

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA
CONSTRUCCIÓN, DISEÑO, CÁLCULO Y
SIMULACIONES PARA UNA LÍNEA HVDC EN
EL CORREDOR NEA-EZEIZA**

CARÁTULA GENERAL

CONFORMIDAD EDICIÓN:

| SECTOR | REALIZÓ | APROBÓ | FECHA | OBSERVACIONES | |
|------------|-------------------------|-----------|-------|---------------|--|
| UTN/FRD | PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| DOCUMENTO: | CARATULA GENERAL | REVISIÓN: | A | HOJAS: | |

| | | | | |
|---|---|--|---|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 2 de 244 |
| ANTEPROYECTO | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_COREDOR_NEA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

CONTENIDO E INDICE GENERAL

| | | |
|------|---|----|
| 1. | Anteproyecto | |
| a. | Descripción y justificación del proyecto..... | 6 |
| b. | Introducción: orígenes y objetivos..... | 6 |
| c. | Grupos de investigación y desarrollo de HVDC en Argentina..... | 9 |
| d. | Objetivos..... | 9 |
| e. | Normas utilizadas y software..... | 11 |
| f. | Bibliografía..... | 12 |
| g. | Diagrama de Gantt y temas específicos del proyecto..... | 13 |
| 2. | Investigación sobre transmisión HVDC | |
| a. | Evolución en el tiempo..... | 16 |
| b. | Comparación con sistemas HVAC..... | 21 |
| c. | Tipos de sistemas de transmisión y componentes principales..... | 33 |
| i. | Convertidores CSC y VSC: características y usos..... | 40 |
| ii. | Transformadores OLTC..... | 41 |
| iii. | Reactores de alisado..... | 42 |
| iv. | Filtros de armónicos de CC y CA..... | 43 |
| v. | Línea aérea..... | 43 |
| d. | Elección del nivel de tensión..... | 48 |
| e. | Representación del rectificador en términos de circuito eléctrico..... | 49 |
| f. | Representación del inversor en términos de circuito eléctrico..... | 50 |
| g. | Circuito equivalente de un link HVDC..... | 53 |
| h. | Imágenes adicionales..... | 55 |
| 3. | Estado actual del MEM y escenario al 2025 | |
| a. | Estado actual del MEM..... | 59 |
| i. | Generación..... | 59 |
| ii. | Regiones del SADI..... | 60 |
| iii. | Demanda..... | 63 |
| iv. | Transporte..... | 63 |
| b. | Escenario futuro..... | 69 |
| c. | Proyecto hidroeléctrico Corpus-Christi..... | 72 |
| 4. | Cálculo de la línea | |
| a. | Introducción: ¿por qué se estudia la línea?..... | 78 |
| b. | Diferencias a considerar para el diseño de la línea HVDC usando criterios HVAC..... | 79 |
| c. | Traza de la línea..... | 84 |
| i. | Emplazamiento de estaciones convertoras..... | 84 |

| | | | | |
|---|---|--|---|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 3 de 244 |
| ANTEPROYECTO | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_COREDOR_NEA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

| | |
|---|-----|
| ii. Metodología de determinación de traza..... | 90 |
| d. Estructuras a utilizar..... | 92 |
| e. Alternativa de traza propuesta..... | 94 |
| f. Traza en Google Earth..... | 101 |
| g. Servidumbre..... | 107 |
| h. Torres HVDC: Dimensiones y distancias..... | 111 |
| i. Hilo de guarda..... | 113 |
| j. Cálculos electromecánicos..... | 114 |
| 5. Evaluación económica | |
| a. Introducción y objetivo de análisis..... | 170 |
| a. Fuente de Financiamiento del proyecto..... | 171 |
| b. Plan Federal de Transporte Eléctrico..... | 171 |
| c. Ampliaciones elegibles..... | 172 |
| d. Coparticipación con inversores privado: Banco Interamericano de Desarrollo..... | 173 |
| b. Costos: TIR y VAN de una alternativa HVAC y una HVDC..... | 177 |
| 6. Seguridad, medioambiente y requisitos para instalación de línea | |
| a. Impacto medioambiental y seguridad..... | 187 |
| b. Ocupación del espacio..... | 188 |
| c. Impacto ambiental..... | 192 |
| d. Evaluación para el proyecto en base a normas y reglas del buen arte..... | 196 |
| e. Vegetación en traza de la línea..... | 199 |
| f. Riesgos para la salud y seguridad..... | 199 |
| g. Carteles de señalización..... | 203 |
| h. Exigencias para el ingreso de una línea en el SADI y aspectos legales para su instalación..... | 206 |
| 7. Simulación mecánica de línea..... | 215 |
| a. Base de datos de conductores..... | 216 |
| b. Base de datos de armados..... | 217 |
| c. Datos del proyecto..... | 221 |
| d. Vano viento y vano peso..... | 223 |
| e. Caso analizado..... | 224 |
| f. Verificación total de la línea..... | 226 |
| 8. Simulación eléctrica de un sistema HVDC | |
| a. Diagrama unifilar y flujo de cargas..... | 228 |
| b. Análisis de fallas en el lado de corriente alterna: cortocircuito trifásico..... | 234 |
| 9. Conclusiones generales | |
| a. Conclusiones generales del proyecto..... | 237 |

| | | | | | |
|---|---|---|-----------|---|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 4 de 244 |
| ANTEPROYECTO | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_COREDOR_NEA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

10. Referencias.....240

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA
CONSTRUCCIÓN, DISEÑO, CÁLCULO Y
SIMULACIONES PARA UNA LÍNEA HVDC EN
EL CORREDOR NEA-EZEIZA**

ANTEPROYECTO

CONFORMIDAD EDICIÓN:

| SECTOR | REALIZÓ | APROBÓ | FECHA | OBSERVACIONES | |
|------------|-------------------------|-----------|-------|---------------|--|
| UTN/FRD | PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| DOCUMENTO: | ANTEPROYECTO | REVISIÓN: | A | HOJAS: | |

| | | | | | |
|---|---|--|--------|---|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 6 de 244 |
| ANTEPROYECTO | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_COREDOR_NEA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

1.0 Descripción y justificación del proyecto

1.1 Introducción: Origen y objetivos

El objetivo de este proyecto es la investigación sobre la composición y funcionamiento de sistemas de transmisión en alta tensión en corriente continua (HVDC, del inglés High Voltage Direct Current) y el cálculo eléctrico y mecánico de una línea de transmisión HVDC para el transporte de potencia desde el proyecto hidroeléctrico binacional Corpus Christi (ubicado en la provincia de Misiones) hasta la Estación Transformadora Ezeiza (ET Ezeiza) (centro de cargas del sistema).

Si bien esta obra hidroeléctrica se encuentra en etapa de estudio de factibilidad, estudios realizados señalan que la central podría tener una potencia instalada de 2880 MW hasta 4600 MW dependiendo de su emplazamiento definitivo (VER: <http://www.comip.org.py/corpus.html>, <http://www.comip.org.py/corpus.html> y http://www.cosiplan.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=312).

Se considera que el agregado al SADI de potencias de estos valores, implicaría un aporte significativo a la potencia instalada total en nuestro país. debido a las proyecciones realizadas por distintos actores del MEM (Mercado Eléctrico Mayorista) de aumento de la demanda energética para el período 2015-2025.

En la actualidad la potencia instalada del SADI es de 40046 MW y en el año 2025 se estima una potencia instalada de 55862 MW (según estudios realizados por Transener). Es decir, un aumento del 39,49% en la potencia instalada. (VER: <http://emesa.com.ar/wp-content/uploads/2019/04/Transicio%CC%81n-Energe%CC%81tica-Pablo-Tarca.pdf>). Si se habla en términos de demanda

| | | | | | |
|---|---|--|--------|---|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 7 de 244 |
| ANTEPROYECTO | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_COREDOR_NEA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

energética, según el Ministerio de Energía en el año 2015 la demanda fue de 132,0 TWh y en el año 2025 se estima una demanda de 192,0 TWh. Es decir, un 45,45% de aumento en la demanda energética (VER: http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/planeamiento/publicaciones/escenarios_energeticos_2025.pdf).

Ante esta realidad, surge la ampliar la red de AT para el transporte de energía y poder satisfacer la demanda proyectada.

Además, en nuestro país los principales corredores de 500 kV se encuentran saturados, no pudiéndose utilizar a plena capacidad toda la potencia instalada en determinadas regiones (VER: <http://emesa.com.ar/wp-content/uploads/2019/04/Transicio%CC%81n-Energe%CC%81tica-Pablo-Tarca.pdf>).

Por estas razones, y debido a la potencia instalada del proyecto hidroeléctrico analizado y su distancia de aproximadamente 1000 km (la extensión de la línea valor definido al realizar la traza definitiva de la línea) hasta la ET Ezeiza, se estudiará la factibilidad de construcción de una línea de HVDC para transportar esta energía.

Además, los sistemas HVDC cuentan ventajas constructivas respecto a sistemas de HVAC. Las mismas son:

- Menor franja de servidumbre
- Estructuras serán más angostas y se requiere menos aislación (los aisladores se diseñan para el voltaje de operación, mientras que en corriente alterna se diseñan para $\sqrt{2}$ veces el voltaje de operación)
- Menores conductores utilizados (sólo 2 polos)

| | | | | | |
|---|---|--|--------|---|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 8 de 244 |
| ANTEPROYECTO | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_COREDOR_NEA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

En cuanto a ventajas operativas se pueden nombrar:

- No aumentan la potencia de cortocircuito en las EETT a las cuales se conectan (cuestión importante en EETT como Ezeiza y Rodriguez las cuales se encuentran operando cerca del límite de capacidad admisible de las mismas (25 GVA) (VER: <http://emesa.com.ar/wp-content/uploads/2019/04/Transicio%CC%81n-Energe%CC%81tica-Pablo-Tarca.pdf>).
- Son más estables
- Permiten controlar el flujo de potencia
- Ausencia de efecto Ferranti (debido a que en corriente continua no existe el concepto de impedancia).
- Menores pérdidas en las líneas
- Menores pérdidas por efecto Corona
- No se requiere compensación de la línea

Este proyecto surge como respuesta a todo lo expuesto en los párrafos anteriores, debido a las ventajas de un sistema HVDC respecto a uno HVAC a la hora de transmitir grandes potencias a lo largo de grandes distancias. Además, estos sistemas se encuentran bajo estudio y desarrollo permanente, lo cual implicó e implicará un abaratamiento progresivo de los costos de construcción y mantenimiento de las centrales convertidoras que se encuentran en los extremos de ambos sistemas y se conectan a la red de corriente alterna ya existente.

| | | | | |
|---|---|--|---|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 9 de 244 |
| ANTEPROYECTO | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_COREDOR_NEA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

1.2 Grupos de Investigación y Desarrollo de HVDC en Argentina

En nuestro país, dos grupos de investigación se dedican al estudio de sistemas HVDC. Uno es el grupo de investigación dirigido por el Ing. Raúl Villar de la UTN FRBA, cuyo estudio “Ingeniería de la Transmisión en Corriente Continua en el corredor eléctrico Patagónico” sirve como fuente para este estudio. El mismo se puede consultar en:

<http://www.frgp.utn.edu.ar/images/utn-frgp/scyt/archivos/semana-de-la-innovacion/presentacion-semana-de-la-innovacion-raul-villar.pdf>

Otro grupo de investigación en el país es el de HVDC y Electrónica de Potencia de CIGRÉ Argentina, cuyo presidente es el Ing. Fernando Issouribehere (<https://sites.google.com/site/cigrearg/comites-de-estudio/b-subsistemas/b4>).

2.0 Objetivos

2.1 Objetivos generales

- Investigar y describir los distintos tipos de sistemas HVDC y sus funcionamientos.
- Proyectar la instalación de una línea de HVDC en el trazado Proyecto Hidroeléctrico Corpus Christi-Ezeiza.

2.2 Objetivos específicos

- Historia de la evolución de los sistemas HVDC.
- Estudio y descripción de componentes de sistemas HVDC.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|---|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 10 de 244 |
| ANTEPROYECTO | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_COREDOR_NEA _REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

- Análisis de funcionamiento de sistemas HVDC:
 - Esquemas de control
 - Tipo de fallas
- Métodos de análisis de Flujo de Carga CA-CC
- Análisis de estabilidad de sistemas HVDC
- Descripción de sistemas HVDC Light/Plus
- Simulación básica de funcionamiento mediante software de un sistema HVDC en una red de pocos nodos
- Realizar reseña histórica del Proyecto Corpus Christi y estado actual del mismo
- Estudiar reglamentaciones exigidas por CAMMESA y el ENRE para vinculación de nueva línea con la red.
- Estudiar reglamentaciones y normas jurídicas a cumplir asociadas a la traza de la línea en el territorio argentino
- Cálculo eléctrico de la línea
- Cálculo mecánico de la línea
- Cálculo económico

| | | | | | |
|---|---|--|--------|---|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 11 de 244 |
| ANTEPROYECTO | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_COREDOR_NEA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

3.0 Normas utilizadas, bibliografía utilizada y software utilizado

3.1 Normas y publicaciones

- AEA 95301: Reglamentación para líneas eléctricas aéreas exteriores. Líneas de MT y AT
- IEC 60826: Overhead Transmission Lines – Design Criteria
- The CIGRE HVDC Benchmark Model: A new proposal with Revised Parameters
- IEEE Transactions on Energy Conversion
- Walve model - CIGRE Report 1986
- Dobson Alvarado & De Marco Model – IEEE conf. On Dec. & Control 1992 and M.K. Pal 1993 IEEE.

3.2 Software

- DLTCAD
- Project 2016
- Excel 2016
- Google Earth
- AutoCAD
- DlgSILENT Power Factory

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|---|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 12 de 244 |
| ANTEPROYECTO | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_COREDOR_NEA _REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

3.3 Bibliografía introductoria para el proyecto

- Direct Current Transmission (Edward Kimbark)
- High Voltage Direct Current Transmission (J. Arrillaga)
- HVDC Power Transmission Systems (KR Padiyar)
- Electric Power Generation, Transmission and Distribution (SN Singh)
- Redes Eléctricas I (Jacinto Viqueira Landa)
- Análisis de Sistemas de Potencia (W. Stevenson)
- Thyristor Phase-Controlled Converters and Cycloconverters (B.R. Pelly)
- Centrales Y Redes Electricas (Buchhold Happoldt)
- Electrical Transmission and Distribution Reference Book (Westinghouse)
- Cálculo Eléctrico y Mecánico de Líneas (Hector Leopoldo Soibelzon)
- Power System Stability and Control (Prabha Kundur)
- Power System Control and Stability (P.M. Anderson, A.A. Fouad)
- Power System Voltage Stability (Carson Taylor)

| | | | | | |
|---|---|--|--------|---|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 13 de 244 |
| ANTEPROYECTO | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_COREDOR_NEA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

4.0 Diagrama de Gantt y temas específicos del proyecto

Se adjunta como anexo a este anteproyecto el Diagrama de Gantt con cada tarea a realizar.

Se realiza en Project 2016, tomando un calendario 24 horas.

Aquí se aclara el contenido de cada uno de las tareas que aparecen en el Diagrama de Gantt:

1. Anteproyecto
2. Investigación sobre transmisión HVDC
 - a. Evolución en el tiempo
 - b. Comparación con sistemas HVAC
 - c. Tipos de sistemas de transmisión y componentes principales
 - i. Convertidores y sus válvulas
 - ii. Convertidores CSC y VSC: características y usos
 - iii. Transformadores OLTC
 - iv. Reactores de alisado
 - v. Filtros de armónicos de CC y CA
 - vi. Línea aérea
 - d. Elección del nivel de tensión
 - e. Representación del link en términos de circuitos eléctricos
 - f. Ejemplos de líneas HVDC en el mundo
3. Estado actual del MEM y escenario al 2025
 - a. Investigación sobre proyectos de generación en Argentina
 - b. Estado actual de corredores HVDC
 - c. Matriz energética actual
 - d. Demanda proyectada al año 2025
4. Cálculo eléctrico y mecánico de la línea

| | | | | | |
|---|---|---|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 14 de 244 |
| ANTEPROYECTO | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_COREDOR_NEA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

- a. Determinación de la configuración a utilizar
 - b. Selección del nivel de tensión
 - c. Elección del tipo de conductor y cable de guardia
 - d. Sección económica y disposición de los conductores
 - e. Pérdidas por efecto Joule y efecto Corona
 - f. Simulación con software
 - g. Traza de la línea: parámetros técnicos, económicos y ambientales
 - h. Determinación de distancias de seguridad
 - i. Dimensionamiento de torres y verificación de esfuerzos
 - j. Esfuerzos admisibles en conductores
 - k. Cantidad y disposición de aisladores
 - l. Vano económico
 - m. Simulación con Software
5. Cálculo económico del proyecto
 6. Seguridad, medioambiente y requisitos para instalación de línea
 - a. Impacto medioambiental y seguridad
 - b. Vegetación
 - c. Riesgos para salud y seguridad
 - d. Señalización
 - e. Exigencias para el ingreso de una línea al SADI y aspectos legales
 7. Simulación mecánica de línea
 8. Simulación eléctrica de línea
 9. Conclusiones generales

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA
CONSTRUCCIÓN, DISEÑO, CÁLCULO Y
SIMULACIONES PARA UNA LÍNEA HVDC EN
EL CORREDOR NEA-EZEIZA**

**INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN
HVDC**

CONFORMIDAD EDICIÓN:

| SECTOR | REALIZÓ | APROBÓ | FECHA | OBSERVACIONES |
|------------|---|-----------|-------|---------------|
| UTN/FRD | PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| DOCUMENTO: | INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | REVISIÓN: | A | HOJAS: |

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 16 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Evolución en el tiempo de sistemas HVDC

Evolución en el tiempo de los sistemas de transmisión

El uso comercial de la electricidad comenzó a fines de 1870 pero el primer sistema de potencia comercial fue desarrollado en el año 1882 en Nueva York. Cubría la demanda de 400 lámparas de 85 clientes. Posteriormente, en el año 1884, creció a 10164 lámparas y 508 clientes. [1]

Era un sistema de baja tensión (110 V y dos cables y luego 220 V y tres cables), ya que el nivel de aislación posible era bajo en ese momento, y de corriente continua debido a que se usaban generadores de este tipo [2]. En los años posteriores, se hacen evidentes las limitaciones de los sistemas de corriente continua; las dos principales eran:

- Alta caída de tensión
- Altas pérdidas de potencia

Por lo tanto, no era posible transmitir potencia a lo largo de grandes distancias.

La solución para estas limitaciones es la transformación de voltaje, la cual no es posible en sistemas de corriente continua, pero sí en sistemas de corriente alterna.

En el año 1886, nace el primer transformador comercial y el primer sistema de corriente alterna (monofásico en 4 kV, y de 21 km). [3]

La corriente alterna se impuso por sobre la corriente continua debido a que era posible cambiar el nivel de voltaje. Además, era más simple en términos de generadores y motores. Los sistemas de corriente continua fueron paulatinamente desmantelados.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 17 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

En el año 1893 se instala el primer sistema de potencia trifásico, el mismo transmitía energía desde la hidroeléctrica Adams Power Plant Transfomer House, la cual fue la primera planta de gran escala que generaba energía en corriente alterna [4].

A medida que fueron evolucionando los diseños y la disponibilidad de los materiales de aislación, se fue aumentando el voltaje de generación y la potencia generada por unidad individual.

Se adjunta una tabla con el máximo voltaje alcanzado según el año [5]:

| Año | Máximo voltaje alcanzado [kV] |
|------------|--------------------------------------|
| 1922 | 165 |
| 1923 | 220 |
| 1935 | 287 |
| 1953 | 330 |
| 1965 | 500 |
| 1966 | 735 |
| 1969 | 765 |
| 1990's | 1100 |

Tabla 2.1

En cuanto a las frecuencias, para interconectar dos sistemas de corriente alterna, los mismos se deben operar a la misma frecuencia, por lo cual se fueron estandarizando. En la actualidad, las frecuencias normalizadas son 50 Hz y 60 Hz, dependiendo de la región y el país.

Voltajes normalizados en Argentina según norma AEA 95301

En nuestro país, los voltajes estandarizados por la norma AEA 95301:

Reglamentación para líneas eléctricas aéreas exteriores, Líneas de MT y AT, son:

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 18 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

| Clase | Nivel de tensión |
|---|--|
| A (Baja tensión) | $V_n \leq 1 \text{ kV}$ |
| B (Media tensión) | $1 \text{ kV} < V_n < 66 \text{ kV}$ |
| BB (Media tensión con retorno por tierra) | $1 \text{ kV} < V_n \leq 38 \text{ kV}$ |
| C (Alta tensión) | $66 \text{ kV} \leq V_n \leq 220 \text{ kV}$ |
| D (Extra alta tensión) | $220 \text{ kV} < V_n < 800 \text{ kV}$ |
| E (Ultra alta tensión) | $V_n \geq 800 \text{ kV}$ |

Tabla 2.2

HVDC

Para tener la mínima pérdida y la mínima caída en corriente continua, se empezó a investigar como transmitir potencias en este tipo de corriente a lo largo de grandes distancias.

En el año 1882, se realizó en Alemania la primera transmisión en corriente continua a lo largo de 56 km, logrando transmitir 1,5 kW a 2 kV. En 1885, se realizó un experimento de transporte de energía con hilos de 5 mm de diámetro en Francia (generadores de 80 CV y 160 RPM y 6 kV, suministraba una potencia de 40 CV en 6 km). Todos estos sistemas tenían cargas en serie con los generadores y la corriente se mantenía constante [6].

En 1889, el ingeniero suizo René Thury desarrolló el primer sistema comercial de transmisión HVDC, usualmente llamado "Sistema Thury". Consistía de varios generadores en serie que alimentaban a una línea de transmisión en corriente continua, y las cargas eran motores en serie. Se operaba a corriente constante y el voltaje cambiaba al cambiar la potencia. Contrariamente, los sistemas de corriente alterna tienen voltaje fijo y la corriente cambia dependiendo de la carga.

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 19 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NEA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

La instalación comprendía un circuito de 120 km y potencia 630 kW a 14 kV. Luego se actualizó con generadores de 2,5 MW (5000 V a 500 A), usando doble conmutador para reducir el voltaje en cada conmutador.

Un esquema típico de un sistema Thury se adjunta a continuación:

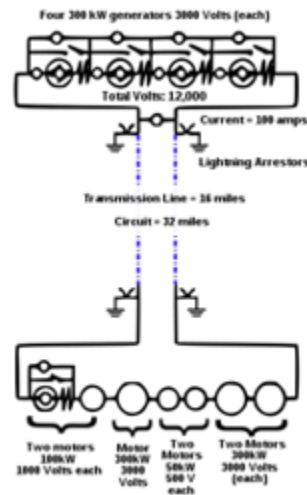


Figura 2.1

El sistema Thury más importante instalado en Europa fue instalado en Francia en 1906. En la planta había cuatro generadores en serie, donde cada turbina manejaba dos generadores. Cuando la demanda de potencia cambiaba, el número de generadores colocados en serie variaba, y por ende también la tensión en la línea. La línea era bipolar, teniendo un voltaje máximo de 75 kV de polo a tierra, o 150 kV de polo a polo. Era de 200 km, con 190 km de línea aérea y 10 km de cable subterráneo con aislación de papel. Transmitía 8600 kW [7].

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 20 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

En el año 1938, todos los sistemas Thury fueron desmantelados. Al añadir más generadores en serie surgían problemas de costos y mantenimiento. Además, los sistemas de corriente alterna continuaban creciendo y expandiéndose.

Si bien no se usaban comercialmente, fueron los primeros equipos utilizados con los mismos propósitos para los cuales se utilizan hoy en día las estaciones convertidoras.

En el año 1950, se hizo factible el uso de las válvulas de arco de mercurio (inventadas en 1902). Así, fue posible convertir de corriente alterna a corriente continua y viceversa.

Como resultado de esto, en el año 1954 se realizó el primer sistema HVDC en Suecia, entre la Isla de Gotland y la parte continental de dicho país. Podía transferir 20 MW a 100 kV en 98 km mediante el uso de cable submarino.

En el año 1970 las estaciones que utilizaban tecnología con válvulas de arco de mercurio fueron complementadas con válvulas tiristorizadas conectadas en serie con válvulas de arco de mercurio. El voltaje fue aumentado a 150 kV y la potencia a 30 MW **[8]**.

Debido a las limitaciones en los sistemas HVAC, se empezó a pensar cada vez más en utilizar sistemas HVDC.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 21 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Comparación de sistemas HVDC con sistemas HVAC

El primer sistema comercial HVDC instalado surgió como respuesta a uno de los problemas presentes en los sistemas HVAC: la máxima distancia de transporte está limitada por el consumo de potencia reactiva de la línea. En ese momento, era inviable un sistema de HVAC de 70 km de cable.

Limitaciones de sistemas HVAC:

- Pérdidas por potencia reactiva
- Problemas de estabilidad
- Capacidad de transmisión de corriente limitada
- Efecto skin y Ferranti
- El control del flujo de potencia no es posible

Pérdidas de potencia

En sistemas HVAC hay pérdidas por potencia activa, definidas como:

$$P_L = I^2 \times R_L \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Siendo I la corriente y R_L la resistencia de la línea.

Además, existen pérdidas por potencia reactiva, dadas por:

$$Q_L = I^2 \times X_L - \frac{V^2}{X_C} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

En sistemas de corriente continua no existe ese problema, ya que sólo se tiene resistencia y no hay reactancia capacitiva ni inductiva [9].

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 22 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Estabilidad

En corriente alterna, la transferencia de potencia en una línea de transmisión, asumiendo que la misma no tiene pérdidas, está dada por la expresión:

$$P = \frac{U_1 U_2}{X} \sin(\delta) \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Es decir, dada una línea, la potencia que puede transmitirse depende del ángulo δ que corresponde a la carga.

Aparece el límite $\delta/2$ en cuanto a potencia transmitida. El mismo es un límite físico que se denomina límite de estabilidad.

Gráficamente:

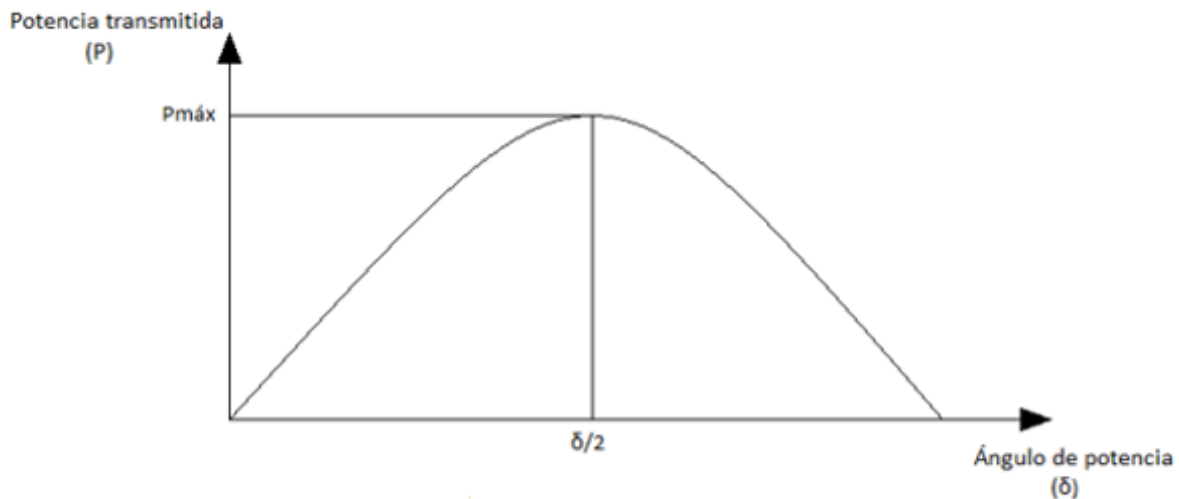


Figura 2.2

Nunca se opera en este valor de ángulo. En un sistema de transmisión, el ángulo entre dos nodos adyacentes no debe exceder más de 20° o 30°, para que cuando

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 23 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

haya alguna alteración, el sistema no pierda sincronismo. Es decir, asumiendo un nodo con ángulo 0 y otro nodo con ángulo delta:

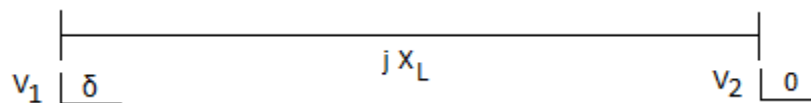


Figura 2.3

Delta no debe exceder dicho valor.

Cabe señalar que, si el valor de δ es positivo, la potencia activa fluye hacia la barra de voltaje V_2 .

Respecto a la potencia reactiva Q , la misma circula del voltaje más grande al voltaje más pequeño (es decir, se relaciona con la tensión). Si la línea es muy larga, el perfil de voltajes de la misma puede ser no uniforme debido a las capacitancias distribuidas en la misma.

Se adjunta un dibujo del perfil de voltajes en una línea de transmisión en situaciones de baja carga, de alta carga y de carga nominal:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 24 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

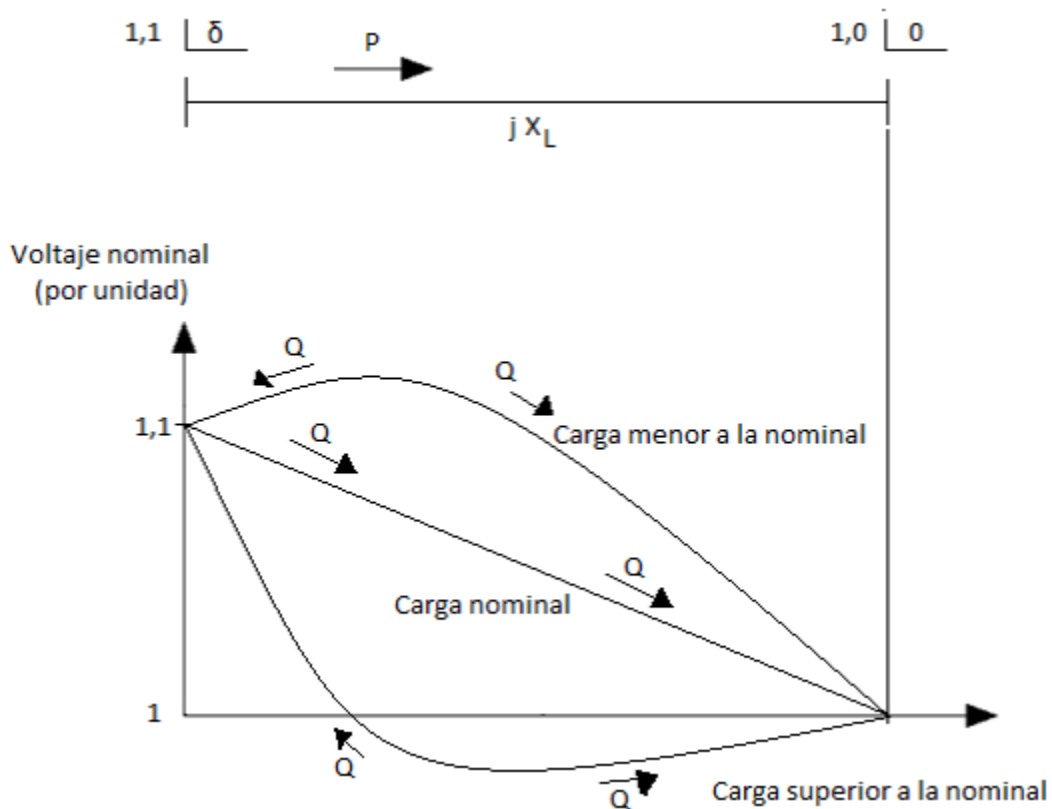


Figura 2.4

Como se ve, el perfil de voltajes varía según la carga y con ello el flujo de potencia reactiva. Además, cuanto más cargado esté un sistema HVAC, más proclive a ser estable es.

En sistemas HVDC sólo se habla de tensiones y voltajes, ya que no aparece el concepto de reactancia (X) ni de ángulo δ correspondiente a la carga [10].

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 25 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Capacidad de transmisión de corriente

Cuando circula corriente por un cable en corriente alterna, se presentan dos componentes: una componente activa I_P y una componente reactiva I_Q .

Debido a esto, en determinadas situaciones, la instalación de un cable en alta tensión para distancias mayores a 50 km, es muy costoso y poco factible. Por esta razón los sistemas HVDC son preferibles frente a los sistemas HVAC, ya que los mismos no tienen componente reactiva de corriente I_Q .

Ésta fue la razón por la cual se instaló el sistema de transmisión en HVDC entre la Isla de Gotland y la parte continental de Suecia en el año 1954 [11].

Efecto skin

En corriente alterna, la corriente tiende a circular por la periferia del conductor. A mayor frecuencia, mayor este efecto. La resistencia efectiva o de corriente alterna será mayor que la resistencia óhmica de corriente continua, y por ende se tienen mayores pérdidas en el conductor.

Este efecto se debe a que la variación del campo magnético es mayor en el centro del conductor que en la periferia y eso da lugar a una reactancia inductiva mayor [12].

Efecto Ferranti

Todas las cargas son inductivas por naturaleza y por lo tanto consumen potencia reactiva de las líneas de transmisión. Por ende, hay una caída de tensión en las líneas. Para compensar la potencia reactiva consumida por las cargas inductivas, se colocan capacitores en paralelo a las líneas de transmisión. Cuando la línea tiene

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 26 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

poca carga o está en vacío, sólo queda potencia reactiva aportada por los capacitores.

Por lo tanto, el voltaje al final de la línea se incrementa (voltaje del receptor), y es mayor que el del extremo inicial (voltaje de la fuente). Esto fenómeno es el denominado efecto Ferranti.

La situación descrita puede ser vista en un diagrama fasorial de la siguiente manera:

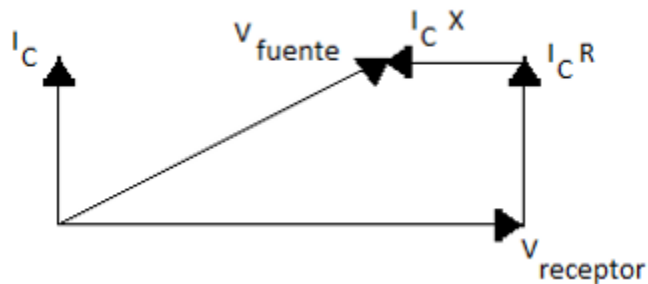


Figura 2.5

Se da en condiciones de línea en vacío (sin carga) o de poca carga.

Para mitigarlo, se colocan reactores de línea en líneas largas. Si aún se requiere más potencia reactiva, se colocan reactores de barra y en algunos casos reactores shunt, derivación o paralelo [13].

Control del flujo de potencia

En ocasiones, si se desea revertir el flujo de potencia de una dirección a otra en un sistema de corriente alterna, eso no es posible [14].

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 27 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Ventajas de sistemas HVDC [15]

Se pueden nombrar las siguientes ventajas:

- No hay pérdidas por potencia reactiva
- No hay problemas de estabilidad
- No hay corriente de carga
- No hay efecto skin ni Ferranti
- Se puede controlar el flujo de potencia
- Requiere menos espacio comparado con sistemas HVAC, para mismos valores de voltaje
- La tierra puede ser usada como conductor de retorno
- Menores pérdidas por Efecto Corona y radiointerferencia
- Costos menores para transmisiones de grandes distancias
- Permite la operación asincrónica
- No se transmite potencia de cortocircuito
- Rápido despeje de falla
- Los transitorios por switching son menos significativos que en sistemas HVAC
- El costo se seguirá abaratando con el tiempo

Las limitaciones de potencia a transmitir en sistemas HVDC están dadas sólo por el límite térmico, mientras que en sistemas HVAC están dadas por límites de estabilidad, térmico y de regulación de voltaje.

En HVAC el limitante depende del largo de la línea. Si la línea es muy larga, prevalece el límite de estabilidad por encima del límite térmico. Si el largo es menor, el límite térmico prevalece.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 28 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

En sistemas HVDC el problema de la estabilidad no es algo que preocupe.

Respecto a la corriente de carga, la capacitancia se forma una vez que se tiene diferencia de potencial, y que el dieléctrico es el aire. En HVDC, la capacitancia es constante y no hay carga.

Tampoco hay efecto Skin porque la frecuencia es 0, y tampoco hay efecto Ferranti por el hecho de que no hay carga.

La potencia en corriente continua es:

$$P_{dc} = V_{dc} \times I_{dc} \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

Y en corriente alterna:

$$P_{ac} = V_{ac} \times I_{ac} \times \cos(\varphi) \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

Siendo φ el ángulo de potencia entre el voltaje y la corriente llamado factor de potencia.

En HVDC, el flujo de potencia se puede controlar mediante el control de voltaje, el control de corriente o por ambos. Como se explica más adelante en este proyecto, se prefiere el control de corriente constante y que se varíe el voltaje desde un valor negativo hasta un valor positivo. Es decir, una operación en dos cuadrantes (es decir, en el primer cuadrante y el cuarto cuadrante):

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 29 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

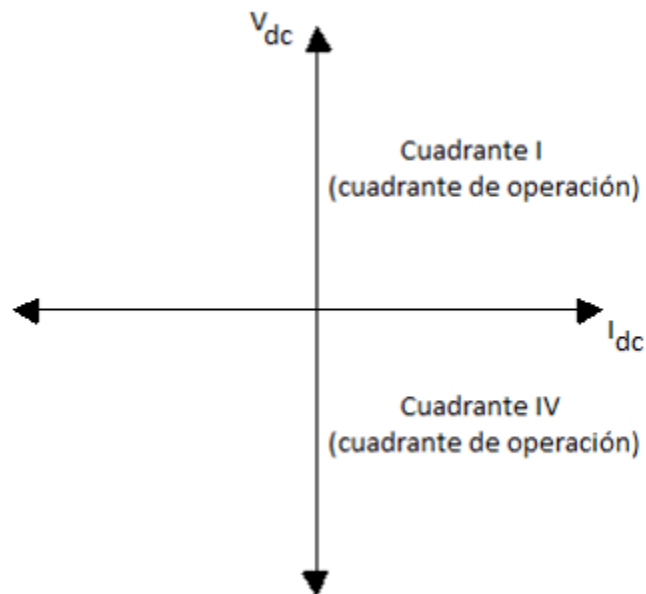



Figura 2.6

En cuanto al tamaño de estos sistemas, se debe señalar que si se quiere diseñar un sistema de 400 kV en corriente alterna, se debe diseñar el sistema para el valor de pico, es decir, 400 kV por $\sqrt{2}$. En HVDC en cambio, se diseña para 400 kV.

Esto implica que el tamaño de diseño se vea reducido, menor espacio para servidumbre, menor espacio para torres, menor voltaje de aislación, entre otros beneficios.

Respecto a la tierra como camino de retorno, se explicará en detalle que dos configuraciones posibles para sistemas HVDC usan la tierra como camino de retorno: la configuración homopolar y la configuración monopolar. En la configuración bipolar, la tierra puede ser usada como camino de retorno en caso de emergencia (como, por ejemplo, la salida de servicio de uno de los dos polos), entregando el 50% de la potencia para la cual está diseñada la línea.

Respecto al efecto Corona, es proporcional a la frecuencia + 25.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 30 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Otra ventaja es que la interferencia de radio es en teoría 0. Debido a armónicos y otros factores, no es efectivamente 0, pero es mucho menor que en sistemas HVAC.

Además, no se requiere compensación de la línea con subestaciones intermedias para compensar y controlar el voltaje en el sistema de transmisión, cuestión que ocurre con sistemas HVAC.

También, la operación asincrónica es posible, debido a que mediante una línea HVDC se pueden conectar dos sistemas de diferentes frecuencias.

Cabe destacar que en sistemas HVDC los transitorios por switching son menos significativos que en sistemas HVAC. Los mismos se dan por la presencia de inductancias y de capacitancias, elementos que almacenan energía. En los sistemas HVDC estos transitorios son menos prominentes. A pesar de eso, para contrarrestarlos se usan reactores de línea para alisar la forma de onda (en inglés, smoothing reactors).

Respecto a la no transmisión de la potencia de cortocircuito, se puede nombrar que en sistemas HVAC, al conectar una línea nueva a una barra, aumenta la potencia de cortocircuito en la misma, debido a que la impedancia vista por la barra a tierra estará dada por las líneas en paralelo conectadas a la misma. Al conectar una línea más en paralelo, dicha impedancia decrecerá, aumentando el nivel de falla en la barra.

Una solución posible es separar la barra a la cual llegan las líneas (ésta técnica en inglés se denomina bus splitting). Gráficamente:

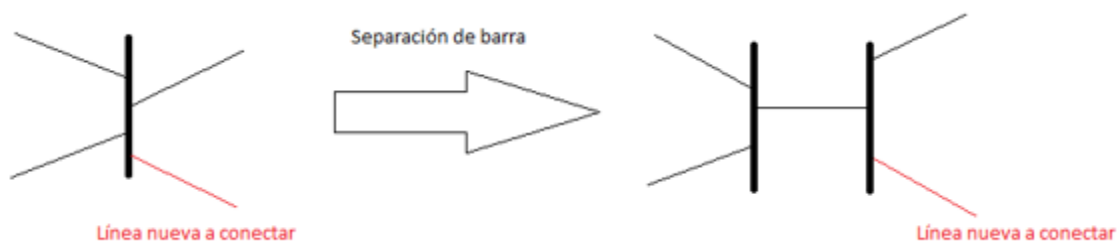


Figura 2.7

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 31 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Esto reduce el nivel de falla y ahorra gastos tales como cambio de interruptores por aumento de la corriente de cortocircuito.

En sistemas HVDC ni siquiera se tiene que hacer esto, debido a que los mismos no aportan corriente de cortocircuito a la barra. El control actúa de forma muy rápida (mucho más rápida que interruptores de corriente alterna que sensan la falla y dan la orden de apertura a interruptores mecánicos), bloqueando la corriente de falla de ésta línea.

Desventajas de sistemas HVDC [16]

- Costo de las terminales convertidoras (el costo inicial es superior en HVDC que en HVAC)
- Introducción de armónicos
- Bloqueo de potencia reactiva
- Transmisión punto a punto (imposibilidad de aprovechamiento intermedio de potencia)
- Capacidad limitada de sobrecarga (los dispositivos de electrónica de potencia se pueden dañar si se pasa sus niveles nominales de voltaje y corriente)
- Gran requerimiento de potencia reactiva en las estaciones convertidoras

Respecto a la introducción de armónicos, los mismos tienen que ver con los dispositivos de conmutación utilizados. Se usaban primeramente válvulas, luego tiristores, posteriormente tiristores GTO's y hoy en día de IGBT's. En los tiristores convencionales de compuerta, los armónicos característicos están dados por:

$$np \pm 1 \text{ (Ecuación 2.6)}$$

Donde n es un número entero y p es el número de pulsos.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 32 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Por ejemplo, para un convertidor de 6 pulsos, usando tiristores convencionales se tienen los armónicos 5, 7, 11 y 13.

Debido a la superposición en la conducción de las válvulas, también se tienen armónicos no característicos.

Si estos armónicos no son filtrados en forma correcta, se propagarán en el sistema de corriente alterna, lo cual no es deseable. Al prender o apagar una señal en corriente alterna, siempre se generarán armónicos, por ende, son inevitables y tampoco es posible filtrar todos los armónicos en su totalidad.

En cuanto a la magnitud, la misma decrece a medida que aumenta el orden de armónico.

Si se habla del bloqueo de potencia reactiva, normalmente no se desea que se traslade potencia reactiva de una región a otra, ya que el mismo es un fenómeno local. Pero en condiciones de emergencia podría requerirse soporte de potencia reactiva de una región hacia otra, cuestión que no podría realizarse a través de un link HVDC.

Respecto a la imposibilidad de aprovechamiento de potencia intermedia, se debe a que el costo, y la complejidad del control y comunicación entre convertidores al instalar una tercera terminal para hacer un sistema multi terminal es grande (de hecho, hay sólo dos en operación en el mundo: el de Italia-Corsica-Cerdeña y el de Quebec-New England, que conecta Radisson, Quebec y Ayer (Massachusetts)).

El requerimiento de potencia reactiva en los convertidores es alto: se requiere un 60% de la potencia activa en ambos extremos. En los tiristores normales utilizados en los puentes de los convertidores, el factor de potencia es igual al coseno del ángulo de disparo, al cual se lo denomina alfa:

$$\cos(\varphi) = \cos(\alpha) \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

Es decir, se requiere potencia reactiva porque se quiere controlar la potencia mediante el control del ángulo de disparo, modificando el voltaje V_{dc} .

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 33 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Si alfa es mayor, el factor de potencia se deteriora, y por ende se necesitan esas fuentes de potencia reactiva mencionadas. Una fuente de potencia reactiva son los filtros de armónicos, los cuales a la frecuencia fundamental proveen soporte de potencia reactiva ya que funcionan como capacitores.

Tipos de sistemas de transmisión y componentes principales

Hay tres tipos de sistemas HVDC **según su utilización [17]**. Los mismos se denotan en inglés como:

1. Bulk Power Transmission
2. Back to back modulation
3. Modulation of AC network

Bulk Power Transmission

Los sistemas denominados de este modo sirven para transmitir grandes potencias de una región determinada a otra, a lo largo de grandes distancias, sin hacer uso intermedio de esa potencia. Es decir, directamente del punto de la generación hacia la demanda.

Back to back modulation

Estos sistemas sirven para controlar el flujo de potencia entre dos estaciones convertidoras cercanas. Se llaman back-to-back porque la estación que funciona como rectificadora y la que funciona como inversora, están espalda con espalda. Incluso pueden llegar a estar en la misma subestación.

Además, si alguna de las dos regiones que están conectadas antes del convertidor sufre alguna falla, se puede abrir la línea con una muy alta velocidad para no propagar la falla hacia la otra región.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 34 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Modulation of AC network

Si se tiene una línea de corriente alterna muy débil en cuanto a oscilaciones de potencia, se podría tener un link HVDC colocado para mejorar la estabilidad, y controlar la potencia a través de ésta línea de corriente alterna.

En la mayoría de los casos la generación se sigue realizando en corriente alterna, exceptuando casos como la generación fotovoltaica, donde se requiere el uso de un convertidor para convertir de corriente continua a alterna y conectarla a la red.

La distribución se sigue haciendo en baja tensión en corriente alterna, por lo que los sistemas HVDC existen combinados con sistemas de corriente alterna.


Según su esquema de conexión [18]

Se pueden distinguir tres clasificaciones:

1. Monopolar
2. Bipolar
3. Homopolar

Monopolar

La configuración monopolar puede esquematizarse del siguiente modo:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 35 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

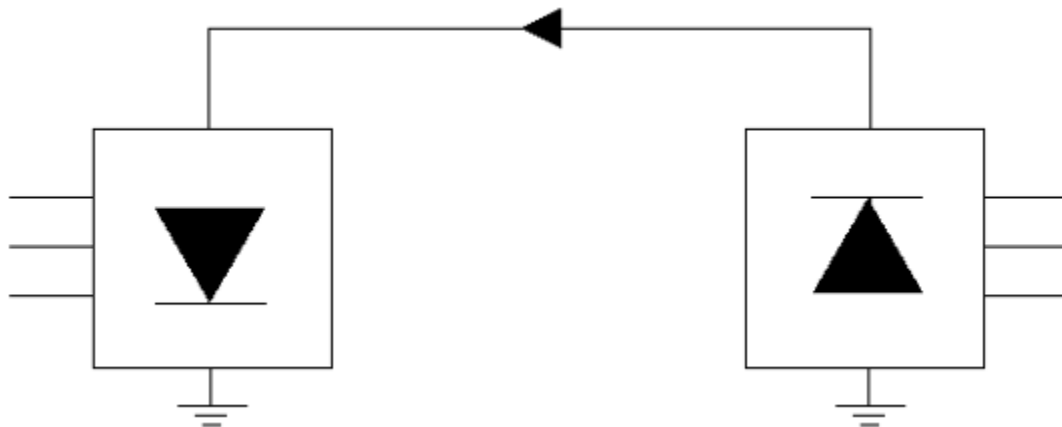


Figura 2.8

En la misma, se utiliza sólo un polo y la tierra se usa como camino de retorno. La polaridad del único polo es negativa, debido a que la misma implica menos pérdidas por efecto Corona que la polaridad positiva.

Esta configuración tiene la desventaja de que, ante un problema en el polo, se debe detener la operación de la línea.

Otra desventaja es que la circulación de la corriente por tierra implica corrosión en objetos metálicos bajo tierra, como por ejemplo en caños, y también implica grandes costos de mantenimiento.

Los sistemas homopolares y bipolares pueden operar como monopolares en determinadas circunstancias.

Bipolar

La configuración bipolar se esquematiza como:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 36 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

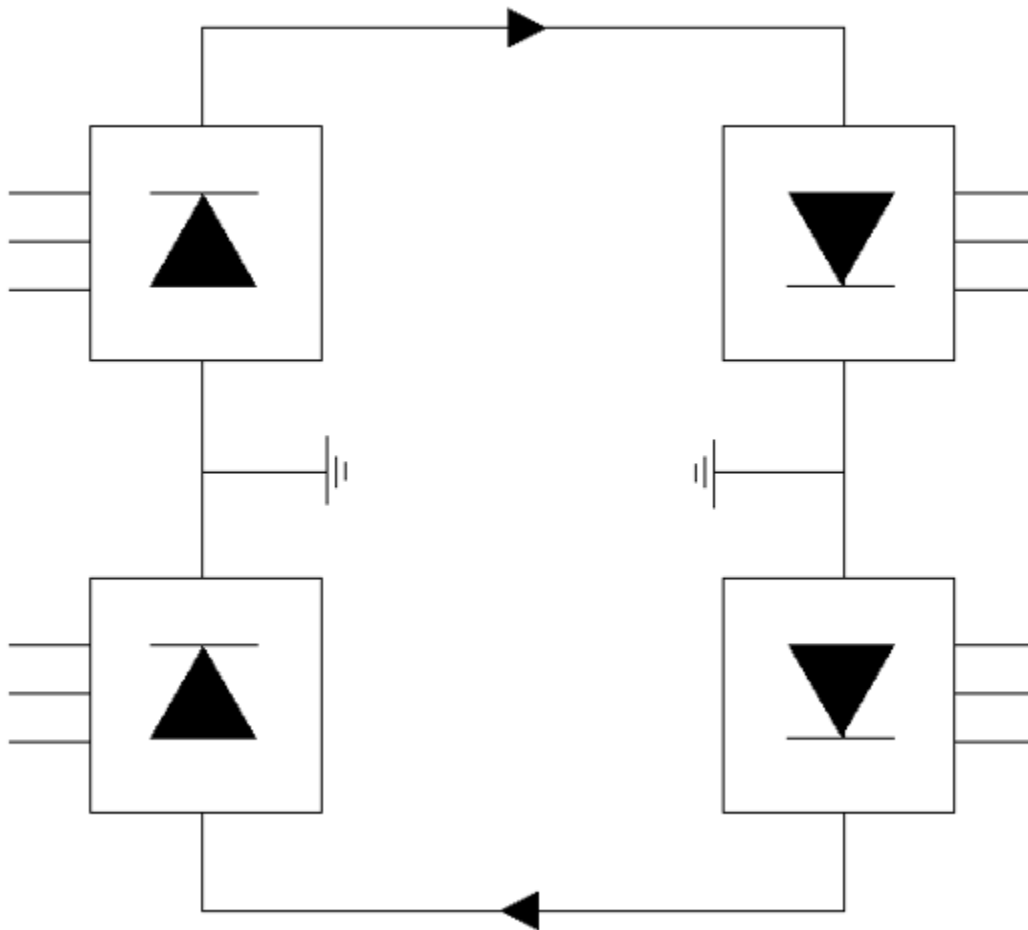


Figura 2.9

En esta configuración se tienen dos polos: un polo de ida y otro de retorno, es decir, uno positivo y otro negativo. La ventaja de esta configuración es que, si se presenta un problema en alguno de los dos polos, se puede utilizar el restante y el retorno por tierra, estableciéndose una configuración monopolar.

De este modo se puede usar la mitad del link y transmitir la mitad de la potencia.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 37 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

La forma de denotar el voltaje es +/- y el valor de voltaje, porque uno de los polos opera con voltaje positivo y el otro con voltaje negativo.

Por ejemplo, si se tiene un link de +/-500 kV, uno de los polos opera con 500 kV, otro con -500 kV y entre los dos habrá una diferencia de 1000 kV.

Homopolar

Esquemáticamente, la configuración es la siguiente:

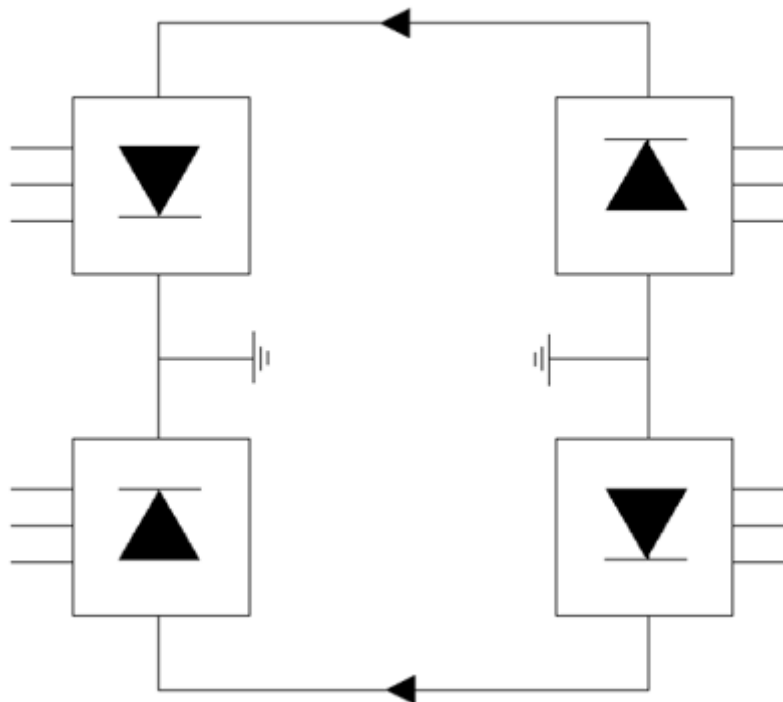


Figura 2.10

Ambos polos operan con polaridad negativa para tratar de reducir el efecto Corona. La tierra funciona como camino de retorno, con todas las desventajas ya explicadas

| | | | | |
|---|---|--------|--|-------------------|
|   | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 38 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

que esto implica. La ventaja de este sistema es que se puede seguir entregando la mitad de la potencia ante falla en uno de los polos.

La forma de denotar estos links es con dos signos negativos adelante del voltaje de operación:

$$= 500 \text{ kV}$$

La configuración más popular es la bipolar. Si la mitad falla, se puede operar de forma monopolar.

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 39 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Componentes principales y diseño de sistemas de transmisión HVDC [19]

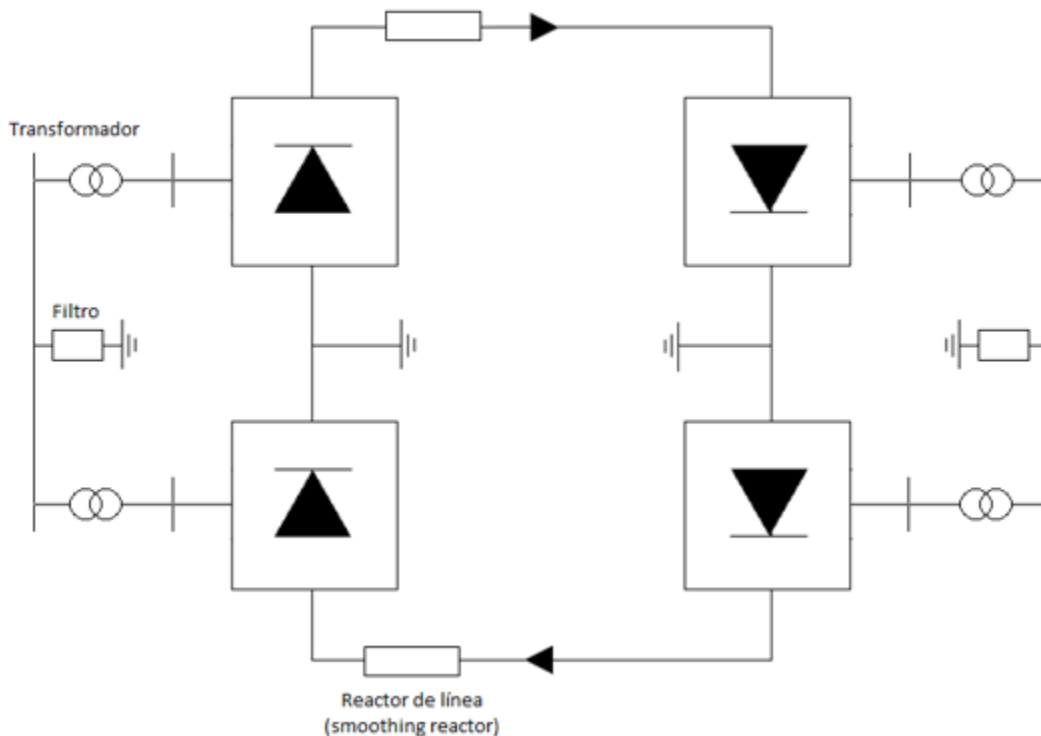



Figura 2.11

Los componentes más importantes son los convertidores. Se requieren al menos dos convertidores. Normalmente se usa configuración de puentes de 6 y 12 pulsos en los convertidores (en el caso de 12 pulsos, se usa un transformador en configuración estrella y el otro en triángulo).

Además, se cuenta con dos transformadores en el extremo rectificador y otros dos más en el extremo inversor.

También hay filtros y reactores de línea (smoothing reactors), los cuales cumplen una función ya explicada.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 40 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Además, en caso de que se use la tierra como retorno, se necesitarán conductores de tierra.

Convertidores [20]

Son el principal componente de los sistemas HVDC. Los mismos trabajan como rectificadores en los extremos emisores, convirtiendo potencia de CA a CC. Y en el extremo receptor funciona como inversor, convirtiendo potencia de CC a CA.

Ambos pueden funcionar en ambos modos rectificador e inversor, si se requiere revertir el flujo de potencia. Por eso se habla en forma más general de convertidor.

Los mismos pueden tener diferentes configuraciones, y muchos dispositivos switching (tiristores GTO, IGBT, MCT, SI y MOSFET) se conectan en serie y paralelo para proveer los valores nominales de voltaje y corriente necesarios. A la conexión de éstos en serie y paralelo se la llama en muchas bibliografías: "válvula".

Tipos de convertidores en función del dispositivo de almacenamiento usado

Hay dos tipos fundamentales:

- Current Source Converters (CSC): se usan inductancias.
- Voltage Source Converters (VSC): se usan capacitores.

En la mayoría de las aplicaciones HVDC se usa CSC, mientras que en aplicaciones STATCOM (Static synchronous compensator), VSC (Static Var Compensators) y filtros activos se utiliza VSC.

| | | | | |
|---|---|--|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 41 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Cuadro comparativo entre ambas tecnologías:

| CSC | VSC |
|--|---|
| Inductancias usadas en lado de CC | Capacitores usados en lado de CC |
| Corriente constante | Voltaje constante |
| Mayores pérdidas | Mayor eficiencia |
| Control rápido y preciso | Control lento |
| Más grandes y más caros | Más pequeños y menos caros |
| Mayor tolerancia a fallas y más confiables | Menor tolerancia a fallas y menos confiables |
| Control simple | Control complejo |
| No fácilmente expandible en serie | Fácilmente expandible en paralelo para aumentar valor nominal |

Tabla 2.3

Uso frecuente:


Normalmente en HVDC se utilizan CSC debido a que el objetivo es hacer grandes transferencias de potencia de un extremo a otro manteniendo la corriente constante. Además, el control es muy simple.

Transformadores [21]

Dentro de los convertidores también se tiene como elemento importante el transformador.

Deben ser transformadores especiales ya que, debido a la presencia de dispositivos switching, se generan muchos transitorios y armónicos. Deben tener cambio de tap en tiempo real (OLTC: Online Tap Changers).

Para convertidores de 6 pulsos, se utiliza un transformador convencional trifásico o tres transformadores monofásicos.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 42 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

En la configuración de convertidor de 12 pulsos, se puede usar uno por fase. Es decir: 6 transformadores monofásicos de un devanado, o seis transformadores monofásicos de dos devanados, tres transformadores monofásicos de tres arrollamientos, o dos transformadores trifásicos.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que la corriente de falla a través de las válvulas es predominantemente controlada por la impedancia del transformador. Es por eso que la impedancia del transformador del convertidor se hace mayor que en un transformador convencional. Si fuese un transformador convencional, se intenta minimizar la reactancia, porque si tu reactancia es mayor el flujo de potencia en la línea será menor, ya que como fue explicado anteriormente en este proyecto, el flujo de potencia en la línea es:

$$P = \frac{U_1 U_2}{X} \sin(\delta) \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

En los transformadores de los convertidores se desea tener mayor impedancia para limitar de ese modo la corriente, que actúe la acción de control y se abra el convertidor.

Reactores de línea [22]

Se utilizan para reducir el ripple de corriente continua que circula en la línea de transmisión. Además, limitan el ritmo de crecimiento de las fallas en caso de cortocircuitos en las líneas. Por lo cual, si hay una falla de voltaje a tierra, no crecerá rápido la corriente ya que estará limitada por la presencia de estos reactores.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 43 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Se utilizan con núcleos de aire parcial o total. Se deben diseñar de tal forma que soporten la corriente de cortocircuito sin dañarse.

Filtros [23]

Los armónicos característicos estarán dados por:

$$np \pm 1 \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

Donde n es un número entero y p el número de pulsos.

A menor orden de armónico, mayor magnitud del mismo y menor tamaño del filtro.

Los filtros proveen mínima impedancia a tierra para los armónicos para los cuales están diseñados, y proveen soporte de potencia reactiva para los convertidores en la frecuencia fundamental.

Hay dos tipos de filtros:

- Tuned filters
- Band-pass filters

En sistemas HVDC se utilizan tuned filters para los componentes armónicos específicos.

Se conectan en los terminales del convertidor:

Además de los armónicos característicos, pueden estar presentes en el sistema los armónicos no característicos debido a la superposición en la conducción de las válvulas. Dichos armónicos son muy difíciles de evitar porque no es posible prever sus características y consecuentemente, diseñar dispositivos para evitarlos.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 44 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Línea aérea [24]

El diseño de una línea en un sistema HVDC sigue los mismos principios que en sistemas HVAC.

Se utilizan los mismos conductores convencionales.

La diferencia está en el diseño: en HVAC se diseñan para el voltaje de pico en vez del RMS, y en sistemas HVDC para el mismo voltaje de operación de la línea.

Otra diferencia está dada por el número de conductores requeridos. Si se utiliza configuración bipolar, dos polos se requieren, mientras que, si se utiliza configuración monopolar, sólo uno. En homopolar, sólo dos polos se requieren.

Cada polo está conformado por varios conductores por fase, y a medida que aumente el voltaje, más conductores por fase se utilizan, en la forma:

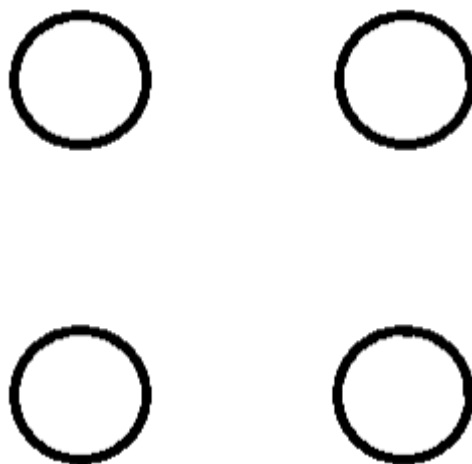
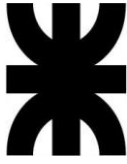


Figura 2.12

En intervalos regulares se conectan mecánicamente entre sí:

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 45 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

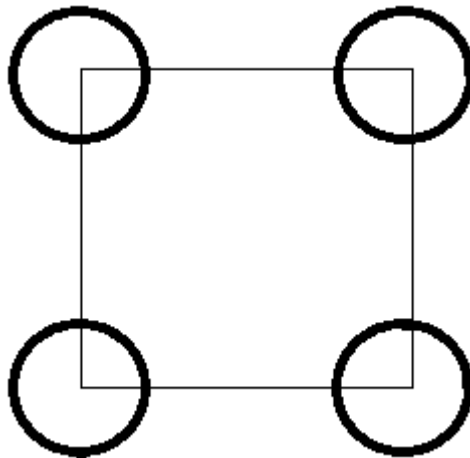


Figura 2.13

Se debe recordar que en este caso no influye ni la capacitancia ni la inductancia.

Básicamente, son conductores similares a los de corriente alterna. Como operan a alta tensión, la mayor preocupación es la pérdida por efecto Corona, la cual será menor en comparación con una línea de corriente alterna.

El diseño del conductor se hace para el valor nominal y no para el valor de pico como en corriente alterna (por ejemplo, para la aislación, en alterna se diseña para el voltaje de pico).

Para minimizar las pérdidas por efecto Corona, un polo se realiza con varios conductores, porque se quiere que el área de ionización sea menor; por ejemplo, para 500 kV se utiliza un paquete de 4 conductores.

Para líneas de 765 kV también se usan 4 conductores.

Para 800 kV se puede llegar a ver hasta 6 conductores (como en la línea Biswanath Chariyali-Agra en la India):

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 46 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

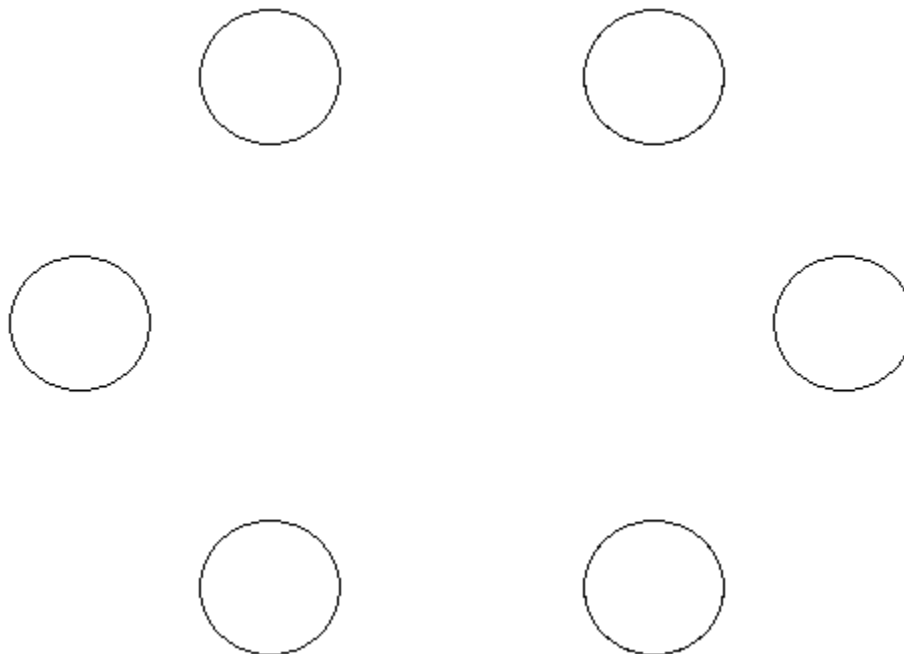



Figura 2.14

Los conductores utilizados son los tradicionales de aluminio, con alma de acero si se requiere mayor robustez.

Además, encima de los conductores de los polos se utiliza un conductor más pequeño por la razón de que están expuesto a caída de rayos. Ese conductor se llama hilo de guarda, y está conectado a las torres.

Las torres no se ponen todas a tierra, sino que se ponen a tierra cada 4 o 5 torres.

Con el hilo de guarda se provee un apantallamiento de alrededor de 30° (medidos respecto del centro de la torre). Si por alguna razón ingresara el rayo igualmente, en las subestaciones se tienen descargadores en ambos lados de la línea.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 47 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Fuente de potencia reactiva [25]

Se requiere potencia reactiva en los convertidores. El convertidor consume potencia reactiva debido al desplazamiento de fase entre la corriente y el voltaje. El requerimiento de potencia reactiva va normalmente del 50 al 60% de la potencia activa transferida a lo largo de la línea. Es provista normalmente por los filtros, capacitores y compensadores sincrónicos.

Electrodos de tierra [26]

Sólo se usan en condiciones de emergencia para circulación de la corriente de línea. Se colocan en forma profunda (hasta 500 m) para que la resistividad sea mínima, debido a que en las capas superiores la resistividad llega a 4000 $\Omega \times m$. Son deseable valores de 3 a 10 $\Omega \times m$, y se colocan químicos para reducir más este valor.

La mayor preocupación es la seguridad: si se entierra el conductor, puede producirse un gran potencial en la superficie que puede afectar a las personas. El conductor empleado debe tener una resistencia menor a 0,1 Ω .

Filtros CC [27]

En el lado de corriente continua se tienen armónicos dados por:

$$n \times p \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

Es decir, si se tienen convertidores de 6 pulsos, se tendrán armónicos de orden 6, 12 y 18.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 48 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Elección e influencia del nivel de tensión en sistemas de transmisión HVDC

[28]

Conocida la potencia a transmitir en estado estacionario, y elegido el esquema de conexión a utilizar (bipolar, monopolar u homopolar), se debe elegir el nivel de voltaje.

Si es bipolar, como en el caso de la línea a diseñar en este proyecto, el voltaje de cada polo será la mitad del voltaje total, porque uno es positivo y el otro es negativo.

Si se habla de voltaje individual de cada polo, se tiene:

$$P_{dc} = 2 \times V_{dc} \times I_{dc} \quad (\text{Ecuación 2.11})$$

Despejando de dicha ecuación se define la corriente, y con ese valor se decide cuál es el tamaño de los conductores en función de la cantidad de corriente que pueden conducir.

Por ejemplo, si se tiene que transmitir $P=1500$ MW, y se opta por una transmisión bipolar con voltaje ± 500 kV, se tiene una corriente de:

$$I_{dc} = \frac{1500 \text{ MW}}{2 \times 500 \text{ kV}} = 1,5 \text{ kA} \quad (\text{Ecuación 2.12})$$

Elegido el voltaje, se tiene que analizar el vano de las torres, flecha, el alto de torres, la separación horizontal entre las fases de línea en la estructura.

Posteriormente, se diseña la traza de la misma, procurando que se haga a la vera de caminos transitables que requiera el menor número de permisos de paso (servidumbre) y que facilite el acceso a las líneas para su mantenimiento con el menor impacto ambiental posible.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 49 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Normalmente se proponen varias trazas alternativas para finalmente elegir una en función de todas las variables a considerar. Es un análisis técnico-económico.

Representación del rectificador en términos de circuito eléctrico [29]

Se usa una expresión en términos de V y V_{d0} (siendo V la tensión de salida del convertidor teniendo en cuenta la caída de tensión interna en el mismo, representada por la resistencia de conmutación y V_{d0} la tensión máxima que puede entregar el convertidor):

$$V_d = V_{d0} \cos(\alpha) - \frac{3}{\pi} \omega L I_d \quad (\text{Ecuación 2.13})$$

El valor R_c se denomina resistencia equivalente de conmutación:

$$R_c = \frac{3}{\pi} \omega L \quad (\text{Ecuación 2.14})$$

Entonces:

$$V_d = V_{d0} \cos(\alpha) - R_c I_d \quad (\text{Ecuación 2.15})$$

El valor ωL se denomina reactancia de conmutación X_c :

$$R_c = \frac{3}{\pi} \omega L \quad (\text{Ecuación 2.16})$$

$$R_c = \frac{3}{\pi} X_c \quad (\text{Ecuación 2.17})$$

El valor de tensión V_d se puede representar como una fuente variable porque α está cambiando.

La representación del rectificador en términos de un circuito eléctrico es:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 50 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

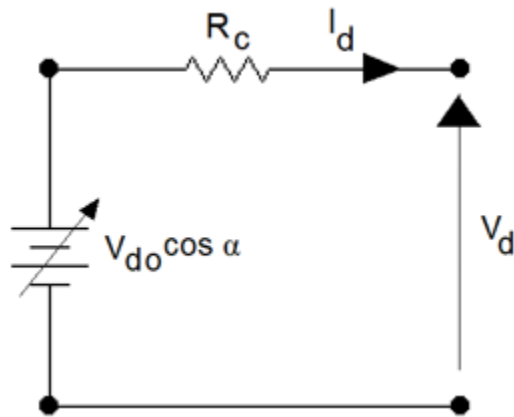


Figura 2.15

Representación del inversor en términos de circuito eléctrico [30]

Se definen algunos parámetros. Primeramente, se debe tener en cuenta que el ángulo α (ángulo de disparo) es mayor que 90° en este caso. Se expresan las ecuaciones del inversor en términos de otro parámetro llamado ángulo de avance β , definido como: $\beta = \pi - \alpha$ (Ecuación 2.18)

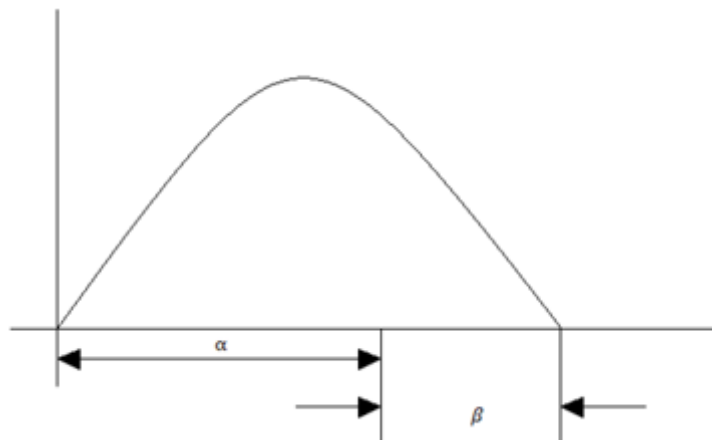


Figura 2.16

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 51 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Si aumenta beta, significa que alfa decrece (me muevo más hacia la izquierda en el gráfico).

O, teniendo en cuenta la conmutación entre tiristores (representada por el ángulo u), de otro parámetro llamado ángulo de extinción γ :

$$\gamma = \beta - u \quad (\text{Ecuación 2.19})$$

En los sistemas HVDC se fija el valor de γ al operar como inversor.

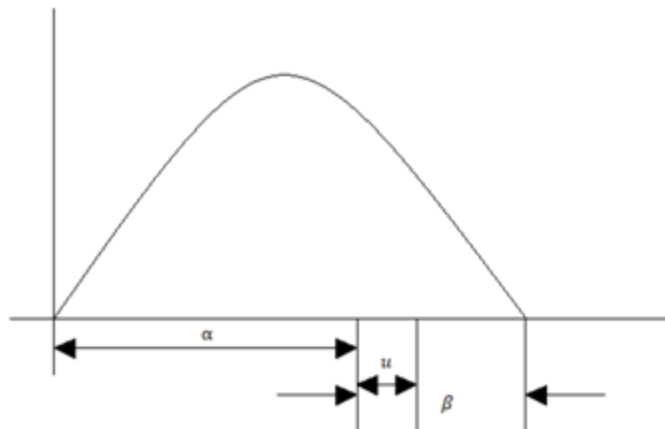


Figura 2.17

El ángulo de extinción debe tener un valor mínimo para que la conmutación se lleve a cabo de forma satisfactoria y no se produzca una falla de conmutación.

Ecuación que regula la operación como inversor:

$$V_{di} = V_{doi} \cos(\gamma) - R_c I_d \quad (\text{Ecuación 2.20})$$

Circuito equivalente para el inversor:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 52 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

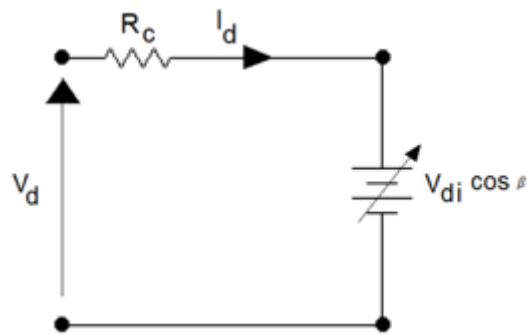


Figura 2.18

En términos de gamma:

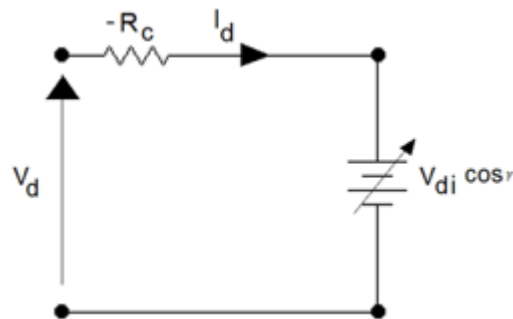


Figura 2.19

Circuito equivalente de un link HVDC [31]

Colocando ambos juntos, se tiene:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 53 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

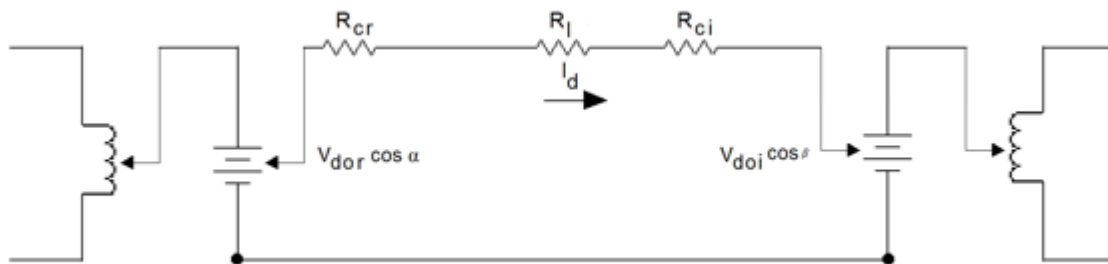


Figura 2.20

Se agrega en el medio la resistencia de línea R_l .

El voltaje se puede cambiar mediante α , β o transformadores de cambio de tap bajo carga (Online Tap Changers). Lo más rápido es cambiar α o β , pero hay límites para el delay: hay un valor mínimo de alfa, y también hay un valor máximo, ya que a medida que aumenta alfa se deteriora el factor de potencia.

Si se alcanzan los límites, se utiliza cambio de voltaje mediante cambio de tap bajo carga.


Lo que sucede normalmente es que el lado rectificador mantiene el voltaje y el lado inversor mantiene la corriente.

Planteando la ecuación de la corriente para el link HVDC:

$$I_d = \frac{V_{dor} \cos(\alpha) - V_{doi} \cos(\beta) \text{ (o } \gamma)}{R_{cr} + R_l \pm R_{ci}} \quad \text{(Ecuación 2.21)}$$

Para aumentar la potencia en el link, se puede reducir alfa (lo cual implica un mejoramiento en el factor de potencia) y aumentar beta o gamma hará que el factor de potencia sea peor y haya mayor pérdida en la válvula.

En el inversor, para mantener un margen de conmutación seguro, se usa como variable de control y en vez de β , ya que si no se mantiene un valor mínimo de γ

| | | | | |
|---|---|--------|--|-------------------|
|   | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 54 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

está la posibilidad de que se esté dando todavía la conmutación y no se complete, dando lugar a una falla de conmutación.

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 55 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NEA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Imágenes adicionales

Se incluyen imágenes o esquemas de sistemas HVDC.

Estación convertidora (fuente: Quora):

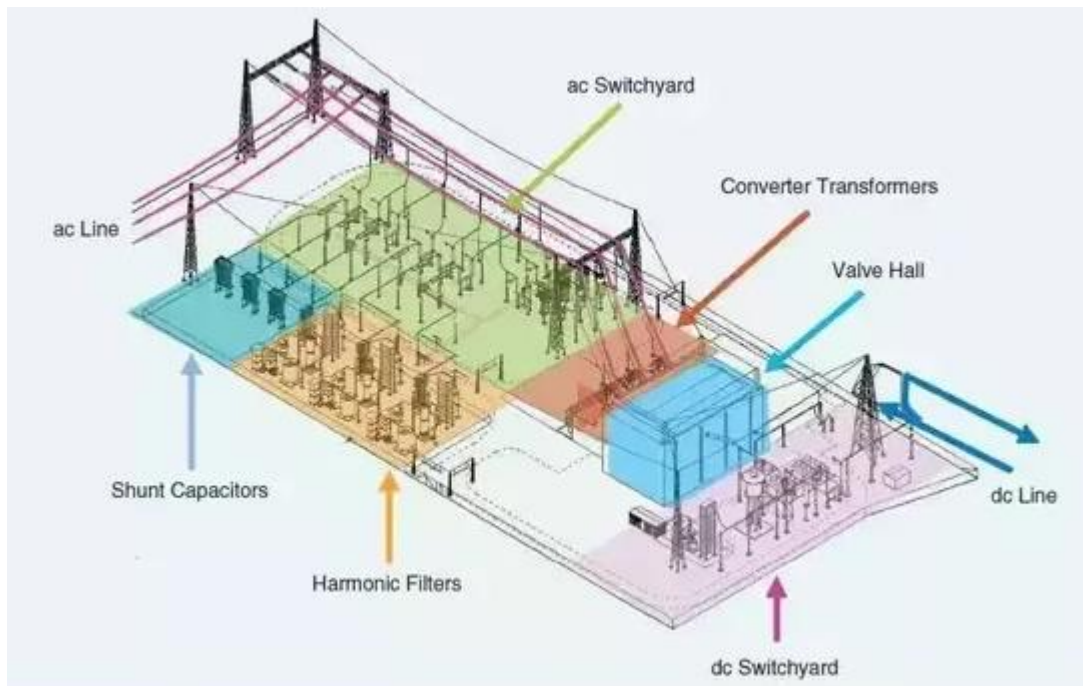



Figura 2.21

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 56 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Línea y torre de línea de +/-800 kV Raigarh-Pugalur (India) (fuente: Power Grid Corporation of India):



Figura 2.22

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 57 de 244 |
| INVESTIGACIÓN SOBRE TRANSMISIÓN HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Proyectos HVDC en el mundo (fuente: D.N.V.K. Bhargav (India)):

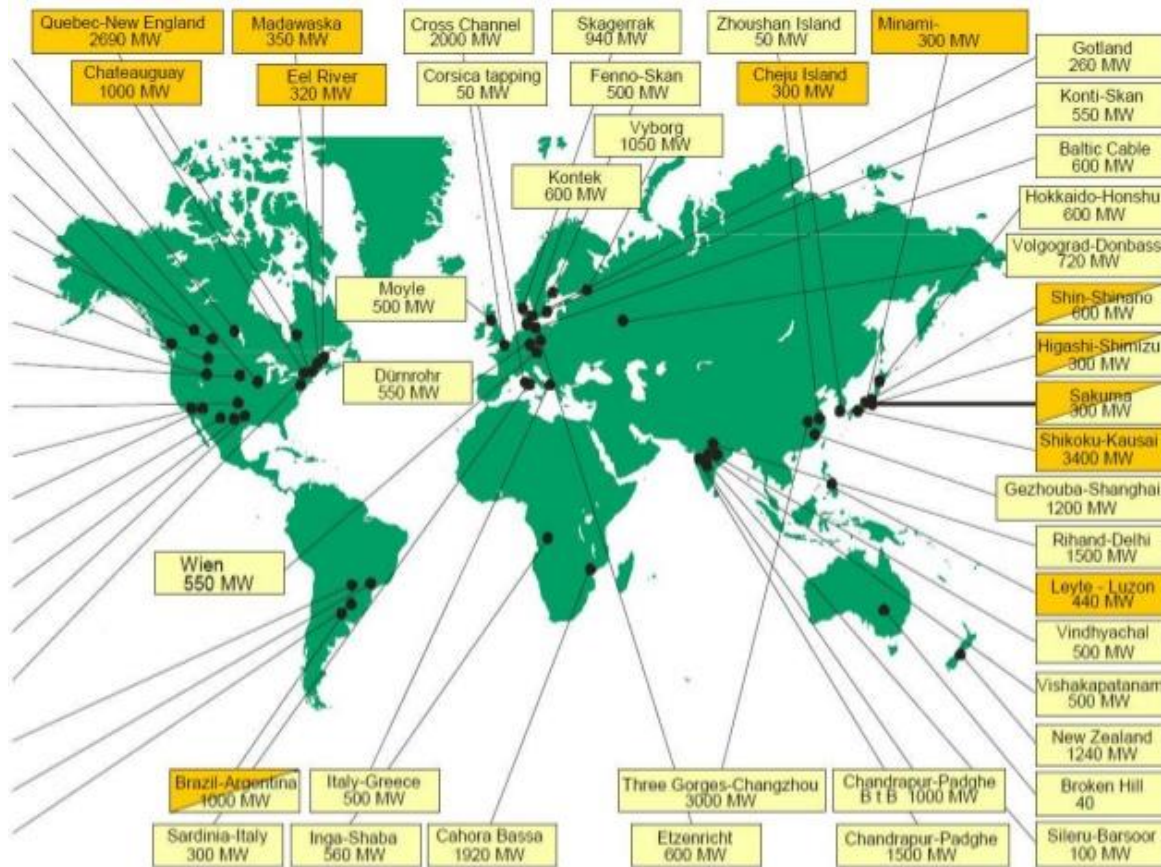


Figura 2.23

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA
CONSTRUCCIÓN, DISEÑO, CÁLCULO Y
SIMULACIONES PARA UNA LÍNEA HVDC EN
EL CORREDOR NEA-EZEIZA**

**ESTADO ACTUAL DEL MEM Y
ESCENARIO AL 2025**

CONFORMIDAD EDICIÓN:

| SECTOR | REALIZÓ | APROBÓ | FECHA | OBSERVACIONES |
|-----------|--|-----------|-------|---------------|
| UTN/FRD | PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| DOCUMENTO | ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | REVISIÓN: | A | HOJAS: |

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 59 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Estado actual del MEM

En la actualidad el SADI cuenta con una potencia instalada de 38538 MW. La misma se distribuye, según el tipo de fuente de generación, en [32]:

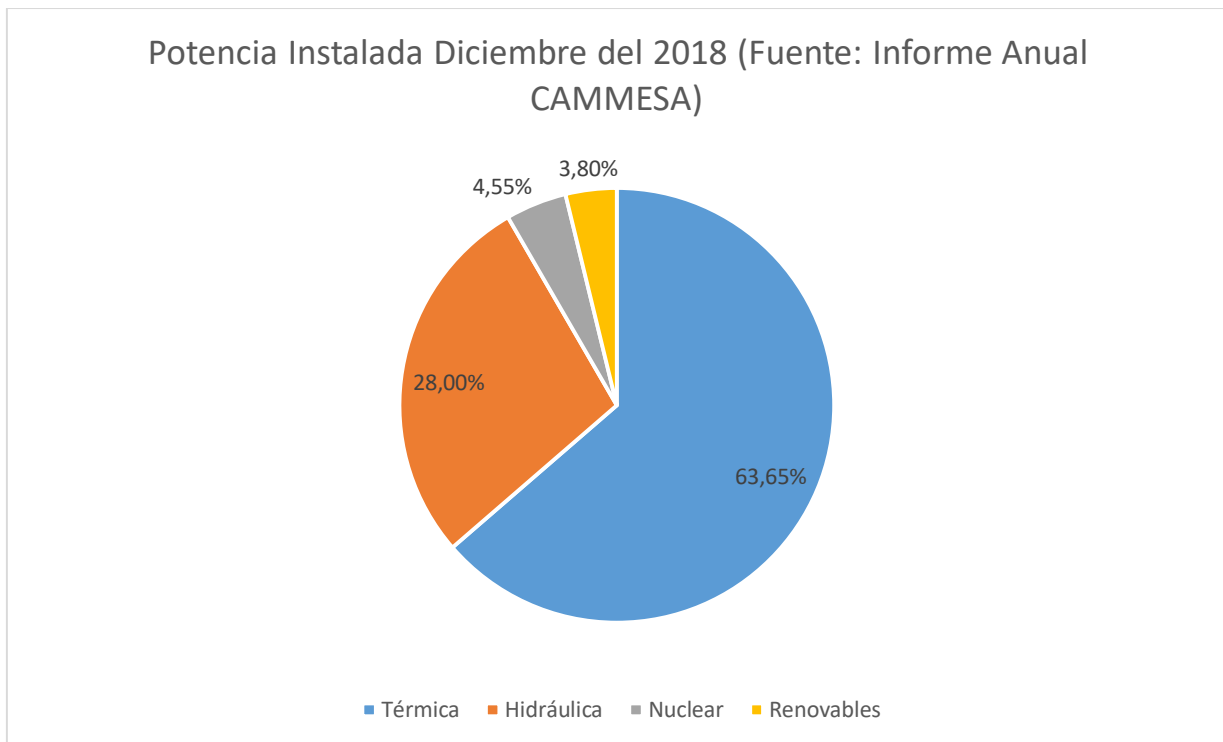


Figura 3.1

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 60 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

El SADI puede dividirse en 8 regiones, las cuales están numeradas según:

1. NOA
2. BUE-Litoral-NEA
3. BUE-Litoral-NEA
4. Centro
5. Cuyo
6. Comahue
7. Patagonia
8. Patagonia

Colocando en el mapa las regiones para una mejor visualización (fuente: Ministerio de Energía y Minería) **[33]**:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 61 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

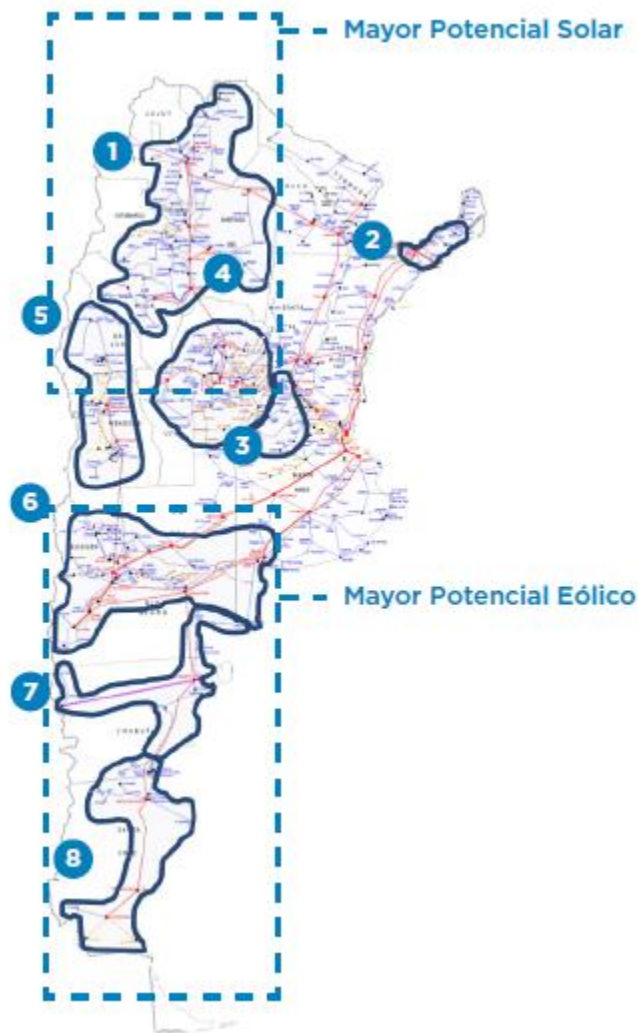


Figura 3.2

La potencia instalada en el año 2018 por región es:

| Región | Unidad | TV | TG | CC | DI | Térmica | Hidráulica | Nuclear | Renovables | TOTAL |
|---------------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|--------------|
| Cuyo | MW | 90 | 120 | 374 | 40 | 624 | 957 | - | 264 | 1761 |
| Comahue | MW | 501 | - | 1487 | 92 | 2090 | 4725 | - | 33 | 6773 |
| NOA | MW | 991 | 261 | 1472 | 394 | 3117 | 101 | - | 229 | 3057 |
| Centro | MW | 815 | 200 | 534 | 101 | 1650 | 802 | 648 | 215 | 3075 |
| GBA-Litoral-Buenos Aires | MW | 4536 | 3870 | 6867 | 895 | 16168 | 945 | 1107 | 271 | 16981 |
| NEA | MW | 33 | - | - | 286 | 319 | 2745 | - | 0 | 3081 |
| Patagonia | MW | 195 | - | 377 | - | 572 | 516 | - | 438 | 1222 |
| Total | MW | 7161 | 4451 | 11111 | 1808 | 24531 | 10790 | 1755 | 1462 | 38538 |

Tabla 3.1

Demanda

El Ministerio de Energía y Minería en su estudio “Escenarios Estratégicos 2025” [34], señala los siguientes escenarios para la demanda para el año 2015 y para el año 2025:

| Unidad: TWh | Demanda | |
|----------------------------------|---------|------|
| | 2015 | 2025 |
| Demanda | | |
| Residencial | 55,1 | 95,6 |
| Menores (<10 kW) | 18,1 | 25,2 |
| Intermedios (10 y 300 kW) | 19,8 | 27 |
| Mayores (>300 kW) | 39 | 44,2 |
| Total | 132 | 192 |

Tabla 3.2

Es decir, como se señala en el anteproyecto, se proyecta tendencialmente un aumento de la demanda de 45,45% respecto al año 2015.

Como escenario eficiente, se proyecta una demanda de 163 TWh, es decir, un 23,48%. El escenario eficiente implica:

- Eficiencia en electrodomésticos
- Sustitución de lámparas en el sector residencial
- Configuración de acondicionados de aire
- Alumbrado público
- Eficiencia en motores
- Sistema de gestión de la energía
- Diagnósticos energéticos
- Cogeneración
- Variadores de velocidad en motores

Transporte: estado de los corredores de Alta Tensión en el país [35]

Los corredores de A.T. de 500 kV en el país al año 2018 pueden ser visualizados en el siguiente mapa:

| | | | | |
|---|---|---|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 64 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |



Figura 3.3

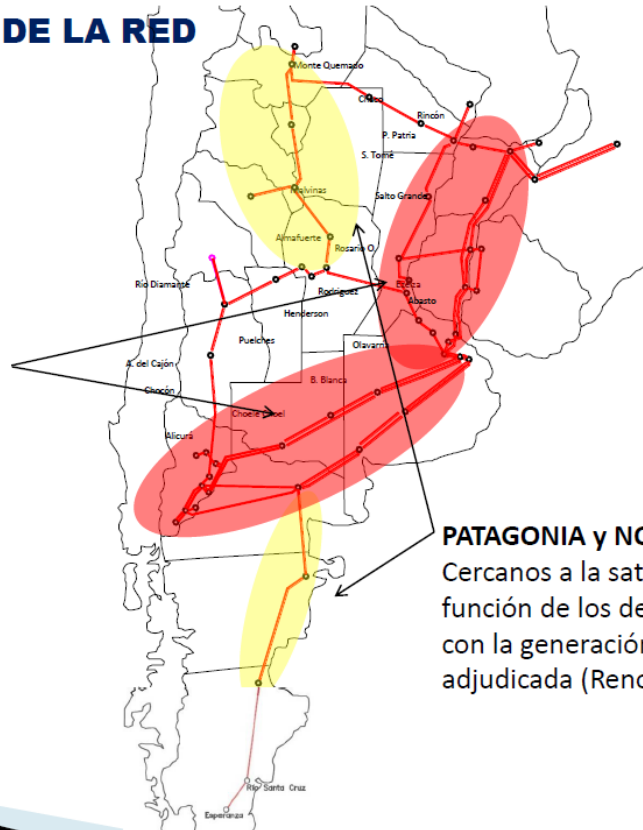
Según estudios de Transener, el corredor NEA-Litoral-GBA se encuentra cercano a la saturación en función de los despachos actuales de generación:

| | | | | |
|---|---|--|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 65 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

SADI – CAPACIDAD DE LA RED

13.921 Km de LAT 500 kV

Corredores
**NEA-LITORAL-GBA y
COMAHUE-GBA** Cercanos
a la saturación en función
de los despachos de la
actual generación


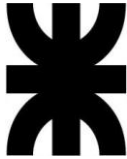


PATAGONIA y NOA-CENTRO
Cercanos a la saturación
en función de los despachos
con la generación ya
adjudicada (Renovar/Res 21)



Figura 3.4

Respecto a las EETT, con una demanda de pico proyectada del SADI de 27500 MW, la capacidad de transformación actual en picos se representa en el siguiente gráfico:

| | | | | |
|---|---|--|--------------|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 66 de 244 |

| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | |
|--|--------|--------|---|
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NEA A_REV_A.docx |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO |



Figura 3.5

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 67 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

En éste mapa, puede visualizarse que los puntos marcados en rojo están en estado comprometido y los marcados en amarillo están en estado de alta carga. Los comprometidos son los que pueden alcanzar estados de carga en torno a la saturación $\approx 100\%$ y los de alta carga $\approx 90\%$.

Teniendo en cuenta que éste proyecto conecta directamente la generación con la ET Ezeiza, se debe señalar que ésta última y su vecina estación transformadora Rodríguez se encuentran operando cerca del límite de capacidad admisible, tal como puede verse aquí:

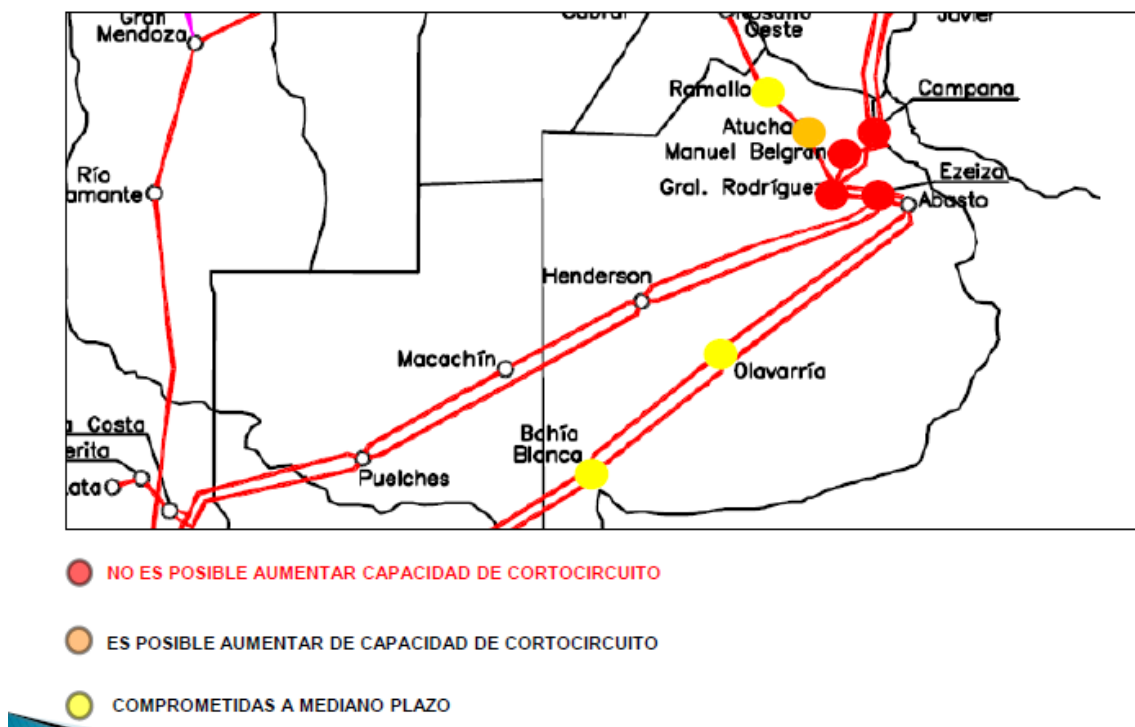


Figura 3.6

Como señala el estudio “Transición Energética” de Pablo Tarca (Transener), la incorporación de nueva generación está limitada por las posibilidades de la actual

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 68 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

infraestructura de vinculación al sistema de alta tensión, y el despacho está supeditado a la saturación de los corredores de transmisión.

EETT ante el ingreso de generación y transmisión al sistema

Se requiere:

- Mayor capacidad de transformación (principalmente en los puntos marcados en amarillo y rojo en el mapa de la página anterior)
- Operación a barras separadas para control de potencia de cortocircuito

¿Qué implica un aumento en la corriente de cortocircuito por encima de la de diseño?:

- Mayores solicitaciones térmicas, mecánicas inadmisibles en equipamiento e infraestructura
- Elevación de potencial terreno y tensiones inducidas
- Fallas catastróficas en equipamiento e infraestructura
- Amenaza a la seguridad personal

Ante esto, surgen como soluciones posibles:

- Repotenciación de EETT
- Construcción de bypass (solución adoptada en la ET Ezeiza)

Debido a que en nuestro caso de estudio se analiza transportar potencia hacia la ET Ezeiza, cabe señalar que no es posible repotenciarla, debido a que implica sacar de servicio todo lo conectado a esa ET. Esto involucra infraestructuras críticas para el abastecimiento del SADI. Dicha cuestión no será necesaria en el proyecto actual, debido a que un link HVDC no aporta potencia de cortocircuito a la ET a la que se conecta luego de la estación de conversión de corriente continua a alterna.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 69 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Escenario futuro [36]

La potencia estimada para el año 2025 es de 55862 MW, de los cuales el 20% debe ser generado por energías renovables, según la Ley 27191 de Energías Renovables. Es decir, generados según:

- Biogás
- Biomasa
- Biogás de relleno sanitario
- Eólica
- Pequeños aprovechamientos hidroeléctricos
- Solar fotovoltaico

La disponibilidad media para el mismo año debe ser de 43760 MW. La demanda de pico estimada es de 32465 MW.

| | | | | |
|---|---|--|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 70 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Para el año 2022 se prevé una generación adicional de 10741 MW dados por los siguientes proyectos:

| Generación adicional para matriz 2022 [MW] | |
|---|--------------|
| Térmica | |
| Ingreso estimado RES 287 | 2152 |
| CT Guillermo Brown (cierre de ciclo) | 300 |
| CT Ensenada de Barragán (cierre de ciclo) | 320 |
| CT Brig. López (cierre de ciclo) | 140 |
| CT Manuel Belgrano II | 800 |
| Nuclear | |
| CAREM25 CNEA | 29 |
| Renovables | 7000 |
| TOTAL | 10741 |

Tabla 3.3

Para el año 2025, se prevé una generación adicional de 5700 MW dados por los siguientes proyectos:

| Generación adicional para matriz 2025 [MW] | |
|---|-------------|
| Hidráulica | |
| CH La Barrancosa | 360 |
| CH Condor Cliff | 950 |
| CHIHUIDOS I | 640 |
| Nuclear | |
| Atucha III | 750 |
| Renovables | 3000 |
| TOTAL | 5700 |

Tabla 3.4

Cabe señalar que la resolución de la secretaria de energía eléctrica (SEE) N°287/17 (<https://ri.pampaenergia.com/faq/resolucion-see-n-287-17-cogeneracion-y-cierres->

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 71 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

[de-ciclos-combinados/](#)), abre la licitación para proyectos de cogeneración y cierre de ciclos combinados sobre equipamiento ya existente.

Proyectos

Además, de los proyectos que se sumarían al sistema interconectado en el año 2022 y 2025, se estudiaron proyectos analizados para el presente proyecto, considerando una distancia mínima de 800 km y una potencia mayor a 1200 MW. Esto se debe a que los costos de inversión al comparar una línea de corriente alterna y una de corriente continua con la misma capacidad, son iguales a una distancia aproximada de 600 a 800 km. Este punto se conoce como Break-Even distance y es un criterio técnico-económico [37]:

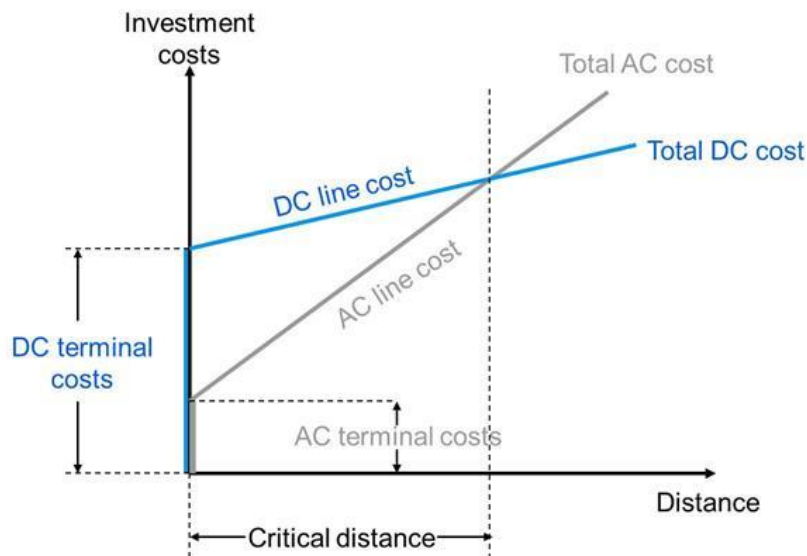


Figura 3.7

Los proyectos analizados están en etapa de estudio o pre ejecución:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 72 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

- Aprovechamiento hidroeléctrico Condor Cliff y La Barrancosa (Kirchner-Cepernic)
- Proyectos hidroeléctricos Garabí-Panambí
- Proyecto hidroeléctrico binacional Corpus-Christi

Finalmente se eligió el proyecto hidroeléctrico binacional Corpus-Christi. A continuación, se enuncian las principales características del mismo:

Proyecto hidroeléctrico binacional Corpus-Christi [38]

Este proyecto consta de una central hidroeléctrica binacional, proyectada en el Río Paraná, ubicada entre Argentina y Paraguay. Se considera frecuentemente la opción de su emplazamiento en la isla Pindoí, en el municipio de Corpus. En el mapa, dicho lugar se puede visualizar aquí:

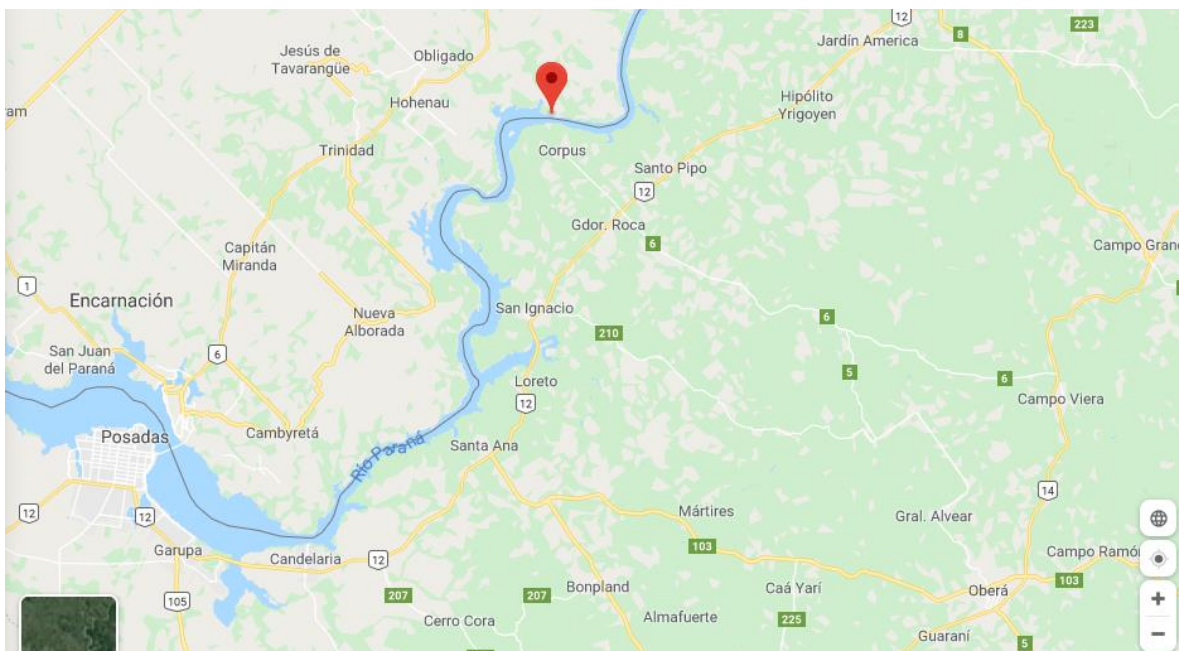


Figura 3.8

| | | | | | |
|---|---|---|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 73 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

La distancia (medida en línea recta) desde esta hidroeléctrica hasta la ET Ezeiza es de 922 km.

Frecuentemente se considera ésta ubicación debido al menor costo económico, ecológico y habitacional que supone, frente a la ubicación Itacuí, localizada a corta distancia de las ciudades de Posadas y Encarnación.

En el mapa nacional, su ubicación es:



Figura 3.9

En línea recta, se encuentra a 129 km de la represa binacional Yacretá, la cual tiene una potencia instalada de 3200 MW.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 74 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Con datos del año 2015, las características de la misma son:

| | |
|--------------------------------|--|
| Represas | Pindóí (Corpus) |
| Provincia | Misiones |
| Potencia instalada | De 2880 MW a 3800 MW (utilizando de 20 a 32 turbinas Kaplan) |
| Energía anual generada | 23000 GWh |
| Cota de embalse | 105 metros sobre el nivel del mar |
| Caudal máximo operativo | 21600 m ³ /s |
| Área del embalse | 17430 ha |
| Plazo de construcción | 7,5 años |

Tabla 3.5

Debe señalarse que la operación coordinada de los aprovechamientos binacionales en el tramo (Itaipú, Corpus Christi, Yacyretá y la también proyectada Itatí – Ita Corá), permitiría una generación de energía hidroeléctrica superior a los 123000 GWh al año.

Este hecho implicaría posicionar a la región NEA como un importante polo energético nacional.

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 75 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Actualmente, existe una comisión Mixta del Río Paraná (COMIP) constituida por ambos países con la finalidad de proceder al estudio y evaluación de las posibilidades técnicas y económicas del aprovechamiento de los recursos del Río Paraná. La misma tiene entre sus funciones el estudio del proyecto y la factibilidad del mismo.

Según un estudio del año 2005 realizado por COMIP, la distribución física de las instalaciones de la represa sería la siguiente:



Figura 3.10

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 76 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

El lugar presenta un cierre de barrancas muy estrecho, lo cual reduce los costos de la obra civil y permitiría tener un precio en MW/h muy por debajo del promedio del resto del SADI.

Además, éste proyecto figura dentro del COSIPLAN (Consejo Suramericano de Infraestructura y Planeamiento de UNASUR) dentro de la iniciativa IIRSA (iniciativa para la integración de la infraestructura regional suramericana). Este proyecto se enmarca dentro del eje Mercosur-Chile del COSIPLAN, a pesar de encontrarse en Pre-Ejecución.

Respecto a parámetros ambientales, las hectáreas inundadas versus potencia instalada (en MW) tiene un valor de 5, mientras que en obras similares a nivel mundial el promedio es 60.

En cuanto al desplazamiento de habitantes versus potencia instalada (en MW), el número es menor a 0,5 habitantes, mientras que el promedio mundial es mayor a 70, y en Yacyretá dicho número fue de 19.

En septiembre del 2019, se anunció que la Argentina en un plazo de 10 años dejaría de usar toda la potencia generada por Yacyretá, debido a que Paraguay, debido a su crecimiento económico, podrá retirar el 50% de la potencia que genera la central. Dicho crecimiento económico llevó al país vecino a construir una línea de AT de 500 kV entre la represa y el Gran Asunción.

La cifra que utilizará Paraguay es de 10000 GW/h, que equivale al consumo que actualmente demandan las provincias del NEA, provincias que presentan un crecimiento por encima del resto del país en la demanda energética.

| | | | | |
|---|--|--------|--|-------------------|
|   | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 77 de 244 |
| ESTADO ACTUAL DEL MEM Y ESCENARIO AL 2025 | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Éste hecho llevó a los legisladores de la provincia de Misiones a debatir la posibilidad de reimpulsar éste proyecto hidroeléctrico **[39]**.


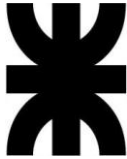
Por las razones expuestas en éste capítulo, se eligió la hipótesis de que la línea se emplace entre ésta hidroeléctrica proyectada y la ET Ezeiza.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA
CONSTRUCCIÓN, DISEÑO, CÁLCULO Y
SIMULACIONES PARA UNA LÍNEA HVDC EN
EL CORREDOR NEA-EZEIZA**

CÁLCULO DE LA LÍNEA

CONFORMIDAD EDICIÓN:

| SECTOR | REALIZÓ | APROBÓ | FECHA | OBSERVACIONES | |
|------------|-------------------------|-----------|-------|---------------|--|
| UTN/FRD | PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| DOCUMENTO: | CÁLCULO DE LA LÍNEA | REVISIÓN: | A | HOJAS: | |

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 79 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Introducción


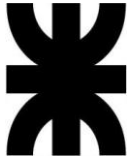
La importancia del proyecto Corpus-Christi puede ser resumida en los siguientes puntos:

- Ayuda a cubrir la demanda energética proyectada.
- Bajo costo energético en MW/h.
- Bajo costo de la obra civil y mínimo impacto ambiental.
- Posibilidad de coordinación para un mejor aprovechamiento energético con: Itaipú, Corpus Christi, Yacyretá y la proyectada hidroeléctrica Itatí – Ita Corá.

Además, la alternativa de transporte en corriente continua se elige principalmente debido a:

- Distancia mayor a 922 km entre Corpus-Christi y la ET Ezeiza
- Menor impacto ambiental
- Menor costo de línea por km
- Pérdidas reducidas
- Ausencia de necesidad de compensación de potencia reactiva en la línea (mantenimiento de potencia)
- No hay transmisión de potencia de cortocircuito (no se requiere ampliación de las ET por aumento de la corriente de falla).
- Costo de subestaciones cada vez menor

Debido a estas razones, en este capítulo se estudiará y calculará la línea propuesta, mecánica y eléctricamente según lo indicado en la norma AEA 95301.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 80 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Diferencias a considerar para el diseño de la línea HVDC usando criterios HVAC

Si bien este tema ya fue enunciado en la teoría, se agregan algunos datos proporcionados gentilmente a modo de colaboración por el centro UTN CIDIEE de UTN FRGP [40]:

1) Con relación a la capacidad de transporte


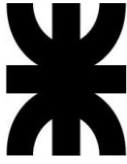
Considerando un sistema trifásico de CA cuya tensión de fase sea “V_f” y un sistema bipolar de CC cuya tensión de polo “V_d”, tal que “V_f=V_d”, ambos con igual capacidad de potencia de transporte, volumen y material de conductor y despreciando el efecto skin en CA. Considerando la potencia transportada activa “P_{CA}” para CA (calculada en función de parámetros de fase) “V_f I_f cos φ=1” y “P_{CC}” la de CC (calculada en función de la potencia por polo “V_d I_d”), es decir:

$$I_d = \frac{3}{2} I_f \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Lo que implica que la corriente de cada polo en CC, sea 1.5 veces la de cada fase en CA. La consecuencia de esto es que, dado que el sistema de CA cuenta con 3 fases y el de CC, con dos polos, entonces para transportar la misma potencia, ambos sistemas necesitarán el mismo volumen y tipo de conductor.

Si se desprecia para CA el efecto skin, ambos sistemas tendrán las mismas pérdidas operativas.

$$P_{prdCA} = 3I_f^2 r_{CA} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 81 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

$$P_{prdCC} = 2I_d^2 r_{CC} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Ahora bien, como de acuerdo con el planteo, el volumen de conductor y la potencia de transporte, son iguales y la línea de CC requiere de 2 polos, contra 3 fases del sistema de CA, implica que el costo de estructuras, franja de servidumbre y derecho de paso, será mayor para el Sistema de Transmisión de CA (STCA) que para el Sistema de Transmisión de CC (STCC). Tendencia que será tanto mayor, cuanto mayor sea la potencia transportada y la distancia a trasportar. Esta ventaja se acentúa aún más si se toma en cuenta que no se ha considerado el efecto skin que hará que las pérdidas operativas, sean mayor aun que las consideradas.


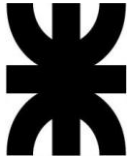
2) Con relación a los niveles de aislación

Tomando en cuenta que la determinación del asilamiento de un sistema se hace para valores nominales de cresta que, en CA corresponde a “ $\sqrt{2} V_f$ ” y en CC a su tensión nominal real “ V_d ”, entonces la relación de tensiones para la definición del aislamiento es:

$$k = \frac{\sqrt{2}V_f}{V_d} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Si como fue dicho se iguala la tensión de fase y polo “ $V_f = V_d$ ”, entonces “ $k=\sqrt{2}$ ”, con lo que el aislamiento de cada fase de corriente alterna deberá ser alrededor de un 41.4% por encima del valor requerido en CC.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta que, en zonas con polución, dado que los aisladores de las líneas de CC estarán a polaridad fija, tienen mayor atracción sobre la contaminación, lo que hace que la relación de tensión

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 82 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

requerida para la aislación resistida, de acuerdo con el nivel de polución deba tomarse para “ $1 < k \leq \sqrt{2}$ ”.


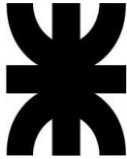
Otro aspecto importante a considerar en la definición de la aislación, viene dado por la diferencia en las sobretensiones de maniobra “stm” que juegan un papel decisivo en la coordinación de aislación, como consecuencia de la dificultad que tienen los interruptores para maniobrar la corriente continua (la corriente no pasa por cero), la maniobra de desconexión debe llevarse a cabo mediante el bloqueo de convertidores. Esta circunstancia inevitable no deseada, tiene como contrapartida favorable que los valores de las “stm” en juego, a las que se verá sometida la línea de transmisión de CC, sean inferiores a “1.8 pu”, significativamente menores que las “stm” de cresta máximas de “2.5 pu” que pueden ser alcanzadas en sistemas de CA de Extra Alta Tensión EAT (EHV) y Ultra Alta Tensión UAT (UHV). Aspecto que tiene un importante correlato económico. Considerando como fue dicho “ $V_f = V_d$ ”, la relación en requerimiento para los niveles de aislación será:

$$k \frac{2.5}{1.8} \cong 1.53 \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Es decir, el requerimiento de aislación en CA será aproximadamente $(3 \times 153 / 2 \times 100 = 230\%)$ mayor que para el sistema de CC.


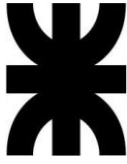
3) Consideraciones cualitativas genéricas

En CA la tensión de inicio de fenómenos no deseados tales como: efecto corona, sus pérdidas, radio interferencia y ruido audible, es del orden de “230

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 83 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

kV”, mientras que para corriente continua ocurre aproximadamente a partir de los “ ± 400 kV”.

Como fue dicho, dado que el nivel de aislamiento de un sistema de transmisión se define en función del máximo valor de tensión de servicio que, en corriente continua se corresponde con la máxima tensión constante del circuito y como para calcular la potencia transportada, se usa esa misma tensión, entonces en un STCC, en términos relativos se puede transportar más potencia que en el caso de CA. Recordar que la potencia transportable en CA es función del valor eficaz de la tensión de fase y el nivel de aislamiento es función del máximo, “ $\sqrt{2}$ ” mayor que el valor eficaz de la tensión de fase. La transmisión en CC, se encuentra exenta del efecto skin que permite la utilización plena de la sección del conductor. Aspecto que le da ventajas de aprovechamiento mayor del material conductor, al tiempo que juega a favor de la disminución de las pérdidas.

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 84 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NEA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Trazado de la línea

Para el trazado de la línea, se considera que deben unirse dos puntos: un punto cercano a la generadora ubicada en el municipio de Corpus y otro punto cercano a la ET Ezeiza. En ambos se construirán las estaciones convertidoras del link HVDC. Las coordenadas del Proyecto Hidroeléctrico Corpus son:

$27^{\circ}6'9''$ S $55^{\circ}31'14''$ W

Las coordenadas de la ET Ezeiza son:

$34^{\circ}54'46.88''$ S $58^{\circ}43'28,12''$ O

La superficie de la misma es de aproximadamente 50 hectáreas:

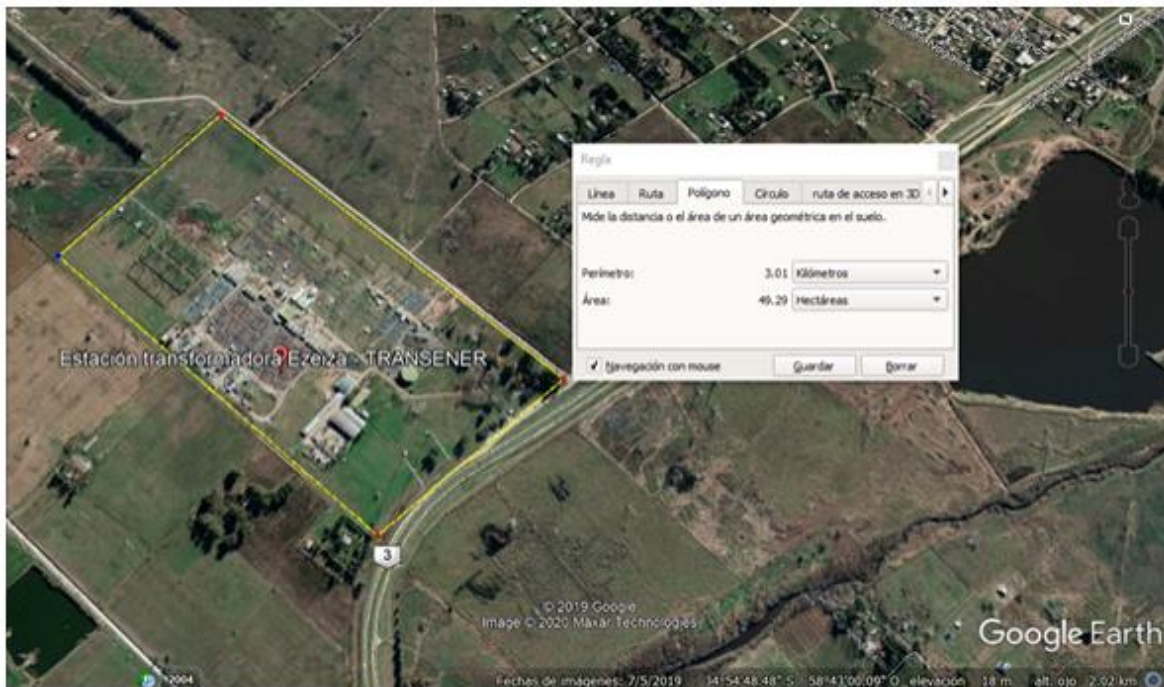

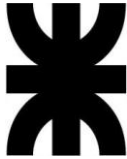


Figura 4.1

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 85 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Según el libro “Power Electronics Handbook” de Muhammad H. Rashid, una estación convertidora HVDC puede ocupar desde 15 hectáreas hasta 27 hectáreas, dependiendo de la tecnología empleada [41]. Según ABB [85], pueden llegar a ocupar hasta 43 hectáreas.

Teniendo en cuenta esto, el criterio del fácil acceso a la subestación se propone el emplazamiento de la estación convertidora más cercana a la E.T. Ezeiza en 30 hectáreas, al costado de la Ruta Provincial 6:

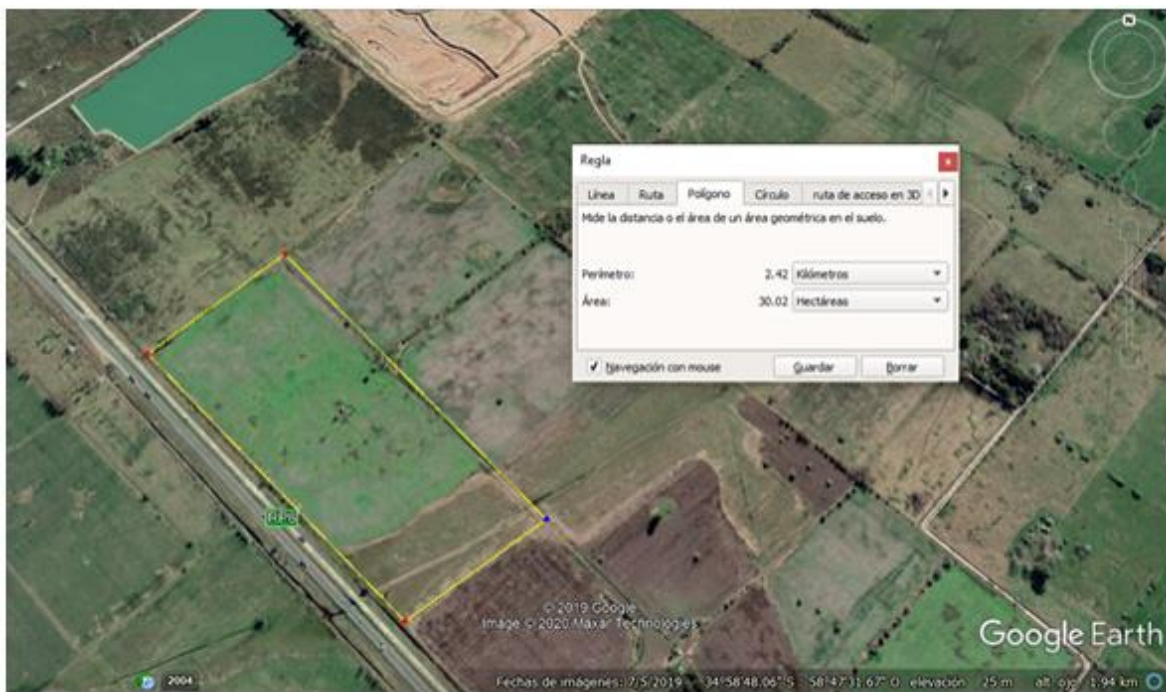

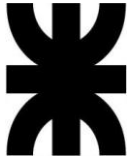


Figura 4.2

Las coordenadas donde se ubicará la ET son:

$34^{\circ}58'53.12''S$ $58^{\circ}47'54.30''O$

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 86 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Sabiendo donde se ubica el proyecto hidroeléctrico Corpus, se busca una ubicación cercana al Proyecto para instalar la otra estación convertidora, con la misma superficie.

Se debe tener en cuenta que existe un camino rural de 5 km (el cual puede ser mejorado como parte de la obra civil de realización de la represa), que permite acceder desde la Ruta Provincial 6 al Proyecto Hidroeléctrico sin pasar por el municipio de Corpus y que nace en la coordenada:

$27^{\circ} 8'37.27''S 55^{\circ}29'41.60''O$

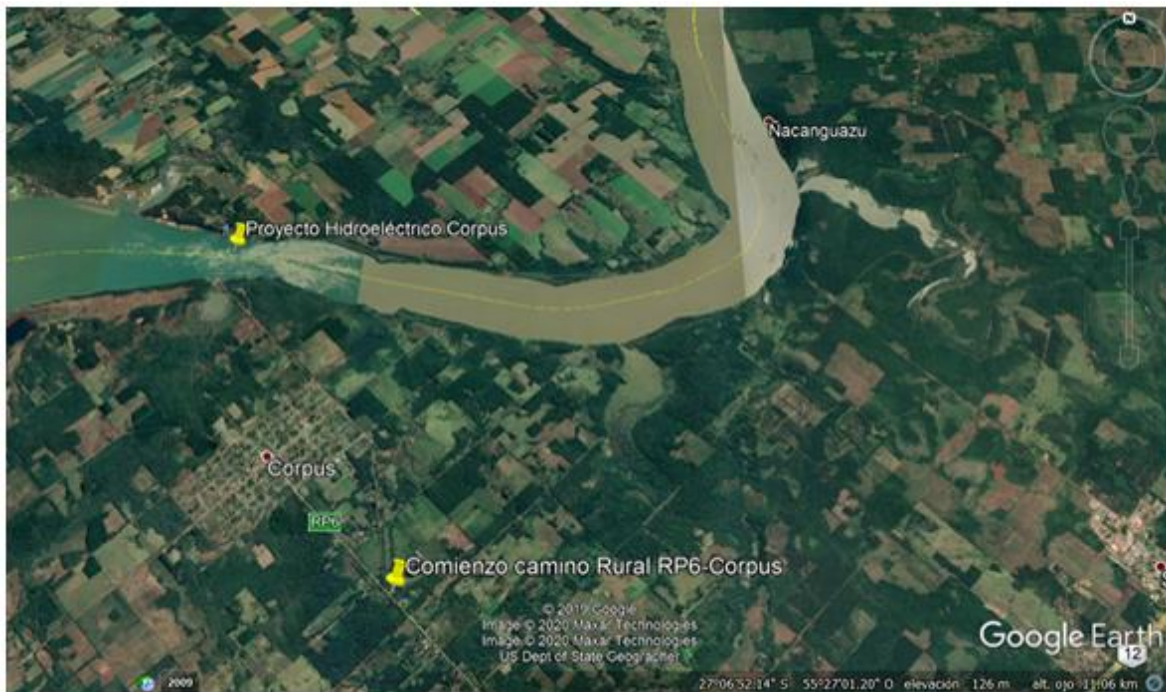


Figura 4.3

Marcando el camino en el mapa:


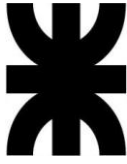

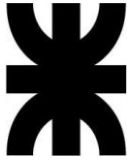
| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 87 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |



Figura 4.4

Al costado de dicho camino se realizará el trazado del tramo corto de línea de Corriente Alterna que va desde el Proyecto Hidroeléctrico Corpus hasta la estación convertidora.

Con el criterio de acceder fácilmente a la línea (caminos en buen estado), no relocalizar población (por ende, no elegir terrenos con construcciones o casas ocupadas) y desforestar lo menos posible, el primer terreno apto de 30 hectáreas donde podría instalarse la estación convertidora es el siguiente:

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 88 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

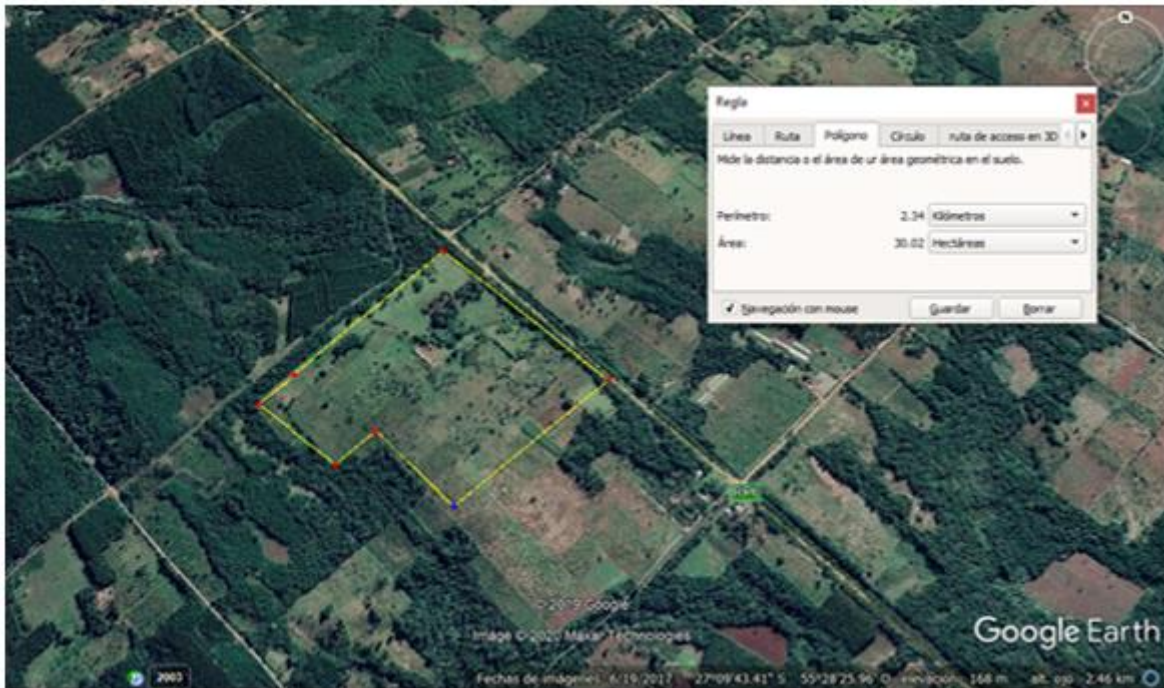


Figura 4.5

Las coordenadas del mismo son:

$27^{\circ} 9'47.08''S 55^{\circ}28'39.54''O$

A los 5 km de camino rural se le suman 2,5 km más de distancia transitables por Ruta Provincial 6 hasta la Estación Convertidora.

Las posiciones definitivas de ambas estaciones convertidoras varían ligeramente en función de las acometidas finales.

Visualizando éstos tres puntos de referencia en el mapa:


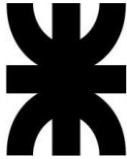

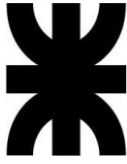
| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 89 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |



Figura 4.6

Por lo tanto, los dos puntos a conectar por la línea de alta tensión en corriente continua son los siguientes:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 90 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

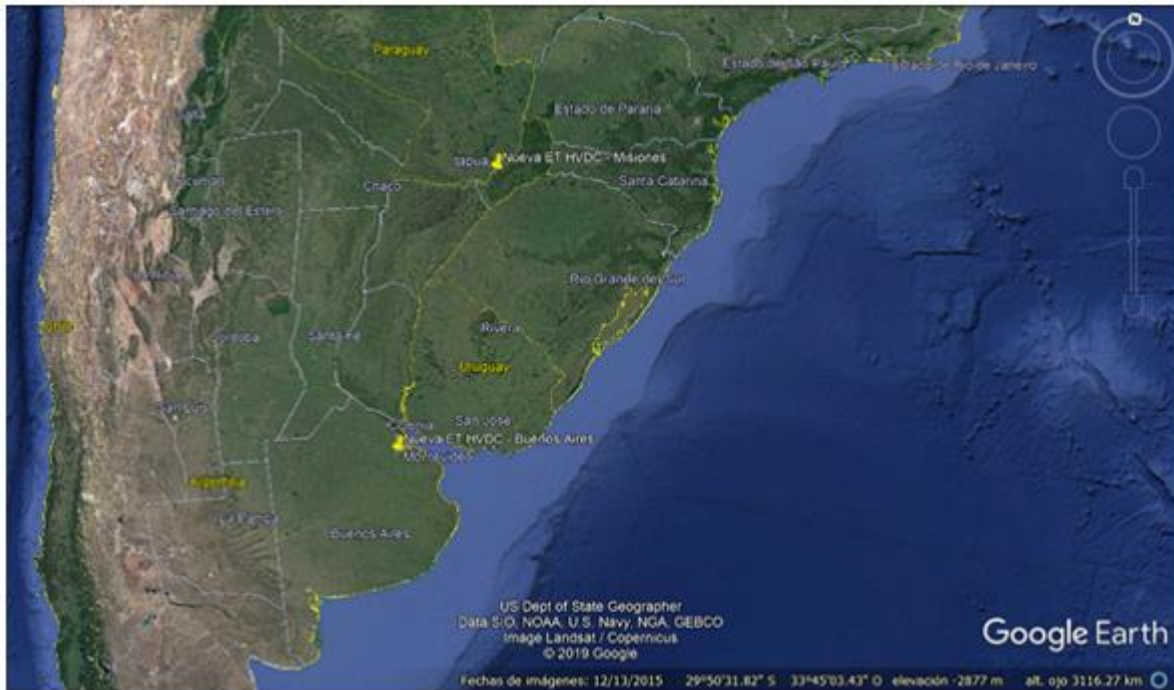



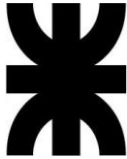
Figura 4.7

Trazas de la línea

Una vez identificados los dos puntos a conectar, se deben realizar la alternativa de ruta, utilizando:

- Cartas topográficas, para identificar los diferentes obstáculos al realizar la traza
- Google Earth, para dibujar las alternativas de ruta y poder detectar los obstáculos que no se visualizan al usar la carta topográfica.


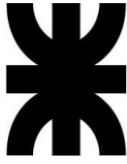
En este caso, se utilizan las cartas topográficas incluidas en el Atlas Argentina 500 k. Las mismas tiene una escala 1:500000 y son de libre acceso a través del visualizador de mapas web del Instituto Geográfico Nacional [42].

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 91 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Sobre la misma se trazarán los vértices (punto donde se colocan estructuras de retención y donde las líneas de transmisión cambian de dirección o cruzan la ruta).

De este modo, también se puede visualizar los obstáculos de la alternativa de traza hechas.

En la medida de lo posible, se procurará que la traza se realice en tramos rectos.

| | | | | | |
|---|---|--|--|--------------|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 92 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Tipos de estructuras a utilizar [43]

La norma AEA 95301 establece en su apartado 6.3 los tipos de estructuras.


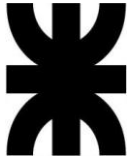
Las mismas pueden tener una topología plana o espacial, pero en todos los casos de diseño y cálculo de la estructura debe tenerse en cuenta la naturaleza espacial de las cargas.

Allí, se clasifican en:

- Estructuras tipo monoposte
- Estructuras aporticadas (constituidas por dos o más postes)
- Estructuras reticuladas:
 - Autoportadas (a usar en este proyecto en las retenciones)
 - Arriendadas (a usar en este proyecto en las suspensiones)
 - Cross-rope

La misma norma, en el punto 6.3.4 establece la denominación de las estructuras según la función que cumplan para asegurar la estabilidad general de la construcción. Las mismas pueden ser:


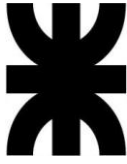
- Estructuras de suspensión (destinadas a soportar solamente los conductores en tramos rectos o con desvíos limitados)
- Estructuras de suspensión en ángulo (destinadas a soportar el tiro de los conductores en los puntos de desvío de la línea; se admite de 4 a 10° de desvío)
- Estructuras de retención de línea (destinadas a formar puntos fijos en los tramos rectos de la línea, que se colocan cada una determinada distancia)
- Estructuras de retención en ángulo (destinadas a formar puntos fijos en los vértices de desvío de la línea)

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 93 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

- Estructuras de retención terminal (destinadas a soportar el tiro unilateral de todos los cables)

Las estructuras de retención son más costosas que las de suspensión, por lo que se procurará realizar la traza de la línea en tramos rectos en la media de lo posible.

También, hay estructuras especiales al cruzar por ríos, rutas, autopistas, o vías férreas, ya que en esos casos las distancias de seguridad serán mayores.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 94 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |


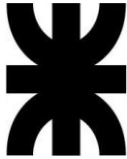
Alternativa de traza propuesta

Se tuvo en cuenta que:

- Para unir ambas estaciones convertidoras, se debe llegar desde la Provincia de Misiones hasta la Provincia de Buenos Aires en el tramo más corto posible. Por observación del mapa, podemos ver que el mismo se dará pasando por las provincias de Corrientes y Entre Ríos (camino más parecido a una línea recta).
- La presencia del Río Paraná es una cuestión a considerar: el cruce debe darse en el tramo angosto posible. Esto lleva a considerar dos opciones posibles de cruce: cruzar por Zárate o cruzar por Corrientes hacia Resistencia. Ésta última opción se desecha debido a que la distancia de la línea será mayor.
- Se procuró realizar la traza en tramos rectos y siguiendo caminos transitables (preferentemente Rutas Nacionales o Rutas Provinciales, porque su mantenimiento es mayor). Esto permite (según lo enunciado en la Ley 19552: “Régimen de Servidumbre Administrativa del Electroducto”) vigilar, conservar o reparar el electroducto de forma más accesible. Esto permite minimizar costos de mantenimiento y evitar el costo de servidumbre de paso (servidumbre adicional a la administrativa del electroducto que se debe tener en cuenta en caso de construir un camino con tal fin en un terreno privado).

Al realizar la traza, se evitó afectar lo menos posible a:

- Ruinas Jesuíticas y otros Patrimonios Históricos Culturales de la Humanidad (ejemplo: Ruinas de San Ignacio)

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 95 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |


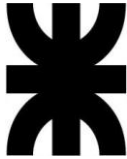
- Reservas Provinciales o Nacionales (ejemplo: Parque Provincial Teyú Cuaré)
- Ciudades (zonas urbanas)
- Parajes y pequeños pueblos rurales (zonas rurales)
- Clubes y Barrios Cerrados (ejemplo: Barrio Parque el Remanso)
- Aeródromos (ejemplo: Agro aéreo Gualeguay)
- Hospitales (ejemplo: Hospital Baldomero Sommer)
- Estaciones del Ferrocarril (ejemplo: estación Chenaut) o Líneas Férreas (por ejemplo, líneas del Ferrocarril General Urquiza).

Se trabajó primeramente sobre la carta topográfica mencionada [44]. Se adjuntan capturas de pantalla del trabajo realizado de forma minuciosa y punto por punto en el sitio web (cada punto es un vértice):



Figura 4.8

Vista de carta topográfica:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 96 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

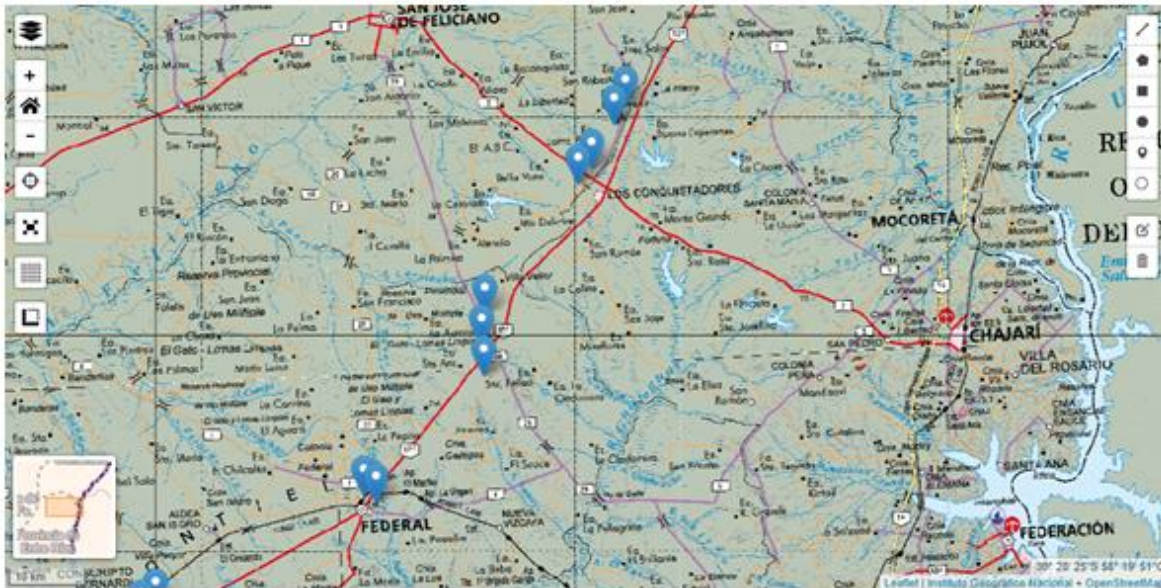






Figura 4.9

Para la lectura de la misma, se debe tener en cuenta que:

- Las ciudades se simbolizan como color rosa.
- Las RN y las RP principales se simbolizan con color rojo o con color amarillo si son autopistas.
- Los caminos rurales se simbolizan en color naranja y las RP secundarias se simbolizan en color naranja o violeta.
- Las vías férreas se simbolizan con color negro y la inscripción correspondiente de la línea (ejemplo: FCNDFS para el Sarmiento)
- Los aeródromos se simbolizan con un círculo y 1 línea cada 90° (de este

modo: ).

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 97 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

- Los puentes angostos se simbolizan con dos líneas al costado de las rutas (de este modo: ).
- Los arroyos, ríos y canales se simbolizan con dos líneas azules, variando el espesor de la superficie comprendida entre ellas según el ancho en cada caso.


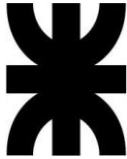
Medición de la longitud de la línea: como se puede ver en la siguiente captura de pantalla, la longitud de la línea (medida sobre las cartas topográficas) es de 1175,333 km:




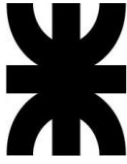
Figura 4.10

Con el objetivo de dar una idea general de por donde pasa la línea en la traza propuesta, se enlistan las localidades más importantes cercanas a su traza:

- En la provincia de Misiones:
 - Gobernador Roca

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 98 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

- San Ignacio
- Santa Ana
- Bondpland
- Leandro N. Alem
- Cerro Azul
- Pindapoy
- San José
- Apóstoles
- Azara
- En la Provincia de Corrientes:
 - Santo Tomé
 - Alvear
 - La Cruz
 - Yapeyú
 - Paso de los Libres
 - Bondpland
 - Colonia Libertad
- En la Provincia de Entre Ríos
 - San Jaime de la Frontera
 - Los Conquistadores
 - Federal
 - Sauce de Luna
 - Villaguay
 - Rosario del Tala
 - Gobernador Mansilla

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 99 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

- General Galarza
- Gualeguay
- Médanos
- Ceibas
- En la Provincia de Buenos Aires:
 - Zárate
 - Solís
 - Parada Robles
 - Torres
 - Open Door
 - Luján
 - General Rodriguez
 - Ezeiza


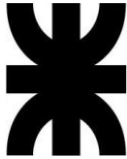
Se realizó en Excel una tabla que permite describir la traza de la línea, detallando la provincia por donde pasa la línea, la cantidad de vértices marcados por cruces de ruta y cambios de dirección, y la cantidad de obstáculos atravesados entre vértices. Éstos obstáculos son: caminos (116), ríos (2), arroyos (72), canales (23), vías férreas (24), lagos (1). Los mismos deben revisarse al colocar los vértices en Google Earth.

La tabla es de este tipo:


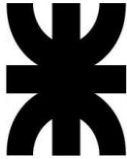
| Vértice | Traza de la línea | Provincia | N° de obstáculos para llegar al próximo vértice | | | | | |
|---------|-------------------|-----------|---|------|---------|---------|--------------|------|
| | | | Caminos | Ríos | Arroyos | Canales | Vías Férreas | Lago |
| | | | | | | | | |

Figura 4.11

Y se adjunta en forma de anexo al trabajo.

| | | | | | |
|---|---|---|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 100 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

La cantidad de vértices marcados en ésta ruta por causa de cruces de ruta o cambios de dirección es 127.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 101 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Traza en Google Earth

El trabajo en éste software tiene como objetivos:


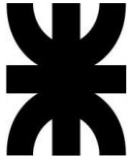
- Obtener una mejor visualización de ruta y del tipo de suelo de la misma
- Poder visualizar la vegetación a ser cortada y minimizarla
- Determinar la traza definitiva de la línea mediante observación de obstáculos (y la medida de los mismos)
- Obtener la planialtimetría de la traza (la misma se debe presentar en Plano de AutoCAD en tamaño a elección)

Si bien no se corrigió sustancialmente el trayecto de la línea, al realizar la traza definitiva en Google Earth, se pudieron corregir algunas cuestiones no contempladas en la traza realizada en la carta topográfica. A modo de ejemplo se enlistan algunas:

- Cruce de Río Gualeguay
- Pequeños pueblos no contemplados (por ejemplo, Mojones Norte)
- Barrios cerrados (por ejemplo, Estancia Smithfield en Zárate)
- Estaciones de trenes o colectivos
- Cruces con otras líneas no contemplados

Asimismo, se minimizaron los cruces de caminos tanto como fue posible.

Se adjunta una captura de pantalla de la traza realizada [45]:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 102 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NEA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

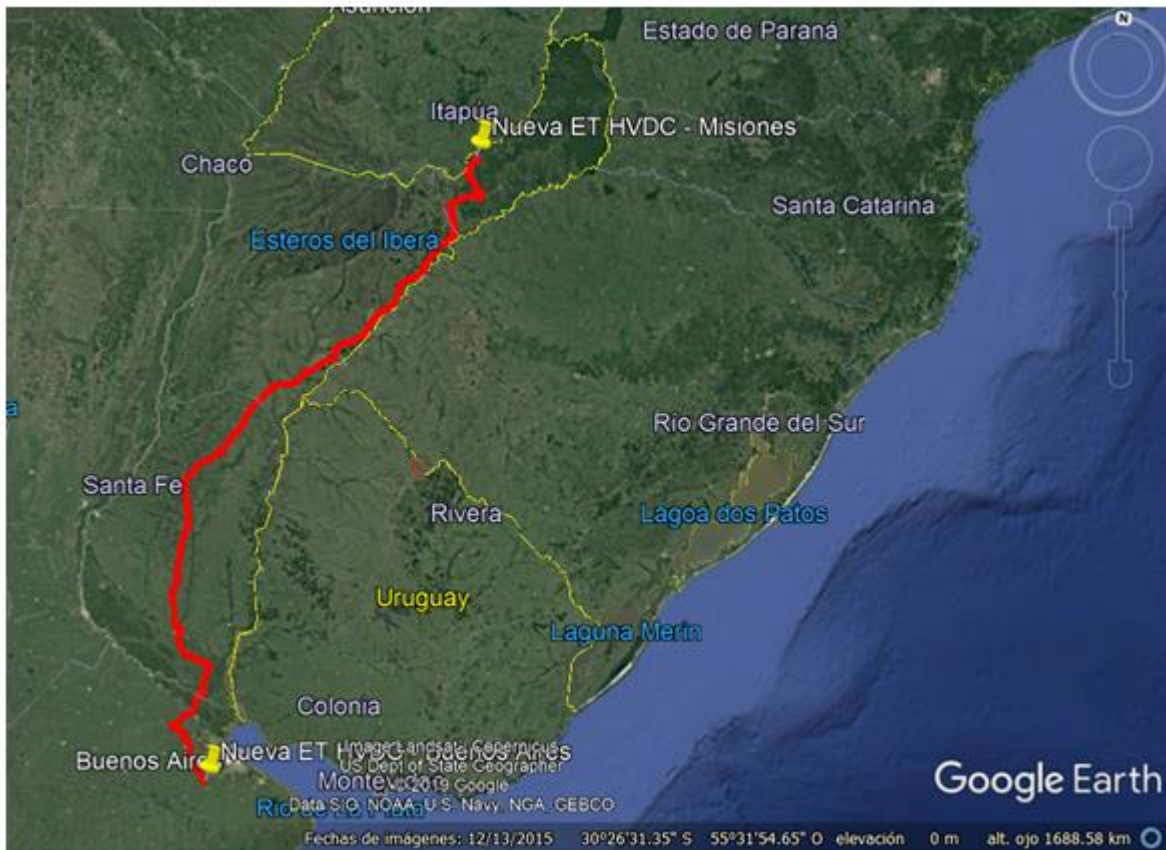

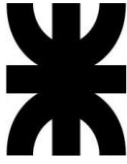


Figura 4.12

La longitud de la misma aproximadamente es de 1223 km, tal como puede observarse en la siguiente imagen:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 103 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

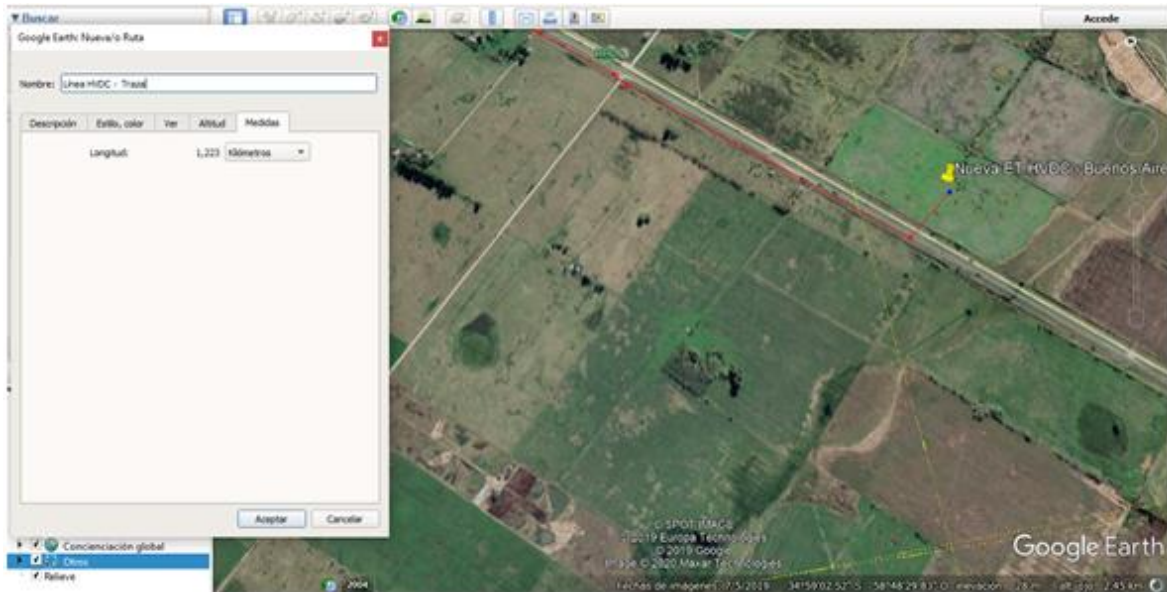


Figura 4.13


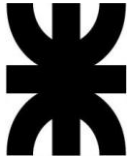
Si bien éste método permite determinar la traza con alta precisión, la misma se termina de ajustar definitivamente mediante inspecciones en campo con equipos GPS.

En la misma, participan ingenieros eléctricos de diseño de la línea, ingenieros civiles, geólogos, y encargados ambientales.

Luego, se obtiene un informe de observaciones de campo.

Se adjuntan a este trabajo los Planos de Imágenes Satelitales, en formato A1, para mostrar la traza de la línea. Las mismas fueron obtenidas con Google Earth, a una resolución de 3840x2160 (4K UHD).

La línea se puede ver en color rojo en cada plano.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 104 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |


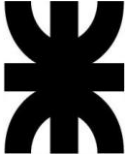
Para el formato de presentación de documentación, se toma como referencia el Pliego de Bases y Condiciones publicados por el Ministerio de Energía sobre la Línea de Extra Alta Tensión de 500 kV E.T. Río Diamante – Nueva E.T. Charlone. Se puede acceder al mismo en el siguiente link:

<https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sppp-modelo-de-pliego-preliminar-vf.pdf>.

Allí se especifica que la presentación de la oferta responderá al formato A4, a excepción de los planos y documentación similar, que se presentarán doblados al tamaño de hojas requerido.

El objetivo de cada uno de los 6 planos es:

- PLANO_IMAGENES_SATELITALES_001: Nueva ET HVDC en la Provincia de Buenos Aires y salida de la línea por RP6
- PLANO_IMAGENES_SATELITALES_002: Circulación de la línea evitando el lado donde se encuentra la vegetación
- PLANO_IMAGENES_SATELITALES_003: Evitamiento de localidad y cambio de dirección
- PLANO_IMAGENES_SATELITALES_004: Cruce del Río Paraná
- PLANO_IMAGENES_SATELITALES_005: Cruce del Río Gualeguay
- PLANO_IMAGENES_SATELITALES_006: Nueva ET HVDC en la Provincia de Misiones y salida de la línea por RP6

| | | | | |
|---|---|--|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 105 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NEA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Perfil del terreno [46]

Se adjunta a continuación una captura de pantalla con el perfil del terreno dado por Google Earth:

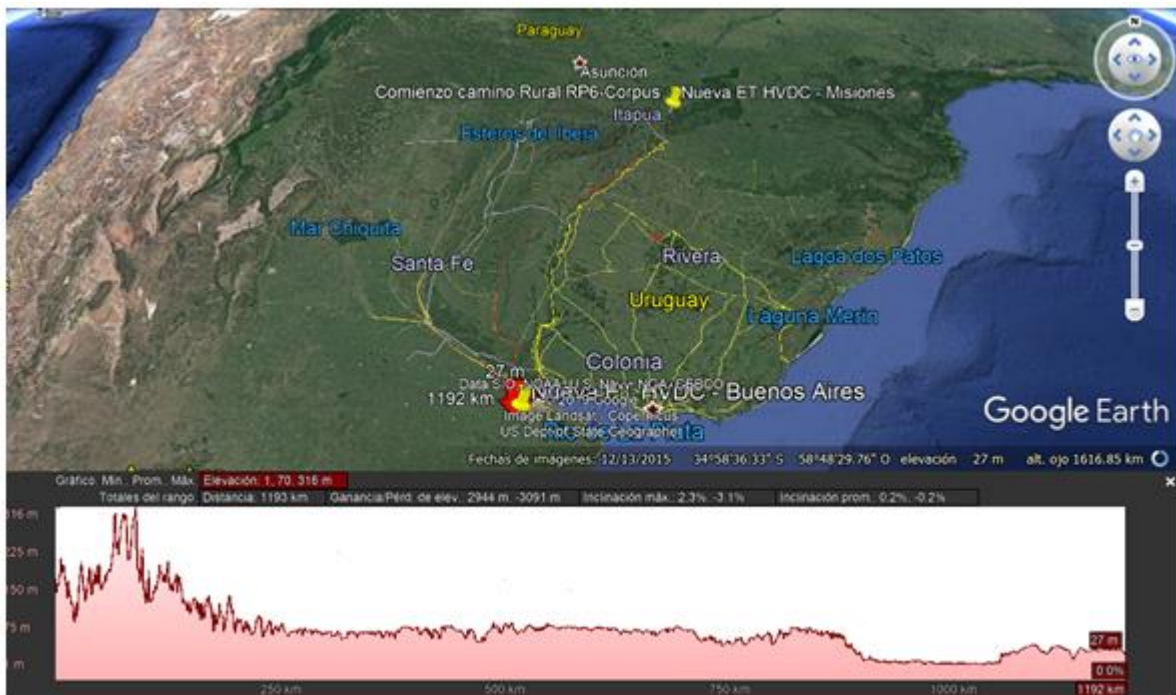


Figura 4.14

El punto de mayor altitud es de 316 m y se da en la Provincia de Misiones.

El punto de menor altitud es de 2 m y se da en la Provincia de Entre Ríos.


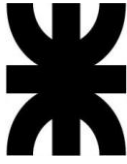
Se adjuntan a este trabajo en formato A1 los planos de la traza:

- Vista longitudinal
- Vista en planta

Ambos fueron realizados a partir de los datos obtenidos con Google Earth (4534 puntos), transformando de coordenadas X, Y, Z a coordenadas UTM para crear

| | | | | |
|---|--|--------|--|-------------------|
|   | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 106 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

una polilínea en AutoCAD. En dicho proceso se utilizó el software TCX Converter y el GEO_UTM_MAS.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 107 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Servidumbre [47]

Punto de vista legal

La servidumbre administrativa del electroducto está regulada por la ley 19552. La misma, en su artículo N°2, designa con el nombre de electroducto a todo el sistema de instalaciones, aparatos o mecanismos, destinados a transmitir, transportar y transformar energía eléctrica.


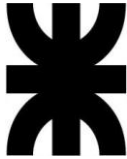
La servidumbre se paga por el uso del terreno y no implica la propiedad del mismo. Si además del pasaje de la línea fuese necesario construir un camino para vigilar, conservar o reparar el electroducto, se agrega la servidumbre de paso.

La franja de servidumbre se trata en la página 47 (sección 9) de la norma AEA 95301. En la misma se define a la franja de servidumbre como aquella que se extiende a ambos lados de la línea y posee restricciones para su empleo.

Allí, se determina el ancho de la franja.

Dentro de la superficie afectada por la servidumbre queda prohibido:

- a) Cualquier tipo de edificación o construcción destinada a vivienda permanente.
- b) Su utilización para el emplazamiento de escuelas.
- c) Modificar los niveles del suelo ya sea con excavaciones o terraplenes, que afecten o puedan afectar la estabilidad de las estructuras, las tareas de mantenimiento o disminuyan las alturas y distancias de seguridad.
- d) La plantación de árboles o arbustos que en su máximo estado de crecimiento superen la altura de 4 metros, salvo el caso de bosques existentes que se considerarán en forma especial en la elección de la traza o en el diseño de la línea, de acuerdo con las distancias mínimas de seguridad establecidas.
- e) La quema de rastrojos, matorrales, etc., en la franja de servidumbre (o próximas a ella) que por efecto de la dirección de los vientos puedan sacar la línea de

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 108 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

servicio por ionización del aire, o que contaminen o polucionen sus aislaciones en forma severa, más allá de las propias de la zona geográfica correspondiente, consideradas en el proyecto.

f) El manipuleo o trasvasamiento de combustibles líquidos o gaseosos, o volátiles inflamables.

g) La instalación de piletas de natación o cementerios.

h) La instalación de basurales a cielo abierto, por el riesgo de fuego espontáneo que conllevan.

i) Realizar voladuras de terrenos con explosivos.


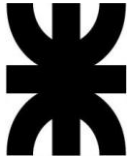
j) El empleo de alambrados electrificados, que no contemplen lo establecido en el punto 8.3.-

Respecto al resarcimiento económico al propietario, el mismo depende del tipo de explotación en el suelo y de la forma de trazado del electroducto (Resolución ENRE 0602/2001).

El valor del terreno por metro cuadrado se fija, según la jurisprudencia, por el valor presente del mismo.

Si el propietario no está conforme con el acuerdo, podrá iniciar acciones legales ante el juez federal competente.

La restricción del terreno por el paso de la línea debe estar inscripta parcela por parcela en el registro de la propiedad (catastro).

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 109 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |


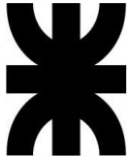
Ancho de la franja

La franja total del terreno, afectada por servidumbre, ancho físico de la línea, (bajo condición de viento máximo) más las franjas de seguridad a ambos lados responde a:

$$A = C + 2(L_k + f_i) \sin(\alpha) + 2d \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Siendo:

- A: ancho total de la franja, en metros.
- C: distancia entre los puntos de fijación de los conductores extremos, en metros, para líneas horizontales o triangulares (en verticales es 0).
- L_k : longitud oscilante de la cadena de suspensión, en metros (para aisladores rígidos es 0).
- f_i : flecha inclinada máxima del conductor, en metros, para el estado de viento definido en el punto 6.2.2 para franja de servidumbre.
- α : ángulo de declinación máximo del conductor, por efecto del viento definido en el punto 6.2.2 para franja de servidumbre. Dicho viento se corresponde con el empleado para la determinación de las distancias eléctricas externas de la línea.
- d: distancia de seguridad en metros: $d = 1,5d_m + 2$
- d_m : distancia mínima en metros: $d_m = V_s/150$ y $V_s = \mu \times 1,2 \times 0,82 \times V_N$
- μ : coeficiente de sobretensión máxima de servicio (1,1 en general en sistemas trifásicos simétricos de 50 Hz y con centro de estrella, neutro, conectado rígidamente a tierra).
- 1,2: consideración del enrarecimiento del aire (humedad, polución, etc).
- 0,82: factor de valor de cresta de la tensión (tensión contra tierra).

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 110 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

- V_N : tensión nominal de la línea, en kV.

Para líneas horizontales como la que se diseña en este proyecto:

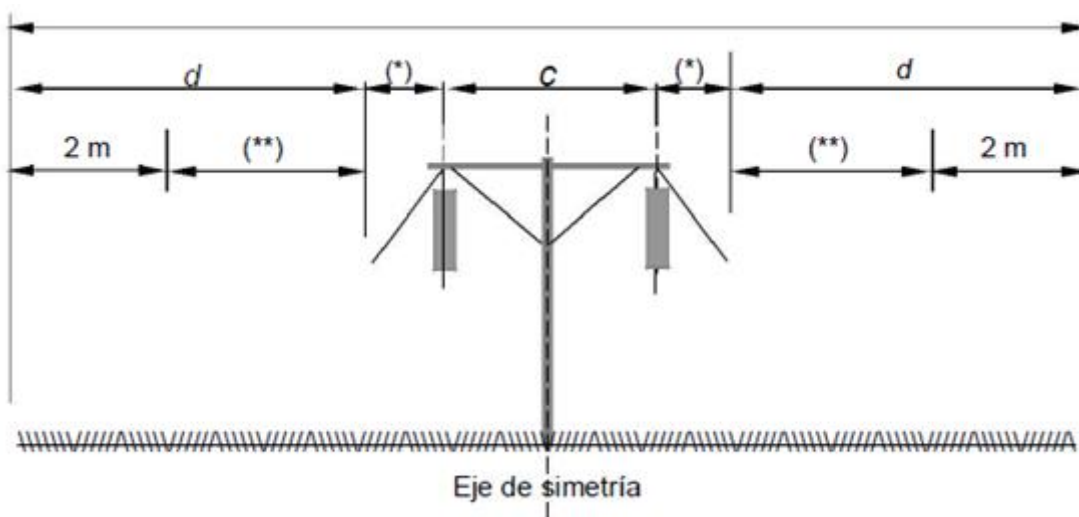

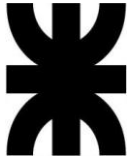


Figura 4.15

La distancia de seguridad se compone de dos partes, una variable en función de la sobretensión posible de maniobra, afectada de un coeficiente de seguridad y la otra fija definida en 2 metros, como distancia de avance circunstancial (ni provisorio, ni definitivo), a la franja de servidumbre establecida.

*) $(L_k + f_v) \sin(\alpha)$ [m]

***) $d = 1,5d_m$ [m]

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 111 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Dimensiones de torres de transmisión para HVDC [48]

Además de las consideraciones ya hechas respecto al uso de estructuras de retención o de suspensión, se puede ver las dimensiones típicas de torres de alta tensión en corriente continua.

Una de las dos alternativas es:

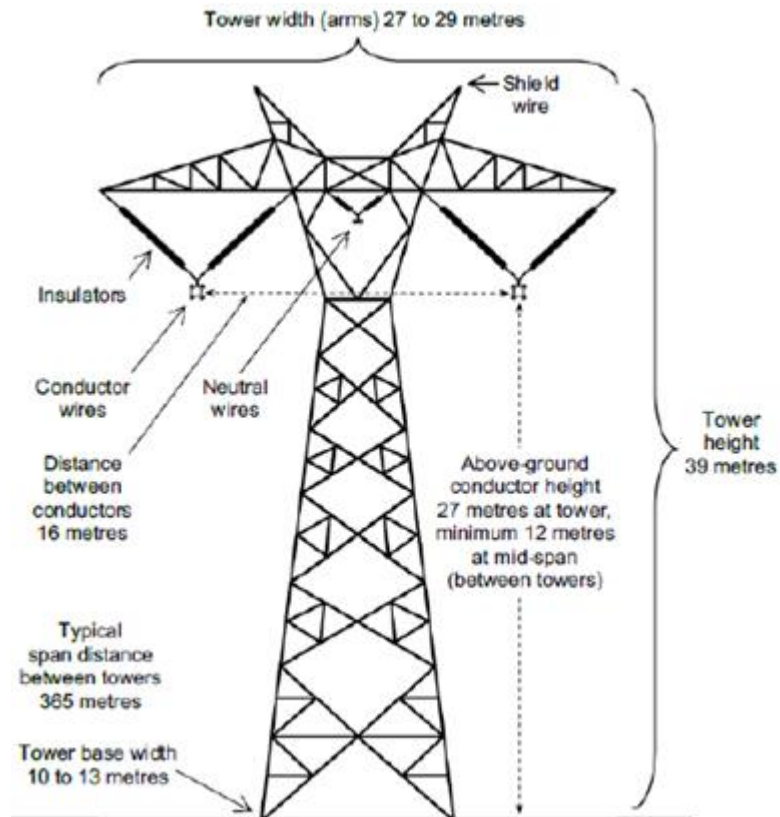

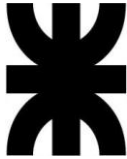


Figura 4.16

Otra alternativa se propone en el paper "Analysis of Lighting-attractive Areas Around High-voltage Direct Current Transmission Line" de Mohamed Nayel. La misma es:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 112 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

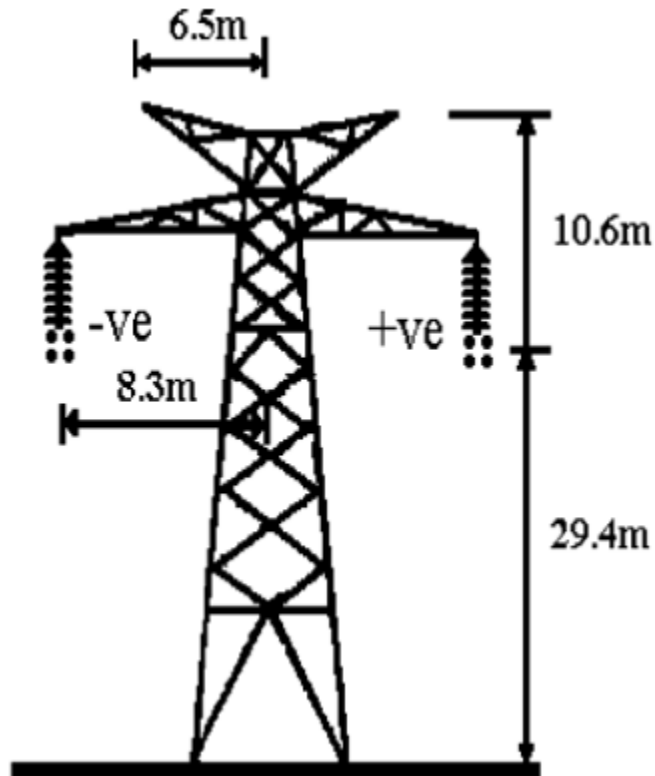

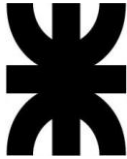


Figura 4.17

En esta alternativa, la distancia de los polos al suelo es 29,4 m, la distancia entre conductores es 16,6 m. La distancia del hilo de guardia al suelo es 40 m, y la distancia entre los polos y los hilos de guardia es 10,6 m.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 113 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Hilo de guarda: objetivo y reglas del buen arte para su diseño [49]

El hilo de guarda es un sistema de protección contra descargas directas sobre la línea. Los mismos tienen dos funciones importantes:


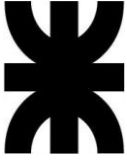
- Proteger las líneas aéreas contra descargas atmosféricas siendo su objetivo primordial:
 - Reducir la tensión inducida en la línea aérea por los rayos que caen en las cercanías
 - Proteger los conductores de fase, absorbiendo las descargas atmosféricas
 - Reducir la acción devastadora del rayo descargado directamente en la línea aérea

La disposición respecto a los conductores es fundamental para cumplir estos objetivos.

- Reducir el efecto de la corriente de cortocircuito y por ende de la resistencia de tierra, y disminuir las tensiones de paso que puedan poner en peligro a las personas o animales.

La acción protectora del hilo de guarda depende del ángulo de protección. El mismo depende del método utilizado.

Además, según el apunte de la cátedra de Transmisión y Distribución de la Energía de la FRRO, los hilos de guarda se colocan 1 o 2 sobre los conductores de fase (en este caso, se utiliza sólo 1), en la parte más alta de los soportes y conectados a tierra. Suele usarse un cable de acero galvanizado de 50 mm² a 70 mm², o bien cable de Al/Ac (aluminio y acero). La sección es únicamente por razones mecánicas. Para el dimensionado de los hilos de Al/Ac, se aplica una regla práctica aproximada, la cual determina que la sección del hilo de guardia en acero es aproximadamente igual a la sección del alma en acero del conductor.

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 114 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Cálculos electromecánicos

Por la traza de la línea, se pueden determinar las condiciones climáticas observando el anexo B de la norma (página 124) [50]:

ANEXO B. (REGLAMENTARIO)
Mapa de zonas climáticas de la República Argentina

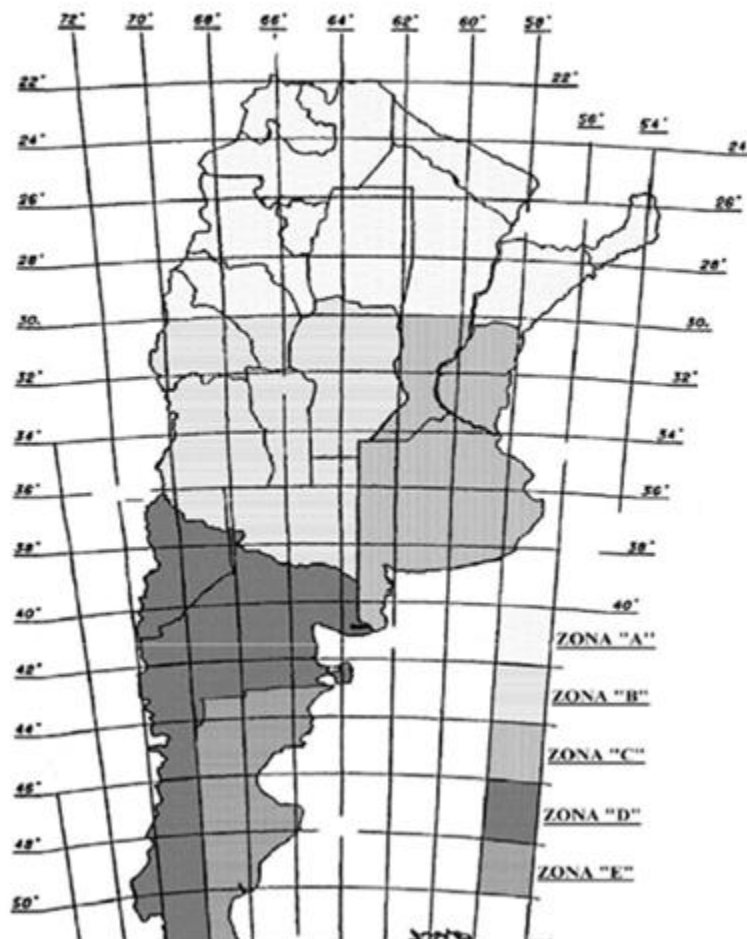

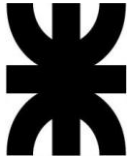


Figura 4.18

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 115 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |


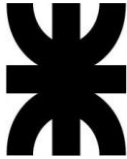
Además, se puede observar que la línea pasará por la zona A y la zona C [51].

Observando la página 52 de la norma, en la tabla Estados atmosféricos, se tiene:

Tabla 10.2-a – Estados atmosféricos

| Zona (*) | Estados Climáticos | Temperatura [°C] | Velocidad del viento (*) | Espesor manguito hielo |
|----------|-----------------------|------------------|--------------------------|------------------------|
| A | EI - Tmáx | + 50 | | |
| | EII - Tmín | - 5 | Ver nota 1 | |
| | EIII - Tc/viento máx. | + 10 | Ver punto 10.2.3.- | |
| | EIV - Tmedia | + 20 | | Ver nota 3 |
| | EV - Tmedia | + 20 | Ver nota 2 | |
| B | EI - Tmáx | +45 | | |
| | EII - Tmín | - 15 | Ver nota 1 | |
| | EIII - Tc/viento máx. | + 10 | Ver punto 10.2.3.- | |
| | EIV - Tc/viento medio | - 5 | Ver punto 10.2.4.- | Ver nota 3 |
| | EV - Tmedia | + 16 | Ver nota 2 | |
| C | EI - Tmáx | + 45 | | |
| | EII - Tmín | - 10 | Ver nota 1 | |
| | EIII - Tc/viento máx. | + 15 | Ver punto 10.2.3.- | |
| | EIV - Tc/viento medio | - 5 | Ver punto 10.2.4.- | Ver nota 3 |
| | EV - Tmedia | + 16 | Ver nota 2 | |


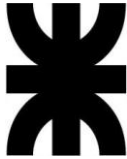
Tabla 4.1

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 116 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Teniendo en cuenta esto, se realizan las siguientes tablas:


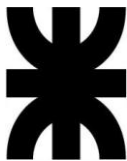
| Zona | Estados climáticos | Temperatura [°C] | Velocidad del viento | Espesor del manguito de hielo |
|------|-----------------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|
| A | EI – T _{máx} | +50 | Sin viento | Sin hielo |
| | EII – T _{min} | -5 | Sin viento | Sin hielo |
| | EIII – T _{c/Viento máx.} | +10 | 34 m/s | Sin hielo |
| | EIV – T _{media} | +20 | Sin viento | Sin hielo |
| | EV - T _{media} | +20 | Sin viento | Sin hielo |

Tabla 4.2

| | | | | |
|---|---|--|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 117 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

| Zona | Estados climáticos | Temperatura [°C] | Velocidad del viento | Espesor del manguito de hielo |
|------|-----------------------------------|------------------|------------------------|-------------------------------|
| C | EI – T _{máx} | +45 | Sin viento | Sin hielo |
| | EII – T _{min} | -10 | Sin viento | Sin hielo |
| | EIII – T _{c/Viento máx.} | +15 | 35 m/s | Sin hielo |
| | EIV – T _{c/Viento medio} | -5 | 14 m/s (40% de 35 m/s) | Sin hielo |
| | EV - T _{media} | +16 | Sin viento | Sin hielo |

Tabla 4.3

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 118 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Mapa de isotacas que permitió determinar la velocidad de los vientos [52]:

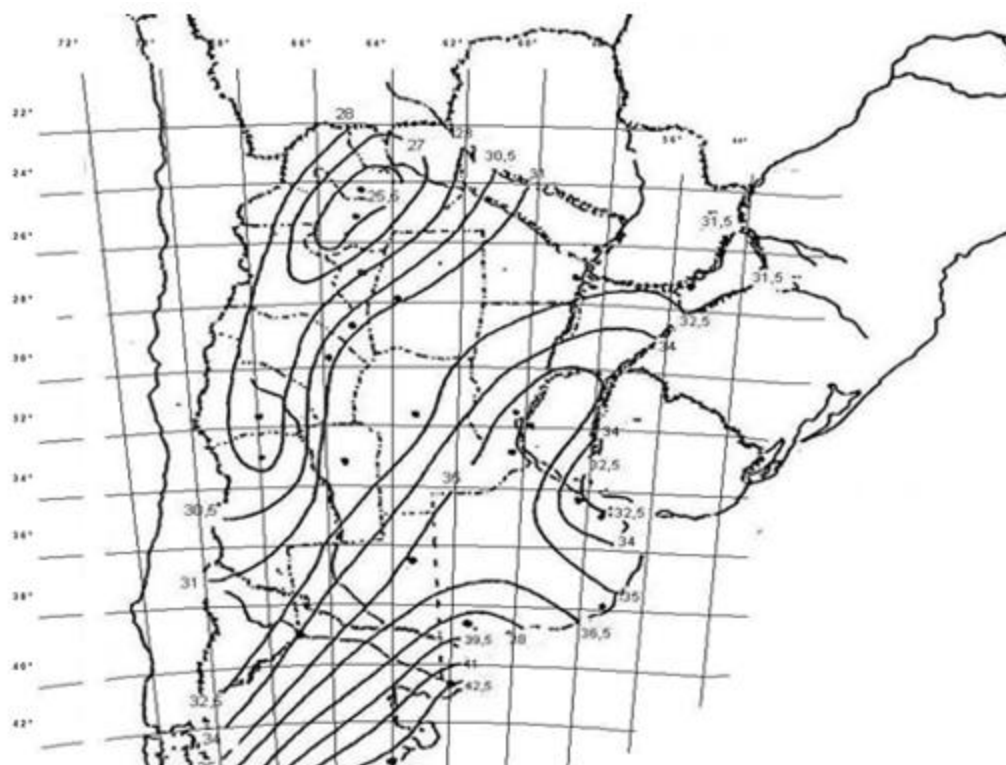

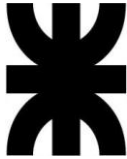


Figura 4.19

Se aclara en la norma que la zona climática a considerar en los límites, entre dos o más de ellas, para una posición geográfica determinada, corresponde a la de máxima exigencia de sus estados climáticos dentro de la cuadrícula entre meridianos y paralelos que los contenga. Considerando dicha cuadrícula de grado en grado.

Por lo tanto, se toma para el diseño de la línea los estados de más exigencia para sus estados climáticos.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 119 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Al observar ambas tablas, se concluye que la zona más comprometida es la zona C por presentar un viento máximo de 35 m/s, contra uno de 34 m/s en la zona A.

Parámetros eléctricos

Los mismos son:

- Potencia a transmitir=3500 MW (intermedia entre la mínima y máxima estipulada en el proyecto hidroeléctrico Corpus)
- Tipo de link HVDC: Bipolar
- Convertidor: VSC (convencional)
- Tensión de transmisión: +/- 500 kV
- Longitud de la línea de transmisión: 1223 km

Corriente por polo:

$$I = \frac{3500 \text{ MW}}{2 \times 500 \text{ kV}} = 3,5 \text{ kA} \quad \text{Ecuación 4.7}$$


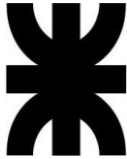
Dado que para líneas de +/-500 kV la configuración típica utilizada es de un arreglo de 4 conductores, se utiliza en este proyecto dicha configuración.

En ese, en cada conductor de dicho arreglo circula:

$$I = \frac{3,5 \text{ kA}}{4} = 0,875 \text{ kA} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Conductor utilizado

Observando el catálogo general de Cuerdas para Líneas Aéreas de Prysmian [53], se selecciona un conductor del tipo Prysalac (tipo ACSR, es decir, aluminio con acero reforzado). Las características del conductor elegido son:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 120 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

| | |
|---|--------|
| Sección nominal [mm ²] (Al/Ac) | 680/85 |
| Formación aluminio [N° x mm] | 54x4,0 |
| Formación acero [N° x mm] | 19x2,4 |
| Diámetro exterior aprox. [mm] | 36,0 |
| Masa aprox. [kg/km] | 2550 |
| Largo habitual de expedición [m] | 1000 |
| Carga de rotura calculada [kg] | 21043 |
| Resist. eléctrica máxima a 20° y c.c. [Ω/km] | 0,0426 |
| Intensidad de corriente admisible [A] | 1000 |

Tabla 4.5

Variación del valor de resistencia con la temperatura [54]

La resistencia óhmica varía con la temperatura porque varía la resistividad del material con la temperatura. Para el cálculo, se debe tener en cuenta las resistividades de los materiales:

- ρ_{Al} [(Ωmm²)/m]: 0,0295
- ρ_{Ac} [(Ωmm²)/m]: 0,72


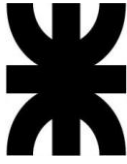
La resistencia para cada material del conductor a 20°C estará dada por el cociente entre la resistividad a 20°C y la sección en mm² del material particular:

$$R = \frac{\rho}{S} \times 1000 \times F_m \left[\frac{\Omega}{km} \right] \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Siendo F_m el denominado factor de forma, dependiente del n° de conductores, que permite calcular el estiramiento del conductor total (por ejemplo, si $F_m=1,0275$ m, quiere decir que cada 1 m, se estira 0,0275 m). Se adjunta una tabla con los valores para este caso:

| | |
|-------------------|-------------|
| N° de conductores | Fm |
| 19 | 1.022296875 |
| 54 | 1,03 |

Tabla 4.4

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 121 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

El valor obtenido para 19 conductores surge de ir interpolando progresivamente entre 7 y 54 (para 7, $F_m=1,02$).

Aplicando la fórmula enunciada, las resistencias a 20°C, serán:

- R_{Al} a 20°C: 0,0447 Ω
- R_{Ac} a 20°C: 8,6594 Ω

El paralelo de ambas da la resistencia total del conductor a 20°C, la cual será comparada con la dada como dato en el catálogo, sólo a fin de verificar:

- $R_{Paralelo}$ a 20°C: 0,04445443 Ω

En el catálogo se da el valor 0,0426 Ω Por lo tanto, debido a que la diferencia es muy menor, se consideran correctas las hipótesis asumidas para el cálculo.

Las temperaturas en la Zonas A y C son:

- -10°C, -5°C, 10°C, 16°C, 20°C, 45°C y 50°C.

Para calcular el valor de resistencia a otra temperatura diferente a 20°C, se utiliza:


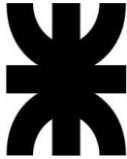
$$R_{T1^{\circ}C} = R_{20^{\circ}C} \times (1 + \alpha_{20^{\circ}C} \times (T1^{\circ}C - 20^{\circ}C)) \quad \text{Ecuación 4.10}$$

El valor de alfa depende de la temperatura y se da en la siguiente tabla para el aluminio y acero:

| Alfa a (°C): | -10 | -5 | 10 | 16 | 20 | 45 | 50 |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Aluminio | 0.004585 | 0.004482 | 0.0042 | 0.004097 | 0.004031 | 0.003662 | 0.003596 |
| Acero | 0.005038 | 0.004914 | 0.004577 | 0.004454 | 0.004376 | 0.003945 | 0.003868 |

Tabla 4.5

Los cálculos de la resistencia total del conductor para ambas temperaturas resultan, para ambas zonas:

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 122 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

| Zona A: Resistencias: | R max: A T=50°C | Rmin: A T=-5°C | Rmed: A T=20°C | Rviento: A T=10°C |
|----------------------------|--------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| Al (680/85) | 0.049504 | 0.039677 | 0.044684 | 0.042807 |
| Ac (680/85) | 9.664422 | 7.595641 | 8.659456 | 8.263142 |
| Total (paralelo en ohm/km) | 0.049252 | 0.03947 | 0.044454 | 0.042587 |

Tabla 4.6

| Zona C: Resistencias: | R max: A T=45°C | Rmin: A T=-10°C | Rmed: A T=16°C | Rviento: A T=10°C | R vientoyhieho: A T=-5°C |
|----------------------------|--------------------|-----------------|-------------------|----------------------|--------------------------|
| Al (680/85) | 0.048774 | 0.038537 | 0.043952 | 0.042807 | 0.039677 |
| Ac (680/85) | 9.513446 | 7.350722 | 8.505167 | 8.263142 | 7.595641 |
| Total (paralelo en ohm/km) | 0.048525 | 0.038337 | 0.043726 | 0.042587 | 0.03947 |


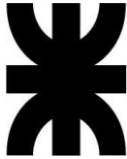
Tabla 4.7

Por lo tanto, se puede ver que la mayor resistencia se dará para la Zona A, para el caso de la temperatura máxima de 50°C.

Tomando ésta como la peor condición, las pérdidas por Efecto Joule serán, en kW/km:

$$P_{Joule} = \frac{(I [kA] \times 1000)^2 \times R_{50^\circ C} \times N^\circ \text{ de conductores por polo}}{1000} \quad \text{Ecuacion 4.11}$$

Reemplazando:

| | | | | | |
|---|---|---|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 123 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LÍNEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

$$P_{Joule} = \frac{(0,875 \text{ kA} \times 1000)^2 \times 0,049252 \frac{\Omega}{\text{km}} \times 4}{1000} = 150,83 \frac{\text{kW}}{\text{km}} \quad \text{Ecuacion 4.12}$$

Para los dos polos, y para una longitud de 1223 km, las pérdidas totales por efecto Joule serán:

$$P_{Joule} = 368,9391 \text{ MW} \quad \text{Ecuacion 4.13}$$

Considerando sólo éstas pérdidas, el rendimiento de la línea será:

$$\eta = 89,459\% \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Para la mejor condición (R=-10°C), las pérdidas por Efecto Joule serán, en kW/km:


$$P_{Joule} = \frac{(0,875 \text{ kA} \times 1000)^2 \times 0,038337 \frac{\Omega}{\text{km}} \times 4}{1000} = 117,41 \frac{\text{kW}}{\text{km}} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Para los dos polos, y para una longitud de 1223 km, las pérdidas totales por efecto Joule serán:

$$P_{Joule} = 287,174 \text{ MW} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Considerando sólo éstas pérdidas, el rendimiento de la línea será:

$$\eta = 91,975\% \quad \text{Ecuación 4.17}$$

| | | | | | |
|---|---|--|--|--------------|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 124 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Análisis de mejora de rendimiento

Al aumentar la tensión de transmisión utilizando los mismos conductores, se puede llegar a un rendimiento de línea de 95,88%. Sin embargo, esto implicaría mayores niveles de aislación (en la línea y en los convertidores HVDC), mayores distancias de seguridad, y mayor tamaño de estructuras, por lo cual ésta opción se desecha.

Aumentar el nivel de tensión a +/-800 kV pero utilizando conductores de menor sección (porque al usar mayor nivel de tensión para una misma potencia, baja la corriente), mejoraría el rendimiento de la línea solamente a un valor de 90,74% en la peor condición, por lo cual ésta opción se desecha.

Se concluye que se seguirá trabajando con la opción adoptada por los costos que implican las mejoras en el rendimiento de la misma.

Pérdidas por efecto Corona [55 y 56]

Siempre que hay presencia de campo eléctrico, hay una acumulación de cargas, la cual produce líneas de campo. Dicho campo eléctrico estará inmerso en un dieléctrico, y el mismo tiene una determinada rigidez dieléctrica. Si se supera un determinado nivel de tensión, el material pierde su rigidez dieléctrica y se produce un efecto de ionización.

Este fenómeno en líneas se denomina efecto Corona.


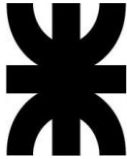
El gradiente de potencial, o potencial disruptivo, en el que se produce la ionización del medio se simboliza con la letra G_0 y se da en kV/cm.

Para el aire, en condiciones normales de temperatura y presión (760 mmHg y 25°C), G_0 en corriente continua es:

$$G_0 = 30 \left[\frac{kV}{cm} \right] \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Las pérdidas de potencia por efecto Corona se calcularán según el criterio de Knutsen e Iliceto; para sistemas unipolares el mismo enuncia:

$$P_{\text{efecto Corona}} = U \times k_c \times n \times r \times 2^{0,25(g-g_0)} \times 10^{-3} \quad \text{Ecuación 4.19}$$

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 125 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Donde:

- U: voltaje de línea
- n: número de conductores por polo
- r: radio de cada conductor integrante del polo
- g y g₀: máximo potencial disruptivo del arreglo de conductores por polo y el valor de referencia de potencial disruptivo.
- k_c: constante que varía con el estado de la superficie del conductor (para conductores limpios, suaves y sin deformaciones es 0,15 y para conductores viejos, rugosos y sucios es 0,35)

Para líneas bipolares, las pérdidas por efecto Corona en corriente continua son altamente dependientes de la altura de los conductores y el espaciamiento entre polos. El mismo criterio establece para sistemas bipolares:

$$P_{efecto\ Corona} = 2 \times U \times \left(1 + \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{2H}{S} \right) \right) k_c \times n \times r \times 2^{0,25(g-g_0)} \times 10^{-3}$$

Ecuación 4.20

Donde:


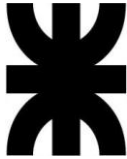
- U: voltaje bipolar de línea
- H: altura del conductor desde el suelo
- S: distancia entre polos

Aplicando a este caso, considerando los valores de altura del conductor sobre el suelo iguales a 27 metros y la distancia entre polos 16 metros (por la estructura típica para torres HVDC adoptada), resulta, para condiciones normales de temperatura y presión:

$$P_{efecto\ Corona} = 1,96 \frac{kW}{km}$$

Ecuación 4.21

Para 1223 km:

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 126 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |


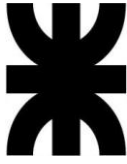
$$P_{\text{efecto Corona}} = 2,4 \text{ MW}$$

Hilo de guardia

Se elige el cable de guardia normalizado AC 50 [57] (cuerda de acero de 50 mm²). Las características del mismo son:

| | |
|--|------------------|
| Denominación | AC 50 |
| Sección total [mm ²] | 49,5 |
| Diámetro total [mm] | 9 |
| Composición alambres de acero | Nº: 7 |
| | Diámetro [mm]: 3 |
| Carga de rotura [kg] | 6202 |
| Masa [kg/km] | 392 |
| Módulo de elasticidad [daN/mm ²] | 18500 |
| Coefficiente de dilatación [°C ⁻¹ x10 ⁻⁶] | 11,5 |

Tabla 4.8

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 127 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Tensión máxima admisible

Para el conductor, la tensión máxima admisible se calcula como el cociente entre la carga de rotura calculada (en kg) sobre la sección del conductor (en mm²). Además, se aplica un coeficiente de seguridad K=3, que multiplica a la sección del conductor (según lo escrito en el catálogo del fabricante Prysmian):

$$\sigma_{adm} = \frac{\text{Carga de rotura [kg]}}{k \times \text{Sección del conductor [mm}^2\text{]}} \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Reemplazando:


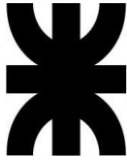
$$\sigma_{adm} = \frac{21043 \text{ kg}}{3 \times 1017,87 \text{ mm}^2} = 6,89 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \quad \text{Ecuación 4.23}$$

Fuerza del viento: la fuerza del viento sobre conductores y cables de guardia es:

$$F = Q(Z_p \times V)^2 \times F_c \times G_w \times C_F \times A \times \cos^2(\psi) \quad \text{Ecuacion 4.24}$$

Donde:

- F: fuerza del viento, en daN
- Q: 0,0613 factor que depende de la densidad del aire
- Z_p: factor del terreno, por altura y exposición.
- F_c: factor de carga, donde se especifica que de acuerdo con las condiciones de servicio de la línea se modificarán las cargas definidas corrigiendo el período de retorno.
- V: Velocidad básica del viento para una ráfaga de 10 minutos en m/s, asociado con uno de los siguientes períodos de retorno:
 - V_{pr}: asociado con el período de retorno anual, correspondiente con las condiciones de servicio de la línea.
 - V₅₀: asociado con el período de retorno de 50 años, es el viento que se obtiene del mapa de isotacas del anexo C de la norma.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 128 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

- C_F : coeficiente de presión dinámica o de forma (es igual a 1 para todos los diámetros en el caso de cables y cables de guardia).
- A: área proyectada en m^2 .
- G_w : factor de ráfaga correspondiente al cable.
- $(Z_p V)^2$: viento máximo de diseño en m/s.
- ψ : ángulo del viento con el eje perpendicular de la línea.

Tabla para el factor de carga F_c

Teniendo en cuenta que la línea es clase D:


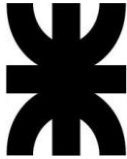
| Clase de línea según punto 5.2.- | Factor de importancia | Factor de Carga | Periodo de recurrencia (en años) |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------|----------------------------------|
| "B" y "BB" | 1 | 0.93 | 25 |
| | | 1.00 | 50 |
| "C" | 2 | 1.15 | 100 |
| "D" | 4 | 1.30 | 200 |
| "E" | 8 | 1.40 | 400 |

Tabla 4.9

Para nuestro caso, $F_c=1,30$.

Factor del terreno Z_p : Modifica la velocidad del viento básico teniendo en cuenta los efectos de la exposición al perfil del terreno y la altura de los objetos sobre el mismo, según tres categorías de exposición:

- Exposición B: zonas onduladas o forestadas, con numerosas obstrucciones de espacios cerrados, con la altura de las casas domésticas con promedio o superior a 10 m. Por ejemplo, áreas industriales o suburbios de grandes ciudades. Es necesario que la línea esté a menos de 500 m, o 10 veces la altura libre de la estructura, dentro de ésta zona.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 129 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

- Exposición C: zonas llanas, poco onduladas con obstrucciones dispersas tales como cercas, árboles, o construcciones muy aisladas, con alturas entre 1,5 m y 10 m. Por ejemplo: campo abierto, granjas o sembrados. Esta exposición es la representativa del terreno de aeropuertos donde son efectuadas las mediciones de la velocidad del viento.
- Exposición D: llanuras planas con pocas o ninguna obstrucción, con promedio de alturas de las posibles obstrucciones menor a 1,5 m. Es necesario que la línea no esté a más de 100 m. Por ejemplo: franjas costeras, llanuras sin árboles, mesetas desérticas o pantanos.

Tabla 10.2-f – Factores de terreno


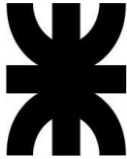
| Altura sobre el nivel del terreno Z [m] | Exposición B | Exposición C | Exposición D |
|---|--------------|--------------|--------------|
| 10 | 0.72 | 1.03 | 1.18 |
| 15 | 0.79 | 1.09 | 1.23 |
| 20 | 0.84 | 1.13 | 1.27 |
| 25 | 0.88 | 1.17 | 1.29 |
| 30 | 0.92 | 1.19 | 1.32 |
| 35 | 0.95 | 1.22 | 1.34 |
| 40 | 0.98 | 1.24 | 1.36 |
| 45 | 1.01 | 1.26 | 1.37 |
| 50 | 1.03 | 1.28 | 1.39 |
| 55 | 1.05 | 1.29 | 1.40 |
| 60 | 1.07 | 1.31 | 1.41 |

Nota 1: La interpolación lineal para valores intermedios de alturas Z mayores a 10 m es aceptable.

Nota 2: Para alturas mayores de 60 m puede usarse la siguiente ecuación para la determinación de los valores de Z_p

Tabla 4.10

$$Z_p = 1,61 \times \left(\frac{Z}{z_g}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \text{ para } (10 \leq z \leq z_g) \quad \text{Ecuación 4.25}$$

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 130 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Donde:

- Z: altura efectiva
- α y Z_g : parámetros definidos en la tabla:

Tabla 10.2-g – Parámetros

| Exposición | α | Z_g |
|-------------------|----------------------------|-------------------------|
| B | 4.5 | 366 |
| C | 7.5 | 274 |
| D | 10.0 | 213 |

Tabla 4.11

Para el caso analizado, la línea corresponde a una exposición C, ya que en la mayor parte de su trayectoria circula por campo abierto.

El promedio de las alturas de toda la trayectoria de la línea es 69,61 m sobre el nivel del mar, por lo tanto, se adoptará este valor. Como dicha altura excede las presentadas en la tabla, se utiliza la ecuación presentada. Reemplazando en la misma:

$$Z_p = 1,61 \times \left(\frac{69,61 \text{ m}}{274 \text{ m}} \right)^{\frac{1}{7,5}} \quad \text{Ecuación 4.26}$$


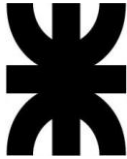
$$Z_p = 1,34 \quad \text{Ecuación 4.27}$$

Velocidad básica del viento (V)

Se adoptará como velocidad máxima 35 m/s y como velocidad media 14 m/s.

Factor de ráfaga correspondiente al cable (G_w)

El factor de ráfaga para el cable y cable de guardia se calcula con la siguiente expresión:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 131 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

$$G_w = 1 + 2,7 \times E \times \sqrt{B_w} \quad \text{Ecuación 4.28}$$

Siendo:

- $E = 4,9 \times \sqrt{k} \times \left(\frac{10}{Z}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$
- $B_w = \frac{1}{1 + 0,8 \times \frac{L}{L_s}}$

Donde:

- Z: altura efectiva
- L: vano de diseño, en metros
- k y L_s: parámetros definidos en la tabla 10.2-h

Para el cálculo, se adopta un vano de diseño de 400 m. Por ende: L=400 m.

Siendo E:

$$E = 4,9 \times \sqrt{0,005} \times \left(\frac{10}{69,61 \text{ m}}\right)^{\frac{1}{7,5}}$$

$$E = 0,2675$$

Y B_w:


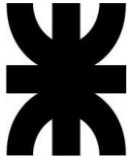
$$B_w = \frac{1}{1 + 0,8 \times \frac{400 \text{ m}}{67}}$$

$$B_w = 0,173$$

Por lo tanto,

$$G_w = 1 + 2,7 \times 0,2675 \times \sqrt{0,173}$$

$$G_w = 1,3$$

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 132 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Área proyectada en m²

El área proyectada en m² (A) es el producto del vano de diseño por el diámetro del cable. Como se tomó un vano de diseño de 400 m, y el diámetro del cable es 36 mm:

$$A = 400 \text{ m} \times 0,036 \text{ m} = 14,4 \text{ m}^2 \quad \text{Ecuación 4.29}$$



Ángulos del viento con el eje perpendicular de la línea

Se tomarán diferentes ángulos (desde 0° a 90° con saltos de 10°) y para ellos se calcularán diferentes fuerzas del viento, dados los dos vientos de 35 m/s y 14 m/s.

Se adjuntan los resultados en la tabla siguiente:

| V (viento) | ψ (ángulo en grados viento c/ eje perpendicular a la línea) | ψ (ángulo en radianes viento c/ eje perpendicular a la línea) | Fv (Fuerza del viento) [kg] |
|------------|--|--|-----------------------------|
| 14 | 0 | 0 | 526.141803 |
| | 10 | 0.174532925 | 510.2766864 |
| | 20 | 0.34906585 | 464.5949037 |
| | 30 | 0.523598776 | 394.6063522 |
| | 40 | 0.698131701 | 308.7526841 |
| | 50 | 0.872664626 | 217.3891188 |
| | 60 | 1.047197551 | 131.5354507 |
| | 70 | 1.221730476 | 61.54689926 |
| | 80 | 1.396263402 | 15.86511662 |
| | 90 | 1.570796327 | 1.97433E-30 |
| 35 | 0 | 0 | 3288.386269 |
| | 10 | 0.174532925 | 3189.22929 |
| | 20 | 0.34906585 | 2903.718148 |
| | 30 | 0.523598776 | 2466.289701 |
| | 40 | 0.698131701 | 1929.704276 |
| | 50 | 0.872664626 | 1358.681993 |
| | 60 | 1.047197551 | 822.0965671 |
| | 70 | 1.221730476 | 384.6681204 |
| | 80 | 1.396263402 | 99.15697885 |
| | 90 | 1.570796327 | 1.23396E-29 |

Tabla 4.12

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 134 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Como se puede ver, las mayores fuerzas se dan con un ángulo de 0° (como era de esperar) y con los siguientes valores:

- V=14 m/s, Fv=526,14 kgf
- V=35 m/s, Fv=3288,39 kgf

Fuerza generada por el hielo

En ninguno de los dos estados (A y C) hay manguito de hielo, por lo tanto, este esfuerzo no actúa sobre el conductor.

Carga total sobre el cable

El conductor está sometido a la acción del peso propio, presión del viento y en ciertas zonas, el peso del hielo (aunque no sea éste el caso).

El peso propio y el del manguito del hielo se ejercen en dirección vertical hacia abajo, mientras que el del viento se ejerce en dirección horizontal.

El peso del cable será el producto entre la masa aproximada del cable (kg/km) por el vano considerado para el cálculo (km):


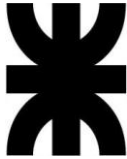
$$P_{cable} = 2550 \frac{kg}{km} \times \left(\frac{400}{1000} \right) km = 1020 kg \quad \text{Ecuación 4.30}$$

Resultados

Se resume en tabla la fuerza resultante a la que está sometido el cable, para el estado climático considerado (Zona C):

| Estados climáticos | Peso del cable [kg] | Fv [kg] | Resultante [kg] |
|-----------------------|---------------------|-------------|-----------------|
| EI – Tmáx | 1020 | 0 | 1020 |
| EII – Tmin | 1020 | 0 | 1020 |
| EIII – Tc/Viento máx. | 1020 | 3288.386269 | 3442.94703 |
| EIV – Tc/Viento medio | 1020 | 526.141803 | 1147.704316 |
| EV - Tmedia | 1020 | 0 | 1020 |

Tabla 4.13

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 135 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Vano crítico

Si bien se adoptó un vano de diseño de 400 m (típico para líneas de 500 kV), hay un vano intermedio en el cual tanto el estado de mayor temperatura como el de mayo carga son igualmente desfavorables. Dicho vano, es el vano crítico. Otra definición de vano crítico es la que enuncia que es aquel vano que, frente a una disminución de la tensión mecánica por variación de la temperatura, la misma se compensa por el aumento de tensión debida a la variación de la carga.

La ecuación del vano crítico es:


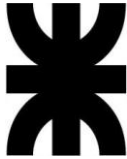
$$a_c = p_{adm} \sqrt{\frac{24\alpha(t_2 - t_1)}{g_2^2 - g_1^2}} \quad \text{Ecuación 4.31}$$

Siendo:

- p_{adm} : tensión admisible en kg/mm²
- α : coeficiente de dilatación del conductor (°Cx10⁻⁶, para cables ACSR: 19,4)
- t (°C): temperatura del estado analizado
- g (kg/(m*mm²)): carga específica de cada estado

Con los resultados obtenidos del vano crítico, se podrán sacar conclusiones al compararlo con el vano de diseño, habiendo tres alternativas posibles:

- Si el vano de diseño es menor que el vano crítico, el estado más desfavorable es el de menor sobrecarga
- Si el vano de diseño es mayor que el vano crítico, el estado más desfavorable es el estado de mayor sobrecarga
- Si el vano crítico es imaginario, el estado más desfavorable es el de mayor sobrecarga

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 136 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Cálculos para este caso

La tensión admisible se calcula como el cociente entre la carga de rotura calculada del conductor (kg) y el producto del coeficiente de seguridad (tomando como K=3 según el fabricante del conductor) y la sección del conductor (calculada como Pi por radio exterior al cuadrado):

$$p_{adm} = \frac{21043 \text{ kg}}{3 \times 1017,87 \text{ mm}^2} = 6,89 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \quad \text{Ecuación 4.32}$$

Las cargas específicas para cada estado se calculan como la fuerza resultante a la que está sometido el cable (ya calculada en este trabajo) sobre el producto de 1000 y la sección del conductor. Resumiendo, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

| Estados climáticos | Temperatura | Resultante [kg] | Carga específica [kg/(m*mm ²)] |
|-----------------------|-------------|-----------------|--|
| EI – Tmáx | 45 | 1020 | 0.002505217 |
| EII – Tmin | -10 | 1020 | 0.002505217 |
| EIII – Tc/Viento máx. | 15 | 3442.94703 | 0.008456204 |
| EIV – Tc/Viento medio | -5 | 1147.704316 | 0.002818871 |
| EV - Tmedia | 16 | 1020 | 0.002505217 |

Tabla 4.14

Asumiendo que los estados más críticos son los que tienen mayor viento, se toma como estado base el estado II, y será comparado con el estado III (por ser el de mayor velocidad de viento).

Comparación del estado II con estado III


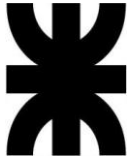
El valor de vano crítico es:

$$a_c = 92,05 \text{ m} \quad \text{Ecuación 4.33}$$

Como el vano de cálculo (400 m) es mayor que el vano crítico, la máxima tensión se producirá en el estado de mayor sobrecarga (el estado III).

Comparación del estado III con estado IV

Se compara el estado por ahora más desfavorable con el otro estado de viento medio. En este caso, el vano crítico será:

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 137 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

$$a_c = 83,41 \text{ m}$$

Ecuación 4.34


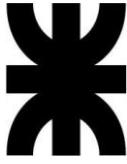
Como el vano de cálculo (400 m) es mayor que el vano crítico, la máxima tensión se producirá en el estado de mayor sobrecarga (el estado III).

Comparación del estado I con estado III

A modo de verificación, se compara el estado III (de viento máximo) con el de temperatura máxima (estado I). En este caso, el vano crítico tendrá un valor imaginario.

Como el vano crítico es imaginario, el estado más desfavorable es el de mayor sobrecarga de los dos, es decir, el estado 3.

A éste estado se le asigna la tensión admisible en el tendido del cable.

| | | | | | |
|---|---|--|--|--------------|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 138 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Tensiones mecánicas máximas [58]

La norma AEA 95301 establece en su punto 6.5.3 las tensiones mecánicas máximas sobre conductores y cables de guardia.

Se establece en dicho punto que las tensiones mecánicas de los conductores, tensores portantes y de los cables de guardia no deben superar los siguientes límites:

- Con temperatura media anual sin carga adicional: el 25% de la carga de rotura en condiciones de cableado asentado.
- En el estado climático para el cual se verifica la tensión mecánica máxima (carga última): el 70% de la carga de rotura.

El estado de temperatura media anual es el estado V. No debe superarse el 25% de la carga de rotura del cable en dicho estado.

Cálculo:

Se debe plantear un sexto estado, con temperatura igual a 50°C y sin viento (es decir, considerando solamente el peso del cable). Para este estado, se debe calcular la tensión del cable.

La tensión inicial se tomará como el 25% de la carga de rotura del cable (tensión para el estado V, estado de referencia):


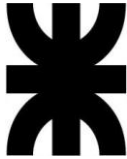
$$p = 0,25 \times 21043 \text{ kg} = 5260,75 \text{ kg} \quad \text{Ecuación 4.35}$$

Para calcular la tensión para el estado de 50°C, se aplica la ecuación de cambio de estado:

$$p_2^3 - p_1^3 \left[p_1 - \frac{\alpha}{\beta} (t_2 - t_1) - \frac{a^2 g_1^2}{24 p_1^2 \beta} \right] = \frac{a^2 g_2^2}{24 \beta} \quad \text{Ecuación 4.36}$$

Siendo:

- p: tensiones (la 2 es la del estado a calcular y la 1 la del estado de referencia)

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 139 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

- E: módulo de elasticidad del cable
- α : coeficiente de dilatación lineal del cable
- β : coeficiente de elasticidad del cable
- t: temperaturas
- a: vano de diseño (en este caso 400 m)
- g: peso unitario del cable

Con esta ecuación, se calculará la tensión a 50°C y sin viento, usando como estado de referencia el estado V de este proyecto (16°C y sin viento).

La misma se debe resolver utilizando métodos iterativos.

El valor obtenido luego de la resolución es: 1714,27 kg.

Flecha máxima del conductor

Debido a que éste estado es de 50°C (por ser la mayor temperatura en la zona A, por más que la línea esté más solicitada por estar expuestos a mayores vientos en C) y la flecha máxima se da a la máxima temperatura, se aplica la fórmula:

$$f = \frac{a^2 \times g}{8 \times p_0} \quad \text{Ecuación 4.37}$$

Y se halla la flecha en la mitad del conductor, o sea, la flecha máxima.

Para ésta tensión obtenida:


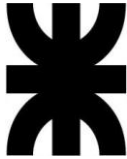
$$f = \frac{(400 \text{ m})^2 \times 2,55 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}{8 \times 1714,27465 \text{ kg}} = 29,75 \text{ m} \quad \text{Ecuación 4.38}$$

Tensiones mecánicas máximas

Se calculan las tensiones máximas con los criterios enunciados en la norma.

Siendo:

- 5260,75 kg (25% de la carga de rotura)

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 140 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

- 14730,1 kg (70% de la carga de rotura)

Además, se calculan todas las tensiones con un coeficiente de seguridad $K=3$, ya que la tensión admisible para el estado base es el 25% de la tensión admisible (25% de $6,89 \text{ kg/mm}^2$), valor ya afectado por dicho coeficiente de seguridad indicado en el manual del fabricante del cable.

La fuerza sobre el cable en el 25% de la carga es 5260,75 kg.

Para comparar con las otras tensiones calculadas con coeficiente de seguridad 3, se debe afectar este valor por $K=3$, por lo tanto, el valor es 1753,58 kg.

El estado base para el cálculo será el estado V.



Se adjunta una tabla obtenida con todos los valores de esfuerzos hallados mediante la aplicación de la ecuación de cambio de estado; además, se coloca la flecha máxima obtenida para cada estado climático (y se verifica que ninguna es mayor que la calculada para el estado VI de 50°C introducido anteriormente):

| Tensión estado base inicial [kg] | Tensión 70% de la carga de rotura [kg] | Estados climáticos | Temperatura [°C] | Tensión [kg] | Flechas (m) |
|----------------------------------|--|-----------------------|------------------|--------------|-------------|
| 1753.583333 | 14730.1 | EI – Tmáx | 45 | 1719.87602 | 29.653037 |
| | | EII – Tmin | -10 | 1785.5196 | 28.56311444 |
| | | EIII – Tc/Viento máx. | 15 | 5803.797602 | 29.66115693 |
| | | EIV – Tc/Viento medio | -5 | 1999.681537 | 28.6971774 |
| | | EV - Tmedia | 16 | 1753.583333 | 29.08330561 |

Tabla 4.15

Puede observarse que:

- No se excede en ningún momento el 70% de la carga de rotura
- En el valor de referencia, la tensión que realmente soporta el cable es de 5260,75 kg. Como dicho valor se excede en el estado III solamente en aproximadamente 500 kg, y además está afectado por un coeficiente de seguridad, se considera valor aprobado para el tendido.
- En ningún caso se excede la flecha máxima de 29,75 m.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 143 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Hilo de guardia

La flecha máxima del hilo de guardia se dará en el estado de mayor temperatura.

Si se adopta la posición conservadora de tomar el estado de mayor temperatura de las dos zonas por donde pasa la línea, la temperatura en la cual se dará la flecha máxima es de 50°C.

Se tomará como estado de referencia el estado V, es decir, sin viento y 16°C.


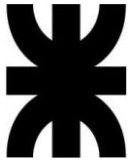
La tensión inicial se tomará como el 25% de la carga de rotura (estado de referencia):

$$p = 0,25 \times 6202 \text{ kg} = 1550,5 \text{ kg} \quad \text{Ecuación 4.39}$$

Siguiendo el mismo procedimiento que en el caso del conductor, se obtienen los siguientes resultados:

| Datos (el 1 acá es el estado V y el 2 es el VI para la flecha máxima) | Valor obtenido |
|--|----------------|
| Vano de cálculo a [m] | 400 |
| Sección conductor [mm ²] | 49.5 |
| Coef. De dilatación [1/°C] | 0.0000115 |
| E (módulo de elasticidad) [kg/mm ²] | 18500 |
| t ₁ (°C) | 16 |
| t ₂ (°C) | 50 |
| Resultante: Peso unitario en condición 1 (kg/m) | 0.981 |
| Resultante: Peso unitario en condición 2 (kg/m) | 0.981 |
| Esfuerzo condición 1 (tensión admisible en kg/mm ²) (25% de la original) | 10.44107744 |
| Esfuerzo condición 2 (tensión admisible en kg/mm ²) | 10.35806745 |

Tabla 4.16



| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 144 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Al multiplico por los mm², se obtienen los kg de tensión de rotura. El valor obtenido es: 512,72 kg.

La flecha será:

| |
|---|
| Flecha en esa condición ($a^2 \cdot g / 8 \cdot p_0$) [m] |
| 38,2661764 |

Tabla 4.17

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 145 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Distancias verticales a tierra [59]

Tal como ya se ha especificado, las distancias serán como mínimo, las que resulten de la aplicación de:

$$D = a + 0,01 \left(\frac{V_M}{\sqrt{3}} - 22 \right) [m], \text{ si } V_N > 38 \text{ kV} \quad \text{Ecuación 4.40}$$

Siendo V_M la tensión máxima de servicio del sistema, fase a fase, en kV, y a la distancia básica según la tabla 7.4-a en metros (adjunta previamente en este capítulo del proyecto).

Para calcular la tensión máxima de servicio se tomará el criterio presentado en el paper "Design of the DC +/-500 kV Full Scale Transmission Test Line in Gochang" de Koo-Yong Shin, Dong-il Lee, Jae-seop Lim, Mun-no Ju, y Kwang-ho Yang [86].

En el mismo se toma el criterio del cálculo del CFO (Critical Flash Overvoltage), siguiendo la recomendación IEEE Std. 1313.1 [87]. El mismo se calcula según:

$$CFO = \frac{V_{max}}{1-2,15\sigma} \quad \text{Ecuación 4.41}$$

Se asume un voltaje máximo de operación de 500 kV, y una desviación estándar de 7% ($\sigma=0,07$). El resultado de este voltaje será:


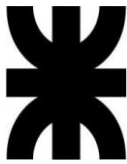
$$CFO = \frac{500 \text{ kV}}{1-2,15 \times 0,07} = 588,58 \text{ kV} \quad \text{Ecuación 4.42}$$

Por lo tanto:

$$V_M = 588,58 \text{ kV} \quad \text{Ecuación 4.43}$$



Este mismo voltaje será utilizado para el cálculo de la cadena de aisladores.

Respecto a las distancias a, teniendo en cuenta las zonas por donde pasa la línea, se adjunta una tabla aplicada al presente proyecto, para determinar en cada caso la altura libre mínima a la que se debe encontrar el cable, debido a que la línea pasa por lugares con diferentes características:

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 146 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

| Uso del suelo, tipo de obstáculo y/o naturaleza de la zona atravesada por la línea | a [m] | D [m] |
|---|-------|-------------|
| Zonas accesibles solamente a pedestres | 4.7 | 7.878168214 |
| Zonas con circulación de maquinaria agrícola, caminos rurales o secundarios. Calles distritales y comunales | 5.9 | 9.078168214 |
| Autopistas, rutas (nacionales y provinciales) y caminos principales | 7 | 10.17816821 |
| Vías de Ferrocarriles no electrificadas por catenaria | 8.5 | 11.67816821 |
| Líneas de energía eléctrica MT (clases "B y BB") | 1.2 | 4.378168214 |
| Áreas dedicadas o aptas para las actividades deportivas | 8 | 11.17816821 |
| Soportes, carcasas, etc. Metálicos puestos a tierra o de material aislante, sobre espacios y caminos sujetos sólo a peatones. | 3.5 | 6.678168214 |
| Áreas apropiadas para la navegación (sin regulación de Ente competente), de acuerdo a la superficie del espejo de agua [en hectáreas] | 6.2 | 9.378168214 |
| | 8.7 | 11.87816821 |
| | 10.5 | 13.67816821 |
| | 12.3 | 15.47816821 |
| Vías navegables reguladas por ente competente (en este proyecto es el cruce del Río Paraná) | 52 | 55.17816821 |

Tabla 4.18

| | | | | |
|---|---|--|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 147 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Ángulo de deflexión del cable (o “ángulo de meneo”)

Cuando está sometido a viento, el cable se desviará en dirección horizontal y formará un cierto ángulo de deflexión respecto a la vertical.

Dicho ángulo podrá ser calculado considerando una de las componentes y la resultante, o ambas componentes, utilizando funciones trigonométricas.

| Estados climáticos | Peso del cable [kg] | Fv [kg] | Ángulo de deflexión (°) |
|-----------------------|---------------------|-------------|-------------------------|
| EI – Tmáx | 1020 | 0 | 0 |
| EII – Tmin | 1020 | 0 | 0 |
| EIII – Tc/Viento máx. | 1020 | 3288.386269 | 72.76702258 |
| EIV – Tc/Viento medio | 1020 | 526.141803 | 27.28582849 |
| EV - Tmedia | 1020 | 0 | 0 |

Tabla 4.19

Distancia entre conductor y cable de guardia



Estará dada por la fórmula ya expuesta, para la tensión nominal fase a tierra

$(V_N/\sqrt{3})$:

$$D = k \times \sqrt{f_{max} + L_k} + \frac{V_N}{150} \quad \text{Ecuación 4.44}$$

Siendo:

- D: distancia entre conductores en medio del vano, en metros
- k: coeficiente dependiente del ángulo de declinación máximo del conductor por efecto del viento máximo de diseño (básico modificado por recurrencia y factor del terreno), considerado perpendicular a la línea (tabla 7.2-a). Para este caso, se tiene conductores horizontales, y un ángulo de 72,76° de inclinación máxima, por lo cual, el valor de k será 0,7.
- f_{max} : flecha vertical máxima del conductor en metros: para este proyecto es 29,75 m.

| | | | | |
|---|---|--|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 148 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

- L_k : longitud oscilante de la cadena de suspensión en metros (para aisladores rígidos=0, que no es nuestro caso, ya que los aisladores rígidos se utilizan para líneas de BT o MT; en líneas de AT se utilizan aisladores de suspensión o de varios elementos).
- V_N : tensión nominal de la línea en kV: para este proyecto es 500 kV.

Aisladores

Los aisladores cumplen la función de vincular mecánicamente los conductores con las estructuras, y aislar eléctricamente a los mismos.



Se instalarán aisladores marca FAPA (Fábrica Argentina de Porcelanas Armanino) [60]. Los aisladores utilizados son del tipo de suspensión. Estos tipos de aisladores trabajan a la tracción, y al vincularse forman cadenas. Se utilizan tanto para estructuras de suspensión como para estructuras de retención.

El tipo de acoplamiento será a rótula.

Se adjunta una tabla provista por el fabricante donde se pueden observar las características de diferentes modelos de este tipo de aislador:

| MODELO FAPA - CÓDIGO <i>FAPA'S REFERENCE - CODE</i> | ALS 165 40 kN | ALS 255 L70 kN | ALS 255 L80 kN | ALS 255 L100 kN | ALS 255 120 kN | ALS 255 C160 kN | ALS 255 L160 kN |
|--|------------------|-------------------|------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Designación IEC 60305 - IRAM 2235 <i>IEC 60305 - IRAM 2235 designation</i> | - | U 70 BL | U 80 BL (IRAM 2077) | U 100 BL | U 120 B | U 160 BS | U 160 BL |
| Acoplamiento tipo <i>Coupling type</i> | 16 A | 16 A | 16 A | 16 A | 16 A | 20 | 20 |
| Distancia de fuga <i>Leakage distance</i> | mm in | 185 7 9/32 | 295 11 5/8 | 295 11 5/8 | 295 11 5/8 | 340 13 3/8 | 340 13 3/8 |
| Carga electromecánica de falla <i>Electromechanical failing load</i> | kN lb | 40 9000 | 70 15700 | 80 18000 | 100 22500 | 120 27000 | 160 36000 |
| Tensión resistida bajo lluvia de frecuencia industrial <i>Low frequency withstand voltage, wet</i> | kV | 27 | 40 | 40 | 40 | 45 | 45 |
| Tensión de contorno bajo lluvia <i>Flashover voltage, wet</i> | kV | 30 | 45 | 45 | 45 | 48 | 48 |
| Tensión resistida de impulso, onda 1,2/50 μ s <i>Impulse withstand voltage, 1.2/50 μs wave</i> | kV | 80 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 |
| Tensión crítica de impulso, onda positiva <i>Critical impulse flashover voltage, positive wave</i> | kV | 90 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| Tensión crítica de impulso, onda negativa <i>Critical impulse flashover voltage, negative wave</i> | kV | 90 | 125 | 125 | 125 | 125 | 125 |
| Tensión de perforación de frecuencia industrial <i>Low frequency puncture voltage</i> | kV | 80 | 110 | 110 | 110 | 120 | 120 |
| Peso neto aproximado <i>Approximate net weight</i> | kg lb | 2,5 5.5 | 5,3 11.7 | 5,3 11.7 | 5,3 11.7 | 7,6 16.8 | 7,8 17.2 |

Tabla 4.20

| | | | | |
|---|---|--|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 149 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Seleccionando el modelo ALS 255 C160 kN, se tienen las siguientes características:

- Longitud de la línea de fuga: 340 mm
- Carga electromecánica de falla: 160 kN

En base a los apuntes de cátedra de la UNLP elaborados por el Ingeniero Soibelzon, se establece la longitud de la línea de fuga (en cm/kV) según la zona por donde pase la línea. Dichos datos se resumen en la siguiente tabla:

| Zona | Longitud Línea de Fuga [cm/kV] |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Forestal y Agrícola | 1,2-2,0 |
| Industrial y cerca del mar | 2,2-2,5 |
| Muy cerca del mar | 2,6-3,2 |
| Fábricas de productos químicos. | 3,2 |
| Centrales térmicas | 3,2 |

Tabla 4.21



La fórmula a aplicar, eligiendo 1,6 cm/kV como punto intermedio entre zona forestal y agrícola, será:

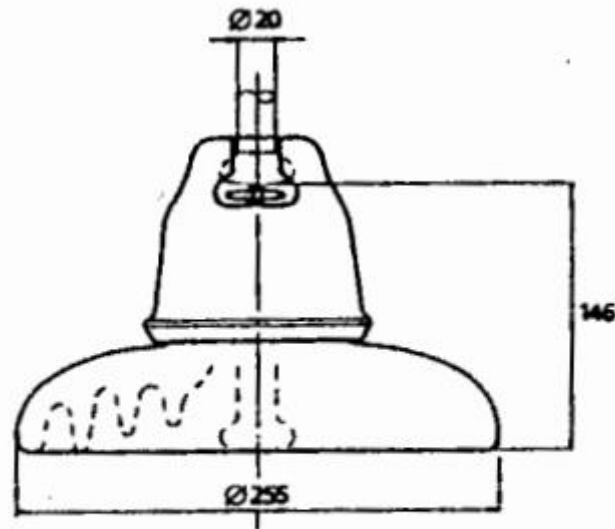
$$n^{\circ}_{\text{aisladores}} = \frac{588,58 \text{ kV}}{34 \text{ cm}} \times 1,6 \frac{\text{cm}}{\text{kV}} = 27,69 \quad \text{Ecuación 4.45}$$

Se colocarán 28 aisladores.

Fijada la cantidad de aisladores, se multiplica por su altura, y se le adiciona la morsetería correspondiente (ambos, datos del fabricante).

Según el manual de FAPA, las dimensiones del aislador elegido son:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 150 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |



**ALS 255 C 160 kN
U 160 BS**

Figura 4.20

Es decir, 0,146 m es la altura de cada aislador.



La longitud del péndulo l (morsetería para vincular el aislador a las estructuras), no aparece en la imagen, pero se asume igual a 0,3 m por la similitud con un aislador de las mismas dimensiones.

Por lo tanto, la longitud completa de la cadena de aisladores será:

$$L_k (m) = 28 \times 0,146 m + 0,3 m = 4,38 m \quad \text{Ecuacion 4.46}$$

Es decir, un poco más de 4 m.

Con este dato, se puede retomar el cálculo de la distancia mínima entre el conductor y el cable de guardia en el centro del vano y en situación de reposo, dada por:

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 151 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

$$D = k \times \sqrt{f_{max} + L_k} + \frac{V_N}{150} \quad \text{Ecuación 4.47}$$

Reemplazando:

$$D = 0,7 \times \sqrt{29,75 \text{ m} + 4,096 \text{ m}} + \frac{500 \text{ kV}}{150} = 7,42 \text{ m} \quad \text{Ecuación 4.48}$$

Por lo tanto, la distancia entre ambos conductores debe ser igual o mayor a 7,42 m.

Fuerzas actuantes sobre los aisladores

Los aisladores están sometidos a su propio peso (dato del fabricante), al peso de la morsetería y al efecto del viento.

Para nuestro caso, el peso de la cadena es de:

$$P_{cadena \text{ de aisladores}} = 7,6 \text{ kg} \times 28 = 212,8 \text{ kg} \quad \text{Ecuación 4.49}$$

No se cuenta con el peso de la morsetería asociada. Como el peso de la misma siempre es menor que la cadena de aisladores, se desprecia.

Como el peso del cable para el vano de diseño (400 m) es 1020 kg, y se tienen cuatro conductores, el peso de esos cuatro conductores también influye en los esfuerzos del aislador. El mismo es:



$$P_{4 \text{ conductores/polo}} = 4080 \text{ kg} \quad \text{Ecuación 4.50}$$

Respecto al viento, la superficie del aislador no es muy sencilla de representar (como sí lo era por ejemplo el área lateral de un conductor). Para vientos de 130 km/h, se adopta 1,4 kg/aislador.

Para las hipótesis adoptadas, el viento máximo es de 35 m/s. Este valor equivale a 126 km/h (es decir, un valor aproximado).

Por lo tanto, se adopta el criterio de 1,4 kg/aislador; teniendo en cuenta que se tienen 26 aisladores, la fuerza del viento será:

$$F_{va} = 1,4 \frac{\text{kg}}{\text{aislador}} \times 28 = 39,2 \text{ kg} \quad \text{Ecuación 4.51}$$

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 152 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Considerando también el efecto de la fuerza sobre el conductor (por estar vinculado el aislador a los conductores), para 35 m/s la fuerza del viento sobre el conductor era:

$$F_v = 3288,386296 \text{ kg} \quad \text{Ecuación 4.52}$$

Por lo tanto, sumando ambos efectos:

$$F_{v \text{ Total}} = 3288,386296 \text{ kg} + 36,4 \text{ kg} = 3327,586296 \text{ kg} \quad \text{Ecuacion 4.53}$$

La fuerza resultante entre ambos esfuerzos es:

$$F_{total \text{ aislador}} = \sqrt{(3327,586296 \text{ kg})^2 + (4292,8 \text{ kg})^2} = 5431,478 \text{ kg} \quad \text{Ecuacion 4.54}$$

Verificación de esfuerzo del aislador

La norma AEA 95301 en su apartado 13.1.4.2 enuncia que la cadena de aisladores en las hipótesis en las cuales se verifica la tensión mecánica máxima de los conductores, y con los mismos íntegros en todos los vanos, debe trabajar con un tiro de tracción no superior al 40% de su carga crítica.

Como la carga electromecánica de falla de cada aislador es 160 kN, se puede pasar dicho valor a kg, obteniendo 16309,887 kg. El 40% de dicho valor será el tiro de tracción máximo permitido.



Dicho valor es: 6523,95 kg.

Como éste valor es mayor a la fuerza total a la que puede estar sometido el aislador (5431,478 kg), entonces verifica.



Fijaciones con aislación reforzada

En el punto 13.1.4.3 de la norma, se establece que el dispositivo de fijación/aislación de los conductores de energía a los sostenes se define como reforzado cuando está predispuesto de forma tal que se evite la caída del conductor en el caso de rotura de un aislador.

Deben ser empleados aisladores rígidos o de suspensión, de características no inferiores a los otros aisladores de la línea en la misma situación (suspensión o retención).

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 153 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

En las líneas con conductores suspendidos o retenidos, la fijación reforzada puede ser realizada con suspensión de doble cadena o con otro dispositivo y/o técnica que ofrezca garantías de seguridad equivalentes a las de las disposiciones anteriores.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 154 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |


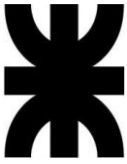
Cálculo de inclinación del conductor con cadena (φ)

Para el cálculo de la inclinación del conductor con la cadena debe tenerse en cuenta que el mismo puede calcularse de la siguiente manera:

$$\tan(\varphi) = \frac{F_v + F_{va}}{P_{conductor} + P_a} \quad \text{Ecuación 4.55}$$

Para el caso en análisis, se tiene:

$$\varphi = \text{atan} \left(\frac{3224,78629 \text{ kg}}{4080 \text{ kg} + 137,8 \text{ kg}} \right) = 38^\circ 14' 52,18'' \quad \text{Ecuación 4.56}$$

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 155 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Cálculo de servidumbre [61]



En las dos alternativas de torres planteadas, la distancia entre conductores es 16 m para la primera alternativa y 16,6 m para la segunda alternativa.

Para ambos casos se realizará el cálculo del ancho total de la franja de servidumbre, siguiendo la siguiente fórmula ya presentada en este proyecto:

$$A = C + 2(L_k + f_i) \sin(\alpha) + 2d \quad \text{Ecuación 4.57}$$

En el cálculo de la distancia d , influye la distancia d_m . A su vez, en dicha distancia influye V_s , voltaje que depende de un factor μ , que tiene que ver con el voltaje máximo de servicio. Se asume el mismo voltaje máximo de servicio que para el cálculo de aisladores (recordar cálculo de CFO con una desviación estándar del 7%).



En la norma los máximos voltajes indicados para este valor son menores, ya que se considera una menor desviación estándar para el cálculo por sobre el nivel básico de aislación. Específicamente este tema se encuentra tratado en el capítulo 9, en el apartado 9.2.1 titulado "Valores de d_m a satisfacer".

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 156 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla, y como puede verse, en ambos casos los valores son muy parecidos para ambas torres propuestas:

Tabla 4.22

| Servidumbre - Torre Alternativa 1 y 2 | |
|---|-------------|
| C (distancia entre conductores) [m] Alternativa 1 | 16 |
| C (distancia entre conductores) [m] Alternativa 2 | 16.6 |
| Lk [m] | 4.096 |
| fi (flecha máxima en m) | 29.75 |
| Ángulo de declinación máximo del conductor por viento (se toma el ángulo de inclinación de la cadena) | 38.24782778 |
| d | 7.7916272 |
| dm | 3.8610848 |
| Vs | 579.16272 |
| Mu | 1.17716 |
| Vn [kV] | 500 |
| V máx de servicio ([kV] | 588.58 |
| Valor de servidumbre alternativa 1 (ancho total de franja) [m] | 73.48894658 |
| Valor de servidumbre alternativa 2 (ancho total de franja) [m] | 74.08894658 |



| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 157 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Estructuras reticuladas

En la simulación con DLTCAD se obtendrán como anexo a este proyecto el vano peso y el vano viento soportado por las estructuras a utilizar.

Las estructuras a utilizar ya fueron presentadas en este capítulo con sus dimensiones (distancia entre conductores, altura de torre, distancia entre conductores e hilos de guardia, distancia de conductores al suelo, etc).

Los resultados de la simulación de esfuerzos sobre estructuras se adjuntan a este proyecto.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 158 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Fundaciones [61]



Tal como enuncia la norma AEA 95301 en su capítulo 14, las estructuras de líneas de transmisión de 220 kV y tensiones mayores deberán transmitir sus reacciones al terreno mediante fundaciones.

En este proyecto no se calcularán las fundaciones por no haberse desarrollado los estudios pertinentes (se deberá realizar un estudio geotécnico para el diseño de fundaciones constituido por sondeos y calcatas y estudios geoquímicos del suelo para realizar la tipificación de suelos y tipificación de fundaciones de obra).

Los ensayos geoquímicos tienen como objetivo determinar la agresividad potencial del subsuelo a las cimentaciones y el sistema de puesta a tierra de los sostenes. También permiten definir el grado de agresión y las protecciones anticorrosivas necesarias.

Debido a que en el presente proyecto no se cuenta con todas las características mencionadas, no se realizará el cálculo de las mismas. Solamente se adjunta a este proyecto el mapa de suelos de la República Argentina con información proporcionada por el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) [62].

Cómo se puede observar en dicho mapa la línea atraviesa suelos de tipo principalmente molisoles y también vertisoles histosoles y alfisoles. Si bien esta clasificación es válida, las características del suelo son cambiantes metro a metro, y se determinan de forma definitiva en los estudios de campo posteriores.


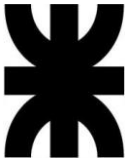
| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 159 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Ordenes Dominantes en los Suelos de la Republica Argentina




Figura 4.21

Los tipos de fundiciones pueden clasificarse en cuatro categorías:

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 160 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

- 1) De bloque único: Las mismas se pueden calcular con el método de Sulzberger que es particularmente apropiado cuando el suelo presenta resistencia lateral y de fondo con fundaciones profundas; también se pueden calcular con el método de Mohr que se adapta a terrenos con resistencia lateral con bases anchas.
- 2) De patas separadas: Las cimentaciones para Torres cuando el suelo presenta buenas características resistentes Generalmente son de patas separadas.
- 3) Pilotes: Cuando se encuentran terrenos con muy baja capacidad portante zonas pantanosas o de relleno aluvional en todo tipo de líneas importantes se pueden usar pilotes. Los mismos son postes de dimensiones adecuadas para la carga que tienen que soportar enterrados por métodos apropiados de hincado hasta llegar a Tierra Firme según surge del estudio de suelos. En el extremo superior se coloca un cabezal con el hueco adecuado para introducir el poste correspondiente y luego operar para su montaje como si resultara una fundación tradicional.
Esto también se puede utilizar para líneas con estructuras metálicas autosoportadas en las cuales se pueden colocar las cantidades de pilotes que resultan necesarios según el cálculo, con el cabezal adecuado para asegurar las cuatro patas de la Torre.
- 4) Placas para las riendas de torre arriendadas: En el caso de línea con estructuras de suspensión arriendada tipo delta o cualquier otra del tipo arriendada, las riendas que las mantienen en equilibrio se sujetan elementos denominados muertos de anclaje.


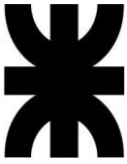
| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 161 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

La característica principal de este tipo de fundación es que no trabajan con las reacciones de fondo o lateral como las vistas anteriormente, sino que por el contrario se deben calcular para que actuando el terreno circundante con la placa calculada adecuadamente resista a la fuerza de arranque derivada de la tracción ejercida por la rienda.


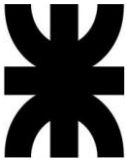
Tipo de fundaciones

Las fundaciones se pueden clasificar en 6 tipos:

- Fundación tipo A: suelo de tierra negra. Aparecen capas de agua en profundidad mayor que 2,5 m (molisoles).
- Fundación tipo B: suelo de tierra negra. Se encuentra agua entre 2 y 3 m de profundidad (molisoles).
- Fundación tipo C: tierra arenosa, médanos. A una profundidad de 1,5 m aproximadamente se encuentra agua. La capa superior es muy buena para fundaciones del tipo superficial (entisoles o aridisoles).
- Fundación tipo D: Zona baja con bañados. A una profundidad de 1 m aproximadamente, se encuentra agua (vertisoles). La capa superior es de tierra negra y es la que ofrece las mejores características para fundar fundaciones superficiales.
- Fundación tipo E: zona similar a la que se emplea en fundaciones tipo D, pero de peores condiciones en cuanto al agua (vertisoles). Se emplean fundaciones superficiales.
- Fundación tipo F: Suelo de tierra negra. Las capas superficiales presentan mejores características para fundar que las capas profundas, pues aparece

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 162 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

agua a profundidades entre 1,5 m y 2,5 m (molisoles). Se emplea fundación profunda (similar a las fundiciones tipo A o B), pero con zapata superficial.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 163 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Puesta a tierra

Como ya se ha mencionado, el cable de guardia es un elemento que protege la línea de descargas atmosféricas, desviando la descarga a tierra. Por esta razón las resistencias de puesta a tierra de las torres deben ser bajas. La descarga atmosférica que impacta en el cable de guarda o en la torre debe llegar a la base de la Torre y encontrar una baja resistencia para despejar la corriente de rayo de manera eficiente.

La resistencia de puesta a Tierra tiene que ver con la composición del suelo y sus características físicas y químicas. El suelo será de baja resistencia cuando sea altamente húmedo con composición arcillosa y con un alto contenido de minerales conductores. Será de alta resistencia de puesta a tierra cuando sea de composición seca y altamente rocoso.



También el valor de resistencia de puesta a tierra puede variar con la época del año.

El valor de puesta a tierra necesario para una torre en una determinada zona puede determinarse Sabiendo el nivel ceraunico de la zona y por medio de una gráfica probabilística de distribución de rayos calcular el valor de la corriente de rayo que produce la falla de flameo inverso (falla que se produce cuando el Rayo rebota y produce un aumento entre la tensión del brazo de la Torre y el conductor de fase). Con ese valor de corriente y con el voltaje de flameo de la cadena de aisladores se puede determinar el valor necesario de resistencia de puesta a tierra.

En cuanto a los valores óptimos de resistencia de puesta a tierra se puede decir que son muy buenos valores de 20 Ω o menos, mientras que valores por encima de 50 o 60 Ω , son preocupantes.

Tal como se mencionó en el capítulo 2, no se colocan a tierra todas las torres, sino que eso se hace cada 4 o 5 torres [63].

En cuanto al diseño de la PAT, se debe seguir lo recomendado en la norma AEA 95301 [64] en su capítulo 15 denominado Puesta a Tierra, donde define el concepto de toma a tierra, tierra de protección, tensiones máximas admisibles,

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 164 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

puesta a tierra de estructuras de líneas aéreas, y los requisitos de instalación, entre otros conceptos.

En el apartado 15.11 se presenta un dibujo de conexión con la estructura, que se adjunta con el fin de ilustrar como es la puesta a tierra:

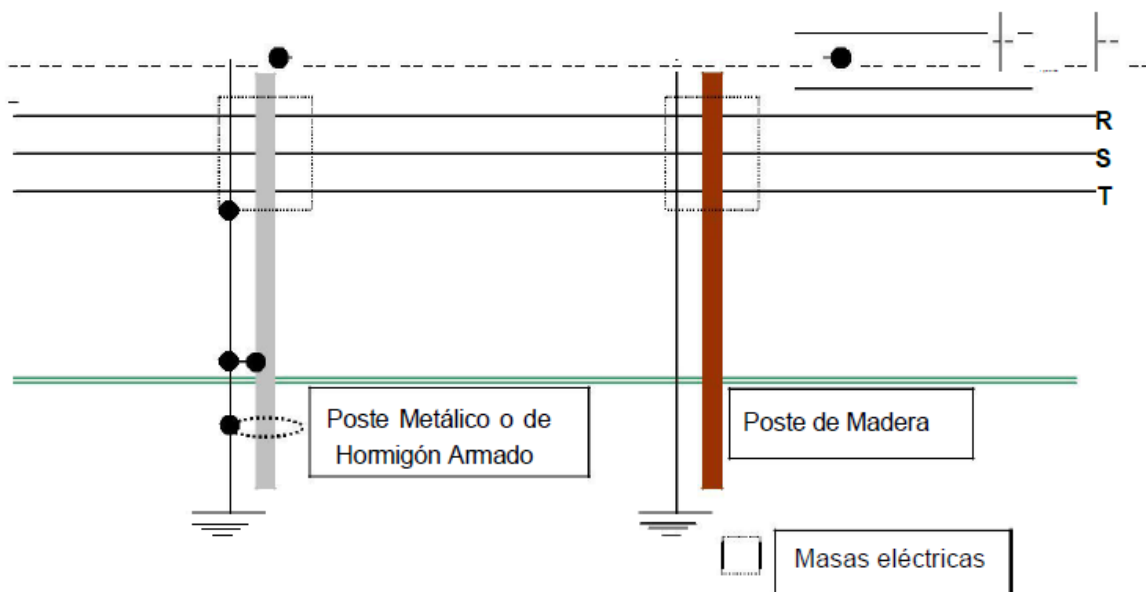




Figura 4.22

Según el apartado 15.12 de la norma, la sección mínima del conductor de PAT de protección será:


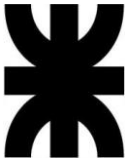
Tabla 15.12-a – Sección mínima del conductor de puesta a tierra de protección

| Tipo de conductor | Sección (mm ²) |
|-------------------|----------------------------|
| Cobre | 25 |
| Acero – Cobre | 35 |
| Acero galvanizado | 50 |

Tabla 4.23

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 165 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |



Se adjunta el mapa isoceraúnico argentino, publicado en:
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/29884>, en una investigación denominada “La Actividad Eléctrica Atmosféricas en Argentina” hecha por investigadores del CONICET. El mismo figura en la norma IRAM 2184-1/AEA 9305-1.

| | | | | |
|---|---|--|--------------|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 166 de 244 |

| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | |
|------------------------|--------|--------|--|
| PELOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO |



Figura 4.23

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 167 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Vano de regulación o ficticio y tablas de tendido [65 y 66]

Los soportes de retención en una línea aérea separen mecánicamente la línea en un determinado punto. Por lo cual, un tramo entre dos torres de retención puede ser analizado independientemente del resto de la línea (forman un cantón). La tabla de tendido de conductores se realiza para cada tramo entre dos retenciones de una línea.

En la tabla de tendido se especifican los valores a utilizar para realizar el flechado de los cables (es decir, cumplir con el valor de flecha correspondiente), de manera tal que la tensión de los cables sea la misma a lo largo del cantón.


La secuencia de construcción de líneas aéreas de alta tensión consiste en primero realizar el plantado de los soportes en sus fundaciones y luego realizar el montaje o tendido de conductores y luego su flechado como ya se ha explicado.

Como en un tramo de línea constituido por soportes de suspensión las cadenas de suspensión no pueden absorber las diferencias de tensión debidas a: distintas longitudes de vanos, desniveles, variaciones de temperaturas, etc, se admite que las tensiones de los cables son iguales en todos los vanos y que varían como lo haría el de un valor teórico que se llama vano medio de cálculo o de regulación o ideal o ficticio.

En las tablas de tendido existen dos vanos: vano de regulación y el vano real.

El vano real es un dato obtenido del proyecto real de la línea y pueden existir varios vanos reales en una línea, porque en el proyecto se contempla un vano de diseño, pero por distintas circunstancias al trazar la línea puede tenerse valores de vano distintos al de diseño.

En la tabla de tendido para un cantón determinado, se determina el valor de la tensión mecánica y la flecha para cada intervalo de temperatura considerado. Para su cálculo primero se determina el valor del vano de regulación del tramo. Luego, se realiza el cálculo mecánico del conductor y tomando como base cualquier estado que no considere el efecto del viento y del hielo, con saltos temperatura de 2 grados centígrados y se confecciona la tabla de tendido correspondiente.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 168 de 244 |
| CÁLCULO DE LA LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Para obtener las tablas de tendido para el presente proyecto se simulará la línea en DLTCAD, y se adjuntaran las mismas al presente proyecto en el capítulo 7.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA
CONSTRUCCIÓN, DISEÑO, CÁLCULO Y
SIMULACIONES PARA UNA LÍNEA HVDC EN
EL CORREDOR NEA-EZEIZA**

EVALUACIÓN ECONÓMICA

CONFORMIDAD EDICIÓN:

| SECTOR | REALIZÓ | APROBÓ | FECHA | OBSERVACIONES | |
|------------|-------------------------|-----------|-------|---------------|--|
| UTN/FRD | PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| DOCUMENTO: | EVALUACIÓN ECONÓMICA | REVISIÓN: | A | HOJAS: | |

| | | | | | |
|---|---|--|--------|------------------------------------|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 170 de 244 |
| EVALUACIÓN ECONÓMICA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | 05_EVALUACION_ECONOMICA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Introducción y objetivo del análisis

El análisis económico se realiza en base a valores obtenidos del paper “The ABCs of HVDC Transmission Technology” publicado por ABB en el año 2007 [67] y también publicado en la revista “IEEE Power & Energy Magazine March/April 2007 No 2”.

Dichos valores se actualizan al año 2019 por inflación del dólar [68].

En cuanto a los objetivos del análisis, se estudiará la viabilidad del proyecto y en cuanto tiempo se recuperaría la inversión realizada.

Además, se expone la posible fuente de financiamiento del mismo, teniendo en cuenta su importancia estratégica para poder cumplir los objetivos planteados al año 2025 para poder cumplir con la demanda energética proyectada.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|------------------------------------|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 171 de 244 |
| EVALUACIÓN ECONÓMICA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | 05_EVALUACION_ECONOMICA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Fuente de financiamiento del proyecto

El presente proyecto será propuesto para formar parte de la cartera de proyectos del Plan Federal de Transporte Eléctrico I [69].

En la página web del mismo, se describe el origen y administración de los fondos del plan.

Plan Federal de Transporte Eléctrico

- El fondo nacional de la energía eléctrica creado por ley número 15336 y modificado por ley número 24065 establece para cada operación de compra de energía en el mercado eléctrico mayorista un cargo de 3 \$/MWh hora siendo atribución de la secretaría de energía modificar este monto en + -20%. El fondo está destinado a la realización de obras en el interior del país (FEDEI) y a compensar tarifas (FCT).
- En el año 1991 se disminuyó el monto a \$2,4/MWh por decisión de la secretaría de energía.
- En diciembre del año 1999 las 23 provincias en el Consejo Federal de energía eléctrica al tomar una decisión de solicitar a la secretaría de energía que el monto fuera llevada al valor original y que esa suma fuese direccionada inicialmente para ayudar a financiar el transporte en alta tensión habida cuenta que las señales económicas del mercado resultaban insuficientes para disparar nuevas ampliaciones.
- Recogiendo la solicitud de las provincias la secretaría de energía hace lugar a lo peticionado por ellas y por resolución S.E N°657/99 con efectividad a

| | | | | | |
|---|---|--|--------|------------------------------------|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 172 de 244 |
| EVALUACIÓN ECONÓMICA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | 05_EVALUACION_ECONOMICA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

mayo del 2000 retrotrae los montos al valor base original destinando es 0,6 \$/MWh adicionales al transporte de alta tensión.

- Por la misma resolución de la secretaría de energía número 657/99 (modificada por resolución número 174/2000) se constituye el fondo fiduciario de transporte eléctrico Federal (FFTEF) al que se le asignan los 0,6 \$/MWh adicionales, destinándolo a coparticipar con inversores interesados privados en el pago del canon en ampliaciones del sistema de transporte que sean dedicadas al abastecimiento de la demanda por interconexión de regiones eléctricas para mejora de calidad y/o seguridad de servicio.
- La resolución número 174/2000 modificada por resolución nº 228/2000 también aprueba el estatuto del comité administrador del fondo (CAF).

Ampliaciones elegibles

La resolución de la secretaría de energía número 657/99 modificada por resolución número 174/2000 establece las condiciones que deben reunir las ampliaciones para participar del financiamiento del fondo fiduciario de transporte eléctrico Federal:

- Obras con beneficio para el sistema eléctrico por mejoras en calidad y/o seguridad y/o menores costos de despacho
- No previsible que sean realizadas exclusivamente por privados por razones de escala
- Adelanto de inversiones para una expansión de carácter Federal.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|------------------------------------|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 173 de 244 |
| EVALUACIÓN ECONÓMICA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | 05_EVALUACION_ECONOMICA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Coparticipación con inversores privados

Si bien el proyecto cumple los requisitos para participar del financiamiento de este fondo, también pueden participar inversores privados en la construcción de la misma (tal como se enuncia en la finalidad y funcionamiento del fondo).

Un inversor privado que podría participar del proyecto por su importancia para el país, es el BID (Banco Interamericano de Desarrollo).

Banco Interamericano de Desarrollo [70]

El banco interamericano de desarrollo fundado en el año 1959 es la principal fuente de financiamiento para el desarrollo de América Latina y el Caribe. Ofrece préstamos, donaciones y asistencia técnica y realiza amplias investigaciones.

Financiamiento al sector público

El banco interamericano de desarrollo actualmente cuenta con tres categorías de financiamiento para el sector público dependiendo de los objetivos de desarrollo elegibilidad y requisitos de desembolso de los préstamos, así como los criterios del tamaño en los montos y los términos financieros.

Cada categoría de préstamo ofrece de varios tipos de opciones de préstamo y enfoques.

Categorías de préstamo

Los préstamos de inversión a los países prestatarios del BID financian bienes obras públicas y servicios para promover el desarrollo social y económico (caso del actual proyecto bajo estudio). Esta categoría incluye una serie de instrumentos específicos en caso de que se presente un desastre natural.

Los préstamos de apoyo a reformas de política tienen como finalidad apoyar reformas de política y/o cambios institucionales en un determinado sector o subsector.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|------------------------------------|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 174 de 244 |
| EVALUACIÓN ECONÓMICA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | 05_EVALUACION_ECONOMICA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Los préstamos de financiamiento especial para el desarrollo están diseñados Para apoyar a los países prestatarios en caso de una crisis macroeconómica y mitigar los efectos en el progreso económico y social de los países.

Actualmente el banco interamericano de desarrollo cuenta con 592 proyectos en 27 países. En Argentina cuenta con 65 proyectos en su cartera activa por valores de US\$ 10 mil millones [71].

Préstamos para proyectos específicos

Dentro de los préstamos de inversión se encuentran los préstamos para proyectos específicos. Este tipo de préstamos está diseñado para financiar uno o más proyectos específicos para objetivos muy concretos con componentes interdependientes. Cuando el BID aprueba el préstamo, el diseño preliminar del proyecto, así como el coste la factibilidad técnica financiera y económica tienen que haber sido estimados.

Se considera una inversión específica a un proyecto que no puede dividirse sin que afecte la naturaleza del proyecto o la justificación de cada uno de sus componentes independientes.

Dentro de las actividades elegibles de este tipo de préstamo Se incluye el financiamiento de la construcción de una planta hidroeléctrica la rehabilitación de carreteras mejora del saneamiento para proteger una cuenca o actualizaciones en la enseñanza preescolar.

Línea de crédito condicional para proyectos de inversión

La línea de crédito condicional para proyectos de inversión puede financiar programas de un sector o múltiples sectores con miras a incrementar la calidad de los procesos de preparación y aprobación de préstamos reducir los costos de

| | | | | | |
|---|---|---|-----------|------------------------------------|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 175 de 244 |
| EVALUACIÓN ECONÓMICA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | 05_EVALUACION_ECONOMICA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

procesamiento de préstamos y recompensar a los prestatarios por el buen desempeño en la implementación de proyectos. Al imponer condiciones a la línea de crédito la línea de crédito condicional para proyectos de inversión aporta recursos suficientes a los prestatarios desalienta a una buena implementación del proyecto y ofrece un medio para asegurar el apoyo eficiente y la presencia continua del banco en los sectores involucrados.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|------------------------------------|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 176 de 244 |
| EVALUACIÓN ECONÓMICA | | | | | |
| PELOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | 05_EVALUACION_ECONOMICA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Ejemplos de préstamos del BID para proyectos de desarrollo y tasa de interés

En los últimos años en nuestro país el BID ha realizado préstamos en varias oportunidades y con distintos fines.

Por ejemplo, para el mejoramiento de rutas provinciales:

https://www.cronista.com/economiapolitica/Aprueban-prestamo-del-BID-por-us-300-millones-para-mejorar-rutas-provinciales-20191023-0003.html?utm_source=ecc_notas&utm_medium=cms&utm_campaign=refresh

O para el desarrollo de tecnologías satelitales:

<https://mundogeo.com/es/2019/08/02/argentina-desarrollara-tecnologias-satelitales-con-apoyo-del-bid/>

O para programas que no implican directamente obras, como el Programa para la implementación de la estrategia nacional de inclusión financiera de Argentina:

<https://www.telam.com.ar/notas/201805/283968-el-gobierno-aprobo-el-modelo-de-contrato-de-prestamo-del-bid-por-us-20-millones.html>. Este último préstamo tuvo al momento de su firma un 2,76% (variable según LIBOR).

La tasa de interés basada de los préstamos del BID se basa en la tasa LIBOR (London Interbank Offered Rate). Dicha tasa de interés es la que utilizan muchos bancos como referencia para fijar el valor de sus productos financieros. Cada día, es publicada por la BBA (British Bankers Association).

Si bien los préstamos con los estados se negocian de forma directa entre el estado y el directorio del banco (dependiendo del proyecto), para el presente proyecto se toman datos de: <https://www.macrotrends.net/2520/3-month-libor-rate-historical-chart>.

Allí, con datos al 20/01/2020, se informa como tasa LIBOR un 1,8%.

| | | | | |
|---|---|---|---|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 177 de 244 |
| EVALUACIÓN ECONÓMICA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | 05_EVALUACION_ECONOMICA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Costos

Se toman datos de los costos según la publicación de ABB ya mencionada, donde se analiza un proyecto similar de un proyecto HVDC de 3000 MW en tensión +/-500 kV configuración bipolar.

Se adjunta la tabla presente en dicha publicación a continuación:

| table 1. Comparative costs of HVDC and EHV AC transmission alternatives. | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|------------------------|-----------------|----------------|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|----------------|
| Alternative | DC Alternatives | | | | AC Alternatives | | | Hybrid AC/DC Alternative | | |
| | + 500 Kv Bipole | 2 x + 500 kv 2 bipoles | + 600 kv Bipole | +800 kv Bipole | 500 kv 2 Single Ckt | 500 kv Double Ckt | 765 kv 2 Singl Ckt | + 500 kv Bipole | 500 kv Single Ckt | Total AC + DC |
| Capital Cost | | | | | | | | | | |
| Rated Power (MW) | 3000 | 4000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 1500 | 4500 |
| Station costs including reactive compensation (M\$) | \$420 | \$680 | \$465 | \$510 | \$542 | \$542 | \$630 | \$420 | \$302 | \$722 |
| Transmission line cost (M\$/mile) | \$1.60 | \$1.60 | \$1.80 | \$1.95 | \$2.00 | \$3.20 | \$2.80 | \$1.60 | \$2.00 | \$2,700 |
| Distance in miles | 750 | 1,500 | 750 | 750 | 1,500 | 750 | 1,500 | 750 | 750 | 1,500 |
| Transmission Line Cost (M\$) | \$1,200 | \$2,400 | \$1,350 | \$1,463 | \$3,000 | \$2,400 | \$4,200 | \$1,200 | \$1,500 | \$2,700 |
| Total Cost (M\$) | \$1,620 | \$3,080 | \$1,815 | \$1,973 | \$3,542 | \$2,942 | \$4,830 | \$1,620 | \$1,802 | \$3,422 |
| Annual Payment, 30 years @ 10% | \$172 | \$327 | \$193 | \$209 | \$376 | \$312 | \$512 | \$172 | \$191 | \$363 |
| Cost per kW-Yr | \$57.28 | \$81.68 | \$64.18 | \$69.75 | \$125.24 | \$104.03 | \$170.77 | \$57.28 | \$127.40 | \$80.66 |
| Cost per MWh @ 85% Utilization Factor | \$7.69 | \$10.97 | \$8.62 | \$9.37 | \$16.82 | \$13.97 | \$22.93 | \$7.69 | \$17.11 | \$10.83 |
| Losses @ full load | 193 | 134 | 148 | 103 | 208 | 208 | 139 | 106 | 48 | 154 |
| Losses at full load in % | 6.44% | 3.35% | 4.93% | 3.43% | 6.93% | 6.93% | 4.62% | 5.29% | 4.79% | 5.12% |
| Capitalized cost of losses @ \$1500 kW (M\$) | \$246 | \$171 | \$188 | \$131 | \$265 | \$265 | \$177 | \$135 | \$61 | \$196 |
| Parameters: | | | | | | | | | | |
| Interest rate % | 10% | | | | | | | | | |
| Capitalized cost of losses \$/kW | \$1,500 | | | | | | | | | |
| Note: | | | | | | | | | | |
| AC current assumes 94% pf | | | | | | | | | | |
| Full load converter station losses = 9.75% per station | | | | | | | | | | |
| Total substation losses (transformers, reactors) assumed = 0.5% of rated power | | | | | | | | | | |

Tabla 5.1

Se trabajará con los valores de la primera columna. En las restantes columnas se puede ver que el costo de la estación convertidora incluyendo la compensación de reactiva es superior en las alternativas de alta tensión en corriente alterna (ya que, en esa alternativa, para esa distancia ya pesa la compensación de reactiva a realizar).

Para actualizar estos valores por inflación, se toman datos de la inflación anual del dólar (hasta el 2019).

Los valores de inflación utilizados son:

| | | | | | |
|---|---|--|--------|------------------------------------|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 178 de 244 |
| EVALUACIÓN ECONÓMICA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | 05_EVALUACION_ECONOMICA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Inflación Histórica - Estados Unidos

| Año | Inflación (%) | Inflación | Factor |
|------|---------------|-----------|--------|
| 2005 | 3.42 | 0.0342 | 1.0342 |
| 2006 | 2.54 | 0.0254 | 1.0254 |
| 2007 | 4.08 | 0.0408 | 1.0408 |
| 2008 | 0.09 | 0.0009 | 1.0009 |
| 2009 | 2.72 | 0.0272 | 1.0272 |
| 2010 | 1.5 | 0.015 | 1.015 |
| 2011 | 2.96 | 0.0296 | 1.0296 |
| 2012 | 1.74 | 0.0174 | 1.0174 |
| 2013 | 1.5 | 0.015 | 1.015 |
| 2014 | 0.76 | 0.0076 | 1.0076 |
| 2015 | 0.73 | 0.0073 | 1.0073 |
| 2016 | 2.07 | 0.0207 | 1.0207 |
| 2017 | 2.11 | 0.0211 | 1.0211 |
| 2018 | 1.91 | 0.0191 | 1.0191 |
| 2019 | 2.29 | 0.0229 | 1.0229 |

Tabla 5.2

Actualizando los valores de la línea de transmisión y del costo de la estación transformadora incluyendo la compensación de potencia reactiva se obtiene:

| Actualización por inflación | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Costo de la estación (US\$) | 420000000.00 | 420378000.00 | 431812281.60 | 438289465.82 | 451262834.01 | 459114807.32 | 466001529.43 | 469543141.06 | 472970805.99 | 482761301.67 | 492947565.14 | 502362863.63 | 513866973.21 |
| Costo de línea de transmisión (US\$/km) | 1600000.00 | 1601440.00 | 1644999.17 | 1669674.16 | 1719096.51 | 1749008.79 | 1775243.92 | 1788735.78 | 1801793.55 | 1839090.67 | 1877895.49 | 1913763.29 | 1957588.47 |
| Distancia en km | 1225.00 | 1225.00 | 1225.00 | 1225.00 | 1225.00 | 1225.00 | 1225.00 | 1225.00 | 1225.00 | 1225.00 | 1225.00 | 1225.00 | 1225.00 |
| Costo totales de línea de transmisión (US\$) | 1960000000.00 | 1961764000.00 | 2015123980.80 | 2045350840.51 | 2105893225.39 | 2142535767.51 | 2174673804.03 | 2191201324.94 | 2207197094.61 | 2252886074.47 | 2300421970.64 | 2344360030.28 | 2398045874.97 |
| Costos totales (US\$) | 2380000000.00 | 2382142000.00 | 2446936262.40 | 2483640306.34 | 2557156059.40 | 2601650574.84 | 2640675333.46 | 2660744465.99 | 2680167900.60 | 2735647376.14 | 2793369535.77 | 2846722893.91 | 2911912848.18 |

Tabla 5.3

Se obtiene:

| | |
|-------------------------|------------|
| Costo línea / km (US\$) | 1957588.47 |
|-------------------------|------------|

En la inversión inicial deben tenerse en cuenta los costos por servicios profesionales (gestión de proyecto (25% del costo total de equipamiento), servicios de ingeniería y obra civil (60% del costo total de equipamiento) y administrativos (15% del costo total de equipamiento)) [72].

En cuanto al mantenimiento de la línea, las actividades a desarrollar aparecen en la siguiente tabla del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería de Perú donde se detallan las actividades previstas según el tipo de mantenimiento [73]:

| Procesos | Tipo de Mantenimiento | Actividades |
|--|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Mantenimiento Electromecánico de Líneas Aéreas | Mantenimiento Correctivo Programado | Cambio de Aisladores |
| | | Cambio de Conductores |
| | | Cambio de Ferretería |
| | | Reparación de Conductores |
| | | Cambio de Cable de Guarda |
| Mantenimiento Estructuras de Líneas Aéreas | Mantenimiento Preventivo | Pintado de Estructuras |
| | | Pintado de Fases y Rótulos |
| | | Embreado de Patas (Torres) |
| | Mantenimiento Correctivo Programado | Cambio de Perfiles |
| | | Reparación de bases de torres |
| Mantenimiento Sistema de Puesta a Tierra | Mantenimiento Predictivo | Medición Puesta a Tierra |
| | Mantenimiento Correctivo Programado | Reparación de Puesta a Tierra |
| Revisión y Mediciones Eléctricas | Mantenimiento Predictivo | Medición Puntos Calientes |
| | | Medición de Distribución de Potencial |

Tabla 5.4

En cuanto al mantenimiento de las líneas y estaciones convertidoras, se tomará: U\$\$ 2365008,91 /año [74].

El precio de la energía tomado como referencia es el precio mayorista. Se considera 83,6 U\$\$/MWh [75]. Al multiplicar la energía vendida (en MWh por mes), por este precio, se obtienen los ingresos mensuales por venta de energía. Se tiene en cuenta que el proyecto hidroeléctrico Corpus está planificado para poder generar 162936 MWh/año [76].

| | | | | | |
|---|---|--|--------|------------------------------------|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 181 de 244 |
| EVALUACIÓN ECONÓMICA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | 05_EVALUACION_ECONOMICA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Para el análisis se tomará una vida útil de 30 años [77].

Además, la línea debe estimarse con una longitud mayor a la que realmente tiene por contingencias o correcciones eventuales en la traza al realizar el estudio de campo [78] (se toma 1400 km).

Adjuntando cálculos realizados:

| | |
|---|----------------------------|
| Vida útil (años) | 30 |
| Tasa (%) | 1.87 |
| Inversión equipamiento (línea y subestaciones) (U\$S) | \$ 3,254,490,830.32 |
| Gestión de proyecto (U\$S) | \$ 813,622,707.58 |
| Ingeniería y Obra Civil (U\$S) | \$ 1,952,694,498.19 |
| Administrativos (U\$S) | \$ 488,173,624.55 |
| Inversión total inicial (U\$S) | \$ 6,508,981,660.63 |
| Venta de energía/año (U\$S) | \$ 1,583,104,013.57 |
| Mantenimiento/año (U\$S) | \$ 2,365,008.91 |
| Flujo de caja anual (U\$S) | \$ 1,580,739,004.66 |

Tabla 5.5

El análisis del VAN y el TIR es:

| | |
|--------------------|----------------------|
| Análisis VAN y TIR | |
| VAN | \$ 29,535,062,167.06 |
| TIR | 24% |

Tabla 5.6

| | | | | | |
|---|---|--|--------|------------------------------------|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 182 de 244 |
| EVALUACIÓN ECONÓMICA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | 05_EVALUACION_ECONOMICA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Expresando los costos en pesos a \$63 pesos por dólar, se obtiene:

| | |
|---|------------------------------|
| Inversión equipamiento (línea y subestaciones) (\$) | \$ 205,032,922,309.97 |
| Gestion de Proyecto (\$) | \$ 51,258,230,577.49 |
| Ingeniería y Obra Civil (\$) | \$ 123,019,753,385.98 |
| Administrativos (\$) | \$ 30,754,938,346.50 |
| Inversión total inicial (\$) | \$ 410,065,844,619.95 |
| Venta de energía/año (\$) | \$ 99,735,552,854.78 |
| Mantenimiento/año (\$) | \$ 148,995,561.33 |
| Flujo de caja anual (\$) | \$ 99,586,557,293.45 |

Tabla 5.7

Como puede verse, el VAN es positivo, y el proyecto no sería rentable si la tasa fuese de 24% o mayor. Como en este caso la tasa es de 1,8%, (menor al TIR) el proyecto es rentable.

Además, el período de recuperación de la inversión se da entre el cuarto y el quinto año, siendo rentable el proyecto a partir del quinto año (período mínimo de ejecución de la obra para que sea rentable).

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|------------------------------------|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 183 de 244 |
| EVALUACIÓN ECONÓMICA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | 05_EVALUACION_ECONOMICA_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Análisis de alternativa HVAC

Para comparar, se analiza económicamente la alternativa de construcción de una línea de 500 kV en alta tensión en corriente alterna para la misma potencia y distancia. Se toman como referencia los costos de mantenimiento de un proyecto similar realizado en Oregon, EEUU [79].

Actualizando los valores por inflación del dólar, se obtiene:

| Actualización por inflación | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Costo de la estación, incluyendo compensación de potencia reactiva intermedia en alterna (US\$) | 542000000.00 | 542487800.00 | 557243468.16 | 565602120.18 | 582343942.94 | 592476727.55 | 601363878.46 | 605934243.94 | 610357563.92 | 622991965.49 | 636137095.96 | 648287314.49 | 663133094.00 |
| Costo de línea de transmisión (US\$/km) | 2000000.00 | 2001800.00 | 2056248.96 | 2087092.69 | 2148870.64 | 2186260.99 | 2219054.90 | 2235919.72 | 2252241.93 | 2298863.34 | 2347369.36 | 2392204.11 | 2446985.59 |
| Distancia en km | 1400.00 | | | | | | | | | | | | |
| Costo totales de línea de transmisión (US\$) | 2800000000.00 | 2802520000.00 | 2878748544.00 | 2921929772.16 | 3008418893.42 | 3060765382.16 | 3106676862.89 | 3130287607.05 | 3153138706.58 | 3218408677.81 | 3286317100.91 | 3349085757.54 | 3425779821.39 |
| Costos totales (US\$) | 3342000000.00 | 3345007800.00 | 3435992012.16 | 3487531892.34 | 3590762836.36 | 3653242109.71 | 3708040741.35 | 3736221850.99 | 3763496270.50 | 3841400643.30 | 3922454196.87 | 3997373072.03 | 4088912915.38 |

Tabla 5.8

Costo de línea por km:

| | |
|-------------------------|------------|
| Costo línea / km (US\$) | 2796554.96 |
|-------------------------|------------|

Cálculos realizados:

| | |
|---|----------------------------|
| Vida útil (años) | 30 |
| Tasa (%) | 1.87 |
| Inversión equipamiento (línea y subestaciones) (U\$S) | \$ 4,088,912,915.38 |
| Gestión de proyecto (U\$S) | \$ 1,022,228,228.85 |
| Ingeniería y Obra Civil (U\$S) | \$ 2,453,347,749.23 |
| Administrativos (U\$S) | \$ 613,336,937.31 |
| Inversión total inicial (U\$S) | \$ 8,177,825,830.77 |
| Venta de energía/año (U\$S) | \$ 1,583,104,013.57 |
| Mantenimiento/año (U\$S) | \$ 6,184,000.00 |
| Flujo de caja anual (U\$S) | \$ 1,576,920,013.57 |

Tabla 5.9

Expresando los costos en pesos a \$63 por dólar:

| | |
|---|------------------------------|
| Inversión equipamiento (línea y subestaciones) (U\$S) | \$ 257,601,513,669.15 |
| Gestión de proyecto (U\$S) | \$ 64,400,378,417.29 |
| Ingeniería y Obra Civil (U\$S) | \$ 154,560,908,201.49 |
| Administrativos (U\$S) | \$ 38,640,227,050.37 |
| Inversión total inicial (U\$S) | \$ 515,203,027,338.30 |
| Venta de energía/año (U\$S) | \$ 99,735,552,854.78 |
| Mantenimiento/año (U\$S) | \$ 389,592,000.00 |
| Flujo de caja anual (U\$S) | \$ 99,345,960,854.78 |

Tabla 5.10

VAN y TIR:

| Análisis VAN y TIR | |
|--------------------|----------------------|
| VAN | \$ 27,779,137,282.26 |
| TIR | 19% |

Tabla 5.11

Como se puede ver, la TIR es menor que en la alternativa HVDC, por lo tanto, es más rentable el anterior. Además, la inversión inicial es mayor, y el flujo de caja anual es menor que en dicha alternativa.

El plazo mínimo para que la alternativa HVAC sea rentable es de 6 años, recuperándose la inversión entre el quinto y sexto año.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA
CONSTRUCCIÓN, DISEÑO, CÁLCULO Y
SIMULACIONES PARA UNA LÍNEA HVDC EN
EL CORREDOR NEA-EZEIZA**

**SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE y
REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE
LÍNEA**

CONFORMIDAD EDICIÓN:

| SECTOR | REALIZÓ | APROBÓ | FECHA | OBSERVACIONES |
|------------|---------------------------|-----------|-------|---------------|
| UTN/FRD | PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| DOCUMENTO: | SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTE | REVISIÓN: | A | HOJAS: |

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 187 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Seguridad e Impacto medioambiental

La norma AEA 95301 enuncia en su capítulo 16, llamado “Impacto Ambiental”, que la preservación del medioambiente en el ámbito de la transmisión y distribución de la energía eléctrica condiciona los proyectos a realizar **[80]**.

Serán de aplicación los requerimientos medioambientales establecidos en la resolución S.E. 77/98 de la Secretaría de Energía **[81]**. Allí se describen las condiciones que debe cumplir el proyecto, la ejecución y la explotación de instalaciones de transmisión y distribución de energía eléctrica, a efectos de garantizar la compatibilidad de las instalaciones con el medioambiente.

Los parámetros ambientales que garantizan la compatibilidad mencionada son:

- Ocupación del espacio
- Impacto visual
- Radiointerferencia
- Ruido
- Campos de baja frecuencia (eléctrico y de inducción magnética)
- Limitación de la corriente de contacto

A continuación, se definen y se desarrollan cada uno de éstos parámetros:

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 188 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Ocupación del espacio

Se refiere a la intrusión real, concreta y objetiva que cualquier instalación produce en los usos directos e indirectos, presentes y futuros, del espacio ocupado.

Impacto visual sobre el medioambiente

Son los aspectos que se definen normalmente como “impacto visual de la instalación” y que en general son.

- a) El punto de vista paisajístico.
- b) La afectación de la flora y fauna.
- c) El respecto a las condiciones de escurrimiento natural de las aguas.
- d) La incidencia sobre el patrimonio histórico/cultural, etc.
- e) La ocupación del espacio.
- f) La interferencia con otras instalaciones.

Radiointerferencia

Se debe al campo eléctrico intenso en las cercanías de los conductores y la morsetería, que se manifiesta en dos fenómenos distintos: el efecto Corona y las microdescargas disruptivas.

Efecto Corona

Son descargas eléctricas parciales en el aire, en cercanía de los elementos conductores de una línea y sus accesorios. Dependen básicamente de la intensidad del campo eléctrico en la superficie de los conductores, de las imperfecciones o suciedad de la misma y de las condiciones ambientales. La intensidad del campo eléctrico es función de la tensión aplicada y del diámetro de los conductores. El efecto se visualiza como una luminiscencia que rodea al conductor. Por debajo de un cierto valor de tensión y por encima de un cierto diámetro de conductor su

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 189 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

incidencia es nula (no es el caso de este proyecto, donde ya fueron calculadas las pérdidas por efecto Corona).

Descargas parciales

Son microdescargas disruptivas que ocurren en los intersticios de aire que pueden subsistir en el interior de los materiales aislantes no homogéneos.

Nivel de radiointerferencia según resolución SE 77/98

De acuerdo con las normas de la Comisión Nacional de Comunicaciones, se fija un nivel máximo de Radiointerferencia (RI) de 54 dB, durante el 80% del tiempo en horarios diurnos, medidos a una distancia horizontal mínima de 5 veces la altura de la línea respecto al suelo en los puntos de fijación de los conductores.

Se fija un valor de máxima interferencia de 30 dB para protección de señales radiofónicas, con calidad de recepción de interferencia no audible.

Ruido

Las exigencias medioambientales establecen que debe cumplirse la norma IRAM N° 4062 "Ruidos Molestos al Vecindario". En esta norma se establecen los niveles de ruido máximo admitidos, y los criterios de aceptación de las mediciones realizadas en función del tipo de zona (urbana, rural, etc), el horario de la medición (diurno y nocturno), la ubicación de la finca, etc.

Campos de baja frecuencia

Se trata de los campos eléctricos y magnéticos generados por los conductores de las líneas, el equipamiento de alta y media tensión y los transformadores. Sus efectos indeseables se manifiestan a través de dos fenómenos claramente diferenciados:

- La aparición de acoplamientos eléctricos y magnéticos: pueden inducir tensiones y eventual circulación de corrientes en elementos metálicos

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 190 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

cercanos (alambrados cercas, cañerías, vías férreas, líneas de baja tensión o comunicación, etc).

- Experimentos de campo: experimentos de campo realizados acotaron de forma significativa la valoración de los efectos sobre la fisiología humana. La normativa internacional actual limita los valores de campo eléctrico y magnético asociados a las cercanías de las instalaciones eléctricas y ésta es la línea de acción que sigue la resolución 77/98 de la secretaría de energía estableciendo los límites que se indican a continuación:
 - Campos eléctricos: 3 kV/m al borde de la franja de servidumbre, medido a 1 m del suelo.
 - Campos magnéticos: se adopta como valor límite para las condiciones de carga máxima 25 μ T al borde de la franja de servidumbre, medido a 1 m del suelo.
 - Límite de la corriente de contacto: en áreas donde la línea atraviese o se desarrolle paralela a lugares de posible estacionamiento, permanente o no de vehículos, ferrocarriles, construcciones en general, hay que tener en cuenta la aparición de niveles de tensiones inducidas que puedan originar el establecimiento de corrientes de contacto de niveles peligrosos. A tal fin se debe aplicar el siguiente criterio:

Para tensiones máximas de servicio del sistema superiores a 98 kV fase - tierra, las alturas deberán incrementarse (o el campo eléctrico y sus efectos reducirse por medios adecuados), con el fin de limitar la máxima corriente de contacto a 5 mA. valor eficaz, calculada según la Resolución 77/98 de la Secretaría de Energía **[82]** (se transcribe el párrafo textual de dicha resolución: “El nivel máximo de campo eléctrico, en cualquier posición, deberá ser tal que las corrientes de contacto para

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 191 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

un caso testigo: niño sobre tierra húmeda y vehículo grande sobre asfalto seco, no deberán superar el límite de seguridad de CINCO MILI AMPERIOS (5mA”). De igual modo, los valores máximos de campo eléctrico calculados al borde de la franja de servidumbre estarán dentro de los límites impuestos por dicha resolución.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 192 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Criterios de evaluación del impacto ambiental

Ocupación del espacio

La ocupación del espacio es inherente a la realización de cualquier obra. Los efectos a largo plazo sobre el ambiente son dos:

- a) Directo: Es un obstáculo físico a la circulación terrestre y en ciertas condiciones aérea o fluvial. El proyectista debe evaluar cuidadosamente estas limitaciones.
- b) Indirecto: Limita el uso futuro del espacio ocupado. Por lo tanto, se recomienda evitar las áreas destinadas a reserva de flora y fauna y en zonas pobladas respetar la trama urbana y no afectar el uso de los espacios públicos destinados a parques, recreación y turismo.

Impacto visual

El impacto visual si bien tiene un fuerte componente subjetivo debe ponderarse básicamente por tres aspectos característicos:

- a) Visibilidad: Es la apreciación visual básicamente volumétrica de la instalación. Si no hay visibilidad no hay impacto visual permanente.
- b) Contexto: Ubicación en el ambiente en que se instala (usos, actividades y expectativas escénicas). En áreas dedicadas a la recreación y en puntos de apreciación panorámicos la cercanía al observador de cualquier instalación significa una intrusión visual que debe tender a evitarse o reducirse.
- c) Intensidad: Relieve o prominencia de la posición que ocupa, contraste (forma-fondo), distancia desde donde se percibe la instalación, escala (tamaño relativo) y diseño (color, material, textura y forma). Las

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 193 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

instalaciones tienen un grado de transparencia mayor o menor en función de las características arquitectónicas que las definen y la conveniencia de reducirla o incrementarla. La esbeltez de cualquier estructura tiene impacto visual más favorable cuanto mayor es la relación entre las dimensiones longitudinales y transversales. Aquellas estructuras que requieran ser pintadas, lo serán con colores y acabados tales que reduzcan su impacto visual respecto al medio de local.

Metodología para la evaluación del impacto visual

El impacto visual se pondera por:

- a) La observación preliminar de la zona objeto de la implantación permite apreciar la incidencia de las obras y reducir el impacto transitorio y permanente de su instalación.
- b) Debe asegurarse la libre circulación por calles y veredas con la instalación ya construida y minimizar las obstrucciones que se produzcan en el curso de la obra.
- c) No se debe alterar disminuyéndolo bajo ninguna circunstancia el escurrimiento de aguas pluviales preexistentes en la zona de influencia de la instalación.
- d) Debe asegurarse en todas las etapas de la obra y con esta nación terminada la accesibilidad y la visibilidad de y desde los domicilios.
- e) Las zonas arboladas deben tratarse con las siguientes premisas:
Los árboles en general no se deben talar. En particular podrán existir necesidades de realizarla, como el caso de traza única o

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 194 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

emplazamientos en zonas boscosas que requieran crear picadas para su montaje.

- 1) Como mínimo se deben reponer los ejemplares talados.
- 2) Los árboles se pueden trasladar con los debidos recaudos.
- 3) Los árboles se pueden podar. Una poda racional (raleo o despunte) no daña los árboles.

Evaluación de radio interferencia ruido y campos de baja frecuencia

La reducción de este tipo de parámetros se tiene en cuenta en dos etapas:

- Especificación de los materiales proyecto y montaje respetando las normas y reglas del buen arte: en el diseño de los elementos que conforman las instalaciones normalizadas y en el proyecto y montaje de las mismas están consideradas todas las medidas que impiden o limitan la aparición de los fenómenos perturbadores vinculados con el campo eléctrico (ausencia de ángulos vivos, prolijidad en las terminaciones, correcto ajuste de la morseteria, etc) y con el campo magnético.
- Medición: las mediciones que se realizan se hacen siguiendo procedimientos normalizados y verificando el cumplimiento de los niveles de referencia establecidos en las normas.

Las mediciones de campo serán realizadas por instituciones de reconocido prestigio que permiten verificar el cumplimiento de las exigencias establecidas.

Evaluación de la corriente de contacto

La limitación de este parámetro se tiene en cuenta en dos etapas:

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 195 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

- Proyecto: En el proyecto a fin de lograr los valores normalizados limitando la altura de los conductores sobre el suelo dentro de un diseño de estructura que limita la reducción del propio campo eléctrico.
- Medición: medición que se realiza siguiendo procedimientos normalizados y verifica el cumplimiento de los niveles de referencia establecidos en las normas.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 196 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Evaluación ambiental para el presente proyecto en base a norma y reglas del buen arte

El aspecto más importante para cumplimentar con los puntos desarrollados hasta el momento es la elección de la traza de la línea.

Esto influirá en la construcción y la posterior operación de las mismas, teniendo en cuenta el mantenimiento necesario.

Las causas principales de los impactos relacionados con la construcción del sistema incluyen:

- Desbroce de vegetación de los sitios y derechos de paso
- Construcción de caminos de acceso, los cimientos de las torres, y las subestaciones

Franja de servidumbre

Como puede verse en la traza de la línea realizada en este proyecto (capítulo 4), se minimizó la construcción de caminos especiales para acceder a la línea (es decir, la misma no circula “a campo travieso”), sino que se construyó siguiendo en la mayor parte de su trayectoria rutas nacionales, provinciales o caminos transitables.

Además, se procuró evitar cortar vegetación, aun cuando eso implicó colocar estructuras de retención en vez de estructuras de suspensión.

Otra cuestión a considerar es que normalmente no se prohíbe el pastoreo o uso agrícola en los derechos de paso o servidumbres, pero otros usos son incompatibles. Este tema se encuentra desarrollado en la ley 19552 ya introducida en el capítulo 4. La misma enuncia que:

Dentro de la superficie afectada por la servidumbre queda prohibido:

- a) Cualquier tipo de edificación o construcción destinada a vivienda permanente.
- b) Su utilización para el emplazamiento de escuelas.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 197 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

- c) Modificar los niveles del suelo ya sea con excavaciones o terraplenes, que afecten o puedan afectar la estabilidad de las estructuras, las tareas de mantenimiento o disminuyan las alturas y distancias de seguridad.
- d) La plantación de árboles o arbustos que en su máximo estado de crecimiento superen la altura de 4 metros, salvo el caso de bosques existentes que se considerarán en forma especial en la elección de la traza o en el diseño de la línea, de acuerdo con las distancias mínimas de seguridad establecidas.
- e) La quema de rastrojos, matorrales, etc., en la franja de servidumbre (o próximas a ella) que por efecto de la dirección de los vientos puedan sacar la línea de servicio por ionización del aire, o que contaminen o polucionen sus aislaciones en forma severa, más allá de las propias de la zona geográfica correspondiente, consideradas en el proyecto.
- f) El manipuleo o trasvasamiento de combustibles líquidos o gaseosos, o volátiles inflamables.
- g) La instalación de piletas de natación o cementerios.
- h) La instalación de basurales a cielo abierto, por el riesgo de fuego espontáneo que conllevan.
- i) Realizar voladuras de terrenos con explosivos.
- j) El empleo de alambrados electrificados.

Además, se deben emplear métodos de limpieza químicos y mecánicos o con herbicidas. En caso de ser requerido, se deben utilizar técnicas de desbroce manual (motosierra y herramientas mecánicas). Normalmente se evita el rocío aéreo de herbicidas porque no es selectivo e introduce una gran cantidad de químicos al medio ambiente, cuyos efectos pueden ser perjudiciales para las aguas superficiales, especies, y envenenar la fauna.

En la medida de lo posible, se debe procurar mantener la cubierta de vegetación nativa bajo las líneas. Además, las áreas alteradas deben ser resembradas.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 198 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

En todos los casos, se deben diseñar planes de protección y manejo de áreas silvestres y la fauna (en la norma enunciado como “afectación de la flora y fauna”).

Para el presente proyecto se contempla la construcción de tranqueras o guardaganados en los campos para ganadería para restringir el desplazamiento del ganado.

En cuanto a las aves, se deberán reducir los riesgos para las aves debido a las líneas de transmisión y torres. Con ese objetivo, se pueden instalar deflectores en las líneas en las áreas donde exista el potencial de que se choquen las aves.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 199 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Vegetación en la traza de la línea

En la provincia de Misiones, donde nace la línea, es una zona de foresto-industria (las mismas trabajan con madera implantada). Esto implica que hay poco impacto ambiental sobre especies nativas (solamente se pueden llegar a observar manchones aislados de árboles nativos pertenecientes a la selva misionera como, por ejemplo: cedro misionero, maderas duras como anchico, etc).

Hay actividad ganadera y plantaciones principalmente de: araucarias, pinos, yerba mate, té.

En la provincia de Corrientes se encuentra predominantemente el Parque Mesopotámico, donde los árboles son de porte más bajo. Algunas especies son: quebracho blanco, algarrobos, espinillos, zona de bajos (zona inundable) y pastizales. La actividad predominante es arroz y ganadería.

En la provincia de Entre Ríos, se repite el mismo tipo de vegetación con suelos más estables, diversificación de la actividad agropecuaria, y en algunas zonas atravesadas por plantaciones forestales de eucalipto y pino.

En la zona del Delta inferior se encuentran plantaciones forestales de sauce y álamo en su mayoría y zonas de albardones con algunas especies nativas **[83]**.

Patrimonio cultural

Durante la construcción de la presente línea se tuvo en cuenta lo enunciado en la norma respecto al “impacto visual de la instalación” en cuanto a la incidencia sobre el patrimonio histórico/cultural.

Teniendo en cuenta esto, se evitó pasar por patrimonio cultural o histórico de la nación o mundial. Por ejemplo, se evitó el pasaje por las Ruinas de San Ignacio.

Riesgos para la salud y seguridad

Para evitar el riesgo de electrocución, se deben respetar las alturas y distancias de seguridad.

Las mismas se calculan según:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 200 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

$$D = a + 0,01 \left(\frac{V_M}{\sqrt{3}} - 22 \right) [m]$$

Ecuación 6.1

Siendo a los valores expuestos en la tabla 7.4-a de la norma:

Tabla 7.4-a – Distancias básicas "a"

| Uso del suelo, tipo de obstáculo y/o naturaleza de la zona atravesada por la línea | Referencia | | |
|---|---|-----------------|---|
| | Conductores desnudos, protegidos o aislados (Entre 1 y 22 kV fase a tierra) | | |
| | Distancia "a" [m] | Ver Nota (1) | |
| Zonas accesibles solamente a pedestres. | 4,70 | 2 | |
| Zonas con circulación de maquinaria agrícola, caminos rurales o secundarios. Calles distritales y comunales. | 5,90 | 3 | |
| Espacios y caminos restringidos solo a tránsito peatonal y ciclistas. Terreno libre | 5,50 | - | |
| Autopistas, rutas (nacionales y provinciales) y caminos principales | 7,00 | - | |
| Vías de Ferrocarriles no electrificadas por catenaria | 8,50 | - | |
| Líneas de energía eléctrica de MT (clases "B y BB") | 1,20 | 4 | |
| Líneas de contacto para ferrocarril, tranvía o trolebús y cruce superior de funicular | 1,80 | - | |
| Áreas dedicadas o aptas para las actividades deportivas | 8,00 | 5 | |
| Partes vivas fijas de los equipamientos, sin protección, sobre espacios y caminos sujetos solo a peatones. | 4,30 | - | |
| Soportes, carcazas, etc. metálicos puestos a tierra o de material aislante, sobre espacios y caminos sujetos solo a peatones. | 3,50 | 6 | |
| Áreas no apropiadas o donde la navegación esta prohibida por Ente competente (altura libre al nivel normal de las aguas) | 5,20 | 7 | |
| Áreas apropiadas para la navegación (sin regulación de Ente competente), de acuerdo a la superficie del espejo de agua (en hectáreas) | Menos de 8 | 6,20 | 8 |
| | De 8 a 80 | 8,70 | |
| | De 80 a 800 | 10,50 | |
| | Más de 800 | 12,30 | |
| Vías navegables (solo donde ésta este regulada por Ente competente) | H + 2,00 | 9 | |

Tabla 6.1

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 201 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Además, se deberá seccionar y/o poner a tierra, cercos, alambrados, cañería, masas metálicas y otras instalaciones ubicadas próximas a la línea (normas IRAM 2281/90 y ANSI/IEEE Std. 80/96) (ambas son normas de PAT).

La línea se colocará a 200 metros o más de los caminos, en forma visible.

Seccionamiento de alambrados

Se suelen colocar a tierra mediante jabalina de 1 m, enterrada 50 cm bajo tierra, en el centro del tramo seccionado. La misma, en terreno normal será de acero galvanizado de 14,6 mm de diámetro, JL 16 x 1000 mm según IRAM 2310. En terreno agresivo, será de acero cobre de 14,6 mm de diámetro x 1000 mm según IRAM 2309.

Los alambrados fuera de la zona de seguridad, hasta 1000 m respecto del eje de la línea, se debe seccionar cada 3000 m (medidos paralelamente al eje de la línea) y puesta a tierra central sin seccionamiento.

Los alambrados fuera de la zona de seguridad, hasta 300 m respecto del eje de la línea, el seccionamiento se hace cada 1000 m (medidos paralelamente al eje de la línea) y se coloca una PAT central. Si la longitud del alambrado (L) es entre 500 y 1000 m, se instalará una PAT central sin seccionamiento.

Los alambrados dentro de la franja de seguridad y aproximadamente paralelos al eje de la línea, se seccionarán cada 280 m, con puesta a tierra central. De haber tranqueras, se instalará una PAT adicional a cada lado de la misma.

Los alambrados fuera de la franja de seguridad, hasta 100 m respecto del eje de la línea, el seccionamiento se realiza cada 400 m (medidos paralelamente al eje de la línea) y puesta a tierra central. Si la longitud (L) del alambrado es entre 200 y 400 m, se instalará una PAT central sin seccionamiento.

Señalización para aviación

Las torres y las líneas de transmisión pueden interrumpir la trayectoria de vuelo de los aviones pueden interrumpir la trayectoria de vuelo de los aviones cerca de los aeropuertos y poner en peligro las naves que vuelan muy bajo (por ejemplo, las empleadas para actividades agrícolas).

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 202 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Cuando las líneas se encuentran cerca de aeropuertos o en cruces de ríos o valles, la organización internacional de asociación civil recomienda la instalación de balizas sobre el mismo cable. El diámetro de las mismas no debe ser menor a 60 cm. Deben ser identificables desde una distancia de 1000 m en tiempo despejado vistas desde el aire y desde una distancia de 300 m en tiempo para líneas vistas desde tierra en todas las direcciones en que sea probable que las aeronaves se aproximen a las líneas. Las mismas son del tipo:



Figura 6.1

De igual forma, en este proyecto se evitaron las proximidades de aeropuertos y aeródromos. Las balizas deberán instalarse en los cruces del río Gualeguay y Paraná.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 203 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Carteles de señalización

Carteles para reconocimiento aéreo

Para la cartelería, se debe cumplir con la resolución ENRE N° 400/2011. Dicha resolución establece que para estructuras reticuladas en zonas urbanas o suburbanas se deben colocar 2 carteles, uno a cada lado de la estructura enfrentados entre sí a una altura mínima del terreno de 2,6 m. Para estructuras reticuladas en zonas rurales se debe colocar al menos 1 cartel a una altura del terreno mínima de 2,6 m.

Los carteles de riesgo eléctrico son obligatorios.

Se deben instalar carteles de numeración y de denominación para reconocimiento aéreo. Los mismos serán de color negro sobre fondo amarillo. Del tipo:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 204 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |



Figura 6.2

También, carteles indicadores de fases que se instalan en las torres terminales y en la torre anterior y posterior a una trasposición. La forma en que se instalen debe ser tal que su lectura, de izquierda a derecha, se corresponda con el orden de las fases en la torre, cualquiera sea el sentido en que se recorra la línea.

En todas las estructuras se deben instalar carteles de peligro y numeración, cerca de la base de la torre, del tipo:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 205 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |



Figura 6.3

Carteles de prohibición para trepar a la torre y cartel para reconocimiento aéreo:

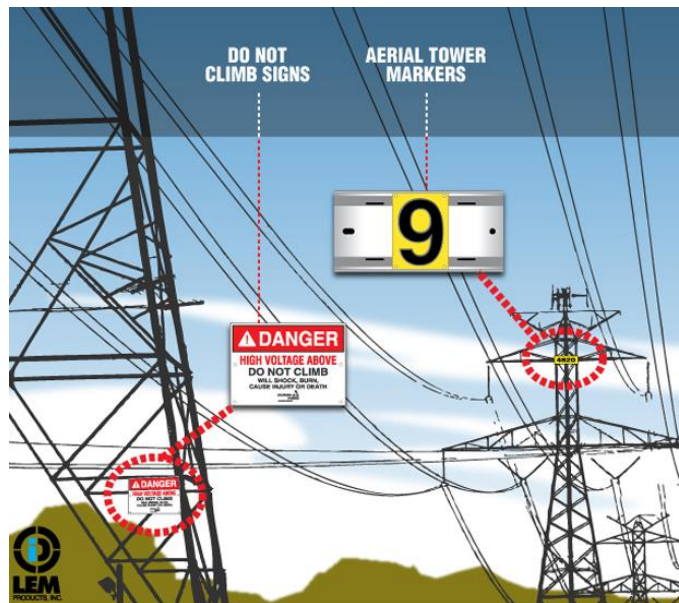


Figura 6.4

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 206 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Exigencias para el ingreso de una línea en el SADI y aspectos legales para su instalación [84]

En el siguiente apartado se desarrollarán las exigencias de CAMMESA y el ENRE para el ingreso de una línea de continua en el SADI.

Además, se estudiarán los aspectos legales de instalar una línea de corriente continua en el país (por ejemplo, presentaciones ante un organismo en particular para su instalación).

Como no se legisló sobre corriente continua en Argentina, debido a que es una tecnología nueva, los mismos requerimientos son los mismos que para una línea de corriente alterna.

CAMMESA y ENRE

Las ampliaciones en el sistema de transporte se rigen por el Reglamento de Acceso a la Capacidad Existente y Ampliación del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica, hecho por CAMMESA.

Primeramente, el usuario debe ser reconocido como agente del MEM, reconocimiento a cargo de la secretaría de energía.

Se deben cumplir todas las disposiciones emitidas por el ENRE y CAMMESA, en su carácter de organismo encargado del despacho.

Ampliación de la capacidad de transporte por contratos entre partes

El agente del MEM que para establecer su vinculación con el Mercado Eléctrico requiera una ampliación del Sistema de Transporte (para este caso la central Corpus-Christi requiere una nueva línea para conectarse), podrá obtenerla celebrando con una Transportista o con un Transportista Independiente un contrato COM (Construcción, Operación y Mantenimiento).

Para eso, se debe presentar una solicitud ante la transportista, que debe contener la información siguiente:

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 207 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

- a) Descripción y características técnicas de las instalaciones existentes de vinculación del USUARIO con el SISTEMA DE TRANSPORTE (si las hubiese).
- b) Descripción y característica del anteproyecto técnico del Contrato de Construcción, Operación y Mantenimiento (COM).
- c) Conformación del grupo empresario, si lo hubiere, que actuará como COMITENTE en el Contrato COM.
- d) Si el contrato COM se celebrare con un TRANSPORTISTA INDEPENDIENTE, deberá adjuntar la información necesaria para evaluar su aptitud técnico-económica para tal cometido.
- e) Fecha de habilitación requerida por el USUARIO para el servicio y, de corresponder, el cronograma de construcción de sus instalaciones.
- f) Requerimientos de servicio de transporte en energía y potencia por período estacional semestral para los próximos CUATRO (4) años y los estimados para los siguientes SEIS (6) años.
- g) Estudios del SISTEMA DE TRANSPORTE, en estado permanente y ante transitorios electromecánicos y electromagnéticos, en su área de influencia, necesarios para verificar la factibilidad técnica de la SOLICITUD.
- h) Información básica requerida por la SECRETARÍA DE ENERGÍA al ejercer las facultades regladas por el artículo 36 de la Ley N° 24065 (despacho nacional de cargas).
- i) Detalle de los contratos de suministro de energía eléctrica que el SOLICITANTE tenga condicionado a la SOLICITUD (es decir, contratos que dependan del éxito de la solicitud).
- j) De tratarse de una AMPLIACIÓN de capacidad de transporte destinada al abastecimiento eléctrico de una o más demandas desde el SADI a través de una línea radial y requerirse prioridad de acceso de la misma a favor del Comitente del Contrato COM, adicionalmente se presentará:
 - a. Solicitud de prioridad de acceso frente a terceros, de hasta el NOVENTA POR CIENTO (90%) de la capacidad de transporte a construir, durante un período que en ningún caso podrá exceder los SEIS (6) años contados a partir de la puesta en servicio de la instalación. En casos excepcionales, debidamente justificados, el ENTE NACIONAL REGULADOR DE LA ELECTRICIDAD (ENRE)

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 208 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

podrá considerar la solicitud de prioridad de acceso, frente a terceros, de más del NOVENTA POR CIENTO (90%) de la capacidad de transporte a construir.

- b. Detalle del uso que el SOLICITANTE (en este caso, la generadora Corpus-Christi) prevé hacer de la capacidad de la ampliación durante el período de prioridad antes referido, indicando la evolución que prevé en dicho uso.
 - c. El proyecto deberá respetar, en principio, como criterio de selección del punto de vinculación a la red existente, el del punto técnicamente más próximo. Todo apartamiento de dicho criterio se tratará como una excepción y deberá incluir una amplia justificación del punto seleccionado a satisfacción del ENRE.
- k) Toda información relevante para evaluar la SOLICITUD.

El TRANSPORTISTA deberá notificar al ENRE la SOLICITUD acompañada de su evaluación dentro de los TREINTA (30) días de recibida. El ENRE convocará a una audiencia pública para cumplir con el artículo 11 de la Ley 24065 y otorgar el certificado que acredite la conveniencia y necesidad pública de dicha construcción. Con ese certificado, se le da la Licencia técnica al transportista dentro de los 30 días de emisión del certificado.

Ampliaciones de la capacidad de transporte por concurso público

Se debe solicitar autorización para realizar una ampliación por concurso público a LA TRANSPORTISTA titular de la concesión del SISTEMA DE TRANSPORTE, a la cual se vincule dicha AMPLIACIÓN. La solicitud se integra con cualquiera de las alternativas:

- a) Una oferta de CONTRATO COM, de una TRANSPORTISTA o de un interesado en convertirse en TRANSPORTISTA INDEPENDIENTE, por un CANON ANUAL constante, propuesto para un PERÍODO DE AMORTIZACIÓN de QUINCE (15) años.
- b) Una propuesta de CANON ANUAL MÁXIMO para un PERÍODO DE AMORTIZACIÓN de QUINCE (15) años, definido como condicionante de la solicitud, acompañada por una propuesta técnica y una evaluación

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 209 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

económica que permita demostrar, a conformidad del ENRE, la factibilidad de la AMPLIACIÓN con el valor del CANON ANUAL MÁXIMO propuesto.

Cualquiera de los supuestos identificados en los incisos a) y b) podrá contener:

- Un período de amortización diferente al indicado siempre que se demuestre, a conformidad del ENRE, la conveniencia del mismo para los Usuarios del Sistema de Transporte.
- Una propuesta, en alternativa, de CANON correspondiente al primer año del PERÍODO DE AMORTIZACIÓN, y un COEFICIENTE ANUAL, para cada año a partir del segundo año de dicho período que, multiplicado por el CANON del primer año, determine el CANON ANUAL correspondiente a cada año a partir del segundo del PERÍODO DE AMORTIZACIÓN. En este caso el solicitante deberá demostrar, a conformidad del ENRE, que la variación del CANON propuesto se ajusta a la variación de los beneficios que la AMPLIACIÓN produce a los Usuarios del Sistema de Transporte.

En cualquier caso, la solicitud deberá acompañarse de una evaluación que permita acreditar al solicitante que su participación en los beneficios de la AMPLIACIÓN es igual o mayor al TREINTA POR CIENTO (30%) de los que la AMPLIACIÓN produce en su Área de Influencia.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 210 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Estudios eléctricos

El contratista debe tener la aprobación de LA TRANSPORTISTA y de CAMMESA.

Los estudios eléctricos “de etapa 1” a incluirse deberán ser:

- Flujo de cargas
- Cortocircuitos
- Estabilidad transitoria
- Gradientes superficiales máximos por subconductor
- Radio interferencia y ruido audible
- Campos eléctrico y magnético a nivel del suelo en la franja de servidumbre
- Estudios de transitorios electromagnéticos de diseño de la compensación shunt del proyecto
- Estudios de energización

Los estudios eléctricos “de etapas 2 y 3” son para cumplir con el procedimiento técnico N°1 de CAMMESA.

En los estudios eléctricos de etapa 2, el diseño de los sistemas de Desconexión Automática DAG/DAC deben concluir en la elaboración de un Pliego de Especificaciones Técnicas, que deberá ser presentado al ENTE CONTRATANTE y evaluada por los transportistas correspondientes (TRANSENER SA, EPEC, EDEN, EPE), a efectos de proceder a tramitar la implementación del mismo como Ampliación a la Capacidad de Transporte conforme a la normativa vigente y de acuerdo con lo resuelto por el ENRE por el artículo 15 de la resolución ENRE N° 10/2008.

Verificaciones de diseño

Línea de alta tensión: se debe estudiar:

- Estudios para la coordinación de la aislación de conductor a tierra y entre conductores ante sobretensiones de maniobra teniendo en cuenta diferentes condiciones climáticas, velocidades de viento, y rigidez dieléctrica presentes en el trayecto de la línea.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 211 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

- Estudios para la determinación de la capacidad térmica del OPGW ante falla de cortocircuito monofásico a tierra y bloqueo de interruptor durante 250 ms.
- Verificación del diseño del blindaje de las líneas para descargas atmosféricas: se debe comprobar que el número de fallas de origen atmosférico sea menor o igual a 0,2 fallas por cada 100 km de línea por año. También se debe prestar atención a los valores de PAT de las estructuras a lo largo de la línea.

Otros estudios de etapa 2 y 3

- Estudios de transitorios electromagnéticos
- Estudios detallados de estabilidad transitoria y otros complementarios

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 212 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Gestión ambiental y social

Declaraciones de impacto ambiental: el contratista deberá cumplir con los términos de las declaraciones de impacto ambiental emitidas o a emitirse por la Autoridad Ambiental Competente.

Las pautas ambientales y sociales que deberán ser tenidas en cuenta con la construcción de líneas toman como referencia lo establecido en la resolución ENRE N° 274/2015 y resoluciones de la Secretaría de Energía N° 15/92 y 77/98 “Procedimientos ambientales para la construcción de Instalaciones del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica, que utilicen tensiones de 132 kV o superiores” y toda la legislación nacional, provincial o municipal de aplicación para este tipo de proyectos y lo establecido por la resolución del ENRE 555/01 “Guía de contenidos mínimos de los planes de gestión ambiental”.

En dichas resoluciones se establece que se deben comprobar los niveles de campo electrostáticos y electromagnéticos en la franja de servidumbre de la línea, ya mencionados en este proyecto.

En caso de campos electromagnéticos, se debe considerar una corriente máxima de transmisión de 2280 A.

Gestión de la calidad

El oferente a realizar la obra deberá tener actualizado el Sistema de Gestión de la Calidad con certificado aprobado y emitido por Organismo Acreditado en el país, que verifique la certificación bajo norma ISO 9001:2015. De esa forma se asegura la calidad de sus suministros, prestaciones y servicios desde la firma del contrato hasta la finalización del período de operación y mantenimiento, pasando por todas las etapas de la obra

Traza de la línea

Cualquiera sea la traza adoptada, el contratista será responsable de obtener las autorizaciones (de ingreso al predio y permiso de construcción) de los propietarios afectados por la ejecución de la obra, haciéndose cargo de todos los gastos e indemnizaciones emergentes.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 213 de 244 |
| SEGURIDAD, MEDIOAMBIENTE Y REQUISITOS PARA INSTALACIÓN DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Se debe realizar la tramitación ante el ENRE para la obtención de la Servidumbre Administrativa del Electroducto (en términos de las leyes n° 15336 y n° 24065).

Control de ruidos

La ley nacional de Seguridad e Higiene n° 19587, Decreto 351/79, establece que ningún trabajador podrá estar expuesto a una dosis superior a 85 dB (A) de Nivel Sonoro Equivalente, para una jornada de 8 horas y 48 horas semanales.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA
CONSTRUCCIÓN, DISEÑO, CÁLCULO Y
SIMULACIONES PARA UNA LÍNEA HVDC EN
EL CORREDOR NEA-EZEIZA**

SIMULACIÓN MECÁNICA DE LÍNEA

CONFORMIDAD EDICIÓN:

| SECTOR | REALIZÓ | APROBÓ | FECHA | OBSERVACIONES |
|------------|----------------------------|-----------|-------|---------------|
| UTN/FRD | PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| DOCUMENTO: | SIMULACIÓN DE LÍNEA | REVISIÓN: | A | HOJAS: |

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 215 de 244 |
| SIMULACIÓN MECÁNICA DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Simulación de línea

Para la simulación de la línea se utiliza el software DLTCAD 2012. El mismo trabaja con normas IEC, VDE 210, y recomendaciones dadas por CIGRE y por IEEE. Además, presenta la opción de cargar la norma propia sobre la cual se está trabajando en el proyecto analizado.

El software presenta una biblioteca de componentes tales como estructuras y conductores. Sobre estos componentes devuelve los cálculos mecánicos resultantes de las condiciones climáticas correspondientes al proyecto en análisis. Las mismas deben ser cargadas por el proyectista en el programa.

Se trabajará sobre el tramo de línea inicial de 5 km a modo de ejemplo. Para que el proyecto se asemeje a la traza real de la línea, se corrige la traza efectuada anteriormente en el capítulo 4 de éste trabajo.

La longitud de la traza definitiva arroja que la misma aumenta en alrededor de 50 km, teniendo una longitud total de 1276 km. La misma es mucho más precisa que la anteriormente realizada, ya que fueron trazados a mano en Google Chrome 20764 puntos (un poco más de 16 puntos por km).

Las cuestiones consideradas en la traza definitiva no contempladas en la traza anterior fueron la disminución de cambios de dirección bruscos tanto como fuese posible, y la colocación de la línea a 200 m de la ruta nacional, provincial o camino sobre la cual circula en forma paralela.

Se adjunta una imagen donde se puede ver la traza definitiva en color azul, y la traza anterior en color rojo:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 216 de 244 |
| SIMULACIÓN MECÁNICA DE LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

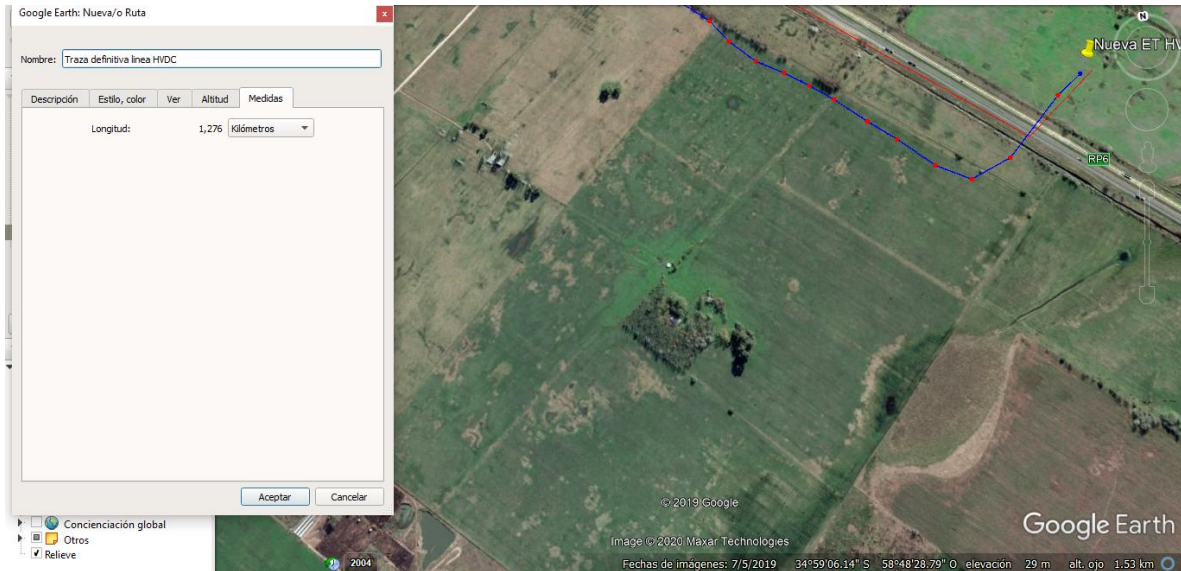


Figura 7.1

Base de datos de conductores

Se trabaja sobre la base del conductor más similar de la biblioteca (un conductor FALCON, el cual es un ACSR de 54 hilos de aluminio y 19 de acero).

Las características del conductor Prysalac 680/85 al ser incluido en el programa queda de la siguiente manera:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 217 de 244 |
| SIMULACIÓN MECÁNICA DE LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

| | |
|--|--|
| Sección nominal [mm ²] (Al/Ac) | 680/85 |
| Tipo y fabricación | ACSR Laminado en Caliente |
| Formación aluminio [N° x mm] | 54x4,0 |
| Formación acero [N° x mm] | 19x2,4 |
| Diámetro exterior aprox. [mm] | 36,0 |
| Masa aprox. [kg/km] | 2550 |
| Largo habitual de expedición [m] | 1000 |
| Carga de rotura calculada [kg] | 21043 |
| Resist. eléctrica máxima a 20° y c.c. [Ω/km] | 0,0426 |
| Intensidad de corriente admisible [A] | 1000 |
| Coefficiente de emisividad | 0,5 |
| Coefficiente de absorción solar | 0,5 |
| Esfuerzo-Deformación: Coeficiente de polinomios (Esfuerzo %) | A0=-0,004369, A1=0,6270263, A2=-0,556675, A3=0,2489599, A4=-0,043411 |

Tabla 7.1

Las características del hilo de guarda son:

| | |
|--|------------------|
| Denominación | AC 50 |
| Fabricación | Laminado en frío |
| Sección total [mm ²] | 49,5 |
| Diámetro total [mm] | 9 |
| Composición alambres de acero | N°: 7 |
| | Diámetro [mm]: 3 |
| Carga de rotura [kg] | 6202 |
| Masa [kg/km] | 392 |
| Módulo de elasticidad [daN/mm ²] | 18500 |
| Coefficiente de dilatación [°C ⁻¹ x10 ⁻⁶] | 11,5 |

Tabla 7.2

Base de datos de armados

Se incluye en la base de datos los siguientes tipos de estructuras:

- Estructuras de suspensión

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 218 de 244 |
| SIMULACIÓN MECÁNICA DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

- Estructuras de suspensión en ángulo
- Estructuras de retención de línea
- Estructuras de retención en ángulo
- Estructuras de retención terminal

Para estructuras de suspensión (denominadas “estructuras pasantes” en el programa), se utilizan estructuras arriendadas.

Para estructuras de retención (denominadas “de anclaje” en el programa), se utilizan estructuras autosoportadas.

Las distancias utilizadas se basan en las estructuras ya presentadas en este trabajo siendo las mismas:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 219 de 244 |
| SIMULACIÓN MECÁNICA DE LÍNEA | | | | |
| PELOLOI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

EDICION DE DATOS DE ARMADOS

LISTA DE ARMADOS

- 1PA2-0
- 1PA3-0
- 1PR3-0
- 1PTV-0
- 1TS-0
- HVDC 500 kV
- HVDC500-RT
- HVDC-500RAI
- HVDC500-RAI**
- HVDC500-SA
- HVDC500-S

Mostrar

Todos

Monofásicos

Bifásicos

Trifásicos

Editar Datos

Aceptar Cambios

Agregar como Nuevo

Eliminar Armado

Grabar y Salir

Cancelar

COD. ARMADO: HVDC500-RAL

NOMBRE TIPICO: HVDC500-RAL

CONFIGURACION GENERAL

Conductor de Fase: BIFASICO

Cable de Guarda: 2 Cable Guarda

Cable Neutro: Sin Neutro

Secundario: Sin Secundario

CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

Función Típica: Anclaje

Ubicación Típica: Alineamiento

..IMG..

Conductor de Fase | Otros Conductores | Accesorios | Prestaciones

| Tema 1 | | | Tema 2 | | |
|--------|-------|------|--------|------|------|
| | X(m) | Y(m) | | X(m) | Y(m) |
| CP3 | 0 | 0 | CP6 | 0 | 0 |
| CP2 | 8,30 | 8,40 | CP5 | 0 | 0 |
| CP1 | -8,30 | 8,40 | CP4 | 0 | 0 |

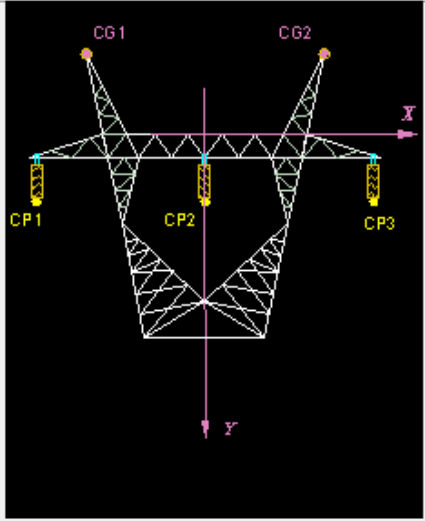


Figura 7.2

En la imagen se puede ver que para colocar que solamente se consideran dos conductores (polo positivo y polo negativo de la línea de +/-500 kV), se coloca la opción "Bifásico".

Al colocar dicha opción, quedan solo dos conductores habilitados en la estructura (CP1 y CP2, anulándose CP3).

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 220 de 244 |
| SIMULACIÓN MECÁNICA DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

En cuanto a su resistencia, para todas las estructuras se considera un vano viento (eolovano) típico de 500 m, un vano peso (gravivano) típico de 1000 m, y un vano adelante típico de 600 m (vano de regulación).

Cada estructura tendrá 1 soporte. El mismo se incluye dentro de la base de datos de soportes del programa con la denominación A+3 para torres de celosía. La longitud del mismo es 40 m (altura de la torre sobre el suelo).

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 221 de 244 |
| SIMULACIÓN MECÁNICA DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Datos del proyecto

El programa en “Configuración General”, permite editar diferentes parámetros según las siguientes pestañas:

Diseño

Se coloca:

- Nivel de Tensión (kV)=500
- Potencia nominal (MW)=3500
- Frecuencia (Hz)=0
- Distancia mínima a terreno (m): 10,2 m (se toma la distancia para Autopistas, rutas y caminos, por ser la mayor distancia vertical a tierra por la cual circula la línea en la mayor parte de su recorrido).
- % de pretensado de conductores=10%
- Conductores:
 - 2F: Bifásico
 - 2 Cables de Guarda
 - Sin neutro ni secundario

Consideraciones

- Distribución automática (opción dada por el programa para distribuir de forma automática las estructuras):
 - Vano mínimo (m)=350
 - Vano máximo (m)=500
 - Distancia entre anclajes (m)=2000

Condiciones ambientales

- Temperatura mínima (°C): -10

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA | 222 de 244 |
| SIMULACIÓN MECÁNICA DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

- Temperatura media (°C): 16
- Temperatura máxima (°C): 45
- Viento máximo (km/h): 126
- Espesor de hielo (mm): 0
- Tipo de atmósfera: Claro (rural)
- Hemisferio: Sur

Hipótesis de cálculo mecánico

Se tomaron las mismas hipótesis que ya fueron enunciadas para el cálculo realizado en forma manual.

La distribución de las estructuras y la verificación de las flechas se hace considerando la hipótesis de máxima temperatura.

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 223 de 244 |
| SIMULACIÓN MECÁNICA DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Vano viento y vano peso

El concepto de vano peso y vano viento deben tenerse en cuenta, debido a que tienen que ver con la resistencia de las estructuras. Ninguna estructura deberá verse excedida en su resistencia.

El vano viento es el promedio de ambos vanos adyacentes a la estructura (es decir, del anterior y posterior). Por lo tanto, la única forma de cambiar el vano viento es correr la estructura anterior o la posterior a la analizada.

El vano peso es el promedio de las longitudes de la estructura hacia el vértice de las catenarias hacia ambos lados de la misma. Si cambia la forma de la catenaria, cambia el vano peso. Por lo cual, si una estructura no verifica, debe colocarse otra estructura adicional o correr alguna de las dos estructuras próximas a la misma más cerca de la estructura bajo análisis.

Alertas del programa y reportes

Al realizar la simulación, el programa indicará alertas en caso de no cumplir el % de tiro de rotura de los conductores, la oscilación de la cadena de aisladores, el vano viento y/o vano peso de las estructuras, y la distancia mínima de seguridad al suelo.

Además, el programa permite obtener planillas de estructuras donde se puede ver el vano peso y el vano viento, el vano horizontal, el conductor, la naturaleza de la estructura utilizada, y los ángulos de deflexión de las mismas.

También se pueden calcular las planillas para los conductores de fase y guarda, que indican el tiro en kg y el vano equivalente de cada una, longitud de las catenarias, flechas, vano viento y vano peso.

Se incluye además el efecto Creep (alargamiento del conductor) a lo largo de los 30 años de vida útil de la línea en metros.

También se incluye la tabla de tendidos o flechados de los conductores para las distintas hipótesis de estado. Se adjunta a este trabajo todas estas tablas en Excel.

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 224 de 244 |
| SIMULACIÓN MECÁNICA DE LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Caso analizado

Para los 5 km de la línea, se realizó la distribución manual de las estructuras. Una captura de pantalla de la misma se adjunta a continuación:

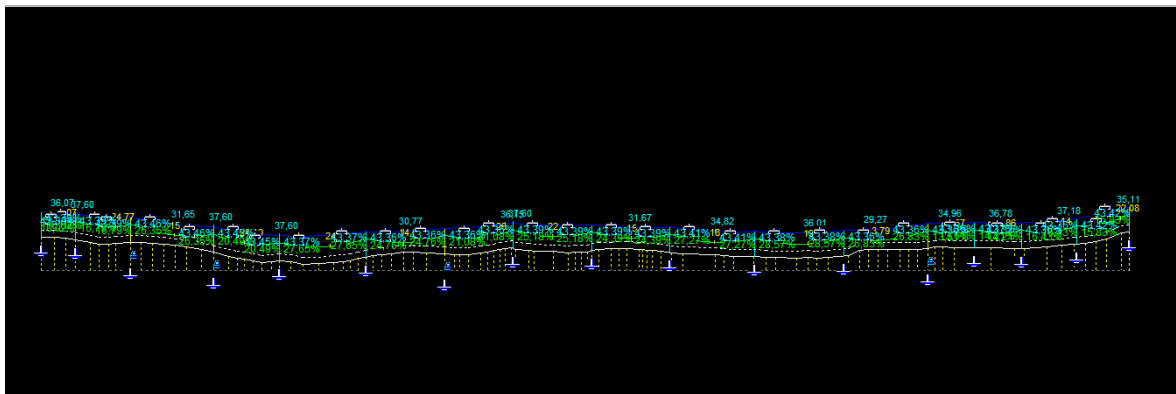


Figura 7.3

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 225 de 244 |
| SIMULACIÓN MECÁNICA DE LÍNEA | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Visualizando en detalle, se puede ver:

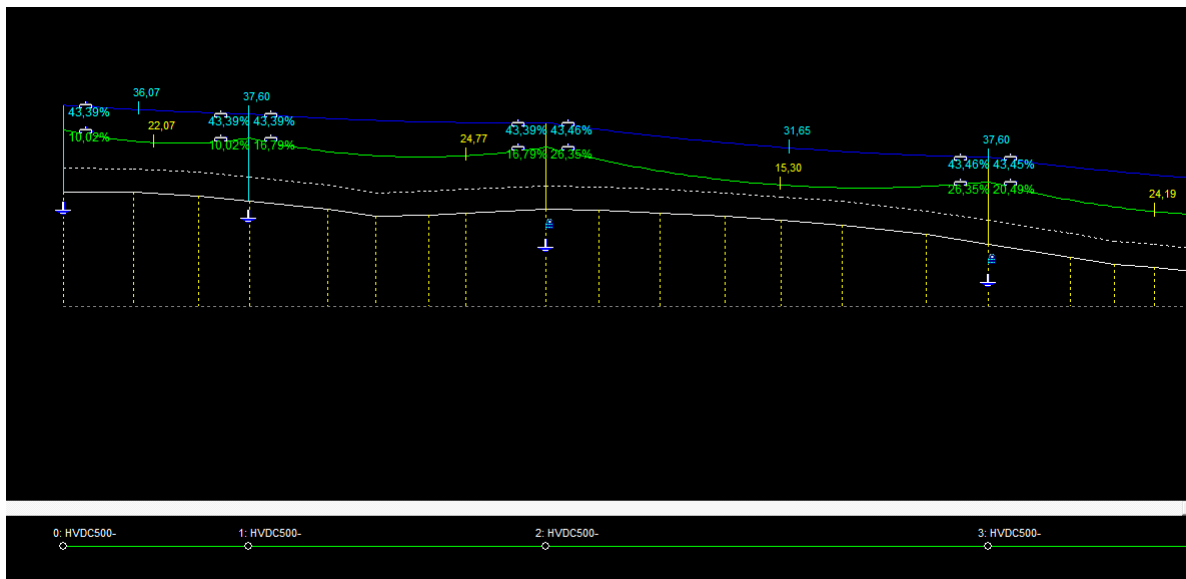


Figura 7.4

La línea punteada gris sobre el terreno simboliza la distancia mínima de seguridad que no debe transgredirse bajo ninguna circunstancia.

Además, se puede ver los % de tensión de los conductores, viendo que las mismas son de un valor muy bajo respecto al 70% de carga de rotura indicado en la norma (10,2% para el primer vano para el conductor de fase y 43,36% para el conductor de hilo de guardia).

Para estos 5 km, se adjuntan las tablas de Excel como anexo en el archivo

Como se puede ver, en todos los casos verifican las estructuras y conductores.

| | | | | | |
|---|---|--|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 226 de 244 |
| SIMULACIÓN MECÁNICA DE LÍNEA | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

Verificación total de la línea

Se adjunta la simulación completa de la línea, con las mismas tablas de Excel como archivo. El método utilizado es el de distribución automática por el software (el mismo suele ser demasiado conservador, por lo cual sirve como base para la traza definitiva).


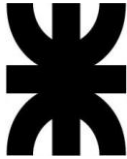
El programa no muestra ninguna alerta, por lo cual, verifica bajo las hipótesis utilizadas en el cálculo.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA
CONSTRUCCIÓN, DISEÑO, CÁLCULO Y
SIMULACIONES PARA UNA LÍNEA HVDC EN
EL CORREDOR NEA-EZEIZA**

**SIMULACIÓN ELÉCTRICA DE UN
SISTEMA HVDC**

CONFORMIDAD EDICIÓN:

| SECTOR | REALIZÓ | APROBÓ | FECHA | OBSERVACIONES |
|---------|-------------------------|--------|-------|---------------|
| UTN/FRD | PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 228 de 244 |
| SIMULACIÓN ELÉCTRICA DE UN SISTEMA HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Simulación eléctrica de un sistema HVDC

Se adjunta a este trabajo la simulación de un sistema HVDC eléctrica en el programa DlgSILENT PowerFactory.

El modelo se basa en el modelo de referencia de la IEEE (IEEE Benchmark) para sistemas HVDC. Consta de filtros de baja y alta frecuencia, puentes tiristorizados, la línea y capacitores shunt en los extremos y en la mitad de la línea.

El diagrama unifilar es el siguiente:

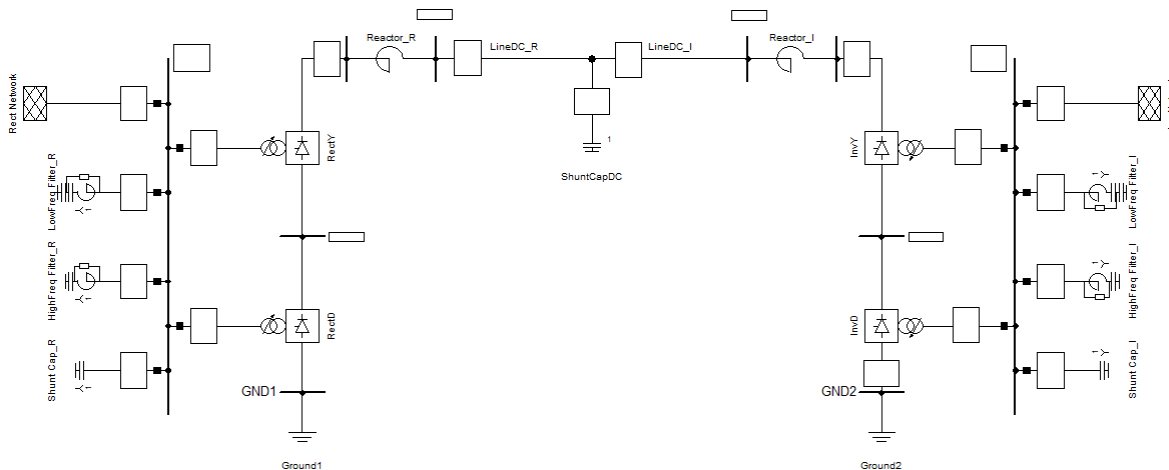

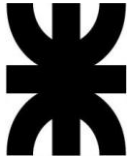


Figura 8.1

El sistema tiene convertidores con tiristores de 12 pulsos tanto en el lado rectificador como inversor (es decir, dos convertidores de 6 pulsos en serie desfasados 30° entre sí). El rectificador controla la corriente y el inversor controla el voltaje.

La línea es de 500 kV en corriente continua, de 500 km y la corriente es de 2 kA.

Si se ejecuta el estudio de flujo de carga, circulan de 1010 MW por la línea, aportados 505 MW por cada rectificador, llegando 990 MW al extremo inversor, o sea 495 MW por cada inversor.

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 229 de 244 |
| SIMULACIÓN ELÉCTRICA DE UN SISTEMA HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

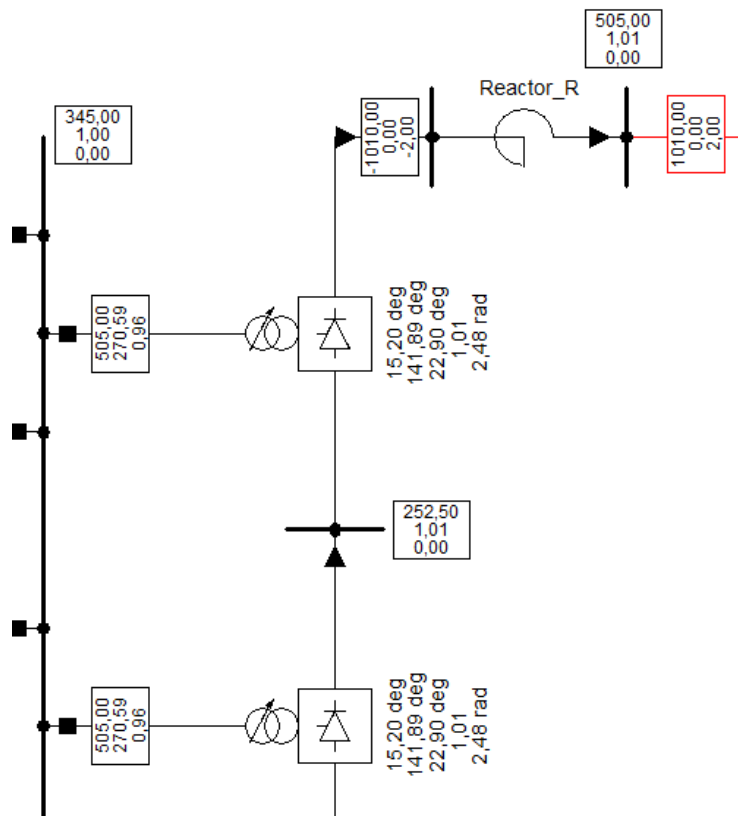

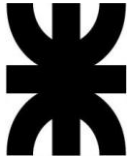


Figura 8.2

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 230 de 244 |
| SIMULACIÓN ELÉCTRICA DE UN SISTEMA HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

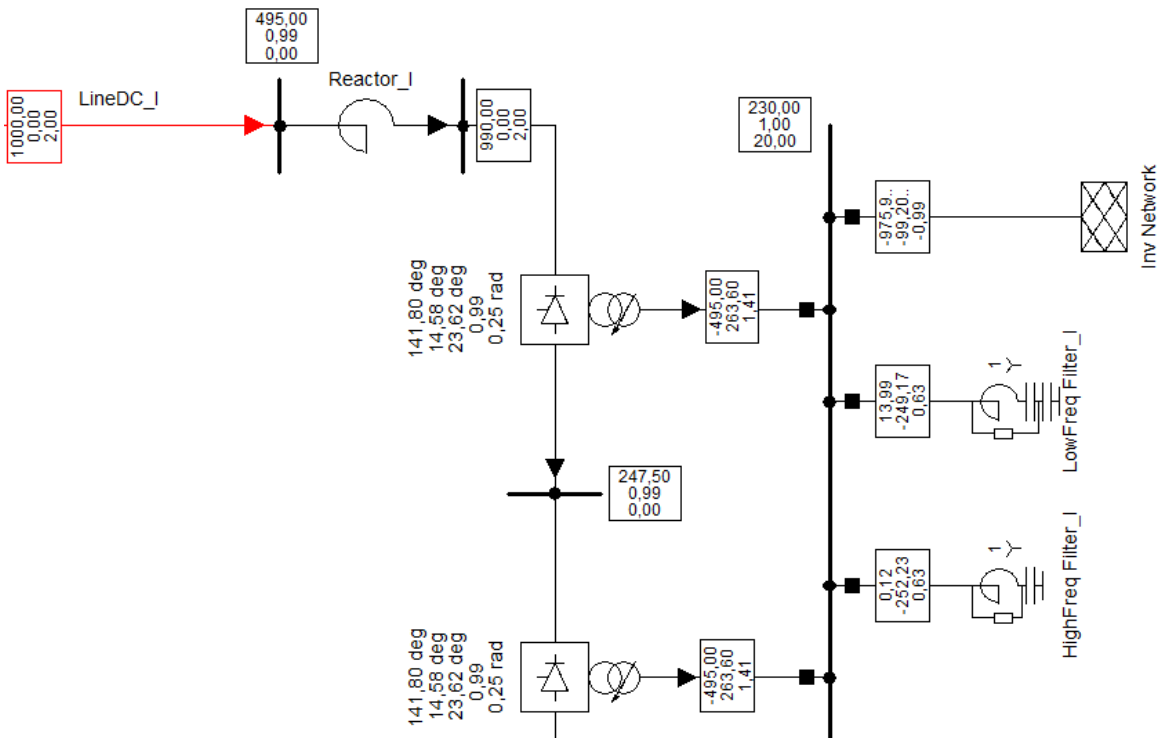

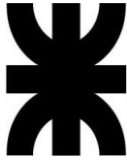


Figura 8.3

El ángulo de disparo de ambos rectificadores es igual a $15,2^\circ$. El ángulo de extinción es $14,6^\circ$ (es decir, se puede producir el disparo hasta $165^\circ 24'$ y no más allá).

El ángulo de superposición en el lado inversor es $23,62^\circ$.

También, puede verse como los filtros de armónicos aportan potencia reactiva a los convertidores (consumen más potencia reactiva cuanto peor mayor sea el ángulo de disparo). Como se puede ver en la siguiente imagen, el primero aporta 249,19 Mvar, el segundo 252,23 Mvar, y el tercero 124,97 Mvar.

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 231 de 244 |
| SIMULACIÓN ELÉCTRICA DE UN SISTEMA HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

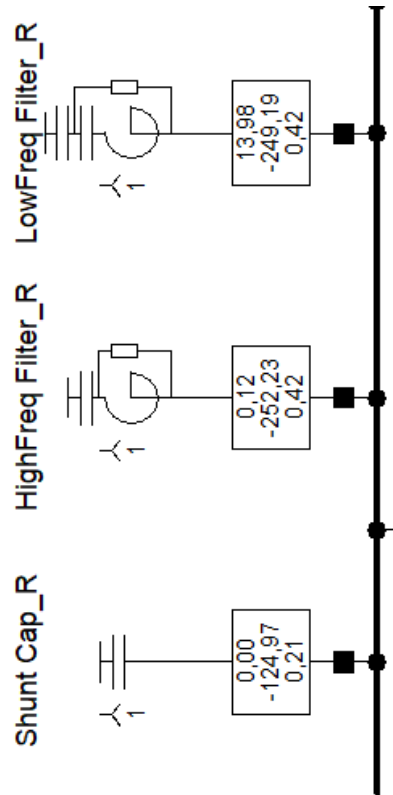

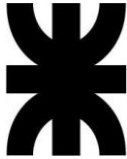


Figura 8.4

El resto es aportado por la red: 85,20 Mvar.

Si se activa el control automático del ángulo de disparo en el inversor y se opta por el control del ángulo de extinción (γ) y se lo coloca en 20° :

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 232 de 244 |
| SIMULACIÓN ELÉCTRICA DE UN SISTEMA HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Rectifier/Inverter/2 DC-Connections - Grid\InvY.ElmRec

- Basic Data
- Load Flow
- VDE/IEC Short-Circuit
- Complete Short-Circuit
- ANSI Short-Circuit
- IEC 61363
- DC Short-Circuit
- RMS-Simulation
- EMT-Simulation
- Harmonics/Power Quality
- Optimal Power Flow
- Reliability
- Generation Adequacy
- Description

Firing Angle (alpha-)Control

Control-Characteristic: Vdc

Voltage Setpoint: 0.99 p.u.

Automatic Firing Angle Control

Actual Firing-Angle: 15. deg

Minimum Firing Angle: 10. deg

Maximum Firing Angle: 180. deg

Minimum Extinction Angle: 10. deg

Converter Transformer

Tap-Changer: gamma-control

Actual Winding Ratio: 0.95 p.u.

Extinction Angle (gamma) Setpoint: 20. deg

Commutation Reactance: 13.4445 Ohm

Phase Shift: 0. *30deg

Setpoint for DC Load Flow

Power-Setpoint: 1. MW

OK


Cancel

Figure >>

Jump to ...

Figura 8.5

Y se realiza el flujo de cargas, se obtiene:

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 233 de 244 |
| SIMULACIÓN ELÉCTRICA DE UN SISTEMA HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

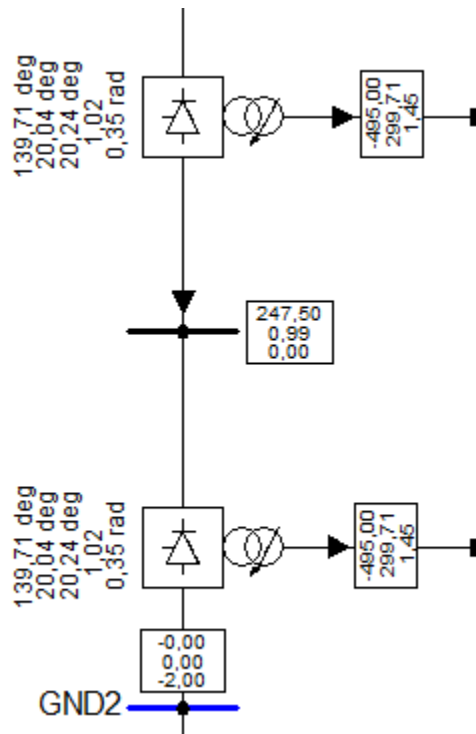



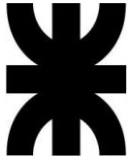
Figura 8.6

Esto implica un mayor consumo de potencia reactiva por parte del convertidor (se consume 299,71 Mvar por inversor contra 263,60 Mvar por inversores en el caso anterior).

En ambos casos analizados, la potencia reactiva representa el 60% de la potencia activa del link, tal como fue enunciado en la teoría.

No se produce ningún cambio en la potencia y la corriente transmitida.

En el rectificador se controla alfa en 15° y sucede lo mismo que en el caso anterior presentado.

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 234 de 244 |
| SIMULACIÓN ELÉCTRICA DE UN SISTEMA HVDC | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Análisis de fallas en el lado de corriente alterna

El software permite realizar un análisis de fallas tanto en el lado rectificador como en el lado inversor. Se colocan dos fallas y como actúa el sistema a modo de ejemplo:

Cortocircuito trifásico en corriente alterna del inversor

Se produce una falla de conmutación en los tiristores del lado inversor, lo cual se puede ver en la corriente de fases del inversor:

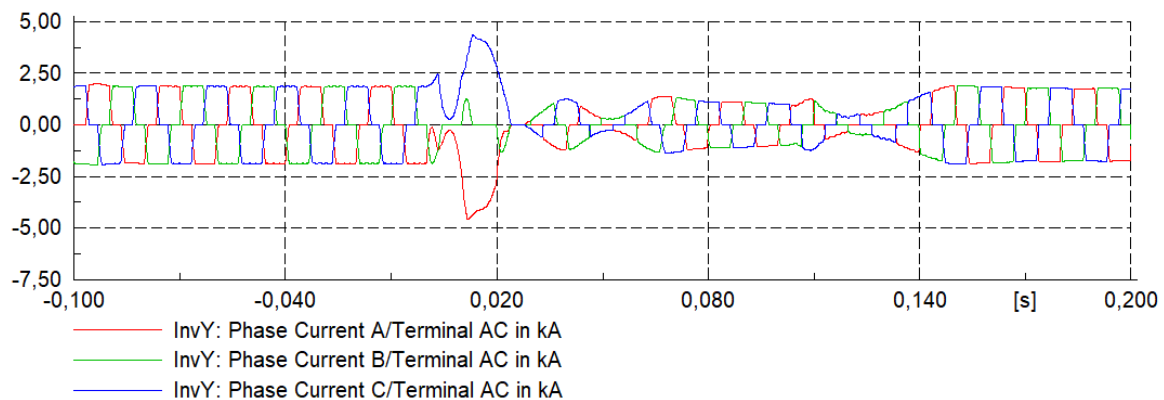



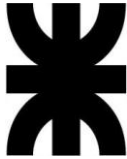
Figura 8.7

Puede verse que los niveles excesivos de corriente duran menos de 0,01 s (menor a medio ciclo de 50 Hz).

Además, el voltaje en corriente continua cae, por lo cual se activa el control VDCOL (voltage dependant current order limiter) del rectificador, ya que el rectificador controla la corriente del link.

Cortocircuito trifásico en corriente alterna en el rectificador

Para mantener el voltaje, el rectificador reduce su ángulo de disparo a 5° (el valor mínimo seteado), pero aun así no se logra el valor de corriente deseado.

| | | | | | |
|---|---|--|--|--------------|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 235 de 244 |
| SIMULACIÓN ELÉCTRICA DE UN SISTEMA HVDC | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

El inversor entonces pasa a control corriente (se activa el modo de control de corriente del mismo), a un 90% del valor inicial (es decir, un margen de corriente del 10% respecto al valor original), para evitar que el sistema salga de servicio. Luego de que se despeja la falla, el sistema vuelve a su modo de operación normal y el rectificador vuelve a controlar corriente.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA
CONSTRUCCIÓN, DISEÑO, CÁLCULO Y
SIMULACIONES PARA UNA LÍNEA HVDC EN
EL CORREDOR NEA-EZEIZA**

CONCLUSIONES GENERALES

CONFORMIDAD EDICIÓN:

| SECTOR | REALIZÓ | APROBÓ | FECHA | OBSERVACIONES | |
|------------|-------------------------|-----------|-------|---------------|--|
| UTN/FRD | PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| DOCUMENTO: | CONCLUSIONES GENERALES | REVISIÓN: | A | HOJAS: | |

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 237 de 244 |
| CONCLUSIONES GENERALES | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Conclusiones generales del proyecto

Luego del estudio y cálculo realizado, se pueden obtener las siguientes conclusiones generales respecto a la positiva factibilidad de realización del proyecto:

- Las únicas pérdidas presentes son por Efecto Joule y Efecto Corona, y el rendimiento obtenido para la línea es de aproximadamente un 90% (pudiéndose obtener incluso una mejora de un 5% aumentando el voltaje o cambiando los conductores empleados).
- Las pérdidas por potencia efecto Corona son menores que en un sistema de corriente alterna.
- El control es sumamente rápido (como puede verse en la simulación eléctrica), por lo cual se comprueba que no se aporta potencia de cortocircuito a las subestaciones donde se conectan las líneas.
- Si bien se requiere una potencia reactiva en las subestaciones equivalente a un 60% de la potencia activa transmitida en el link, la misma es aportada en gran parte por los filtros.
- La traza no cruza vías navegables (a excepción del Río Paraná) ni otros obstáculos que requieran tratamiento especial. Por lo tanto, no se requieren estructuras especiales.
- El proyecto es la opción más conveniente en términos de no afectación del medioambiente debido a la menor franja de servidumbre.
- El impacto visual es menor.

| | | | | |
|---|--|--------|--|-------------------|
|   | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 238 de 244 |
| CONCLUSIONES GENERALES | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

- La vegetación afectada no es nativa, sino que es implantada (salvo casos excepcionales de manchones de vegetación nativa en sectores muy reducidos).
- El proyecto Corpus-Christi es binacional, lo cual puede ayudar al financiamiento para la construcción de la línea para el estado argentino.
- Hay líneas de crédito del BID atractivas para realizar este proyecto.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA
CONSTRUCCIÓN, DISEÑO, CÁLCULO Y
SIMULACIONES PARA UNA LÍNEA HVDC EN
EL CORREDOR NEA-EZEIZA**

REFERENCIAS

CONFORMIDAD EDICIÓN:

| SECTOR | REALIZÓ | APROBÓ | FECHA | OBSERVACIONES |
|------------|-------------------------|-----------|-------|---------------|
| UTN/FRD | PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| DOCUMENTO: | REFERENCIAS | REVISIÓN: | A | HOJAS: |

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA | 240 de 244 |
| REFERENCIAS | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

Referencias

Se adjuntan las referencias enumeradas en este documento (incluyendo links de páginas web, libros, normas y resoluciones):

- **1:** https://en.wikipedia.org/wiki/Pearl_Street_Station y https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_power_industry
- **2:** https://books.google.com.ar/books?id=G04SDAAAQBAJ&pg=PT34&lpg=PT34&dq=commercial+use+of+electricity+1882+110+V+y+220+V+three+cable&source=bl&ots=y5DYdnL2KB&sig=ACfU3U1V8iX1VV_h2R4DOBJMIOWO6QlxHQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiysbHfg83nAhWjH7kGHTU5DckQ6AEwAHoEAcQAQ#v=onepage&q=commercial%20use%20of%20electricity%201882%20110%20V%20y%20220%20V%20three%20cables&f=false y <https://hackaday.com/2019/11/28/a-division-in-voltage-standards/>
- **3:** https://books.google.com.ar/books?id=mIIDrQkN_o4C&pg=PA2&lpg=PA2&dq=1886+commercial+transformer+4+kV+21+km&source=bl&ots=-ZkxzbKa94&sig=ACfU3U3sz8Becv7T41ZezMEkgnPp4YROEQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiq3t6fhM3nAhVEH7kGHewsCt4Q6AEwCnoECAoQAQ#v=onepage&q=1886%20commercial%20transformer%204%20kV%2021%20km&f=false y <https://nationalmaglab.org/education/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/stanley-transformer>
- **4:** https://en.wikipedia.org/wiki/Adams_Power_Plant_Transformer_House
- **5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 y 63:** Videocurso online High Voltage DC Transmission NPTEL (<https://nptel.ac.in/courses/108104013/>)
- (<https://nptel.ac.in/courses/108104013/>)
- **6:** https://en.wikipedia.org/wiki/Miesbach%E2%80%93Munich_Power_Transmission
- **7:** https://en.wikipedia.org/wiki/Ren%C3%A9_Thury y <https://books.google.com.ar/books?id=Wt3CBQAAQBAJ&pg=PT8&lpg=PT8>

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 241 de 244 |
| REFERENCIAS | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

<https://www.researchgate.net/publication/328600860/system+8600&source=bl&ots=UTbMb2tCxS&sig=ACfU3U1MIOCPiV29dXUdWqrdtAT5X5DKfA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiAv7b0hc3nAhWNI7kGHXoID0sQ6AEwAHoECAkQAQ#v=onepage&q=thury%20system%208600&f=false>

- **8:** https://ethw.org/Milestones:Gotland_High_Voltage_Direct_Current_Link,_1954 y https://en.wikipedia.org/wiki/HVDC_Gotland
- **32:** Informe Anual de CAMMESA (2018)
- **33 y 36:** Ministerio de Energía (Presentación Ley de Energías Renovables)
- **34 y 36:** Ministerio de Energía (Estudio Escenarios Estratégicos 2025)
- **35:** Estudio de Transener
(<http://www.melectrico.com.ar/web/pdfs/PDF%20jornada%208%20de%20junio%20de%202017/tarca%20jornada%208%20de%20junio%20de%202017.pdf>)
- **37:** <https://new.abb.com/systems/hvdc/why-hvdc/economic-and-environmental-advantages>
- **38 y 76:** <https://www.comip.org.ar/corpus/corpus-estudio-de-prefactibilidad-el-proyecto/>, https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecto_hidroel%C3%A9ctrico_Corpus_Christi, <http://www.comip.org.ar/> y http://www.cosiplan.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=312
- **39:** <https://www.lapoliticaonline.com/nota/121445-peligro-el-abastecimiento-energetico-de-misiones-por-el-crecimiento-economico-de-paraguay/>
- **40:** Material obtenido gracias al grupo de investigación de HVDC UTN CIDIEE de UTN FRGP
- **41:** Power Electronics Handbook (Muhammad H. Rashid)
- **42 y 44:** <https://www.ign.gob.ar/AreaServicios/Publicaciones/Libro500K> y <https://mapa.ign.gob.ar/#>
- **43, 50, 51, 52, 58, 59, 61, 64 y 80:** Norma AEA 95301
- **45 y 46:** Google Earth
- **47:** Ley 19552 y norma AEA 95301

| | | | | | |
|---|---|--|--------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 242 de 244 |
| REFERENCIAS | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

- **48:** <https://www.transmissionhub.com/transmission-101/basics> y http://www.eleco.org.tr/openconf_2017/modules/request.php?module=oc_proceedings&action=view.php&id=305&file=1/305.pdf&a=Accept+as+Lecture
- **49:** [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/electrica/5_anio/transmision_distribucion_energia_electrica/files/Protecciones%20contra%20sobretensiones%20-%20Descargas%20atmosf%C3%A9ricas_rev.1%20\(1\).pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/electrica/5_anio/transmision_distribucion_energia_electrica/files/Protecciones%20contra%20sobretensiones%20-%20Descargas%20atmosf%C3%A9ricas_rev.1%20(1).pdf)
- **53:** https://ar.prysmiangroup.com/sites/default/files/atoms/files/4LA_4_3_Catalogo_Lineas_Aereas.pdf
- **54:** <https://www.elektrisola.com/>
- **55 y 56:** Libros: Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia (Stevenson) y Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia (Viqueira Landa)
- **57:** <https://www.edistribucion.com/content/dam/endesadistribucion/normasdematerialesede/LNE004.pdf>
- **60:** <http://www.fapa.com.ar/pdfss/aisladores-suspension-retencion/ALS.pdf>
- **62:** <https://www.argentina.gob.ar/inta>
- **65:** Apuntes de la cátedra Generación, Transmisión y Distribución de la energía Eléctrica, UTN FRD (Ingeniero Gianfranco Lippi)
- **66:** Apuntes de cátedra “Cálculo Mecánico de Líneas Aéreas” (Ingeniero Leopoldo Soibelzón)
- **67:** Publicación “The ABCs of HVDC Transmission Technologies” de ABB, disponible en http://www.delftek.com/wp-content/uploads/2012/04/ABB_HVDC-transmission-handbook.pdf
- **68:** <https://es.inflation.eu/tasas-de-inflacion/estados-unidos/inflacion-historica/ipc-inflacion-estados-unidos.aspx>
- **69:** <http://www.cfee.gov.ar/plan-federal-1.php>
- **70:** <https://www.iadb.org/es>
- **71:** <https://www.lapoliticaonline.com/nota/122811-el-bid-confirmo-que-mantendra-el-apoyo-a-la-argentina-despues-de-una-reunion-con-alberto/>
- **72:** <https://cdn.misoenergy.org/20190212%20PSC%20Item%2005a%20Transmi>

| | | | | |
|---|---|--|--|------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | HOJA. | 243 de 244 |
| REFERENCIAS | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | |

- [sion%20Cost%20Estimation%20Guide%20for%20MTEP%202019_for%20review317692.pdf](#)
- **73:** http://www2.osinerg.gob.pe/ProcReg/TarifasBarra/ProcMay06-Abril07/Present.COES/Anexo%20J_6.pdf
 - **74:** http://www.petrotecnia.com.ar/petro_08/SIN_SP.pdf
 - **75:** http://www.melectrico.com.ar/web/index.php?option=com_content&view=article&id=2193:elevado-valor-del-precio-mayorista-de-la-energia-electrica-en-la-argentina&catid=1:latest-news
 - **77:** <https://ieeexplore.ieee.org/document/7412882>
 - **78:** https://cdn.misoenergy.org/20190212%20PSC%20Item%2005a%20Transmission%20Cost%20Estimation%20Guide%20for%20MTEP%202019_for%20review317692.pdf
 - **79:** <https://books.google.com.ar/books?id=OUbwAAAAMAAJ&pg=PA83&lpg=PA83&dq=maintenance+cost+of+ac+500+kV&source=bl&ots=f7JOyr6Uot&sig=ACfU3U35ZHUtyvJZTxQNU2G1SyOaacNzWA&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjdKGC0rXnAhVclbkGHbizC2cQ6AEwCXoECAoQAQ#v=onepage&q=maintenance%20cost%20of%20ac%20500%20kV&f=false>
 - **81:** <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/45000-49999/49781/norma.htm>
 - **82:** <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/45000-49999/49781/norma.htm>
 - **83:** Libro: Regiones fitogeograficas argentinas (Ángel L. Cabrera).
 - **84 :** Anexo 16 de CAMMESA “Reglamentaciones para el Sistema de Transporte”
(<https://portalweb.cammesa.com/procedimientos/wwhelp/wwimpl/common/html/wwhelp.htm#context=Procedimientos&file=Anexos/ANEXOS.html>)
 - **85:** <http://www.eirgridgroup.com/site-files/library/EirGrid/Grid-West-HVDC-Technology-Review-Report-PSC.pdf>
 - **86:** <https://ieeexplore.ieee.org/document/5357020>

| | | | | | |
|---|---|---|-----------|--|-------------------|
|  |  | U.T.N. - F.R.D. | | REV. | A |
| | | LÍNEA HVDC EN EL CORREDOR NEA-EZEIZA | | FECHA IMPRES | |
| | | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN | | ETAPA | APROBACIÓN |
| | | | | HOJA. | 244 de 244 |
| REFERENCIAS | | | | | |
| PELLOLI, JUAN FRANCISCO | | IPF | | CONSTRUCCIÓN_DE_LINEA_HVDC_EN_EL_CORREDOR_NE A_REV_A.docx | |
| REALIZÓ | REVISÓ | APROBÓ | DOCUMENTO | | |

- **87:** https://standards.ieee.org/standard/1313_1-1996.html