

2017

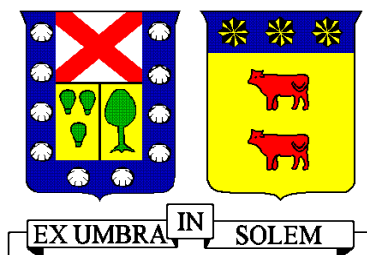
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CABLE CONDUCTOR EN LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN PARA PROYECTO 500 KV

LATOJA ORTIZ, SEBASTIÁN EDUARDO

<http://hdl.handle.net/11673/23590>

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO
MECÁNICO DEL CABLE CONDUCTOR EN
LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN PARA
PROYECTO 500 KV**

SEBASTIÁN EDUARDO LATOJA ORTIZ

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL MECÁNICO MENCIÓN ENERGÍA

PROFESOR GUÍA: DR. LUIS PÉREZ POZO

PROFESOR CORREFERENTE: DR. JOHNY MONTAÑA

MAYO – 2017

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias a Dios, quien me ayuda día a día a crecer como persona, y a creer que la fe mueve montañas

Quiero agradecer por el cariño, la comprensión, la paciencia, la confianza y el apoyo incondicional de mis pequeñas mujeres: Vanessa y Amandita. Sin su entrega, sin su energía, esto hubiese sido un camino aún más difícil.

Agradecer el apoyo de mi familia, que a pesar de los malos momentos, nunca dejó de creer en mí. A mi mamá, que sin su esfuerzo y dedicación, quizás no hubiese tenido las herramientas para haber estudiado. A mi Illa, mi segunda mamá, que siempre ha estado a mi lado, en las buenas y en las malas.

Agradecer a mi tata, que está en el cielo, porque fue él quien me enseñó a creer que nada es imposible y que con esfuerzo, podía lograr lo que me propusiera.

Agradecer al Profesor Luis Pérez Pozo por darme la oportunidad de ser su alumno, por su paciencia y compromiso para que pudiese concretar este trabajo.

Quiero dar las gracias a Miguel Arenas, quien me ayudó a definir el tema y me motivó a realizar este trabajo. A Gustavo Díaz por creer en mí, por su paciencia y por darme la oportunidad de trabajar a su lado. A Blas Marín, por apoyarme y ayudarme en cada duda que tuve a lo largo de este trabajo de título.

Por último, a quienes han sido parte de este proceso largo, muchas gracias por esos buenos y malos momentos ya que sin ello no estaría en esta posición.

Dedicado a quienes amo.

*Amanda, el motor de mi vida y una de las
razones por las que quiero ser mejor día a día.*

Vanessa, la mejor compañía que puedo tener.

Eres un sol para mi corazón.

A mi familia. Mi madre. Mi abuela

Quienes siempre me han entregado su cariño.

RESUMEN

Este trabajo de título presenta el análisis mecánico del comportamiento de un cable de aluminio o aleaciones aceradas, en proyectos de líneas de alta tensión. En base al planteamiento de normativas, criterios y buenas prácticas, se analiza el diseño particular del cable conductor del proyecto LAT Mejillones-Cardones, que es parte del troncal eléctrico de líneas de 500 KV en Chile.

Los métodos utilizados para la realizar el análisis se establecen en base a los criterios de diseño de la línea de transmisión Mejillones-Cardones. Estos se definen bajo las características propias del cable y las condiciones de borde asociadas a los factores externos presentes en la zona (viento, temperatura, hielo, entre otras).

Se analiza el comportamiento del conductor buscando una relación entre la variación de alturas en los soportes y la distancia horizontal en la que se encuentran. Para ello, se definen diversos parámetros de análisis entre los que se destaca, la variación en la longitud de vano y la variación en el porcentaje de tensión en el cable. Además, se verifica el comportamiento final del conductor luego del envejecimiento lento o “*creep*”, corroborando que este fenómeno influye directamente en el tensado del conductor al momento de construir la línea de alta tensión.

Por último, se analiza un tramo de línea del proyecto LAT Mejillones – Cardones, bajo los parámetros indicados anteriormente, con el objetivo de generar una propuesta que busque optimizar los costos asociados a la construcción de la línea. En base a los criterios de análisis señalados a lo largo del presente trabajo, se evalúa la factibilidad técnica de la propuesta, tanto mecánica como económicamente, y se concluye si esta cumple o no, con los objetivos propuestos.

ABSTRACT

This graduation Project presents the mechanical analysis of the behavior of a cable of aluminum or steel alloys in projects of high voltage lines. Based on the approach of regulations, criteria and good practices, the particular design of the conductor cable of the LAT Mejillones-Cardones project, which is part of the Chilean 500 kV line electric trunk, is analyzed.

The methods used to perform the analysis are established based on the design criteria of the Mejillones-Cardones transmission line. These are defined under the characteristics of the cable and the edge conditions associated with the external factors present in the area (wind, temperature, ice, among others).

The behavior of the conductor cable is analyzed looking for a relation between the variation of heights in the supports and the horizontal distance. To achieve this, several parameters of analysis are defined: the variation in the length of span and the variation in the percentage of use of the cable, among others. In addition, the final behavior of the conductor is verified after the slow aging or creep, corroborating the hypothesis for the initial and final condition of the cable.

Finally, a line section of the LAT Mejillones - Cardones project is analyzed, under the parameters indicated above, with the aim of generating a proposal that seeks to optimize the costs associated with the construction of the line. Based on the analysis criteria identified throughout the research, the technical feasibility of the proposal, both mechanically and economically, are evaluated and it is concluded whether or not it complies with the proposed objectives.

GLOSARIO

a	Longitud de vano
α_L	Coefficiente de temperatura
Cota de Terreno	Medida que indica la altura del nivel de terreno respecto al nivel del mar
Deflexión	Cambio en la dirección de una corriente o un haz de electrones. En este trabajo es el cambio de dirección de la línea.
EDS	<i>Every Day Stress</i> (Tensión de todos los días)
Engrampado	Proceso en el cual se instala la ferretería y se sujeta de forma definitiva el conductor a la torre.
Fases	Toma de conductor en cada cruceta de la torre. Puede ser superior, media o inferior
Ferretería	Elementos que permiten tensar y posicionar el conductor en la torre. Incluye la cadena de aislación.
Fmax	Flecha Máxima
h	Parámetro de catenaria
L	Largo de conductor
Línea Energizada	Líneas de alta, media o baja tensión (existentes) que cruzan o interceptan la línea en construcción
ΔL	Deformación en el conductor
n	Número de sub-conductores por fase

Perfil Longitudinal	Levantamiento topográfico que permite visualizar la forma del terreno.
Perfil de Acero	Elemento de acero galvanizado que constituye una torre
Replanteo	Trabajo topográfico que designa la posición exacta de la torre en terreno
Sub-Conductor	Corresponde a un tiro de cable dentro de una fase. Son cuatro sub-conductores por cada fase
Stub	Perfil de acero que permite conectar la fundación de hormigón con la estructura de la torre
Suelo Tipo 2	Referencia al suelo duro, rocoso.
Suelo Tipo 3	Referencia al suelo blando, arenoso o mezcla de roca y arena.
Tendido de Cable	Instalación del conductor sobre los soportes
Templado de Cable	Es el tensado de conductor.
t_h	Tensión horizontal en el vértice de la catenaria
T_v	Tensión vertical en el conductor
T_{max}	Tensión máxima en el conductor
U.M.	Unidad Monetaria
UTS	<i>Ultimate Tensión Strength</i> (Tensión de Rotura)
w	Peso propio del conductor
X_i	Longitud horizontal desde el vértice de catenaria al soporte i

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
GLOSARIO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES GENERALES	15
1.1. INTRODUCCIÓN.....	15
1.2. OBJETIVOS.....	17
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LA CATENARIA.....	18
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATENARIA	18
2.2. OTROS FACTORES RELACIONADOS AL ANÁLISIS MECÁNICO DE LA CATENARIA	26
CAPÍTULO 3. PROYECTO INTERCONEXIÓN 500 KV SIC-SING	29
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	29
3.2. COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL PROYECTO	32
3.3. CABLE CONDUCTOR DEL PROYECTO	35
3.4. ASPECTOS IMPORTANTES EN EL DISEÑO DE LA LINEA	37
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	43
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS MECÁNICO DEL CONDUCTOR ENTRE DOS SOPORTES.....	51

5.1. ANÁLISIS MECÁNICO DE ACUERDO A LAS CONDICIONES CRITICAS DEL ENTORNO DONDE SE ENCUENTRA EL PROYECTO LAT 500 KV.....	51
5.2. ANÁLISIS MECÁNICO EN BASE A LA VARIACIÓN EN LA ALTURA DE SOPORTES Y LA LONGITUD DE VANO.....	64
5.3. ANÁLISIS MECÁNICO EN BASE A LA VARIACIÓN EN LA ALTURA DE SOPORTES Y EL PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN DEL CABLE.....	74
5.4. ANÁLISIS DEL ENVEJECIMIENTO LENTO DEL CONDUCTOR (CREEP).....	79
CAPÍTULO 6. ANÁLISIS EN UN TRAMO DE LA LÍNEA.....	88
6.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL TRAMO SELECCIONADO.	89
6.2. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA PROPUESTA REALIZADA.....	95
6.3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS.	98
CONCLUSIONES	100
REFERENCIAS	102
ANEXOS	104
A. Análisis mecánico del conductor para %UTS constante.....	104
B. Análisis mecánico del conductor para longitud de vano constante.....	110
C. Costos asociados al tramo de línea seleccionado	116
D. Análisis mecánico del tramo propuesto	118
E. Costos asociados al tramo propuesto	120
F. Perfil longitudinal del tramo propuesto.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Curva de la Catenaria entre dos soportes.....	18
Figura 2.2: Curva de la Catenaria en vano con soportes nivelados	19
Figura 2.3: Curva de la Catenaria en vano con soportes desnivelados	21
Figura 2.4: Tipos de desnivel entre soportes.....	22
Figura 2.5: Composición de cargas en sección del cable.....	26
Figura 2.6: Composición de cargas sobre el conductor	27
Figura 3.1: Secuencia de trabajos en OO.CC.....	30
Figura 3.2: Secuencia de trabajos en Montaje de Estructuras.....	30
Figura 3.3: Secuencia de trabajos en Tendido y Remate de Conductor.....	31
Figura 3.4: Distribución de partes en una torre de Suspensión.....	32
Figura 3.5: Torre de Anclaje o Remate	33
Figura 3.6: Ángulo de Deflexión	34
Figura 3.7: Torre de Suspensión	34
Figura 3.8: Conductor ACAR 700 MCM 30/7	36
Figura 3.9: Diagrama de proyección transversal de mercator	38
Figura 3.10: Árbol de Cargas	40
Figura 4.1: Grupos de torres	46
Figura 4.2: Diagrama de Flujo del trabajo efectuado.....	50
Figura 5.1: Tramo ilustrativo para el análisis mecánico	52
Figura 5.2: Tramo con desnivel de terreno de 20 metros.....	53
Figura 5.3: Tensiones del conductor en ambos soportes.....	54
Figura 5.4: Tramo sin desnivel de terreno	59
Figura 5.5: Descripción gráfica del análisis para %UTS constante	64
Figura 5.6: Diferencias en Longitud de Vano, medidas en metros.	71
Figura 5.7: Distancias aproximadas para Longitud de Vano	73
Figura 5.8: Comparativo del mismo vano con diferentes soportes.....	74
Figura 5.9: Comportamiento inicial “no lineal” Esfuerzo – Deformación	80

Figura 5.10: Comportamiento de un Cable combinado	81
Figura 5.11: Comportamiento Final del Cable después del <i>Creep</i>	82
Figura 5.12: Efecto del <i>Creep</i> en el conductor	85
Figura 5.13: Gráfica representativa del <i>Creep</i>	86
Figura 6.1: Perfil longitudinal obtenido de PLS-CADD.....	88
Figura 6.2: Tabla de cargas para el cable y la estructura obtenido en PLS-CADD....	89
Figura F.1: Perfil longitudinal de la propuesta para el tramo 1	122
Figura F.2: Perfil longitudinal de la propuesta para el tramo 2	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Ventajas y desventajas entre el Cobre y el Aluminio	36
Tabla 3.2: Características técnicas y estructurales del conductor	37
Tabla 3.3: Criterios Meteorológicos de la línea	38
Tabla 3.4: Distancias mínimas admisibles según norma	39
Tabla 3.5: Cuadro de cargas para torre de Anclaje	40
Tabla 3.6: Cuadro de cargas para torre de Remate	41
Tabla 3.7: Cuadro de cargas para torre de Suspensión baja	42
Tabla 3.8: Cuadro de cargas para torre de Suspensión alta	42
Tabla 5.1: Resultados para el caso 1 sin deformación	55
Tabla 5.2: Tensiones para el caso 1 sin deformación.....	55
Tabla 5.3: Resultados para el caso 1 con deformación	55
Tabla 5.4: Tensiones para el caso 1 con deformación	56
Tabla 5.5: Resultados para el caso 2 sin deformación	56
Tabla 5.6: Tensiones para el caso 2 sin deformación.....	57
Tabla 5.7: Resultados para el caso 2 con deformación	57
Tabla 5.8: Tensiones para el caso 2 con deformación	57
Tabla 5.9: Resultados para el caso 1 sin deformación y sin desnivel	60
Tabla 5.10: Tensiones para el caso 1 sin deformación y sin desnivel.....	60
Tabla 5.11: Resultados para el caso 1 con deformación y sin desnivel	60
Tabla 5.12: Tensiones para el caso 1 con deformación y sin desnivel	61
Tabla 5.13: Resultados para el caso 2 sin deformación y sin desnivel	61
Tabla 5.14: Tensiones para el caso 2 sin deformación y sin desnivel.....	62
Tabla 5.15: Resultados para el caso 2 con deformación y sin desnivel	62
Tabla 5.16: Tensiones para el caso 2 con deformación y sin desnivel	62
Tabla 5.17: Resultados composición 1 sin deformación (%UTS constante)	66
Tabla 5.18: Tensiones composición 1 sin deformación (%UTS constante)	66
Tabla 5.19: Resultados composición 2 sin deformación (%UTS constante)	67

Tabla 5.20: Tensiones composición 2 sin deformación (%UTS constante)	67
Tabla 5.21: Variación en resultados sin deformación (%UTS constante)	67
Tabla 5.22: Variación en cargas sin deformación (%UTS constante)	68
Tabla 5.23: Resultados composición 1 con deformación (%UTS constante).....	69
Tabla 5.24: Tensiones composición 1 con deformación (%UTS constante)	69
Tabla 5.25: Resultados composición 2 con deformación (%UTS constante).....	69
Tabla 5.26: Tensiones composición 2 con deformación (%UTS constante)	69
Tabla 5.27: Variación en resultados con deformación (%UTS constante)	70
Tabla 5.28: Variación en cargas con deformación (%UTS constante)	70
Tabla 5.29: Estimación de longitud de vano para soporte 2	72
Tabla 5.30: Resultados composición 1 sin deformación (Vano constante)	75
Tabla 5.31: Tensiones composición 1 sin deformación (Vano constante).....	75
Tabla 5.32: Resultados composición 2 sin deformación (Vano constante)	76
Tabla 5.33: Tensiones composición 2 sin deformación (Vano constante).....	76
Tabla 5.34: Variación en resultados sin deformación (Vano constante)	76
Tabla 5.35: Variación en cargas sin deformación (Vano constante)	77
Tabla 5.36: Resultados composición 1 con deformación (Vano constante)	77
Tabla 5.37: Tensiones composición 1 con deformación (Vano constante)	77
Tabla 5.38: Resultados composición 2 con deformación (Vano constante).....	77
Tabla 5.39: Tensiones composición 2 con deformación (Vano constante)	78
Tabla 5.40: Variación en resultados con deformación (Vano constante)	78
Tabla 5.41: Variación en cargas con deformación (Vano constante)	78
Tabla 5.42: Tablas de tensado en poleas para una temperatura definida	83
Tabla 5.43: Coeficientes para conductor ACAR 700 MCM.....	84
Tabla 5.44: Variación de temperatura en función de la cantidad de días	86
Tabla 6.1: Listado de Estructura Tramo 1	89
Tabla 6.2: Listado de Estructura Tramo 2.....	90
Tabla 6.3: Costos asociados al tipo de estructura	91
Tabla 6.4: Costos asociados a la ferretería.....	92

Tabla 6.5: Costos asociados a OOC	93
Tabla 6.6: Costos asociados al Montaje de Estructuras	93
Tabla 6.7: Costos asociados al Remate de línea	94
Tabla 6.8: Costos para el Tramo 1	94
Tabla 6.9: Costos para el Tramo 2	94
Tabla 6.10: Listado de Estructuras para la propuesta del Tramo 1	95
Tabla 6.11: Listado de Estructuras para la propuesta del Tramo 2	96
Tabla 6.12: Costos para la propuesta del Tramo 1	97
Tabla 6.13: Costos para la propuesta del Tramo 2	97
Tabla A.1: Tabla con resultados para análisis sin deformación del cable (p.1)	104
Tabla A.2: Tabla con resultados para análisis sin deformación del cable (p.2)	105
Tabla A.3: Tabla con resultados para análisis con deformación del cable (p.1)	106
Tabla A.4: Tabla con resultados para análisis con deformación del cable (p.2)	107
Tabla A.5: Tabla con variaciones de resultados sin deformación del cable	108
Tabla A.6: Tabla con variaciones de resultados con deformación del cable	109
Tabla B.1: Tabla con resultados para análisis sin deformación del cable (p.1)	110
Tabla B.2: Tabla con resultados para análisis sin deformación del cable (p.2)	111
Tabla B.3: Tabla con resultados para análisis con deformación del cable (p.1)	112
Tabla B.4: Tabla con resultados para análisis con deformación del cable (p.2)	113
Tabla B.5: Tabla con variaciones de resultados sin deformación del cable	114
Tabla B.6: Tabla con variaciones de resultados con deformación del cable	115
Tabla C.1: Costos asociados al Tramo 1	116
Tabla C.2: Costos asociados al Tramo 2	117
Tabla D.1: Análisis mecánico de la propuesta del tramo 1	118
Tabla D.2: Análisis mecánico de la propuesta del tramo 2	119
Tabla E.1: Costos asociados a la propuesta del tramo 1	120
Tabla E.2: Costos asociados a la propuesta del tramo 2	121

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

Las líneas de transmisión eléctrica son canales por donde se transporta energía eléctrica desde los centros de generación a sectores de consumo, como las ciudades o industrias. Además, corresponden a un agente importante en la distribución de energía a lo largo de cualquier país.

En Chile existen diversas líneas de transmisión, dentro de las más importantes se encuentran las que incluye el Sistema Interconectado Central (SIC), que va desde Tal Tal, en la Región de Antofagasta, hasta la isla grande de Chiloé en la Región de los Lagos, y las correspondientes al Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), que se extiende desde la región de Arica y Parinacota hasta la Región de Antofagasta. Estas constituyen la principal red de alimentación de energía eléctrica a lo largo de Chile.

El proyecto de transmisión LAT 500 kV Mejillones – Cardones tiene el objetivo de crear un puente de interconexión entre el SIC y el SING, que se extiende desde la Región de Antofagasta, en la sub-estación TEN, hasta la Región de Atacama en la sub-estación Nueva Cardones.

La construcción de una línea de transmisión requiere de diversos elementos que permitan la distribución de energía, entre los que se encuentra el cable conductor, las torres reticuladas, la ferretería, entre otros elementos. Para ejecutar el montaje de una línea se necesita realizar un estudio previo, donde se generen documentos, procedimientos y especificaciones técnicas que acrediten los criterios de diseño y las buenas prácticas de construcción.

Estudiar y analizar el comportamiento que tiene el conductor a lo largo de la línea es sumamente importante ya que define gran parte del diseño de esta y además establece

criterios para la fabricación de soportes y todos los elementos asociados a la fase constructiva.

En el presente trabajo de titulación se busca analizar el cable conductor utilizado en el proyecto de transmisión LAT 500 KV Mejillones – Cardones con el fin de encontrar variables o relaciones que permitan una optimización en los costos de construcción de la línea. Para ello, se utilizan herramientas y literatura asociada al análisis mecánico de un conductor. Una de estas herramientas es el software especializado en construcción de líneas de transmisión, de nombre PLS-CADD [1]; con el que se puede verificar el comportamiento del cable en base los criterios de diseño señalados a lo largo de la investigación.

1.2. OBJETIVOS

El objetivo general de esta investigación es analizar el comportamiento mecánico del cable conductor en un proyecto de línea de alta tensión para 500 KV. Dicho análisis se basará en las condiciones propias del cable conductor y en las condiciones externas asociadas a su implementación, como son los cambios de temperatura, dirección y velocidad del viento, de carga, o bien elementos asociados a su montaje.

Se realizará un análisis de forma retrospectiva a un tramo del proyecto de transmisión LAT 500 KV Mejillones – Cardones, elaborando una propuesta que permita identificar si es posible optimizar los costos asociados a la construcción de la línea en dicho tramo.

En base a lo planteado en el objetivo principal se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Analizar el comportamiento del cable conductor en condiciones críticas asociadas al terreno en donde se encuentra ubicada la línea de alta tensión.
- Analizar el comportamiento de la catenaria en torres de diferentes alturas. Obtener una relación óptima entre la altura de la torre y el largo del vano.
- Analizar el comportamiento final del conductor, utilizado en el proyecto LAT Mejillones - Cardones, luego del fenómeno de envejecimiento lento.
- Presentar conclusiones del trabajo realizado manifestando si la propuesta optimiza los costos de proyecto.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LA CATENARIA

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATENARIA

Analizar el comportamiento de un cable conductor en una línea de transmisión lleva, indudablemente, a estudiar la trayectoria que dispone una catenaria apoyada entre dos o más soportes dentro de un tramo definido (ver figura 2.1). Resulta fundamental entender este fenómeno ya que es un factor decisivo a la hora de establecer los criterios de diseño de la línea de alta tensión.

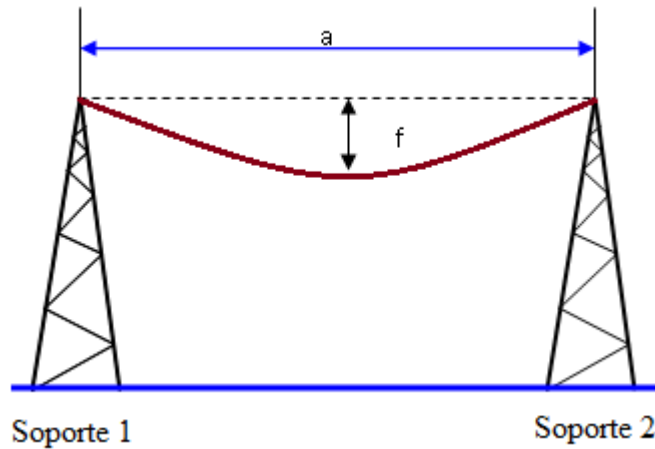


Figura 2.1: Curva de la Catenaria entre dos soportes

El vano es la distancia horizontal que existe entre un apoyo y otro, en el caso de la figura 2.1 comprende la distancia “a”. Por otra parte, la flecha máxima “f” de la catenaria es la distancia vertical que exista, a mitad de vano, entre la curva de la catenaria y una línea imaginaria que se proyecta entre los dos soportes en la toma de conductor.

La catenaria suspendida entre dos soportes adopta una forma (y) que describe la siguiente ecuación [2,3]:

$$y = h * \cosh\left(\frac{x}{h}\right), \quad (2.1)$$

donde h es el parámetro de la catenaria (m) y x la distancia horizontal desde el vértice a uno de los soportes (m).

El parámetro de catenaria depende de la tensión horizontal en el vértice de esta y el peso propio que tenga el conductor [2-4]:

$$h = \frac{th}{w}, \quad (2.2)$$

en que th es la tensión horizontal en el vértice de catenaria (kg) y w el peso propio del conductor por metro lineal (kg/m).

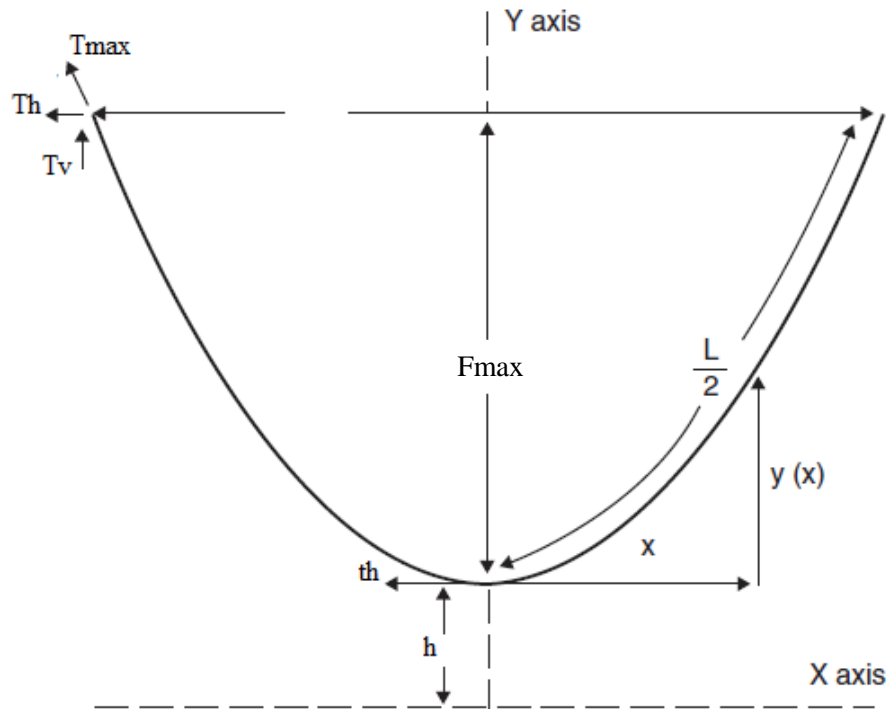


Figura 2.2: Curva de la Catenaria en vano con soportes nivelados

Como se muestra en la figura 2.2, existen varios factores que influyen de forma sustancial en el análisis mecánico de la catenaria en un vano con soportes nivelados. Estos se encuentran definidos por [2-5]:

$$Fmax = h * \left[\cosh \left(\frac{x}{h} \right) - 1 \right], \quad (2.3)$$

en el cual $Fmax$ es la flecha máxima en un vano nivelado (m), h el parámetro de la catenaria (m) y x la distancia horizontal desde el vértice a uno de los soportes (m).

$$T_v = th * \sinh \left(\frac{x}{h} \right), \quad (2.4)$$

donde T_v es la tensión vertical del conductor (kg) y th la tensión horizontal en el vértice de la catenaria (kg).

$$T_{max} = th * \cosh \left(\frac{x}{h} \right), \quad (2.5)$$

en que T_{max} es la tensión máxima del conductor (kg) y th la tensión horizontal en el vértice de la catenaria (kg).

$$L = 2 * h * \sinh \left(\frac{x}{h} \right), \quad (2.6)$$

donde L es el largo de cable entre dos soportes nivelados (m), h es el parámetro de la catenaria (m) y x la distancia horizontal desde el vértice a uno de los soportes (m).

Si bien las fórmulas planteadas anteriormente corresponden al análisis de catenaria, en la realidad es muy difícil encontrar vanos en donde los soportes se encuentren totalmente nivelados, principalmente debido a las variaciones que pueda existir en el

nivel de terreno donde se esté construyendo la línea de alta tensión. Por lo tanto, para asemejar el cálculo a la realidad, se analiza la catenaria en vanos con soportes a distinto nivel.

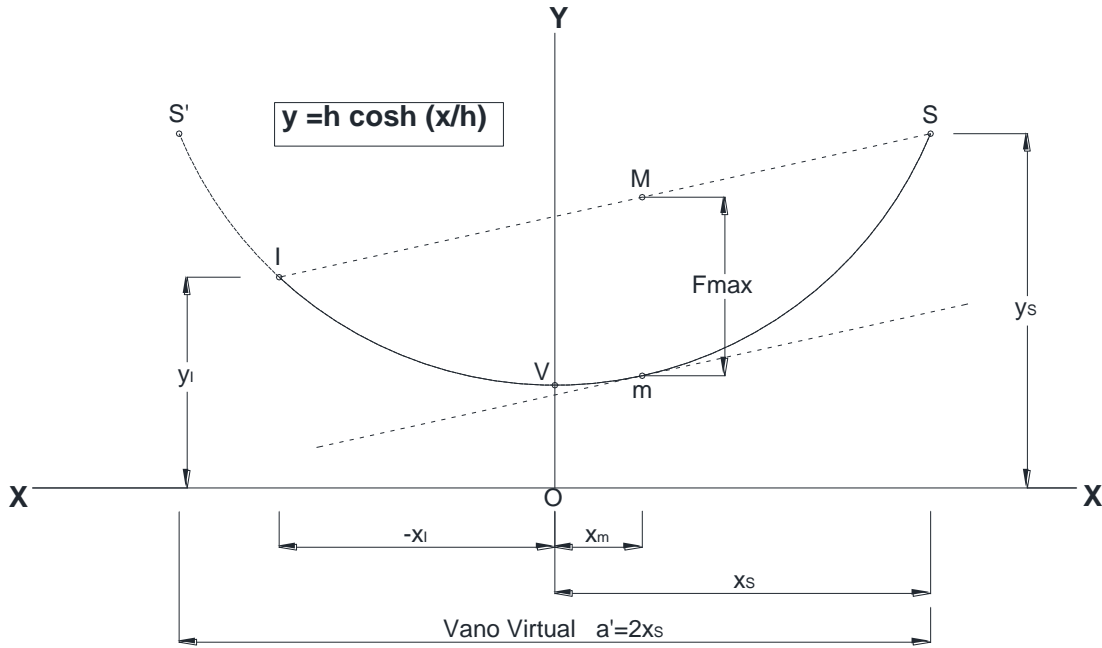


Figura 2.3: Curva de la Catenaria en vano con soportes desnivelados [6]

La figura 2.3 muestra los factores a tener en cuenta, por ejemplo el punto “I”, que representa el soporte 1 y el punto “S” que representa el soporte 2, por ende el tramo I-S se encuentra a una distancia horizontal “a” (vano). Se incluye el concepto de vano virtual, el cual refleja la proyección de la curva de la catenaria simulando que los soportes se encuentran a un mismo nivel, en este caso el vano virtual es a' , que representa la distancia S'-S. Otro factor a considerar son las distancias horizontales desde cada soporte al vértice de la catenaria; cuando los soportes se encontraban nivelados, esta distancia era la misma hacia ambos soportes, pero en este caso varían entre sí, lo que en definitiva traerá diferencias en los cálculos de tensiones. Ante este nuevo escenario, las fórmulas adicionales a utilizar para el cálculo son:

$$d = y_S - y_I, \quad (2.7)$$

en que d es el desnivel existente entre la toma de conductor en ambos soportes (m), y_S la altura respecto al nivel de piso del soporte 2 (m) e y_I la altura respecto al piso del soporte 1 (m).

El desnivel que existe entre soportes puede ser positivo o negativo, como se muestra en la figura 2.4.

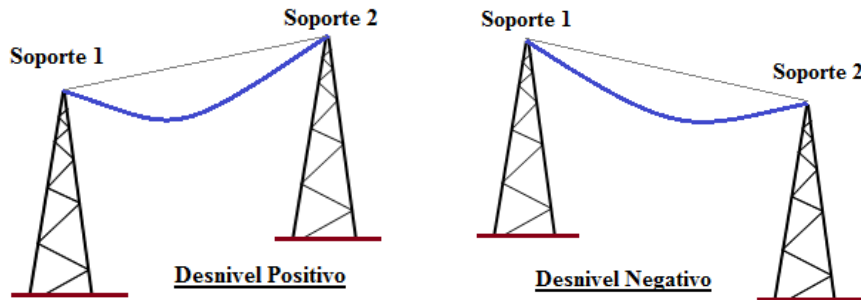


Figura 2.4: Tipos de desnivel entre soportes

$$x_I = \frac{a}{2} - h * \sinh^{-1} \left(\frac{d}{2 * h * \sinh(a/2h)} \right), \quad (2.8)$$

$$x_S = a - x_I, \quad (2.9)$$

donde [2,7] x_I es la distancia horizontal desde el vértice al soporte 1 (m), x_S la distancia horizontal desde el vértice al soporte 2 (m), d el desnivel existente entre toma de conductor en ambos soportes (m), a la longitud de vano (m) y h el parámetro de la catenaria (m).

$$x_m = \frac{x_S - x_I}{2}, \quad (2.10)$$

en el cual [7] x_m es la distancia horizontal desde el vértice al centro del vano (m), x_I la distancia horizontal desde el vértice al soporte 1 (m) y x_S la distancia horizontal desde el vértice al soporte 2 (m).

El valor de la flecha es fundamental en el análisis ya que, en la etapa de construcción, es quien define el tensado del cable a lo largo de un tramo de torres; por lo tanto, una tensión definida en el conductor se encuentra directamente ligada a un valor definido de flecha. Se obtiene por:

$$FM = h * \cosh\left(\frac{x_m}{h}\right) \left[\cosh\left(\frac{a}{2h}\right) - 1 \right], \quad (2.11)$$

en que FM es la flecha Máxima en un vano desnivelado (m), x_m la distancia horizontal desde el vértice al centro del vano (m), a la longitud de vano (m), h el parámetro de la catenaria (m).

Otro parámetro a considerar en el análisis de líneas de transmisión es la obtención del largo de conductor que recorre la línea [4,7]. Es un dato indispensable al momento de evaluar los costos de suministro.

$$L = \sqrt{\left[2 * h * \sinh\left(\frac{a}{2h}\right) \right]^2 + d^2}, \quad (2.12)$$

donde L es el largo de cable entre los dos soportes desnivelados (m), a la longitud de vano (m), h el parámetro de la catenaria (m) y d el desnivel existente entre toma de conductor en ambos soportes (m).

La temperatura en el cable es un factor importante en el análisis mecánico, ya que la variación de esta, en cualquier material, provoca una deformación que en la mayoría de los casos resulta irreversible [7,8]. Suponiendo que la temperatura aumenta, el material tiende a expandirse; por el contrario si la temperatura disminuye, el material tiende a contraerse. Por lo tanto, para un cable tendido y un aumento en la temperatura ambiente, este se estira pasando a un estado “flojo”, formando una curva más amplia. Consecuencia de esto, la tensión vertical aumenta y la tensión horizontal disminuye.

$$\Delta L = \alpha_L * [\theta_M - \theta_R] * L , \quad (2.13)$$

en que ΔL es la variación en el largo de conductor producto de la temperatura (m), α_L el coeficiente de temperatura del conductor ($1/^\circ\text{C}$), θ_R la temperatura de regulación definida en la condición de cálculo inicial ($^\circ\text{C}$), θ_M la temperatura ambiente promedio asociada a la temperatura del cable ($^\circ\text{C}$) y L el largo de cable entre los dos soportes desnivelados (m).

Si ocurre esta situación, es necesario obtener nuevamente el parámetro de catenaria, ya que producto de su alargamiento, este valor puede cambiar y eso influir en el análisis del conductor [7,6]. Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\sqrt{(L+\Delta L)^2 - d^2}}{a} = \frac{\sinh(z)}{z} , \quad (2.14)$$

$$\sinh(z) \cong z + \frac{z^3}{3!} , \quad (2.15)$$

$$h = \frac{a}{2*z} , \quad (2.16)$$

en el cual L es el largo de cable entre dos soportes desnivelados (m), d el desnivel o diferencia de altura existente entre la toma de conductor en ambos soportes (m), a la longitud de vano (m) y h el parámetro de catenaria (m).

Un punto importante en el análisis mecánico de la línea son las cargas que soportan las torres existentes. Los valores de esas tensiones definen la distribución de soportes a lo largo de línea además de sus solicitaciones.

$$T_{vs} = T_v * n , \quad (2.17)$$

donde T_{vs} es la tensión vertical en el soporte (kg) y T_v la tensión vertical del conductor (kg).

$$T_{long} = th * \cosh\left(\frac{x}{h}\right) * \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) , \quad (2.18)$$

en el cual T_{long} es la tensión longitudinal en el soporte (kg), β el ángulo de deflexión ($^\circ$), th la tensión horizontal en el vértice de la catenaria (kg), h el parámetro de la Catenaria (m) y x la distancia horizontal desde el vértice a uno de los soportes (m).

$$T_{trans} = th * \cosh\left(\frac{x}{h}\right) * \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) , \quad (2.19)$$

en que T_{trans} es la tensión transversal en el soporte (kg), β el ángulo de deflexión ($^\circ$), th la tensión horizontal en el vértice de la catenaria (kg), h el parámetro de la Catenaria (m) y x la distancia horizontal desde el vértice a uno de los soportes (m).

2.2. OTROS FACTORES RELACIONADOS AL ANÁLISIS MECÁNICO DE LA CATENARIA

Existen otros parámetros que influyen directamente en el cálculo de tensiones y esfuerzos producidos en el conductor (catenaria) [2,9]:

- Presión del viento existente
- Peso propio del conductor
- Presencia de Hielo
- Porcentaje de cargas de trabajo según UTS

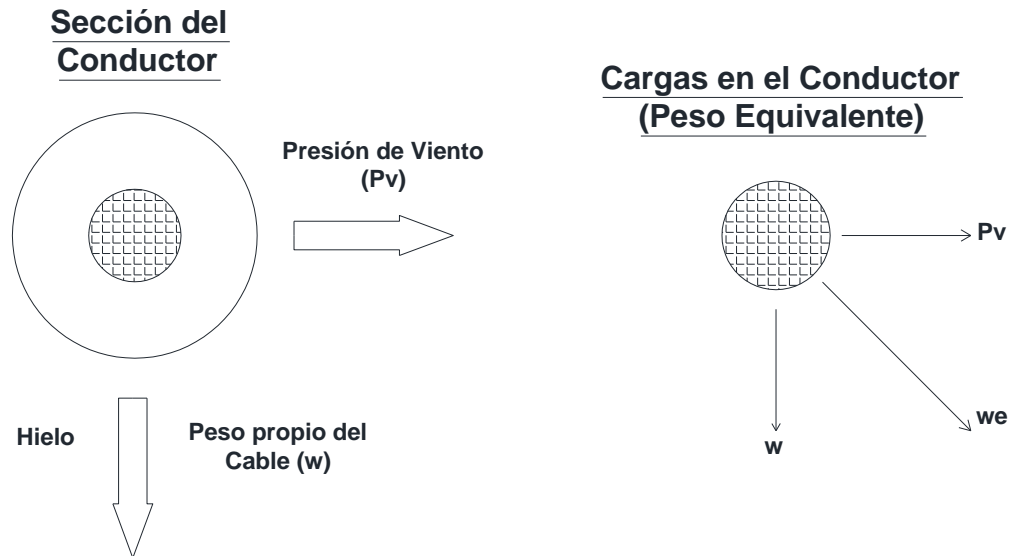


Figura 2.5: Composición de cargas en sección del cable

El viento es uno de los factores incidentes en el análisis mecánico de un conductor, entre mayor sea la velocidad de viento mayor es la incidencia en los cálculos efectuados. Este actúa de forma transversal al conductor, provocando lo que se llama *swing*, como muestra la figura 2.5. La presión de viento se puede expresar de la siguiente forma [4]:

$$P_v = \left(\frac{Q}{2 \cdot g}\right) * v^2, \quad (2.20)$$

donde P_v es la presión de viento (kg/m^2), Q es el peso del aire (kg/m^3), g la aceleración de gravedad (m/s^2) y v la velocidad del viento (m/s).

El peso propio del conductor es un dato entregado por el fabricante y se encuentra tabulado en las propiedades de fabricación. Se refiere al peso por unidad de longitud de cable y se encuentra distribuido de forma constante a lo largo este. Su valor incide directamente en la tensión vertical que tendrá el conductor y por tanto será un valor agregado a la carga vertical que debe soportar la torre (ver figura 2.6).

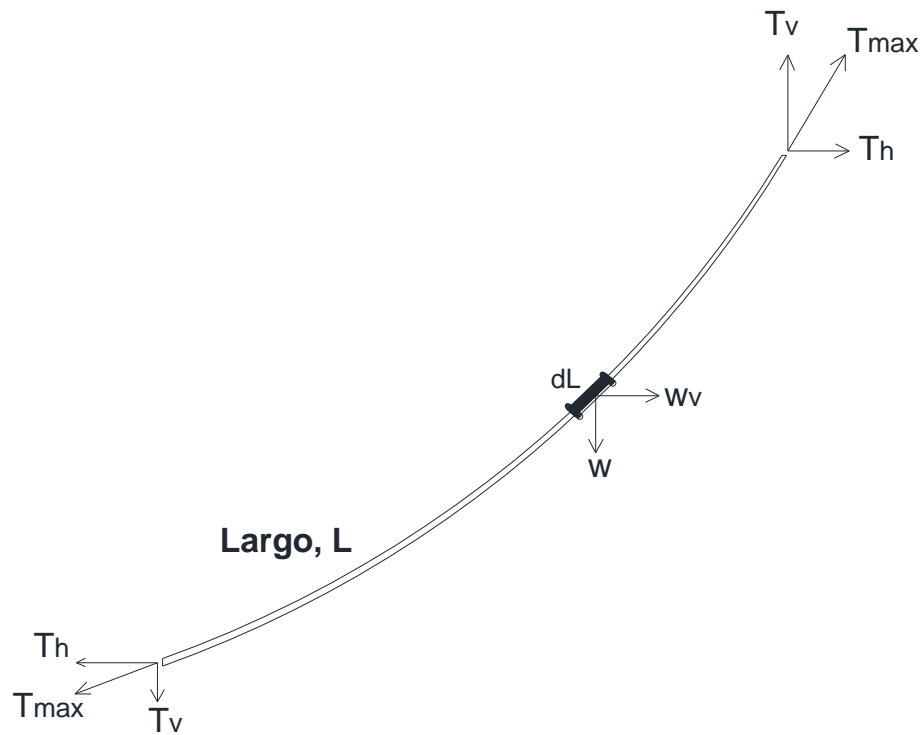


Figura 2.6: Composición de cargas sobre el conductor [2]

Ante la presencia de hielo en el conductor, el peso por unidad de longitud de este sufre una variación de su valor. De esta forma, se obtiene el peso equivalente [2,7], el cual relaciona toda la composición de cargas sobre el cable.

$$w_e = \sqrt{(p_h + w)^2 + w_v^2}, \quad (2.21)$$

en que w_e es el peso equivalente (kg/m), p_h es el peso producto del hielo (kg/m), w el peso propio del conductor (kg/m) y w_v el peso producto de la presión del viento (kg/m).

El porcentaje de utilización del cable se refiere al porcentaje de tensión en la que trabaja el conductor de acuerdo a su tensión de rotura o UTS (*Ultimate Tensión Strength*). Por ejemplo, se dice que un cable tiene un porcentaje de utilización del 20% cuando su tensión de trabajo es el 20% de la tensión de rotura ($0.2 \cdot UTS$). En general, son valores que no sobrepasan el 50% de UTS a no ser que la construcción se ejecute bajo condiciones especiales como la presencia de hielo. En estos casos, puede aumentar dicho porcentaje.

De acuerdo a la normativa [10] que rige este tipo de construcción, se definen condiciones típicas de cálculo para un conductor. En este trabajo de título, se utilizan dos tipos:

- Tensión Máxima: Temperatura: -5°C
Sin Hielo
Presión de Viento: 40 kg/m²
*El conductor no puede superar 50% UTS.

- EDS (Every day Stress): Temperatura: 15°C
Sin Hielo
Sin Presión de Viento
*El conductor no puede superar 25% UTS

CAPÍTULO 3. PROYECTO INTERCONEXIÓN 500 KV SIC-SING

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto de interconexión 500 KV SIC-SING tiene como nombre “Sistema de Transmisión 500 KV Mejillones – Cardones”, y es llevado a cabo por la empresa de construcción y montaje “Ingeniería y Construcción Sigdo Koppers S.A.”. Se desarrolla entre las regiones de Antofagasta y Atacama, y está compuesto por una línea de transmisión de doble circuito de 500 KV de aproximadamente 590 km (potencia nominal de transmisión de 1500 MW).

La construcción de la línea de transmisión comprende un tramo norte y un tramo sur, en donde se emplaza una cota máxima de 2210 m.s.n.m. Se divide en tres grandes fases de construcción: OO.CC. (Obras Civiles), Montaje de Estructuras y Fase de Tendido y Remate de conductor.

- Obras Civiles

Se desarrolla desde el comienzo de la faena, posterior al estudio de ingeniería, el cual detalla los criterios de diseño y construcción de la línea de transmisión. En esta etapa se construyen los cimientos de las torres, se materializa la ubicación exacta de cada una de las torres en terreno (replanteo) y se comprueba la factibilidad de su construcción. Se sub-divide en las siguientes etapas:

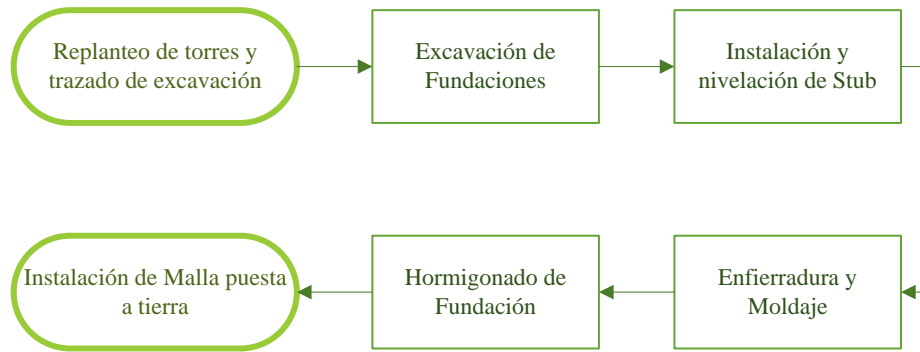


Figura 3.1: Secuencia de trabajos en OO.CC

- Montaje de Estructuras

Se desarrolla posterior a las obras civiles y se refiere al ensamble de estructuras en cada una de las torres del proyecto. Es una etapa en donde el trabajador realiza labores a elevadas alturas y/o altas tensiones, convirtiéndola en una de las fases más riesgosas de la construcción. Se sub-divide en las siguientes etapas:

Por último se debe corroborar que la torre se encuentre alineada, torqueada y con el giro correcto.

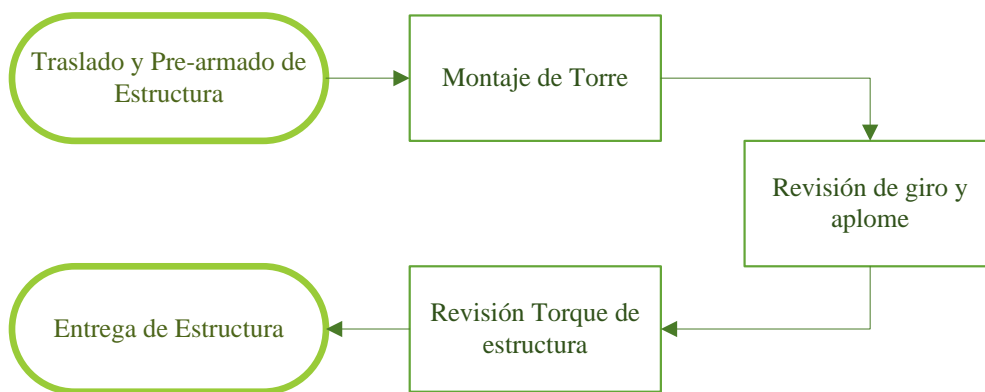


Figura 3.2: Secuencia de trabajos en Montaje de Estructuras

- Tendido y Remate de Conductor

Es la última gran etapa en un proyecto de líneas de transmisión y se refiere al tendido del cable conductor con su respectivo tensado y engrampado. En esta etapa se verifican los criterios de diseño y construcción de la línea. Se verifica la condición y el comportamiento del cable, la logística y calidad de los suministros, además de la condición final de la línea posterior a su instalación. Se sub-divide en las siguientes etapas:

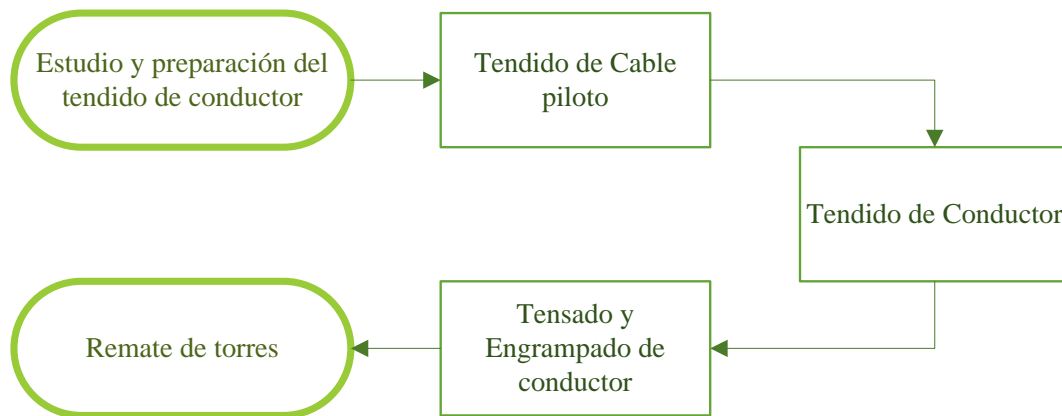


Figura 3.3: Secuencia de trabajos en Tendido y Remate de Conductor

3.2. COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL PROYECTO

Las torres son un elemento importante dentro del proyecto de interconexión; difieren de acuerdo al tipo y su utilización dentro de la línea. La estructura de las torres se constituye por perfiles reticulados, que son fabricados de acero galvanizado. Su diseño se define acorde a las solicitancias del proyecto, ya sea en términos de cargas a soportar, o bien debido a la presencia de condiciones externas asociadas a la construcción de la línea.

En términos generales se encuentra distribuida según lo señala la figura 3.4. Tanto la cruceta inferior, media como la superior (Superestructura) son quienes soportan el peso del cable y todos los elementos asociados al tendido de conductor. Las patas son las que se encuentran unidas, mediante el Stub, a las fundaciones de hormigón.

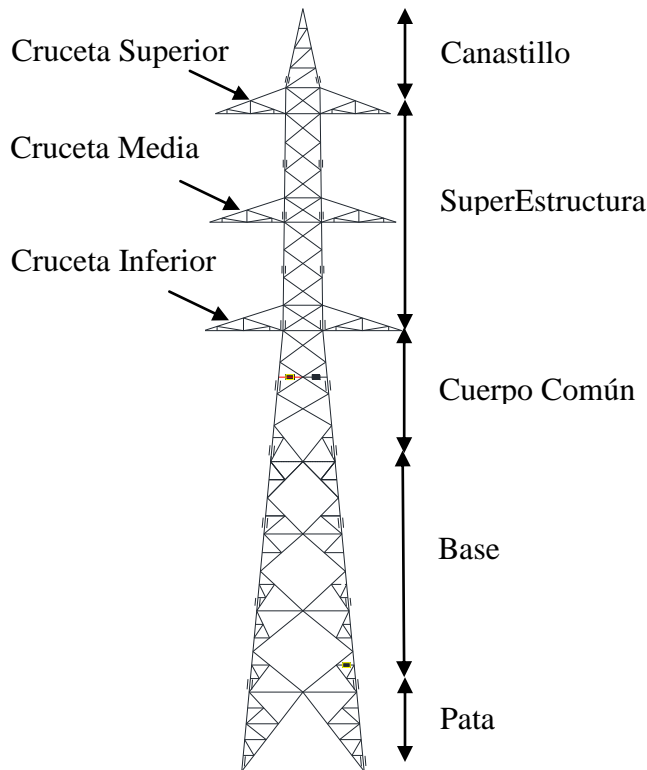


Figura 3.4: Distribución de partes en una torre de Suspensión

En el proyecto existen dos grupos que definen los tipos de torres:

- Torre de Anclaje o Remate

Es un tipo de estructura que define tramos a trabajar. Permite que la línea tenga importantes deflexiones en relación a su perfil longitudinal. La cadena de aislación se instala de forma horizontal siguiendo la línea y es capaz de soportar tanto, vertical como horizontalmente el cable conductor, ver figura 3.5.

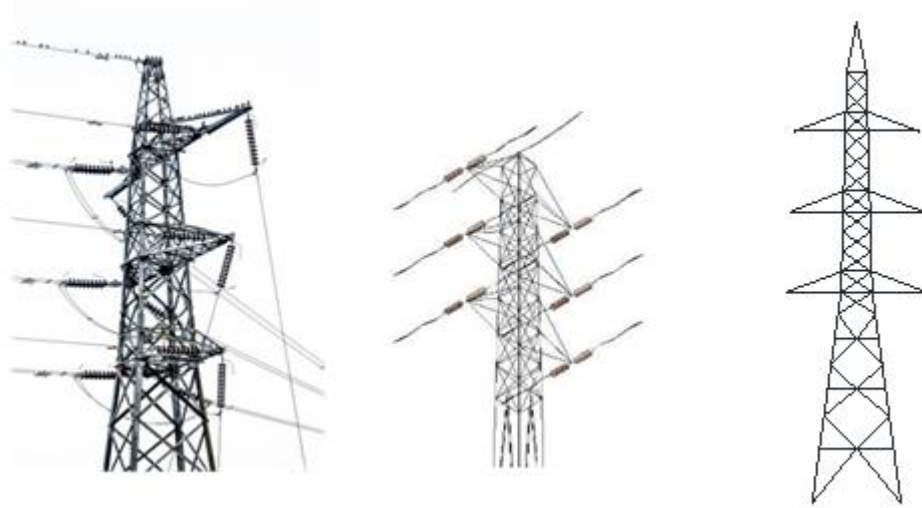


Figura 3.5: Torre de Anclaje o Remate

Para este trabajo de título se definen cuatro tipos de torres de anclaje y remate: ANC H27 - ANC H31 y REM H27 - REM H31, respectivamente. Por ejemplo, una ANC H27 indica que es una torre de anclaje con altura de base de 27 metros; en la figura 3.4 esos 27 metros corresponderían a la suma de la longitud “patas” y la longitud “base”. Al comparar una torre de Anclaje y una torre de Remate, cumplen la misma función y características con la salvedad de que la de Remate es mucho más robusta que la de Anclaje.

Son capaces de soportar cargas verticales, así como también altas cargas en el sentido longitudinal y transversal, que se define por el ángulo de deflexión, el cual se refiere

al ángulo de inclinación que toma la línea de transmisión luego de pasar por una torre considerada como vértice (anclaje o remate), ver figura 3.6.

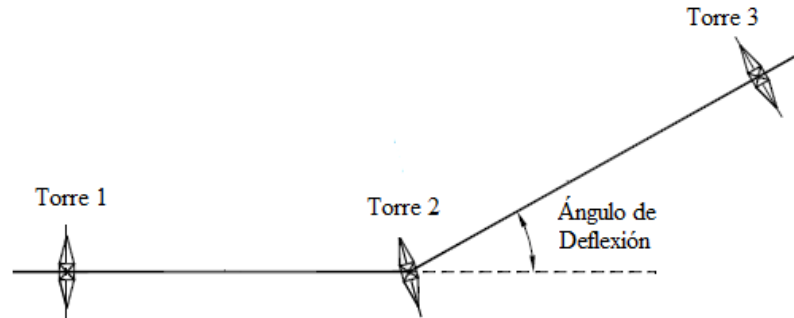


Figura 3.6: Ángulo de Deflexión [11]

- Torre de Suspensión

Se refiere al tipo de torre más repetido en la línea. Es capaz de soportar grandes cargas verticales y mínimas cargas transversales y longitudinales. Debido a esto es que en general carecen de ángulo de deflexión. Existen excepciones en donde presentan ángulos muy pequeños, en donde el diseño de la estructura se realiza acorde a esas necesidades. En este tipo de torre la cadena de suspensión se instala de forma vertical (ver figura 3.7).

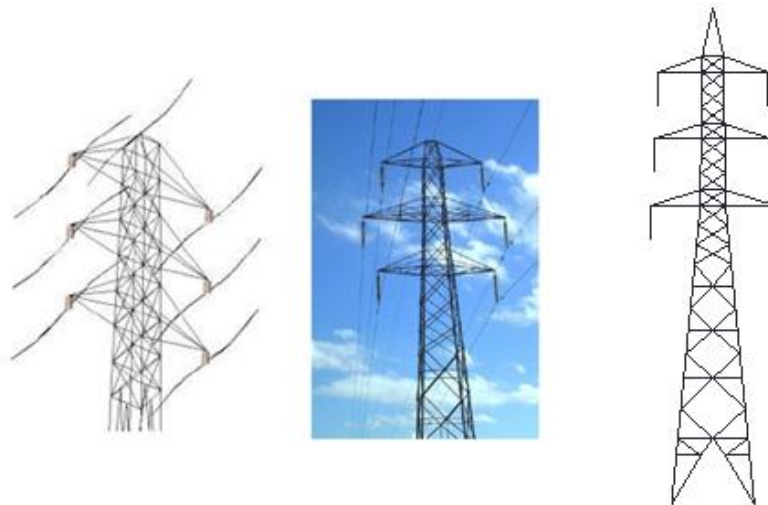


Figura 3.7: Torre de Suspensión

Para este trabajo de título se estudian siete tipos de torres de suspensión: SPNA H51, SPNA H47, SPNA H43, SPNA H39, SPN H35, SPN H31, SPN H27. Se dividen en dos grupos donde las SPNA son consideradas suspensiones altas y las SPN suspensiones bajas.

3.3. CABLE CONDUCTOR DEL PROYECTO

Para la construcción de líneas de transmisión existen varios tipos y modelos de cables metálicos [9,12], dentro de los que se encuentra el cobre, el acero y el aluminio, los cuales cumplen con ciertas características específicas de diseño: una elevada resistencia mecánica a la tracción, baja resistencia eléctrica, y por sobre todo, que tenga un bajo costo.

Los materiales comúnmente utilizados en proyectos de líneas de transmisión [13] son los que provienen de Aluminio puro (AAC), Aleación de Aluminio (AAAC), Aluminio reforzado con aleación de Acero en su interior (ACSR), o bien Aluminio desnudo reforzado con Aleación de Aluminio (ACAR). En la actualidad, el cobre presenta un costo (US\$/Ton) 300 veces mayor que el Aluminio [14], es por eso y a que sus propiedades mecánicas son más desfavorables (en relación al Aluminio), ha dejado de ser un material predilecto para este tipo de proyectos, ver tabla 3.1. La selección final del material a utilizar se define en base a las características de la construcción y de las especificaciones de diseño del proyecto. Algunos aspectos a considerar en este análisis son los siguientes:

- Capacidad de corriente de la línea.
- Longitud de la línea para determinar pérdidas eléctricas.
- Consideraciones Climáticas
- Posibilidades de corrosión.
- Condiciones físicas de la línea, derivadas del estudio previo.

Tabla 3.1: Ventajas y desventajas entre el Cobre y el Aluminio

Cobre		Aluminio	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Alta conductividad eléctrica - Muy dúctil - Soporta la Corrosión - Buena conductividad térmica - Buena resistencia mecánica 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto Costo 	<ul style="list-style-type: none"> - Es muy ligero y presenta la misma capacidad de corriente que el cobre - Altamente resistente a la corrosión - Excelente resistencia mecánica 	<ul style="list-style-type: none"> - Se origina óxido en su superficie que dificulta las juntas de contacto - Buena conductividad eléctrica pero menor al cobre

El conductor utilizado en el proyecto es el ACAR 700 MCM 30/7 [13,15], compuesto por 30 filamentos de aluminio desnudo en su exterior y 7 filamentos de una aleación de aluminio reforzado en el centro, ver figura 3.8. El término MCM se refiere a “Mil circular mil” que es el área del círculo con un diámetro igual a una milésima de pulgada.



Figura 3.8: Conductor ACAR 700 MCM 30/7

Este tipo de conductor es frecuentemente utilizado en proyectos de líneas con tramos largos de vano y con condiciones adversas tanto para el clima como para el terreno. Combina alambres de aluminio 1350 en su capa exterior y un núcleo de aleación de aluminio 6101 ó 6201.

Otras características del conductor, indicadas por el fabricante, son las siguientes:

Tabla 3.2: Características técnicas y estructurales del conductor [15,16]

Parámetros		Unidades	Valores
Estructura	Centro: Cable de Aleación de Aluminio	Número/mm	1/3.49
	Capa 1: Cable de Aleación de Aluminio		6/3.49
	Capa 2: Cable de Aluminio		12/3.49
	Capa 3: Cable de Aluminio		18/3.49
Estándar y Criterios		/	ASTM B524 / B230 / B398
Dirección de la Capa Exterior		Dirección	Derecha o Positiva
Diámetro del Conductor		mm	24.45 ± 0.25
Sección		mm ²	354 ± 7.08
Peso del Conductor		kg/km	978.0 ± 19.6
Tensión de Rotura		kg/km	6666
		kN	65.3268
Módulo de Elasticidad		Gpa	61.25
Coeficiente Linear de Expansión		10 ⁻⁶ /°C	23
Máximo Resistencia a la Corriente a 20°C		Ω/km	0.08343
Razón de Tendido	Capa de Aluminio	Tiempo	10-16
	Capa de Aleación de Aluminio		10-16

3.4. ASPECTOS IMPORTANTES EN EL DISEÑO DE LA LINEA

Todo proyecto debe seguir rigurosamente los criterios de diseño para su construcción, por tanto la ejecución del sistema de transmisión contiene diversos documentos que acreditan los procedimientos, consideraciones y criterios de análisis, evaluación y ejecución de la línea. Entre los aspectos a destacar se encuentran:

- Topografía del emplazamiento de la línea de transmisión

Para el correcto desarrollo del análisis ingenieril, es importante recopilar la mayor cantidad de información en lo respecta a la topografía del terreno, ya que entrega un *input* real de donde y como se desarrollará la instalación de torres. Para esto se

desarrolla la tecnología LIDIAR y se hace la proyección de datos en base al sistema universal “UTM (*Universal Transversal de Mercator*) Huso 19 Sur Datum Sirgas 2000 (WGS84)”, ver figura 3.9.

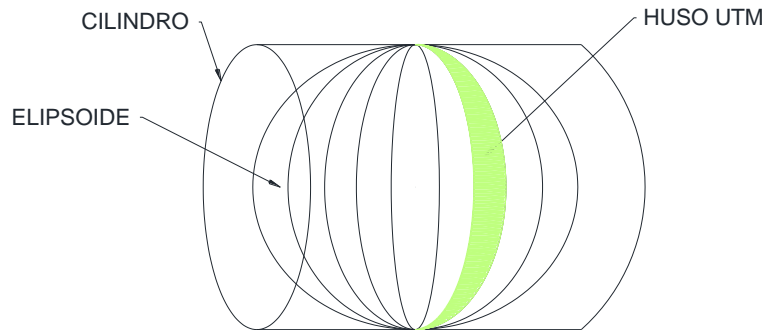


Figura 3.9: Diagrama de proyección transversal de mercator [17]

- Criterios Climáticos

Otro aspecto importante en el análisis, son las características meteorológicas y criterios climáticos que se darán a lo largo de la línea. Para el análisis de este trabajo de título, se utilizan los criterios mostrados en la tabla 3.3, los que se definen según la norma NSEG 5. E.n.71. Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes [10], en donde se señalan los criterios de verificación de las solicitudes mecánicas del conductor en diferentes áreas del país; en este caso será la Zona III.

Tabla 3.3: Criterios Meteorológicos de la línea [10,17]

Descripción	Factor Densidad de Aire (kg/m ³)	Velocidad del Viento (m/s)	Presión del Viento (Pa)	Espesor de Hielo (cm)	Densidad del Hielo (daN/dm ³)	Carga de Hielo (daN/m)	Temperatura del Cable (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Factor de Carga debido al Clima
Tensión Máxima	0.613	25.3	392.27	0	0	0	-5	-5	1
E.D.S.	0.613	0	0	0	0	0	15	15	1

- Distancias de Seguridad

La distancia de seguridad en una línea se refiere a la altura mínima en la que debe volar el conductor respecto al nivel de suelo, línea de transmisión, camino, etc. (ver tabla 3.4). Se verifica según el valor de la flecha máxima del conductor en su estado de condición final (análisis proyectado en 10 años aproximadamente).

Tabla 3.4: Distancias mínimas admisibles según norma [10,11,18]

Condición	500 kV
Regiones poco transitables (montañas, praderas, cursos de agua no navegables)	9,0 metros
En caminos y calles	9,5 metros
En carreteras y autopistas	9,5 metros
Cruce con líneas de ferrocarriles	12 metros

Para los cálculos en este trabajo, se precisa una distancia mínima de seguridad de 10 metros, la que se define para unificar criterios (mismo valor en regiones poco transitables y caminos o carreteras) y mantener una holgura respecto a la mínima distancia solicitada en la norma NSEG 5. E.n.71.

- Criterios de cargas sobre las torres

Dentro de los criterios de construcción, se señala que es fundamental que las tensiones que se obtienen en el tendido de conductor, no superen las cargas admisibles de la torre. Para verificar que esto no ocurra se establece un árbol de cargas, el cual representa el estado de la torre (en sus crucetas) con todas las tensiones que esta puede recibir (ver figura 3.10).

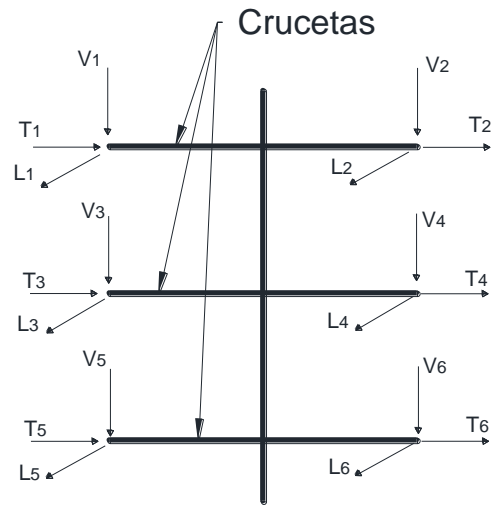


Figura 3.10: Árbol de Cargas [19]

Las torres de anclaje o remate son capaces de soportar grandes cargas tanto en el sentido transversal como vertical. Esto queda demostrado en la información de la tabla 3.5 y tabla 3.6.

Las condiciones de carga para las torres se definen de acuerdo a los criterios de diseño de fabricación y condiciones de prueba de cargas, propias de cada torre.

Tabla 3.5: Cuadro de cargas para torre de Anclaje [19]

Comb	Cuadro de cargas estructura																		F.S
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	T1	T2	T3	T4	T5	T6	L1	L2	L3	L4	L5	L6	
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	
I	5520	5520	5520	5520	5520	5520	5770	5770	5770	5770	5770	5770	0	0	0	0	0	0	1,5
II	5520	5520	5520	5520	5520	5520	4005	4005	4005	4005	4005	4005	445	445	445	445	445	445	1,5
III.1	(8925)	5520	5520	5520	5520	5520	3280	3280	3280	3280	3280	3280	0	0	0	0	0	0	1,2
III.2	(8925)	(8925)	5520	5520	5520	5520	3280	3280	3280	3280	3280	3280	0	0	0	0	0	0	
IV	5520	5520	5520	5520	5520	5520	5310	5310	5310	5310	5310	5310	0	0	0	0	0	0	1,5
VII-A	5520	5520	5520	5520	5520	5520	200	200	200	200	200	200	3870	3870	3870	3870	3870	3870	1,5
VII-B	5520	5520	5520	5520	5520	5520	4205	4205	4205	4205	4205	4205	3735	3735	3735	3735	3735	3735	1,5
VIII-A	5520	5520	5520	5520	5520	5520	0	0	0	0	0	0	4070	4070	4070	4070	4070	4070	1,5
VIII-B	5520	5520	5520	5520	5520	5520	4005	4005	4005	4005	4005	4005	3935	3935	3935	3935	3935	3935	1,5

Tabla 3.6: Cuadro de cargas para torre de Remate [19]

Comb	Cuadro de cargas estructura																	F.S	
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	T1	T2	T3	T4	T5	T6	L1	L2	L3	L4	L5		L6
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg		kg
I	5520	5520	5520	5520	5520	5520	10640	10640	10640	10640	10640	10640	0	0	0	0	0	0	1,5
II	5520	5520	5520	5520	5520	5520	8875	8875	8875	8875	8875	8875	445	445	445	445	445	445	1,5
III.1	(8925)	5520	5520	5520	5520	5520	6735	6735	6735	6735	6735	6735	0	0	0	0	0	0	1,2
III.2	(8925)	(8925)	5520	5520	5520	5520	6735	6735	6735	6735	6735	6735	0	0	0	0	0	0	
IV	5520	5520	5520	5520	5520	5520	10180	10180	10180	10180	10180	10180	0	0	0	0	0	0	1,5
VII-A	5520	5520	5520	5520	5520	5520	4205	4205	4205	4205	4205	4205	3735	3735	3735	3735	3735	3735	1,5
VII-B	5520	5520	5520	5520	5520	5520	9075	9075	9075	9075	9075	9075	3170	3170	3170	3170	3170	3170	1,5
VIII-A	5520	5520	5520	5520	5520	5520	4005	4005	4005	4005	4005	4005	3935	3935	3935	3935	3935	3935	1,5
VIII-B	5520	5520	5520	5520	5520	5520	8875	8875	8875	8875	8875	8875	3370	3370	3370	3370	3370	3370	1,5

Donde F.S es el factor de seguridad, Comb. I corresponde a viento máximo transversal, Comb. II a viento máximo longitudinal, Comb. III a sobrecarga vertical, Comb. IV a viento máximo en 45°, Comb. VII-A a desequilibrio longitudinal con viento transversal (30°), Comb. VII-B a desequilibrio longitudinal con viento transversal (70°), Comb. VIII-A a desequilibrio longitudinal con viento longitudinal (30°) y Comb. VIII-B a desequilibrio longitudinal con viento longitudinal (70°).

Por otra parte, las torres de suspensión prácticamente no soportan cargas longitudinales y transversales, pero si grandes tensiones verticales como se muestra en la tabla 3.7 y la tabla 3.8.

Las condiciones de carga para las torres se definen de acuerdo a los criterios de diseño de fabricación y condiciones de prueba de cargas, propias en cada torre.

Tabla 3.7: Cuadro de cargas para torre de Suspensión baja [19]

Comb	Cuadro de cargas estructura																F.S		
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	T1	T2	T3	T4	T5	T6	L1	L2	L3	L4		L5	L6
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	
I	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2065	2065	2065	2065	2065	2065	0	0	0	0	0	0	1,5
II	2600	2600	2600	2600	2600	2600	135	135	135	135	135	135	520	520	520	520	520	520	1,5
III.1	(4945)	2600	2600	2600	2600	2600	580	580	580	580	580	580	0	0	0	0	0	0	1,2
III.2	(4945)	(4945)	2600	2600	2600	2600	580	580	580	580	580	580	0	0	0	0	0	0	
IV	2600	2600	2600	2600	2600	2600	1515	1515	1515	1515	1515	1515	0	0	0	0	0	0	1,5
V.1	2600	2600	2600	2600	2600	2600	(100)	150	150	150	150	150	(3735)	0	0	0	0	0	1,2
V.2	2600	2600	2600	2600	2600	2600	(100)	(100)	150	150	150	150	(3735)	(3735)	0	0	0	0	
VI.1	2600	2600	2600	2600	2600	2600	(50)	100	100	100	100	100	(3785)	50	50	50	50	50	1,2
VI.2	2600	2600	2600	2600	2600	2600	(50)	(50)	100	100	100	100	(3785)	(3785)	50	50	50	50	
VII	2600	2600	2600	2600	2600	2600	485	485	485	485	485	485	825	825	825	825	825	825	1,2

Tabla 3.8: Cuadro de cargas para torre de Suspensión alta [19]

Comb	Cuadro de cargas estructura																F.S		
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	T1	T2	T3	T4	T5	T6	L1	L2	L3	L4		L5	L6
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	
I	3575	3575	3575	3575	3575	3575	2730	2730	2730	2730	2730	2730	0	0	0	0	0	0	1,5
II	3575	3575	3575	3575	3575	3575	135	135	135	135	135	135	690	690	690	690	690	690	1,5
III.1	(6900)	3575	3575	3575	3575	3575	745	745	745	745	745	745	0	0	0	0	0	0	1,2
III.2	(6900)	(6900)	3575	3575	3575	3575	745	745	745	745	745	745	0	0	0	0	0	0	
IV	3575	3575	3575	3575	3575	3575	1985	1985	1985	1985	1985	1985	0	0	0	0	0	0	1,5
V.1	3575	3575	3575	3575	3575	3575	(100)	150	150	150	150	150	(3735)	0	0	0	0	0	1,2
V.2	3575	3575	3575	3575	3575	3575	(100)	(100)	150	150	150	150	(3735)	(3735)	0	0	0	0	
VI.1	3575	3575	3575	3575	3575	3575	(50)	100	100	100	100	100	(3785)	50	50	50	50	50	1,2
VI.2	3575	3575	3575	3575	3575	3575	(50)	(50)	100	100	100	100	(3785)	(3785)	50	50	50	50	
VII	3575	3575	3575	3575	3575	3575	650	650	650	650	650	650	825	825	825	825	825	825	1,2

Donde F.S es el factor de seguridad, Comb. I corresponde a viento máximo transversal, Comb. II a viento máximo longitudinal, Comb. III a sobrecarga vertical, viento un cuarto transversal, Comb. IV a viento máximo en 45°, Comb. V a sobrecarga longitudinal con viento (un cuarto) transversal, Comb. VI a sobrecarga longitudinal con viento (un cuarto) longitudinal y Comb. VII a desequilibrio longitudinal con viento (un cuarto) transversal.

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, este trabajo de título consiste en evaluar el comportamiento del cable conductor en un proyecto de líneas de transmisión. Por tanto, es necesario analizar el comportamiento de una catenaria, la cual define la trayectoria del cable en base a diversos factores.

Para relacionar todas las variables se confecciona una planilla que contiene una tabla de datos, la que define variables y las condiciones de análisis de acuerdo a los requerimientos del usuario. Se utiliza el software Microsoft Office Excel 2007, que permite ingresar fórmulas, relacionando datos y resultados de forma que el usuario obtenga lo que requiere.

Se establece una situación que involucra dos soportes en un terreno nivelado o desnivelado y una catenaria que los conecta. Por tanto, los datos que requiere el software son los siguientes:

- Tipo de Estructura
- Cota de Estructura (m)
- Cota de Cable (m)
- Deflexión ($^{\circ}$ Sexagesimal)

Además, necesita los datos del cable conductor:

- Diámetro (m)
- Peso nominal del cable (kg/m)
- Tensión a la ruptura (kg)
- Coeficiente de Temperatura ($1/^{\circ}\text{C}$)
- Número de Sub-conductores por fase

Se ingresan datos para los factores ambientales y/o climáticos del lugar:

- Presión de Viento (kg/m)

- Velocidad de Viento (m/s)
- Densidad del Aire (kg/m^3)
- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
- Hielo Existente (mm)

Finalmente, se precisa de los datos que definen el análisis:

- Porcentaje de tensión que lleva el cable (%UTS)
- Longitud de Vano entre soportes (m)

En cuanto a los resultados arrojados por la planilla corresponderán al análisis mecánico del conductor de acuerdo a las condiciones en donde se construye la línea.

Para los soportes se obtiene:

- Tensión Vertical sin deformación en el cable y con deformación en el cable producto de la temperatura existente (kg)
- Tensión Horizontal sin deformación en el cable y con deformación en el cable producto de la temperatura existente (kg)
- Tensión Transversal sin deformación en el cable y con deformación en el cable producto de la temperatura existente (kg)
- Tensión Longitudinal sin deformación en el cable y con deformación en el cable producto de la temperatura existente (kg)

Respecto al cable conductor, se obtiene:

- Parámetro de la catenaria sin deformación en el cable y con deformación en el cable (m)
- Tensión horizontal en el vértice de la catenaria sin deformación en el cable y con deformación en el cable (kg)
- Desnivel en el cable (m)
- Distancia horizontal desde cada soporte al vértice de catenaria sin deformación en el cable y con deformación en el cable (m)

- Vano virtual (m)
- Longitud de conductor sin deformación en el cable y con deformación en el cable (m)
- Flecha Máxima sin deformación en el cable y con deformación en el cable (m)
- Flecha en Vértice sin deformación en el cable y con deformación en el cable (m)
- Cota de Vértice de catenaria sin deformación en el cable y con deformación en el cable (m)
- Deformación en el cable producto de la temperatura (m)
- Tensión Vertical sin deformación en el cable y con deformación en el cable producto de la temperatura existente (kg)
- Tensión Horizontal sin deformación en el cable y con deformación en el cable producto de la temperatura existente (kg)
- Tensión Máxima sin deformación en el cable y con deformación en el cable producto de la temperatura existente (kg)

Para ejemplificar, se analizan dos situaciones que comúnmente se encuentran en la construcción de un proyecto de líneas de alta tensión.

- Cálculo mecánico con desnivel de terreno de 20 metros.
- Cálculo mecánico sin desnivel de terreno.

Producto de las grandes irregularidades del terreno en el desierto, debido a sus cerros, quebradas y planicies, es que se estipulan dos situaciones que asimilen esta realidad en el análisis. Por una parte, se define un desnivel de 20 metros que representa las zonas con altas pendientes. En su defecto, se establece un terreno nivelado que representa zonas planas o planicies.

A su vez, para cada una de esas situaciones, se definieron dos combinaciones de soportes (entre los nueve tipos), pudiendo así obtener conclusiones idóneas que expliquen la situación mostrada. De esta forma se cumple con el objetivo de analizar mecánicamente el cable conductor.

Buscando encontrar una relación entre la altura de torre y el largo de vano es que se establecen las condiciones climáticas y medio ambientales a trabajar. Además, las torres se dividen en grupos que definen las combinaciones y/o composiciones de análisis (recordar que el análisis contiene dos soportes en torno a un largo de vano):

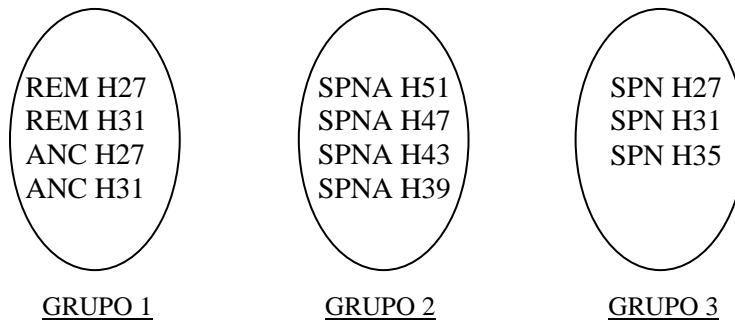


Figura 4.17: Grupos de torres

El análisis se determina bajo dos parámetros:

- Cálculo manteniendo constante el %UTS

Se mantiene un porcentaje de utilización del cable definido.

Se busca un valor de longitud de vano (inicial) para la composición 1, de manera que la distancia que existe entre la cota mínima del cable y el nivel de piso se encuentre sobre los 10 metros.

Definido el largo de vano, se obtienen los resultados del análisis mecánico para la composición 1 (tensiones en los soportes, flecha máxima, cota mínima de conductor, entre otros).

Se define la composición 2 y se varía la longitud de vano de manera que la distancia que existe entre la cota mínima del cable y el nivel de piso sea igual a la encontrada en la composición 1. Luego se obtienen los resultados del análisis mecánico para la composición 2.

En base a los resultados obtenidos en las 72 combinaciones posibles, se analizan las variaciones obtenidas en el largo de vano respecto a la variación existente en la altura de las torres. De esta forma, se busca encontrar una relación que cumpla con lo propuesto en el objetivo.

El mismo proceder de análisis se ejecuta utilizando una temperatura ambiente promedio de 15°C. De este modo, se obtienen los resultados del cálculo mecánico para lograr encontrar una relación que cumpla con el objetivo propuesto.

- Cálculo manteniendo constante la longitud de vano

Se establece un porcentaje de utilización del cable inicial.

Se busca un valor de longitud de vano para la composición 1, de manera que la distancia que existe entre la cota mínima del cable y el nivel de piso se encuentre sobre los 10 metros.

Definido el largo de vano, se obtienen los resultados del análisis mecánico para la composición 1 (tensiones en los soportes, flecha máxima, cota mínima de conductor, entre otros).

Se define la composición 2, y se varía el %UTS de manera que la distancia que existe entre la cota mínima del cable y el nivel de piso sea igual a la encontrada en la composición 1. Luego se obtienen los resultados del análisis mecánico para la composición 2.

En base a los resultados obtenidos en las 72 combinaciones posibles, se analizan las variaciones obtenidas en el %UTS respecto a la variación existente en la altura de las torres.

El mismo proceder de análisis, se ejecuta utilizando una temperatura ambiente promedio de 15°C. De este modo, se obtienen los resultados del cálculo mecánico permitiendo elaborar las conclusiones respectivas.

Ahora, si se incorpora el factor del envejecimiento lento en el análisis, es necesario saber las condiciones de fabricación del conductor, y las características en las que instala el cable, como por ejemplo:

- Tensión horizontal inicial a la cual debe tensarse el cable conductor, por ende es necesario definir el porcentaje de tensión a utilizar (%UTS)
- La cantidad de tiempo que ha pasado desde el momento en que se realiza el tendido hasta el momento en que se inicia el tensado del cable. Este tiempo deberá ser en días u horas.
- La temperatura promedio del conductor durante el período de tiempo en el cual se encuentra tendido.
- Datos específicos del conductor como su sección transversal, diámetro y coeficientes que permitan el cálculo del *creep*.

Adicionalmente, es necesario contar con información tabulada del tensado del cable, elaborada previamente en el estudio de ingeniería. Estas entregan valores de flechas y tensiones para el cable tendido.

Para utilizar estas tablas es necesario saber la temperatura promedio del conductor tendido. Por lo tanto, como el *creep* provoca una variación en la temperatura del cable, se debe agregar esta variación a la temperatura promedio obtenida en un principio ($t + \Delta t$) y con este nuevo valor, ingresar a las tablas de tensado

correspondientes. De esta forma, la tensión a la que queda el cable es la requerida según el diseño de la línea.

También, se genera una curva para la deformación que se produce en el conductor durante ese periodo de tiempo. Se realiza un ejemplo para reafirmar la hipótesis de que el cable se deforma mayormente en el primer período de tiempo luego de su instalación.

Finalmente, se seleccionan dos tramos pertenecientes a la línea de transmisión LAT 500 KV, tratando de que dicho tramo, permita visualizar y reflejar de mejor manera todo el análisis relatado anteriormente.

Se realiza un análisis económico de dichos tramos, evaluando el costo de suministros y el costo de construcción que requiere cada uno.

En base a lo visto anteriormente, se elabora una propuesta que permita optimizar los costos asociados a los tramos seleccionados. Para ello, se cambian los tipos de estructuras existentes, buscando disminuir la altura de la línea. Dicho análisis se realiza de acuerdo a la variación en la longitud de vano y el porcentaje de tensión establecida en el cable.

Se realiza un análisis mecánico a cada propuesta, obteniendo resultados tanto en el conductor como en los soportes del tramo. Se obtienen tensiones, flechas, longitudes finales de vano, %UTS, entre otros.

Se verifica que los resultados obtenidos en el análisis mecánico cumplan con los criterios de diseño del proyecto y se adecúen a los parámetros señalados en los documentos oficiales.

Luego, se evalúan los costos asociados a los suministros y la construcción de la propuesta.

Por último se comparan los resultados obtenidos en el análisis económico y se evalúa si es posible optimizar el tramo seleccionado en la línea de transmisión.

Conclusiones.

En resumen, se muestra el diagrama de flujo del trabajo realizado:

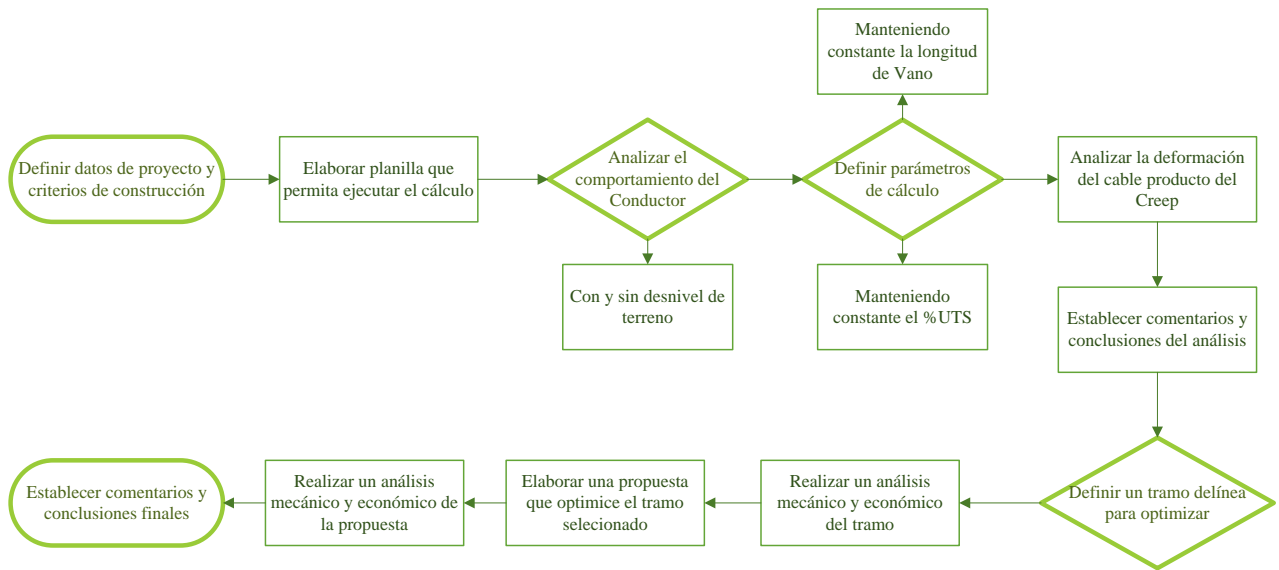


Figura 4.2: Diagrama de Flujo del trabajo efectuado

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS MECÁNICO DEL CONDUCTOR ENTRE DOS SOPORTES

5.1. ANÁLISIS MECÁNICO DE ACUERDO A LAS CONDICIONES CRÍTICAS DEL ENTORNO DONDE SE ENCUENTRA EL PROYECTO LAT 500 KV.

En base a lo expresado en capítulos anteriores, se realiza el análisis mecánico del cable considerando su trayectoria entre dos soportes como el de una catenaria. Dicho análisis se efectúa bajo condiciones críticas y/o de borde.

Se fija una condición de cálculo de tensión máxima, que establece limitaciones climáticas y medio ambientales de acuerdo al territorio donde se ejecuta la construcción de la línea de alta tensión (Zona Baja, altura menor a los 2000 m.s.n.m.).

- Tensión Máxima:

Temperatura: -5°C (regulación)

Hielo: Sin Hielo

Presión de Viento: 40 (kg/m²)

Además, se establecen los datos específicos correspondientes al tipo de conductor del proyecto: ACAR 700 MCM 30/7, ver tabla 3.2.

A su vez, se define el tipo de soporte a utilizar en cada uno de los análisis (ver Capítulo 3), ya que el cable se comporta de diferente manera dependiendo si el soporte es una torre de anclaje o es una torre de suspensión.

La literatura que se ocupa en este análisis corresponde a cálculos de catenaria en vanos largos, con soportes a distinto nivel de terreno (ver figura 5.1).

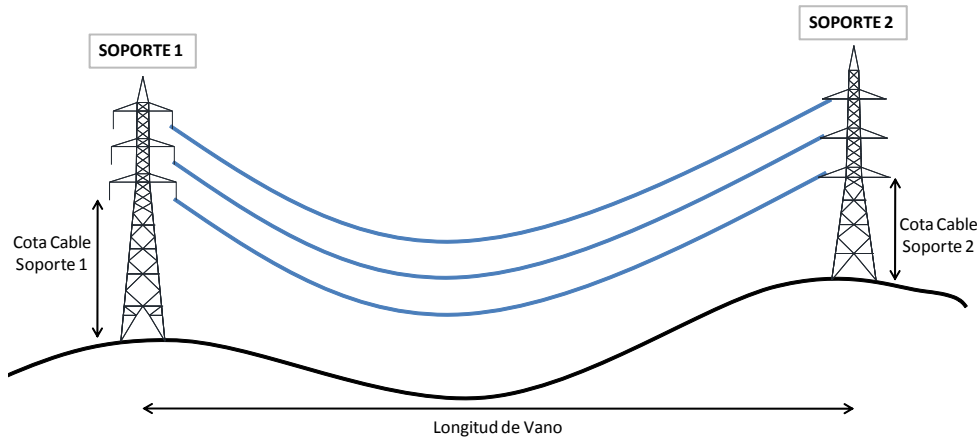


Figura 5.1: Tramo ilustrativo para el análisis mecánico

En líneas de alta tensión, los cables se encuentran sometidos a diversas cargas externas producto de la variación en la temperatura ambiente, las acciones del viento y la existencia de hielo. Estas inciden directamente en la resistencia mecánica del conductor, y por ende, en su comportamiento a lo largo del tiempo.

Como el cálculo de solicitancias mecánicas en conductores conjuga diversos factores, resulta necesario definir varios conceptos asociados a fórmulas que se deducen en la literatura, ver capítulo 2.

Se definen dos condiciones de cálculo: con desnivel de terreno de 20 metros entre soportes y con terreno nivelado entre soportes. Para el análisis, se establece un porcentaje de la tensión de rotura (%UTS) igual a 19.5% y una longitud de vano de 470 metros (para tramo con desnivel de 20 metros) y de 370 metros (para tramo nivelado), lo que equivale a un parámetro de catenaria de 939.82 metros y un peso equivalente del cable de 1.383 kg/m (valores correspondientes para cable sin deformación). Las condiciones de cálculo intentan simular realidades existentes en donde se está construyendo la línea de alta tensión, y sus parámetros se fijan de

acuerdo a los rangos de trabajo que se establecen en los criterios de diseño de la línea y los valores utilizados en el proyecto.

El análisis se realiza para un sub-conductor ubicado en la fase inferior de la torre, es decir, en la cruceta inferior de esta, ya que es el conductor que se encuentra más próximo al nivel de terreno y por ende es la condición más desfavorable para el comportamiento de la trayectoria del cable.

❖ Cálculo con desnivel de terreno de 20 metros entre soportes.

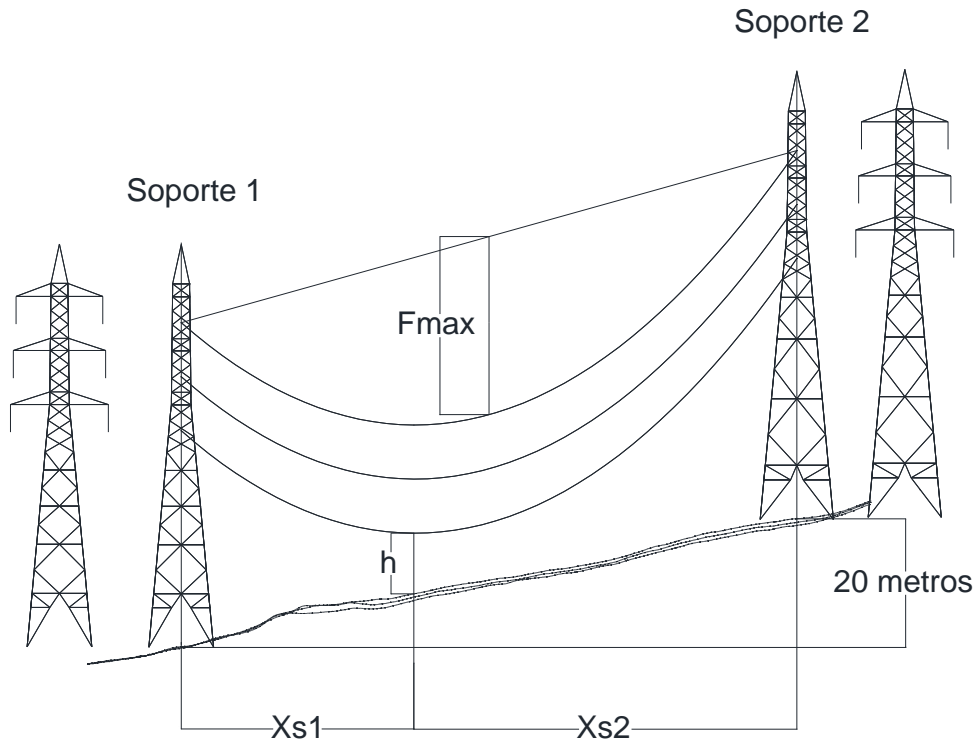


Figura 5.2: Tramo con desnivel de terreno de 20 metros

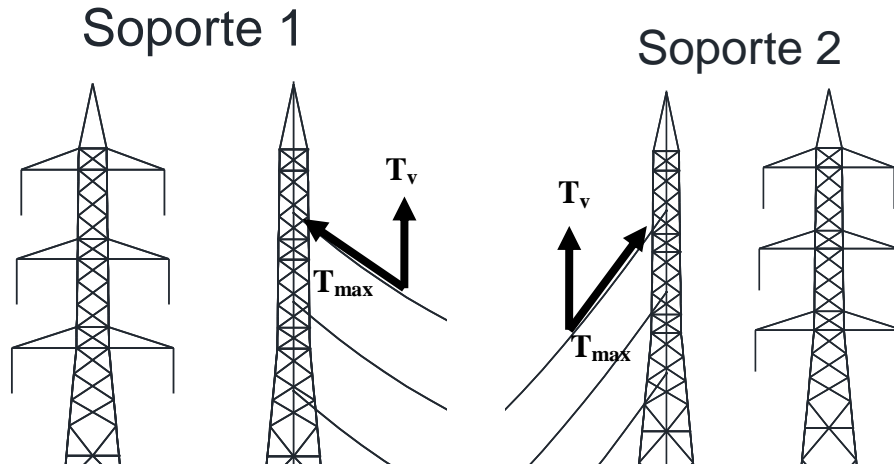


Figura 5.3: Tensiones del conductor en ambos soportes

Se constituyen dos casos para analizar, que se diferencian por los tipos de soportes a utilizar: Anclaje o Remate – Suspensión (caso 1) y Suspensión – Suspensión (caso 2). En cada uno de estos, se determinan resultados en dos situaciones: considerando la deformación en el cable producto de la presencia de temperatura y sin considerar deformación.

Para efectos de este análisis, se considera que la torre de remate (REM) es equivalente a una torre de anclaje (ANC), es decir, que los resultados obtenidos serían los mismos en caso de que fuese una o la otra. Su diferencia se encuentra en la capacidad de soportar carga, donde la torre de remate soporta mucha más carga que la torre de anclaje.

- Caso 1:

Soporte 1: Torre de Anclaje o Remate (REM H31) con deflexión de 10° .

Soporte 2: Torre de Suspensión (SPNA H39).

En base a los datos anteriores y sin considerar deformación en el cable, se tiene lo siguiente:

Tabla 5.1: Resultados para el caso 1 sin deformación

Desnivel del Cable, d (m)	23.10
Tensión Hor. en vértice, th (kg)	1299.87
Xs1 (m)	189.30
Xs2 (m)	280.70
Vano Virtual (m)	561.39
Longitud de Cable, L (m)	475.47
Flecha Máxima, F_{max} (m)	29.57
Angulo entre Soporte (°)	2.8

Tabla 5.2: Tensiones para el caso 1 sin deformación

Cargas por Sub-conductor	REM H31	SPNA H39
Tensión Vertical (kg)	268.97	411.73
Tensión Horizontal (kg)	1326.33	1358.28
Tensión Máxima (kg)	1353.33	1419.31
Cargas en Soporte	REM H31	SPNA H39
Tensión Vertical (kg)	1075.87	1646.93
Tensión Transversal (kg)	115.60	0.00
Tensión Longitudinal (kg)	1321.28	1358.28

Ahora, considerando deformación en el conductor producto de la temperatura promedio en el ambiente de 15 °C, se tiene lo siguiente:

Tabla 5.3: Resultados para el caso 1 con deformación

Desnivel del Cable, d (m)	23.10
ΔL (m)	0.22
L + ΔL (m)	475.69
h (m)	918.12
Tensión Hor. en vértice, th (kg)	1269.85
Xs1 (m)	190.38
Xs2 (m)	279.62
Vano Virtual (m)	559.24
Flecha Máxima, F_{max} (m)	30.28

Tabla 5.4: Tensiones para el caso 1 con deformación

Cargas por Sub-conductor	REM H31	SPNA H39
Tensión Vertical (kg)	270.93	411.10
Tensión Horizontal (kg)	1297.25	1329.20
Tensión Máxima (kg)	1325.24	1391.32
Cargas en Soporte	REM H31	SPNA H39
Tensión Vertical (kg)	1083.72	1644.41
Tensión Transversal (kg)	113.06	0.00
Tensión Longitudinal (kg)	1292.31	1329.20

▪ Caso 2:

Soporte 1: Torre de Suspensión (SPNA H43).

Soporte 2: Torre de Suspensión (SPN H35).

En base a los datos anteriores y sin considerar deformación en el cable, se tiene lo siguiente:

Tabla 5.5: Resultados para el caso 2 sin deformación

Desnivel del Cable, d (m)	12.00
Tensión Hor. en vértice, th (kg)	1299.87
Xs1 (m)	211.26
Xs2 (m)	258.74
Vano Virtual (m)	517.49
Longitud de Cable, L (m)	475.06
Flecha Máxima, F_{max} (m)	29.54
Angulo entre Soporte (°)	1.5

Tabla 5.6: Tensiones para el caso 2 sin deformación

Cargas por Sub-conductor	SPNA H43	SPN H35
Tensión Vertical (kg)	302.13	376.23
Tensión Horizontal (kg)	1332.85	1349.44
Tensión Máxima (kg)	1366.66	1400.91
Cargas en Soporte	SPNA H43	SPN H35
Tensión Vertical (kg)	1208.52	1504.92
Tensión Transversal (kg)	0.00	0.00
Tensión Longitudinal (kg)	1332.85	1349.44

Para la deformación en el cable producto de la temperatura promedio en el ambiente de 15 °C, se tiene lo siguiente:

Tabla 5.7: Resultados para el caso 2 con deformación

Desnivel del Cable, d (m)	12.00
ΔL (m)	0.22
L + ΔL (m)	475.28
h (m)	918.15
Tensión Hor. en vértice, th (kg)	1269.90
Xs1 (m)	211.81
Xs2 (m)	258.19
Vano Virtual (m)	516.37
Flecha Máxima, F_{max} (m)	30.25

Tabla 5.8: Tensiones para el caso 2 con deformación

Cargas por Sub-conductor	SPNA H43	SPN H35
Tensión Vertical (kg)	303.47	376.22
Tensión Horizontal (kg)	1303.84	1320.44
Tensión Máxima (kg)	1338.69	1372.99
Cargas en Soporte	SPNA H43	SPN H35
Tensión Vertical (kg)	1213.86	1504.89
Tensión Transversal (kg)	0.00	0.00
Tensión Longitudinal (kg)	1303.84	1320.44

De acuerdo a lo anterior, se concluye:

- Incorporar la temperatura ambiente promedio, en el análisis, provoca una serie de cambios en el comportamiento del cable. Uno de los factores más importantes es la deformación a la que este se somete, produciendo un aumento en el largo del conductor; de esta manera, el vértice de la catenaria cambia su posición respecto a cada uno de los soportes (análisis sin considerar temperatura de 15°C). Además, con el aumento en el largo de cable, la tensión horizontal que existe en el vértice disminuye, provocando que la curva que representa la trayectoria de la catenaria sea aún más pronunciada (el cable se encuentra “flojo”) y por ende, aumente la flecha máxima que se tenía antes de incorporar la temperatura ambiente.
- La tensión vertical que lleva el conductor a cada uno de los soportes se encuentra relacionada directamente con los valores de X_{S1} y X_{S2} . Por ejemplo, si $X_{S1} > X_{S2}$ quiere decir que el peso propio del cable se encuentra mayormente distribuido hacia el soporte 1, produciéndose una tensión vertical mayor en ese soporte, en relación a la carga en el soporte 2. Al incorporar la temperatura ambiente al análisis, las variables X_{S1} y X_{S2} cambian, por lo tanto la tensión vertical que transmite el cable a cada uno de los soportes también variará. De la misma forma, la tensión horizontal que se transmite a cada soporte se encuentra directamente relacionada con la tensión horizontal en el vértice, por tanto, si esta varía con la temperatura ambiente, la tensión horizontal en el soporte también lo hará.
- En cuanto a la tensión máxima del cable, la cual depende de la tensión horizontal y vertical de este, produce variaciones al incorporar la temperatura, de acuerdo a lo explicado anteriormente.
- Es importante señalar que las tensiones en los soportes se encuentran dentro de las cargas admisibles para cada tipo de estructura; y como era de esperar, la

carga transversal no actúa en torres de suspensión, debido a que no existe ángulo de deflexión.

- La deformación en el cable provoca que aumente la tensión vertical en los soportes, debido a la holgura que se produce producto del estiramiento de este.

❖ Cálculo sin desnivel de terreno entre soportes.

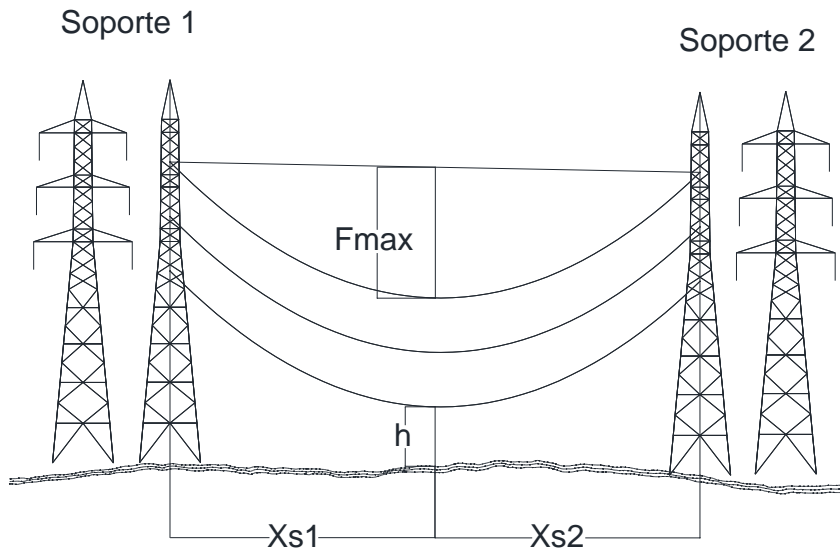


Figura 5.4: Tramo sin desnivel de terreno

Cabe señalar que, si bien no existe desnivel de terreno entre soportes, puede existir desnivel en el cable. Las tensiones que llegan a los soportes son similares a lo mostrado en la figura 5.3.

Se presentan dos casos, definidos de igual forma que en el tramo con desnivel de terreno de 20 metros.

▪ Caso 1:

Soporte 1: Torre de Anclaje o Remate (REM H31) con deflexión de 10°.

Soporte 2: Torre de Suspensión (SPNA H39).

En base a los datos anteriores y sin considerar deformación en el cable, se tiene lo siguiente:

Tabla 5.9: Resultados para el caso 1 sin deformación y sin desnivel

Desnivel del Cable, d (m)	3.10
Tensión Hor. en vértice, th (kg)	1299.87
Xs1 (m)	177.18
Xs2 (m)	192.82
Vano Virtual (m)	385.65
Longitud de Cable, L (m)	372.41
Flecha Máxima, F_{max} (m)	18.27

Tabla 5.10: Tensiones para el caso 1 sin deformación y sin desnivel

Cargas por Sub-conductor	REM H31	SPNA H39
Tensión Vertical (kg)	250.90	274.24
Tensión Horizontal (kg)	1323.04	1327.32
Tensión Máxima (kg)	1346.62	1355.36
Cargas en Soporte	REM H31	SPNA H39
Tensión Vertical (kg)	1003.60	1096.97
Tensión Transversal (kg)	115.31	0.00
Tensión Longitudinal (kg)	1318.00	1327.32

Si se considera la deformación en el cable producto de una temperatura promedio en el ambiente de 15 °C, se tiene lo siguiente:

Tabla 5.11: Resultados para el caso 1 con deformación y sin desnivel

Desnivel del Cable, d (m)	3.10
ΔL (m)	0.17

L + ΔL (m)	372.58
h (m)	907.02
Tensión Hor. en vértice, th (kg)	1254.50
Xs1 (m)	177.45
Xs2 (m)	192.55
Vano Virtual (m)	385.09
Flecha Máxima, F_{max} (m)	18.93

Tabla 5.12: Tensiones para el caso 1 con deformación y sin desnivel

Cargas por Sub-conductor	REM H31	SPNA H39
Tensión Vertical (kg)	251.75	274.38
Tensión Horizontal (kg)	1278.59	1282.88
Tensión Máxima (kg)	1303.14	1311.89
Cargas en Soporte	REM H31	SPNA H39
Tensión Vertical (kg)	1006.99	1097.54
Tensión Transversal (kg)	111.44	0.00
Tensión Longitudinal (kg)	1273.72	1282.88

- Caso 2:

Soporte 1: Torre de Suspensión (SPNA H43).

Soporte 2: Torre de Suspensión (SPN H35).

En base a los datos anteriores y sin considerar deformación en el cable, se tiene:

Tabla 5.13: Resultados para el caso 2 sin deformación y sin desnivel

Desnivel del Cable, d (m)	-8.00
Tensión Hor. en vértice, th (kg)	1299.87
Xs1 (m)	205.19
Xs2 (m)	164.81
Vano Virtual (m)	410.38
Longitud de Cable, L (m)	372.48
Flecha Máxima, F_{max} (m)	18.27

Tabla 5.14: Tensiones para el caso 2 sin deformación y sin desnivel

Cargas por Sub-conductor	SPNA H43	SPN H35
Tensión Vertical (kg)	292.90	232.65
Tensión Horizontal (kg)	1330.97	1319.91
Tensión Máxima (kg)	1362.82	1340.26
Cargas en Soporte	SPNA H43	SPN H35
Tensión Vertical (kg)	1171.60	930.61
Tensión Transversal (kg)	0.00	0.00
Tensión Longitudinal (kg)	1330.97	1319.91

Ahora, si se considera la deformación en el cable producto de una temperatura promedio en el ambiente de 15 °C, se tiene lo siguiente:

Tabla 5.15: Resultados para el caso 2 con deformación y sin desnivel

Desnivel del Cable, d (m)	-8.00
ΔL (m)	0.17
L + ΔL (m)	372.65
h (m)	907.01
Tensión Hor. en vértice, th (kg)	1254.49
Xs1 (m)	204.47
Xs2 (m)	165.53
Vano Virtual (m)	408.95
Flecha Máxima, F_{max} (m)	18.94

Tabla 5.16: Tensiones para el caso 2 con deformación y sin desnivel

Cargas por Sub-conductor	SPNA H43	SPN H35
Tensión Vertical (kg)	292.49	234.06
Tensión Horizontal (kg)	1286.50	1275.43
Tensión Máxima (kg)	1319.33	1296.73
Cargas en Soporte	SPNA H43	SPN H35
Tensión Vertical (kg)	1169.95	936.22
Tensión Transversal (kg)	0.00	0.00
Tensión Longitudinal (kg)	1286.50	1275.43

De acuerdo a lo anterior, se concluye lo siguiente:

- El comportamiento del cable para un terreno sin desnivel entre soportes es similar al obtenido en un terreno con desnivel de 20 metros. Los factores que influyen en las variaciones de parámetros son los mismos y la tendencia de aumento o disminución de valores también. Por lo tanto, la incorporación al análisis de la temperatura ambiente termina siendo fundamental.
- En cuanto a las tensiones en los soportes, es importante señalar que estas no sobrepasan los límites establecidos en las cargas admisibles propias de cada torre.

En general, ya sea un tramo con desnivel de terreno o terreno nivelado, los factores influyentes en el análisis mecánico son los mismos. Sin embargo, las grandes diferencias se encuentran en las tensiones que puede alcanzar el cable en base al desnivel que haya entre los soportes; entre mayor sea el desnivel de terreno y/o de cable, mayor es la tensión vertical que el conductor transmite al soporte ubicado en la cota de terreno más alta; por ende, es ese el punto crítico a analizar en una eventual construcción de línea, resguardando siempre que la carga que transfiere el cable no sobrepase la tensión admisible que soportará la torre en cuestión.

5.2. ANÁLISIS MECÁNICO EN BASE A LA VARIACIÓN EN LA ALTURA DE SOPORTES Y LA LONGITUD DE VANO.

La finalidad de este análisis es encontrar una relación entre la variable “Y” y la variable “X”, descrita en la figura 5.5, en base a composiciones propuestas para los tipos de soportes existentes.

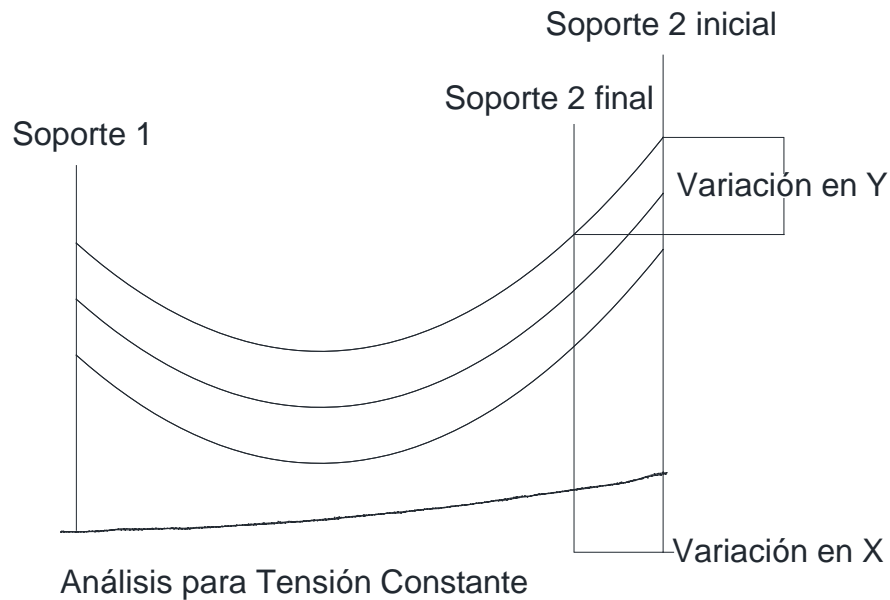


Figura 5.5: Descripción gráfica del análisis para %UTS constante

Se establece una condición de cálculo en Tensión Máxima, es decir, las condiciones climáticas y medio ambientales son definidas por una temperatura de -5°C , sin presencia de hielo y una presión de viento de 40 kg/m .

En el presente trabajo de título se tienen once tipos de soportes o torres: dos del tipo remate, dos del tipo anclaje, y siete del tipo suspensión (ver capítulo 3). Como se señala en el capítulo 4, se forman tres grupos que permiten definir las combinaciones a analizar.

De estos grupos se forman 2 tipos de composiciones. La composición 1 (inicial), se conforma combinando una torre del grupo 1 (soporte 1) con otra torre del grupo 2 (soporte 2), o bien, combinando dos torres del grupo 2 (soporte 1 y 2). Para la composición 2 (propuesta), se intercambia el soporte 2 por una alternativa del grupo 3, para cada uno de los casos de la composición 1. Esto entrega un total de 72 combinaciones. Por ejemplo si la composición 1 es REM H31 – SPNA H51, la composición 2 puede ser REM H31 – SPN H27 ó REM H31 – SPN H31 ó REM H31 – SPN H35.

En este análisis, las torres de anclaje y remate son consideradas equivalentes, debido a que los cálculos sobre estas presentan los mismos resultados. Por ejemplo si se considera un cálculo con REM H27 y luego con ANC H27, los resultados serán los mismos.

Algunos parámetros a tener en cuenta para el análisis mecánico:

- Se considera un tramo sin desnivel de terreno.
- La distancia desde la cota mínima del conductor (vértice de catenaria) y el nivel de piso se debe encontrar sobre lo establecido en la norma. Para este análisis se utiliza el criterio de 10 metros sobre el nivel de terreno.
- Las tensiones que actúan sobre los soportes deben ser menores a las cargas admisibles informadas en los criterios de diseño.
- Si bien la cota de terreno es la misma para ambas torres, en este análisis se define esa cota en un valor de 100 metros.
- El porcentaje de tensión de rotura utilizado en el conductor se establece en 19.5%.
- Para torres de anclaje o remate se define un ángulo de deflexión de 10°.

Se ejemplifica el proceso de análisis de una composición 1 y una composición 2. Los resultados de las otras combinaciones se entregan en la tabla resumen, ver ANEXO A.

Se elabora una propuesta que intercambia torres de suspensión, disminuyendo la altura de la línea, por torres de menor altura y menor peso, lo que en definitiva reduce el costo de construcción.

Para la composición 1, el soporte 1 es una torre tipo remate o anclaje (REM H27) y el soporte 2 es una torre de suspensión (SPNA H39).

Se utiliza la planilla confeccionada en software Microsoft Office Excel 2007, en donde se ingresan las condiciones de borde para el cálculo, además de los datos para cada una de las torres. De esta forma se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 5.17: Resultados composición 1 sin deformación (%UTS constante)

Vano (m)	384
Desnivel Cable (m)	7.10
Cota mínima del Cable (m)	110.71
Flecha Máxima (m)	19.68

Tabla 5.18: Tensiones composición 1 sin deformación (%UTS constante)

Cargas en el Soporte	REM H27	SPNA H39
Tensión Vertical (kg)	989.19	1196.33
Tensión Horizontal (kg)	1322.40	1332.22

Se observa que la cota mínima del cable sobrepasa lo establecido en los criterios de análisis. Se encuentra, por lo menos, 10 metros sobre el nivel de terreno (establecido en una cota de 100 metros).

Para definir la composición 2, se procede a cambiar el soporte 2 por una torre de menor altura (Grupo 3), por lo tanto, la nueva combinación queda estipulada de la siguiente manera: el soporte 1 sigue siendo la torre tipo anclaje o remate (REM H27) y el nuevo soporte 2 pasa a ser una torre de suspensión (SPN H27).

Es fundamental que el punto más bajo en la trayectoria del conductor (vértice) de la nueva combinación se encuentre, por lo menos, a la misma cota que se obtuvo en la composición 1, es decir, una cota mínima de 110.71 metros. Para lograr el objetivo, se busca variar la longitud de vano; en este caso se disminuye el largo de vano debido a que el nuevo soporte es una torre de menor altura. La lógica es que al disminuir la longitud de vano, la curva que desarrolla la catenaria se mantenga, como se muestra en la figura 5.5, de manera que la cota mínima del cable se encuentre aún sobre lo establecido en los criterios de diseño.

Teniendo en cuenta estas observaciones, y los nuevos datos, se tienen los siguientes resultados:

Tabla 5.19: Resultados composición 2 sin deformación (%UTS constante)

Vano (m)	320.9
Desnivel Cable (m)	-4.90
Cota mínima del Cable (m)	110.71
Flecha Máxima (m)	13.73

Tabla 5.20: Tensiones composición 2 sin deformación (%UTS constante)

Cargas en el Soporte	REM H27	SPN H27
Tensión Vertical (kg)	989.11	821.77
Tensión Horizontal (kg)	1322.40	1315.62

Los resultados demuestran la existencia de variaciones en los parámetros al momento de cambiar el soporte por uno más pequeño.

Tabla 5.21: Variación en resultados sin deformación (%UTS constante)

Vano (m)	-63.1
Desnivel Cable (m)	-12
Flecha Máxima (m)	-5.95

Tabla 5.22: Variación en cargas sin deformación (%UTS constante)

Cargas en el Soporte	REM H27 - REM H27	SPNA H39 - SPN H27
Tensión Vertical (kg)	-0.08	-374.56
Tensión Horizontal (kg)	0.00	-16.60

En base a lo obtenido se puede concluir que:

- Para pasar de una torre SPNA H39 a otra SPN H27 se necesita disminuir el largo de vano en 63.1 metros (variable X), provocando el mismo efecto en el largo del conductor respecto a la combinación anterior.
- La flecha máxima disminuye ya que uno de los soportes reduce su altura.
- Respecto al soporte 1, si bien se mantuvo como torre de anclaje o remate, hubo variaciones mínimas en lo que respecta a las cargas. La tensión vertical varía levemente debido al cambio de posición del vértice, de esta forma la distancia entre este y el soporte ya no es la misma.
- El soporte 2, debido a su variación en altura, tuvo grandes diferencias en las cargas. Al disminuir la altura del soporte, inevitablemente la tensión vertical es menor. De la misma forma, la reducción en la longitud de vano implica que la tensión horizontal sea menor a la determinada en la primera combinación.
- En conclusión, manteniendo las condiciones de cálculo y el %UTS, se necesita una reducción en la longitud de vano de 63 metros para disminuir 12 metros en la altura del soporte.

Siguiendo el mismo proceder explicado anteriormente, e incorporando al análisis la temperatura ambiente de 15°C, se obtienen los siguientes resultados para la composición 1:

Tabla 5.23: Resultados composición 1 con deformación (%UTS constante)

Vano (m)	384
Desnivel Cable (m)	7.1
Cota mínima del Cable (m)	110.04
Flecha Máxima (m)	20.35

Tabla 5.24: Tensiones composición 1 con deformación (%UTS constante)

Cargas en el Soporte	REM H27	SPNA H39
Tensión Vertical (kg)	994.15	1195.51
Tensión Horizontal (kg)	1280.85	1290.67

Ahora, para la composición 2:

Tabla 5.25: Resultados composición 2 con deformación (%UTS constante)

Vano (m)	321.2
Desnivel Cable (m)	-4.9
Cota mínima del Cable (m)	110.04
Flecha Máxima (m)	14.41

Tabla 5.26: Tensiones composición 2 con deformación (%UTS constante)

Cargas en el Soporte	REM H27	SPN H27
Tensión Vertical (kg)	988.24	1165.30
Tensión Horizontal (kg)	1264.84	1258.06

Por lo tanto las variaciones obtenidas en los resultados son las siguientes:

Tabla 5.27: Variación en resultados con deformación (%UTS constante)

Vano (m)	-62.8
Desnivel Cable (m)	-12.0
Flecha Máxima (m)	-5.95

Tabla 5.28: Variación en cargas con deformación (%UTS constante)


Cargas en el Soporte	REM H27 - REM H27	SPNA H39 - SPN H27
Tensión Vertical (kg)	-5.90	-30.20
Tensión Horizontal (kg)	-16.01	-32.61


De lo anterior se deduce lo siguiente:


- Las variaciones encontradas mantienen la tendencia respecto a los resultados obtenidos sin considerar la temperatura ambiente. El factor temperatura provoca un alargamiento en la longitud del conductor, que influye directamente en las tensiones y la trayectoria que este manifieste.

La tabla con los resultados para las 72 combinaciones se encuentra en el ANEXO A, tanto para el análisis sin considerar deformación en el conductor como para el análisis considerando la deformación en el conductor, respectivamente. Por tanto, en base a estos resultados se concluye lo siguiente:

- Sin importar el tipo de torre seleccionada en el soporte 1, cuando se cambia una torre del grupo 2 por otra del grupo 3, la longitud que disminuye el vano es aproximadamente la misma. Por ejemplo:

Composición 1: REM H27 – SPNA H39  Dif. en Vano: -39.4 metros

Composición 2: REM H27 – SPN H31  Dif. Altura: -8.0 metros

Composición 1: SPNA H43 – SPNA H39  Dif. en Vano: -39.5 metros

Composición 2: SPNA H43 – SPN H31

Dif. Altura: -8.0 metros

Esto indica que si se cambia una torre SPNA H39 por otra más baja, sin importar el tipo de torre en el soporte 1, las variaciones resultantes siempre son las mismas. Esto es válido para cualquier torre del grupo 2, como se muestra en el siguiente ejemplo:

Composición 1: SPNA H39 – SPNA H47

Dif. en Vano: -51.7 metros

Composición 2: SPNA H39 – SPN H35

Dif. Altura: -12.0 metros

Composición 1: SPNA H51 – SPNA H47

Dif. en Vano: -51.7 metros

Composición 2: SPNA H51 – SPN H35

Dif. Altura: -12.0 metros

- Para seleccionar el soporte 2 (propuesta) se evidencian diferencias en altura y longitudes de vano, como muestra la figura 5.6.

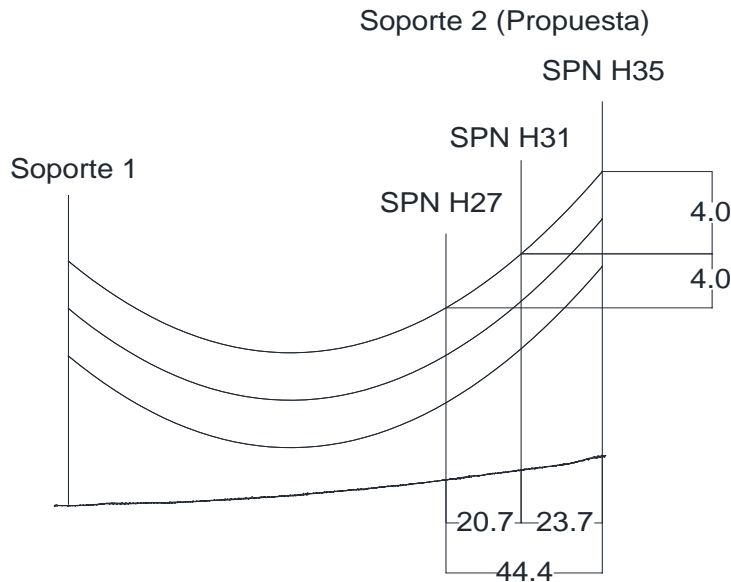


Figura 5.6: Diferencias en Longitud de Vano, medidas en metros.

Por lo tanto, en cuanto a la selección correcta del soporte, es necesario evaluar cuanto se debe disminuir la longitud del vano. Ante esto, es importante señalar que entre más baja sea la torre menor es su costo; por ejemplo la torre SPN H35 tiene un valor 26% más elevado que una torre SPN H27 y un 11% más que una torre SPN H31.

- Entre más altos sean los soportes, mayor es la distancia horizontal que se puede abarcar en un tramo, pero con costos asociados mucho más significativos. Por tanto, señalar las distancias aproximadas a las que debería encontrarse cada tipo de torre, en un mismo tramo, resulta fundamental para llevar a cabo un análisis óptimo en la construcción de una línea de alta tensión, ver tabla 5.29.

Tabla 5.29: Estimación de longitud de vano para soporte 2

Soporte 1	Longitud de Vano para tipos de torres en Soporte 2 (m)						
	SPNA H39	SPNA H43	SPNA H47	SPNA H51	SPN H27	SPN H31	SPN H35
REM H27	384	401	417	432	321	345	365
REM H31	404	421	437	452	341	365	385
SPNA H39	418	435	451	466	355	378	399
SPNA H43	435	452	468	483	372	395	416
SPNA H47	451	468	484	499	388	411	432
SPNA H51	466	483	499	514	403	427	447

A modo de ejemplo se ilustra la tercera fila de la tabla anterior.

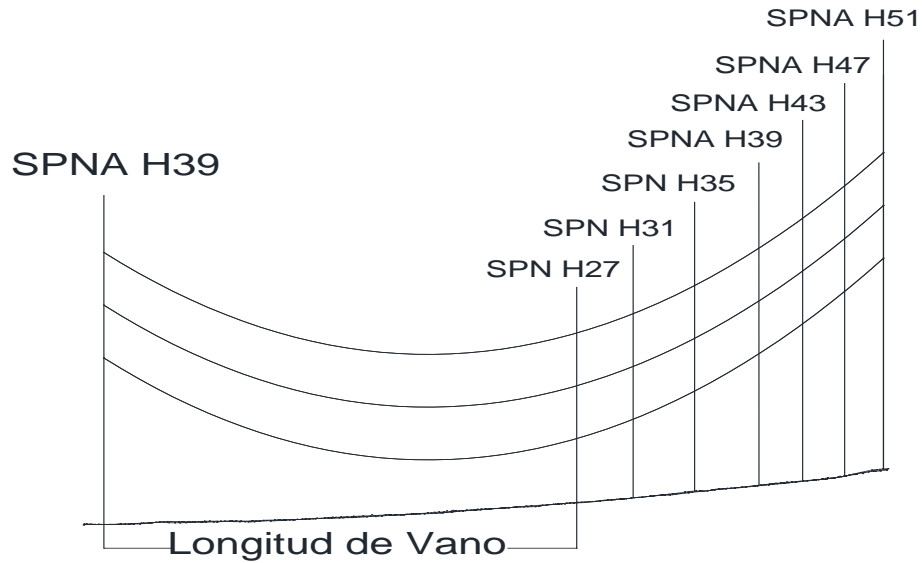


Figura 5.7: Distancias aproximadas para Longitud de Vano

El cambiar una torre con el fin de disminuir el costo de suministros resulta atractivo para cualquier proyecto LAT, por ende, se debe evaluar esta posibilidad realizando un análisis previo que busque optimizar el diseño de la línea. Una línea con soportes de baja altura necesita de mayor cantidad de torres en contraste con otra que incluya soportes de elevada altura, ya que entre más alta sea la torre, mayor es la longitud de vano que se puede definir. Puede que para una línea de alta tensión de gran longitud (como el Proyecto LAT 500 KV Mejillones – Cardones), ubicada en zona desértica, no sea un beneficio instalar, en su mayoría, torres relativamente bajas ya que la distancia entre éstas será menor que si se instalan torres altas. Esta situación se evalúa en el capítulo 6.

5.3. ANÁLISIS MECÁNICO EN BASE A LA VARIACIÓN EN LA ALTURA DE SOPORTES Y EL PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN DEL CABLE.

La finalidad de este análisis es encontrar una relación, para el comportamiento del cable conductor, entre la variación de %UTS y la variación en altura de torres, como se muestra en la figura 5.8.

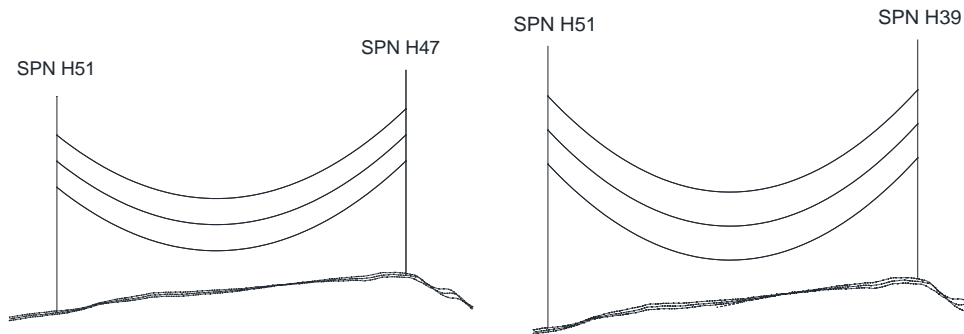


Figura 5.8: Comparativo del mismo vano con diferentes soportes

Para eso se establece una condición de cálculo en Tensión Máxima, es decir, las características climáticas y medio ambientales están definidas por una temperatura de -5°C , sin presencia de hielo y una presión de viento de 40 kg/m .

La composición de soportes, se hace en base a lo explicado en el sub-capítulo 5.2, siguiendo el mismo proceder.

Además, se debe tener en cuenta que para el análisis mecánico:

- Se considera un tramo sin desnivel de terreno.
- La distancia entre la cota mínima del conductor (vértice) y el nivel de terreno debe ser igual o mayor a lo establecido en los criterios de construcción de la línea, es decir, 10 metros.
- Las tensiones que actúan sobre los soportes deben ser menores a las tensiones admisibles establecidas en los criterios de diseño.

- Si bien la cota de terreno es la misma en ambas torres, para el análisis se establece esa cota en 100 metros.
- El largo de vano se define en base a un porcentaje de tensión a la rotura de 17.5%.
- Para torres de anclaje o remate se utiliza un ángulo de deflexión de 10°.

Se ejemplifica el proceso de análisis de una composición 1 y una composición 2. Los resultados del total de combinaciones se establece en una tabla resumen, ver ANEXO B.

Para la composición 1, el soporte 1 es una torre tipo remate o anclaje (REM H27) y el soporte 2 es una torre de suspensión (SPNA H39). Se realiza el análisis y se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 5.30: Resultados composición 1 sin deformación (Vano constante)

Vano (m)	364
% UTS	17.5%
Desnivel Cable (m)	7.1
Cota mínima del Cable (m)	110.68
Flecha Máxima (m)	19.72

Tabla 5.31: Tensiones composición 1 sin deformación (Vano constante)

Cargas en el Soporte	REM H27	SPNA H39
Tensión Vertical (kg)	940.35	1138.10
Tensión Horizontal (kg)	1189.13	1198.95

Se aprecia que la cota mínima del cable (vértice) sobrepasa lo admitido en los criterios de análisis; se encuentra por lo menos 10 metros sobre el nivel de terreno (cota igual a 100 metros).

Para conformar la composición 2, se procede a cambiar el soporte 2 por una torre de menor altura (Grupo 3), por lo tanto la nueva combinación queda definida de la siguiente manera: el soporte 1 sigue siendo la torre tipo anclaje o remate (REM H27) y el nuevo soporte 2 pasa a ser una torre de suspensión (SPN H27).

Para lograr que la trayectoria del cable tenga una cota mínima igual a la cota determinada en el composición 1, se tuvo que variar el porcentaje de tensión de rotura (%UTS) de tal forma que la cota mínima del cable alcance el valor determinado anteriormente.

Tabla 5.32: Resultados composición 2 sin deformación (Vano constante)

Vano (m)	364
% UTS	25.0%
Desnivel Cable (m)	-4.9
Cota mínima del Cable (m)	110.68
Flecha Máxima (m)	13.76

Tabla 5.33: Tensiones composición 2 sin deformación (Vano constante)

Cargas en el Soporte	REM H27	SPN H27
Tensión Vertical (kg)	1116.21	929.04
Tensión Horizontal (kg)	1690.41	1683.63

La variación existente en los resultados se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 5.34: Variación en resultados sin deformación (Vano constante)

% UTS	7.5%
Desnivel Cable (m)	-12.0
Flecha Máxima (m)	-5.95

Tabla 5.35: Variación en cargas sin deformación (Vano constante)

Cargas en el Soporte	REM H27 - REM H27	SPNA H39 - SPN H27
Tensión Vertical (kg)	175.86	-209.05
Tensión Horizontal (kg)	501.28	484.68

Ahora, si se agrega el factor de la temperatura ambiente igual a 15°C se tienen los siguientes resultados, tanto para la composición 1 como para la composición 2:

Tabla 5.36: Resultados composición 1 con deformación (Vano constante)

Vano (m)	364
% UTS	17.5%
Desnivel Cable (m)	7.1
Cota mínima del Cable (m)	110.07
Flecha Máxima (m)	20.32

Tabla 5.37: Tensiones composición 1 con deformación (Vano constante)

Cargas en el Soporte	REM H27	SPNA H39
Tensión Vertical (kg)	944.79	1137.62
Tensión Horizontal (kg)	1155.35	1165.17

Tabla 5.38: Resultados composición 2 con deformación (Vano constante)

Vano (m)	364
% UTS	25.4%
Desnivel Cable (m)	-4.9
Cota mínima del Cable (m)	110.07
Flecha Máxima (m)	14.37

Tabla 5.39: Tensiones composición 2 con deformación (Vano constante)

Cargas en el Soporte	REM H27	SPN H27
Tensión Vertical (kg)	1325.22	934.08
Tensión Horizontal (kg)	1620.57	1613.79

En tanto, la variación que existe entre los resultados obtenidos para el conductor con deformación muestra lo siguiente:

Tabla 5.40: Variación en resultados con deformación (Vano constante)

% UTS	7.9%
Desnivel Cable (m)	-12.0
Flecha Máxima (m)	-5.95

Tabla 5.41: Variación en cargas con deformación (Vano constante)

Cargas en el Soporte	REM H27 - REM H27	SPNA H39 - SPN H27
Tensión Vertical (kg)	380.43	-203.54
Tensión Horizontal (kg)	465.22	448.62

De lo anterior se deduce lo siguiente:

- Mientras más elevado sea el valor del desnivel en la toma de conductor mayor es la variación de %UTS que se debe efectuar para que la trayectoria del cable alcance la cota mínima establecida. Tiene sentido ya que, al disminuir la altura de torre, la cota mínima del cable inevitablemente bajará; por ende, para poder subirla se debe tensar el cable aumentando el porcentaje de tensión.
- Considerando que la condición de cálculo es Tensión máxima, la cual no permite sobrepasar el 50% de UTS, y mirando los resultados obtenidos se puede concluir que se trabajó dentro de lo permitido, aún cuando el cable haya sobrepasado, en algunos casos, el 30% de UTS (2000 kg).

5.4. ANÁLISIS DEL ENVEJECIMIENTO LENTO DEL CONDUCTOR (*CREEP*)

El envejecimiento lento del cable o *Creep* se refiere a la deformación permanente que sufren algunos metales cuando son sometidos a esfuerzos constantes por un periodo de tiempo.

El conductor instalado en los soportes se encuentra siempre bajo tracción, debido a las tensiones que produce y a las cargas producto de factores externos. Este fenómeno provoca un alargamiento en el cable, resultando una deformación permanente, que altera las condiciones iniciales de este y por ende el análisis de sollicitaciones mecánicas efectuado. En proyectos de líneas de alta tensión se analiza el conductor en su condición final, es decir, calculando un *creep* de al menos 10 años desde su instalación; esto permite asegurar que el cable se proyecte bajo los criterios señalados en la norma que rige este tipo de trabajos.

Se llama “condición inicial” al estado del conductor luego de haber sido instalado (hasta un par de días después). Por otra parte, el estado del cable que ha sido afectado por la tracción, la temperatura, durante al menos 10 años, se conoce como “condición final” después del *creep*. Ahora, si este es estirado permanentemente por alguna severa carga, su condición después de haber estado sujeto a esa carga severa es llamada “final después de carga” (este no es el caso del presente trabajo).

❖ Condición Inicial del conductor

La mayoría de los cables utilizados en este tipo de proyectos, tiene un comportamiento no lineal representado en la curva esfuerzo-alargamiento, como muestra la figura 5.9. Además, es prácticamente nula la probabilidad de encontrar un cable que desarrolle un comportamiento perfectamente elástico.

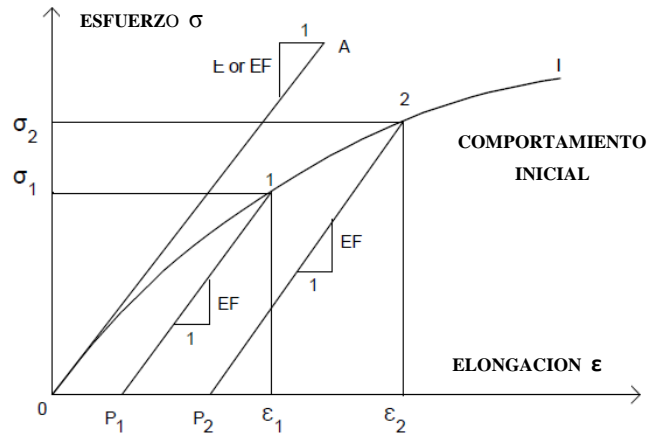


Figura 5.9: Comportamiento inicial “no lineal” Esfuerzo – Deformación [1]

El comportamiento del conductor se asemeja a la curva O-I de la figura 5.9. Cuando, por primera vez, se somete a tracción el cable alcanza el esfuerzo σ_1 produciendo un alargamiento igual a ϵ_1 (estado del cable representado en el punto 1). En caso de que el esfuerzo aumente, σ_2 , el alargamiento también aumenta a ϵ_2 . Sin embargo, si luego de traccionar el cable por primera vez se libera la carga, su comportamiento sigue la trayectoria descrita por 1-P₁ (tendría una deformación permanente igual a P₁), con pendiente igual al módulo final de elasticidad del cable (EF). Ahora, si el conductor fuese traccionado nuevamente, su comportamiento retorna al punto 1 de la curva siguiendo la trayectoria hasta el punto 2. Si se vuelve a liberar la carga, la deformación permanente alcanza un valor igual a P₂, manteniendo una pendiente igual a EF.

En resumen, si se quita tensión (σ) al conductor, en cualquier punto de la curva O-I, su estructura se ve afectada por una deformación (ϵ) que se encuentra directamente relacionada con su modulo de elasticidad (E).

Para un cable fabricado con dos elementos diferentes (no es el caso del ACAR 700 MCM), cada material tiene una curva individual de esfuerzo – alargamiento. Por lo

tanto, se debe generar una curva combinada de esfuerzo – alargamiento que represente al cable compuesto.

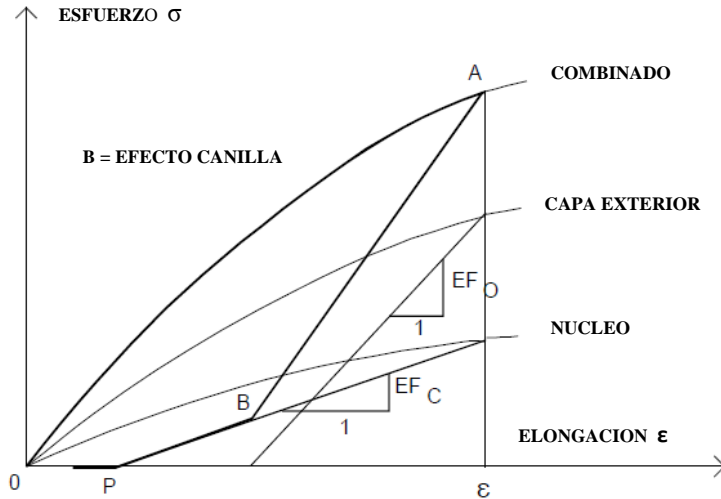


Figura 5.10: Comportamiento de un Cable combinado [1]

En la figura 5.10 se denota que, al liberar de tracción los dos materiales manteniendo una deformación común ϵ , la trayectoria de descarga de cada material es A-B-P. Esto implica que las pendientes entre un material y otro varían al igual que los esfuerzos, todo producto de un ajuste que se efectúa de acuerdo a lo siguiente:

$$\sigma_c = \sigma_1 \left(\frac{A_1}{A_T} \right) + \sigma_2 \left(\frac{A_2}{A_T} \right), \quad (5.1)$$

donde σ_c es el esfuerzo del material combinado (kg/mm^2), σ_1 el esfuerzo del material 1 (exterior) (kg/mm^2), σ_2 el esfuerzo del material 2 (núcleo) (kg/mm^2), A_1 el área transversal del material 1 (mm^2), A_2 el área transversal del material 2 (mm^2) y A_T el área transversal del material combinado ($A_1 + A_2$) (mm^2).

$$EF_1 = \left(\frac{A_1}{A_T} \right) * EF1, \quad (5.2)$$

$$Ef_2 = \left(A_2 / AT \right) * EF2 , \quad (5.3)$$

en que EF_1 es el módulo de Elasticidad Final del material 1 en curva combinada (kg/mm^2), EF_2 el módulo de Elasticidad Final del material 2 en curva combinada (kg/mm^2), $EF1$ el módulo de Elasticidad Final del material 1 de curva independiente (kg/mm^2), $EF2$ el módulo de Elasticidad Final del material 2 en curva independiente (kg/mm^2).

❖ Comportamiento Final del Conductor después del Creep

La mayor parte de la deformación de un cable ocurre durante los primeros días luego de haber sido tendido. El resto de su vida útil continua deformándose pero de forma desacelerada. Mayor información sobre el *creep* en los conductores se puede encontrar en el informe CIGRE (1977).

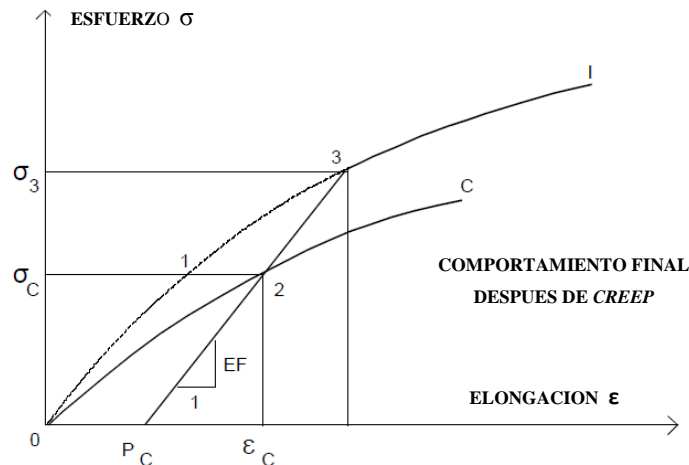


Figura 5.11: Comportamiento Final del Cable después del Creep [1]

Cuando el cable se mantiene con un esfuerzo de tracción constante (σ_C) por un periodo de tiempo mayor a 10 años, logra alcanzar una elongación final ϵ_C , ver figura 5.11. Se aprecia el comportamiento del conductor en su condición inicial antes del

creep (punto 1) y su condición final después del *creep* (punto 2). La distancia que existe entre 1 y 2 representa el alargamiento que tuvo el cable en un periodo de al menos 10 años.

Si el cable tiene una liberación de carga, su comportamiento sigue la trayectoria 2- P_C . Si se vuelve a traccionar, la relación esfuerzo – alargamiento se representa por la trayectoria O- P_C -2-3-I.

Como consecuencia de la deformación y posterior aumento en el largo del conductor, se produce un aumento en su flecha máxima y por ende una disminución en la tensión horizontal. Es por eso y producto de que la elongación se manifiesta principalmente en el primer periodo luego de ser instalado, es que se busca tensar o igualar tensiones lo más pronto sea posible. Para esto, se generan tablas de tensado tanto para la condición inicial como final del cable, las cuales entregan información valiosa para la instalación correcta de este; entre los cuales se tiene el valor de la flecha y las tensiones horizontales el conductor en cada vano del tramo (ver tabla 5.42).

Tabla 5.42: Tabla de tensado en poleas para una temperatura definida [1]

Structure Number	Span Ahead (m)	Elevation Change (m)	Low Point Elev.Diff (m)	Hor. Tension in Sheaves (N)	Insul Offset (cm)	Sag in Sheaves (m)	Install. Chart Sag (m)	Correction (m)
49	499.24	35.43	0.00	13721	0.0	21.89	21.47	0.42
50	557.81	21.47	25.71	13968	10.7	26.81	26.77	0.04
51	429.25	18.68	30.70	14262	12.3	15.53	15.84	-0.31
52	258.67	26.12	26.44	14516	6.1	5.56	5.77	-0.21
53	149.42	6.12	26.14	14766	3.1	1.81	1.92	-0.10
54	210.43	-28.16	-24.69	14530	1.9	3.69	3.83	-0.14

El *creep* se debe a la acción de factores externos en el conductor [1,4,9], como la carga mecánica, la temperatura, y la acción de factores internos como el tipo de material y el tipo de conductor, además de la manufactura que haya tenido este para su fabricación. Para este análisis existe un modelo matemático reflejado en la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = k * t^\theta * \sigma^\alpha * \tau^\mu, \tag{5.4}$$

en que ε es la elongación producto del *Creep* (mm/km), k, θ, α, μ son los coeficientes que dependen del tipo de conductor (-), t la temperatura para la tensión mecánica en condición inicial ($^{\circ}\text{C}$), σ la fatiga inicial del conductor (kg/mm^2) y τ el tiempo transcurrido para el *creep* (horas).

A su vez, la fatiga se expresa como:

$$\sigma = T_i/S, \quad (5.5)$$

donde T_i es la tensión horizontal para la condición inicial del conductor (kg) y S la sección transversal del conductor (mm^2).

En cuanto a los coeficientes, estos dependen del tipo de material del conductor [4,16]. Para el ACAR 700 MCM se tiene lo siguiente:

Tabla 5.43: Coeficientes para conductor ACAR 700 MCM

k	θ	α	μ
$0.04 + 0.24 * \left(\frac{m}{m+1}\right)$	1.4	1.3	0.16

El valor de m para calcular el coeficiente k se obtiene bajo la siguiente expresión:

$$m = \frac{\text{Área Aluminio}}{\text{Área Aleación de Aluminio}} \quad (5.6)$$

El valor de k , para este trabajo de título, es igual a 0.234 [11,17].

Desde que se instala el conductor en los soportes hasta el momento de ser tensado, existe un periodo de tiempo variable, que puede ser de un par de días hasta alcanzar semanas, incluso meses. Durante ese tiempo se produce una elongación en el cable, ver figura 5.12, que trae como consecuencia un aumento en la flecha (respecto a la

flecha que tenía cuando se tendió), por lo tanto es fundamental corregir esa deformación para obtener la flecha que se requiere según los criterios de diseño.

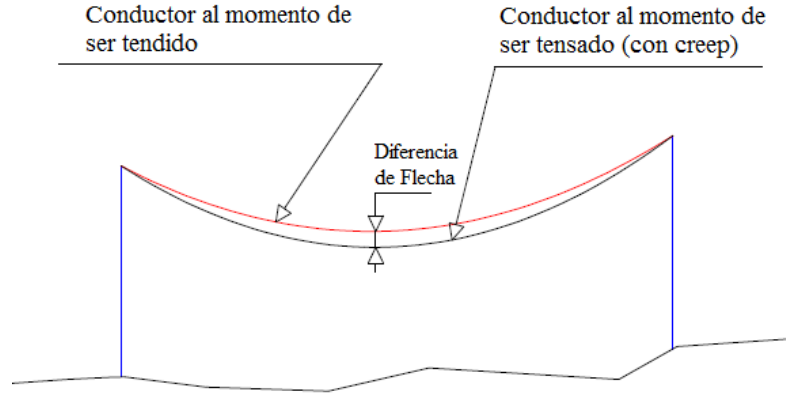


Figura 5.12: Efecto del *Creep* en el conductor

Una forma de corregir este fenómeno es mediante una tabla de valores que relacionan la temperatura y la deformación del cable, donde un Δt de la temperatura es equivalente a la deformación ε ($^{\circ}\text{C}$) que haya sufrido el conductor durante ese periodo de tiempo. Para esto se tiene la siguiente relación:

$$\Delta t * \frac{\alpha_L}{10^{-6}} = \varepsilon \quad (5.7)$$

$$\Delta t = k * t^{\theta} * \sigma^{\alpha} * \tau^{\mu} * \frac{10^{-6}}{\alpha_L} \quad (5.8)$$

Donde Δt es la variación en la temperatura durante el período de *creep* ($^{\circ}\text{C}$), α_L el coeficiente de temperatura del conductor ($1/^{\circ}\text{C}$), ε la elongación producto del *Creep* (mm/km).

Encontrando Δt , se ingresa nuevamente a las tablas de tensado, pero con la nueva temperatura ($t + \Delta t$), así se obtiene un valor de flecha que, en definitiva, entrega la tensión correcta a la que debe quedar el conductor luego de transcurrir ese período de tiempo.

Como ejemplo, se calcula el valor del *creep* (equivalencia en temperatura) para el caso en donde se define el porcentaje de tensado del cable en 19%, lo que equivale a una tensión horizontal inicial de 1266.54 kg. Además, se establece que la temperatura en el conductor por una cantidad x de días es de 20°C.

Considerando los datos del conductor y aplicando las formulas antes mencionadas, se tiene lo siguiente:

Tabla 5.44: Variación de temperatura en función de la cantidad de días

Días	ΔT (°C)	Días	ΔT (°C)	Días	ΔT (°C)
0	0	15	9.07	50	11.00
1	5.88	20	9.50	55	11.17
2	6.57	25	9.84	60	11.32
3	7.01	30	10.13	65	11.47
4	7.34	35	10.39	70	11.61
5	7.61	40	10.61	75	11.73
10	8.50	45	10.81	80	11.86

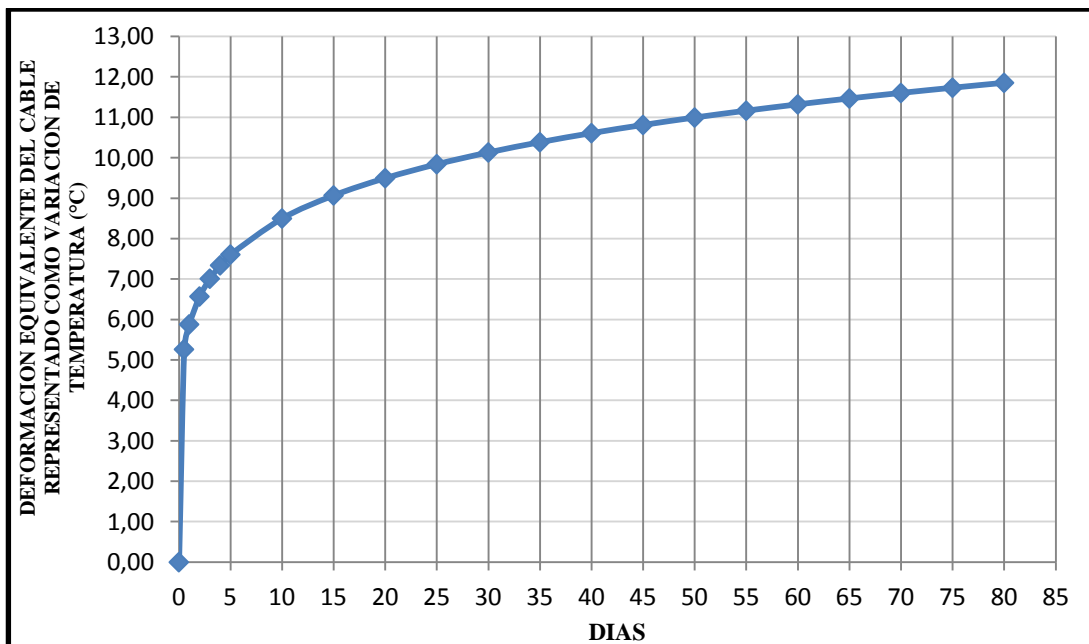


Figura 5.13: Gráfica representativa del *Creep*

En el gráfico queda en evidencia lo dicho anteriormente, que la mayor elongación del conductor se produce en el primer período de tiempo luego de ser instalado. Por ejemplo, en un vano aproximado de 480 metros (entre suspensiones) se aplica un *creep* luego de 5 días de haber sido tendido, se tiene que la variación de carga producto del Δt es de 28.5 kg y la variación de flecha es de 0.39 metros. Ahora, para 10 días transcurrida la instalación del conductor se tiene una variación de carga de 31.7 kg y una variación de flecha de 0.43 metros. Esto comprueba la teoría, ya que en los primeros 5 días la deformación hizo variar la tensión del cable en 28.5 kg y en los próximos 5 días sólo varía en 3.2 kg, lo que equivale a un 88% menos que los primeros 5 días.

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS EN UN TRAMO DE LA LÍNEA

El estudio de un tramo de una línea de alta tensión requiere de diversas consideraciones, criterios y procedimientos que permiten llevar a cabo su construcción. Todo esto se basa en las normas que regulan este tipo de trabajos y los criterios de diseño establecidos para el proyecto en cuestión.

Existe una serie de herramientas y *softwares* que permiten desarrollar este tipo de análisis. En este trabajo de título se trabaja con el software de diseño PLS-CADD, versión 14.4, de *Power Line Systems Inc.* Se desarrolla un análisis del nivel de terreno, estructural y comportamiento del conductor; para lo cual se mantienen los criterios de diseño expuestos en el capítulo 2 y 3.

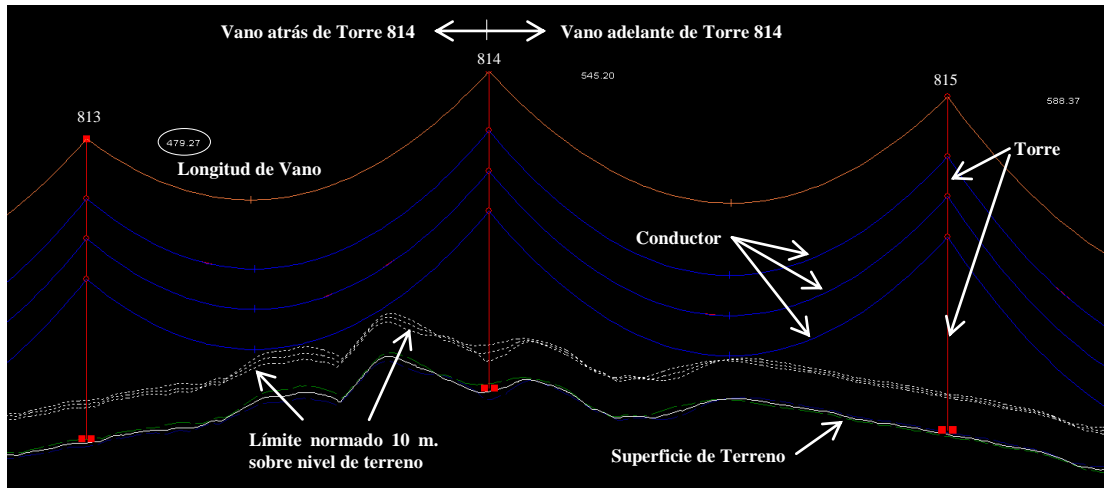


Figura 6.1: Perfil longitudinal obtenido de PLS-CADD

Como se aprecia en la figura 6.1, el programa es capaz de reflejar toda la información necesaria para visualizar el estado de la línea y la trayectoria del conductor en cada una de sus fases. Además, permite registrar resultados que corresponden al análisis estructural y del conductor, como las tensiones resultantes en las torres y en el cable para cada uno de los vanos (ver figura 6.2).

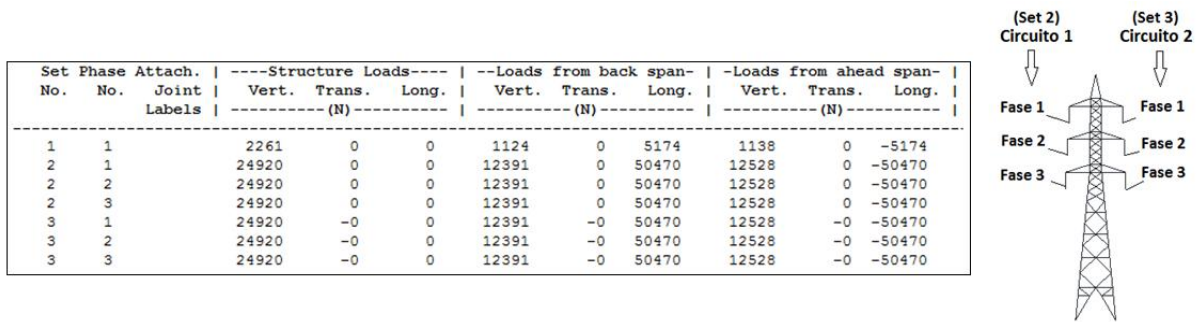


Figura 6.2: Tabla de cargas para el cable y la estructura obtenido en PLS-CADD

6.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL TRAMO SELECCIONADO.

Se seleccionan dos tramos correspondientes a la línea de transmisión LAT 500 kV Mejillones-Cardones, en base a las características que el terreno presenta, las cuales permiten visualizar el análisis en diferentes situaciones adversas como por ejemplo sectores con pronunciadas quebradas o grandes desniveles de terreno, además de diferentes cruces tanto con carretera como con líneas energizadas.

El listado de torres, con su respectiva numeración (correlativa en función a la información del proyecto) y tipo de estructura se presenta en la tabla 6.1 y tabla 6.2.

Tabla 6.1: Listado de Estructura Tramo 1

Número de Torre	Tipo de Estructura	Número de Torre	Tipo de Estructura	Número de Torre	Tipo de Estructura
803	REM H27	812	SPNA H51	821	SPNA H51
804	SPNA H39	813	SPNA H39	822	ANC H31
805	SPNA H51	814	SPNA H43	823	SPNA H51
806	SPNA H47	815	SPNA H51	824	ANC H31
807	SPNA H47	816	SPNA H43	825	ANC H27
808	SPNA H47	817	SPNA H51	826	ANC H27
809	SPNA H51	818	SPNA H39	827	REM H27
810	SPNA H51	819	ANC H27		
811	SPNA H51	820	SPNA H51		

Tabla 6.2: Listado de Estructura Tramo 2

Número de Torre	Tipo de Estructura	Número de Torre	Tipo de Estructura	Número de Torre	Tipo de Estructura
1	REM H31	20	SPNA H47	39	ANC H27
2	ANC H27	21	SPNA H51	40	SPN H31
3	SPNA H39	22	REM H27	41	SPNA H39
4	SPNA H47	23	SPNA H43	42	ANC H27
5	SPNA H51	24	SPN H31	43	SPN H27
6	SPNA H47	25	ANC H27	44	ANC H27
7	SPNA H51	26	SPN H31	45	ANC H27
8	SPNA H51	27	SPNA H39	46	ANC H31
9	SPNA H51	28	SPNA H47	47	ANC H31
10	SPNA H51	29	REM H31	48	SPNA H51
11	SPNA H43	30	SPN H27	49	ANC H31
12	SPNA H39	31	SPNA H51	50	SPNA H51
13	SPNA H39	32	ANC H31	51	SPNA H47
14	ANC H27	33	SPNA H51	52	SPN H35
15	SPNA H51	34	REM H27	53	SPN H27
16	SPNA H51	35	SPN H31	54	SPN H27
17	SPNA H51	36	SPN H35	55	ANC H31
18	SPNA H51	37	SPN H31	56	ANC H31
19	SPNA H51	38	SPNA H51		

Para el análisis se ha diferenciado lo que es una torre de anclaje y remate. Si bien, presentan la misma silueta de estructura y las mismas opciones de altura, se considera que la torre de remate es más robusta y soporta un mayor nivel de cargas que la torre de anclaje. La torre de remate se denomina con el código “REM” y la torre de anclaje con el código “ANC”.

El tramo 1 se constituye por un total de 25 torres, de las cuales 2 son torres de remate, 5 de anclaje y 18 corresponden a torres de suspensión (todas consideradas en el grupo de suspensiones altas).

Por otro lado, el tramo 2 se constituye por un total de 56 torres, de las cuales 4 son torres de remate, 13 de anclaje, 28 son torres de suspensión altas (SPNA) y 11 corresponden a torres de suspensión bajas (SPN).

El análisis económico considera los costos de suministros y los costos asociados a la construcción del tramo. Se define una unidad de medida ficticia para cuantificar los costos de esta investigación, “U.M.” (Unidad Monetaria), ya que por términos de confidencialidad de la empresa no es posible revelar los valores reales del proyecto.

Los suministros contemplan los siguientes factores:

- Estructura

Para obtener los costos estructurales se debe obtener el tonelaje total del tramo, que debe incluir el peso de cada perfil de acero que constituye una torre más el peso de los cuatro “stub” que unen la pata de la torre con la fundación de hormigón (ver tabla 6.3).

Tabla 6.3: Costos asociados al tipo de estructura

Tipo de Torre	[U.M.]	Tipo de Torre	[U.M.]
SPNA H39	100	SPN H35	82
SPNA H43	116	ANC H27	147
SPNA H47	124	ANC H31	164
SPNA H51	133	REM H27	190
SPN H27	65	REM H31	216
SPN H31	74		

- Conductor

Los costos del conductor se obtienen en base al kilometraje de cable ocupado en el tramo seleccionado. Este se debe multiplicar por un factor igual a 24 ya que al obtener el largo de cable se considera un sub-conductor, y por tramo existen 24 sub-

conductores (6 fases con 4 sub-conductores). El costo por cada kilómetros de cable instalado se define en 4.63 [U.M.].

▪ Ferretería

La ferretería en una línea de transmisión considera diversos elementos (aislación, tensores, grapas, etc.) que permiten fijar el conductor en las torres. Los elementos incluidos en el análisis son los siguientes:

- Conjunto de Suspensión
- Conjunto de Anclaje con Tensor
- Conjunto de Anclaje sin Tensor
- Placa de Numeración y Peligro de Muerte
- Espaciadores – Amortiguadores

El costo de la ferretería se define según la cantidad, en unidades, que se utilicen en el tramo (ver tabla 6.4).

Tabla 6.4: Costos asociados a la ferretería

Tipo de Ferretería	[U.M.]
Conjunto de Suspensión	3.92
Conjunto Anclaje sin Tensor	7.82
Conjunto Anclaje con Tensor	7.93
Placa Numeración	3.43
Placa Peligro Muerte	3.46
Espaciador - Amortiguador	0.11

También se debe contemplar el costo asociado a los trabajos de construcción en las distintas áreas del proyecto. Estas incluyen suministro de materiales (para ejecutar la construcción), HH y maquinaria.

- Obras Civiles

El costo para las obras civiles depende de dos factores: tipo de estructura y tipo de suelo existente en el sector de la torre (ver tabla 6.5). El trabajo contempla dos tipos de suelo: el tipo 2 y el tipo 3, siendo este último mucho más blando o arenoso que el tipo 2 (roca).

Tabla 6.5: Costos asociados a OOCC

Torre - Suelo	[U.M.]
SPN - 2	1663
SPN - 3	1245
SPNA - 2	2154
SPNA - 3	1680
ANC - 2	2867
ANC - 3	2647
REM - 2	3897
REM - 2	3520

- Montaje de Estructura

Dependiendo del tipo de estructura a montar, varía el costo de construcción, ya que se define en base a la cantidad de toneladas que tenga cada torre (ver tabla 6.6).

Tabla 6.6: Costos asociados al Montaje de Estructuras

Tipo de Torre	[U.M.]	Tipo de Torre	[U.M.]
SPNA H39	1520	SPN H35	1247
SPNA H43	1764	ANC H27	2242
SPNA H47	1884	ANC H31	2501
SPNA H51	2028	REM H27	2888
SPN H27	983	REM H31	3281
SPN H31	1122		

- Tendido y Tensado de Conductor

El costo para el tendido y tensado se establece de acuerdo al kilometraje del tramo seleccionado según la relación 4777.6 [U.M.] por cada kilómetro de cable.

- Remate de línea

Se consideran los costos de instalación de placas (numeración y peligro de muerte) y la instalación de espaciadores – amortiguadores (ver tabla 6.7).

Tabla 6.7: Costos asociados al Remate de línea

Tipo de Ferretería	[U.M.]
Placa Numeración	4.89
Placa Peligro Muerte	4.89
Espaciador - Amortiguador	2.26

Por lo tanto, en base a los listados de estructuras y los valores reflejados anteriormente, se obtienen los costos totales para ambos tramos, ver tabla 6.8 y tabla 6.9. Para mayor información ver ANEXO C.

Tabla 6.8: Costos para el Tramo 1

Costos del Tramo 1	[U.M.]
Suministros	6712
Construcción	165453
Total	172165

Tabla 6.9: Costos para el Tramo 2

Costos del Tramo 2	[U.M.]
Suministros	14267
Construcción	351353
Total	365620

6.2. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA PROPUESTA REALIZADA.

Conforme a los criterios de diseño de la línea, se elabora una propuesta para ambos tramos seleccionados anteriormente. El objetivo es buscar optimizar los costos asociados al tramo disminuyendo la altura en la línea. Para esto se cambian torres de suspensión, buscando disminuir los costos de suministros y construcción. Los criterios para realizar estos cambios se establecen en el capítulo 5, en el cual se varía la longitud de vano o bien se varía el porcentaje de tensión en el conductor.

Importante es que bajo ningún punto de vista, se realice el cambio de una torre sin verificar que la cota mínima del conductor se encuentre según los criterios de diseño o bien que las tensiones que actúan sobre las estructuras sean mayores a las admisibles. Además, es relevante señalar que el análisis se hace con el cable en su “condición final”, es decir, se simula el comportamiento del cable luego de 10 años, comprobando que luego de su deformación, su trayectoria se encuentra sobre la cota requerida según norma.

Para el tramo 1 se mantiene el %UTS constante en cada vano y se varía la distancia entre torres. Esto provoca la inclusión de dos estructuras adicionales, ver tabla 6.10.

Tabla 6.10: Listado de Estructuras para la propuesta del Tramo 1

Número de Torre	Tipo de Estructura	Número de Torre	Tipo de Estructura	Número de Torre	Tipo de Estructura
803	REM H27	810	SPNA H39	819	ANC H27
804	SPN H35	811	SPNA H47	820	SPNA H51
804-A	SPN H31	812	SPNA H51	821	SPNA H51
804-C	SPN H27	813	SPNA H43	822	ANC H31
805	SPN H35	814	SPNA H47	823	SPNA H51
806	SPNA H47	815	SPNA H51	824	ANC H31
807	SPNA H39	816	SPNA H43	825	ANC H27
808	SPN H35	817	SPNA H47	826	ANC H27

809	SPN H35	818	SPN H35	827	REM H27
-----	---------	-----	---------	-----	---------

Para el tramo 2 se mantiene constante la longitud de vano y se varía el %UTS del conductor, tratando de no sobrepasar el 25%UTS. No se agregan estructuras adicionales, ver tabla 6.11.

Tabla 6.11: Listado de Estructuras para la propuesta del Tramo 2

Número de Torre	Tipo de Estructura	Número de Torre	Tipo de Estructura	Número de Torre	Tipo de Estructura
1	REM H31	20	SPNA H47	39	ANC H27
2	ANC H27	21	SPNA H51	40	SPN H31
3	SPN H35	22	REM H27	41	SPN H31
4	SPNA H43	23	SPNA H39	42	ANC H27
5	SPNA H51	24	SPN H27	43	SPN H27
6	SPNA H39	25	ANC H27	44	ANC H27
7	SPNA H51	26	SPN H31	45	ANC H27
8	SPNA H51	27	SPN H35	46	ANC H31
9	SPNA H47	28	SPN H35	47	ANC H31
10	SPNA H51	29	REM H31	48	SPNA H51
11	SPNA H39	30	SPN H27	49	ANC H31
12	SPNA H39	31	SPNA H51	50	SPNA H51
13	SPN H35	32	ANC H31	51	SPNA H43
14	ANC H27	33	SPNA H51	52	SPN H35
15	SPNA H51	34	REM H27	53	SPN H27
16	SPNA H47	35	SPN H31	54	SPN H27
17	SPNA H51	36	SPN H35	55	ANC H31
18	SPNA H51	37	SPN H31	56	ANC H31
19	SPNA H47	38	SPNA H51		

El tramo 1 se constituye por un total de 27 torres, de las cuales 2 son torres de remate, 5 de anclaje, 13 son torres de suspensión altas (SPNA) y 7 corresponden a torres de suspensión bajas (SPN).

Por otro lado, el tramo 2 se constituye por un total de 56 torres, de las cuales 4 son torres de remate, 13 de anclaje, 23 son torres de suspensión altas (SPNA) y 16 corresponden a torres de suspensión bajas (SPN).

Se realiza un análisis mecánico en el conductor, considerando una condición de cálculo *EDS*. Se obtienen cargas que el cable transmite a las estructuras. Se aprecia que dichas tensiones no sobrepasan las cargas admisibles y que la trayectoria del conductor se encuentra sobre la cota mínima establecida en los criterios de diseño. Para mayor información del análisis y sus resultados ver ANEXO D.

Al igual que en el sub-capítulo anterior, para el análisis económico se consideran costos de suministros y costos construcción en el tramo. Además se define “U.M.” (Unidad Monetaria) como unidad de medida ficticia para cuantificar los costos del análisis.

Por lo tanto, de acuerdo a los nuevos listados de estructuras y los costos reflejados en el sub-capítulo 6.1, se obtienen los costos totales para ambas propuestas de tramos, ver tabla 6.12 y tabla 6.13. Mayor información en ANEXO E.

Tabla 6.12: Costos para la propuesta del Tramo 1

Costos Propuesta Tramo 1	[U.M.]
Suministros	6741
Construcción	164393
Total	171134

Tabla 6.13: Costos para la propuesta del Tramo 2

Costos Propuesta Tramo 2	[U.M.]
Suministros	14035
Construcción	345605
Total	359640

6.3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS.

Para la selección adecuada de los tramos a trabajar se intenta englobar la mayor cantidad de variantes y condiciones, donde se pudiese apreciar de mejor manera el análisis mecánico, el comportamiento del conductor y el análisis económico. El ANEXO F muestra el perfil longitudinal de cada tramo, ahí se visualizan los desniveles de terreno, cruces con otras líneas y por sobre todo, la trayectoria de vuelo que toma el conductor.

Las propuestas se definen en base a lo analizado a lo largo del trabajo de título, siguiendo la idea de optimizar costos bajando la altura de la línea de transmisión. Sin embargo, las limitaciones en algunas estructuras, al igual que las condiciones adversas de terreno no permitieron concluir los resultados esperados.

El tramo 1, que en un principio contempla 25 torres y que, con la propuesta, esa cifra aumenta a 27, cumple con el objetivo de optimizar la línea, debido a que los costos se redujeron, pero con un grado de optimización del 0.6%, equivalente a 1030[U.M.]. Si bien se redujo considerablemente la altura de línea con la inclusión de 5 torres de suspensión bajas además de las nuevas estructuras; el hecho de aumentar el número de torres, compensa en términos de costo, ese nivel más bajo en la altura de la línea. En resumen se concluye lo siguiente:

- El bajar la altura de la línea no siempre es recomendable y se debe hacer bajo un análisis profundo de las condiciones de terreno y limitaciones de las estructuras, ya que al disminuir la altura de la torre inevitablemente se debe disminuir la longitud del vano, lo que en definitiva implica aumentar el número de torres bajas para abarcar la misma cantidad de kilómetros que con un número menor de torres altas.
- Si bien se cumple el objetivo de disminuir el nivel de gasto, el estudio efectuado por el proyecto de interconexión, para este tramo, resulta ser

efectivo y óptimo, ya que el nivel de optimización analizado en este trabajo es bastante bajo para la envergadura de un proyecto de construcción de estas características.

Para el tramo 2, que contempla un total de 56 torres y en donde no se agrega ninguna estructura, se cumple con el objetivo de optimizar el tramo debido a que los costos bajaron obteniendo un grado de optimización del 1.64%, equivalente a 5980[U.M.], respecto al tramo original. En resumen se concluye lo siguiente:

- Si bien se redujo la altura del tramo cambiando 5 torres de suspensión altas por 5 torres de suspensión bajas, el grado de optimización del análisis no fue el esperado debido a lo planteado en las conclusiones del tramo 1. No siempre reducir la altura de las torres es un beneficio, más aún cuando la línea de transmisión abarca grandes tramos y largos vanos. Además, no todas las torres están aptas para soportar vanos tan largos o cargas tan elevadas.
- Otro punto que dificulta el análisis de optimización, son los grandes desniveles de terreno, ya que esto reduce las posibilidades de cambiar o trasladar las estructuras. No todas las torres son aptas para recibir cualquier nivel de carga. Es más, no siempre se puede reducir la altura de la torre debido a que, en ciertas condiciones de terreno, la trayectoria del cable no cumple con las especificaciones de diseño.
- En definitiva, el estudio previo, es considerado óptimo y dentro de los márgenes adecuados para la construcción. Si bien los costos se pueden optimizar más, bajo la envergadura de la línea y la cantidad de torres que esta presenta, el grado de optimización cercano al 2% no resulta representativo.

CONCLUSIONES

En general, los objetivos planteados para la investigación fueron logrados a cabalidad, ya que se analiza satisfactoriamente el comportamiento del conductor, de acuerdo a los criterios de diseño y especificaciones técnicas establecidas en el proyecto de líneas de alta tensión.

El desarrollo de una planilla en Microsoft Excel, la cual contiene información de la literatura asociada al tema, como fórmulas y criterios para el análisis de catenaria, resulta ser fundamental para desarrollar el objetivo 1 y 2, en donde se analiza mecánicamente el comportamiento del cable conductor entre dos soportes.

En cuanto al objetivo 2, se realizan dos tipos de análisis que permitieron evaluar el caso en que, para reducir costos, se disminuya la altura de la línea. Para ello se encuentra una relación directa en la que se expresa que si se disminuye la altura de cualquier soporte, manteniendo constante el porcentaje de tensión en el cable, resulta inevitable reducir la longitud de vano. De esta manera, se logra mantener la cota necesaria para que la trayectoria del conductor se encuentre a una distancia ajustada a las normas y los criterios de diseño de una línea de 500 KV. En el caso de que se piense disminuir la altura de algún soporte manteniendo constante la longitud de vano, resulta inevitable aumentar el porcentaje de tensión en el cable, ya que este se debe tensar más, respecto a su condición anterior, para igualar o superar la cota mínima del vuelo del conductor respecto al nivel de piso. Además, se determina una distancia aproximada entre los tipos de soportes del proyecto, con terreno nivelado y un %UTS de 19.5, ver tabla 5.29 y figura 5.7.

Dentro de los casos en que se analiza la disminución de altura de una torre, el más viable, constructivamente, es el que varía la longitud de vano. Por el contrario, al variar el porcentaje de UTS, en muchos casos, el porcentaje final resulta ser mayor a

lo establecido en los criterios de diseño, por ende resulta inviable su ejecución. En definitiva, el disminuir la altura de una torre implica disminuir la longitud de vano.

Respecto al análisis de *creep* en el conductor, cabe resaltar que su deformación inicial, durante los primeros días después de ser tendido, es mucho mayor a lo que se presenta pasado un tiempo prolongado. Por eso, para efectos de construcción, es indispensable tensar el cable tan pronto sea tendido, de forma que el período de deformación de este no sea prolongado. Aun así, de acuerdo a los procedimientos de construcción y las buenas prácticas, se debe obtener el *creep*, para que sea considerado al momento de tensar el cable, como se muestra en el ejemplo del subcapítulo 5.4.

Como análisis general, se elabora una propuesta en el software PLS –CADD, que contrasta con dos tramos del proyecto LAT 500 kV Mejillones – Cardones. Se busca optimizar los costos de construcción de los tramos, bajando la altura de la línea, y siguiendo los mismos criterios de análisis mostrados en el capítulo 5. Bajo esta idea y de acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que, si bien es posible optimizar los costos de construcción, no siempre es recomendable disminuir la altura de las torres para abaratar costos, ya que en un mismo tramo, esto implica, en muchos casos, aumentar el número de estructuras y por ende aumentar el costo de suministros. Las condiciones del terreno cumplen un rol fundamental en el análisis de esta propuesta, ya que por sus grandes variaciones y previendo que el vuelo del cable cumpla la norma, no siempre es posible colocar torres de baja altura. La presencia de otras líneas de transmisión también dificulta la idea de abaratar costos por este medio.

En conclusión, el objetivo de bajar la altura de las torres para disminuir los costos de construcción de la línea se cumple, pero con un bajo grado de optimización. Esto demuestra que el estudio previo, elaborado por la empresa, se hizo de forma correcta y satisfactoria, pensando en cada uno de los factores externos influyentes en la zona de construcción.

REFERENCIAS

- [1]. **Inc., Power Line Systems.** *PLS-CADD*. 2012.
- [2]. **Lynch, Otto J.** Desing Loads, cables, spans and systems behavior. [aut. libro] John A. Raksany. *Desing of transmission lines, structures and foundations*. Madison : University of Wisconsin, 2015.
- [3]. **Douglass, D.A. y Thrash, F.R.** Sag and Tension of conductor. [aut. libro] Leonard L. Grigsby. *Electric Power Generation, Transmission and Distribution*. Tercera Edición. 2012.
- [4]. **Bautista, Juan.** *Líneas de Transmisión de Potencia*. Perú : Pre- Edición, Vol. 1, 2001.
- [5]. **Policarpo Gonçalves de Abreu, Jose.** *Proyectos Mecânicos das Linhas Aereas de Transmissão*. Brasil : Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1982.
- [6]. **Arroyo Sánchez, José Manuel.** *cálculo mecánico de líneas*. Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y comunicaciones, Universidad de Castilla-La Mancha. España : s.n.
- [7]. **Checa, Luis María.** *Líneas de Transporte de Energía*. España : Marcombo, 1988.
- [8]. **Moreno Clemente, Julian.** *Cálculo de líneas eléctricas aéreas de alta tensión*. España : s.n., 2013.
- [9]. **Romero, Juan Pablo.** *Guía práctica para el diseño y proyecto de líneas de alta tensión en Chile*. Ingeniería Civil Eléctrica, Universidad de Chile. Chile : s.n., 2010. Tesis.

- [10]. **Ministerio de economía, fomento y reconstrucción.** *Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes.* NSEG5_71.
- [11]. **Ingeniería y Construcción Sigdo Koppers S.A.** *Criterios de Diseño Eléctrico.* Chile : s.n., 2016. Informe Técnico.
- [12]. **Lynch, Otto J.** Desing and behavior of conductors-line desing process. [aut. libro] John A. Raksany. *Desing of transmission lines, structures and foundations.* Madison : University of Wisconsin, 2015.
- [13]. **PRYSMIAN, Cables and Systems.** *Cuerdas para líneas aéreas.* 2008.
- [14]. **Economía y Negocios .** Economía y Negocios Online. [En línea] [Citado el: 25 de 03 de 2017.] <http://www.economiaynegocios.cl>.
- [15]. **Jiangsu Zhongtian Technology Co. Ltd.** *Aluminum conductors, Aluminum Alloy Reinforced.* China : s.n., 2015. Technical Specification.
- [16]. —. *Factory Test Report ACAR 700 MCM 30/7.* China : s.n., 2015.
- [17]. **Ingeniería y Construcción Sigdo Koppers S.A.** *Criterios de Diseño PLS-CADD.* Chile : s.n., 2015. Informe Técnico.
- [18]. **Ministerio de economía, fomento y reconstrucción.** *Electricidad. Cruces y paralelismo de líneas eléctricas.* NSEG6_71.
- [19]. **Ingeniería y Construcción Sigdo Koppers S.A.** *Determinación de Cargas para Zona Baja.* Chile : s.n., 2015. Informe Técnico.

ANEXOS

A. Análisis mecánico del conductor para %UTS constante

Tabla A.1: Tabla con resultados para análisis sin deformación del cable (p.1)

Soporte 1	Soporte 2	Vano (m)	Desnivel Cable (m)	Flecha Máxima (m)	Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)						
					Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2					
REM H27 6 ANC H27	SPNA H39	384	7.10	110.71	19.68	989.19	1196.33	1322.40	1332.22	821.77	989.11	1322.40	1315.62
	SPNA H43	401	11.10	110.72	21.48	988.84	1301.04	1322.39	1337.74	989.11	988.88	1322.39	1321.15
	SPNA H47	417	15.10	110.71	23.24	989.24	1400.36	1322.41	1343.29	989.11	989.17	1322.40	1321.16
	SPNA H51	432	19.10	110.69	24.96	989.67	1494.90	1322.42	1348.84	989.65	989.75	1322.43	1321.18
	SPNA H39	404	3.10	110.73	21.79	1109.11	1195.72	1327.91	1332.19	1109.14	1109.15	1327.91	1327.91
REM H31 6 ANC H31	SPNA H43	421	7.10	110.74	23.68	1108.74	1300.43	1327.89	1337.71	1108.89	1108.88	1327.89	1327.89
	SPNA H47	437	11.10	110.73	25.52	1109.11	1399.79	1327.91	1343.26	1109.14	1109.15	1327.91	1327.91
	SPNA H51	452	15.10	110.72	27.32	1109.50	1494.35	1327.92	1348.81	1109.40	1109.43	1327.92	1327.92
	SPNA H39	418	0.00	110.77	23.33	1194.77	1194.77	1332.14	1332.14	1194.74	1194.74	1332.14	1326.66
	SPNA H43	435	4.00	110.78	25.28	1194.38	1299.49	1332.12	1337.66	1194.37	1194.45	1332.12	1321.06
SPNA H39	SPNA H47	451	8.00	110.77	27.19	1194.70	1398.88	1332.14	1343.21	1194.65	1194.65	1332.14	1321.07
	SPNA H51	466	12.00	110.75	29.04	1195.06	1493.47	1332.16	1348.76	1195.23	1195.19	1332.17	1315.57

Tabla A.2: Tabla con resultados para análisis sin deformación del cable (p.2)

Soporte 1	Soporte 2	Vano (m)	Desnivel Cable (m)	Cota mín. Cable (m)	Flecha Máxima (m)	Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)		Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)	
						Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2
SPNA H39	SPNA H39	435	-4.00	110.78	25.28	1299.49	1194.38	1337.66	1332.12	1299.51	819.23	1337.66	1315.53
	SPNA H43	452	0.00	110.80	27.30	1299.08	1299.08	1337.63	1337.63	1298.88	957.23	1337.62	1321.03
	SPNA H47	468	4.00	110.78	29.28	1299.39	1398.50	1337.65	1343.18	1299.41	1080.80	1337.66	1315.53
SPNA H51	SPNA H51	483	8.00	110.77	31.20	1299.73	1493.11	1337.67	1348.73	1299.76	819.58	1337.67	1315.54
	SPNA H39	451	-8.00	110.77	27.19	1398.88	1194.70	1343.21	1332.14	1299.67	958.24	1337.67	1321.07
	SPNA H43	468	-4.00	110.78	29.28	1398.50	1299.39	1343.18	1337.65	1398.51	957.90	1343.18	1321.05
SPNA H47	SPNA H47	484	0.00	110.77	31.33	1398.81	1398.81	1343.20	1343.20	1398.77	958.25	1343.20	1315.54
	SPNA H51	499	4.00	110.76	33.31	1399.15	1493.43	1343.22	1348.75	1399.09	819.96	1343.22	1315.56
	SPNA H39	466	-12.00	110.75	29.04	1493.47	1195.06	1348.76	1332.16	1399.13	1082.13	1343.22	1326.62
SPNA H51	SPNA H43	483	-8.00	110.77	31.20	1493.11	1299.73	1348.73	1337.67	1493.62	820.36	1348.76	1315.57
	SPNA H47	499	-4.00	110.76	33.31	1493.43	1399.15	1348.75	1343.22	1493.58	958.98	1348.76	1321.10
	SPNA H51	514	0.00	110.74	35.36	1493.78	1493.78	1348.77	1348.77	1493.43	1082.16	1348.75	1326.62
						1493.78	1493.78	1348.78	1315.58	1493.85	820.73	1348.78	1315.58
						1493.83	1493.83	1348.78	1321.12	1493.83	959.34	1348.78	1321.12
						1493.70	1082.50	1348.77	1326.64	1493.70	1082.50	1348.77	1326.64

Tabla A.3: Tabla con resultados para análisis con deformación del cable (p.1)

Soporte 1	Soporte 2	Vano (m)	Desnivel Cable (m)	Cota mín. Cable (m)	Flecha Máxima (m)	Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)		Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)	
						Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2
REM H27.6 ANC H27	SPNA H35	384	7.10	110.04	20.35	994.15	1195.51	1280.85	1290.67	988.24	1165.30	1264.84	1258.06
	SPNA H43	401	11.10	110.05	22.15	994.99	1299.24	1283.95	1299.30	990.79	1176.90	1271.82	1270.58
	SPNA H47	417	15.10	110.04	23.92	996.35	1397.83	1286.55	1307.44	990.79	1358.42	1271.82	1270.58
	SPNA H51	432	19.10	110.03	25.64	997.55	1491.79	1288.73	1315.15	991.08	1441.28	1271.86	1270.62
	SPNA H35	404	3.10	110.05	22.47	1112.39	1196.83	1290.02	1294.30	1106.86	1168.88	1276.39	1264.08
REM H31.6 ANC H31	SPNA H43	421	7.10	110.06	24.36	1113.25	1300.53	1292.69	1302.51	1109.06	1273.57	1282.28	1275.50
	SPNA H47	437	11.10	110.05	26.21	1114.61	1399.13	1294.95	1310.31	1106.60	1453.35	1276.97	1281.26
	SPNA H51	452	15.10	110.03	28.02	1115.83	1493.08	1296.86	1317.74	1107.38	1432.37	1276.47	1264.16
	SPNA H35	418	0.00	110.08	24.02	1197.06	1197.06	1296.51	1296.51	1109.91	1445.35	1282.39	1275.61
	SPNA H43	435	4.00	110.09	25.97	1197.90	1300.76	1298.93	1304.46	1111.63	1456.52	1286.72	1285.48
SPNA H39	SPNA H47	451	8.00	110.08	27.88	1199.24	1399.37	1300.99	1312.05	1191.73	1352.04	1284.27	1267.67
	SPNA H51	466	12.00	110.06	29.74	1200.45	1493.34	1302.72	1319.31	1195.74	1373.66	1293.47	1287.94
	SPNA H35	399.6	-4.00	110.06	29.74	1200.45	1493.34	1302.72	1319.31	1195.74	1373.66	1293.47	1287.94
	SPNA H31	379.0	-8.00	110.06	29.74	1200.45	1493.34	1302.72	1319.31	1195.74	1373.66	1293.47	1287.94
	SPNA H35	399.6	-4.00	110.06	29.74	1200.45	1493.34	1302.72	1319.31	1195.74	1373.66	1293.47	1287.94

Tabla A.4: Tabla con resultados para análisis con deformación del cable (p.2)

Soporte 1	Soporte 2	Vano (m)	Desnivel Cable (m)	Cota mín. Cable (m)	Flecha Máxima (m)	Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)		Flecha Máxima (m)	Desnivel Cable (m)	Vano (m)	Soporte 2 (Propuesta)	Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)	
						Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2					Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2
SPNA H43	SPNA H33	435	-4.00	110.09	25.97	1300.76	1197.90	1304.46	1298.93	19.18	-16.00	372.3	SPN H27	1295.58	1172.64	1293.66	1271.53
	SPNA H43	452	0.00	110.10	28.00	1301.61	1301.61	1306.61	1306.61	21.60	-12.00	395.8	SPN H31	1297.88	1182.04	1298.33	1281.73
	SPNA H47	468	4.00	110.08	29.99	1302.94	1400.23	1308.45	1313.98	23.84	-8.00	416.4	SPN H35	1299.47	1190.32	1301.77	1290.71
	SPNA H51	483	8.00	110.06	31.91	1304.14	1494.21	1310.00	1321.07	19.17	-16.00	372.2	SPN H27	1295.33	1266.63	1293.63	1271.50
	SPNA H43	468	4.00	110.08	29.99	1302.94	1400.23	1308.45	1313.98	21.59	-12.00	395.7	SPN H31	1297.61	1276.78	1298.29	1281.70
SPNA H47	SPNA H33	451	-8.00	110.08	27.88	1399.37	1199.24	1312.05	1300.99	23.83	-8.00	372.4	SPN H27	1295.83	1355.03	1293.70	1271.57
	SPNA H47	484	0.00	110.06	32.04	1401.57	1401.57	1315.64	1315.64	19.19	-16.00	411.8	SPN H31	1298.14	1365.89	1298.36	1281.76
	SPNA H43	468	-4.00	110.08	29.99	1400.23	1302.94	1313.98	1308.45	23.85	-8.00	416.5	SPN H35	1299.75	1375.46	1301.80	1290.74
	SPNA H51	499	4.00	110.04	34.03	1402.78	1495.56	1317.04	1322.58	19.22	-16.00	372.7	SPN H27	1296.57	1438.34	1293.80	1271.67
	SPNA H47	484	0.00	110.06	32.04	1401.57	1401.57	1315.64	1315.64	21.63	-12.00	396.1	SPN H31	1298.68	1449.83	1298.42	1281.83
SPNA H51	SPNA H33	466	-12.00	110.06	29.74	1493.34	1200.45	1319.31	1302.72	20.84	-20.00	388.4	SPN H27	1396.49	1279.02	1306.56	1284.43
	SPNA H43	483	-8.00	110.06	31.91	1494.21	1304.14	1321.07	1310.00	23.34	-16.00	411.8	SPN H31	1396.49	1279.02	1306.56	1284.43
	SPNA H47	499	-4.00	110.04	34.03	1495.56	1402.78	1322.58	1317.04	25.67	-12.00	432.4	SPN H35	1398.07	1287.59	1309.64	1293.04
	SPNA H51	514	0.00	110.01	36.09	1496.78	1496.78	1323.86	1323.86	20.86	-20.00	388.6	SPN H27	1394.96	1358.12	1302.51	1274.85
	SPNA H47	484	0.00	110.06	32.04	1401.57	1401.57	1315.64	1315.64	23.36	-16.00	412.0	SPN H31	1397.02	1368.39	1306.62	1284.49

Tabla A.5: Tabla con variaciones de resultados sin deformación del cable

Soporte 1	Soporte 2	Soporte 2 (Propuesta)	Vano (m)	Desnivel Cable (m)	Flecha Máxima (m)	Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)	
						Soporte 1 - Soporte 1	Soporte 2 - Soporte 2 (propuesta)	Soporte 1 - Soporte 1	Soporte 2 - Soporte 2 (propuesta)
REM H27 6 ANC H27	SPNA H39	SPN H27	-63.1	-12.00	-5.95	-0.08	-374.56	0.00	-16.60
		SPN H31	-39.4	-8.00	-3.85	-0.02	-236.00	0.00	-11.07
		SPN H35	-18.7	-4.00	-1.88	-0.12	-112.85	-0.01	-5.54
	SPNA H43	SPN H27	-80.2	-16.00	-7.75	0.00	-479.58	0.00	-22.13
		SPN H31	-56.5	-12.00	-5.65	0.04	-341.01	0.00	-16.60
		SPN H35	-35.8	-8.00	-3.68	-0.07	-217.84	0.00	-11.07
	SPNA H47	SPN H27	-96.1	-20.00	-9.51	-0.13	-578.59	-0.01	-27.67
		SPN H31	-72.4	-16.00	-7.40	-0.07	-440.04	0.00	-22.13
		SPN H35	-51.7	-12.00	-5.43	-0.17	-316.88	-0.01	-16.60
	SPNA H51	SPN H27	-110.9	-24.00	-11.21	-0.02	-672.49	0.00	-33.20
		SPN H31	-87.2	-20.00	-9.10	0.09	-533.97	0.00	-27.66
		SPN H35	-66.5	-16.00	-7.13	0.03	-410.84	0.00	-22.13
REM H31 6 ANC H31	SPNA H39	SPN H27	-63.1	-12.00	-6.29	0.03	-374.64	0.00	-16.60
		SPN H31	-39.4	-8.00	-4.05	0.05	-236.05	0.00	-11.06
		SPN H35	-18.7	-4.00	-1.98	-0.08	-112.87	0.00	-5.54
	SPNA H43	SPN H27	-80.2	-16.00	-8.18	0.14	-479.68	0.01	-22.12
		SPN H31	-56.5	-12.00	-5.95	0.13	-341.07	0.01	-16.59
		SPN H35	-35.8	-8.00	-3.87	-0.01	-217.88	0.00	-11.07
	SPNA H47	SPN H27	-96.1	-20.00	-10.02	0.03	-578.71	0.00	-27.66
		SPN H31	-72.4	-16.00	-7.78	0.04	-440.11	0.00	-22.13
		SPN H35	-51.7	-12.00	-5.71	-0.09	-316.94	0.00	-16.60
	SPNA H51	SPN H27	-111.0	-24.00	-11.81	-0.10	-672.94	0.00	-33.20
		SPN H31	-87.3	-20.00	-9.57	-0.07	-534.36	0.00	-27.67
		SPN H35	-66.6	-16.00	-7.49	-0.18	-411.20	-0.01	-22.14
SPNA H39	SPNA H39	SPN H27	-63.2	-12.00	-6.53	-0.04	-375.10	0.00	-16.60
		SPN H31	-39.5	-8.00	-4.21	-0.13	-236.44	-0.01	-11.07
		SPN H35	-18.7	-4.00	-2.05	-0.04	-112.91	0.00	-5.53
	SPNA H43	SPN H27	-80.3	-16.00	-8.49	0.10	-480.16	0.01	-22.12
		SPN H31	-56.6	-12.00	-6.17	0.00	-341.48	0.00	-16.60
		SPN H35	-35.8	-8.00	-4.00	0.07	-217.94	0.00	-11.06
	SPNA H47	SPN H27	-96.2	-20.00	-10.39	0.02	-579.21	0.00	-27.66
		SPN H31	-72.5	-16.00	-8.06	-0.06	-440.55	0.00	-22.13
		SPN H35	-51.7	-12.00	-5.90	0.03	-317.02	0.00	-16.60
	SPNA H51	SPN H27	-111.0	-24.00	-12.22	0.17	-673.12	0.01	-33.19
		SPN H31	-87.3	-20.00	-9.90	0.13	-534.49	0.01	-27.66
		SPN H35	-66.5	-16.00	-7.73	0.26	-410.98	0.01	-22.12
SPNA H43	SPNA H39	SPN H27	-63.2	-12.00	-6.82	0.03	-375.15	0.00	-16.60
		SPN H31	-39.5	-8.00	-4.39	-0.08	-236.47	0.00	-11.07
		SPN H35	-18.7	-4.00	-2.13	-0.02	-112.92	0.00	-5.53
	SPNA H43	SPN H27	-80.4	-16.00	-8.86	-0.05	-480.57	0.00	-22.13
		SPN H31	-56.7	-12.00	-6.43	-0.21	-341.86	-0.01	-16.61
		SPN H35	-35.9	-8.00	-4.18	-0.18	-218.28	-0.01	-11.07
	SPNA H47	SPN H27	-96.2	-20.00	-10.82	0.12	-579.27	0.01	-27.66
		SPN H31	-72.5	-16.00	-8.39	0.01	-440.59	0.00	-22.13
		SPN H35	-51.7	-12.00	-6.13	0.08	-317.04	0.00	-16.59
	SPNA H51	SPN H27	-111.1	-24.00	-12.73	0.03	-673.53	0.00	-33.19
		SPN H31	-87.4	-20.00	-10.30	-0.06	-534.87	0.00	-27.67
		SPN H35	-66.6	-16.00	-8.04	0.02	-411.33	0.00	-22.13
SPNA H47	SPNA H39	SPN H27	-63.2	-12.00	-7.09	-0.03	-375.11	0.00	-16.60
		SPN H31	-39.5	-8.00	-4.56	-0.11	-236.45	-0.01	-11.07
		SPN H35	-18.7	-4.00	-2.21	-0.03	-112.91	0.00	-5.53
	SPNA H43	SPN H27	-80.3	-16.00	-9.19	0.12	-480.16	0.01	-22.12
		SPN H31	-56.6	-12.00	-6.67	0.01	-341.49	0.00	-16.60
		SPN H35	-35.8	-8.00	-4.32	0.08	-217.94	0.00	-11.06
	SPNA H47	SPN H27	-96.2	-20.00	-11.23	0.04	-579.22	0.00	-27.66
		SPN H31	-72.5	-16.00	-8.70	-0.04	-440.56	0.00	-22.13
		SPN H35	-51.7	-12.00	-6.35	0.04	-317.02	0.00	-16.59
	SPNA H51	SPN H27	-111.1	-24.00	-13.20	-0.07	-673.48	0.00	-33.20
		SPN H31	-87.4	-20.00	-10.67	-0.13	-534.83	-0.01	-27.67
		SPN H35	-66.6	-16.00	-8.33	-0.03	-411.30	0.00	-22.13
SPNA H51	SPNA H39	SPN H27	-63.1	-12.00	-7.33	0.14	-374.71	0.01	-16.59
		SPN H31	-39.4	-8.00	-4.70	0.11	-236.08	0.01	-11.06
		SPN H35	-18.7	-4.00	-2.29	-0.05	-112.90	0.00	-5.54
	SPNA H43	SPN H27	-80.3	-16.00	-9.51	0.04	-480.12	0.00	-22.13
		SPN H31	-56.6	-12.00	-6.89	-0.04	-341.46	0.00	-16.60
		SPN H35	-35.8	-8.00	-4.46	0.05	-217.92	0.00	-11.06
	SPNA H47	SPN H27	-96.2	-20.00	-11.61	-0.04	-579.17	0.00	-27.66
		SPN H31	-72.5	-16.00	-8.99	-0.10	-440.53	-0.01	-22.14
		SPN H35	-51.7	-12.00	-6.56	0.00	-316.99	0.00	-16.60
	SPNA H51	SPN H27	-111.0	-24.00	-13.64	0.07	-673.05	0.00	-33.19
		SPN H31	-87.3	-20.00	-11.01	0.06	-534.44	0.00	-27.66
		SPN H35	-66.6	-16.00	-8.59	-0.08	-411.27	0.00	-22.13

Tabla A.6: Tabla con variaciones de resultados con deformación del cable

Soporte 1	Soporte 2	Soporte 2 (Propuesta)	Vano (m)	Desnivel Cable (m)	Flecha Máxima (m)	Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)	
						Soporte 1 - Soporte 1	Soporte 2 - Soporte 2 (propuesta)	Soporte 1 - Soporte 1	Soporte 2 - Soporte 2 (propuesta)
REM H27 6 ANC	SPNA H39	SPN H27	-62.8	-12.00	-5.95	-5.90	-30.20	-16.01	-32.61
		SPN H31	-39.3	-8.00	-3.85	-3.36	-18.61	-9.02	-20.09
		SPN H35	-18.6	-4.00	-1.87	-1.35	-8.75	-3.91	-9.44
	SPNA H43	SPN H27	-79.9	-16.00	-7.75	-7.02	-41.28	-19.16	-41.29
		SPN H31	-56.4	-12.00	-5.66	-4.50	-28.76	-12.16	-28.76
		SPN H35	-35.7	-8.00	-3.68	-2.50	-18.11	-7.05	-18.11
	SPNA H47	SPN H27	-95.8	-20.00	-9.51	-8.11	-52.79	-21.72	-49.38
		SPN H31	-72.3	-16.00	-7.41	-5.56	-39.41	-14.73	-36.86
		SPN H35	-51.6	-12.00	-5.44	-3.55	-28.02	-9.62	-26.21
	SPNA H51	SPN H27	-110.7	-24.00	-11.23	-9.04	-64.71	-23.85	-57.05
		SPN H31	-87.2	-20.00	-9.13	-6.47	-50.51	-16.87	-44.53
		SPN H35	-66.5	-16.00	-7.16	-4.45	-38.44	-11.76	-33.89
REM H31 6 ANC	SPNA H39	SPN H27	-62.7	-12.00	-6.27	-5.53	-27.95	-13.63	-30.23
		SPN H31	-39.2	-8.00	-4.05	-3.04	-17.35	-7.70	-18.77
		SPN H35	-18.6	-4.00	-1.97	-1.35	-8.23	-3.36	-8.90
	SPNA H43	SPN H27	-79.8	-16.00	-8.17	-6.65	-38.42	-16.34	-38.47
		SPN H31	-56.3	-12.00	-5.95	-4.19	-26.97	-10.41	-27.01
		SPN H35	-35.7	-8.00	-3.87	-2.51	-17.11	-6.07	-17.14
	SPNA H47	SPN H27	-95.7	-20.00	-10.01	-7.75	-49.36	-18.57	-46.23
		SPN H31	-72.2	-16.00	-7.79	-5.27	-37.13	-12.64	-34.77
		SPN H35	-51.6	-12.00	-5.72	-3.58	-26.59	-8.30	-24.90
	SPNA H51	SPN H27	-110.5	-24.00	-11.80	-8.45	-60.71	-20.39	-53.58
		SPN H31	-87.0	-20.00	-9.58	-5.92	-47.74	-14.47	-42.13
		SPN H35	-66.4	-16.00	-7.50	-4.20	-36.56	-10.14	-32.27
SPNA H39	SPNA H39	SPN H27	-62.7	-12.00	-6.50	-5.33	-26.63	-12.24	-28.84
		SPN H31	-39.2	-8.00	-4.19	-2.95	-16.62	-6.94	-18.00
		SPN H35	-18.6	-4.00	-2.04	-1.32	-7.91	-3.04	-8.57
	SPNA H43	SPN H27	-79.8	-16.00	-8.47	-6.43	-36.73	-14.70	-36.83
		SPN H31	-56.3	-12.00	-6.16	-4.07	-25.92	-9.39	-25.99
		SPN H35	-35.7	-8.00	-4.01	-2.45	-16.51	-5.49	-16.55
	SPNA H47	SPN H27	-95.7	-20.00	-10.37	-7.52	-47.34	-16.72	-44.38
		SPN H31	-72.2	-16.00	-8.06	-5.13	-35.78	-11.41	-33.54
		SPN H35	-51.6	-12.00	-5.91	-3.50	-25.71	-7.51	-24.11
	SPNA H51	SPN H27	-110.5	-24.00	-12.21	-8.21	-58.37	-18.38	-51.57
		SPN H31	-87.0	-20.00	-9.90	-5.79	-46.11	-13.08	-40.74
		SPN H35	-66.4	-16.00	-7.75	-4.12	-35.44	-9.18	-31.31
SPNA H43	SPNA H39	SPN H27	-62.7	-12.00	-6.79	-5.19	-25.27	-10.80	-27.40
		SPN H31	-39.2	-8.00	-4.37	-2.89	-15.86	-6.14	-17.20
		SPN H35	-18.6	-4.00	-2.13	-1.30	-7.58	-2.69	-8.22
	SPNA H43	SPN H27	-79.8	-16.00	-8.83	-6.27	-34.98	-12.99	-35.11
		SPN H31	-56.3	-12.00	-6.41	-4.00	-24.82	-8.32	-24.92
		SPN H35	-35.7	-8.00	-4.17	-2.42	-15.88	-4.87	-15.94
	SPNA H47	SPN H27	-95.6	-20.00	-10.80	-7.11	-45.20	-14.75	-42.41
		SPN H31	-72.1	-16.00	-8.38	-4.79	-34.34	-10.09	-32.22
		SPN H35	-51.5	-12.00	-6.13	-3.19	-24.77	-6.65	-23.25
	SPNA H51	SPN H27	-110.3	-24.00	-12.69	-7.57	-55.87	-16.20	-49.39
		SPN H31	-86.9	-20.00	-10.29	-5.46	-44.38	-11.58	-39.24
		SPN H35	-66.3	-16.00	-8.04	-3.81	-34.23	-8.14	-30.27
SPNA H47	SPNA H39	SPN H27	-62.6	-12.00	-7.05	-4.90	-24.15	-9.60	-26.20
		SPN H31	-39.2	-8.00	-4.54	-2.88	-15.26	-5.49	-16.55
		SPN H35	-18.6	-4.00	-2.21	-1.30	-7.32	-2.41	-7.95
	SPNA H43	SPN H27	-79.6	-16.00	-9.15	-5.75	-33.52	-11.54	-33.67
		SPN H31	-56.2	-12.00	-6.64	-3.74	-23.92	-7.42	-24.02
		SPN H35	-35.6	-8.00	-4.31	-2.16	-15.34	-4.35	-15.41
	SPNA H47	SPN H27	-95.4	-20.00	-11.18	-6.61	-43.46	-13.13	-40.79
		SPN H31	-72.0	-16.00	-8.68	-4.56	-33.18	-9.02	-31.15
		SPN H35	-51.4	-12.00	-6.34	-2.94	-24.01	-5.94	-22.54
	SPNA H51	SPN H27	-110.2	-24.00	-13.16	-7.34	-53.89	-14.47	-47.66
		SPN H31	-86.8	-20.00	-10.65	-5.24	-42.99	-10.36	-38.02
		SPN H35	-66.3	-16.00	-8.32	-3.87	-33.30	-7.32	-29.45
SPNA H51	SPNA H39	SPN H27	-62.5	-12.00	-7.29	-4.61	-23.25	-8.63	-25.23
		SPN H31	-39.1	-8.00	-4.69	-2.61	-14.74	-4.93	-16.00
		SPN H35	-18.6	-4.00	-2.28	-1.30	-7.11	-2.18	-7.72
	SPNA H43	SPN H27	-79.5	-16.00	-9.46	-5.48	-32.36	-10.38	-32.51
		SPN H31	-56.1	-12.00	-6.86	-3.48	-23.18	-6.68	-23.28
		SPN H35	-35.6	-8.00	-4.45	-2.17	-14.93	-3.94	-15.00
	SPNA H47	SPN H27	-95.3	-20.00	-11.56	-6.36	-42.06	-11.83	-39.49
		SPN H31	-71.9	-16.00	-8.95	-4.31	-32.23	-8.13	-30.26
		SPN H35	-51.4	-12.00	-6.55	-2.97	-23.42	-5.39	-21.99
	SPNA H51	SPN H27	-110.0	-24.00	-13.58	-6.87	-52.25	-13.01	-46.21
		SPN H31	-86.7	-20.00	-10.98	-5.02	-41.85	-9.35	-37.02
		SPN H35	-66.1	-16.00	-8.57	-3.37	-32.46	-6.58	-28.71

B. Análisis mecánico del conductor para longitud de vano constante

Tabla B.1: Tabla con resultados para análisis sin deformación del cable (p.1)

Soporte 1	Soporte 2	% UTS	Desnivel Cable (m)	Cada mín. Cable (m)	Vano (m)	Flecha Máxima (m)	Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)		Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)	
							Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2
REM H27 6 ANC	SPNA H39	17.5%	7.10	110.68	364	19.72	940.35	1138.10	1189.13	1198.95	1116.21	929.04	1690.41	1683.63
	SPNA H43	17.5%	11.10	110.70	380	21.50	939.74	1238.07	1189.10	1204.45	1163.66	968.71	1842.37	1835.59
	SPNA H47	17.5%	15.10	110.70	395	23.25	939.64	1332.92	1189.10	1209.98	1208.15	1006.05	1989.01	1982.24
	SPNA H51	17.5%	19.10	110.71	409	24.94	939.35	1423.19	1189.08	1215.50	1263.66	1095.16	1728.37	1727.13
	SPNA H39	17.5%	3.10	110.69	383	21.83	1055.01	1137.76	1194.64	1198.93	1162.03	1006.34	1458.62	1451.84
REM H31 6 ANC H31	SPNA H43	17.5%	7.10	110.71	399	23.71	1054.40	1237.71	1194.61	1204.43	1288.29	957.00	1805.22	1792.91
	SPNA H47	17.5%	11.10	110.71	414	25.54	1054.30	1332.56	1194.61	1209.96	1374.78	1046.57	1582.57	1575.79
	SPNA H51	17.5%	15.10	110.73	428	27.31	1054.01	1422.82	1194.59	1215.48	1419.38	1159.38	1526.58	1525.33
	SPNA H39	17.5%	0.00	110.63	397	23.47	1139.19	1139.19	1199.01	1199.01	1251.51	1084.52	1701.23	1694.45
	SPNA H43	17.5%	4.00	110.65	413	25.41	1138.65	1239.08	1198.98	1204.51	1296.50	1043.07	1569.61	1558.55
SPNA H39	SPNA H47	17.5%	8.00	110.66	428	27.30	1138.59	1333.91	1198.97	1210.04	1425.78	985.28	1999.57	1892.97
	SPNA H51	17.5%	12.00	110.67	442	29.13	1138.35	1424.13	1198.96	1215.56	1341.09	1079.50	1683.59	1672.53
	SPNA H39	17.5%	8.00	110.66	428	27.30	1138.59	1333.91	1198.97	1210.04	1470.49	1016.60	2035.54	2018.94
	SPNA H43	17.5%	4.00	110.65	413	25.41	1138.65	1239.08	1198.98	1204.51	1382.81	1113.50	1794.23	1781.16
	SPNA H51	17.5%	12.00	110.67	442	29.13	1138.35	1424.13	1198.96	1215.56	1314.73	1192.12	1616.91	1611.38

Tabla B.2: Tabla con resultados para análisis sin deformación del cable (p.2)

Soporte 1	Soporte 2	% UTS	Desnivel Cable (m)	Cota mín. Cable (m)	Vano (m)	Flecha Máxima (m)	Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)		Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)	
							Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2
SPNA H43	SPNA H39	17.5%	-4.00	110.65	41.3	25.41	12.39.08	11.38.65	1204.51	1198.98	1432.03	909.18	1629.14	1607.01
	SPNA H43	17.5%	0.00	110.68	429	27.42	12.38.54	12.38.54	1204.48	1204.48	1484.55	942.88	1757.75	1735.62
	SPNA H47	17.5%	4.00	110.68	444	29.39	12.38.46	1333.37	1204.47	1210.01	1533.49	975.14	1879.08	1856.95
	SPNA H51	17.5%	8.00	110.69	458	31.28	12.38.21	1423.59	1204.46	1215.52	1579.43	1005.00	1997.72	1975.59
	SPNA H39	17.5%	-8.00	110.66	428	27.30	1333.91	1138.59	1210.04	1198.97	1490.02	1104.09	1771.73	1755.14
SPNA H47	SPNA H43	17.5%	-4.00	110.68	444	29.39	1333.37	1238.46	1210.01	1204.47	1584.43	936.16	1737.95	1710.29
	SPNA H47	17.5%	0.00	110.68	459	31.42	1333.29	1333.29	1210.00	1210.00	1634.49	966.98	1833.94	1826.28
	SPNA H51	17.5%	4.00	110.69	473	33.38	1333.04	1423.51	1209.99	1215.52	1681.44	995.60	1966.58	1938.92
	SPNA H39	17.5%	-12.00	110.67	442	29.13	1424.13	1138.35	1215.56	1198.96	1624.42	898.81	1606.18	1572.99
	SPNA H43	17.5%	-8.00	110.69	458	31.28	1423.59	1238.21	1215.52	1204.46	1593.61	1179.04	1593.29	1576.70
SPNA H51	SPNA H47	17.5%	-4.00	110.69	473	33.38	1423.51	1333.04	1215.52	1209.99	1678.86	930.03	1722.14	1688.95
	SPNA H51	17.5%	0.00	110.71	487	35.39	1423.25	1423.25	1215.50	1215.50	1525.60	1107.27	1408.17	1386.04
	SPNA H47	17.5%	-4.00	110.69	473	33.38	1423.51	1333.04	1215.52	1209.99	1729.75	959.76	1832.80	1799.61
	SPNA H43	17.5%	-4.00	110.69	473	33.38	1423.51	1333.04	1215.52	1209.99	1640.87	1059.67	1641.48	1613.82
	SPNA H51	17.5%	0.00	110.71	487	35.39	1423.25	1423.25	1215.50	1215.50	1571.05	1141.65	1498.16	1476.03

Tabla B.3: Tabla con resultados para análisis con deformación del cable (p.1)

Soporte 1	Soporte 2	% UTS	Desnivel Cable (m)	Cota mín. Cable (m)	Vano (m)	Flecha Máxima (m)	Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)		Soporte 2 (Propuesta)	Soporte 2 (Propuesta)
							Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2		
REM H27 o ANC	SPNA H39	17.5%	7.10	110.07	364	20.32	944.79	1137.62	1155.35	1165.17	SPN H27	1620.57
	SPNA H43	17.5%	11.10	110.09	380	22.11	945.21	1236.78	1157.81	1173.16	SPN H31	1620.57
	SPNA H47	17.5%	15.10	110.09	395	23.87	945.95	1331.01	1159.86	1180.75	SPN H35	1620.57
	SPNA H51	17.5%	19.10	110.10	409	25.57	946.35	1420.79	1161.56	1187.98	SPN H27	1620.57
	SPNA H39	17.5%	3.10	110.07	383	22.45	1058.04	1138.94	1163.83	1168.11	SPN H31	1620.57
REM H31 o ANC	SPNA H43	17.5%	7.10	110.09	399	24.33	1058.49	1238.06	1165.94	1175.76	SPN H35	1620.57
	SPNA H47	17.5%	11.10	110.09	414	26.17	1059.25	1332.26	1167.72	1183.07	SPN H27	1620.57
	SPNA H51	17.5%	15.10	110.10	428	27.95	1059.69	1422.01	1169.18	1190.07	SPN H31	1620.57
	SPNA H39	17.5%	0.00	110.01	397	24.09	1141.39	1141.39	1170.09	1170.09	SPN H35	1620.57
	SPNA H43	17.5%	4.00	110.03	413	26.03	1141.92	1240.45	1172.00	1177.53	SPN H27	1620.57
SPNA H39	SPNA H43	17.5%	8.00	110.02	428	27.93	1142.74	1334.62	1173.60	1184.66	SPN H31	1620.57
	SPNA H47	17.5%	12.00	110.03	442	29.77	1143.23	1424.33	1174.92	1191.52	SPN H35	1620.57
	SPNA H51	17.5%	16.00	110.04	456	31.61	1143.72	1518.04	1176.20	1198.46	SPN H27	1620.57
	SPNA H39	17.5%	0.00	110.01	397	24.09	1141.39	1141.39	1170.09	1170.09	SPN H31	1620.57
	SPNA H43	17.5%	4.00	110.03	413	26.03	1141.92	1240.45	1172.00	1177.53	SPN H35	1620.57

Tabla B.4: Tabla con resultados para análisis con deformación del cable (p.2)

Soporte 1	Soporte 2	% UIS	Desnivel Cable (m)	Cota mín. Cable (m)	Vano (m)	Flecha Máxima (m)	Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)		Desnivel Cable (m)	Flecha Máxima (m)	Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)	
							Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2			Soporte 1	Soporte 2	Soporte 1	Soporte 2
SPNA H39	Soporte 1	17.5%	-4.00	110.03	413	26.03	1240.45	1141.92	1177.53	1172.00	-16.00	19.25	1660.75	918.72	1576.51	1554.38
	Soporte 2	17.5%	0.00	110.04	429	28.06	1240.97	1240.97	1179.22	1179.22	-8.00	23.91	1346.20	1078.74	1277.92	1266.85
	Soporte 1	17.5%	4.00	110.04	444	30.03	1241.79	1335.15	1180.64	1186.17	-12.00	21.65	1488.21	1118.00	1376.14	1365.07
	Soporte 2	17.5%	8.00	110.04	458	31.94	1242.29	1424.85	1181.82	1192.89	-12.00	21.65	1593.47	1043.36	1514.17	1497.58
	Soporte 1	17.5%	-8.00	110.02	428	27.93	1334.62	1142.74	1184.66	1173.60	-8.00	23.90	1641.90	1189.60	1561.99	1550.92
SPNA H43	Soporte 1	17.5%	-4.00	110.04	444	30.03	1335.15	1241.79	1186.17	1180.64	-20.00	20.88	1894.78	947.41	1683.36	1655.70
	Soporte 2	17.5%	0.00	110.03	459	32.07	1335.97	1335.97	1187.46	1187.46	-16.00	23.40	1697.90	1039.41	1508.45	1486.32
	Soporte 1	17.5%	4.00	110.03	473	34.04	1336.48	1425.67	1188.52	1194.05	-12.00	25.74	1443.41	1078.05	1281.23	1264.63
	Soporte 2	17.5%	-12.00	110.03	442	29.77	1424.33	1143.23	1191.52	1174.92	-20.00	20.88	1894.78	947.41	1683.36	1655.70
	Soporte 1	17.5%	4.00	110.03	473	34.04	1336.48	1425.67	1188.52	1194.05	-16.00	23.39	1916.22	1104.77	1704.08	1681.96
SPNA H47	Soporte 1	17.5%	-8.00	110.04	458	31.94	1424.85	1242.29	1192.89	1181.82	-12.00	25.73	1747.53	1184.90	1554.06	1537.47
	Soporte 2	17.5%	0.00	110.03	473	34.04	1425.67	1336.48	1194.05	1188.52	-24.00	22.49	1677.59	1001.37	1403.38	1375.72
	Soporte 1	17.5%	-4.00	110.03	473	34.04	1425.67	1336.48	1194.05	1188.52	-16.00	27.50	1536.52	1077.10	1285.38	1263.25
	Soporte 2	17.5%	8.00	110.04	487	36.07	1426.18	1426.18	1195.02	1195.02	-24.00	22.48	1995.57	942.28	1670.70	1637.50
	Soporte 1	17.5%	0.00	110.03	487	36.07	1426.18	1426.18	1195.02	1195.02	-20.00	25.08	2019.10	1098.91	1691.84	1664.18
Soporte 2	17.5%	-16.00	110.04	487	36.07	1426.18	1426.18	1195.02	1195.02	-16.00	27.49	1848.08	1180.44	1548.53	1526.41	

Tabla B.5: Tabla con variaciones de resultados sin deformación del cable

Soporte 1	Soporte 2	Soporte 2 (Propuesta)	% UTS	Desnivel Cable (m)	Flecha Máxima (m)	Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)	
						Soporte 1 - Soporte 1	Soporte 2 - Soporte 2 (propuesta)	Soporte 1 - Soporte 1	Soporte 2 - Soporte 2 (propuesta)
REM H27 6 ANC H27	SPNA H39	SPN H27	7.5%	-12.00	-5.95	175.86	-209.05	501.28	484.68
		SPN H31	4.2%	-8.00	-3.85	102.10	-125.87	280.63	269.57
		SPN H35	1.8%	-4.00	-1.88	45.52	-58.25	121.98	116.45
	SPNA H43	SPN H27	9.8%	-16.00	-7.76	223.92	-269.37	653.27	631.14
		SPN H31	6.2%	-12.00	-5.65	146.67	-183.12	412.62	396.02
		SPN H35	3.6%	-8.00	-3.68	87.43	-113.28	238.64	227.58
	SPNA H47	SPN H27	12.0%	-20.00	-9.51	268.51	-326.88	799.92	772.26
		SPN H31	8.1%	-16.00	-7.40	188.08	-237.77	539.28	517.15
		SPN H35	5.3%	-12.00	-5.43	126.35	-165.90	351.96	335.36
	SPNA H51	SPN H27	14.2%	-24.00	-11.21	310.41	-382.34	943.23	910.04
		SPN H31	10.0%	-20.00	-9.10	226.96	-290.51	663.27	635.60
		SPN H35	6.9%	-16.00	-7.14	162.92	-216.67	461.95	439.82
REM H31 6 ANC H31	SPNA H39	SPN H27	7.0%	-12.00	-6.29	183.65	-217.98	469.28	452.68
		SPN H31	4.0%	-8.00	-4.05	107.02	-131.42	263.98	252.91
		SPN H35	1.7%	-4.00	-1.98	47.87	-60.88	115.32	109.78
	SPNA H43	SPN H27	9.2%	-16.00	-8.19	233.89	-280.71	610.61	588.48
		SPN H31	5.8%	-12.00	-5.95	153.78	-191.14	387.96	371.36
		SPN H35	3.4%	-8.00	-3.87	91.94	-118.31	225.32	214.25
	SPNA H47	SPN H27	11.2%	-20.00	-10.02	280.49	-340.45	746.60	718.93
		SPN H31	7.6%	-16.00	-7.78	197.21	-248.04	506.62	484.49
		SPN H35	5.0%	-12.00	-5.70	132.90	-173.18	331.97	315.37
	SPNA H51	SPN H27	13.2%	-24.00	-11.81	324.35	-398.09	879.91	846.72
		SPN H31	9.4%	-20.00	-9.58	238.05	-302.97	623.26	595.60
		SPN H35	6.5%	-16.00	-7.49	171.38	-226.10	435.95	413.82
SPNA H39	SPNA H39	SPN H27	6.7%	-12.00	-6.53	187.90	-223.20	446.62	430.03
		SPN H31	3.8%	-8.00	-4.20	109.83	-134.82	252.65	241.58
		SPN H35	1.7%	-4.00	-2.04	49.25	-62.45	110.00	104.47
	SPNA H43	SPN H27	8.7%	-16.00	-8.48	239.35	-287.38	580.62	558.49
		SPN H31	5.6%	-12.00	-6.16	157.85	-196.02	370.63	354.04
		SPN H35	3.2%	-8.00	-4.00	94.58	-121.43	215.99	204.92
	SPNA H47	SPN H27	10.7%	-20.00	-10.39	287.19	-348.62	710.59	682.93
		SPN H31	7.3%	-16.00	-8.06	202.50	-254.40	484.62	462.49
		SPN H35	4.8%	-12.00	-5.90	136.75	-177.76	318.63	302.04
	SPNA H51	SPN H27	12.6%	-24.00	-12.23	332.14	-407.53	836.58	803.38
		SPN H31	8.9%	-20.00	-9.91	244.46	-310.63	595.27	567.60
		SPN H35	6.3%	-16.00	-7.75	176.38	-232.01	417.95	395.82
SPNA H43	SPNA H39	SPN H27	6.4%	-12.00	-6.81	192.94	-229.46	424.63	408.03
		SPN H31	3.6%	-8.00	-4.38	113.06	-138.79	241.32	230.25
		SPN H35	1.6%	-4.00	-2.13	50.80	-64.39	105.99	100.46
	SPNA H43	SPN H27	8.3%	-16.00	-8.86	246.02	-295.65	553.27	531.14
		SPN H31	5.3%	-12.00	-6.43	162.60	-201.86	354.62	338.02
		SPN H35	3.1%	-8.00	-4.17	97.58	-125.10	207.31	196.25
	SPNA H47	SPN H27	10.1%	-20.00	-10.82	295.02	-358.23	674.60	646.94
		SPN H31	6.9%	-16.00	-8.39	208.54	-261.72	461.96	439.83
		SPN H35	4.6%	-12.00	-6.13	141.10	-182.97	304.64	288.05
	SPNA H51	SPN H27	11.9%	-24.00	-12.73	341.22	-418.59	793.26	760.06
		SPN H31	8.5%	-20.00	-10.30	251.81	-319.50	567.27	539.61
		SPN H35	6.0%	-16.00	-8.04	182.03	-238.74	399.30	377.17
SPNA H47	SPNA H39	SPN H27	6.1%	-12.00	-7.09	197.00	-234.89	406.62	390.02
		SPN H31	3.5%	-8.00	-4.55	115.66	-142.23	231.97	220.91
		SPN H35	1.5%	-4.00	-2.21	52.04	-66.00	101.99	96.46
	SPNA H43	SPN H27	7.9%	-16.00	-9.20	251.06	-302.31	527.94	505.81
		SPN H31	5.1%	-12.00	-6.66	166.28	-206.60	339.30	322.71
		SPN H35	3.0%	-8.00	-4.32	99.98	-128.18	199.32	188.25
	SPNA H47	SPN H27	9.7%	-20.00	-11.23	301.20	-366.31	643.94	616.28
		SPN H31	6.6%	-16.00	-8.69	213.36	-267.93	442.63	420.50
		SPN H35	4.4%	-12.00	-6.35	144.60	-187.42	292.65	276.05
	SPNA H51	SPN H27	11.4%	-24.00	-13.20	348.40	-427.91	756.60	723.40
		SPN H31	8.1%	-20.00	-10.66	257.63	-326.92	542.62	514.96
		SPN H35	5.8%	-16.00	-8.32	186.57	-244.47	383.31	361.18
SPNA H51	SPNA H39	SPN H27	5.9%	-12.00	-7.34	200.29	-239.54	390.62	374.02
		SPN H31	3.4%	-8.00	-4.72	117.84	-145.29	223.96	212.90
		SPN H35	1.5%	-4.00	-2.29	53.08	-67.44	98.65	93.12
	SPNA H43	SPN H27	7.6%	-16.00	-9.51	255.27	-308.18	506.62	484.49
		SPN H31	4.9%	-12.00	-6.89	169.44	-210.96	327.29	310.70
		SPN H35	2.9%	-8.00	-4.47	102.00	-130.94	192.64	181.58
	SPNA H47	SPN H27	9.3%	-20.00	-11.60	306.24	-373.28	617.28	589.62
		SPN H31	6.4%	-16.00	-8.98	217.36	-273.37	425.96	403.83
		SPN H35	4.2%	-12.00	-6.56	147.54	-191.39	282.64	266.04
	SPNA H51	SPN H27	10.9%	-24.00	-13.65	354.55	-436.34	726.58	693.39
		SPN H31	7.8%	-20.00	-11.02	262.58	-333.63	522.61	494.95
		SPN H35	5.6%	-16.00	-8.60	190.44	-249.70	370.62	348.49

Tabla B.6: Tabla con variaciones de resultados con deformación del cable

Soporte 1	Soporte 2	Soporte 2 (Propuesta)	% UTS	Desnivel Cable (m)	Flecha Máxima (m)	Tensión Vertical (kg)		Tensión Horizontal (kg)	
						Soporte 1 - Soporte 1	Soporte 2 - Soporte 2 (propuesta)	Soporte 1 - Soporte 1	Soporte 2 - Soporte 2 (propuesta)
REM H27 ó ANC H27	SPNA H39	SPN H27	7.9%	-12.00	-5.95	380.43	-203.54	465.22	448.62
		SPN H31	4.4%	-8.00	-3.85	214.21	-123.29	261.96	250.89
		SPN H35	1.9%	-4.00	-1.87	93.19	-57.30	113.96	108.42
	SPNA H43	SPN H27	10.4%	-16.00	-7.76	496.06	-262.88	607.64	585.51
		SPN H31	6.5%	-12.00	-5.66	315.66	-179.77	386.66	370.06
		SPN H35	3.7%	-8.00	-3.69	183.35	-111.67	224.59	213.53
	SPNA H47	SPN H27	12.8%	-20.00	-9.51	607.90	-319.61	745.37	717.71
		SPN H31	8.5%	-16.00	-7.41	412.70	-233.82	506.02	483.89
		SPN H35	5.5%	-12.00	-5.44	270.65	-163.79	331.86	315.26
	SPNA H51	SPN H27	15.2%	-24.00	-11.22	717.38	-374.46	880.53	847.33
		SPN H31	10.5%	-20.00	-9.12	508.35	-286.12	623.95	596.29
		SPN H35	7.2%	-16.00	-7.15	355.45	-214.21	436.29	414.16
REM H31 ó ANC H31	SPNA H39	SPN H27	7.4%	-12.00	-6.28	397.52	-211.99	437.26	420.66
		SPN H31	4.1%	-8.00	-4.05	225.53	-128.61	248.08	237.02
		SPN H35	1.8%	-4.00	-1.97	98.48	-59.79	108.32	102.79
	SPNA H43	SPN H27	9.6%	-16.00	-8.17	518.02	-273.65	570.60	548.47
		SPN H31	6.0%	-12.00	-5.95	331.21	-187.38	364.83	348.24
		SPN H35	3.5%	-8.00	-3.87	193.16	-116.44	212.77	201.71
	SPNA H47	SPN H27	11.8%	-20.00	-10.01	634.53	-332.56	699.51	671.84
		SPN H31	7.9%	-16.00	-7.79	433.66	-243.62	478.06	455.94
		SPN H35	5.2%	-12.00	-5.71	285.28	-170.73	314.49	297.89
	SPNA H51	SPN H27	14.0%	-24.00	-11.80	747.79	-389.40	825.06	791.86
		SPN H31	9.8%	-20.00	-9.58	533.22	-297.93	588.32	560.66
		SPN H35	6.8%	-16.00	-7.50	374.71	-223.16	413.43	391.30
SPNA H39	SPNA H39	SPN H27	7.0%	-12.00	-6.50	407.24	-217.01	417.48	400.88
		SPN H31	3.9%	-8.00	-4.19	231.93	-131.84	237.77	226.70
		SPN H35	1.7%	-4.00	-2.05	102.11	-61.38	104.68	99.14
	SPNA H43	SPN H27	9.1%	-16.00	-8.47	531.22	-280.20	545.22	523.09
		SPN H31	5.8%	-12.00	-6.16	341.03	-192.11	350.02	333.42
		SPN H35	3.3%	-8.00	-4.01	200.21	-119.52	205.49	194.42
	SPNA H47	SPN H27	11.2%	-20.00	-10.36	648.88	-340.23	666.40	638.74
		SPN H31	7.5%	-16.00	-8.06	445.62	-249.64	457.65	435.52
		SPN H35	4.9%	-12.00	-5.90	293.89	-175.06	301.82	285.23
	SPNA H51	SPN H27	13.2%	-24.00	-12.21	765.42	-398.45	786.64	753.44
		SPN H31	9.3%	-20.00	-9.90	547.79	-305.23	562.98	535.31
		SPN H35	6.5%	-16.00	-7.75	386.49	-228.82	397.21	375.08
SPNA H43	SPNA H39	SPN H27	6.6%	-12.00	-6.79	420.30	-223.19	398.98	382.39
		SPN H31	3.7%	-8.00	-4.38	240.69	-135.78	228.48	217.41
		SPN H35	1.6%	-4.00	-2.13	105.75	-63.18	100.39	94.86
	SPNA H43	SPN H27	8.6%	-16.00	-8.82	546.40	-287.85	519.21	497.08
		SPN H31	5.5%	-12.00	-6.41	352.50	-197.62	334.96	318.36
		SPN H35	3.2%	-8.00	-4.16	207.24	-122.97	196.92	185.86
	SPNA H47	SPN H27	10.5%	-20.00	-10.79	668.14	-349.57	635.24	607.58
		SPN H31	7.2%	-16.00	-8.38	460.73	-256.75	438.04	415.91
		SPN H35	4.7%	-12.00	-6.14	305.21	-180.16	290.18	273.59
	SPNA H51	SPN H27	12.4%	-24.00	-12.70	786.51	-409.10	748.23	715.03
		SPN H31	8.8%	-20.00	-10.29	565.23	-313.72	537.72	510.06
		SPN H35	6.2%	-16.00	-8.04	399.61	-235.26	380.16	358.03
SPNA H47	SPNA H39	SPN H27	6.3%	-12.00	-7.04	430.29	-228.23	381.95	365.35
		SPN H31	3.6%	-8.00	-4.53	247.19	-138.99	219.41	208.35
		SPN H35	1.6%	-4.00	-2.20	108.79	-64.68	96.57	91.04
	SPNA H43	SPN H27	8.2%	-16.00	-9.15	559.63	-294.38	497.19	475.06
		SPN H31	5.2%	-12.00	-6.65	362.75	-202.38	322.28	305.68
		SPN H35	3.1%	-8.00	-4.31	213.74	-125.98	189.89	178.82
	SPNA H47	SPN H27	10.0%	-20.00	-11.19	683.74	-357.37	607.73	580.07
		SPN H31	6.8%	-16.00	-8.67	472.54	-262.66	420.01	397.88
		SPN H35	4.5%	-12.00	-6.35	314.28	-184.46	279.35	262.75
	SPNA H51	SPN H27	11.8%	-24.00	-13.15	803.09	-417.90	714.19	680.99
		SPN H31	8.4%	-20.00	-10.64	579.75	-320.90	515.56	487.90
		SPN H35	5.9%	-16.00	-8.31	411.05	-240.77	365.54	343.41
SPNA H51	SPNA H39	SPN H27	6.0%	-12.00	-7.29	439.65	-232.76	367.79	351.19
		SPN H31	3.4%	-8.00	-4.69	253.26	-141.86	211.86	200.80
		SPN H35	1.5%	-4.00	-2.28	112.19	-66.13	93.86	88.32
	SPNA H43	SPN H27	7.8%	-16.00	-9.46	570.72	-300.01	477.81	455.68
		SPN H31	5.0%	-12.00	-6.86	370.73	-206.40	310.38	293.78
		SPN H35	2.9%	-8.00	-4.45	218.89	-128.54	183.26	172.19
	SPNA H47	SPN H27	9.5%	-20.00	-11.56	697.00	-364.14	583.77	556.10
		SPN H31	6.5%	-16.00	-8.95	483.52	-267.94	404.97	382.84
		SPN H35	4.3%	-12.00	-6.55	322.39	-188.28	270.01	253.42
	SPNA H51	SPN H27	11.2%	-24.00	-13.59	819.01	-425.84	686.26	653.07
		SPN H31	8.0%	-20.00	-10.98	592.92	-327.26	496.82	469.16
		SPN H35	5.7%	-16.00	-8.58	421.90	-245.74	353.52	331.39

C. Costos asociados al tramo de línea seleccionado

Tabla C.1: Costos asociados al Tramo 1

Número de Torre	Tipo de Estructura	Costos de Suministros [U.M.]			Costos de Construcción [U.M.]			
		Estructura	Conductor	Ferretería	OO.CC.	Montaje de Estructura	Tendido	Remate
803	REM H27	190	44	121	3520	2888	1887	126
804	SPNA H39	100	60	63	1680	1520	2590	153
805	SPNA H51	133	64	64	1680	2028	2748	166
806	SPNA H47	124	64	64	1680	1884	2730	166
807	SPNA H47	124	64	64	1680	1884	2751	166
808	SPNA H47	124	65	64	1680	1884	2779	166
809	SPNA H51	133	62	64	1680	2028	2673	166
810	SPNA H51	133	66	64	1680	2028	2856	166
811	SPNA H51	133	65	64	1680	2028	2802	166
812	SPNA H51	133	64	64	1680	2028	2770	166
813	SPNA H39	100	59	63	1680	1520	2515	153
814	SPNA H43	116	65	64	1680	1764	2781	166
815	SPNA H51	133	64	64	1680	2028	2744	166
816	SPNA H43	116	64	64	1680	1764	2749	166
817	SPNA H51	133	58	63	1680	2028	2479	153
818	SPNA H39	100	46	62	1680	1520	1975	126
819	ANC H27	147	57	123	2867	2242	2431	153
820	SPNA H51	133	67	65	1680	2028	2896	180
821	SPNA H51	133	60	63	2154	2028	2581	153
822	ANC H31	164	57	111	2647	2501	2464	153
823	SPNA H51	133	47	62	1680	2028	2017	126
824	ANC H31	164	43	109	2647	2501	1863	112
825	ANC H27	147	40	121	2647	2242	1706	112
826	ANC H27	147	26	108	2647	2242	1104	85
827	REM H27	190	0	105	3520	2888	0	31

Tabla C.2: Costos asociados al Tramo 2

Número de Torre	Tipo de Estructura	Costos de Suministros [U.M.]			Costos de Construcción [U.M.]			
		Estructura	Conductor	Ferretería	OO.CC.	Montaje de Estructura	Tendido	Remate
1	REM H31	216	38	109	3520	3281	1627	112
2	ANC H27	147	47	121	2647	2242	2020	126
3	SPNA H39	100	57	63	1680	1520	2431	153
4	SPNA H47	124	61	64	1680	1884	2637	166
5	SPNA H51	133	58	63	2154	2028	2482	153
6	SPNA H47	124	72	65	2154	1884	3088	180
7	SPNA H51	133	66	64	1680	2028	2842	166
8	SPNA H51	133	62	64	1680	2028	2664	166
9	SPNA H51	133	65	64	1680	2028	2778	166
10	SPNA H51	133	62	64	1680	2028	2662	166
11	SPNA H43	116	52	63	1680	1764	2253	139
12	SPNA H39	100	54	63	1680	1520	2330	139
13	SPNA H39	100	49	62	1680	1520	2092	126
14	ANC H27	147	48	121	2647	2242	2044	126
15	SPNA H51	133	61	64	2154	2028	2626	166
16	SPNA H51	133	64	64	2154	2028	2748	166
17	SPNA H51	133	65	64	2154	2028	2802	166
18	SPNA H51	133	62	64	2154	2028	2673	166
19	SPNA H51	133	61	64	2154	2028	2619	166
20	SPNA H47	124	61	63	1680	1884	2605	153
21	SPNA H51	133	53	63	1680	2028	2290	139
22	REM H27	190	44	121	3897	2888	1874	126
23	SPNA H43	116	40	62	2154	1764	1711	112
24	SPN H31	74	24	60	1663	1122	1037	85
25	ANC H27	147	34	121	2867	2242	1441	112
26	SPN H31	74	41	62	1245	1122	1757	112
27	SPNA H39	100	49	63	1680	1520	2108	139
28	SPNA H47	124	51	63	1680	1884	2176	139
29	REM H31	216	59	123	3897	3281	2518	153
30	SPN H27	65	26	60	1663	983	1122	85
31	SPNA H51	133	60	63	2154	2028	2587	153
32	ANC H31	164	16	107	2867	2501	709	71
33	SPNA H51	133	36	62	2154	2028	1566	112
34	REM H27	190	44	121	3897	2888	1903	126
35	SPN H31	74	44	62	1245	1122	1883	126
36	SPN H35	82	44	62	1245	1247	1901	126
37	SPN H31	74	52	134	1663	1122	2230	139
38	SPNA H51	133	41	62	2154	2028	1745	112
39	ANC H27	147	36	109	2867	2242	1558	112
40	SPN H31	74	43	62	1663	1122	1835	112
41	SPNA H39	100	39	62	2154	1520	1681	112
42	ANC H27	147	23	119	2867	2242	1002	71
43	SPN H27	65	35	62	1663	983	1495	112
44	ANC H27	147	27	119	2867	2242	1141	85
45	ANC H27	147	78	113	2867	2242	3336	193
46	ANC H31	164	51	110	2867	2501	2175	139
47	ANC H31	164	58	111	2647	2501	2488	153
48	SPNA H51	133	68	65	1680	2028	2907	180
49	ANC H31	164	56	111	2647	2501	2405	153
50	SPNA H51	133	60	63	1680	2028	2598	153
51	SPNA H47	124	50	63	1680	1884	2158	139
52	SPN H35	82	29	61	1663	1247	1246	99
53	SPN H27	65	17	60	1663	983	720	71
54	SPN H27	65	24	60	1663	983	1014	85
55	ANC H31	164	51	110	2867	2501	2199	139
56	ANC H31	164	0	117	2867	2501	0	31

D. Análisis mecánico del tramo propuesto

Tabla D.1: Análisis mecánico de la propuesta del tramo 1

TORRE	ESTRUCTURA	TENSION EN EL CONDUCTOR (N)						TENSION TOTAL SOPORTE (N)			INFORMACIÓN ADICIONAL	
		VANO ATRÁS		VANO ADELANTE		VANO ATRÁS		Vertical	Transversal	Longitudinal	Vano (m)	Flèche Máx. (m)
		Vertical	Longitudinal	Vertical	Transversal	Longitudinal	Vertical	Transversal	Longitudinal			
803	REM H27	0	0	16606	15217	-48160	16606	15217	-48160	405.4	15.44	19.30%
804	SPN H35	8676	-75	10920	2	-50468	19596	-73	-2	414.51	16.36	19.30%
804-A	SPN H31	7901	-2	50468	9866	0	17767	-2	-1	363.79	12.6	19.30%
804-C	SPN H27	6991	0	50468	8792	-2	15783	-2	0	392.92	14.7	19.30%
805	SPN H35	9186	2	50468	10604	-48	19790	-46	0	499.07	23.74	19.30%
806	SPNA H47	11496	48	50469	13122	0	24618	48	0	526.32	26.42	19.30%
807	SPNA H39	10049	0	50469	11721	52	21770	52	-1	463.19	20.44	19.30%
808	SPN H35	9228	-52	50470	10887	0	19876	-52	0	447.96	19.11	19.30%
809	SPN H35	9228	0	50470	10802	-51	20030	-51	0	466.01	20.69	19.30%
810	SPNA H39	10011	51	50470	11404	-1	21415	50	0	519.75	25.75	19.30%
811	SPNA H47	11502	1	50470	12931	0	24433	1	0	573.64	31.39	19.30%
812	SPNA H51	12083	0	50470	12160	0	24243	0	0	574.88	31.52	19.30%
813	SPNA H43	12902	0	50470	8940	0	21842	0	0	479.27	21.9	19.30%
814	SPNA H47	12391	0	50470	12528	0	24919	0	0	545.2	28.34	19.30%
815	SPNA H51	11373	0	50470	15186	0	26559	0	0	588.37	33.06	19.30%
816	SPNA H43	10428	0	50470	12309	1	22737	1	0	545.33	28.36	19.30%
817	SPNA H47	11596	-1	50470	13767	47	25363	46	1	484.14	22.37	19.30%
818	SPN H35	7783	-47	50469	10380	-98	18163	-145	0	391.41	14.52	19.30%
819	ANC H27	14303	5522	50166	18663	5443	32966	10965	95	504.49	24.22	19.26%
820	SPNA H51	10409	-30	50366	15478	0	25887	-30	-5	601.13	34.59	19.26%
821	SPNA H51	10640	0	50371	13423	-32	24063	-32	-6	535.75	27.43	19.26%
822	ANC H31	16844	32	50377	17053	33	33897	65	-759	511.42	24.59	19.56%
823	SPNA H51	12395	-33	51138	11852	-41	24247	-74	-2	418.56	16.47	19.56%
824	ANC H31	14029	41	51138	16754	32	30783	73	-69	386.61	14.18	19.57%
825	ANC H27	14356	-12377	49689	15011	-12369	29367	-24746	29	353.98	11.94	19.58%
826	ANC H27	14810	-3871	51031	12495	-3566	27305	-7437	4256	229.12	5.46	18.05%
827	REM H27	12522	-10972	45609			12522	-10972	45609			

Tabla D.2: Análisis mecánico de la propuesta del tramo 2

TORRE	ESTRUCTURA	TENSION EN EL CONDUCTOR (N)						TENSION TOTAL SOPORTE (N)			INFORMACIÓN ADICIONAL		
		VANO ATRÁS			VANO ADELANTE			Vertical	Transversal	Longitudinal	Vano (m)	Flecha Máx. (m)	% UTS
		Vertical	Transversal	Longitudinal	Vertical	Transversal	Longitudinal						
1	REM H31				15135	12736	-54517	15135	12736	-54517	337.66	10.7	19.53%
2	ANC H27	14170	-2913	55737	15559	-1689	-55393	29729	-4602	344	419.3	17.05	19.05%
3	SPN H35	10132	3764	55322	9152	4927	-55356	19284	8691	-34	504.61	24.61	19.05%
4	SPNA H43	13179	5043	55347	8893	5359	-55371	22072	10402	-24	547.21	28.98	19.05%
5	SPNA H51	15123	5454	55365	11171	5083	-55386	26294	10537	-21	515.09	25.63	19.05%
6	SPNA H39	11557	5086	55386	17039	6395	-55417	28596	11481	-31	640.99	39.83	19.05%
7	SPNA H51	10667	6263	55426	12475	5789	-55429	23142	12052	-3	589.9	33.65	19.05%
8	SPNA H51	13182	5844	55424	11961	5457	-55415	25143	11301	9	552.99	29.56	19.05%
9	SPNA H47	12248	5452	55416	11989	5668	-55410	24237	11120	6	576.56	32.14	19.05%
10	SPNA H51	13145	5703	55407	13273	5475	-55380	26418	11178	27	552.4	29.5	19.05%
11	SPNA H39	10918	5425	55383	10660	4618	-55345	21578	10043	38	467.67	21.12	19.05%
12	SPNA H39	10220	4626	55344	10611	4813	-55319	20831	9439	25	483.58	22.58	19.05%
13	SPN H35	10889	4741	55325	10471	3992	-55293	21360	8733	32	434.28	18.05	19.05%
14	ANC H27	15907	17061	52931	11992	17133	-54086	27899	34194	-1155	424.3	16.95	19.40%
15	SPNA H51	14040	4002	56421	12542	5420	-56427	26582	9422	-6	545.05	28.18	19.40%
16	SPNA H47	11352	5332	56435	13081	5629	-56447	24433	10961	-12	570.29	30.86	19.40%
17	SPNA H51	11801	5617	56448	13158	5731	-56453	24959	11348	-5	581.46	32.08	19.40%
18	SPNA H51	12161	5732	56453	13012	5470	-56446	25173	11202	7	554.75	29.2	19.40%
19	SPNA H47	11262	5471	56445	13930	5384	-56440	25192	10855	5	543.45	28.03	19.40%
20	SPNA H47	9912	5342	56441	13645	5328	-56446	23557	10670	-5	540.62	27.73	19.40%
21	SPNA H51	10084	5341	56443	13735	4508	-56444	23819	9849	-1	475.28	21.18	19.40%
22	REM H27	14292	23614	51729	12318	22676	-51648	26610	46290	81	388.92	14.18	19.35%
23	SPNA H39	12360	3692	56051	12868	3712	-56046	25228	7404	5	355.19	12.01	19.35%
24	SPN H27	3697	3375	56065	8819	1493	-56105	12516	4868	-40	215.19	4.36	19.35%
25	ANC H27	9077	8930	55502	18583	9816	-57473	27660	18746	-1971	299.17	7.89	20.76%
26	SPN H31	2567	2438	58158	11251	3618	-58260	13818	6056	-102	364.58	11.77	20.76%
27	SPN H35	5642	3633	58258	13098	4352	-58375	18740	7985	-117	437.57	16.98	20.76%
28	SPN H35	6628	4315	58377	12602	4149	-58458	19230	8464	-81	451.56	18.38	20.76%
29	REM H31	14241	-20862	54518	17161	-19480	-53036	31402	-40342	1482	522.64	26.17	19.49%
30	SPN H27	12443	4934	56511	9493	2385	-56479	21936	7319	32	232.77	5.11	19.49%
31	SPNA H51	2329	2330	56481	13386	5038	-56548	15715	7368	-67	536.94	27.24	19.49%
32	ANC H31	16921	5939	56509	3310	2310	-53273	20231	8249	3236	147.14	2.17	18.48%
33	SPNA H51	11988	1162	53290	16970	3202	-53313	28958	4364	-23	325.11	10.9	18.48%
34	REM H27	5161	-19324	49538	17476	-20335	-53890	22637	-39659	-4352	395.04	15.02	19.46%
35	SPN H31	7177	3523	57717	8517	3838	-57766	15694	7361	-49	390.75	14.41	19.46%
36	SPN H35	9373	3912	57762	9700	3970	-57802	19073	7882	-40	394.52	14.69	19.46%
37	SPN H31	8337	3852	57809	7865	4411	-57837	16202	8263	-28	462.9	20.26	19.46%
38	SPNA H51	12836	4743	57813	11317	3300	-57830	24153	8043	-17	362.25	12.4	19.46%
39	ANC H27	12211	4099	57812	14054	3912	-56125	26265	8011	1687	323.42	9.87	19.47%
40	SPN H31	7962	2736	56161	7859	3784	-56158	15821	6520	3	380.76	13.68	19.47%
41	SPN H31	9649	3775	56159	6406	3045	-56123	16055	6820	36	348.79	11.38	19.47%
42	ANC H27	16655	14684	54409	13841	13222	-52842	30496	27906	1567	207.87	4.12	18.97%
43	SPN H27	3793	1477	54308	7597	2636	-54330	11390	4113	-22	310.22	9.39	18.97%
44	ANC H27	13871	-3471	54234	19192	-4094	-50414	33063	-7565	3820	236.74	5.79	17.96%
45	ANC H27	6272	6954	50234	24130	11799	-54710	30402	18753	-4476	692.29	46.26	19.08%
46	ANC H31	19079	8937	55212	19322	6629	-56224	38401	15566	-1012	451.48	19.14	19.56%
47	ANC H31	14407	6161	56271	16111	7026	-56306	30518	13187	-35	516.32	25.28	19.40%
48	SPNA H51	13403	4874	56472	14060	5752	-56482	27463	10626	-10	603.42	34.57	19.40%
49	ANC H31	18848	6525	56452	13763	5551	-56193	32611	12076	259	499.24	23.76	19.34%
50	SPNA H51	15114	4711	56226	10202	5347	-56143	25316	10058	83	539.13	27.66	19.34%
51	SPNA H43	13468	5293	56150	6940	4492	-56006	20408	9785	144	447.92	19.1	19.34%
52	SPN H35	13319	4380	56016	964	2438	-55880	14283	6818	136	258.67	6.38	19.34%
53	SPN H27	12009	2792	55865	2073	1336	-55837	14082	4128	28	149.42	2.12	19.34%
54	SPN H27	6537	1774	55825	12938	1705	-55827	19475	3479	-2	210.43	4.24	19.34%
55	ANC H31	4799	2986	55798	25009	4986	-55043	29808	7972	755	456.34	20.25	19.02%
56	ANC H31	9092	10742	54274				9092	10742	54274			

E. Costos asociados al tramo propuesto

Tabla E.1: Costos asociados a la propuesta del tramo 1

Número de Torre	Tipo de Estructura	Costos de Suministros [U.M.]			Costos de Construcción [U.M.]			
		Estructura	Conductor	Ferretería	OO.CC.	Montaje de Estructura	Tendido	Remate
803	REM H27	190	45	121	3520	2888	1953	126
804	SPN H35	82	46	62	1245	1247	1997	126
804-A	SPN H31	74	41	62	1245	1122	1753	112
804-C	SPN H27	65	44	62	1245	983	1893	126
805	SPN H35	82	56	63	1245	1247	2405	153
806	SPNA H47	124	59	63	1680	1884	2536	153
807	SPNA H39	100	52	63	1680	1520	2232	139
808	SPN H35	82	50	63	1245	1247	2158	139
809	SPN H35	82	52	63	1245	1247	2245	139
810	SPNA H39	100	58	63	1680	1520	2504	153
811	SPNA H47	124	64	64	1680	1884	2764	166
812	SPNA H51	133	64	64	1680	2028	2770	166
813	SPNA H43	116	54	63	1680	1764	2309	139
814	SPNA H47	124	61	64	1680	1884	2627	166
815	SPNA H51	133	66	64	1680	2028	2835	166
816	SPNA H43	116	61	64	1680	1764	2628	166
817	SPNA H47	124	54	63	1680	1884	2333	139
818	SPN H35	82	44	62	1245	1247	1886	126
819	ANC H27	147	57	123	2867	2242	2431	153
820	SPNA H51	133	67	65	1680	2028	2896	180
821	SPNA H51	133	60	63	2154	2028	2581	153
822	ANC H31	164	57	111	2647	2501	2464	153
823	SPNA H51	133	47	62	1680	2028	2017	126
824	ANC H31	164	43	109	2647	2501	1863	126
825	ANC H27	147	40	121	2647	2242	1706	112
826	ANC H27	147	26	108	2647	2242	1104	85
827	REM H27	190	0	105	3520	2888	0	31

Tabla E.2: Costos asociados a la propuesta del tramo 2

Número de Torre	Tipo de Estructura	Costos de Suministros [U.M.]			Costos de Construcción [U.M.]			
		Estructura	Conductor	Ferretería	OO.CC.	Montaje de Estructura	Tendido	Remate
1	REM H31	216	38	109	3520	3281	1627	112
2	ANC H27	147	47	121	2647	2242	2020	126
3	SPN H35	82	57	63	1245	1247	2431	153
4	SPNA H43	116	61	64	1680	1764	2637	166
5	SPNA H51	133	58	63	2154	2028	2482	153
6	SPNA H39	100	72	65	2154	1520	3088	180
7	SPNA H51	133	66	64	1680	2028	2842	166
8	SPNA H51	133	62	64	1680	2028	2664	166
9	SPNA H47	124	65	64	1680	1884	2778	166
10	SPNA H51	133	62	64	1680	2028	2662	166
11	SPNA H39	100	52	63	1680	1520	2253	139
12	SPNA H39	100	54	63	1680	1520	2330	139
13	SPN H35	82	49	62	1245	1247	2092	126
14	ANC H27	147	48	121	2647	2242	2044	126
15	SPNA H51	133	61	64	2154	2028	2626	166
16	SPNA H47	124	64	64	2154	1884	2748	166
17	SPNA H51	133	65	64	2154	2028	2802	166
18	SPNA H51	133	62	64	2154	2028	2673	166
19	SPNA H47	124	61	64	2154	1884	2619	166
20	SPNA H47	124	61	63	1680	1884	2605	153
21	SPNA H51	133	53	63	1680	2028	2290	139
22	REM H27	190	44	121	3897	2888	1874	126
23	SPNA H39	100	40	62	2154	1520	1711	112
24	SPN H27	65	24	60	1663	983	1037	85
25	ANC H27	147	34	121	2867	2242	1441	112
26	SPN H31	74	41	62	1245	1122	1757	112
27	SPN H35	82	49	63	1245	1247	2108	139
28	SPN H35	82	51	63	1245	1247	2176	139
29	REM H31	216	59	123	3897	3281	2518	153
30	SPN H27	65	26	60	1663	983	1122	85
31	SPNA H51	133	60	63	2154	2028	2587	153
32	ANC H31	164	16	107	2867	2501	709	71
33	SPNA H51	133	36	62	2154	2028	1566	112
34	REM H27	190	44	121	3897	2888	1903	126
35	SPN H31	74	44	62	1245	1122	1883	126
36	SPN H35	82	44	62	1245	1247	1901	126
37	SPN H31	74	52	134	1663	1122	2230	139
38	SPNA H51	133	41	62	2154	2028	1745	112
39	ANC H27	147	36	109	2867	2242	1558	112
40	SPN H31	74	43	62	1663	1122	1835	112
41	SPN H31	74	39	62	1663	1122	1681	112
42	ANC H27	147	23	119	2867	2242	1002	71
43	SPN H27	65	35	62	1663	983	1495	112
44	ANC H27	147	27	119	2867	2242	1141	85
45	ANC H27	147	78	113	2867	2242	3336	193
46	ANC H31	164	51	110	2867	2501	2175	139
47	ANC H31	164	58	111	2647	2501	2488	153
48	SPNA H51	133	68	65	1680	2028	2907	180
49	ANC H31	164	56	111	2647	2501	2405	153
50	SPNA H51	133	60	63	1680	2028	2598	153
51	SPNA H43	116	50	63	1680	1764	2158	139
52	SPN H35	82	29	61	1663	1247	1246	99
53	SPN H27	65	17	60	1663	983	720	71
54	SPN H27	65	24	60	1663	983	1014	85
55	ANC H31	164	51	110	2867	2501	2199	139
56	ANC H31	164	0	117	2867	2501	0	31

F. Perfil longitudinal del tramo propuesto

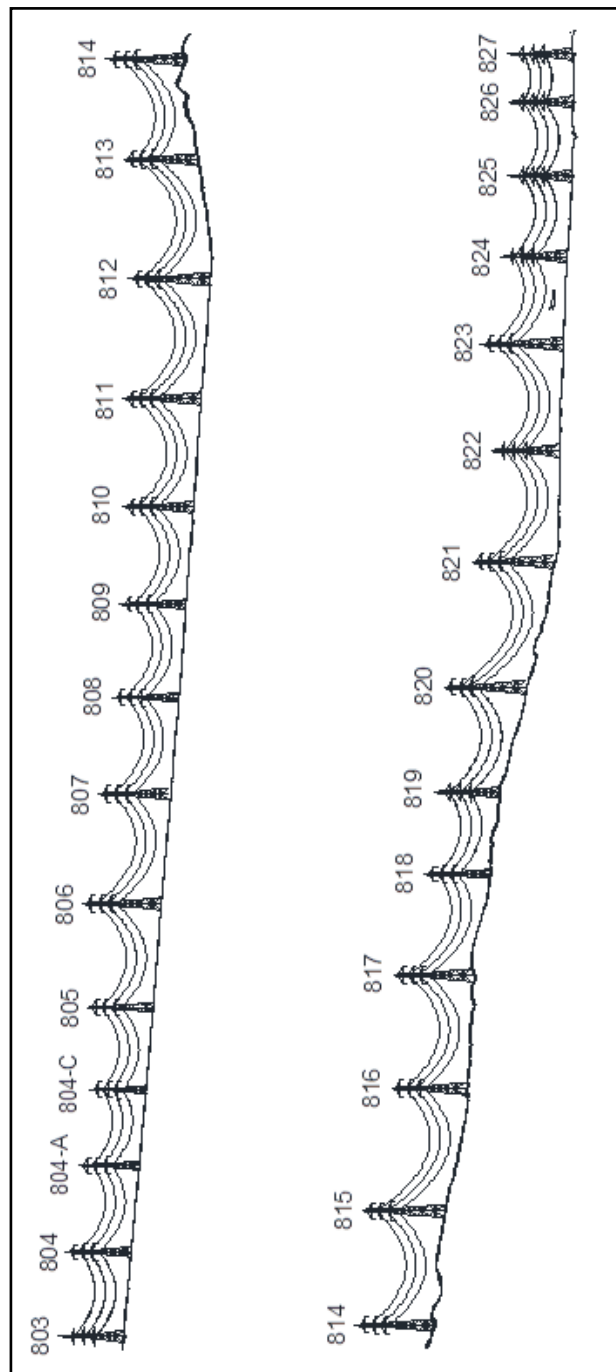


Figura F.1: Perfil longitudinal de la propuesta para el tramo 1

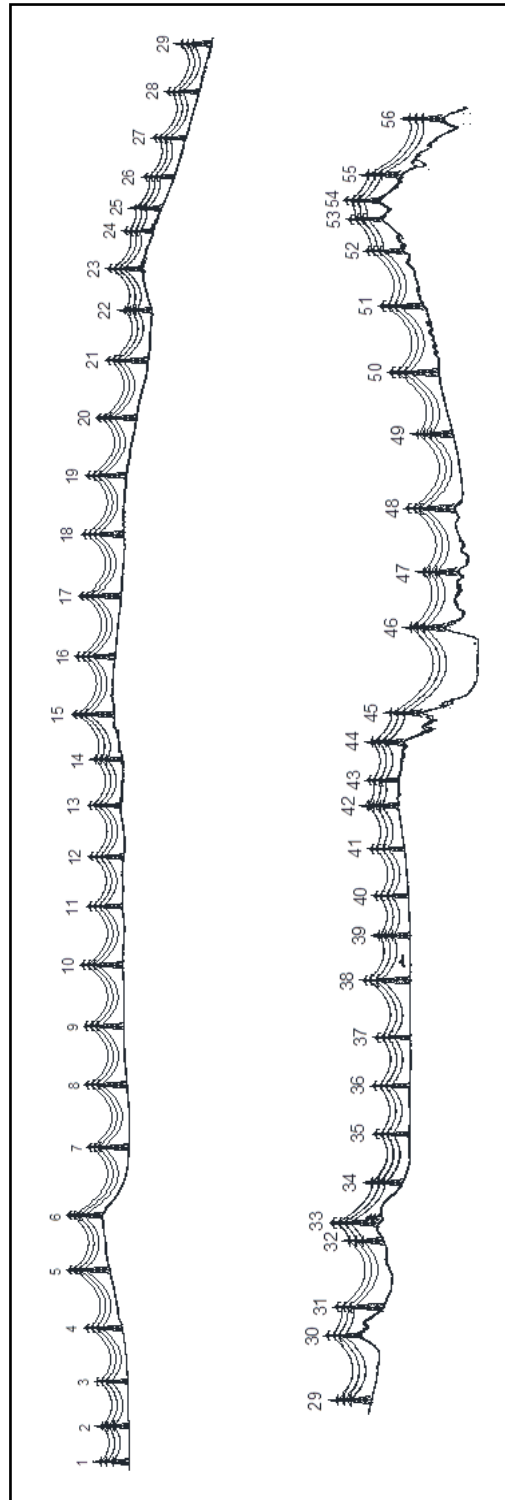


Figura F.2: Perfil longitudinal de la propuesta para el tramo 2