al igual que el hipotético-deductivo empleados comúnmente hoy en día en la vida cotidiana previo a una investigación científica para poder demostrar las pérdidas eléctricas ocasionadas por kilómetro de línea transmisión, en este caso con una tensión nominal de 500 KV.

Palabras claves: TENSIÓN NOMINAL, PÉRDIDAS POTENCIA, TIPO CONDUCTORES, SISTEMA TRANSMISIÓN, RESISTENCIA ELÉCTRICA, MÉTODO DEL MOMENTO ELÉCTRICO.

ABSTRACT

The present work of culmination of race details on the project of the new line of electrical transmission of 500 KV that will be implemented in the Ecuador and at the same time will be annexed to S.N.I. From which we will mention from where it begins to where the respective route ends. Also for its part the compilation of technical information necessary to develop the formulations in the corresponding comparative diagnosis and identification of their electrical transmission towers. Also the development to the implemented in our methodology of investigation that focused mainly on two approaches, the first that is the qualitative method and the second in the quantitative method, like the hypothetico-deductive commonly used today in the life Daily before a scientific investigation to be able to demonstrate the electrical losses caused by kilometer of transmission line, in this case with a nominal voltage of 500 KV.

Key words: NOMINAL VOLTAGE, POWER LOSSES, TYPE CONDUCTORS, TRANSMISSION SYSTEM, ELECTRIC RESISTANCE, ELECTRIC MOMENT METHOD

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción.

La implementación de la nueva línea de transmisión del ECUADOR de 500Kv, se origina desde el patio de salida de la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair. La hidroeléctrica Coca Codo Sinclair será la mayor fuerza energética que impulsará a la nación ecuatoriana con 1500Mw de potencia en la provisión energética a nivel nacional y la más notable del ECUADOR. En el transcurso de gobierno de la presidencia del señor presidente Ec. Rafael Correa Delgado lo rescata de la desatención, en el que lo sumieron los antaños políticos. A pesar de establecer los estudios de asequibilidad desde el año 1992. Éste dictamen del gobierno nacional, que se encuadra en los preceptos de excelencia energética y en la exigencia de que los cimientos para el porvenir sean confiables, técnicos y transparentes, ha concedido la reformulación del Proyecto, que sustenta técnicamente una potencia de generación de 1500MW, a realizarse en una sola etapa de ejecución.

El levantamiento de Coca Codo Sinclair (anexo 1) es muy fundamental para los ecuatorianos de vital importancia, por su aportación estratégica de energía eléctrica con los consecuentes beneficios en los ámbitos técnicos, económicos, y sociales del ECUADOR. En combinación con otros proyectos que también impulsa el actual régimen, asegurará una innovación en la matriz energética, generando un ahorro de miles de millones de dólares al país, por la disminución de importaciones de combustibles fósiles.

Igualmente, el ambiente se beneficiará, dado que la utilización de los recursos hídricos, que abundan en el ECUADOR, posibilitan la disminución de emanaciones de gases tóxicos por la quema de combustibles fósiles que ocupan las plantas térmicas.

Por último, el Coca Codo Sinclair otorgará un valor agregado a la economía nacional de los ECUATORIANOS, a través de la generación de empleo directo e indirecto y la multiplicación de pequeños negocios, que mejorarán el sistema de vida de las comunidades vecinas. Hacia éstas el Proyecto ha proclamado una relación de absoluto respeto a sus culturas, costumbres y entorno natural.

Por todas éstas razones, el señor Presidente de la República ha proclamado la construcción de este Proyecto como de “Prioridad Nacional”.

Puesto que “La soberanía no solo es lo relacionado con el territorio, sino con la independencia. Una verdadera autonomía para soñar y construir proyectos que lleven al ECUADOR hacia un desarrollo en el que el protagonismo fundamental lo tenga el ser humano, porque lo que hacemos es para los seres humanos, para satisfacer sus necesidades y anhelos, sus desvelos y utopías.”

Y es precisamente para conseguir transmitir todo este potencial energético, la Unidad de Negocio Transelectric ha mencionado éste plan como: “El Sistema de Extra Alta Tensión de 500kV (kilovoltios) y Sistemas de Transmisión asociados a 230 Kv”, que tiene como finalidad implementar la nueva generación eléctrica que producirán las inversiones energéticas en la construcción de las hidroeléctricas.

Éste método, que tendrá una financiación promedio de 700 millones de dólares, estará formado por seis nuevas subestaciones eléctricas y 12 nuevas líneas de transmisión, con aproximación de 900km de longitud, localizadas en tres regiones del Ecuador y traspasarán 12 provincias del país.

Además de conseguir el debido suministro de la electricidad con un mayor grado de fiabilidad a la ciudadanía ecuatoriana, éste propósito de la nueva autopista eléctrica, tiene también otro provecho evidente para el Ecuador, que es la debida cooperación a la integración energética andina, consiguiendo implícitamente que podamos transformarnos en un país exportador de energía eléctrica, lo que incluso hace siete años era totalmente irrazonable, y mucho más aún menos posible en tan reducida existencia.

En este momento la intención de esta autopista de transmisión eléctrica (500 Kv) está en un trayecto inicial de investigaciones. Transelectric ha iniciado con el desarrollo de socialización del proyecto, con las comunidades donde se ejecuta las debidas labores. El departamento de Gestión Ambiental, ha estructurado a todos sus empleados cumplir con este propósito en definir los diseños, tanto de subestaciones como de líneas de transmisión, laborando grupalmente con la contratista (Harbin Electric International). Comparablemente se han ejecutado los estudios de impacto ambiental, para moderar cualquier procedimiento que pueda perjudicar al ambiente natural de los sectores en los que se progresará éste fundamental y necesario propósito energético.

Transelectric tiene como encargo la transmisión fiable de la energía eléctrica hacia las empresas distribuidoras, pero esta energía eléctrica debe ser transmitida de forma eficaz con un compromiso social y ambiental.

Ésta intención, está prevista que concluya en el año 2016, instante en el cual todos los ecuatorianos podrán gozar de un sistema de transmisión de energía eléctrica eficaz, renovado y confiable a través de una autopista energética futurista ya que hoy en día las tendencias tecnológicas como lo son las energías renovables han abarcado una gran demanda energética a nivel mundial como lo son las fuentes de: energía solar, energía eólica, energía hidráulica, energía mareomotriz, energía geotérmica y energía obtenida mediante biomasa. Del cual tenemos en cuenta que las energías renovables también son conocidas como FUENTES ALTERNAS DE ENERGÍA y la podremos obtener de fuentes naturales de la naturaleza existente que en sí virtualmente son muy abundantes hoy en día y no son contaminantes que es lo más importante, aportando demasiado en el impacto socio-económico de forma sostenible y sustentable para una nación. A nivel global el PETRÓLEO que es significativamente el principal gestor de trabajo en la fuente energética de combustión en las centrales termoeléctricas para generación de energía eléctrica que a su vez económicamente son asequibles de construir pero a la vez es muy contaminante; estarán próximamente en ser desvinculadas de la generación de energía eléctrica. Durante el mandato del Sr. Presidente de la república del ECUADOR el Ec. Rafael Correa Delgado. El ECUADOR ha optado en apostar muchísimo en inversiones energéticas de energía renovable de la cual mencionaremos a continuación:

-Existen 2 Centrales eólicas: la primera ubicada en la provincia de Loja como es el parque Villonaco y la segunda ubicada en la isla baltra localizada en la provincia de Galápagos.

-También hay Varias Centrales hidroeléctricas como lo son: Coca Codo Sinclair, Manduriacu, Toachi Pilatón, Daule Peripa, Agoyán, Minas San Francisco, Sopladora y otras más en proceso de construcción e inauguración.

Las varias inversiones energéticas dichas anteriormente que son muy emblemáticas para el ECUADOR nacional también estará en la gran capacidad de vender energía eléctrica a nuestros hermanos países vecinos como lo es: Colombia, Perú, Chile y Bolivia hasta el momento en los acuerdos firmados están siendo impulsadas con gran emprendimiento tenaz para no depender del petróleo como principal suministro en las fuentes energéticas de energía eléctrica. Aportando reveladoramente un impacto socio-económico a gran escala hablándolo macroeconómicamente.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuál es el efecto de las pérdidas eléctricas generadas en las líneas de transmisión eléctrica entre la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair y la subestación Chorrillos del S.N.I. del Ecuador?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La disminución de las pérdidas de potencia por kilómetro en una línea transmisión ayudará a una optimización adecuada al S.N.I con lo cual se optimiza el rendimiento.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Diagnóstico de la implementación de la nueva línea de transmisión eléctrica anexo al S.N.I. Cuyo recorrido se origina desde la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair hasta la Subestación Chorrillos.

1.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Levantamiento de información de los factores actuales de la nueva línea de transmisión de 500KV del S.N.I.
- Propuestas: Parte técnicas I (Investigar las formulaciones necesarias para la demostración de las disminuciones de las pérdidas eléctricas).
- Propuestas: Parte técnica II (Identificar los tipos de torres empleadas en el diseño de la línea transmisión eléctrica).

- Propuestas: Parte técnica III (Describir similitudes técnicas entre líneas de transmisión de 230 KV y 500 KV).

1.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es mixta, debida a que utiliza esos dos enfoques (Cualitativo / Cuantitativo) en el desarrollo de la propuesta, Se usa igualmente el método hipotético – deductivos, empleado comúnmente en la vida cotidiana, así como de la investigación científica para realizar la búsqueda de soluciones al/(os) problemas planteado. Consiste en realizar una hipótesis acerca de posibles soluciones al problema planteado y en comprobar con los datos disponibles (resultados), si están de acuerdo con ella.

Para el diseño de la investigación y en función de los objetivos planteados se utilizó:

- **Estudios exploratorios** durante el levantamiento de la información base para el proyecto
- **Estudios descriptivo** durante el diseño de la propuesta – parte técnica
- **Estudios explicativos** sobre la disminución de la pérdida potencia por kilómetro.

1.6. HIPÓTESIS

El cambio de voltaje de la línea de transmisión eléctrica de 230 KV a 500KV en el S.N.I. se relaciona positivamente en la reducción porcentual de pérdidas de potencia de transporte por kilómetro en el recorrido desde la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair y la subestación Chorrillos.

1.7. ALCANCES

- Observación técnica de la implementación de la nueva línea de transmisión de 500Kv en el ECUADOR en donde se estudiarán sus respectivos parámetros técnicos.

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DEL ECUADOR

2.1. Introducción

La existencia del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador (S.N.I.) se acerca aproximadamente en 50 años, pues en el año 1961 se establece el Instituto Ecuatoriano de electrificación (INECEL), esta institución fue la entidad estatal al que se la encomienda la dirección técnica, proyectos, ejecución y mantenimiento de la totalidad de las diversas compañías eléctricas del sistema eléctrico ecuatoriano, constituido por empresas distribuidoras, de generación y transmisión.

En el año de 1996 se decreta la “Ley de Régimen del Sector Eléctrico” en el estado ECUATORIANO, con lo cual se empezó el procedimiento de la suspensión contable, fondo financiero y técnico del Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL). Con su liquidación económica se estableció el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) como institución de verificación, inspección y legalización del Mercado Eléctrico Mayorista del Ecuador.

El nuevo molde de mercado eléctrico tomado como mención para el manejo financiero y de gestión técnica del sector eléctrico ecuatoriano se basó en los prototipos de los mercados eléctricos internacionales tales como:

- **El mercado eléctrico inglés;** con su metodología del “Pool” (designación en que los intérpretes del sector energético dan al mercado mayorista de la electricidad) basado en propuestas de energía y compromisos a plazos fijos.
- **El mercado eléctrico de Chile,** por el valor agregado de distribución VAD, en el que la tarifa monetaria final de la energía incluye todos los costos de producción de generación, transmisión y distribución.(CONELEC, s. f.-a)

Se ingenió así en el Ecuador, una matriz del mercado eléctrico competitivo y desregulado designado.

Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).

El 1 de abril de 1999, por disposición del Directorio del CONELEC, comienza la actividad del Mercado Eléctrico Mayorista, formado por diversas compañías de generación, transmisión y distribución, éste mercado tiene como su director técnico y comercial al Centro Nacional de Control de Energía(CENACE), que es una estructura técnica que ejecuta el sistema eléctrico ecuatoriano, teniendo entre otras condiciones, la determinación económica del horario centralizado de las unidades generadoras del S.N.I., en función de tarifas cambiantes, liquidando a su vez las negociaciones de compra-venta de energía eléctrica en fundamento a contratos constituidos entre nuevas empresas eléctricas administradas de conformidad a la Ley de Compañías en las generadoras, distribuidoras y grandes consumidores, así como también un monto ocasional para el mercado ocasional, radicado en procedencia al modelo del coste marginal de corto plazo.

Éste tipo duraría un promedio de 10 años dentro del país, también se instauraron en quienes podrían tener implicación estatal y privada para la función de los activos-pasivos de las empresas de generación, transmisión y distribución del Sistema Eléctrico Ecuatoriano (Fondo de Solidaridad) que de un manejo estatal lo cual se cambió en un mercado regulado de electricidad, en el cual se estimula a través de incentivos fiscales a la inversión privada y a la competitividad en todos los departamentos de la cadena de electricidad, creándose diversas empresas privadas, sociedades anónimas y de economía mixta que suministren los servicios de generación, transmisión, distribución y comercialización.

A mediados del año 2008 la Asamblea Nacional Constituyente incluye reformas a la “Ley de Régimen del Sector Eléctrico” decretando el Mandato Constituyente No. 15, mediante el cual se constituye varios lineamientos para una serie de modificaciones profundos en el manejo del sector eléctrico, concluyendo entre otros elementos en el que las inversiones en: generación, transmisión y distribución pasaran a ser responsabilizadas obligatoriamente por el Presupuesto General del Estado, por lo que

las negociaciones en cada segmento eléctrico estarán encargadas por el Ministerio de Finanzas.

El Ecuador actualmente está inmerso y muy inversionista en el cambio de su matriz energética (producción y consumo), debido al aumento de su demanda con la inclusión de nuevas tendencias tecnológicas y su debida necesidad de complacerla, aportando así al progreso y desarrollo continuo de la economía en la producción del país; el régimen de abastecimiento y aplicación de la energía se encamina hacia la inversión en innovaciones fuentes de generación a través de energía limpia, como son las plantas hidroeléctricas y otras fuentes de energía renovables, éste cambio en el modelo energético direcciona al ECUADOR hacia el uso de nuevas fuentes de generación y el alejamiento en el empleo de generación térmica con carburantes de orígenes fósiles. Para tratar de convencer esta creciente demanda, el sistema eléctrico ecuatoriano se ha ido fortificando a través de los últimos años, moldeando un sistema eléctrico de potencia complejo.

Un resultado implementado en el debido corto plazo, fue la interconexión con los países vecinos, lo que significo profundizar en la indagación de asuntos más profundos en los variados campos de los Sistemas Eléctricos de Potencia así como también en formaciones más característicos sobre la dinámica y estabilidad del mismo índole, expresando y manteniendo nuevas políticas en las proyecciones y operaciones del Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.) enlazadamente con los países comprometidos en las interconexiones correspondientes.

La dispersión de la generación actual, de las nuevas fuentes de energías renovables en el S.N.I. Hace que sea esencial las proyecciones en la implementación de otras nuevas líneas de transmisión, del cual estarán obligadas en transportar toda la nueva capacidad instalada a través de grandes distancias conforme lo permita la situación geográfica en el Ecuador.(CONELEC, 2013)

La modificación topológica de la red existente en el Sistema Nacional de Interconexión y la incorporación de nuevas fuentes de generación regenerarán las condiciones de

seguridad de la operación del Sistema Nacional de Interconexión, sin embargo se propone la necesidad de elaborar una investigación en donde se examine el impacto que éstas variables pudieran producir en el funcionamiento puesto en marcha a nivel global del sistema en situaciones de riesgos y su contestación dinámica a oscilaciones y de estabilidades de potencia.

2.2. PLAN SOBERANÍA ENERGÉTICA

2.2.1. POLÍTICA ENERGÉTICA

La energía es un beneficio estratégico que debe favorecer moderadamente a todos los ciudadanos, potenciando la comodidad individual y el progreso colectivo de la Nación.

Todas las funciones económicas y productivas del ECUADOR se desarrollan alrededor de la ENERGÍA, especialmente la que proviene de los derivados del aceite mineral como lo es el petróleo, por lo que la Presidencia Nacional prospera diversas iniciativas para organizar políticas de soporte al sector energético.

Pese a ser el ECUADOR una nación petrolera, debe destinar miles de millonarias sumas de dinero a la importación de carburantes derivados de petróleo y de gas.

Hoy en día en nuestra época, todos los empeños y acciones implementados por el Plan de Soberanía Energética están enfocados a poner en efectividad la disposición constitucional que señala que “La autonomía radica en el pueblo y que los recursos naturales no renovables del territorio del Estado pertenecen a su riqueza de manera inalienable, irrenunciable e imprescriptible”.

Por éste discernimiento, una de las tareas fundamentales de este procedimiento de innovaciones ha sido la de recuperar la soberanía y fortificar el rol del Estado. En resultado, las jerarquías energéticas están anheladas mucho en trabajar junto a la ciudadanía para crear conciencia sobre las diversas condiciones de proteger nuestros recursos, de implementar rutinas de reserva y eficiencia en el uso de combustibles y de fomentar opciones de utilizations energéticas menos agresivas con el Planeta en que todos nosotros habitamos.

Muy pocas veces en toda la historia, el ECUADOR ha tenido un mando y, específicamente, un núcleo técnico-político que estimule el desarrollo de sectores estratégicos y, particularmente, proyectos energéticos desde la óptica del interés nacional, tomando en cuenta los valores trascendentales de la Patria y buscando revertir el largo sombrío proceso de dominar los recursos estratégicos, como el petróleo y la electricidad, a oscuros intereses privados. Pues después de más de 40 años de explotación petrolera, el estado ECUATORIANO importa actualmente el 91% de los carburantes que requiere para sus ocupaciones provechosas.(León Guzmán, 2013)

2.2.2. PROPÓSITOS ESTRATÉGICOS

La legalidad de la soberanía Energética que fomenta el Gobierno Nacional estipula a superar las condiciones que llevaron a que el ECUADOR, a pesar de ser por casi 40 años productor de petróleo, sea dependiente al importar hidrocarburos desde diversas naciones.

Para sobrepasar éste requisito de dependencia es fundamental la implementación de proyectos estratégicos como la refinería del Pacífico, la repotenciación de la refinería de Esmeraldas, las centrales hidroeléctricas Coca Codo Sinclair, Toachi-Pilatón.

Se está laborando en el uso de gases de los campos petroleros y en la implementación de un parque termoeléctrico que aproveche mucho en gran medida las potencialidades hidrocarburíferas Nacionales. Además se considera importante el progreso de otras fuentes alternativas de energía como la eólica, la solar, la biomasa y la geotérmica, que ayudan a asegurar el futuro de la provisión de Energía.

Hoy en día en la actualidad se realiza o están por realizarse 31 proyectos hidroeléctricos en 17 provincias de Costa, Sierra y Amazonía para garantizar la autonomía energética.

2.2.3. LAS PERSPECTIVAS ENERGÉTICAS

El petróleo y el gas son recursos en gran demanda que no son renovables, deben ser explotados de manera sostenible para designarlos fundamentalmente a satisfacer los requerimientos del país mediante la entrega de energía segura, asequible y a bajo costo.

Un punto a detallar es que la seguridad se ve muy afectada por la actuación de malos ciudadanos u organizaciones criminales que agreden contra los intereses legítimos de todos los ecuatorianos al cometer delitos energéticos o hidrocarburíferos como: el contrabando en la mala utilización del gas y derivados del aceite mineral como es el petróleo o el hurto de la electricidad, que ocasionan cuantiosos perjuicios al Estado ECUATORIANO.

Lo que ocurre es que los combustibles son sustancialmente más costosos en Colombia y en el Perú, por cuanto en el Ecuador se comercializan con subsidios y la significativa diferencia de precios alienta el contrabando. En el ECUADOR la tarifa monetaria de un galón de diésel vale \$1,04; en COLOMBIA cuesta \$2,54 y en el PERÚ \$3,70.

Pero esto no lo es todo, pues además del problema fronterizo, en el interior del país se realiza un mal uso indebido de los combustibles, especialmente con las subsidiadas bombonas de gas de 15 kilos, que son empleadas en piladoras, avícolas, florícolas, restaurantes, hoteles, y otros negocios lucrativos.

En el ECUADOR también se reconoce la mala práctica de los derivados del petróleo en los inadecuados sistemas de combustión de algunos vehículos de transporte público y privado.

Esta lamentable circunstancia que enfrenta el país comenzó a cambiar con el Decreto Ejecutivo N° 254, del tres de abril del 2007, que creó el Plan de soberanía Energética.(CONELEC, 2013, s. f.-a, s. f.-b)

2.2.4. ORGANIZACIÓN INTERINSTITUCIONAL

Respetando que no puede haber soberanía ni democracia sin seguridad energética, 14 ministerios y altas instituciones del Estado se han implicado en el Plan de Soberanía Energética se han responsabilizado en el excepcional reto de formalizar una visión estratégica y de seguridad para el ECUADOR con la determinación de amparar sus recursos energéticos.

La eficiente coordinación de éstas 14 entidades, que ejecuta el Plan, evita la duplicidad de esfuerzos, beneficia el ahorro de recursos y hace favorable alcanzar el propósito de ejercer la soberanía del Estado sobre sus fuentes de energía.

Dado el patrimonio importante que tienen los recursos energéticos para el desarrollo del País, el Gobierno Nacional apoya la misión del Plan de Soberanía Energética, que se ha convertido en el espacio más indicado para llevar a cabo debates de implicación socio-política, económica y de seguridad.

Ésta es una entidad, a través del cual las superioridades del sector están afrontando decididamente el ejercicio de la soberanía, que compromete avanzar hacia una matriz energética cada vez más diversificada y también hacia las mejoras de los proyectos estratégicos en los sectores hidrocarburíferos y eléctricos, para la explotación racional y libre de nuestros recursos.

2.3. GANANCIAS Y PROYECTOS EXITOSOS

La administración que realiza el Plan de Soberanía Energética para transportar, formalizar e inspeccionar la cadena de comercialización de derivados de hidrocarburos, así como las tácticas y planificaciones que lleva adelante para instrumentar la matriz energética arrojan un saldo positivo de logros y proyectos en ejecución.

La debida organización entre instituciones del Estado evita la duplicidad de esfuerzos y se muestra muy efectiva, como ocurrió en las superadas dificultades eléctricas.(León Guzmán, 2013)

2.3.1. COMITÉ DE MINISTROS

En el ámbito del Plan de Soberanía Energética se establecieron: el Consejo de Ministros de Planeación Estratégica y el Consejo de Ministros de Seguridad. Entidades que brindan al Plan un alto respaldo y compromiso interinstitucional.

2.3.2 CRISIS SUPERADA

El suministro oportuno de combustibles al sector eléctrico alcanzó una especial importancia con la intervención del Plan de Soberanía Energética en el “Comité de Crisis Eléctrica” en el que, por mandato del Presidente de la República, se responsabilizó de la coordinación de acciones para avalar el suministro de hidrocarburos para la operación del parque termoeléctrico del país.

Para sobreponerse a la crisis se importaron 28 buques de diésel con una carga aproximada de 300 millones de galones hasta el 1 de marzo de 2010. A pesar del incremento inesperado, las entregas de combustible al segmento eléctrico se cumplieron metódicamente con un 117% de eficacia.

Con la participación de Petrocomercial, Petroindustrial y La Dirección Nacional de Hidrocarburos, se alcanzó por primera vez en la historia, una total integración entre los sectores hidrocarburíferos y eléctricos.

2.3.3. COMUNICACIÓN ALTERNATIVA

Las diversas campañas de comunicación alternativa se fundamentan en una visión profunda de participación y de coordinación social; es la población organizada con la mejor guardiana de nuestros recursos.

Se encuentra en plena realización un proceso de comunicación a cerca de 200 mil personas, básicamente en niños y jóvenes, de 30 parroquias localizadas en 10 provincias fronterizas para sensibilizarlos sobre el buen manejo de los recursos energéticos y los dañinos perjuicios del contrabando.

2.3.4. ASIGNACIÓN DE CUPOS

Entre los propósitos en marcha predomina la metodología aplicada para la asignación de cupos en el segmento automotriz, que permite evaluar el desvío de combustibles, mediante el análisis de datos como: despachos históricos, crecimiento del parque automotor y capacidad de almacenamiento en las estaciones de servicio.

Este es el primer empeño registrado en el ECUADOR para transparentar y justificar el consumo de combustibles.

2.3.5. COMERCIALIZACIÓN DE GAS

Ésta exposición tiene como finalidad la disminución del consumo del gas, mediante estrategias que respaldan el abastecimiento a la población, focalizando el subsidio a las personas que más lo necesitan, dentro de un ámbito de eficiencia y soberanía energética.

2.3.6. SISTEMA DE CONTROL

Se está implementando actualmente el Sistema de Control Hidrocarburífero, SICOHI, que es una práctica informática de alta seguridad para la utilización confiable de información y para proteger las bases de datos.

2.3.7. FORMACIÓN TÉCNICA

Se desarrollan estudios técnicos para formar información sobre la situación energética del país, para la gestión de diversas políticas y proyectos relacionados con la instrumentación de la matriz energética.

Por ahora se examinan alternativas para la disminución del consumo del gas y se labora mucho en la determinación de propuestas eficientes en torno al uso de combustibles en el transporte y la generación termoeléctrica.

2.3.8. DECOMISOS

En el 2009, gracias a los operativos de investigación energética desarrollados por la Unidad de Investigaciones de Delitos Energéticos e Hidrocarburíferos, UIDEH, se incautaron:

- 23.607 cilindros de gas
- 55.213 galones de gasolina, y
- 117.436 galones de diésel

Se detuvo a 304 personas y se embargó un total de 240 vehículos. Éstos controles ahorraron al Estado ECUATORIANO 1.5 millones de dólares.

2.3.9. OPERATIVOS DE CONTROL

Se logró un decrecimiento del 60% del nivel de ilegalidad en depósitos de gas licuado de petróleo en las ciudades de Quito y Guayaquil, gracias al trabajo cumplido por los Fedetarios de Hidrocarburos.

CAPÍTULO 3

3.1. Líneas de transmisión

El Ecuador cuenta a nivel de tensión eléctrica con 230 Kv del cual existen dos distancia, la primera de 1.285 Km de líneas en circuito doble y la segunda de 556 Km circuito simple, gran parte de ellas están formando un anillo entre las subestaciones Molino, Zhoray, Dos cerritos, Pascuales (Guayaquil), Quevedo, Santo Domingo, Santa Rosa (Quito), Totoras (Ambato) y Riobamba, enlazando de forma inmediata a los primordiales centros de generación con los grandes centros de consumo masivo del Ecuador.

A nivel de tensión eléctrica de 138 Kv podemos contar con una distancia de 625 Km de líneas en circuito doble y otra de 1.093 Km en circuito simple, que vitalmente parten de manera radial desde el anillo de 230 KV del país.

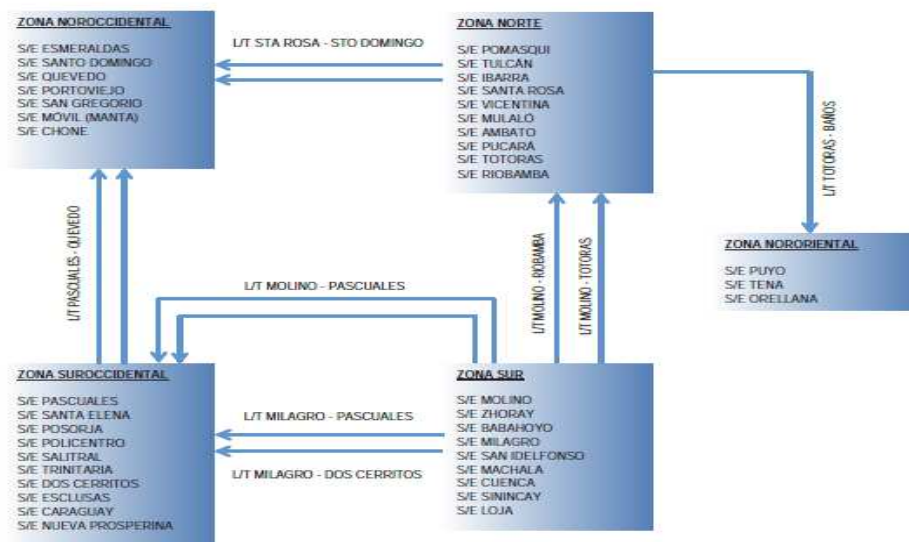


Figura 3. 1: Zonas operativas del sistema nacional transmisión

Fuente: CELEC EP

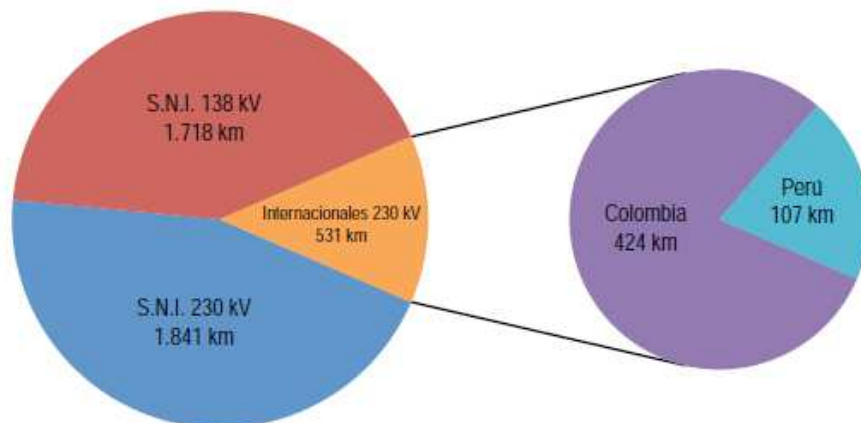


Figura 3. 2: *Composición de las líneas de transmisión del SNT*
Fuente: CELEC EP

3.1.1. Subestaciones

Mencionaremos a la capacidad de transformación y equipamiento de maniobra, en el sistema nacional de transmisión que se cuenta con 39 subestaciones en total, distribuidas a continuación:

- 15 subestaciones de transformación de relación de 230/138/69 KV.
- 20 subestaciones de transformación de relación 138/69 KV.
- 2 subestaciones de transformación móviles, una de relación 138/69 KV y otra de relación 69/13,8 KV.
- 2 subestaciones de seccionamiento, una a 230 KV y otra a 138 KV.

La conformación de barras predominante en las subestaciones eléctricas de 230 KV es la de doble barra principal y a nivel de 138 KV y 69 KV la de barra principal y transferencia; con equipamiento, en su mayoría, de tipo convencional y algunas instalaciones con equipo compacto en SF6.

La potencia máxima instalada en los transformadores de las subestaciones eléctricas del Sistema nacional de transmisión (SNT) es del orden de los 8.521 MVA, del cual 917 MVA corresponde a la potencia de reserva de los transformadores monofásicos en diversas subestaciones a nivel nacional.(CONELEC, s. f.-a)

3.1.2. Proyectos de expansión de transmisión

La debida obligación de no sólo dar solución a las diferentes dificultades de modo operativo detectado en el diagnóstico sino también de integrar al sistema nacional de interconexión (S.N.I.) el rendimiento de los grandes megaproyectos emblemáticos de generación hidroeléctrica en construcción, especialmente Sopladora con una capacidad de 487 MW y Coca Codo Sinclair de 1.500 MW, proyectados para los años 2015 y 2016, respectivamente (estos proyectos permitirán desplazar generación térmica, primordialmente la ya existente en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas), pero por lo tanto requiere de un sistema de transmisión que cuente con una potencia suficiente para poder evacuar la energía de dichos proyectos ya mencionados.(CONELEC, s. f.-b)

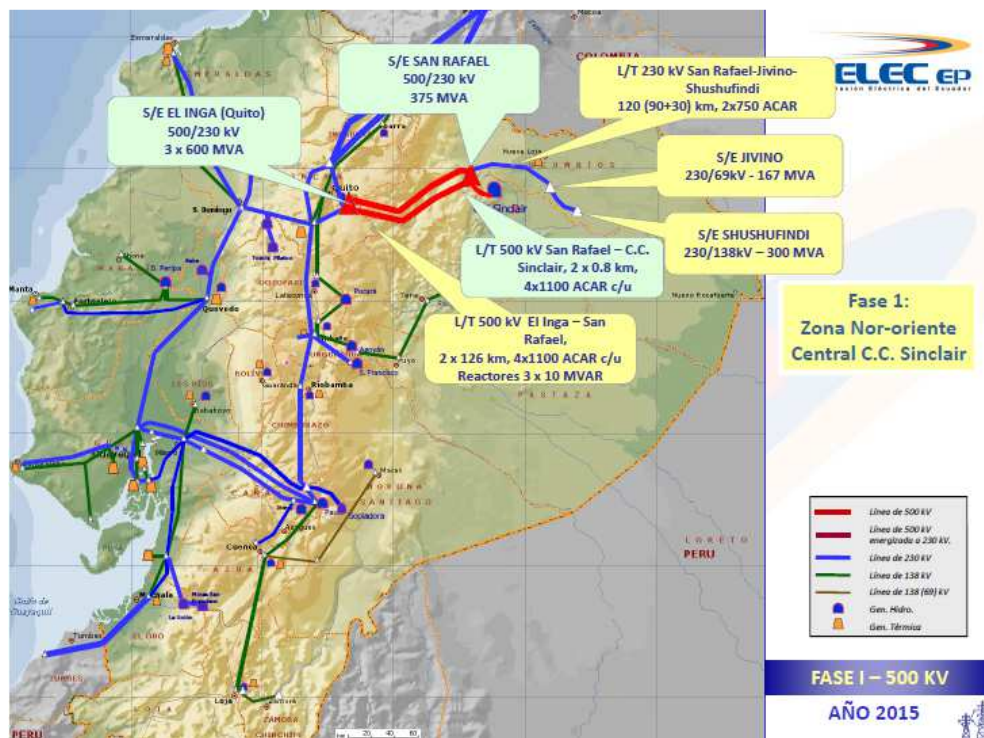


Figura 3. 3: Sistema de transmisión extra alta tensión 500 KV, año 2015

Fuente: CELEC EP

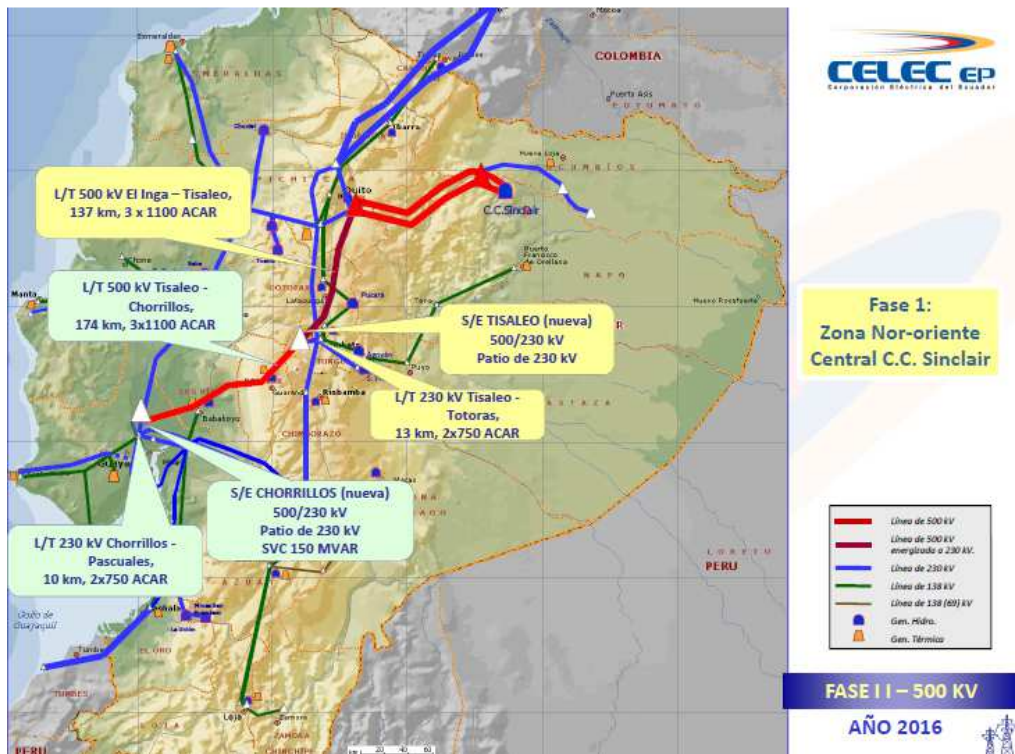


Figura 3. 4: Sistema de transmisión extra alta tensión 500 KV, año 2016

Fuente: CELEC EP

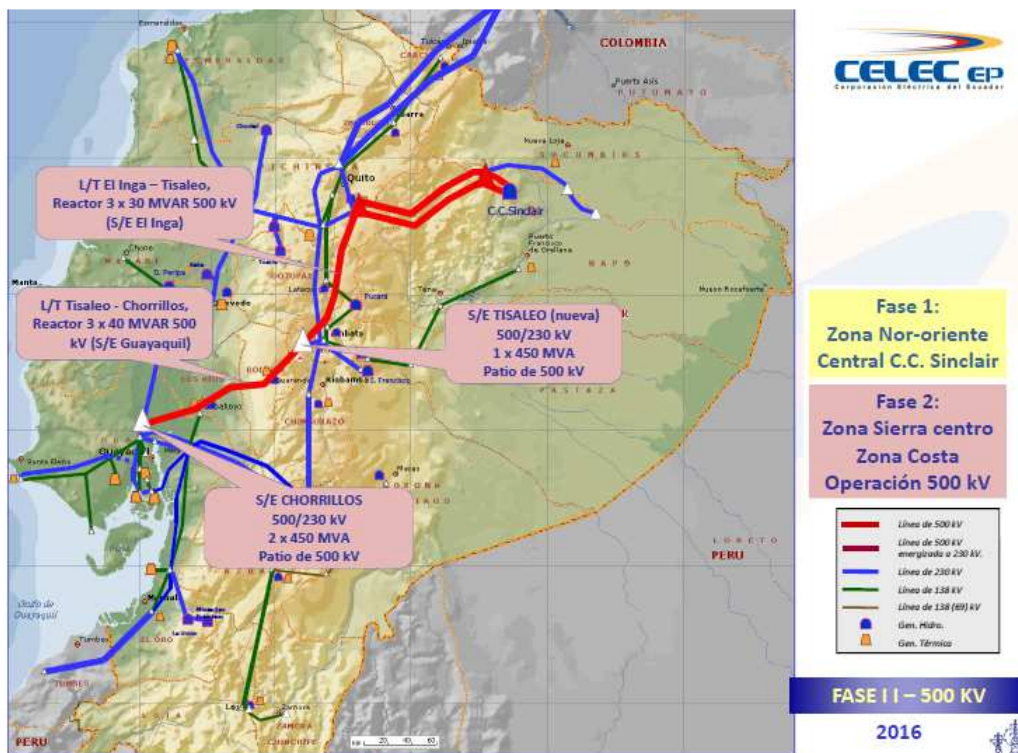


Figura 3. 5: Sistema de transmisión extra alta tensión 500 KV, año 2016

Fuente: CELEC EP

Para situar la subestación a la cual se acoplará el proyecto hidroeléctrico Sopladora se examinó la exigencia de poder contar con un punto estratégico que posibilite además la conexión del proyecto de generación Cardenillo, acordándose que el sitio más conveniente para la construcción de la misma se ubicaría en el sector de Taday, provincia del Cañar.

Ahora bien, para poder evacuar la generación del proyecto Coca Codo Sinclair se dispuso como mejor elección la implementación de un sistema eléctrico de 500 KV en el país, que además de asociar Coca Codo Sinclair con la ciudad de Quito (subestación El Inga) permitirá interconectarlo con el principal centro de carga del Ecuador localizado en la ciudad de Guayaquil (subestación Daule).(CONELEC, s. f.-c)

Ahora bien, debemos considerar que con la falta de experiencia que se tiene en el país en relación al diseño, construcción y trabajos de instalaciones eléctricas de 500 KV, para la debida determinación de la conformación del sistema de transmisión eléctrico de Extra Alta Tensión del Ecuador que se acondicione a las diversas exigencias energéticas de mediano y largo plazo del país, CELEC EP-TRANSELECTRIC, con la aportación del Banco Interamericano de Desarrollo (B.I.D.), por medio de una contribución técnica no reembolsable, dispuso de la contratación de la consultoría del Consorcio CESI-EFFICACITAS quién se encargará de realizar el correcto estudio minucioso de poder integrar proyectos hidroeléctricos a gran escala.

3.2. Sistema de transmisión de 500 KV

El plano energético ecuatoriano en los últimos años se está reformando debido ante las oportunas fuentes de desarrollo de nuevos proyectos de generación hidroeléctrica, del cual se visualizará en los próximos años futuros la reducción mínima del despacho de generación termoeléctrica, especialmente en la ciudad de Guayaquil, lo que compromete una mayor grado de necesidad para el sistema enlazado de transmisión eléctrica que presta esta zona.

En correspondencia con todas estas eventualidades, el Gobierno Ecuatoriano está potenciando el progreso de grandes proyectos de generación hidroeléctrica, como el proyecto emblemático Coca Codo Sinclair (1500 MW), dicho proyecto ha sido re

planificado para el 2016. Así mismo, por su parte CELEC EP-HIDROPAUTE está realizando el proyecto hidroeléctrico Sopladora (487 MW), situadas aguas debajo de la central Molino aproximadamente planteado para el 2015.

Ahora para poder integrar todas éstas altas potencias de generación hidroeléctrica hacia el Sistema Nacional de Interconexión (S.N.I.) el Ecuador debe contar con un requerimiento de un sistema de transmisión eléctrico de gran capacidad, como el voltaje dispuesto de 500 KV que el CONELEC autorizó en el Plan de Expansión de Transmisión del periodo 2007-2016 cuyos principios de sus respectivos estudios preliminares fueron realizados por la unidad de negocios CELEC EP-TRANSELECTRIC.

En mencionado plan se autorizó para el 2015, la implementación de un sistema de transmisión eléctrico a 500 KV que pudiera unir los centros de carga de las ciudades de Quito y de Guayaquil, con subestaciones situadas cerca de éstos núcleos urbanos, que inicialmente se posibilitó que podrían situarse en El Inga (Pifo) y en Yaguachi, correspondientemente, subestaciones que podrían interconectarse por medio de una línea de transmisión de 500 KV, con unos 300 Km de longitud, con 1 circuito, conductor 4 x 750 ACAR, del cual su trayectoria sería: Quito (El Inga) – Ambato – Guaranda – Babahoyo – Guayaquil (Yaguachi).

Con el propósito de decretar la conformación concluyente del sistema de transmisión de 500 KV más idóneo para el país, en el que se pueda contar de una forma para poder optimizar la debida utilización de los recursos energéticos existentes para el país en el período de mediano y a largo plazo, la unidad de negocios CELEC EP-TRANSELECTRIC contrató en el mes de diciembre del año 2010, con el Consorcio 500 KV, constituido por las empresas CESI de Italia y EFFICACITAS de Ecuador, la realización de un análisis específico contando con las regulaciones respectivas que permitan el objetivo propuesto.

PROYECTO 500 kV.: OBJETIVOS DEL PROYECTO



Etapa	Detalle	Objetivo	
Fase I	a.- Zona Nor-oriente	Abastecimiento de energía desde Quito hasta la zona nor-oriental	
	L/T El Inga - San Rafael 500 kV.		
	L/T San Rafael - Jivino 230 kV.		
	L/T Jivino - Shushufindi 230 kV.		
	S/E El Inga 500/230 kV (patio 230 kV)		
	S/E Jivino 230 kV.		
Fase I	b.- Central Coca Codo	Evacuación de energía de central Coca Codo Sinclair	
	L/T San Rafael - Coca Codo 500 kV.		
	S/E El Inga 500/230 kV		
Fase II	a.- Zona Sierra centro	Reforzamiento al sistema de transmisión de la zona sierra centro	
	L/T El Inga - Tisaleo, 500 kV		
	L/T Tisaleo - Totoras 230 kV		
	S/E Tisaleo 500/230 kV (patio 230 kV)		
	S/E Totoras 230 kV (ampliación)		
	Fase II	b.- Zona Costa	Reforzamiento al sistema de abastecimiento de energía de Guayaquil
		L/T Tisaleo - Chorrillos 500 kV	
		L/T Chorrillos - Pascuales 230 kV	
		S/E Chorrillos 500/230 kV (patio de 230 kV)	
		S/E Pascuales 230 kV (ampliación)	
Fase II	c.- Operación a 500 kV	Punto de conexión para la extensión de la línea de transmisión de 500 kV hasta la interconexión con Perú	
	S/E Chorrillos 500/230 kV		
	S/E Tisaleo 500/230 kV (patio 230 kV)		

Figura 3. 7: Detalles del proyecto 500 KV

Fuente: CELEC EP

Ahora bien éste estudio determinó que la mejor elección para evacuar la generación del proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair hacia el Sistema nacional de interconexión (S.N.I.) requiere contar de una implementación de dos líneas de transmisión de 500 KV entre las subestaciones de El Inga, localizada en el suroriente de la ciudad de Quito, y Coca Codo Sinclair; así mismo con la necesidad de una ampliación de la capacidad de transformación de la subestación El Inga con 3 bancos de autotransformadores 500/230 KV de 600 MVA de capacidad cada uno. Con todos estos trabajos, la gran parte de la productividad de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair se emplearía en la zona norte del S.N.I.

Por cuantos diversos análisis hechos de manera técnica económica, con minuciosidad y a la vez que debemos considerar con un requerimiento y también contar con un reforzamiento en la zona norte del S.N.I., se estableció que es indispensable la construcción de una conexión diseñada a 500 KV de transmisión eléctrica entre Quito

(El Inga) y Guayaquil (Daule), contando también con una subestación intermedia en la zona del centro del país (subestación Central).

Este acoplamiento de transmisión eléctrica se asocia en la orientación política dispuesta por el Gobierno Nacional Ecuatoriano en agrupación con los demás países vecinos, que promueven del ingenio de un corredor energético para incorporar en el mediano plazo a todos los países del territorio andino.

Debemos mencionar que la realización de este nexo se realizaría comenzando a 230 KV, razón del que solo debemos de requerir la implementación de los patios de 230 KV de transmisión en las subestaciones Daule y Central. La ejecución de la línea transmisión eléctrica El Inga-Central-Daule se efectuará a nivel de 500 KV de tensión cuando se incrementen más proyectos de generación eléctrica en la cuenca del río Guayllabamba o también lo mencionado anteriormente se puntualice la incorporación del corredor energético que contará con una tensión eléctrica de 500 KV en las regiones andinas.

En el aprendizaje antes referido, en relación a los trabajos al sistema de transmisión de 500 KV se examinó el progreso del corredor sur incluido entre las zonas de Molino y Guayaquil, vinculado con la evacuación de la productividad de los proyectos hidroeléctricos de generación de la cuenca Mazar-Paute, como lo son Sopladora y Cardenillo, con una aportación de 1.000 MW promedio, así mismo sumando el aporte del proyecto hidroeléctrico Delsi Tanisagua (116 MW).

El producto de los varios análisis cifrados obtenidos se determinó en asociación conjunta a la anexión del proyecto de generación hidroeléctrico Sopladora se necesita la construcción de un enlace de tensión eléctrica de 230 KV, doble circuito, entre las subestaciones Taday y milagro. Con los antecedentes citados antes se basó en una conclusión que de forma observadora, puntual, analítica y técnico económico, esta elección expone gran rendimiento en vez de una idea alternativa de levantar una línea de transmisión eléctrica aislada a 500 KV.(CONELEC, s. f.-d)

CELEC EP-TRANSELECTRIC elaboró muchos mandatos en el emprendimiento con la finalidad de asentar un espacio para la construcción de la subestación de 500/230 KV en la zona de la ciudad de Guayaquil, reconociendo que la zona más accesible y

factible es el sector de Chorrillo, que es un sector muy cercano de Daule, en vez de otras zonas como Los Lojas o Yaguachi, ya que cuenta con mayores viabilidades para la entrada y salida de líneas de transmisión de 230 y 500 KV, y también algo notorio a tener en cuenta que el sector del chorrillo no presenta una zona inundable primordial en época invernal. El sector de Chorrillo (Daule) está localizado a unos 7 Km al noroeste de la subestación Pascuales de la ciudad de Guayaquil.

Así mismo también se propuso un estudio de campo del cual sería para determinar la localidad más apropiada para la construcción de la subestación ligada al proyecto hidroeléctrico Sopladora, con la finalidad de poder posibilitar en el futuro la conexión del proyecto de generación hidroeléctrica Paute-Cardenillo con ésta subestación, determinándose que ésta podría estar situado en la zona de Taday, localizada a unos 30 Km al oeste de la subestación Molino, sector del cual cruzan las líneas de transmisión eléctrica de 230 KV Molino - Pascuales, Zhoray – Milagro y Molino – Totoras – Riobamba.

Por ahora se están desarrollando varios estudios de campo para poder disponer del mejor lugar para la construcción de la subestación Central, que podría ubicarse entre los sectores de Tisaleo (Tungurahua) y Urbina (Chimborazo).

Es significativo destacar que las subestaciones Central y Taday se vincularán al sistema nacional de transmisión (SNT) mediante seccionamiento de los dos circuitos de la línea de transmisión eléctrica de 230 KV Molino – Riobamba – Totoras.(CELEC EP., s. f.; CONELEC, 2013)

Ahora bien sobre el principio mostrado, el sistema de transmisión eléctrico Coca Codo Sinclair – El Inga – Central – Daule está constituido por las siguientes construcciones:

✓ Líneas de transmisión:

- Línea de transmisión 500 KV El Inga – Coca Codo Sinclair, 125 Km, dos líneas independientes de un circuito cada una, conductor 4 x 1100 ACAR.

- Línea de transmisión El Inga – Central, construida a 500 KV y energizada a 230 KV, 120 Km, un circuito, conductor 4 x 750 ACAR.
- Línea de transmisión Central – Daule, construida a 500 KV y energizada a 230 KV, 180 Km, un circuito, conductor 4 x 750 ACAR.
- Tres tramos de línea de 230 KV (10Km, doble circuito, conductor 1200 ACAR) Daule – Punto de seccionamiento de las líneas:
 - Molino – Pascuales (2 circuitos),
 - Quevedo – Pascuales (2 circuitos),
 - Trinitaria – Pascuales.

✓ Subestaciones:

- Subestación El Inga, 500/230 KV:
 - Tres bancos de transformadores monofásicos 500/230 KV, 600 MVA,
 - Un transformador monofásico 500/230 KV, 200 MVA (reserva),
 - Dos bahías de línea de 500 KV,
 - Tres bahías de transformador de 500 KV,
 - Una bahía de acoplamiento de 500 KV,
 - Dos bahías para reactor de línea de 500 KV con reactor de neutro, sin interruptor,
 - Dos bancos de reactores de línea de 500 KV, 30 MVAR, con reactor de neutro (72,5 KV; 0,3 MVAR),
 - Un reactor de línea de 500 KV; 10 MVAR (reserva),
 - Un reactor de neutro 72,5 KV; 0,3 MVAR (reserva),
 - Módulo común de 500 KV (protecciones, servicios auxiliares, control, etc.),
 - Tres bahías de transformador de 230 KV,

- Una bahía de línea de 230 KV.
- Subestación Central, ampliación:
 - Dos bahías de línea de 230 KV.
- Subestación Daule 230 KV:
 - Diez bahías de línea de 230 KV,
 - Una bahía de acoplamiento de 230 KV.

En complemento, en la conformación del sistema de transmisión de 500KV también se ha previsto la construcción de la subestación Coca Codo Sinclair de 500/230 KV, que cuenta con un banco de autotransformadores de 375 MVA de capacidad, del cual se anexará con el sistema de transmisión de 230 KV Coca Codo Sinclair – Sucumbíos para poder cubrir gran parte de la demanda de energía eléctrica de la zona nororiental del país.

Esta subestación contempla el siguiente equipamiento:(CONELEC, 2013)

- Subestación Coca Codo Sinclair, 500/230 KV:
 - Un banco de transformadores monofásicos 500/230 KV, 375 MVA,
 - Un transformador monofásico 500/230 KV, 125 MVA (reserva),
 - Cuatro bahías de línea de 500 KV,
 - Una bahía de transformador de 500 KV,
 - Una bahía de acoplamiento de 500 KV,
 - Dos bahías para reactor de línea de 500 KV con reactor de neutro, sin interruptor,

- Dos bancos de reactores de línea de 500 KV, 30 MVAR, con reactor de neutro (72,5 KV; 0,3 MVAR),
- Un reactor de línea de 500 KV; 10 MVAR (reserva),
- Un reactor de neutro 72,5 KV; 0,3 MVAR (reserva),
- Módulo común de 500 KV (protecciones, servicios auxiliares, control, etc.),
- Una bahía de transformador de 230 KV,
- Dos bahías de línea de 230 KV,
- Una bahía de acoplamiento de 230 KV.

Durante el periodo del cuarto trimestre del año 2014, se ha hecho una previsión del ingreso en operación de la línea de transmisión El Inga – Central de 500 KV, que posteriormente se podría ser energizada inicialmente a 230 KV, con la finalidad de reforzar la zona norte del sistema nacional de transmisión (SNT) de forma autónoma de la operación del proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair.

En forma semejante, para poder modernizar las condiciones debidas de suministro de energía eléctrica a la zona nororiental del país. Como lo mencionado antes de cubrir y a l vez para abastecer la demanda de Petroecuador EP, se ha analizado para el diseño de la misma una previsión del cual sería en que las dos líneas de transmisión El Inga – Coca Codo Sinclair de 500 KV ingresen en operación energizadas a 230 KV en el periodo del cuarto trimestre del año 2014.

Los periodos de las fechas tentativas para el ingreso en operación de las subestaciones El Inga 500/230 KV, Coca Codo Sinclair 500/230 KV y Daule 230 KV y de la línea de transmisión 500 KV Central – Daule (que será energizada a 230 KV) están vinculadas a la incorporación en operación del proyecto de generación Coca Codo Sinclair, para el año 2016.

En la gráfica que detalla a continuación, nos puntualiza el plan de los resultados obtenidos de la línea transmisión eléctrica para el periodo 2013-2015:(CONELEC, s. f.-d)

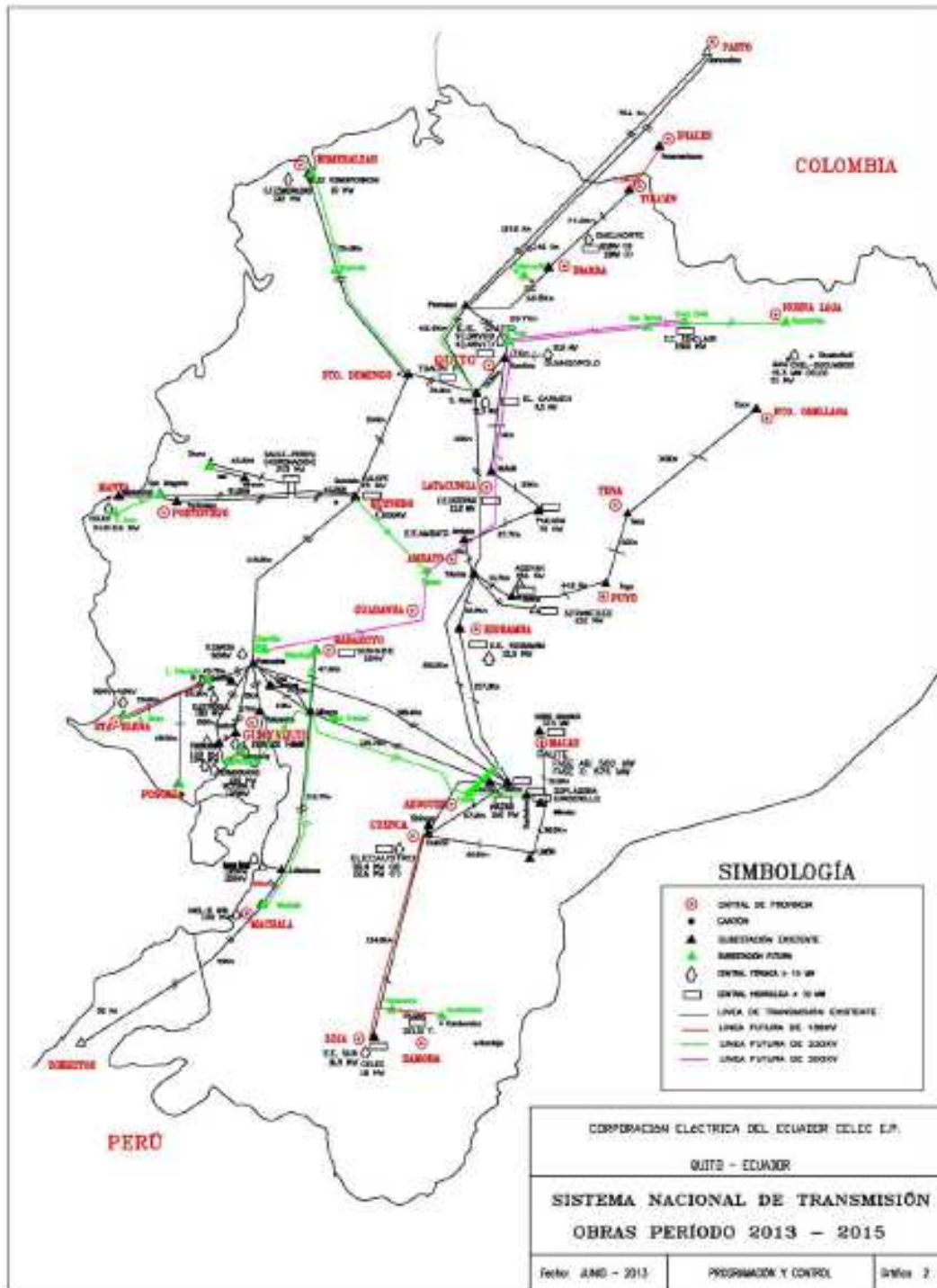


Figura 3. 8: Detalles del proyecto 500 KV, año 2013-2015

Fuente: CELEC EP

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS OBRAS



ITEM	LINEAS DE TRANSMISION	VOLTAJE [kV]	LONG. [km]	DESCRIPCION
1	L/T Inga – San Rafael C.C. Sinclair	500	126	2 Líneas simple circuito, haz de 4 conductores ACAR 1100 MCM por fase
2	L/T San Rafael - Jivino	230	90	1 Línea doble circuito, haz de 2 conductores ACAR 750 MCM por fase
3	L/T Jivino - Shushufindi	230	30	1 Línea doble circuito, haz de 2 conductores ACAR 750 MCM por fase
4	L/T El Inga - Tisaleo	500	137	1 Líneas simple circuito, haz de 3 conductores ACAR 1100 MCM por fase
5	L/T Tisaleo - Totoras	230	13	1 Línea doble circuito, haz de 2 conductores ACAR 750 MCM por fase
6	L/T Tisaleo - Chorrillo	500	174	1 Líneas simple circuito, haz de 3 conductores ACAR 1100 MCM por fase
7	L/T Chorrillo - Pascuales	230	5	3 Líneas doble circuito, 1 conductor ACAR 1200 MCM por fase

ITEM	SUBESTACION	BAHIAS						EQUIPO			RESERVA		
		De Línea		Acoplamiento		Transformación		Transformadores [MVA]			Reactores [MVA]	TRAFOS 1Ø 500/230 kV [MVA]	Reactores [MVA]
		500 kV	230 kV	500 kV	230 kV	500 kV	230 kV	500/230	230/138	230/69	500 kV		
1	S/E El Inga, 500/230 kV	* 4	** 2	1	1	3	3	3x600	1x300		3x30, 1x90	1x 200	1x10; 1x30
2	S/E San Rafael, 500/230 kV	4	2	1	1	1	1	1x450	0		2x30	1x 150	1x10
3	S/E Jivino, 230/69 kV	0	4	0	1	0	0	0	0	1x150			
4	S/E Shushufindi, 230/138 kV	0	2	0	1	0	1	0	1x300				
5	S/E Tisaleo, 500/230 kV	2	** 6	1	1	1	1	1x450	0			1x150	
6	S/E Totoras, 230 kV	0	2	0	1	0	0	0	0				
7	S/E Chorrillos, 500/230 kV	1	*** 12	1	1	2	2	2x450	0		1x120	1x150	1x30
8	S/E PASCUALES, 230 kV		2										

* Incluye 1 bahía para reactor de barra

** Incluye bahías para operar inicialmente a 230 kV las líneas de 500 kV

*** Incluye bahía para operar inicialmente a 230 kV las líneas de 500 kV y 1 bahía para SVC

Figura 3. 9: Especificaciones técnicas 500 KV

Fuente: CELEC EP

3.3. TIPOS DE TORRES DE TRANSMISION ELECTRICA

Las torres son un conjunto de diferentes tipos de sistemas estructurales arquitectónicos integrados en forma de tipo “L”, placas de unión, y pernos. Pero para un estudio más idealizado, se las considera como una agrupación de barras unidas mediante nodos; para los diversos cálculos se consideró que los componentes de las barras son de tipo elástico homogéneo e isotopo.

Las torres de transmisión eléctrica son fabricadas para sostener los cables de los conductores y el cable de guarda, que se encarga de proteger los conductores contra rayos y en la actualidad de hoy en día también se emplea para la transmisión de datos por medio de fibra óptica.

3.3.1. TIPOS DE TORRES POR SU FUNCIÓN

Entre los varios tipos de torres de transmisión eléctrica, según su debida ubicación que ocupan en la línea, se pueden exponer los tres diferentes modelos a continuación:

- Torres de Suspensión
- Torres de Retención
- Torres de Remate

3.3.2. TORRES DE SUSPENSIÓN

Son las torres que aguantan la carga de los cables, cadenas de aisladores y herrajes, asimismo del viento transversal, siendo las tensiones longitudinales despreciables. Son utilizadas en los varios tramos rectos de la línea de transmisión, poseen una armadura muy liviana y por lo general de rejilla en x como se visualiza en la figura:



Figura 3. 10: *Torre suspensión*

Fuente: *Marcelo Semblantes; noviembre 2010*

3.3.3. TORRES DE RETENCIÓN

Son torres que soportan el mismo peso que las torres de suspensión mencionadas anteriormente, además; este modelo de torre igualmente tiene cargas transversales que son originadas por el ángulo formado entre los cables de llegada y los de salida, son muy empleadas en los diversos recorridos donde se requiere indispensablemente un cambio de dirección en la línea de transmisión eléctrica para evitar varios obstáculos como: carreteras, cordilleras o aldeas; éstas torres inevitablemente son de estructura arquitectónica mucho más robusta que las torres de suspensión y por lo general tienen una abertura mayor entre las patas, para aguantar el momento de giro ocasionado por los cables, como se visualiza en la figura:



Figura 3. 11: *Torre retención*

Fuente: *Marcelo Semblantes; noviembre 2010*

3.3.4. TORRES DE REMATE O TERMINAL

Estas torres son posicionadas al inicio y al final de la línea de transmisión eléctrica, aguantan una carga longitudinal muy grande la misma que origina un momento de giro importante en el debido estudio, éste tipo de torre son de las más robustas de la línea de transmisión eléctrica y se debe tener una especial labor en sus respectivas cimentaciones.



Figura 3. 12: Torre de remate o terminal
Fuente: Marcelo Semblantes; noviembre 2010

3.3.5. TIPOS DE TORRES POR SU GEOMETRÍA

El principal trayecto de cualquier proyecto de prototipo arquitectónico se inicia especificando la geometría, y en el caso de las torres de transmisión eléctrica no es ninguna excepción, esto se lo realiza en base a los debidos parámetros como son: requisitos eléctricos (recorridos eléctricos), flechas, tensiones, carga, etc. Del cual se implantan los componentes a emplear, se disponen de los elementos principales, secundarios e insistentes, se proyecta un prediseño con las secciones de prueba de las piezas estructurales, se idealiza las fusiones entre ellos, se especifican todos los

elementos no estructurales como: conductores y herrajes; y su procedimiento de asentamiento a la estructura.(Hernández Rosas & Padilla, 2005)

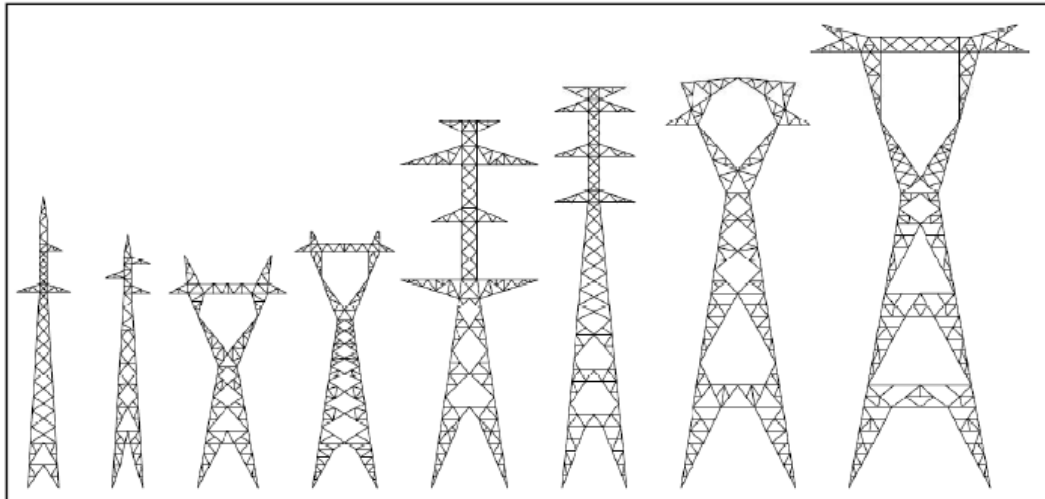


Figura 3. 13: *Tipos de geometrías para torres de alta tensión*
Fuente: Marcelo Semblantes; noviembre 2010

La debida geometría a proyectar se refleja en una gran magnitud en la experiencia, la creatividad e hipótesis del cual usa el ingeniero proyectista, sin pasar por alto los debidos requerimientos del cliente.

El procedimiento para los diversos proyectos de diseño se debe ejecutar siempre comprobando que se realice con las normativas vigentes, tanto para los componentes arquitectónicos, como para la utilización de cargas y composiciones de carga.

Los debidos documentos que componen el soporte del contrato determina parcialmente la geometría arquitectónica de las diversas torres, ordinariamente se concluye la apertura máxima de las patas, la altitud del punto de ligadura, longitudes y separación entre crucetas, éstas diversas dimensiones son dispuestas totalmente a ser rectificadas con previa aprobación del cliente.

Para determinar la geometria arquitectónica preparativa de la torre no se solicita llevar a cabo varias evaluaciones de cálculos matemáticos muy complejos, puesto que las cantidades de los diversos componenetes estructurales y determinados demás condiciones se concretan a partir del análisis eléctrico de las torres.

En una moderación posible es recomendable que al concretar la geometría estructural de la torre sea muy conceptualizada de forma tal que se presenten apariencias simples y simétricas, entendibles en facilitar la elaboración en serie, conociendo en lo oportuno de evitar despuntes, y cortes no necesarios que solo incrementan el límite de tiempo de producción y precio de la torre.

Sugerencias generales para concretar la geometría estructural de las torres:

- a) Simplicidad, simetría y estabilidad en planta.
- b) Simplicidad, simetría y estabilidad en elevación.
- c) Semejanza en la repartición de resistencia, firmeza, flexibilidad, hiperestaticidad.

A continuidad podemos visualizar algunas geometrías estructurales de varios tipos de tores autoportadas que son proyectadas en sus diferentes maneras correspondiendo a los requerimientos y normativas de los diferentes diseñadores, con todo esto podemos obtener una representación general en lo que se propone exponer para los varios planteamientos en estructuras de éste género.



Figura 3. 14: Torre de suspensión circuito simple de 38.1m

Fuente: Marcelo Semblantes; noviembre 2010

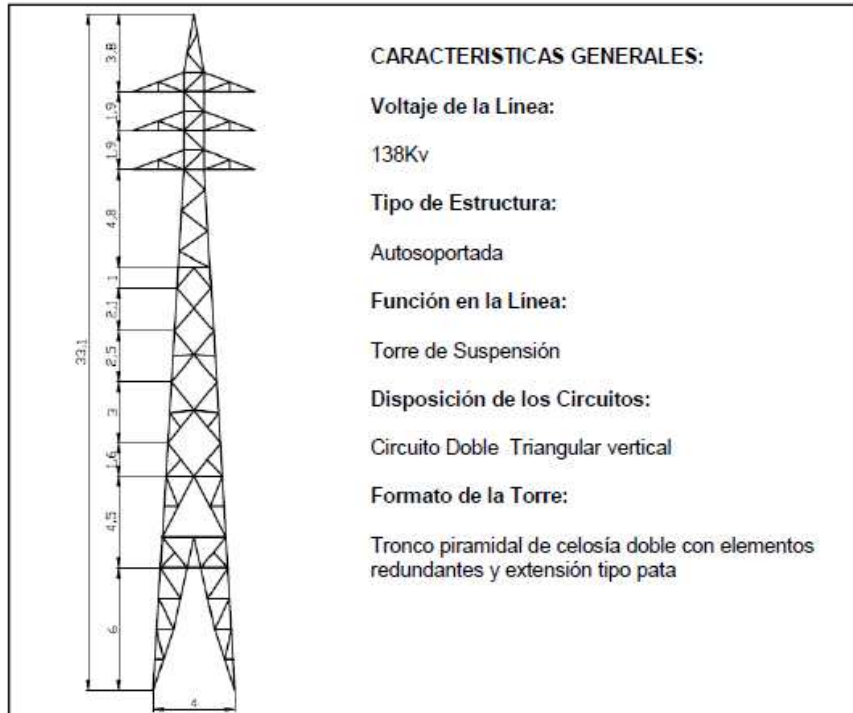


Figura 3. 15: Torre de suspensión circuito doble de 33.1m
Fuente: Marcelo Semblantes; noviembre 2010

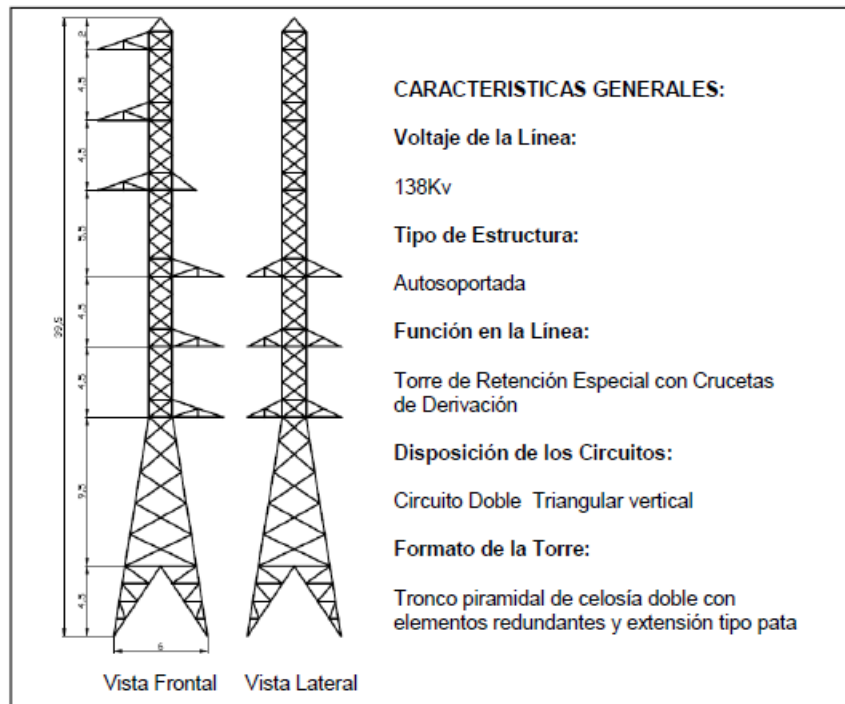


Figura 3. 16: Torre de retención circuito doble de 33.1m
Fuente: Marcelo Semblantes; noviembre 2010

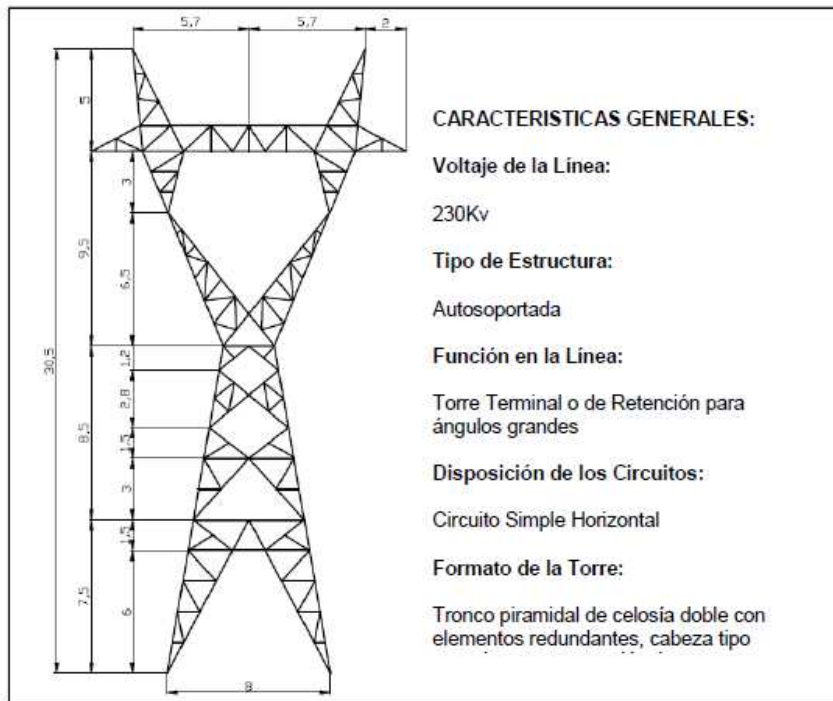


Figura 3. 17: Torre terminal circuito simple de 30.5m

Fuente: Marcelo Semblantes; noviembre 2010

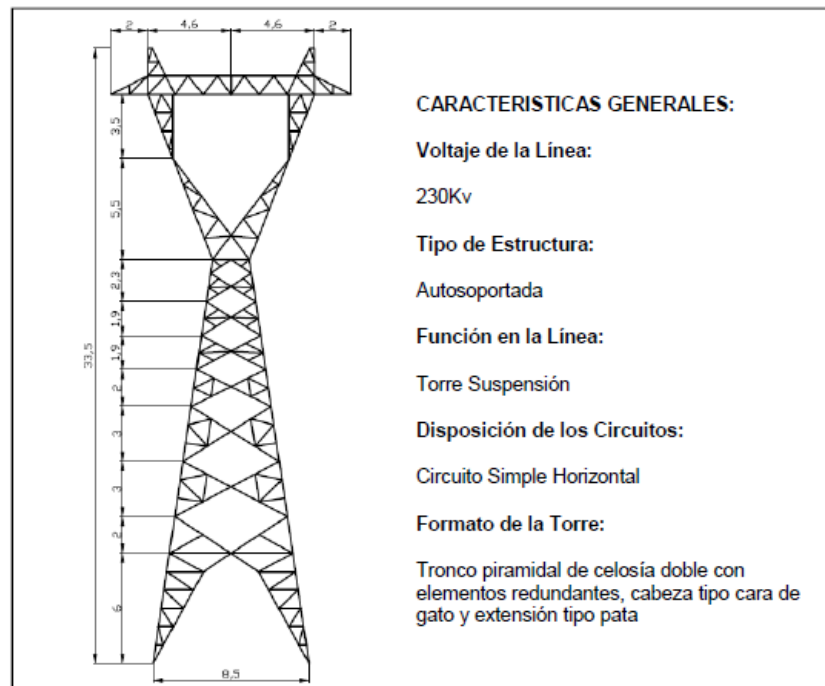


Figura 3. 18: Torre de suspensión circuito simple de 33.5m

Fuente: Marcelo Semblantes; noviembre 2010

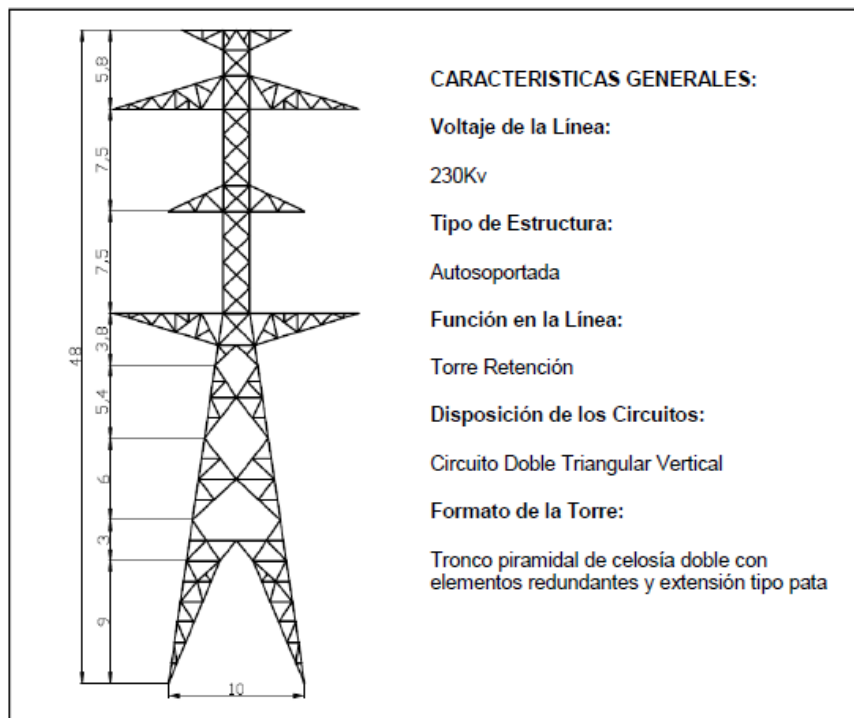


Figura 3. 19: Torre de retención circuito doble de 48m

Fuente: Marcelo Semblantes; noviembre 2010

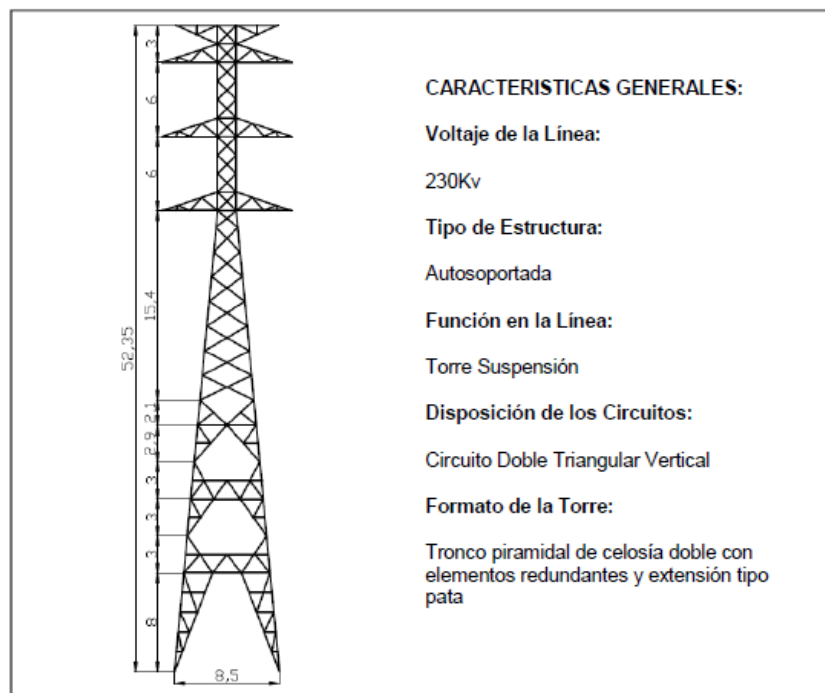


Figura 3. 20: Torre de suspensión circuito doble de 52,4m

Fuente: Marcelo Semblantes; noviembre 2010

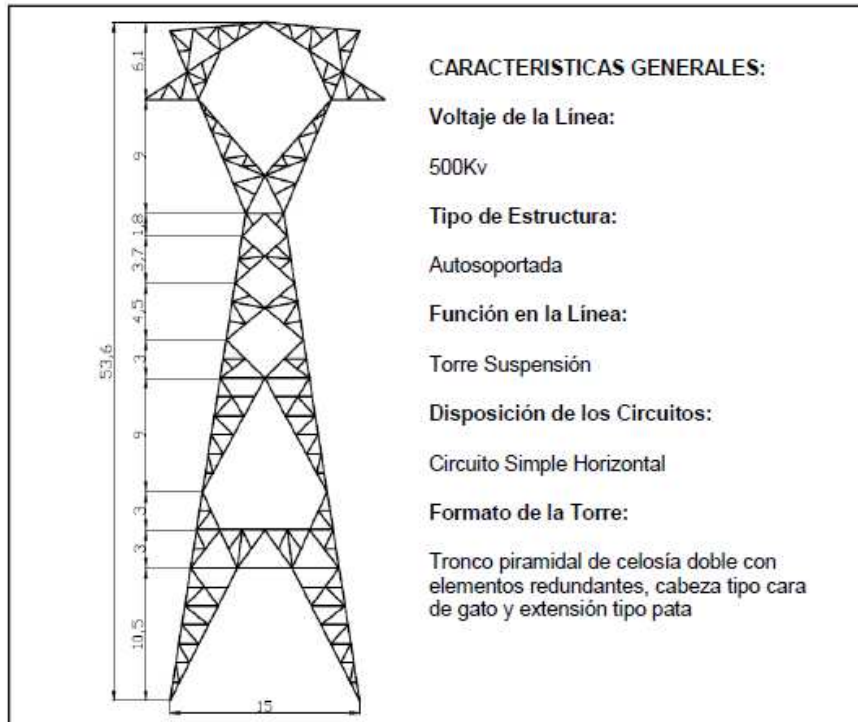


Figura 3. 21: Torre de suspensión circuito simple de 53.6m

Fuente: Marcelo Semblantes; noviembre 2010

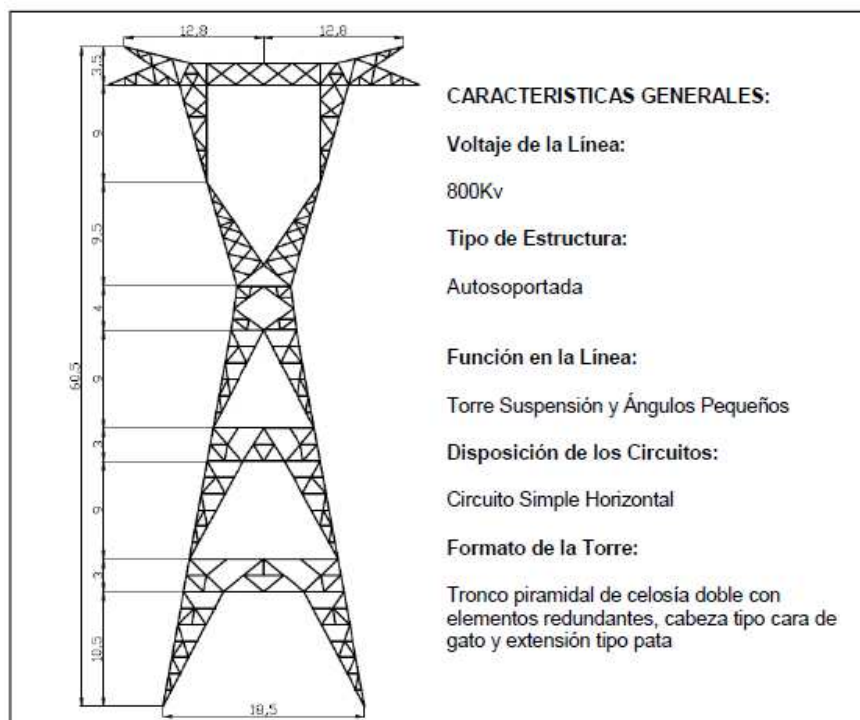


Figura 3. 22: Torre de suspensión circuito simple 60.5m

Fuente: Marcelo Semblantes; noviembre 2010

3.3.6. PARTES DE UNA TORRES

En general las torres se componen de:

- Hilo de guarda
- Aisladores, herrajes y conductores
- Crucetas
- Cabeza
- Cuerpo piramidal
- Patas
- Extensiones
- Stubs

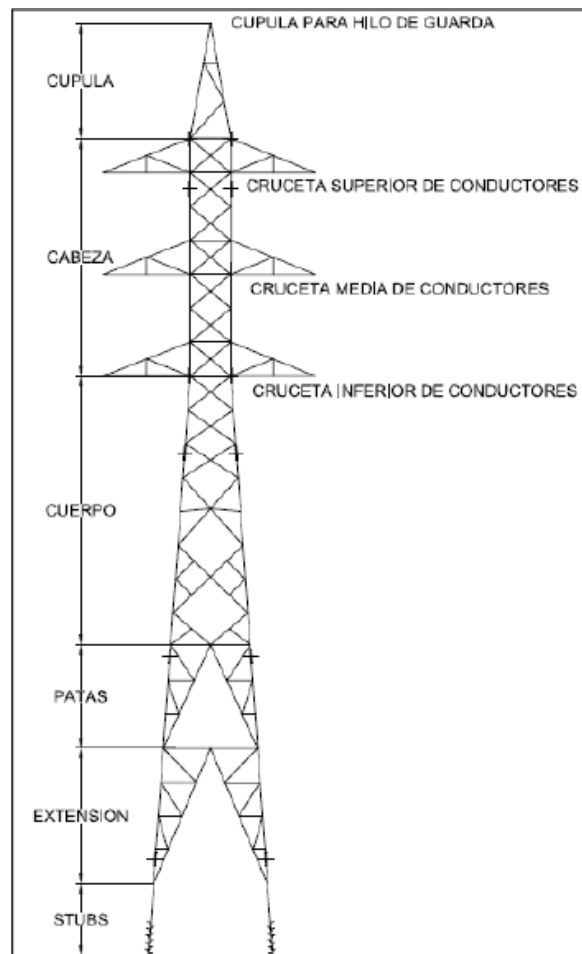


Figura 3. 23: Partes de una torre transmisión eléctrica
Fuente: Marcelo Semblantes; noviembre 2010

3.4. HIPÓTESIS DE CARGA

Los diversos casos de una carga necesitan de diversos tipo de factores y se determinan de acuerdo con el nivel de voltaje que transportará la línea de transmisión eléctrica, la zona geográfica, las condiciones climáticas, la acción sísmica del territorio, la velocidad máxima o mínima del viento. Todos éstos antecedentes se pueden adquirir a partir de la implementación de momentos meteorológicos, ya que es de vital importancia tener el debido conocimiento de las condiciones climatológicas a las que se verán expuestas tanto las torres de línea de transmisión eléctrica como los cables de guarda y conductores que aguantan las mismas.(Semblantes Vélez, 2010)

3.5. GALVANIZADO

La función del proceso de galvanización es de preservar la superficie del metal de la estructura geométrica de la torre sobre el cual se realiza el procedimiento. El tipo de galvanizado más usual que se emplea consta en colocar una capa de zinc (Zn) sobre el hierro (Fe); puesto que, el zinc es más oxidable, menos noble que el hierro y a la vez de formar un óxido estable. Cuida al hierro de la oxidación al exhibirse al oxígeno del aire. Ahora para tratar de eludir la corrosión en general es importante librarse el contacto entre elementos diferentes, con diferente potencial de oxidación, que puedan ocasionar diversos problemas de corrosión galvánica por el simple hecho de su debida combinación.(QUEZADA QUEZADA, 2005)

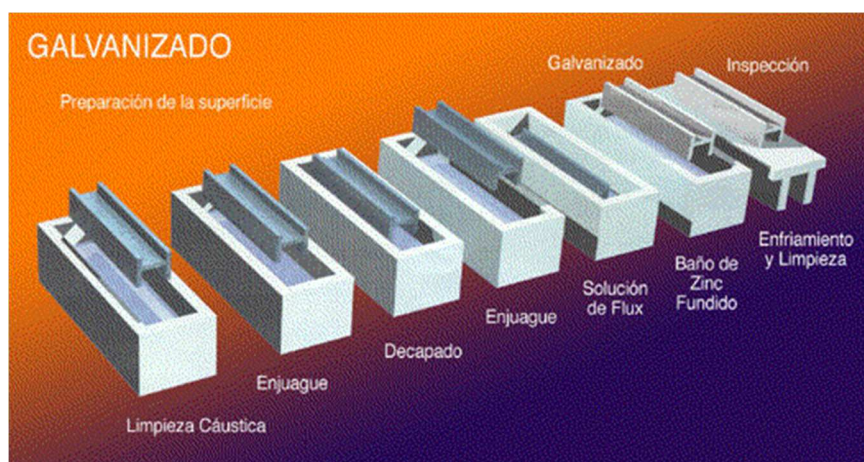


Figura 3. 24: *Proceso galvanizado de una estructura metálica*
Fuente: *Corpodiseño dinámico (web)*

3.6. Interconexión Ecuador – Colombia

El estado Ecuatoriano y el estado Colombiano se encuentran interconectados por dos líneas de transmisión, que permiten la transferencia de hasta 500 MW:

- a) La primera línea, cuyo voltaje es de 138 Kv que une las subestaciones de frontera de la provincia de “Carchi” en la ciudad de Tulcán localizada en el Ecuador y “Panamericana” en Ipiales ubicado en Colombia. Ésta línea de transmisión tiene una longitud de 15.5 km.
7.5 Km en la región ecuatoriana y 8 km en la región colombiana.
- b) La segunda línea, cuyo voltaje es de 230 Kv, conecta las subestaciones de “Pomasqui” en la provincia de Pichincha, ciudad de Quito localizada en el Ecuador y “Jamondino” en Pasto ubicado en Colombia. Ésta línea de transmisión tiene una longitud de 212.6 km.
137 km en la región ecuatoriana y 75.6 km en la región colombiana.

3.6.1. Interconexión Ecuador - Perú

Consta de una unión asincrónica de 230 kV en la que se vincula las poblaciones de Machala ubicado en el Ecuador y Zorrito localizado en Perú con una potencia de transmisión promedio en medio de 80 y 100 MW. Pese a que la línea de transmisión eléctrica está actualmente en carácter operativo, se la emplea solamente en condiciones de necesidad, ya que presenta varios problemas de estabilidad de la red eléctrica del lado peruano.(García, Garcés, & Atiaja, 2012)

3.7. Coeficiente de autoinducción

Toda alteración de la intensidad de un flujo corriente de un circuito realiza una fuerza electromotriz de inducción en el mismo, puesto que tal cambio origina a su vez una transformación del flujo que, ocasionado por aquella corriente, contiene al circuito.

Estas fuerzas electromotrices son denominadas como una autoinducción.

Recibe el nombre de coeficiente de autoinducción a la vinculación entre el flujo Φ creado por la corriente en el circuito, y la intensidad i de la misma.

$$\mathfrak{L} = \frac{\Phi}{i}; \Phi = \mathfrak{L} i$$

El coeficiente de autoinducción necesita de la forma del circuito y de las condiciones del método en el que esté colocado.(Checa)

Las formulaciones del coeficiente de autoinducción con fases simples y múltiples están detalladas a continuación:

Fases	Coeficiente de autoinducción en H/Km
Simple	$X_k = \left[0,5 + 4,6 \lg \frac{D}{r} \right] 10^{-4} \omega$
Dúplex	$X_k = \left[0,25 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt{r\Delta}} \right] 10^{-4} \omega$
Tríplex	$X_k = \left[0,166 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt[3]{r\Delta^2}} \right] 10^{-4} \omega$
Cuádruplex	$X_k = \left[0,125 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt[4]{\sqrt{2} r\Delta^3}} \right] 10^{-4} \omega$

Tabla 3. 1: *Formulaciones coeficiente-reactancia autoinducción en sus respectivas fases*

Fuente: *Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María*

3.8. Reactancia de AUTOINDUCCIÓN

La reactancia de autoinducción está formulado por el siguiente enunciado:

$$X_k = \xi_k \omega \Omega / \text{Km}$$

Del cual detalla que:

ξ = coeficiente de autoinducción en H/Km

ω = pulsación de la corriente, que, con la frecuencia usual de 50 períodos por segundo, vale

$$\omega = 2 \pi f$$

$$\omega = 2 \times 3,14 \times 60 = 377$$

Con otros valores de la frecuencia, tenemos los siguientes para la pulsación:

Valores de f	Valores de w
50	314,16
25	157
60	377

Tabla 3. 2: Valores frecuencia

Fuente: *Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María*

3.9. Datos de los conductores más empleados y valores de uso frecuente en los cálculos

Los conductores más empleados en las líneas de transporte de energía eléctrica son cables de aluminio-acero.

Sus correspondientes propiedades las dan los registros de los fabricantes, y de ellos tiene que trabajar el uso continuo del proyectista.

Son muy cuantiosos los valores de los tipos de cables que sería falso pretender incluir aquí sus datos.

Los conductores más utilizados son cuatro, cuyas denominaciones en español y sus correspondencias en inglés son:

ESPAÑOL	INGLÉS
Halcón	Haw
Gaviota	Gull
Cóndor	Condor
Cardenal	Cardinal

Tabla 3. 3: *Tipos de conductores más empleados*

Fuente: *Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María*

3.10. CONDUCTORES DE CABLE DE ALUMINIO-ACERO

	Halcón	Gaviota	Cóndor	Cardenal
Composición { <i>Aluminio: mm</i> <i>Acero: mm</i>	26 X 3,442	54 X 2,822	54 X 3,084	54 X 3,376
	7 X 2,677	7 X 2,822	7 X 3,084	7 X 3,376
Secciones { <i>Aluminio: mm²</i> <i>Acero: mm²</i> <i>Total: mm²</i>	241,68	337,74	402,84	483,42
	39,42	43,81	52,26	62,64
	281,10	381,55	455,10	546,06
Sección equivalente de cobre: <i>mm²</i>	152,01	212,31	253,36	304,03
Diámetro del alma de acero: <i>mm</i>	8,031	8,466	9,246	10,135
Diámetro del cable: <i>mm</i>	21,793	25,4	27,762	30,378
Pesos { <i>Aluminio: Kg/Km</i> <i>Acero: Kg/Km</i> <i>Total: Kg/Km</i>	666,6	934,6	1.115	1.338
	308,0	342,2	407	488
	974,6	1.276,8	1.522	1.826
Carga de rotura: <i>Kg</i>	8.817,8	11.135,7	12.950	15.536
Módulo de elasticidad : <i>Kg/mm²</i>	7.730	6.860	6.860	6.860
Coefficiente de dilatación por grado de temperatura	18,99X10 ⁻⁶	19,35X10 ⁻⁶	19,35X10 ⁻⁶	19,35X10 ⁻⁶
Resistencia eléctrica a 20°C: <i>Ω/Km</i>	0,119	0,0851	0,0721	0,0597

Tabla 3. 4: *Datos técnicos conductores más empleados*

Fuente: *Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María*

3.10.1. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS DE LAS FASES A 20°C, EN OHMIOS POR KILÓMETRO

Fases	Halcón	Gaviota	Cóndor	Cardenal
Simple	0,1190	0,0851	0,0721	0,0597
Dúplex	0,0595	0,0425	0,0360	0,0298
Tríplex	0,0396	0,0283	0,0240	0,0199
Cuádruplex	0,0297	0,0212	0,0180	0,0149

Tabla 3. 5: Resistencias eléctricas de las fases a 20°C. en Ω/Km

Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

3.10.2. SECCIONES DE LAS FASES EN MILÍMETROS CUADRADOS

Fases	Halcón	Gaviota	Cóndor	Cardenal
Simple	281,1	381,55	455,1	546,06
Dúplex	562,2	763,10	910,2	1.092,12
Tríplex	843,3	1.144,65	1.365,3	1.638,18
Cuádruplex	1.124,4	1.526,20	1.820,4	2.184,24

Tabla 3. 6: Secciones de las fases en mm^2

Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

3.10.3. VALORES DE LAS INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES EN AMPERIOS, PARA FASES SIMPLES, DÚPLEX, TRÍPLEX Y CUÁDRUPLEX.

Línea con	CONDUCTORES			
	Halcón	Gaviota	Cóndor	Cardenal
Un circuito de fases simples	574,28	713,116	799,61	888,98
Un circuito de fases dúplex	1.148,56	1.426,23	1.599,22	1.777,96
Un circuito de fases tríplex	1.722,84	2.139,34	2.398,83	2.666,94
Un circuito de fases cuádruplex	2.297,12	2.852,46	3.198,44	3.555,92
Dos circuitos de fases simples, acoplados en paralelo	Iguales valores que para línea con un circuito dúplex			
Dos circuitos de fases dúplex, acoplados en paralelo	Iguales valores que para línea con un circuito cuádruplex			

Tabla 3. 7: Valores de intensidades máximas admisibles en amperios para diferentes fases
Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

Caída de tensión

Para la caída de tensión suelen aceptarse valores que bordean entre el 5% y el 10%, empleando el más usual el del 7%.

Si se pronostica que habría regulación de la tensión de la línea, suele admitirse el de un 10%(Checa)

Factor de potencia

En relación al factor de potencia ($\cos \varphi$), unos amplios de valores del factor potencia es la tabla detallada, como:

3.10.4. VALORES DEL FACTOR DE POTENCIA

φ	$\text{Cos } \varphi$	$\text{Sen } \varphi$	$\text{Tg } \varphi$
60°	0,50	0,866	1,732
56° 38'	0,55	0,835	1,518
53° 07'	0,60	0,799	1,332
49° 27'	0,65	0,759	1,168
45° 34'	0,70	0,714	1,019
41° 24'	0,75	0,661	0,881
36° 52'	0,80	0,599	0,749
31° 47'	0,85	0,526	0,619
25° 50'	0,90	0,435	0,484
18° 11'	0,95	0,312	0,328
0°	1,00	0	0

Tabla 3. 8: Valores diferentes de factores potencia más utilizados
Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

3.11. Método del momento eléctrico

El método del momento eléctrico permite determinar con gran sencillez, aunque sólo de modo aproximado, la potencia de transporte, la pérdida de ésta y la distancia a que podrá ser transmitida. El momento eléctrico es el producto de una potencia por una longitud. La aplicación del método del momento eléctrico permite calcular con gran rapidez diversos conductores, así como determinar para cada uno de éstos diferentes tipos de línea, como pueden ser los de circuito simple, dúplex, dos simples, dos dúplex, tríplex, etc., y cuantas combinaciones se quieran tantear.(Checa)

$$M = PL = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_x + X_k \operatorname{tg} \varphi}$$

Las unidades prácticas para el cálculo son las siguientes:

P = potencia en MW

L = longitud de la línea en kilómetros

u = caída de tensión en porcentaje; generalmente,

$$u = 5$$

$$u = 6$$

$$u = 7$$

U = tensión nominal de la línea en Kilovoltios,

$$U = 132 \text{ KV}$$

$$U = 220 \text{ KV}$$

$$U = 380 \text{ KV}$$

$$U = 500 \text{ KV}$$

R_k = resistencia eléctrica, en Ω / Km

X_k = reactancia de autoinducción, en Ω / Km

φ = ángulo de desfase de la intensidad respecto a la tensión, en disco extremo.

Con estas unidades, el momento eléctrico M vendrá expresado en megavatios kilómetros (MW km).

Puesto que:

$$M = PL$$

Tenemos que

$$L = \frac{M}{P}$$

Fórmula que permite determinar a qué distancia podrá ser transportada la potencia P .

Y si las magnitudes conocidas son M y L , la potencia de transporte de la línea será:

$$P = \frac{M}{L}$$

3.11.1. Pérdida de potencia en la línea eléctrica

La caída de tensión e intensidad en una línea inductiva se calcula mediante a siguiente fórmula:

$$p_K \% = \frac{100R_K P}{U^2 \cos^2 \varphi}$$

$p_k \%$ = pérdida de potencia por kilómetro de línea

R_K = resistencia eléctrica, en Ω / Km

P = potencia de transporte

U = tensión nominal de la línea en Kilovoltios

$\cos^2 \varphi$ = factor de potencia

En los peajes de interconexión de zonas eléctricas suele admitirse una pérdida de potencia de un 3%, por cada 100km de longitud de línea.

$$p_{100 \text{ km}} \% \leq 3\%$$

En general, las longitudes de las líneas de interconexión de zonas eléctricas son bastantes mayores que 100 km, pero podría darse el caso (poco probable) de que fuese menor.

En esta última circunstancia no habría más que determinar cuál sería la pérdida porcentual que correspondería a 100 km de longitud de línea.(Checa)

3.11.2. POTENCIA MÁXIMA DE TRANSPORTE POR LÍMITE TÉRMICO

La potencia máxima de transporte por límite térmico o, dicho de otro modo, según la densidad máxima de corriente admisible en el conductor de que se trate, será:

$$P_{max} = \sqrt{3} UI_{max} \cos \varphi$$

En donde, I_{max} es la intensidad máxima en amperios, determinada en función de la densidad máxima acabada de citar.

3.12. Ejemplos de línea a 230KV de tensión(Checa)

Vamos a hacer un estudio comparativo de una línea con las siguientes peculiaridades:

- a) Con un circuito simple
- b) Con un circuito dúplex
- c) Con un circuito tríplex
- d) Con un circuito cuádruplex
- e) Con dos circuitos simples acoplados en paralelo
- f) Con dos circuitos dúplex acoplados en paralelo

El conductor será siempre el mismo, cable Gaviota.

Separación entre conductores de fase:

$$\Delta = 40 \text{ cm}$$

Admitiremos una caída de tensión de un 7% y un factor de potencia:

$$\cos \varphi = 0,90 \qquad \text{tg } \varphi = 0,484$$

Los datos de la línea serán los siguientes:

Tensión nominal	U = 230KV
Longitud	L = 100 Km
Apoyos	torres metálicas

3.12.1. Línea con un circuito simple a 230KV de tensión

Los apoyos como el de la figura 3. 25, pero con fases simples.

Distancia media geométrica entre fases:

$$D = \sqrt[3]{6,50 (8,20)(8,50)} = 7,68 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica (tabla 3. 5):

$$R_k = 0,0851 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,5 + 4,6 \lg \frac{D}{r} \right] 10^{-4} \omega$$

$$X_k = \left[0,5 + 4,6 \lg \frac{7,680}{12,7} \right] 10^{-4} (377)$$

$$X_k = 0,5012 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{7}{100} \frac{230^2}{0,0851 + 0,5012 (0,484)} = 11.300 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte

$$P_A = \frac{M}{L} = \frac{11.300}{100} = 113 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_A}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0851) (113)}{230^2 (0,90)^2} = 0,022442 \%$$

En la línea de 100Km de longitud	$p_{100 \text{ Km}} \% = 0,022442 \times 100 = 2,24423\%$
En valor absoluto	$p = 0,0224423 \times 113 = 2,536 \text{ MW}$

Tabla 3. 9: *Pérdidas potencia línea 230 KV con un circuito simple*

Fuente: *Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María*

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} U I_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (230) (10^3) (713,116) (0,90)$$

$$P_{max} = 255,37 \text{ MW}$$

3.12.2. Línea con un circuito simple a 230KV de tensión
 Los apoyos como el de la figura 3. 25
 Distancia media geométrica entre fases:

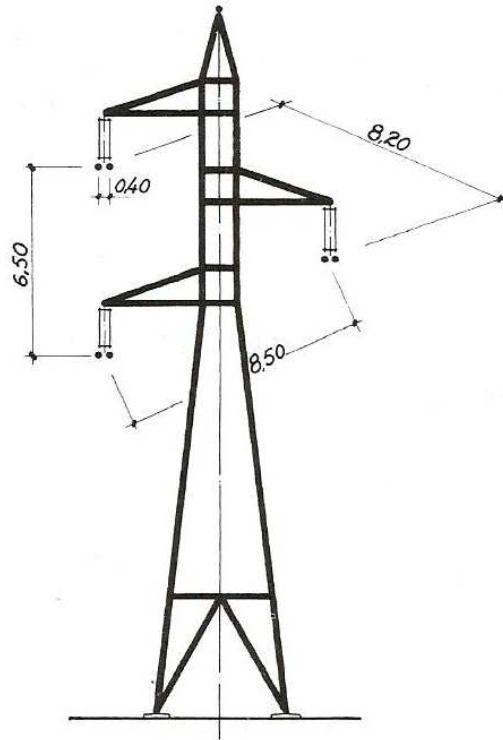


Figura 3. 25: Línea con un circuito dúplex a 230 KV de tensión
 Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

$$D = \sqrt[3]{6,50 (8,20) (8,50)} = 7,68 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica (tabla 3. 5):

$$R_k = 0,0425 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,25 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt{r\Delta}} \right] 10^{-4} \omega$$

$$X_k = \left[0,25 + 4,6 \lg \frac{7.680}{\sqrt{12,7 (400)}} \right] 10^{-4} (377)$$

$$X_k = 0,3619 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{7}{100} \frac{230^2}{0,0425 + 0,3619 (0,484)} = 17.013 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_B = \frac{M}{L} = \frac{17.013}{100} = 170,13 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_B}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0425) (170,13)}{230^2 (0,90)^2} = 0,016874 \%$$

En la línea de 100Km de longitud	$p_{100 \text{ Km}} \% = 0,016874 \times 100 = 1,68744\%$
En valor absoluto	$p = 0,0168744 \times 170,13 = 2,871 \text{ MW}$

Tabla 3. 10: *Pérdidas potencia línea 230 KV con un circuito dúplex*
Fuente: *Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María*

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} UI_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (230) (10^3) (1.426,23) (0,90)$$

$$P_{max} = 510,75 \text{ MW}$$

3.12.3. Línea con un circuito tríplex a 230KV de tensión
Los apoyos como el de la figura 3. 26.
Distancia media geométrica entre fases:

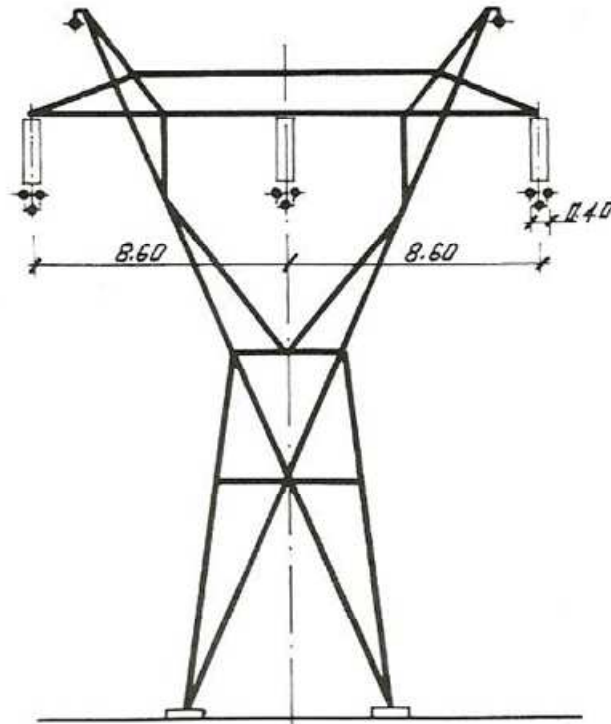


Figura 3. 26: Línea con un circuito tríplex a 230 KV de tensión
Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

$$D = 8,60 \sqrt[3]{2} = 10,83 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica (tabla 3. 5):

$$R_k = \frac{0,0851}{3} = 0,0283 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,166 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt[3]{r\Delta^2}} \right] 10^{-4} \omega =$$

$$X_k = \left[0,166 + 4,6 \lg \frac{10,830}{\sqrt[3]{12,7 (400)^2}} \right] 10^{-4} (377) =$$

$$X_k = 0,3413 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{7}{100} \frac{230^2}{0,0283 + 0,3413 (0,484)} = 19.138 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_C = \frac{M}{L} = \frac{19.138}{100} = 191,38 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_C}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0283) (191,38)}{230^2 (0,90)^2} = 0,012639 \%$$

En la línea de 100Km de longitud	$p_{100 \text{ Km}} \% = 0,012639 \times 100 = 1,26399\%$
En valor absoluto	$p = 0,0126399 \times 191,38 = 2,419 \text{ MW}$

Tabla 3. 11: Pérdidas potencia línea 230 KV con un circuito tríplex
Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} UI_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (230) (10^3) (2.139,34) (0,90)$$

$$P_{max} = 766 \text{ MW}$$

3.12.4. Línea con un circuito cuádruplex a 230KV de tensión
Los apoyos como el de la figura 3. 26, pero con fases cuádruplex.
Distancia media geométrica entre fases:

$$D = 8,60 \sqrt[3]{2} = 10,83 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica (tabla 3. 5):

$$R_k = \frac{0,0851}{4} = 0,0212 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,125 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt[4]{\sqrt{2} r \Delta^3}} \right] 10^{-4} \omega =$$

$$X_k = \left[0,125 + 4,6 \lg \frac{10,830}{\sqrt[4]{1,41(12,7)(400)^3}} \right] 10^{-4} (377) =$$

$$X_k = 0,3116 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{7}{100} \frac{230^2}{0,0212 + 0,3116 (0,484)} = 21.527 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_D = \frac{M}{L} = \frac{21.527}{100} = 215,27 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_D}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0212) (215,27)}{230^2 (0,90)^2} = 0,010651 \%$$

En la línea de 100Km de longitud	$p_{125 \text{ Km}} \% = 0,010651 \times 100 = 1,06507\%$
En valor absoluto	$p = 0,0106507 \times 215,27 = 2,293 \text{ MW}$

Tabla 3. 12: *Pérdidas potencia línea 230 KV con un circuito cuádruplex*
Fuente: *Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luis María*

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} U I_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (230) (10^3) (2.852,46) (0,90)$$

$$P_{max} = 1021 \text{ MW}$$

3.12.5. Línea con dos circuitos simples acoplados en paralelo a 230KV de tensión
Los apoyos como el de la figura 3. 27.

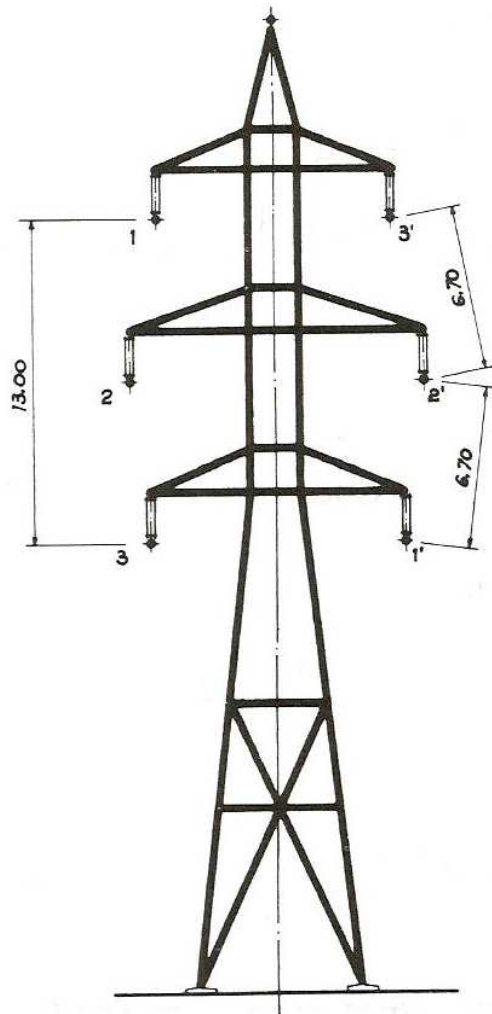


Figura 3. 27: Línea con dos circuitos simples a 230 KV de tensión
Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

Distancia media geométrica entre fases (fig. 3. 28):

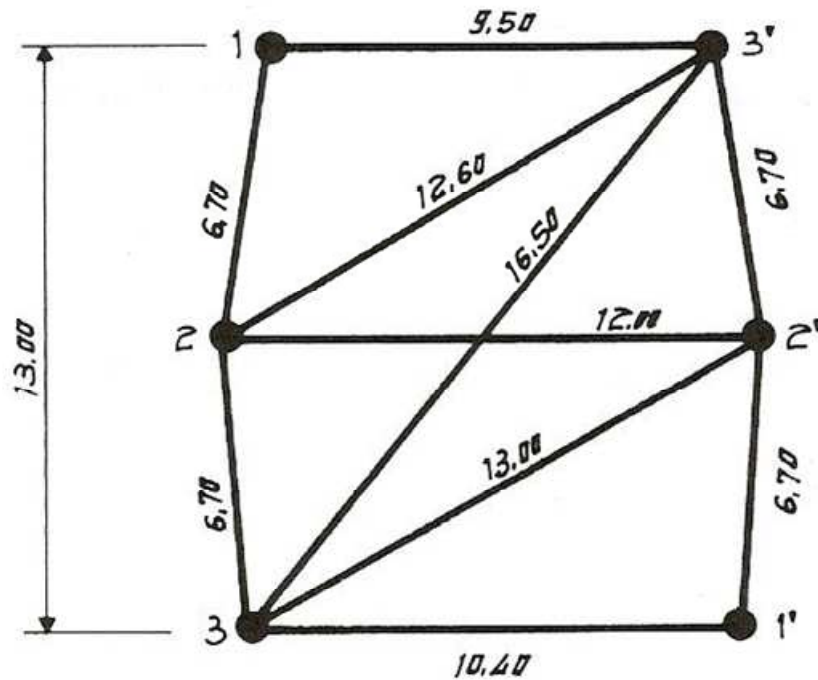


Figura 3. 28: Disposición y distancias entre fases

Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

$$D_1 = \frac{\sqrt{D_{1-2} D_{1-2'} D_{1-3} D_{1-3'}}}{D_{1-1'}} = \frac{\sqrt{6,7(12,6)(13)(9,5)}}{16,5} = 6,1883 \text{ m}$$

$$D_2 = \frac{\sqrt{D_{2-1} D_{2-1'} D_{2-3} D_{2-3'}}}{D_{2-2'}} = \frac{\sqrt{6,7(13)(6,7)(12,6)}}{12} = 7,1457 \text{ m}$$

$$D_3 = \frac{\sqrt{D_{3-1} D_{3-1'} D_{3-2} D_{3-2'}}}{D_{3-3'}} = \frac{\sqrt{13(10,4)(6,7)(13)}}{16,5} = 6,5767 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[3]{D_1 D_2 D_3} = \sqrt[3]{6,1883(7,1457)(6,5767)} = 6,62 \text{ m}$$

$$D = 6,62 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica (tabla 3. 5):

$$R_k = \frac{1}{2} 0,0851 = 0,0425 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \frac{1}{2} \left[0,5 + 4,6 \lg \frac{D}{r} \right] 10^{-4} \omega$$

$$X_k = \frac{1}{2} \left[0,5 + 4,6 \lg \frac{6,620}{12,7} \right] 10^{-4} (377)$$

$$X_k = 0,2450 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{7}{100} \frac{230^2}{0,0425 + 0,2450(0,484)} = 22,988 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_E = \frac{M}{L} = \frac{22,988}{100} = 229,88 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_E}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0425) (229,88)}{230^2 (0,90)^2} = 0,022801 \%$$

En la línea de 100Km de longitud	$p_{100 \text{ Km}} \% = 0,022801 \times 100 = 2,28008\%$
En valor absoluto	$p = 0,0228008 \times 229,88 = 5,241 \text{ MW}$

Tabla 3. 13: Pérdidas potencia línea 230 KV con dos circuitos simples acoplados en paralelo

Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} UI_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (230) (10^3) (1.426,23) (0,90)$$

$$P_{max} = 510,75 \text{ MW}$$

3.12.6. Línea con dos circuitos dúplex acoplados a 230KV de tensión

Los apoyos como el de la figura 3. 27, pero con fases dúplex.

Distancia media geométrica entre fases:

$$D_1 = \frac{\sqrt{D_{1-2} D_{1-2'} D_{1-3} D_{1-3'}}}{D_{1-1'}} = \frac{\sqrt{6,7(12,6)(13)(9,5)}}{16,5} = 6,1883 \text{ m}$$

$$D_2 = \frac{\sqrt{D_{2-1} D_{2-1'} D_{2-3} D_{2-3'}}}{D_{2-2'}} = \frac{\sqrt{6,7(13)(6,7)(12,6)}}{12} = 7,1457 \text{ m}$$

$$D_3 = \frac{\sqrt{D_{3-1} D_{3-1'} D_{3-2} D_{3-2'}}}{D_{3-3'}} = \frac{\sqrt{13(10,4)(6,7)(13)}}{16,5} = 6,5767 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[3]{D_1 D_2 D_3} = \sqrt[3]{6,1883(7,1457)(6,5767)} = 6,62 \text{ m}$$

$$D = 6,62 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica (tabla 3. 5):

$$R_k = \frac{1}{2} \frac{0,0851}{2} = 0,0212 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \frac{1}{2} \left[0,25 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt{r\Delta}} \right] 10^{-4} \omega$$

$$X_k = \frac{1}{2} \left[0,25 + 4,6 \lg \frac{6.620}{\sqrt{12,7 (400)}} \right] 10^{-4} (377)$$

$$X_k = 0,1753 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{7}{100} \frac{230^2}{0,0212 + 0,1753(0,484)} = 34.919 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_F = \frac{M}{L} = \frac{34.919}{100} = 349,19 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_F}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0212) (349,19)}{230^2 (0,90)^2} = 0,017276 \%$$

En la línea de 100Km de longitud	$p_{100 \text{ Km}} \% = 0,017276 \times 100 = 1,72765\%$
En valor absoluto	$p = 0,0172765 \times 349,19 = 6,033 \text{ MW}$

Tabla 3. 14: *Pérdidas potencia línea 230 KV con dos circuitos dúplex acoplados en paralelo*
Fuente: *Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María*

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} UI_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (230) (10^3) (2.852,46) (0,90)$$

$$P_{max} = 1.021 \text{ MW}$$

3.12.7. Resumen de los resultados de la línea a 220KV de tensión.(Checa)

El resumen de los resultados a que hemos llegado con la línea considerada en sus seis peculiaridades queda expuesto en la tabla 15.

Como se ve, la potencia mínima de transporte se tiene, lógicamente, en el caso A), de línea con un circuito simple:

$$P_A = 113 \text{ MW}$$

Y la máxima, en el F), de la línea con dos circuitos dúplex acoplados en paralelo:

$$P_F = 349,19 \text{ MW}$$

La relación entre ambas:

$$\frac{P_F}{P_A} = \frac{349,19}{113} = 3,090$$

pone de manifiesto entre qué límites tan dispares puede variar la potencia de transporte, según sea el tipo de línea.

LÍNEA	POTENCIAS DE TRANSPORTE MW	PÉRDIDAS DE POTENCIA		OBSERVACIONES
		En porcentaje %	En valor absoluto MW	
A) Con un circuito simple	$P_A = 113$	2,24423	2,536	Potencia mínima de transporte
B) Con un circuito dúplex	$P_B = 170,13$	1,68744	2,871	
C) Con un circuito tríplex	$P_C = 191,38$	1,26399	2,419	
D) Con un circuito cuádruplex	$P_D = 215,27$	1,06507	2,293	Pérdida mínima porcentual de potencia
E) Con dos circuitos simples acoplados en paralelo	$P_E = 229,88$	2,28008	5,241	Pérdida máxima porcentual de potencia
F) Con dos circuitos dúplex acoplados en paralelo	$P_F = 349,19$	1,72765	6,033	Potencia máxima de transporte

Tabla 3. 15: Resumen resultados líneas a 230 KV tensión

Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

3.13. EJEMPLOS DE LÍNEAS A 380 KV DE TENSIÓN (Checa)

Consideramos cuatro ejemplos de líneas a 380 KV de tensión, a saber:

Línea	Conductores
a) Con un circuito dúplex	Cardenal
b) Con un circuito tríplex	Gaviota
c) Con un circuito cuádruplex	Halcón
d) Con dos circuitos dúplex acoplados en paralelo	Cardenal

Los datos comunes serán los siguientes:

Tensión nominal	380 KV
Longitud	400 Km
Apoyos	torres metálicas
Fases	múltiples
Separación entre subconductores	$\Delta = 40 \text{ cm}$
Caída de tensión	$u = 10 \%$
Factor de potencia	$\cos \varphi = 0,90$ ($\text{tg } \varphi = 0,484$)
Pérdida de potencia por cada 100 Km de línea	$p_{100 \text{ Km}} \% \leq 3 \%$

3.13.1. Línea con un circuito dúplex a 380 KV de tensión
Los apoyos como el de la figura 3. 29
Distancia media geométrica entre fases:

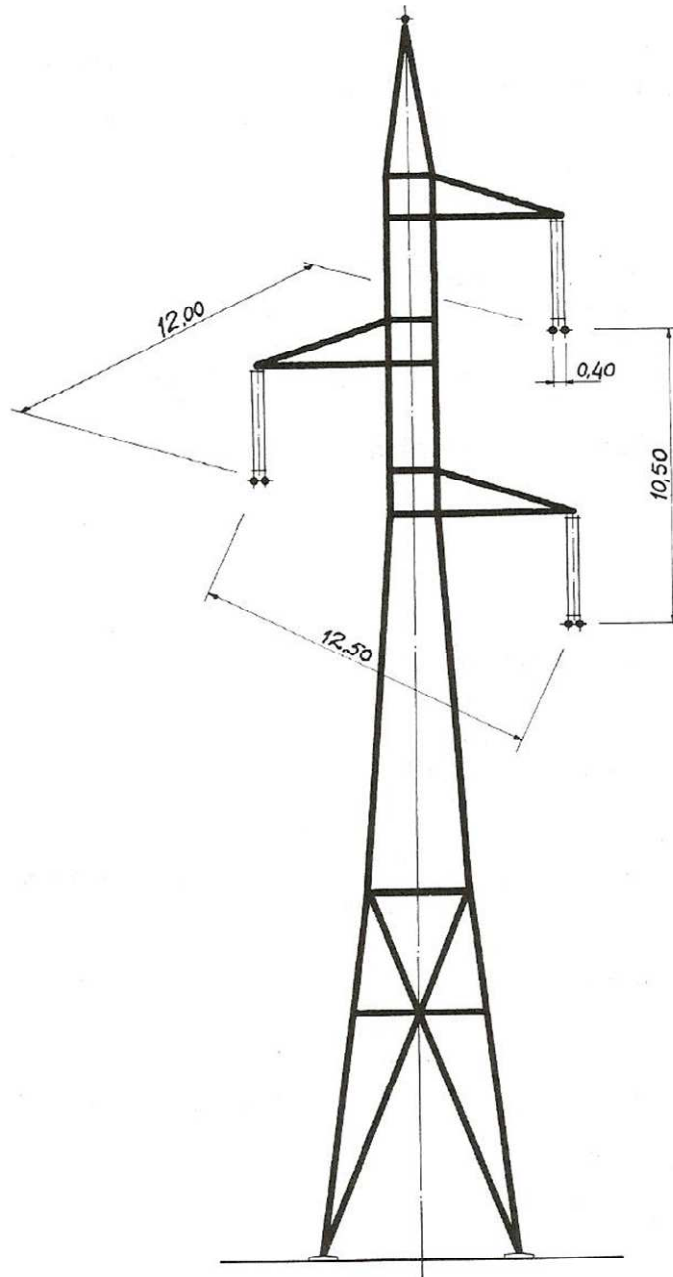


Figura 3. 29: Línea con un circuito dúplex a 380 KV de tensión
Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

$$D = \sqrt[3]{12,50 (12)(10,50)}$$

$$D = 11,63 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica cable cardenal (tabla 3. 5)

$$R_K = 0,0298 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,25 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt{r\Delta}} \right] 10^{-4} \omega$$

$$X_k = \left[0,25 + 4,6 \lg \frac{11.630}{\sqrt{15.189 (400)}} \right] 10^{-4} (377)$$

$$X_k = 0,3864 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{10}{100} \frac{380^2}{0,0298 + 0,3864(0,484)} = 66.599 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_A = \frac{M}{L} = \frac{66.599}{400} = 166,50 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_A}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0298) (166,50)}{380^2 (0,90)^2} = 0,004242 \%$$

En la línea de 400Km de longitud	$p_{400 \text{ Km}} \% = 0,004242 \times 400 = 1,69683\%$
En 100 Km de longitud de línea	$p_{400 \text{ Km}} \% = 0,004242 \times 100 = 0,4\% < 3\%$
En valor absoluto	$p = 0,0169683 \times 166,50 = 2,825 \text{ MW}$

Tabla 3. 16: Pérdidas potencia línea 380 KV con un circuito dúplex

Fuente: *Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María*

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} UI_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (380) (10^3) (1.777,96) (0,90)$$

$$P_{max} = 1.051 \text{ MW}$$

3.13.2. Línea con un circuito tríplex a 380 KV de tensión

Los apoyos como el de la figura 3.30

Distancia media geométrica entre fases:

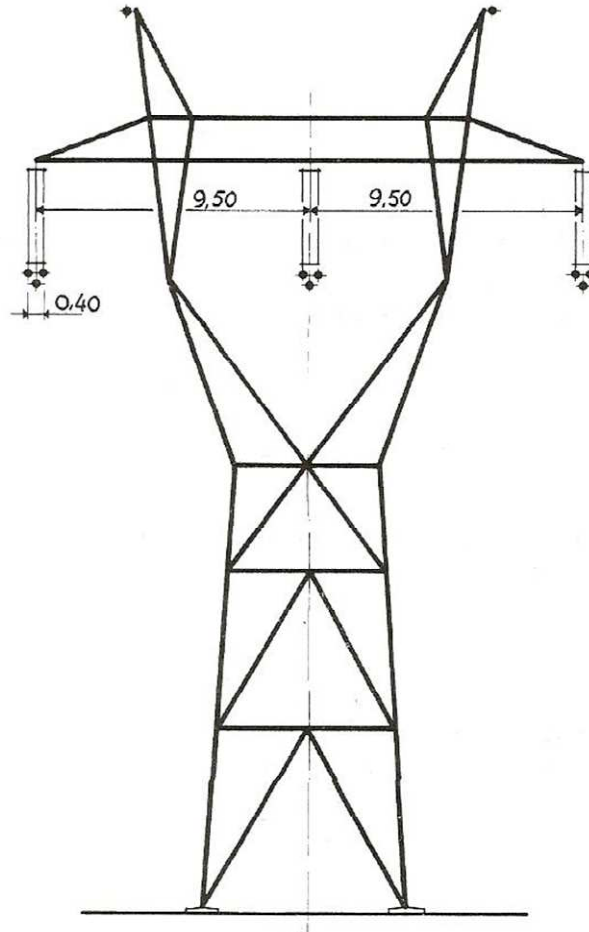


Figura 3. 30: Línea con un circuito tríplex a 380 KV de tensión
Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

$$D = 9,50\sqrt[3]{2}$$

$$D = 11,97 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica cable cardenal (tabla 3. 5)

$$R_K = 0,0283 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,166 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt[3]{r\Delta^2}} \right] 10^{-4} \omega =$$

$$X_k = \left[0,166 + 4,6 \lg \frac{11,970}{\sqrt[3]{12,7 (400)^2}} \right] 10^{-4} (377) =$$

$$X_k = 0,3488 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{10}{100} \frac{380^2}{0,0283 + 0,3488(0,484)} = 73.255 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_B = \frac{M}{L} = \frac{73.255}{400} = 183,14 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_B}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0283) (183,14)}{380^2 (0,90)^2} = 0,004431 \%$$

En la línea de 400Km de longitud	$p_{400 \text{ Km}} \% = 0,004431 \times 400 = 1,77246\%$
En 100 Km de longitud de línea	$p_{400 \text{ Km}} \% = 0,004431 \times 100 = 0,4\% < 3\%$
En valor absoluto	$p = 0,0177246 \times 183,14 = 3,245 \text{ MW}$

Tabla 3. 17: Pérdidas potencia línea 380 KV con un circuito tríplex

Fuente: *Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María*

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} UI_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (380) (10^3) (2.139,34) (0,90)$$

$$P_{max} = 1.265 \text{ MW}$$

3.13.3. Línea con un circuito cuádruplex a 380 KV de tensión

Los apoyos como el de la figura 3. 31

Distancia media geométrica entre fases:

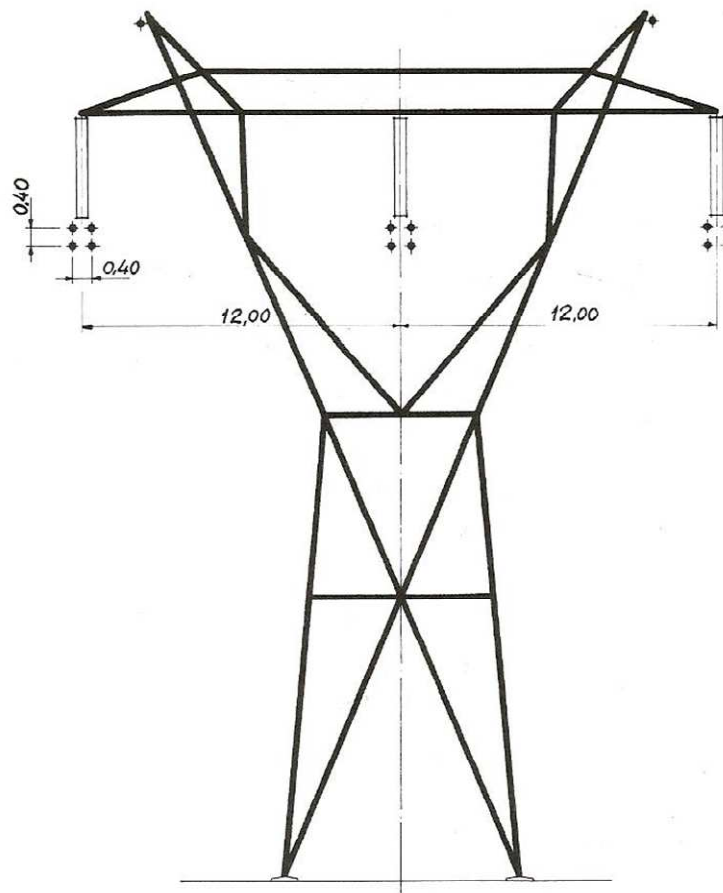


Figura 3. 31: Línea con un circuito cuádruplex a 380 KV de tensión
Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

$$D = 12 \sqrt[3]{2}$$

$$D = 15,12 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica cable cardenal (tabla 3. 5)

$$R_K = 0,0297 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,125 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt[4]{\sqrt{2} r \Delta^3}} \right] 10^{-4} \omega =$$

$$X_k = \left[0,125 + 4,6 \lg \frac{15.120}{\sqrt[4]{1,41(10,89)(400)^3}} \right] 10^{-4} (377) =$$

$$X_k = 0,3397 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{10}{100} \frac{380^2}{0,0297 + 0,3397(0,484)} = 74.389 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_C = \frac{M}{L} = \frac{74.389}{400} = 185,97 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_C}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0297) (185,97)}{380^2 (0,90)^2} = 0,004722 \%$$

En la línea de 400Km de longitud	$p_{400 \text{ Km}} \% = 0,004722 \times 400 = 1,88889\%$
En 100 Km de longitud de línea	$p_{400 \text{ Km}} \% = 0,004722 \times 100 = 0,47\% < 3\%$
En valor absoluto	$p = 0,0188889 \times 185,97 = 3,513 \text{ MW}$

Tabla 3. 18: Pérdidas potencia línea 380 KV con un circuito cuádruplex
Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} UI_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (380) (10^3) (2.297,12) (0,90)$$

$$P_{max} = 1.359 \text{ MW}$$

3.13.4 Línea con dos circuitos dúplex acoplados en paralelo, a 380 KV de tensión

Los apoyos como el de la figura 3. 32

Distancia media geométrica entre fases (fig. 3. 33):

$$D_1 = \frac{\sqrt{D_{1-2} D_{1-2'} D_{1-3} D_{1-3'}}}{D_{1-1'}} = \frac{\sqrt{9,202(15,50)(11,60)(21,80)}}{12,80}$$

$$D_1 = 14,83 \text{ m}$$

$$D_2 = \frac{\sqrt{D_{2-1} D_{2-1'} D_{2-3} D_{2-3'}}}{D_{2-2'}} = \frac{\sqrt{9,202(15,50)(7,00)(20,20)}}{13,20}$$

$$D_2 = 10,76 \text{ m}$$

$$D_3 = \frac{\sqrt{D_{3-1} D_{3-1'} D_{3-2} D_{3-2'}}}{D_{3-3'}} = \frac{\sqrt{11,60(21,80)(7,00)(20,20)}}{27,20}$$

$$D_3 = 6,95 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[3]{D_1 D_2 D_3} = \sqrt[3]{14,83(10,76)(6,95)} = 10,35 \text{ m}$$

$$D = 10,35 \text{ m}$$

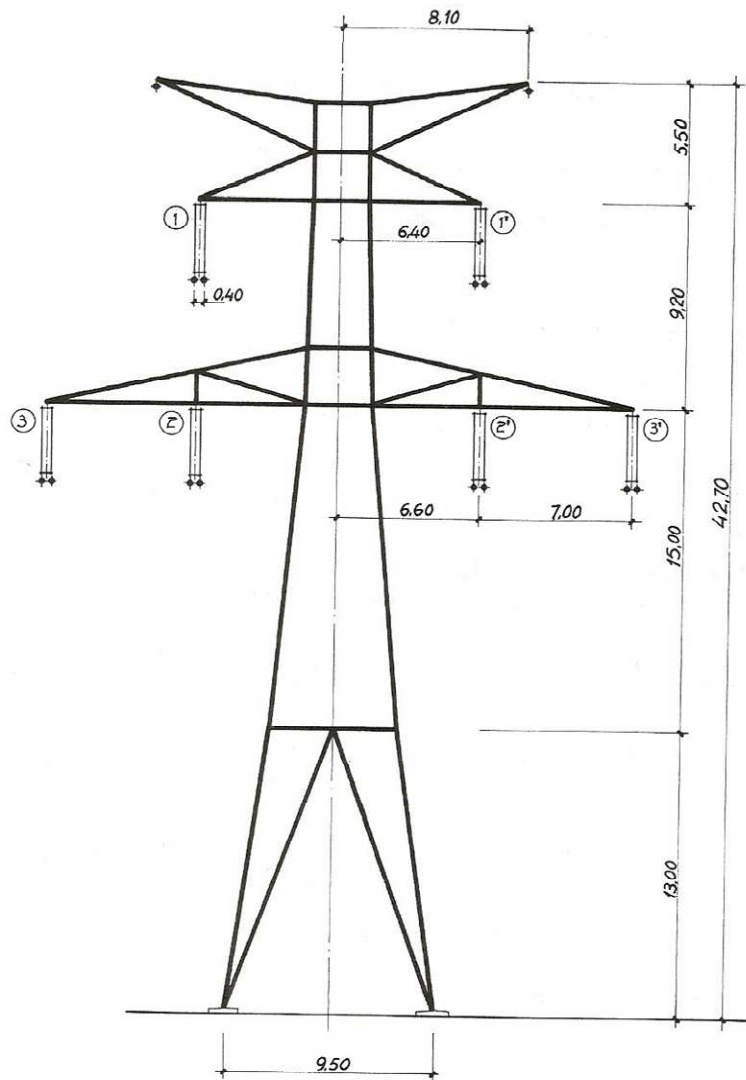


Figura 3. 32: Línea con dos circuitos dúplex a 380 KV de tensión
 Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

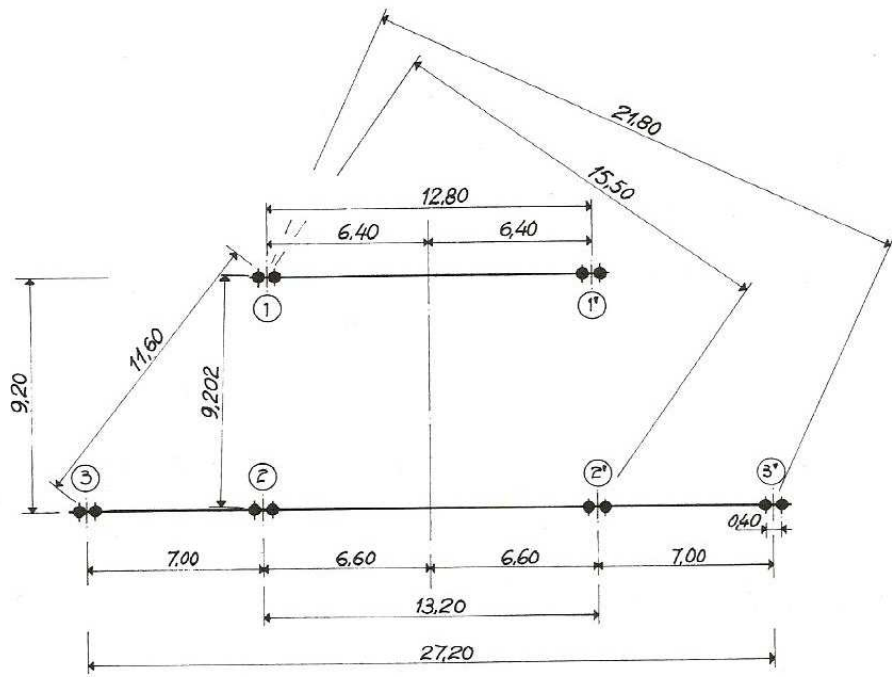


Figura 3. 33: Disposición y distancias entre fases
Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

Resistencia eléctrica cable cardenal (tabla 3. 5)

$$R_K = 0,0149 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \frac{1}{2} \left[0,25 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt{r\Delta}} \right] 10^{-4} \omega$$

$$X_k = \frac{1}{2} \left[0,25 + 4,6 \lg \frac{10.350}{\sqrt{15,189 (400)}} \right] 10^{-4} (377)$$

$$X_k = 0,1888 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{10}{100} \frac{380^2}{0,0149 + 0,1888(0,484)} = 135.868 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_D = \frac{M}{L} = \frac{1}{400} = 339,67 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_D}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0149) (339,67)}{380^2 (0,90)^2} = 0,004327 \%$$

En la línea de 400Km de longitud	$p_{400 \text{ Km}} \% = 0,004327 \times 400 = 1,73082\%$
En 100 Km de longitud de línea	$p_{400 \text{ Km}} \% = 0,004327 \times 100 = 0,43\% < 3\%$
En valor absoluto	$p = 0,0173082 \times 339,67 = 5,879 \text{ MW}$

Tabla 3. 19: *Pérdidas potencia línea 380 KV con dos circuitos dúplex acoplados en paralelo*
Fuente: *Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María*

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} UI_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (380) (10^3) (3.555,92) (0,90)$$

$$P_{max} = 2.103 \text{ MW}$$

3.13.5. Resumen de líneas de 400 Km de longitud a 380 KV con diversos conductores

Líneas	Figuras	Conductores	Potencias de transporte MW	Pérdidas de potencia	
				En porcentaje %	En valor absoluto MW
Con un circuito dúplex	28	Cardenal	166,50	1,69683	2,825
Con un circuito tríplex	29	Gaviota	183,14	1,77246	3,245
Con un circuito cuádruplex	30	Halcón	185,97	1,88889	3,513
Con dos circuitos dúplex acoplados en paralelo	31	Cardenal	339,67	1,73082	5,879

Tabla 3. 20: *Resumen resultados líneas de 400 Km a 380 KV tensión*
Fuente: *Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María*

3.14. Ejemplos de línea a 230KV de tensión con diferentes conductores
Vamos a hacer un estudio comparativo de una línea con las siguientes peculiaridades:

- a) Con un circuito dúplex
- b) Con un circuito tríplex
- c) Con un circuito cuádruplex

El conductor será: a) cardenal; b) gaviota; c) halcón.

Separación entre conductores de fase:

$$\Delta = 40 \text{ cm}$$

Admitiremos una caída de tensión de un 7% y un factor de potencia:

$$\cos \varphi = 0,90 \qquad \text{tg } \varphi = 0,484$$

Los datos de la línea serán los siguientes:

Tensión nominal	U = 230KV
Longitud	L = 100 Km
Apoyos	torres metálicas

3.14.1. Línea con un circuito dúplex a 230KV de tensión
 Los apoyos como el de la figura 3.34
 Distancia media geométrica entre fases:

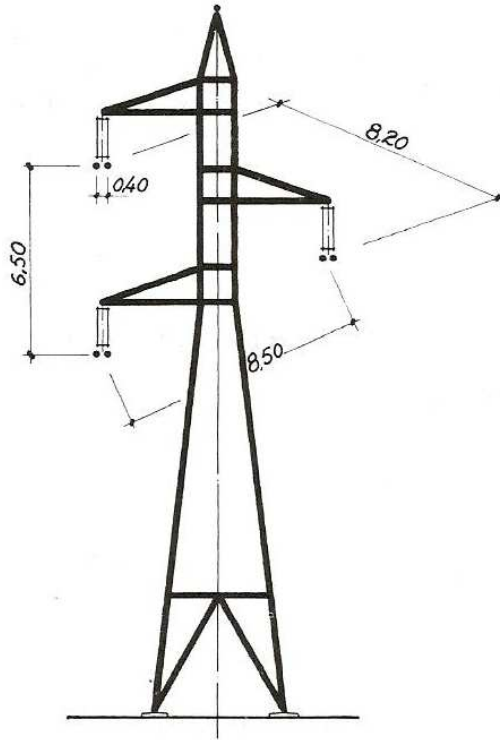


Figura 3. 34: Línea con un circuito dúplex a 230 KV de tensión
 Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

$$D = \sqrt[3]{6,50 (8,20) (8,50)} = 7,68 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica (tabla 3. 5):

$$R_k = 0,0298 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,25 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt{r\Delta}} \right] 10^{-4} \omega$$

$$X_k = \left[0,25 + 4,6 \lg \frac{7.680}{\sqrt{12,7 (400)}} \right] 10^{-4} \quad (377)$$

$$X_k = 0,3619 \, \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{7}{100} \frac{230^2}{0,0298 + 0,3619 (0,484)} = 18.067 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_A = \frac{M}{L} = \frac{18.067}{100} = 180,67 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_A}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0298) (180,67)}{230^2 (0,90)^2} = 0,012565 \%$$

En la línea de 100Km de longitud	$p_{100 \text{ Km}} \% = 0,012565 \times 100 = 1,25650\%$
En valor absoluto	$p = 0,012565 \times 180,67 = 2,270 \text{ MW}$

Tabla 3. 21: *Pérdidas potencia línea 230 KV con un circuito dúplex*
Fuente: *Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María*

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} U I_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (230) (10^3) (1.426,23) (0,90)$$

$$P_{max} = 510,75 \text{ MW}$$

3.14.2 Línea con un circuito tríplex a 230KV de tensión
 Los apoyos como el de la figura 3. 35.
 Distancia media geométrica entre fases:

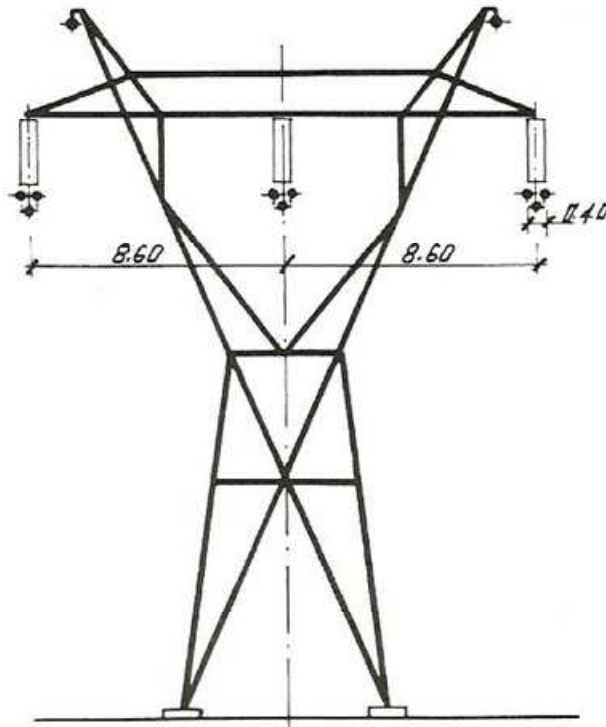


Figura 3. 35: Línea con un circuito tríplex a 230 KV de tensión
 Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

$$D = 8,60 \sqrt[3]{2} = 10,83 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica (tabla 3. 5):

$$R_k = \frac{0,0851}{3} = 0,0283 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,166 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt[3]{r\Delta^2}} \right] 10^{-4} \omega =$$

$$X_k = \left[0,166 + 4,6 \lg \frac{10.830}{\sqrt[3]{12,7 (400)^2}} \right] 10^{-4} (377) =$$

$$X_k = 0,3413 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{7}{100} \frac{230^2}{0,0283 + 0,3413 (0,484)} = 19.138 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_B = \frac{M}{L} = \frac{19.138}{100} = 191,38 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_B}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0283) (191,38)}{230^2 (0,90)^2} = 0,012640 \%$$

En la línea de 100Km de longitud	$p_{100 \text{ Km}} \% = 0,012640 \times 100 = 1,26399\%$
En valor absoluto	$p = 0,0126399 \times 191,38 = 2,419 \text{ MW}$

Tabla 3. 22: Pérdidas potencia línea 230 KV con un circuito tríplex
Fuente: *Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María*

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} UI_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (230) (10^3) (2.139,34) (0,90)$$

$$P_{max} = 766 \text{ MW}$$

3.14.3 Línea con un circuito cuádruplex a 230KV de tensión
 Los apoyos como el de la figura 3. 35, pero con fases cuádruplex.
 Distancia media geométrica entre fases:

$$D = 8,60\sqrt[3]{2} = 10,83 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica (tabla 3. 5):

$$R_k = \frac{0,1190}{4} = 0,0297 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,125 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt[4]{\sqrt{2} r \Delta^3}} \right] 10^{-4} \omega =$$

$$X_k = \left[0,125 + 4,6 \lg \frac{10,830}{\sqrt[4]{1,41(12,7)(400)^3}} \right] 10^{-4} (377) =$$

$$X_k = 0,3116 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{7}{100} \frac{230^2}{0,0297 + 0,3116 (0,484)} = 20.513 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_C = \frac{M}{L} = \frac{20.513}{100} = 205,13 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_C}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0297) (205,13)}{230^2 (0,90)^2} = 0,0142182 \%$$

En la línea de 100Km de longitud	$p_{125 \text{ Km}} \% = 0,0142182 \times 100 = 1,42182\%$
En valor absoluto	$p = 0,0142182 \times 205,13 = 2,916 \text{ MW}$

Tabla 3. 23: Pérdidas potencia línea 230 KV con un circuito cuádruplex
Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} UI_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (230) (10^3) (2.852,46) (0,90)$$

$$P_{max} = 1021 \text{ MW}$$

3.14.4. Resumen de los resultados de la línea a 230KV de tensión.

LÍNEA	POTENCIAS DE TRANSPORTE MW	Conductores	PÉRDIDAS DE POTENCIA		OBSERVACIONES
			En porcentaje %	En valor absoluto MW	
a) Con un circuito dúplex	$P_A = 180,67$	Cardenal	1,25650	2,270	
b) Con un circuito tríplex	$P_B = 191,38$	Gaviota	1,26399	2,419	
c) Con un circuito cuádruplex	$P_C = 205,13$	Halcón	1,42	2,916	Pérdida mínima porcentual de potencia

Tabla 3. 24: Resumen resultados líneas a 230 KV tensión

Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luis María

3.15. Ejemplos de líneas a 500 KV de tensión

Consideramos tres ejemplos de líneas a 500 KV de tensión, a saber:

Línea	Conductores
a) Con un circuito dúplex	Cardenal
b) Con un circuito tríplex	Gaviota
c) Con un circuito cuádruplex	Halcón

Los datos comunes serán los siguientes:

Tensión nominal	500 KV
Longitud	400 Km
Apoyos	torres metálicas
Fases	múltiples
Separación entre subconductores	$\Delta = 40 \text{ cm}$
Caída de tensión	$u = 10 \%$
Factor de potencia	$\cos \varphi = 0,90$ ($\text{tg } \varphi = 0,484$)
Pérdida de potencia por cada 100 Km de línea	$p_{100 \text{ Km}} \% \leq 3 \%$

3.15.1. Línea con un circuito dúplex a 500 KV de tensión

Los apoyos como el de la figura 3. 36

Distancia media geométrica entre fases (fig. 3. 37):

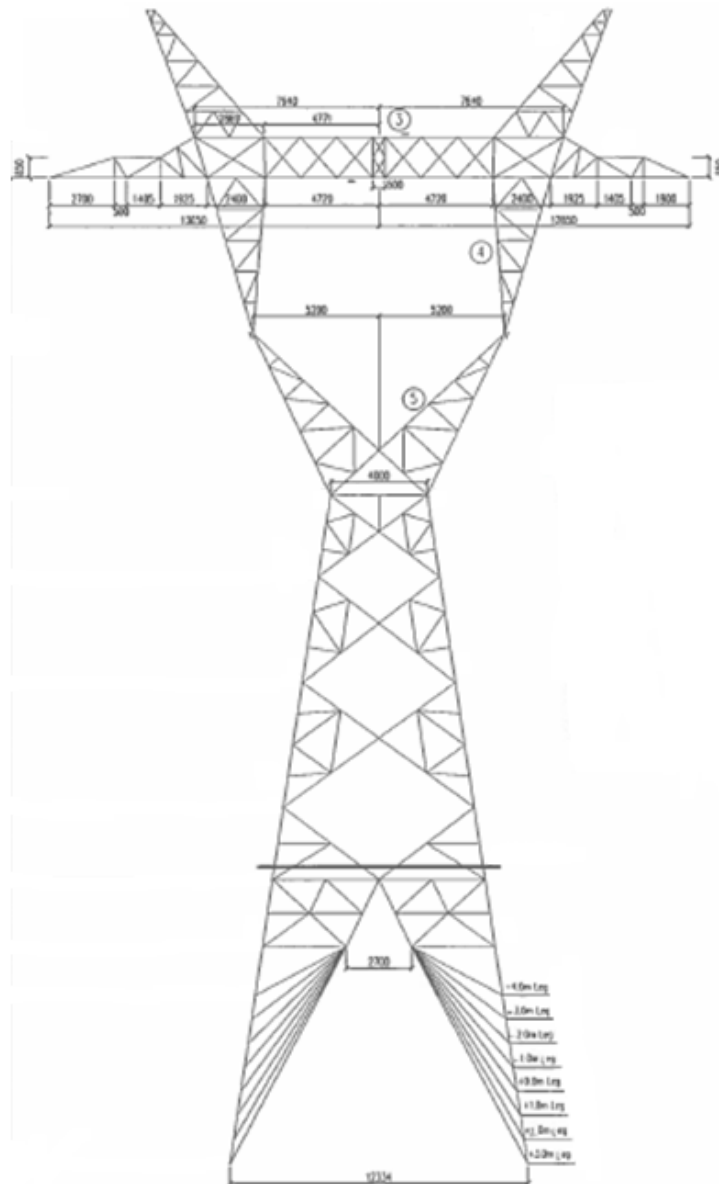


Figura 3. 36: Línea con un circuito dúplex a 500 KV de tensión
Fuente: Planos CELEC EP; diseño torres 500KV S/E. Chorrillos

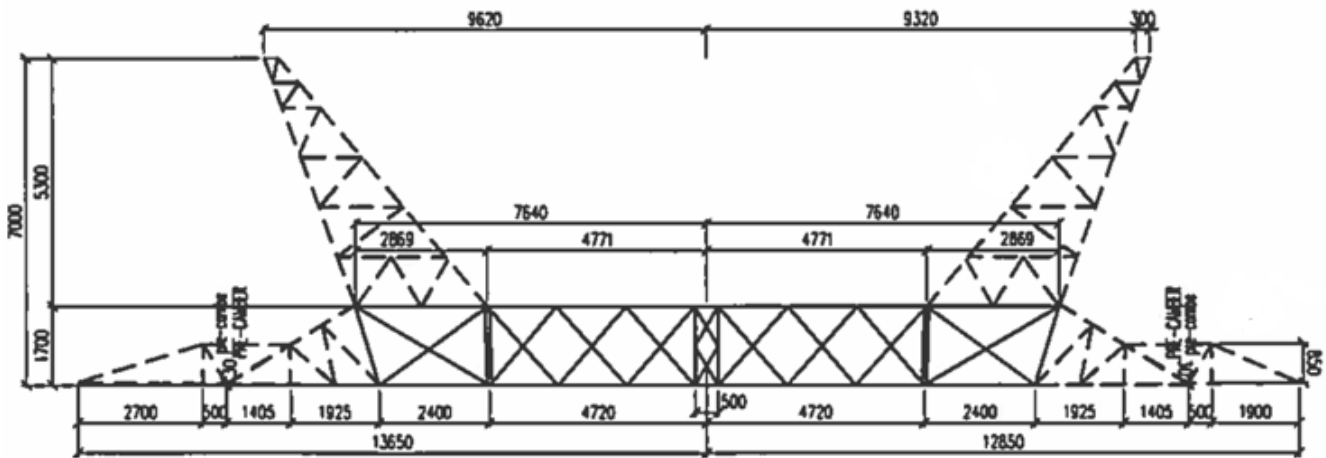


Figura 3. 37: Disposición y distancia torre 500KV
Fuente: Planos CELEC EP; diseño torres 500KV S/E. Chorrillos

$$D = 13,25\sqrt[3]{2}$$

$$D = 16,69 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica cable cardenal (tabla 3. 5)

$$R_K = 0,0298 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,25 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt{r\Delta}} \right] 10^{-4} \omega$$

$$X_k = \left[0,25 + 4,6 \lg \frac{16.690}{\sqrt{15.189(400)}} \right] 10^{-4} (377)$$

$$X_k = 0,4136 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{10}{100} \frac{500^2}{0,0298 + 0,4136(0,484)} = 108.704 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_A = \frac{M}{L} = \frac{108.704}{400} = 271,76 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_A}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0298) (271,76)}{500^2 (0,90)^2} = 0,003999 \%$$

En la línea de 400Km de longitud	$p_{400 \text{ Km}} \% = 0,003999 \times 400 = 1,59969\%$
En 100 Km de longitud de línea	$p_{400 \text{ Km}} \% = 0,003999 \times 100 = 0,4\% < 3\%$
En valor absoluto	$p = 0,0159969 \times 271,76 = 4,347 \text{ MW}$

Tabla 3. 25: Pérdidas potencia línea 500 KV con un circuito dúplex
Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} U I_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (500) (10^3) (1.777,96) (0,90)$$

$$P_{max} = 1.384 \text{ MW}$$

3.15.2. Línea con un circuito tríplex a 500 KV de tensión
 Distancia media geométrica entre fases (fig. 3. 37):

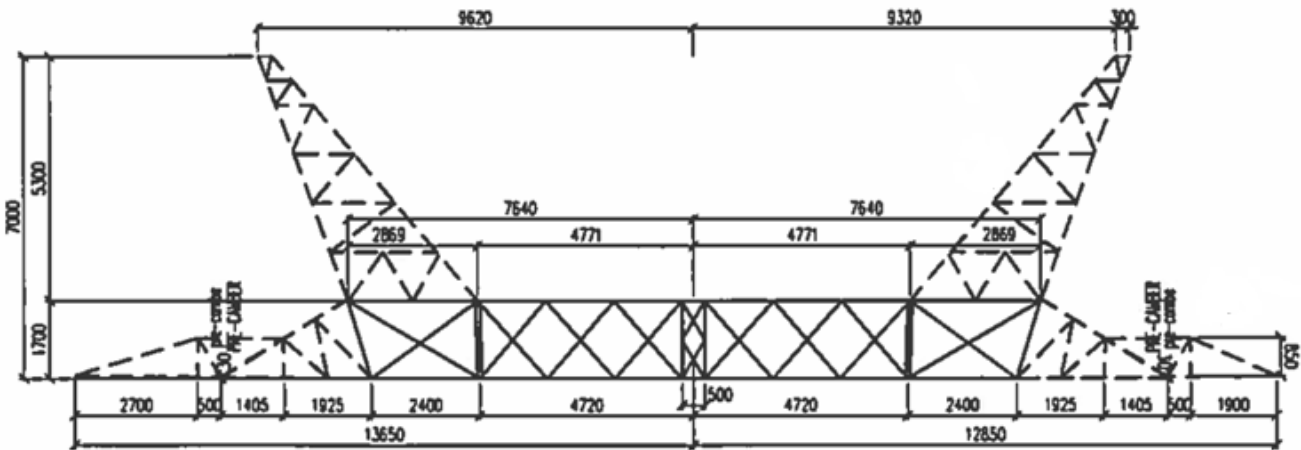


Figura 3. 37: Disposición y distancia torre 500KV
 Fuente: Planos CELEC EP; diseño torres 500KV S/E. Chorrillos

$$D = 13,25\sqrt[3]{2}$$

$$D = 16,69 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica cable gaviota (tabla 3. 5)

$$R_K = 0,0283 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,166 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt[3]{r\Delta^2}} \right] 10^{-4} \omega =$$

$$X_k = \left[0,166 + 4,6 \lg \frac{16,690}{\sqrt[3]{12,7 (400)^2}} \right] 10^{-4} (377) =$$

$$X_k = 0,3739 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{10}{100} \frac{500^2}{0,0283 + 0,3739(0,484)} = 119.464 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_B = \frac{M}{L} = \frac{119.464}{400} = 298,66 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_B}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0283) (298,66)}{500^2 (0,90)^2} = 0,004174 \%$$

En la línea de 400Km de longitud	$p_{400 \text{ Km}} \% = 0,004174 \times 400 = 1,66954\%$
En 100 Km de longitud de línea	$p_{400 \text{ Km}} \% = 0,004174 \times 100 = 0,4\% < 3\%$
En valor absoluto	$p = 0,0166954 \times 298,66 = 4,986 \text{ MW}$

Tabla 3. 26: Pérdidas potencia línea 500 KV con un circuito tríplex
Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} UI_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (500) (10^3) (2.139,34) (0,90)$$

$$P_{max} = 1.665 \text{ MW}$$

3.15.3. Línea con un circuito cuádruplex a 500 KV de tensión
 Distancia media geométrica entre fases (fig. 3. 37):

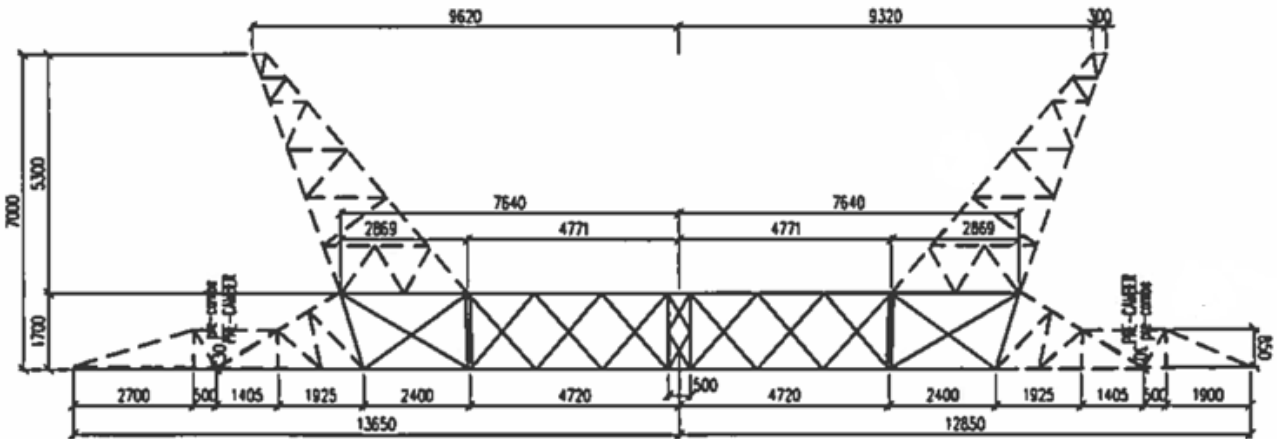


Figura 3. 37: Disposición y distancia torre 500KV
 Fuente: Planos CELEC EP; diseño torres 500KV S/E. Chorrillos

$$D = 13,25\sqrt[3]{2}$$

$$D = 16,69 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica cable halcón (tabla 3. 5)

$$R_K = 0,0297 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,125 + 4,6 \lg \frac{16.690}{\sqrt[4]{\sqrt{2} r \Delta^3}} \right] 10^{-4} \omega =$$

$$X_k = \left[0,125 + 4,6 \lg \frac{16.690}{\sqrt[4]{1,41(10,89)(400)^3}} \right] 10^{-4} (377) =$$

$$X_k = 0,3471 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{10}{100} \frac{500^2}{0,0297 + 0,3471(0,484)} = 126.456 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_C = \frac{M}{L} = \frac{126.456}{400} = 316,14 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_C}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0297) (316,14)}{500^2 (0,90)^2} = 0,004637 \%$$

En la línea de 400Km de longitud	$p_{400 \text{ Km}} \% = 0,004637 \times 400 = 1,85469\%$
En 100 Km de longitud de línea	$p_{400 \text{ Km}} \% = 0,004637 \times 100 = 0,46\% < 3\%$
En valor absoluto	$p = 0,0185469 \times 316,14 = 5,863 \text{ MW}$

Tabla 3. 27: Pérdidas potencia línea 500 KV con un circuito cuádruplex
Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

Potencia máxima por límite térmico (tabla 3. 7)

$$P_{max} = \sqrt{3} U I_{max} \cos \varphi$$

$$P_{max} = 1,73 (500) (10^3) (2.297,12) (0,90)$$

$$P_{max} = 1.788 \text{ MW}$$

3.15.4. Resumen de líneas de 400 Km de longitud a 500 KV con diversos conductores

Líneas	Figuras	Conductores	Potencias de transporte MW	Pérdidas de potencia	
				En porcentaje %	En valor absoluto MW
Con un circuito dúplex	33	Cardenal	271,76	1,59969	4,347
Con un circuito tríplex	33	Gaviota	298,66	1,66954	4,986
Con un circuito cuádruplex	33	Halcón	316,14	1,85469	5,863

Tabla 3. 28: Resumen resultados líneas de 400 Km a 500 KV tensión
Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luis María

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones:

- Se procedió a levantar toda la información requerida para el respectivo trabajo de titulación en lo que respecta a la línea transmisión de 500KV.
- Se determinó las formulaciones idóneas para la visualización de la disminución de las pérdidas eléctricas.
- Se identificó los tipos arquitectónicos de torres de transmisión que se emplearían en la línea de transmisión eléctrica.
- Se describió las semejanzas de una torre 230KV con otra de 500KV.
- Las cifras previo al análisis correspondientes de las pérdidas eléctricas por kilómetro de la línea transmisión se detallan en el Anexo 3

4.2. Recomendaciones:

- Se recomienda elegir el tipo de conductor adecuado para una respectiva línea transmisión de acuerdo a sus especificaciones.
- Se sugiere identificar el tipo torre que se emplearía en el diseño de una línea transmisión eléctrica para evitar errores que podrían ocasionar perjuicios técnicos.
- Adicionalmente a esto, también se recomienda tener en claro el recorrido de una línea transmisión, pues las pérdidas de potencia por kilómetro depende de cuantos kilómetros se emplearían en una línea transmisión para el cálculo oportuno.

BIBLIOGRAFÍA

- CELEC EP., T. (s. f.). Resumen Ejecutivo de líneas transmisión eléctrica. Recuperado 14 de marzo de 2017, a partir de https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/EIA/01%20Res%3%BAmen%20Ejecutivo.pdf
- Checa, L. M. *Líneas de transporte de energía*. (3ra.). Colombia: Alfaomega.
- CONELEC, C. E. (2013). Plan maestro electrificación 2013-2022. Recuperado 14 de marzo de 2017, a partir de <https://www.celec.gob.ec/electroguayas/files/vol1.pdf>
- CONELEC, C. E. (s. f.-a). Perspectiva y expansión del sistema eléctrico ecuatoriano (Parte 1) [Expansión de la transmisión]. Recuperado 14 de marzo de 2017, a partir de https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/Plan%20expansion/parte%201.pdf
- CONELEC, C. E. (s. f.-b). Perspectiva y expansión del sistema eléctrico ecuatoriano (Parte 2) [Proyectos en ejecución]. Recuperado 14 de marzo de 2017, a partir de https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/Plan%20expansion/parte%202.pdf
- CONELEC, C. E. (s. f.-c). Perspectiva y expansión del sistema eléctrico ecuatoriano (Parte 3) [Cronología de proyectos por zona operativa]. Recuperado 14 de marzo de 2017, a partir de https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/Plan%20expansion/parte%203.pdf
- CONELEC, C. E. (s. f.-d). Perspectiva y expansión del sistema eléctrico ecuatoriano (Parte 4) [Presupuestos plan expansión y anexos (planos)]. Recuperado 14 de marzo de 2017, a partir de

https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/Plan%20expansion/parte%204.pdf

García, F., Garcés, P., & Atiaja, R. (2012). Panorama General del Sector Eléctrico en América Latina y el Caribe. Recuperado 14 de marzo de 2017, a partir de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0277.pdf>

Hernández Rosas, A. N., & Padilla, F. (2005). *Diseño de torres de transmisión eléctrica* (tesis). Instituto Politécnico Nacional, México D.F. Recuperado a partir de http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/4845/1/300_DISENO%20DE%20TORRES%20DE%20TRANSMISION%20ELECTRICA.pdf

León Guzmán, M. (2013). Soberanía energética y nueva forma de integrarse con el mundo. Recuperado 18 de febrero de 2017, a partir de <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/10/masQmenos-07-10-2013.pdf>

QUEZADA QUEZADA, J. E. (2005). *Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica* (tesis). Universidad Austral de Chile, Valdivia - Chile. Recuperado a partir de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfciq.5m/sources/bmfciq.5m.pdf>

Semblantes Vélez, M. L. (2010). *Diseño de una torre de transmisión eléctrica autosoportada para una línea de 69 KV* (tesis). Universidad Politécnica Nacional, Quito - Ecuador. Recuperado a partir de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2587/1/CD-3271.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Reseña histórica central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair

Anexo2. Memoria técnica línea 500 KV

Anexo3. Ejercicio 230 KV (400Km longitud) y Tabla comparativa líneas transmisión
230KV-500KV

ANEXO 1

PROGRESIÓN DE SU EXPLORACIÓN

En 1927, el geólogo norteamericano Joseph Sinclair, que exploraba el oriente ecuatoriano para tratar sus estructuras geológicas con el afán de poder relacionarse con posibles yacimientos petroleros para posteriormente extraer el aceite mineral y a su vez ubicar geográficamente el volcán reventador, eligió el recorrido del río Napo. Surcó el río Coca aguas arriba y remontó la convergencia del río Dashino, encontrando que el río Coca se transformaba en un gran río de montaña muy torrencioso y peligroso que hacía imposible la navegación aguas arriba. Avanzó a pie hasta llegar a una curva muy pronunciada del río, hoy conocida como CODO SINCLAIR.

En 1952, Guillermo Vinueza, un connotado excursionista y explorador del valle de Quijos, comentó sobre la existencia de la gran cascada de San Rafael con el ingeniero Simón Bustamante Cárdenas, quién planificó una expedición de reconocimiento a la fabulosa cascada.

En 1963, una comisión técnica de INECEL, dirigida por Simón Bustamante, viajó al valle de Quijos para indagar su potencial energético. Por caminos de herradura y senderos de montaña llegó hasta el río Santa Rosa, al norte de EL CHACO (localizada en la región amazónica de la provincia del NAPO). No se llegó a la cascada por la ausencia de caminos.

En noviembre de 1969, Simón Bustamante realiza con técnicos de INECEL un vuelo de reconocimiento, identificando la cascada de San Rafael. En diciembre del mismo año efectúa el reconocimiento terrestre.

En febrero de 1970, una brigada de INECEL viaja hasta EL CHACO y parte a pie hacia la cascada de San Rafael utilizando los senderos y picas abiertas en el viaje realizado por Simón Bustamante. En su boletín de viaje existen datos que constituyen la base de tesis de ingeniería e investigaciones de campo que fueron conformando el Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair.

En abril de 1976, mediante concurso, INECEL contrata con la Asociación de Compañías Consultoras INTEGRAL-IDCO-ADEC e INGECONSULT de ECUADOR e HIDROSERVICE de BRASIL, el comienzo de los estudios formales del proyecto Coca Codo Sinclair.

En éste período, se realizó un recorrido integral de la cuenca hidrográfica del sistema Quijos-Coca, a fin de levantar una catalogación energética de las posibilidades de un gran beneficio hidroeléctrico.

En el año 1986, INECEL decidió proseguir los estudios focalizándolos en la factibilidad de la central del Codo Sinclair, para lo cual contrató mediante concurso, a la Asociación de Firmas Consultoras ASTEC-CAMINOS Y CANALES-INGECONSULT e INELIN del ECUADOR y a ELECTROCONSULT de ITALIA, TRACTEBEL de BÉLGICA, con la Asesoría de LOMBARDI INGENIEROS de SUIZA.

Una de las tareas más importantes fue la inauguración de la galería de inspección en la zona de casa de máquinas y una amplia exposición de perforaciones a cargo de la Compañía RODIO de ITALIA.

Culminados los estudios en 1962, el Proyecto Coca Codo Sinclair se convirtió en el proyecto más fundamental del país. El gobierno de 1999 suprimió a INECEL y sus labores se dividieron en varios gremios.

POSICIÓN GEOGRÁFICA

El Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair utiliza las aguas de los ríos Quijos y Salado, que forman el río Coca en una zona en la que éste río especifica una enorme curva que produce un desnivel bruto de 620m aprovechable para la generación hidroeléctrica.

La labor de captación está ubicada en el río Coca, aguas debajo de la confluencia de los ríos Quijos y Salado en la cota 1275,50 m.s.m.n. Las aguas captadas son llevadas mediante un túnel de conducción de 24.8Km de longitud hasta un punto en el que, mediante dos tuberías de presión se precipitan hacia la casa de máquinas ubicadas en la cota 617,50 m.s.m.n.

Entre los años 1986 y 1992 el Instituto Nacional Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) realizó el estudio de factibilidad de este importante recurso mediante un contrato con la Asociación de las firmas consultoras ELECTROCONSULT RODIO de ITALIA, TRACTIONEL de BÉLGICA y las firmas ECUATORIANAS de ASTEC-INELIN-INGECONSULT-CAMINOS Y CANALES.

Durante éste largo período de tiempo, se acumuló una gran cantidad de información de campo que permitió definir el mejor esquema para el aprovechamiento de éste río.

CONSTITUCIÓN LEGAL

La asociación hidroeléctrica Coca Codo Sinclair S.A. fue constituida el 7 de febrero de 2008, mediante escritura pública declarada ante el notario décimo séptimo del cantón de Quito, Dr. Remigio Poveda Vargas; acto al que comparecieron, en calidad de asociados, por una parte, la compañía de generación termoeléctrica Pichincha TERMOPICHINCHA S.A., y por otra, la compañía de Energía Argentina ENARSA S.A., debidamente inscrita en el registro mercantil del mismo cantón el 18 de febrero del presente año.

Constituye parte de la entidad social de COCASINCLAIR, entre otras presencias, el diseñar, instalar, construir, mantener, controlar y operar centrales de generación eléctrica y comercializar la energía generada.

La compañía emprendió sus ocupaciones en el mes de marzo del 2008, con el soporte de personal profesional ecuatoriano experimentado y con el asesoramiento de

ELECTROCONSULT, que es una agrupación (empresa) italiana en la que participa el mismo personal técnico que realizó las investigaciones hasta el año 1992.

CONTRATO DE LA HIDROELÉCTRICA COCA CODO SINCLAIR

PROYECTOS ACTUALES PARA 1500MW

El sistema eléctrico ecuatoriano ha sufrido una notable aceleración a gran escala en su crecimiento anual, con relación a la curva de crecimiento que sirvió mucho de base para el esquema definido en el año 1992. Ahora hay necesidad urgente e inmediata de una potencia mucho mayor para satisfacer las actuales condiciones de la nación por lo que se ha decidido incrementar la potencia instalada para el Proyecto Coca Codo Sinclair a 1500mw que, en combinación con otros proyectos hidroeléctricos que también se están impulsando, permitirá inclusive la exportación de energía a los países vecinos.

Una vez que el lugar para las diferentes obras quedé definido a nivel de asequibilidad, se procederá a acomodar las dimensiones y características de las diferentes obras de 1500Mw.

Se mantendrán sustancialmente las obras de captación, con dos diques vertederos que cierran dos brazos del Río Coca, aguas debajo de la confluencia de los Ríos Quijos y Salado. Se ha variado la cota de los azudes de los vertederos: vertedero secundario 1275,50 y vertedero principal 1276,50. Se ha ampliado la bocatoma para poder captar un caudal total de 222m³/s; ésta estructura tiene sus correspondientes rejas y compuertas de control así como unos ductos exclusotes de sedimentos en su pared frontal. A continuación de la bocatoma, está el desarenador tipo Bieneri que está compuesto por 6 cámaras que terminan aguas abajo en un pozo a vórtice para transferir los caudales desarenados hacia el túnel de conducción.

El túnel de conducción se inicia en la captación y tiene una longitud de 24,8Km, un diámetro de excavación de 9,15m y para su ejecución, que marca la ruta crítica del proyecto, se emplearon 2 máquinas tuneleras (TBM). La primera TBM trabajó desde la ventana de construcción instalada frente al sitio Galindo hacia aguas arriba, a salir por una ventana construida junto a la obra de captación. La segunda TBM comenzó a trabajar desde una plataforma construida en el embalse compensador hacia aguas arriba y saldrá por la segunda ventana de construcción (Galindo).

El túnel tendrá un revestimiento de hormigón, formado por segmentos prefabricados de hormigón que conformarán un anillo completo en todos los 24,8 Km de largo. Al final de la conducción, hay un embalse compensador que tendrá un volumen útil de 800.000m³, que servirá para regular los caudales para generación durante el día.

El embalse estará formado por una presa de enrocado con cara de hormigón construido en el cauce de la quebrada Granadillas. Éste embalse, tendrá un desagüe de fondo y un vertedero superficial para excesos.

En el embalse compensador, se construirán dos tomas en hormigón armado para las obras de caída que están formadas por dos tuberías de presión, que comienzan con dos tramos horizontales de 280m cada uno; a continuación dos pozos verticales de 5,8m de diámetro y 470m de profundidad cada uno y, finalmente, un tramo subhorizontal de 1.057m de longitud, que termina en la casa de máquinas.

El último tramo de las tuberías de presión junto a la casa de máquinas, a más del revestimiento de hormigón, llevará un blindaje de acero con un diámetro interno de 5,2m.

La central de generación está conformada por una caverna de 26m de ancho, 50m de altura y 192m de largo, en donde se alojaran ocho grupo turbogeneradores de eje vertical dispuestos simétricamente (4 X 4) a los dos costados del área de montaje; a un costado de la caverna de casa de máquinas, está ubicada la caverna para los transformadores monofásicos (24 + 1 de repuesto) de 68,3MVA cada uno. Sobre el recinto de transformadores, irá una subestación en SF6 de 500Kv.

Las turbinas son de tipo Pelton de eje vertical con potencia de 187,5Mw cada una. Los generadores son sincrónicos con una potencia de 205MVA.

En la caverna de casa de máquinas, se dispondrá de dos puentes grúas con una capacidad de 165 toneladas cada una.

Las aguas turbinadas, se devuelven al Río Coca mediante un túnel de descarga de 663m de largo aproximadamente.

La galería de acceso principal a la casa de máquinas, tiene una longitud de 500m. La energía producida será llevada mediante cables a través de una galería de 530m de largo hacia el patio de maniobras, ubicado a unos 500m aguas arriba de la entrada a la casa de máquinas.

Desde el patio de maniobras, la energía será transportada mediante un sistema de transmisión a 500Kv hasta la subestación de Pifo, cuyas líneas tendrán una potencia de 8.473GW/h

DE LA MANO CON LAS VECINDADES CERCANAS AL PROYECTO

La aparición de la Compañía Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair está acompañada de la determinación de admitir el reto y el compromiso con el ECUADOR para la práctica de los más progresistas modelos tecnológicos en la industrialización energética, para optimizar los procedimientos en las áreas protegidas y sensibles, con el menor efecto ambiental y social hasta ahora viable mundialmente.

Coca Sinclair está firmemente decidida a fortalecer una legalidad de buena vecindad, manteniendo una absoluta consideración a su comunidad, sus culturas, costumbres, su entorno natural y una veracidad solidaria ante sus diversos compromisos encaminando mecanismos de co-responsabilidad para prosperar la calidad de prosperidad de los pobladores.

Con esta óptica, los siguientes orígenes forman parte de nuestra correspondencia de trabajo:

- Actuar de buena fe, con claridad y apego a las reglas vigentes con todos los establecimientos, instituciones y vecindades locales.
- Manifestar, citar, organizar sobre las acciones que pudieran perjudicar o ser de asuntos especiales de las instituciones y organizaciones locales.
- Desestimular intervenciones que pudieran indicar corrupción o beneficios particulares en nombre de las comunidades.
- Fomentar las diversas áreas de labores y utilización de recursos humanos, materiales y servicios locales, contribuyendo a animar y dinamizar sus economías.
- Propiciar procesos de autogestión con las vecindades de la localidad.
- Respetar las autonomías de las instituciones y organizaciones locales.
- Conservar en el área de influencia del Proyecto un entorno de salud y saneamiento ambiental adecuado.
- Precautelar la integridad física y la salud integral de los empleadores de la compañía y sus contratistas.
- Considerar y proteger territorios y culturas indígenas; así como las áreas de Patrimonio Natural del Estado.
- Cuidar los recursos arqueológicos y culturales existentes en el área de influencia del Proyecto.
- Aplicar estándares de diversas labores de operación, reglamentos y procedimientos durante la fase de construcción y operación.
- Fortalecer las relaciones de buena vecindad y confianza entre la Compañía, contratistas y comunidades del área de influencia, así como con las instituciones públicas, privadas y ONGs involucradas.

MESAS DE LABOR

El plan prioriza las actividades de mano de obra local en sesión de los requerimientos de los contratistas. Para ello, a través de Mesas de Empleo, en las que colaboran representantes cantonales se garantiza la seriedad y transparencia de la Asociación ante las superioridades y los moradores locales.

OPCIONES DE DESARROLLO COMUNITARIO

La cimentación del Proyecto Coca Codo Sinclair ha estimulado numerosas acciones de autogestión de los pobladores de la zona, como es el Comité Pro Mejoras Unión y Progreso del recinto Amazonas, del cantón Gonzalo Pizarro. Estas proposiciones, que por diversos motivos no han podido ser fomentadas anteriormente, encuentran en la implementación del Proyecto hidroeléctrico, la contingencia de su propia viabilización.

DECLARAMIENTO INSTITUCIONAL

La vinculación con las superioridades regionales de los distritos, sean juntas parroquiales o municipios, será constante. Esto generará una retroalimentación proactiva sobre las intervenciones que el Proyecto Coca Sinclair pueda implementar y sus posibles vinculaciones con respecto a las aspiraciones de desarrollo de dichas instituciones.

ANEXO 2

AYUDA MEMORIA - SISTEMA DE TRANSMISION 500 kV

DESCRIPCIÓN

El Proyecto emblemático Sistema de Transmisión 500 kV, está compuesto por varias obras e instalaciones que permitirán transportar y transmitir la energía hidroeléctrica de los megaproyectos emblemáticos como el Coca Codo Sinclair y Sopladora, entre los más importantes. Este sistema cuenta con tecnología de punta pionera en el país, siendo el primer sistema construido en quinientos mil voltios.

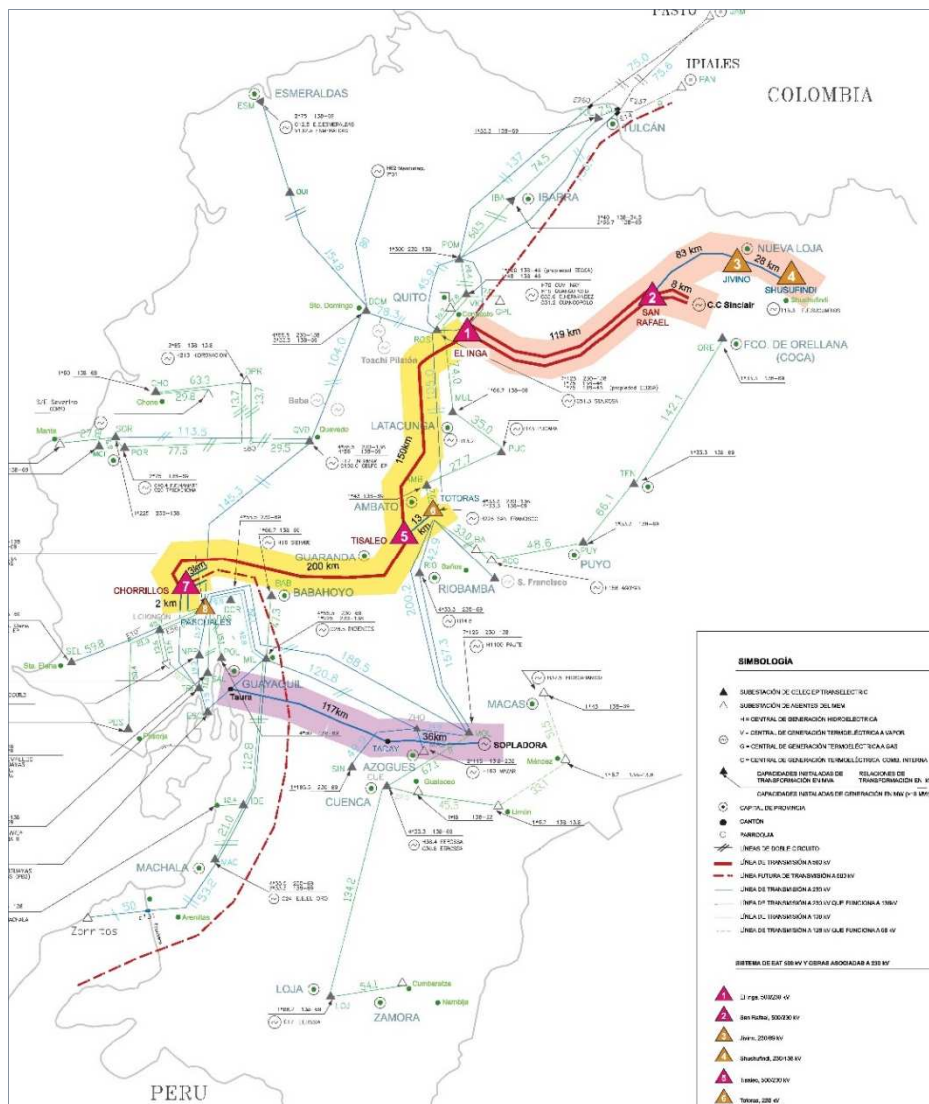


Fig. 1. Sistema de Transmisión 500 kV

Fuente: CELEC EP

El Proyecto 500 kV atraviesa 12 provincias del país e incorporará al Sistema Eléctrico Ecuatoriano:

- 600 km de líneas de transmisión a 500 kV.
- 290 km de líneas de transmisión a 230 kV.
- 4 subestaciones de 500/230 kV con 3.600 MVA de transformación.
- 1 subestación de 230/69 kV con 167 MVA de transformación.
- 1 subestación de 230/138 kV con 300 MVA de transformación.

ANEXO 3

RESUMEN LÍNEA TRANSMISIÓN 230 KV

LÍNEA	POTENCIAS DE TRANSPORTE MW	PÉRDIDAS DE POTENCIA		OBSERVACIONES
		En porcentaje %	En valor absoluto MW	
A) Con un circuito simple	$P_A = 113$	2,24423	2,536	Potencia mínima de transporte
B) Con un circuito dúplex	$P_B = 170,13$	1,68744	2,871	
C) Con un circuito tríplex	$P_C = 191,38$	1,26399	2,419	
D) Con un circuito cuádruplex	$P_D = 215,27$	1,06507	2,293	Pérdida mínima porcentual de potencia
E) Con dos circuitos simples acoplados en paralelo	$P_E = 229,88$	2,28008	5,241	Pérdida máxima porcentual de potencia
F) Con dos circuitos dúplex acoplados en paralelo	$P_F = 349,19$	1,72765	6,033	Potencia máxima de transporte

RESUMEN LÍNEA TRANSMISIÓN 380 KV

Líneas	Figuras	Conductores	Potencias de transporte MW	Pérdidas de potencia	
				En porcentaje %	En valor absoluto MW
Con un circuito dúplex	28	Cardenal	166,50	1,69683	2,825
Con un circuito tríplex	29	Gaviota	183,14	1,77246	3,245
Con un circuito cuádruplex	30	Halcón	185,97	1,88889	3,513
Con dos circuitos dúplex acoplados en paralelo	31	Cardenal	339,67	1,73082	5,879

Ejemplos de línea a 230KV de tensión con diferentes conductores

Vamos a hacer un estudio comparativo de una línea con las siguientes peculiaridades:

- d) Con un circuito dúplex
- e) Con un circuito tríplex
- f) Con un circuito cuádruplex

El conductor será: a) cardenal; b) gaviota; c) halcón.

Separación entre conductores de fase:

$$\Delta = 40 \text{ cm}$$

Admitiremos una caída de tensión de un 10% y un factor de potencia:

$$\cos \varphi = 0,90 \qquad \text{tg } \varphi = 0,484$$

Los datos de la línea serán los siguientes:

Tensión nominal	U = 230KV
Longitud	L = 400 Km
Apoyos	torres metálicas

- a) Línea con un circuito dúplex a 230KV de tensión
 Los apoyos como el de la figura 3. 24
 Distancia media geométrica entre fases:

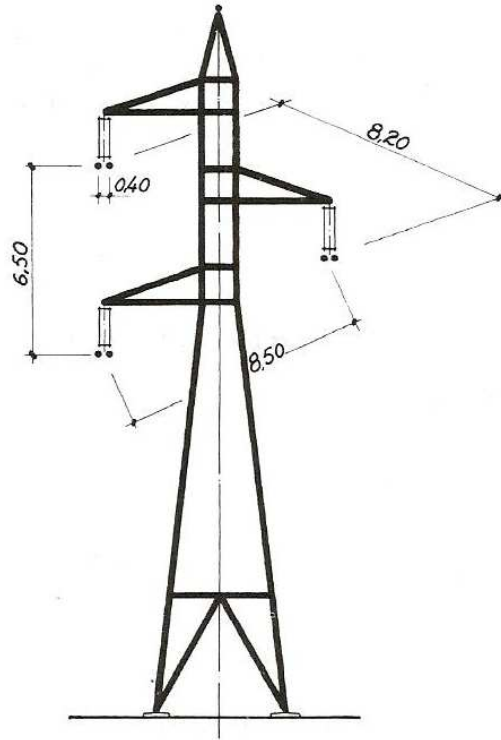


Figura 3. 24: Línea con un circuito dúplex a 230 KV de tensión
 Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María

$$D = \sqrt[3]{6,50 (8,20) (8,50)} = 7,68 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica (tabla 3. 5):

$$R_k = 0,0298 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,25 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt{r\Delta}} \right] 10^{-4} \omega$$

$$X_k = \left[0,25 + 4,6 \lg \frac{7,680}{\sqrt{12,7 (400)}} \right] 10^{-4} (377)$$

$$X_k = 0,3619 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{10}{100} \frac{230^2}{0,0298 + 0,3619 (0,484)} = 25.810 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_A = \frac{M}{L} = \frac{18.067}{400} = 64,52 \text{ MW}$$

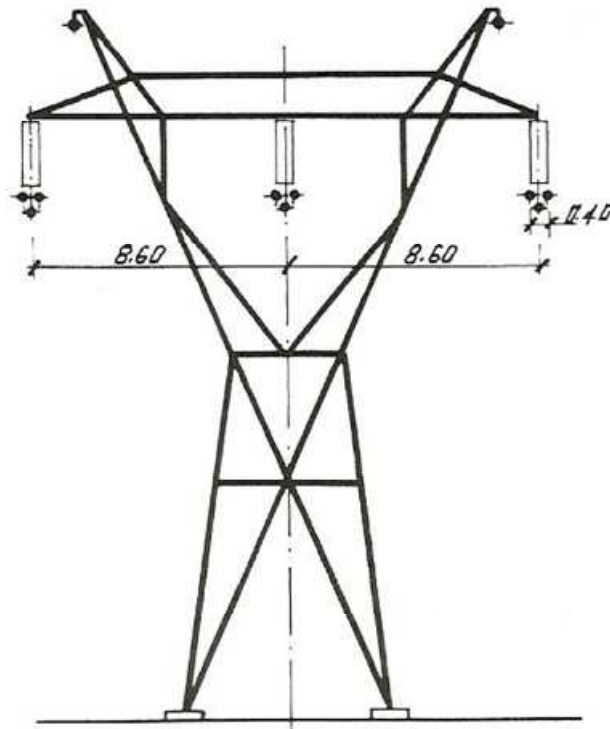
Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_A}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0298) (64,52)}{230^2 (0,90)^2} = 0,004487 \%$$

En la línea de 400Km de longitud

$$P_{400 \text{ Km}} \% = 0,004487 \times 400 = 1,79486\%$$

- b) Línea con un circuito tríplex a 230KV de tensión
 Los apoyos como el de la figura 3. 25.
 Distancia media geométrica entre fases:



*Figura 3. 25: Línea con un circuito tríplex a 230 KV de tensión
 Fuente: Líneas transporte energías 3ra. Edición; Checa, Luís María*

$$D = 8,60\sqrt[3]{2} = 10,83 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica (tabla 3. 5):

$$R_k = \frac{0,0851}{3} = 0,0283 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,166 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt[3]{r\Delta^2}} \right] 10^{-4} \omega =$$

$$X_k = \left[0,166 + 4,6 \lg \frac{10.830}{\sqrt[3]{12,7 (400)^2}} \right] 10^{-4} (377) =$$

$$X_k = 0,3413 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{10}{100} \frac{230^2}{0,0283 + 0,3413 (0,484)} = 27.340 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_B = \frac{M}{L} = \frac{27.340}{400} = 68,35 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_B}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0283) (191,38)}{230^2 (0,90)^2} = 0,004514 \%$$

En la línea de 400Km de longitud

$$P_{400 \text{ Km}} \% = 0,004514 \times 400 = 1,80569\%$$

- c) Línea con un circuito cuádruplex a 230KV de tensión
 Los apoyos como el de la figura 3. 25, pero con fases cuádruplex.
 Distancia media geométrica entre fases:

$$D = 8,60 \sqrt[3]{2} = 10,83 \text{ m}$$

Resistencia eléctrica (tabla 3. 5):

$$R_k = \frac{0,1190}{4} = 0,0297 \Omega / \text{Km}$$

Reactancia de autoinducción (tabla 3. 1):

$$X_k = \left[0,125 + 4,6 \lg \frac{D}{\sqrt[4]{\sqrt{2} r \Delta^3}} \right] 10^{-4} \omega =$$

$$X_k = \left[0,125 + 4,6 \lg \frac{10.830}{\sqrt[4]{1,41(12,7)(400)^3}} \right] 10^{-4} (377) =$$

$$X_k = 0,3116 \Omega / \text{Km}$$

Momento eléctrico:

$$M = \frac{u}{100} \frac{U^2}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi} = \frac{7}{100} \frac{230^2}{0,0297 + 0,3116 (0,484)} = 29.305 \text{ MW Km}$$

Potencia de transporte:

$$P_C = \frac{M}{L} = \frac{29.305}{400} = 73,26 \text{ MW}$$

Pérdida de potencia:

$$P_k \% = \frac{100 R_k P_C}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{100 (0,0297) (73,26)}{230^2 (0,90)^2} = 0,005077 \%$$

En la línea de 400Km de longitud

$$P_{400 \text{ Km}} \% = 0,005077 \times 100 = 2,03115\%$$

**RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA LÍNEA A 230KV DE TENSIÓN
(400KM LONGITUD).**

LÍNEA	POTENCIAS DE TRANSPORTE MW	Conductores	PÉRDIDAS DE POTENCIA
			En porcentaje %
a) Con un circuito dúplex	$P_A = 64,52$	Cardenal	1,79486
b) Con un circuito tríplex	$P_B = 68,35$	Gaviota	1,80569
c) Con un circuito cuádruplex	$P_C = 73,26$	Halcón	2,03115

COMPARATIVA LÍNEA TRANSMISIÓN 230 KV (100 KM LONGITUD)

LÍNEA	POTENCIAS DE TRANSPORTE MW	Conductores	PÉRDIDAS DE POTENCIA	
			En porcentaje %	En valor absoluto MW
a) Con un circuito dúplex	$P_A = 180,67$	Cardenal	1,25650	2,270
b) Con un circuito tríplex	$P_B = 191,38$	Gaviota	1,26399	2,419
c) Con un circuito cuádruplex	$P_C = 205,13$	Halcón	1,42	2,916

COMPARATIVA LÍNEA TRANSMISIÓN 500 KV (400 KM LONGITUD)

Líneas	Figuras	Conductores	Potencias de transporte MW	Pérdidas de potencia	
				En porcentaje %	En valor absoluto MW
Con un circuito dúplex	33	Cardenal	271,76	1,59969	4,347
Con un circuito tríplex	33	Gaviota	298,66	1,66954	4,986
Con un circuito cuádruplex	33	Halcón	316,14	1,85469	5,863



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **AUREA BAQUE, XAVIER ANTONIO** con C.C: # 0927416008 autor del Trabajo de Titulación: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA DE 230 KV-500KV Y DIAGNÓSTICO DE LAS PÉRDIDAS ELÉCTRICAS GENERADAS EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA ENTRE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA COCA CODO SINCLAIR Y S/E. CHORRILLOS DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DEL ECUADOR** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 16 de Marzo de 2017

f. _____

Nombre: AUREA BAQUE XAVIER ANTONIO

C.C: 0927416008

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA DE 230 KV-500KV Y DIAGNÓSTICO DE LAS PÉRDIDAS ELÉCTRICAS GENERADAS EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA ENTRE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA COCA CODO SINCLAIR Y S/E. CHORRILLOS DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DEL ECUADOR		
AUTOR(ES)	XAVIER ANTONIO AUREA BAQUE		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Gallardo Posligua, Jacinto Esteban		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico-Mecánico		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Eléctrico-Mecánico		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	16 Marzo del 2017	No. DE PÁGINAS:	150
ÁREAS TEMÁTICAS:	Líneas De Transmisión Y Subestación, Marco Legal De Las Eléctricas, Impacto Ambiental De Las Eléctricas, Evaluación De Proyectos, Materiales De Ingeniería Eléctrica.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Tensión Nominal, Pérdidas Potencia, Tipo Conductores, Sistema Transmisión, Resistencia Eléctrica, Método Del Momento Eléctrico.		

RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):

El presente trabajo de culminación de carrera detalla sobre el proyecto de la nueva línea de transmisión eléctrica de 500 KV que se implementara en el Ecuador y a la vez estará anexado al S.N.I. del cuál mencionaremos desde donde se inicia hasta donde finaliza el recorrido respectivo. También por su parte la recopilación de información técnica necesaria para poder desarrollar las formulaciones en el diagnóstico comparativo correspondiente e identificación de sus torres de transmisión eléctrica. Así mismo el desarrollo a lo implementado en nuestra metodología de investigación que se enfocó principalmente en dos enfoques, el primero que es el método cualitativo y el segundo en el método cuantitativo, al igual que el hipotético-deductivo empleados comúnmente hoy en día en la vida cotidiana previo a una investigación científica para poder demostrar las pérdidas eléctricas ocasionadas por kilómetro de línea transmisión, en este caso con una tensión nominal de 500 KV.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-2986199 +593-9-99119357	E-mail: xavi_aurea@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Ing. Luis Orlando Philco Asqui	
	Teléfono: +593-9-80960875	
	E-mail: luis.philco@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		