

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA REUBICACIÓN DEL CIRCUITO SANOL25 PROPIEDAD DE CEMEX COLOMBIA.

Autor

DIEGO ANDRÉS RUBIANO PARADA

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



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, 19 de noviembre 2020

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA REUBICACIÓN DEL CIRCUITO SANOL25 PROPIEDAD DE CEMEX COLOMBIA.

DIEGO RUBIANO PARADA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

Director:

Ing. Wilson David Lizarazo Cárdenas
david.ing.electrica@gmail.com

Codirector: Rafael Ríos García

Ingeniero Electromecánico

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

Dedicatoria

A mi razón de ser, mis padres Flor Parada y Misael Rubiano
Y mis hermanos Sandra Rubiano y John Rubiano

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme la oportunidad y la sabiduría para afrontar todo el proceso de aprendizaje profesional.

A mis padre y hermanos que han sido un apoyo incondicional en todo el proceso para cumplir el sueño de ser un Ingeniero.

A todos los docentes que han participado en mi proceso de formación y que aportaron su granito de arena para hacer este sueño realidad.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	14
2. Justificación.....	15
3. Objetivos	16
3.1 Objetivo general.....	16
3.2 Objetivos específicos.....	16
4. Marco de referencia	17
4.1 Características de la zona de influencia del proyecto	17
4.1.1 Ubicación	17
4.1.2 Características de San José de Cúcuta.	18
4.1.3 Características Los Patios.....	18
4.1.4 Características Villa del Rosario.....	18
4.2 Descripción del usuario.....	19
4.2.1 CEMEX Colombia	19
4.3 Descripción del operador de red.....	20
4.3.1 Centrales Eléctricas de Norte de Santander (CENS S.A. E.S.P.)	20
4.4 Reglamentación aplicada al diseño	21
4.4.1 Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE)	21
4.4.2 Norma Técnica Colombiana 2050.....	22
4.4.3 Norma interna Centrales Eléctricas de Norte de Santander.....	22
4.4.4 Resolución CREG 015 de 2018	23
4.5 Criterios normativos de diseño	23
4.5.1 Clasificación de los niveles de tensión	23
4.5.2 Demanda máxima por niveles de tensión	24
4.5.3 Criterios para redes de media tensión.....	25
4.5.4 Selección de la ruta.....	25
4.5.5 Regulación de tensión.....	26
4.5.6 Pérdidas máximas de potencia	27
4.5.7 Distancias mínimas de seguridad.....	28
4.5.8 Puesta a tierra.....	29
4.6 Definición de las características del circuito	30
4.6.1 Carga	31

4.6.2	Demanda.....	31
4.6.3	Demanda máxima	31
4.6.4	Frecuencia	31
4.6.5	Factor de seguridad	31
4.7	Cálculo mecánico del circuito	31
5.	Niveles de cargabilidad actuales	32
5.1	Demanda subestación san mateo	33
5.2	Demanda subestación los patios	34
5.3	Demanda subestación belén	35
5.4	Demanda subestación el saman.....	35
5.5	Demanda subestación palermo	36
6.	Escenarios para la reubicación del circuito SANOL25	39
6.1	Estado actual del circuito SANOL25.....	39
6.1.1	Falencias de la actual ubicación del circuito SANOL25	40
6.2	Primer escenario: reubicación del circuito SANOL25	41
6.3	Segundo escenario: alimentación del circuito SANOL25 por medio de la subestación Los Patios y soportada por la subestación Belén.....	42
6.3.1	Sin asumir la carga de Palermo.	43
6.3.2	Asumiendo la carga de Palermo	45
6.4	Tercer escenario: mantener el circuito sanol25 a la subestación san mateo y extenderlo para conectarlo a la subestación de los patios.....	47
7.	Diseño del circuito sanol25.....	49
7.1	Cálculo eléctrico	49
7.1.1	Demanda del circuito SANOL25.....	49
7.1.2	Datos para la selección del conductor.....	51
7.1.3	Regulación de tensión.....	52
7.1.4	Pérdidas máximas de potencia	53
7.2	Cálculo mecánico	54
7.2.1	Características del conductor.....	55
7.2.2	Distancia mínima al terreno.....	55
7.2.3	Flecha máxima vertical.....	55
7.2.4	Variables para el cambio de estado	57
7.2.5	Hipótesis de diseño	62

7.2.6 Flecha máxima sin desnivel para cada hipótesis	69
7.2.7 Flecha máxima con desnivel para cada hipótesis	72
8. Presupuesto del proyecto SANOL25.....	85
8.1 Definición y principales características de los materiales	85
8.1.1 Conductores.....	85
8.1.2 Aisladores	85
8.1.3 Templetes	86
8.1.4 Apoyos	86
8.2 Presupuesto estimado generado por unidades constructivas.....	86
8.3 Presupuesto estimado por Centrales Electricas de Norte de Santander S.A. E.S.P.	87
8.3.1 Estructura de suspensión.....	87
8.3.2 Estructura de retención	89
8.3.3 Costo de mano de obra.....	90
8.3.4 Valor de los conductores.....	90
8.3.5 Presupuesto estimado general del circuito SANOL25.....	91
8.4 Factibilidad del proyecto en términos económicos	91
9. Conclusiones.....	93
10. Recomendaciones.....	95
11. Referencias	96
12. ANEXOS	98
12.1 ANEXO 1: datos de simulación alternativa 2 SIN PALERMO proyectada al año 2021.....	98
12.2 ANEXO 2: datos de simulación alternativa 2 SIN PALERMO proyectada al año 2030.....	99
12.3 ANEXO 3: datos de simulación alternativa 2 con PALERMO proyectada al año 2021.....	100
12.4 ANEXO 4: datos de simulación alternativa 2 con PALERMO proyectada al año 2030.....	101
12.5 ANEXO 5: datos de simulación alternativa 3 proyectada al año 2021.....	102
12.6 ANEXO 6: datos de simulación alternativa 3 proyectada al año 2030.....	104
12.7 ANEXO 7: catálogo centelsa	105
12.8 ANEXO 8: Cálculos de regulación de tensión por tramos ACSR 266.8 MCM.	106

12.9	ANEXO 9: Cálculo pérdidas de potencia ACSR 266.8 MCM.....	107
------	---	-----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de tensión de servicio. [10].....	24
Tabla 2 Niveles de tensión y límites de carga según la demanda máxima del usuario. [10].....	24
Tabla 3 Constantes de regulación Kg para cable de aluminio ACSR desnudo. CENS. [10].....	27
Tabla 4 Límites de regulación de voltaje para un sistema de media tensión. EPM [12].....	27
Tabla 5 Límites de pérdidas de potencia. CENS. [10]	28
Tabla 6 Distancias mínimas de seguridad en diferentes situaciones. CENS. [10].	28
Tabla 7 Tensiones máximas de contacto en función del tiempo de despeje de la falla. RETIE. [13].....	30
Tabla 8 Valores de resistencia máximos para diferentes aplicaciones. RETIE. [13]	30
Tabla 9 Hipótesis a tener en cuenta para el diseño mecánico. CENS. [11].....	32
Tabla 10 Capacidad de conductores CENTELSA. Fuente. Ajustado de catálogo CENTELSA Anexo 7.....	52
Tabla 11 Regulación de tensión para diferentes conductores. Fuente: Autor.....	53
Tabla 12 Valores de resistencia en Ohm/m para conductores ACSR. Fuente: Adaptado de catálogo CENTELSA Anexo 7.	54
Tabla 13 Características ACSR 266.8 MCM. Fuente: Ajustado catalogo CENTELSA. Ver Anexo 7.	55
Tabla 14 Hipótesis A. Fuente: Weather Spark [20].....	62
Tabla 15 Hipótesis B. Fuente: Datos Tabla 9 y Weather Spark [20]	64
Tabla 16 Cambio de estado hipótesis B. Fuente: Autor.....	65
Tabla 17 Hipótesis C mínima temperatura. Fuente: Autor y Weather Spark [20].	66
Tabla 18 Cambio de estado hipótesis C mínima temperatura. Fuente: Autor.....	67
Tabla 19 Hipótesis C máxima temperatura. Fuente: Autor y Weather Spark [19].	68
Tabla 20 Cambio de estado hipótesis C máxima temperatura. Fuente: Autor.	68
Tabla 21 Valores de tensión para el conductor en las hipótesis de evaluación. Fuente: Autor.	69
Tabla 22 Valores de catenaria para condición de mínima temperatura. Fuente: Autor.	78
Tabla 23 Valores de catenaria para condición de máxima temperatura. Fuente: Autor.	80
Tabla 24 Valores de catenaria a desnivel para condición de mínima temperatura. Fuente: Autor.	82
Tabla 25 Valores de catenaria a desnivel para condición de máxima temperatura. Fuente: Autor.	84
Tabla 26 Valores de flecha para todos los casos de estudio del circuito SANOL25. Fuente: Autor.	85
Tabla 27 Presupuesto estimado UC SANOL25. Fuente: Autor.....	87

Tabla 28 Presupuesto estimado estructura tipo H suspensión 34.5 kV. Fuente: Autor.88

Tabla 29 Presupuesto estimado estructura tipo H retención 34.5 kV. Fuente: Autor.90

Tabla 30 Costo estimado mano de obra para las estructuras de 34.5 kV. Fuente: Autor.90

Tabla 31 Valor estimado de los conductores para todo el circuito SANOL25. Fuente: Autor.91

Tabla 32 Presupuesto estimado general del proyecto SANOL25. Fuente: Autor. .91

Tabla 33 Utilidad del proyecto SANOL25. Fuente: Autor.91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación departamento de Norte de Santander. Fuente: Google Maps 2020.....	17
Figura 2. Ubicación planta CEMEX Los Patios. Fuente: Google Maps 2020.....	20
Figura 3 Vista en 2D de las distancias mínimas de seguridad de la Tabla 6. [10].	29
Figura 4 Demanda de la subestación San Mateo con SANOL25 conectado. Fuente: Información suministrada por CENS.....	33
Figura 5 Demanda de la subestación Los Patios. Fuente: Información suministrada por CENS.....	34
Figura 6 Demanda de la subestación Belén. Fuente: Información suministrada por CENS.....	35
Figura 7 Demanda de la subestación Los Patios. Fuente: Información suministrada por CENS.....	36
Figura 8 Demanda de la subestación Palermo. Fuente: Información suministrada por CENS.....	37
Figura 9 Niveles de demanda de las subestaciones sujetas a estudio. Fuente: Información suministrada por CENS.....	38
Figura 10 Localización actual de la línea SANOL25. Fuente: CENS.....	39
Figura 11 Zona de incumplimiento de las distancias mínimas de seguridad. Fuente: CENS.....	41
Figura 12 Primer escenario para la ubicación del circuito SANOL25. Fuente: Autor.	42
Figura 13 Segundo escenario para la ubicación del circuito SANOL25. Fuente: Autor.	43
Figura 14 Niveles de carga para el escenario sin Palermo. Fuente. Simulación CENS.....	44
Figura 15 Cargabilidad del conductor para la configuración sin Palermo para el año 2030. Fuente. Simulación CENS.	45
Figura 16 Niveles de carga para el escenario con Palermo. Fuente. Simulación CENS.....	46
Figura 17 Cargabilidad del conductor para la configuración con Palermo para el año 2030. Fuente. Simulación CENS.	46
Figura 18 Tercer escenario para la ubicación del circuito SANOL25. Fuente: Autor.	47
Figura 19 Niveles de carga para el tercer escenario. Fuente. Simulación CENS.	48
Figura 20 Cargabilidad del conductor experimental del tercer escenario. Fuente. Simulación CENS.	49
Figura 21 Estructura de suspensión en H trifásica 34.5 kV. Fuente: Norma CENS. [19].....	56
Figura 22 Perfil de elevación de la Alternativa 3. Fuente: Google Earth.....	72
Figura 23 Máxima elevación del circuito propuesto SANOL25. Fuente: Google Earth.	73

Figura 24 Desnivel para el circuito SANOL25 con vano de 287 metros. Fuente: Google Earth.....	74
Figura 25 Estructura tipo H suspensión trifásica 34.5 kV. Fuente: Norma CENS estructuras.	88
Figura 26 Estructura tipo retención en H con doble disposición horizontal trifásica 34.5 kV. Fuente: Norma CENS estructuras.	89

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Catenaria para condición de mínima temperatura. Fuente: Autor.	79
Gráfica 2 Catenaria para condición de máxima temperatura. Fuente: Autor.	80
Gráfica 3 Catenaria en los escenarios de máxima y mínima temperatura. Fuente: Autor.	81
Gráfica 4 Catenaria a desnivel para condición de mínima temperatura. Fuente: Autor.	83
Gráfica 5 Catenaria a desnivel para condición de máxima temperatura. Fuente: Autor.	84

RESUMEN

El proyecto presenta una metodología que permitió establecer las características básicas que debe tener el circuito SANOL25 para que cumpla con los estándares mínimos de funcionamiento, debido a la complejidad del circuito, se limita a los cálculos eléctricos, mecánicos, un estimado del presupuesto necesario para poder llevar a cabo el proyecto y el beneficio que representa para el sistema de subestaciones de la zona a intervenir, todo esto sustentado en la normativa interna de CENS S.A. E.S.P. y normativa nacional que dan los parámetros mínimos a cumplir para poder llevar a cabo el diseño.

ABSTRACT

The project presents a methodology that allowed to establish the basic characteristics that must have the circuit SANOL25 to meet the minimum operating standards, due to the complexity of the circuit, is limited to electrical calculations, an estimate of the budget needed to carry out the project and the benefit it represents for the substation system in the area to be involved, All this is based on the internal regulations of CENS S.A. E.S.P. and national regulations that give the minimum parameters to be met to carry out the design.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto SANOL25 nace bajo un incumplimiento en las medidas de seguridad mínimas que deben respetar las redes de media tensión para salvaguardar la vida de las personas y animales, debido a esto, se presenta un estudio de factibilidad para la reubicación del circuito SANOL25 basado en los criterios generales estipulados por la normativa eléctrica aplicable y sustentando en simulaciones con proyección a varios años que permite la aplicación y duración de la estructura y sus componentes a futuro.

En el presente proyecto está contenido los criterios mínimos para ser aplicados en la ejecución del nuevo trazado del circuito SANOL25, mediante simulaciones de diferentes escenarios que dan una visión de cómo se comportan los elementos que actualmente se encuentran en servicio y con una proyección a 10 años que permite verificar como se comportará el circuito en varios años, adicionalmente, contiene cálculos de criterios eléctricos y mecánicos que están conforme lo establece la normativa RETIE, NTC 2050 y Norma interna del operador de red, lo que permite un correcto dimensionamiento de los elementos que compondrán el nuevo trazado del circuito y que aseguran su funcionamiento ante eventos naturales y de contingencia.

Se presenta un presupuesto estimado en base a los criterios establecidos en la resolución CREG 015 de 2018 y en contraste un presupuesto generado mediante la metodología usada en el operador de red para determinar el costo estimado de un proyecto.

2. JUSTIFICACIÓN

El circuito SANOL25 presenta una falencia en distancias mínimas de seguridad y debido a su ubicación que se alterna entre zona no poblada y zona con edificios y habitantes presenta un nivel de riesgo para los usuarios del área de influencia, esta alternancia entre zonas no permite un acceso de manera cómoda para operarios que ejecuten actividades de mantenimiento o atención de eventos.

Con la reubicación sustentada en simulaciones del circuito permite generar un aprovechamiento del circuito SANOL25 nuevo para el sistema de subestaciones de la zona a jurisdicción del operador de red atendiendo y abasteciendo además de la central de CEMEX a la población aledaña en momentos de contingencia estableciendo un suministro de manera más estable al sector.

Con el incentivo que el gobierno nacional reconoce a los operadores de red por realizar obras que benefician a la población en general y que permitan cumplir con el Plan de Desarrollo Nacional para el año 2022 se procede a determinar una nueva ruta sustentada bajo criterios mínimos de diseño establecidos por la normativa nacional eléctrica que permita corregir la actual falencia y generar el beneficio para la población de la zona.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la factibilidad para la reubicación del circuito SANOL25 asociado a la subestación San Mateo y propiedad de CEMEX Colombia.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los niveles de cargabilidad para la configuración del sistema existente.
- Plantear tres escenarios posibles para la reubicación del circuito SANOL25.
- Evaluar el mejor de los escenarios planteados para el circuito SANOL25.
- Determinar las unidades constructivas necesarias para el nuevo trasado con base a la resolución CREG 015 del 2018 y demás normas aplicables.
- Determinar el costo beneficio en la reubicación del circuito SANOL25.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

4.1.1 Ubicación

El departamento de Norte de Santander está ubicado en la zona norte del país sobre la cordillera de los Andes como lo muestra la Figura 1, limita por el norte y este con Venezuela, al sur con los departamentos de Boyacá y Santander y al oeste con el departamento del Cesar. El departamento cuenta con 40 municipios y su capital es la ciudad de Cúcuta, la cual colinda con los municipios de los Patios y Villa del Rosario. [1]

Figura 1. Ubicación departamento de Norte de Santander. Fuente: Google Maps 2020.



El rango de influencia del proyecto abarca al municipio de Los Patios en donde se ubica la central de la cementera CEMEX Colombia y la ciudad de Cúcuta, lugar donde se ubica la subestación de San Mateo, lugar donde parte el circuito que alimenta la empresa antes mencionada.

4.1.2 Características de San José de Cúcuta.

San José de Cúcuta se fundó en el año 1733 y hace parte del departamento de Norte de Santander como su capital, sus características más importantes están listadas a continuación: [2]

- Habitantes: 711.715 habitantes según el Censo Nacional de Población y Vivienda de año 2018. [3]
- Longitud: 1176 km^2 .
- Altitud: 320 msnm en promedio.
- Temperatura: 28 °C.

4.1.3 Características Los Patios.

Los Patios es un municipio que se fundó en el año 1985, se ubica a 7 km de la capital norte santandereana, sus características más importantes: [2]

- Habitantes: 89.091 habitantes según el Censo Nacional de Población y Vivienda de año 2018. [3]
- Longitud: 131 km^2 .
- Altitud: 250 msnm en promedio.
- Temperatura: 27 °C.

4.1.4 Características Villa del Rosario.

Villa del Rosario es un municipio que se fundó en el año 1761, se ubica a 5 km de la capital norte santandereana, sus características más importantes: [2]

- Habitantes: 101.952 habitantes según el Censo Nacional de Población y Vivienda de año 2018. [3]
- Longitud: 228 km^2 .
- Altitud: 440 msnm en promedio.
- Temperatura: 30 °C.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL USUARIO

El proyecto propone la reubicación del circuito SANOL25 asociado a la barra de 34.5 kV de la subestación San Mateo ubicada en Cúcuta y se extiende bajo propiedad de CEMEX hasta su planta ubicada en municipio de Los Patios.

4.2.1 CEMEX Colombia

4.2.1.1 Historia

CEMEX es una empresa de origen mexicano la cual inicia operaciones en el año 1906 con la apertura de la planta Hidalgo al norte del país, desde este momento comienza la producción de cemento y la elaboración de concretos. Para el año 1985 producen gracias a la apertura de nuevas plantas un total de 6.7 millones de toneladas de cemento al año, de esta cantidad, 574 mil toneladas son referentes a exportaciones a diferentes países del continente americano. Debido a esto, en el año 1992 inicia sus proyectos de expansión internacional con la compra de diferentes plantas de producción de concreto en el continente europeo. [4]

Para el año 1997, CEMEX se expande a diferentes países americanos con la compra de las plantas Vencemos en Venezuela, Boyano en Panamá, Balcones en Estados Unidos, Cementos Nacionales en la Republica Dominicana, Cementos Samper y Diamante en Colombia y la planta Rizal Cement en el continente asiático. [4]

En el año 2012 la empresa CEMEX ubicada en Colombia cambia su enfoque de compañía dedicada a la construcción y pasa a ofrecer un amplio portafolios que le permite ofrecer soluciones integrales y comienza a cotizar en la Bolsa de Valores de Colombia. [4]

4.2.1.2 Visión

“Construyendo un mejor futuro.” [4]

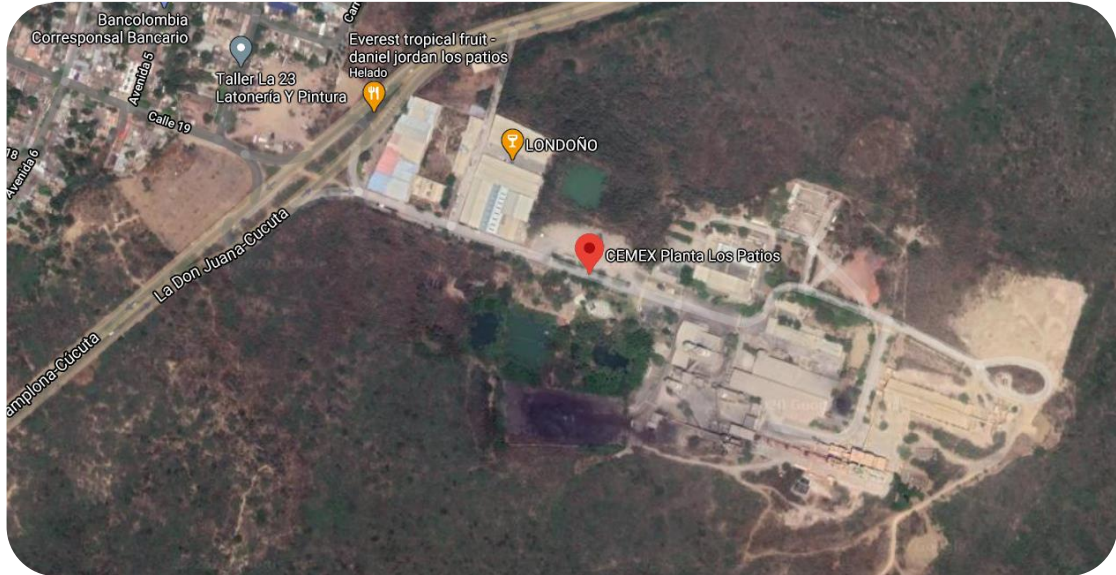
4.2.1.3 Misión

“Crear valor sostenido al proveer productos y soluciones líderes en la industria para satisfacer las necesidades de construcción de nuestros clientes en todo el mundo.” [4]

4.2.1.4 Ubicación

La planta de producción y preparación de concreto CEMEX se encuentra ubicada en el municipio de Los Patios sobre el anillo vial y la calle 19, se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Ubicación planta CEMEX Los Patios. Fuente: Google Maps 2020.



4.3 DESCRIPCIÓN DEL OPERADOR DE RED

4.3.1 Centrales Eléctricas de Norte de Santander (CENS S.A. E.S.P.)

“Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A E.S.P. cuya sigla es CENS S.A E.S.P, es una empresa de servicios públicos mixta de nacionalidad colombiana, constituida como sociedad por acciones del tipo de las anónimas, sometida al régimen general de los servicios públicos domiciliarios y que ejerce sus actividades dentro del ámbito del derecho privado como empresario mercantil. La empresa como la conocemos hoy, fue constituida el 16 de octubre de 1952 mediante Escritura Pública 3552 de la Notaría Octava de Bogotá y quedó configurada como filial del Grupo Empresarial EPM a partir del 19 de marzo de 2009.” [5]

“CENS S.A E.S.P. está autorizada para prestar el servicio público domiciliario de energía eléctrica y sus actividades complementarias de transmisión, distribución y

comercialización, así como la comercialización y prestación de servicios de telecomunicaciones y las actividades que la complementen, de acuerdo con el marco legal regulatorio.” [5]

CENS cuenta con 4 regionales, Pamplona, Aguachica, Ocaña y Tibú. La central operativa se encuentra ubicada en San José de Cúcuta donde se localizan dos subestaciones, Belén y San Mateo. [5]

4.3.1.1 Visión

“En el año 2022, CENS será reconocida entre sus grupos de interés como una empresa socialmente responsable; referente en estándares de excelencia, con modelos de gestión, reputación y transparencia que impulsen la productividad de los negocios en que participa; ofreciendo un portafolio integral de soluciones competitivas de energía eléctrica que contribuya al cumplimiento de la MEGA y al posicionamiento multilatina del Grupo Empresarial EPM.” [5]

4.3.1.2 Misión

“CENS es una empresa del Grupo Empresarial EPM que presta los servicios de Transmisión, Distribución y Comercialización de energía eléctrica, contribuyendo a la construcción de territorios competitivos y sostenibles en donde participa, mediante la prestación responsable e integral de soluciones de energía eléctrica.” [5]

4.4 REGLAMENTACIÓN APLICADA AL DISEÑO

4.4.1 Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE)

El objetivo principal del reglamento RETIE es establecer los criterios mínimos que debe cumplir toda instalación eléctrica o producto, esto con el ánimo de proteger la vida humana, animal, vegetal y preservar el medio ambiente en el cual se van a realizar este tipo de proyectos minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. [6]

De igual forma, este reglamento es un instrumento técnico-legal en Colombia que permite regular las instalaciones eléctricas, los productos y los operarios que sean

necesarios en la ejecución de todo proyecto enfocado a la generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica por el usuario final. [6]

El campo de acción de la reglamentación puede ser utilizado en los siguientes aspectos:

Instalaciones: “Se consideran como instalaciones eléctricas los circuitos eléctricos con sus componentes, tales como, conductores, equipos, máquinas y aparatos que conforman un sistema eléctrico y que se utilizan para la generación, transmisión, transformación, distribución o uso final de la energía eléctrica”. [6]

Personas: “Este Reglamento debe ser observado y cumplido por todas las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, contratistas u operadores que generen, transformen, transporten, distribuyan la energía eléctrica; y en general, por quienes usen, diseñen, supervisen, construyan, inspeccionen, operen o mantengan instalaciones eléctricas en Colombia.” [6]

Productos: “Los productos que estén directamente relacionados con el objeto y campo de aplicación deben dar cumplimiento a los requisitos establecidos en este reglamento y demostrar mientras un certificado de conformidad del producto.” [6]

4.4.2 Norma Técnica Colombiana 2050

El código eléctrico colombiano tiene como objetivo salvaguardar la vida de las personas y de los bienes contra los riesgos que se pueden presentar en toda instalación eléctrica, por tanto, contiene disposiciones que se consideran necesarias para la seguridad. [7]

El código tiene como alcance las instalaciones de conductores eléctricos y dispositivos en estructuras de orden privado o público, incluyendo las casas móviles, vehículos de recreo, parques de diversiones, subestaciones, entre otras áreas similares. [7]

4.4.3 Norma interna Centrales Eléctricas de Norte de Santander

“Las Normas para el Diseño y Construcción de Sistemas de Distribución de CENS establecen criterios unificados para que se cumplan las condiciones de calidad en el diseño y construcción de sistemas eléctricos, contribuyendo a la disminución de

accidentes que se puedan presentar en el proceso de utilización de la energía eléctrica.” [8]

“El objeto fundamental de estas normas es el establecimiento de medidas que garanticen la seguridad de las personas, la preservación de la vida animal y vegetal y del medio ambiente, y la calidad y continuidad del servicio; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. Estas normas se desarrollaron para garantizar la prestación del servicio mediante el aprovechamiento de la infraestructura instalada, ampliación de la calidad, cobertura y empleo de nuevas tecnologías.” [8]

La aplicación de la norma CENS será obligatoria en todas las zonas en que tenga influencia el operador de red, como lo son las regionales de Cúcuta, Aguachica, Ocaña, Pamplona y Tibú. Se deberán aplicar a toda instalación nueva, ampliación y remodelación de una instalación ya existente. [8]

4.4.4 Resolución CREG 015 de 2018

“Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el sistema interconectado nacional” [9]

“Esta resolución es aplicable a todos los agentes que presten el servicio de distribución de energía eléctrica y a los usuarios que hagan uso del servicio.” [9]

4.5 CRITERIOS NORMATIVOS DE DISEÑO

4.5.1 Clasificación de los niveles de tensión

Con el fin de establecer los rangos para los niveles de tensión que garanticen el adecuado funcionamiento del sistema eléctrico y de los equipos, se presentan los rangos definidos para la operación del voltaje, como se observa en la Tabla 1. [10]

Tabla 1 Niveles de tensión de servicio. [10]

NIVEL DE TENSIÓN DE SERVICIO	TENSIÓN NOMINAL ENTRE FASES
Extra alta tensión (EAT)	Tensión mayor a 230 kV
Alta tensión (AT)	Tensiones mayores o iguales a 57.5 kV y menores o iguales a 230 kV
Media tensión (MT)	Tensiones mayores o iguales a 1 kV y menores o iguales a 57.5 kV
Baja tensión (BT)	Tensiones mayores o iguales a 25 V y menores o iguales a 1000 V
Muy baja tensión (MBT)	Tensiones menores a 25 V

Para objetivo del proyecto se trabaja en un rango de media tensión que comprende voltajes entre 1kV y 57.5kV, siendo una tensión de servicio de 34.5 kV.

4.5.2 Demanda máxima por niveles de tensión

La demanda máxima de un nuevo usuario determina el nivel de tensión que requiere para su instalación. Los niveles se pueden observar en la Tabla 2. [10]

Tabla 2 Niveles de tensión y límites de carga según la demanda máxima del usuario. [10]

NIVEL DE TENSIÓN	TIPO DE CONEXIÓN	CAPACIDAD INSTALADA (kVA)
Nivel 1	Monofasico bifilar 120 V	Menor o igual a 6.6 kVA
	Bifasico trifilar 2x120V/240V	Mayor a 6.6 kVA y menor igual a 12 kVA
	Trifasico tetrafilar 3x120V/220V	Mayor a 15 kVA y menor igual a 35 kVA
Nivel 2	Media (13200 V)	Mayor a 30 kVA y menor igual a 2200 kVA
Nivel 3	Media (34500 V)	Desde 1500 kVA en adelante

4.5.3 Criterios para redes de media tensión

Para la construcción, reposición y mantenimiento de redes eléctricas en media tensión se deben tener en cuenta los siguientes criterios: [11]

- Mantener un único calibre de conductor para las troncales siendo este de calibre 266.8 MCM y para los ramales un calibre mínimo de 2/0 AWG, en caso de que por los cálculos se requiera un conductor de mayor capacidad.
- En las redes rurales el calibre del conductor mínimo a utilizar es de 2 AWG y deberá ser soportado por cálculos mecánicos.
- En lo posible se debe seccionar el circuito en tres partes tratando de dividir la carga de manera proporcional y tener suplencia de otro circuito ligado a otras subestaciones.
- En el circuito principal o troncal no se deben instalar fusibles, solo cuando se realiza una derivación por medio de un ramal el cual será conectado por medio de fusibles y dispositivos de protección contra sobrevoltajes DPS.
- En general se deberá propender la utilización de los corredores viales para la instalación de los nuevos circuitos.

4.5.4 Selección de la ruta

Los criterios para el trazado de la ruta de una red de media tensión debe ser recto y de fácil acceso, se permiten desviaciones de la ruta con el fin de evitar los siguientes escenarios: [11]

- Cruce de terrenos.
- Pantanos.
- Lagos.
- Zonas de inestabilidad geológica.
- Aeropuertos.
- Bosque cuya tala no sea autorizada por los organismos competentes.
- Construcciones.
- Escenarios deportivos.
- Otros escenarios que serán seleccionados según criterios internos de CENS.

Para realizar un cambio de ruta es necesario que se justifica en términos técnicos y económicos. [11]

Las condiciones ideales que debe tener la ruta a considerar para un nuevo tendido eléctrico son las siguientes: [11]

- Bajo costo de servidumbres.
- Bajo costo de construcción.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Bajo impacto ambiental.

4.5.5 Regulación de tensión

Para la regulación de tensión la normativa interna de CENS presenta la metodología que se aplica para el cálculo de dicho parámetro. A continuación, se presenta el paso a paso junto con las fórmulas y los criterios a tener en cuenta según los valores del diseño. [10]

$$R\% = F_c \frac{K_g}{V_L^2} M \quad (1)$$

Donde:

F_c = Factor de corrección, se determina de acuerdo al tipo de conexión y al tipo de sistema del circuito. Se puede observar en la Tabla 3.

M = Momento eléctrico. Se calcula como el producto de la potencia aparente en (kVA) y la longitud del tramo del conductor en (m).

V_L = Voltaje de la línea (V).

K_g = Constante de regulación generalizada del conductor. Se calcula de la siguiente manera:

$$K_g = KG * 100 \quad (2)$$

El cálculo de KG se realiza de la siguiente manera:

$$KG = (r \cos \phi + XL \sin \phi) \quad (3)$$

Donde:

r = Resistencia por unidad de longitud del conductor a una temperatura determinada (Ohm/km).

XL = Reactancia inductiva por unidad de longitud del conductor (Ohm/km).

ϕ = Ángulo del factor de potencia de la carga.

Tabla 3 Constantes de regulación Kg para cable de aluminio ACSR desnudo. CENS. [10]

Constante Kg para distintos factores de potencia			
Tensión	34500 V		
Calibre (AWG)	0.8	0.9	0.95
2/0	49.62	50.29	49.65
3/0	42.11	41.9	40.83
4/0	36.07	35.16	33.76
266.8 MCM	20.52	22.84	23.94
300 MCM	18.47	20.53	21.5
336.4 MCM	16.42	18.23	19.07
397.5 MCM	14.09	15.6	16.3
477 MCM	11.86	13.09	13.65

Con la aplicación de la formula (1) resulta un porcentaje de regulación que debe estar dentro de los limites dados por la Tabla 4.

Tabla 4 Limites de regulación de voltaje para un sistema de media tensión. EPM [12]

Nivel de tensión	Área	Límite de regulación de voltaje
Circuitos de media tensión	Primaria	Menor o igual a 3% a partir del barraje de la subestacion de distribución.
	Secundaria	Menor o igual a 3% a partir del punto de conexión.

4.5.6 Pérdidas máximas de potencia

Para el cálculo de las pérdidas de potencia en un sistema trifásico CENS en su norma interna propone una metodología dada a continuación: [10]

$$PL\% = \frac{rM}{V_L^2 \cos \phi} 100 \quad (4)$$

Donde:

r = Resistencia por unidad de longitud en (Ohm/km).

M = Momento eléctrico en (kVA*m).

ϕ = Angulo del factor de potencia de la carga.

V_L = Tensión de la línea en (V).

Para el resultado de la formula (4) se deben tener en cuenta unos límites permitidos para la pérdida de potencia, dados en la Tabla 5.

Tabla 5 Límites de pérdidas de potencia. CENS. [10]

Componente	Pérdidas de potencia
Líneas de distribución (MT)	1%
Redes de baja tensión	2.35%

4.5.7 Distancias mínimas de seguridad

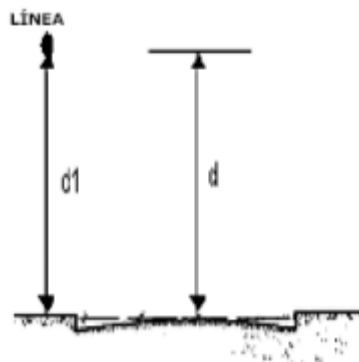
Las distancias mínimas de seguridad se adoptan de la normativa NFPA 70E que está incluida en la RETIE. El objetivo de las distancias mínimas de seguridad es brindar al usuario un espacio sin peligro de contactos accidentales. [10]

“Las distancias de seguridad establecidas en las siguientes tablas aplican a conductores desnudos.” [10]

Tabla 6 Distancias mínimas de seguridad en diferentes situaciones. CENS. [10]

DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD EN DIFERENTES SITUACIONES		
DESCRIPCIÓN	TENSIÓN NOMINAL ENTRE FASES (Kv)	DISTANCIA (m)
Distancia mínima al suelo “d” en cruces con carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular.	34.5	5.6
Cruce de líneas aéreas de baja tensión en grandes avenidas.	34.5	5.6
Distancia mínima al suelo “d1” desde líneas que recorren avenidas, carreteras o calles.	34.5	5.6
Distancia mínima al suelo “d” en bosques áreas cultivadas, pastos huertos, etc.	34.5	5.6

Figura 3 Vista en 2D de las distancias mínimas de seguridad de la Tabla 6. [10]



4.5.8 Puesta a tierra

Toda instalación eléctrica debe contar con un sistema de puesta a tierra, asegurando que las personas que transiten por la zona no sean sometidas a tensiones de paso, contacto o transferencias. Las funciones del sistema de puesta a tierra son las siguientes: [13]

- Garantizar condiciones de seguridad de los seres vivos.
- Permitir a los dispositivos de protección despejar rápidamente las fallas.
- Servir de referencia común al sistema eléctrico.
- Conducir y disipar una cantidad de corriente de falla, electrostática y de rayo.
- Realizar una conexión de baja resistencia con la tierra y con puntos de referencia de los equipos.

4.5.8.1 Requisitos generales del sistema puesta a tierra

Los ítems listados a continuación hacen parte de los requisitos de todo sistema de puesta a tierra: [13]

- Los elementos que actúen como refuerzo de las estructuras debe estar conectados a tierra de manera permanente.
- Las conexiones de los diferentes elementos de la puesta a tierra deben estar soldadas de forma exotérmica o estar conectada mediante conectores certificados.
- Se deben dejar puntos de inspección para verificar el estado de la conexión y realizar mediciones.

- No se deben superar los valores de tensión de paso que puede soportar un ser humano cuyo valor resistivo es de aproximadamente 1000 Ohm, esta tensión de paso se da en función al tiempo en que la falla se disipa. Estos valores de tensión se pueden observar en la Tabla 7.

Tabla 7 Tensiones máximas de contacto en función del tiempo de despeje de la falla. RETIE. [13]

Tiempo de despeje de la falla	Máxima tensión de contacto admisible (rms c.a.) según IEC para el 95% de la población	Máxima tensión de contacto admisible (rms c.a.) según IEEE para personas de 50 kg.
Mayor a dos segundos	50 voltios	82 voltios
Un segundo	55 voltios	116 voltios
700 milisegundos	70 voltios	138 voltios
500 milisegundos	80 voltios	164 voltios
400 milisegundos	130 voltios	183 voltios
300 milisegundos	200 voltios	211 voltios
200 milisegundos	270 voltios	259 voltios
150 milisegundos	300 voltios	299 voltios
100 milisegundos	320 voltios	366 voltios
50 milisegundos	345 voltios	518 voltios

4.5.8.2 Valores de referencia de resistencia del sistema de puesta a tierra

El objetivo de un buen sistema de puesta a tierra es garantizar las tensiones de paso, es por esto que una resistencia de puesta a tierra es un valor que limita en gran medida la elevación del potencial. Los valores máximos de resistencia se ven reflejados en la Tabla 8. [13]

Tabla 8 Valores de resistencia máximos para diferentes aplicaciones. RETIE. [13]

Aplicación	Valores máximos de resistencia de puesta a tierra (Ohm)
Estructuras y torrecillas metálicas de líneas o redes con cable de guarda	20
Subestaciones de alta y extra alta tensión	1
Subestaciones de media tensión	10
Protección contra rayos	10
Punto neutro de acometida en baja tensión	25
Redes para equipos electrónicos o sensibles	10

4.6 DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CIRCUITO

Las definiciones de las principales características del circuito nos dan un punto de partida para entender los procedimientos a realizar, para esto todo circuito

eléctrico cuenta con parámetros que lo identifican y los cuales rigen sus componentes, a continuación, los principales términos a utilizar: [8]

4.6.1 Carga

Es la potencia que es requerida para el correcto funcionamiento de los diferentes elementos que conforman un circuito eléctrico. [8]

4.6.2 Demanda

Es la cantidad de carga promedio que es requerida por el usuario y que se va a tomar de una fuente de suministro a cargo del operador de red. Generalmente sus unidades están dadas en kW o kVA. [8]

4.6.3 Demanda máxima

Es el valor de carga máximo que es requerido por el usuario en un tiempo determinado. [8]

4.6.4 Frecuencia

Es la cantidad de ciclos por segundo que realiza la onda, se mide en Hz. [8]

4.6.5 Factor de seguridad

Es la relación entre el esfuerzo máximo permisible y el esfuerzo de trabajo nominal de un equipo. [8]

4.7 CÁLCULO MECÁNICO DEL CIRCUITO

Los conductores que componen las líneas eléctricas son de característica heterogénea, por lo general compuestos de aluminio con núcleo de acero, es por esto que se deben realizar los cálculos mecánicos en función del módulo de elasticidad y de dilatación del conductor compuesto. [14]

Según Leoncio Cortes y James Guevara [15], los cálculos mecánicos de los conductores aéreos se deben determinar bajo diferentes hipótesis que reflejen las peores condiciones que podrá experimentar el conductor al estar expuesto a las

diferentes inclemencias climáticas. En concordancia, la norma CENS describe en la Tabla 9 tres hipótesis de diseño para las líneas.

Tabla 9 Hipótesis a tener en cuenta para el diseño mecánico. CENS. [11]

Hipótesis	Velocidad del viento (km/h)	Temperatura del conductor (°C)	Tensión mecánica (%)
Condición inicial de tendido	0	Temperatura ambiente	Máximo el 25% de la tensión de ruptura del conductor
Condición extrema de trabajo mecánico	100	Temperatura ambiente mínima de la zona donde se instala el conductor	Máximo el 50% de la tensión de ruptura del conductor
Condición extrema de flecha	0	Temperatura del conductor a la máxima temperatura ambiente	-

5. NIVELES DE CARGABILIDAD ACTUALES

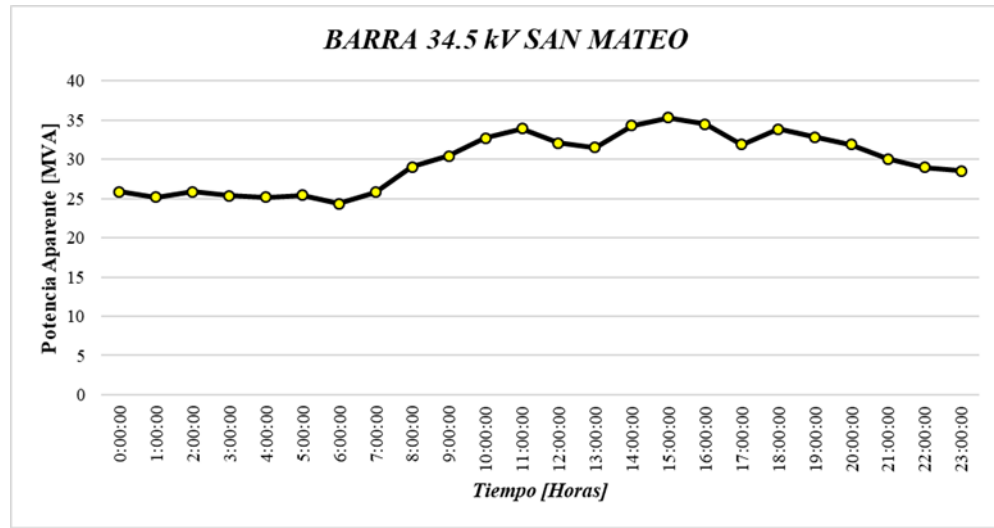
Para determinar los niveles de cargabilidad actuales de la configuración, CENS hace uso de un sistema SCADA que recopila los valores de tensión y de carga de las subestaciones bajo su jurisdicción. Para el circuito SANOL25 que actualmente se encuentra conectado a la barra 34.5 kV de la subestación de San Mateo, los niveles de carga de dicha subestación soportando la carga del circuito a estudiar se ven reflejados en la Figura 4. La datos utilizados y mostrados a continuación son proporcionados como información por parte de los profesionales a fines que trabajan en las correspondientes áreas de Centrales Eléctricas de Norte de Santander S.A. E.S.P, las simulaciones son realizadas por profesionales del área de gestión de información y se suministran a subgerencia de distribución donde asignaron el proyecto para ser analizado y poder generar una solución a la problemática expuesta, las simulaciones y demás estimaciones se realizan con una base de datos adquirida de las subestaciones hasta el día 17 de febrero del año 2020 de los cuales se tomaron los datos más elevados o máximos que genero el histórico, por el tiempo no fue posible precisar el día en que se presentaron los mayores datos ya que esa información se mantuvo en trámite durante varios meses y no se especificó en el momento de la recolección de datos.

Cerca de la ubicación de la planta de CEMEX se encuentran las subestaciones de Los Patios y la subestación El Samán ubicada en Villa del Rosario, es decir, se podría considerar la posibilidad de que el circuito que originalmente está conectado a San Mateo se pueda conectar a alguna de estas dos subestaciones siempre y cuando tengan la capacidad de soportar la carga. Para esto CENS

suministra los valores de carga de los diferentes subestaciones para ser estudiadas.

5.1 DEMANDA SUBESTACIÓN SAN MATEO

Figura 4 Demanda de la subestación San Mateo con SANOL25 conectado. Fuente: Información suministrada por CENS.



La gráfica muestra la demanda que presenta la subestación en un día que se dio los mayores términos de carga, este día dentro de la información suministrada por CENS no se indicó.

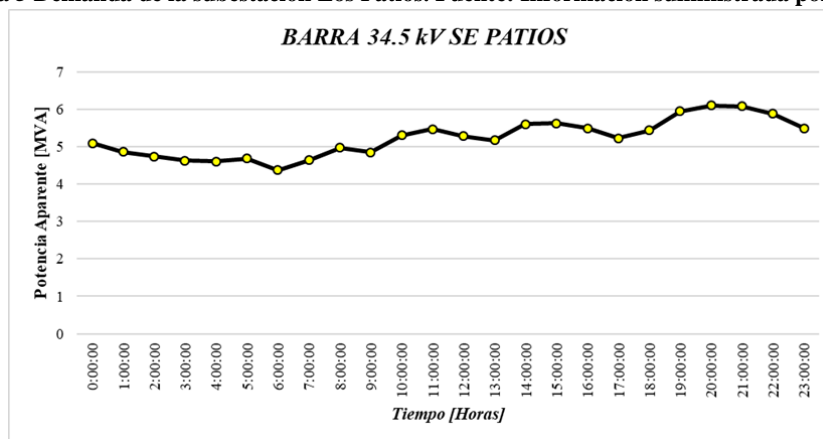
Valores importantes suministrados:

- Hora de máxima demanda: 15:00.
- Máxima demanda: 35.492 MVA.
- Cargabilidad del transformador: 85.39%.

Los valores nominales de la barra de 34.5 kV de la subestación San Mateo, la cual se deriva de un transformador que se conecta al patio de 115 kV, la potencia nominal del transformador es de 47 MVA.

5.2 DEMANDA SUBESTACIÓN LOS PATIOS

Figura 5 Demanda de la subestación Los Patios. Fuente: Información suministrada por CENS.



La Figura 5 muestra la demanda presente en la subestación de Los Patios, datos dados por el sistema SCADA de CENS y que se encuentra ubicada a aproximadamente 1.8 km de la planta de CEMEX.

Valores importantes suministrados:

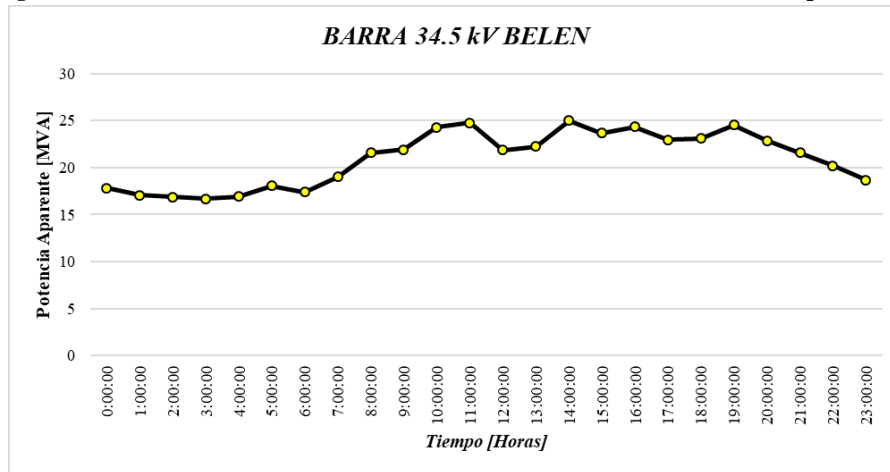
- Hora de máxima demanda: 20:00.
- Demanda máxima: 6.105 MVA.
- Cargabilidad del transformador: 46.66%.

Estos valores están dados gracias a las mediciones realizadas de forma horaria en la barra de 34.5 kV de la subestación, la demanda máxima a soportar por la subestación es de 12.5 MVA.

Esta subestación se encuentra conectada a la barra de 34.5 kV de la subestación de Belén, es por esto que en la Figura 6 representamos los valores de carga de esta barra para ser objeto de estudio.

5.3 DEMANDA SUBESTACIÓN BELÉN

Figura 6 Demanda de la subestación Belén. Fuente: Información suministrada por CENS.



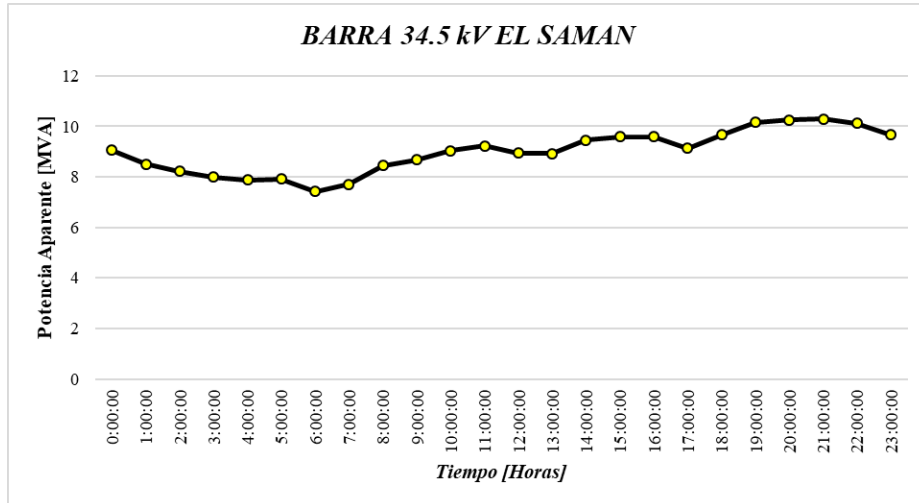
La subestación Belén junto con San Mateo son las más grandes e importantes de la regional Cúcuta, para este caso, se proporciona los valores más relevantes de la gráfica que se dan a continuación:

- Hora de máxima demanda: 14:00.
- Demanda máxima: 25.018 MVA.
- Cargabilidad del transformador: 57.36%.

Estos valores se dan para la barra de 34.5 kV perteneciente a la subestación de Belén.

5.4 DEMANDA SUBESTACIÓN EL SAMAN

Figura 7 Demanda de la subestación Los Patios. Fuente: Información suministrada por CENS.



En la Figura 7 se muestra la máxima demanda presente en la subestación El Samán ubicada en el municipio de Villa del Rosario a una distancia de 4.2 km aproximadamente de la planta de CEMEX.

Valores importantes suministrados:

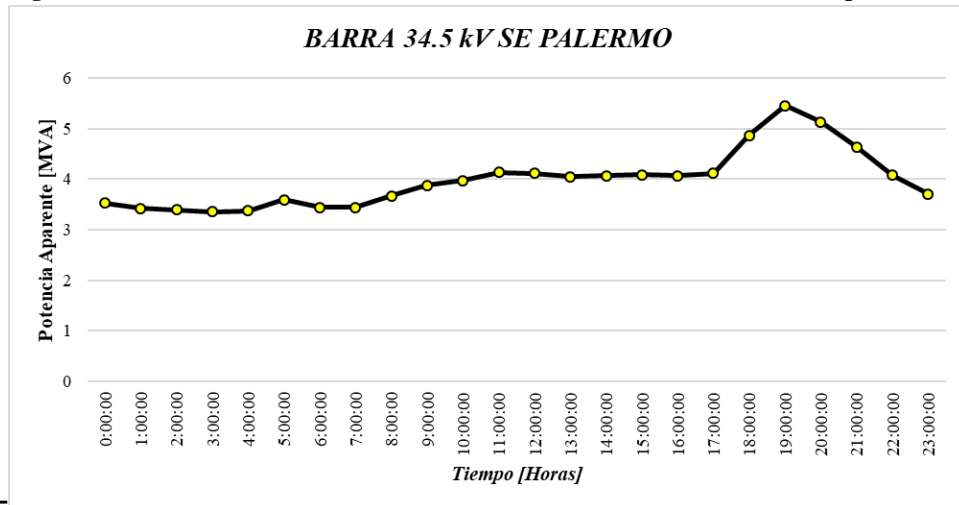
- Hora de máxima demanda: 21:00.
- Demanda máxima: 10.29 MVA.
- Cargabilidad del transformador: 82.83%.

La capacidad nominal de la subestación es de 12 MVA, conectada desde la barra de 34.5 kV de la subestación de San Mateo.

5.5 DEMANDA SUBESTACIÓN PALERMO

La subestación Palermo se encuentra asociada al circuito que parte de la subestación Belén y que se encuentra con la subestación de Los Patios, por tanto, se considera esta para establecer su nivel de cargabilidad del sistema ligado a ese circuito. Dichos niveles se observan en la Figura 8.

Figura 8 Demanda de la subestación Palermo. Fuente: Información suministrada por CENS.

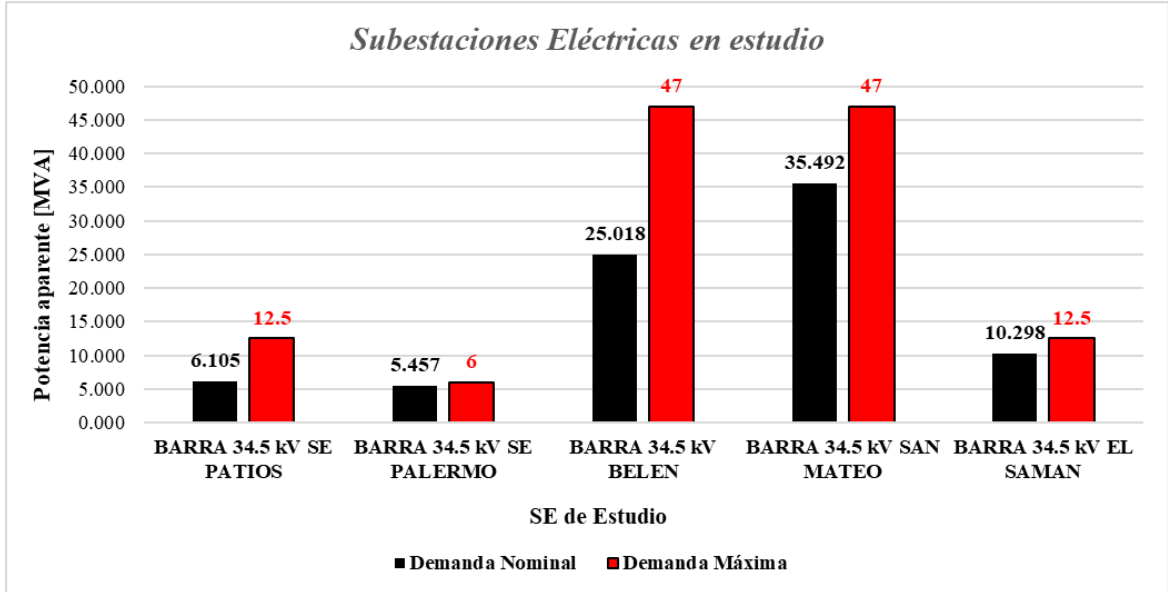


De la Figura 8 se observa lo siguiente:

- Hora de máxima demanda: 19:00.
- Demanda máxima: 5.45 MVA.
- Cargabilidad del transformador: 120.395%.

Como se observa, en las horas transcurridas entre las 17:00 y 22:00 se presentan los mayores picos de demanda en el cual el transformador por un periodo de tiempo alcanza una sobrecarga de 20.395% por encima de sus valores nominales. Para reflejar los niveles de todas las subestaciones implicadas en el proyecto se pueden observar los valores vistos anteriormente contrastados en un mismo grafico para ofrecer una vista más general del sistema en sus condiciones actuales.

Figura 9 Niveles de demanda de las subestaciones sujetas a estudio. Fuente: Información suministrada por CENS.



En la Figura 9 se observan en las barras de color rojo los valores de demanda máxima que puede soportar cada subestación bajo su actual configuración y en la barra de color negro los niveles de carga máximos vistos dentro de las mediciones realizadas y obtenidas por el sistema SCADA de la empresa equivalentes a la carga que actualmente están asumiendo.

6. ESCENARIOS PARA LA REUBICACIÓN DEL CIRCUITO SANOL25

En el presente capítulo se darán tres posibles escenarios para la nueva ruta que se plantea para el circuito SANOL25, para esto es necesario conocer el estado actual del circuito y las fallencias que presenta que llevaron a la necesidad de implementar el estudio para su reubicación.

Se verán reflejados los circuitos BELC35 que parte de la barra de 34.5 kV de la subestación Belén y que alimenta a la subestación Los Patios y Palermo, también el circuito SANOL45 que parte de la subestación San Mateo y alimenta la subestación El Samán de Villa del Rosario, se mencionan los anteriores circuitos debido a que serán considerados para plantear los posibles escenarios para el proyecto. Se usan simulaciones obtenidas del área de gestión de la información de Centrales Eléctricas de Norte de Santander S.A. E.S.P: donde se tomaron datos y se simularon en el software DlgSILENT por parte de los profesionales dando así una estimación a 10 años de la carga actual.

6.1 ESTADO ACTUAL DEL CIRCUITO SANOL25

El circuito SANOL25 objeto de estudio, presenta la actual ruta que se puede observar en la Figura 10.

Figura 10 Localización actual de la línea SANOL25. Fuente: CENS.



La línea de color Cian representa al circuito SANOL25 que tiene las siguientes características.

Longitud total de la línea: 5.94 km.

Calibre del conductor: ACSR 4/0 AWG.

Demanda: 5.98 MVA que hace referencia a la carga actual de la empresa CEMEX.

La línea de color rojo representa el circuito SANOL45 que alimenta a la subestación de El Samán de Villa del Rosario. Sus características son:

Longitud total de la línea: 4.4 km.

Calibre del conductor: ACSR 266.8 MCM.

Demanda: 10.29 MVA que hace referencia a la demanda actual de la subestación El Samán.

La línea de color naranja hace referencia al circuito BELC35 que parte de la subestación Belén con las siguientes características:

Longitud total de la línea: 7.7 km hasta Los Patios.

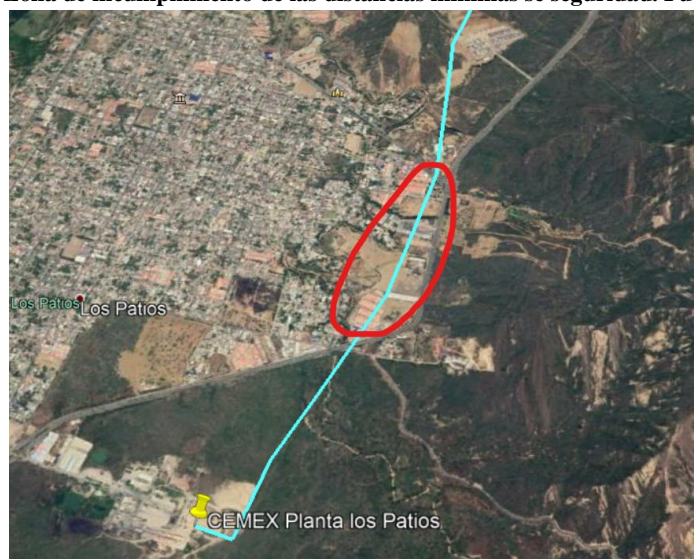
Calibre del conductor: ACSR 4/0 AWG.

Demanda: 6.105 MVA sin la S/E Palermo y 11.562 MVA con S/E Palermo.

6.1.1 Falencias de la actual ubicación del circuito SANOL25

Según medidas realizadas por personal operativo de Centrales Eléctricas de Norte de Santander el circuito presenta un incumplimiento con lo establecido en la normativa RETIE Artículo 13° Distancias mínimas de seguridad. Estas distancias medidas de manera vertical hasta el conductor son inferiores a los 5.6 metros para el nivel de tensión de 34.5 kV como se especifican en la Tabla 6. La zona de incumplimiento se puede observar en la Figura 11.

Figura 11 Zona de incumplimiento de las distancias mínimas de seguridad. Fuente. CENS.



Como lo mencionan Yonathan y Kieferd, [16] la ruta adecuada para la localización de un línea de distribución debe ser lo más recta posible para evitar la retenida de postes, también deben tener una localización que facilite el acceso al personal en caso de eventos y mantenimientos a la misma, como podemos observar en la Figura 10, la línea se encuentra localizada por terreno montañoso y dentro de predios de orden privado, lo cual dificulta en algunas zonas el acceso al personal con el equipo necesario para realizar las labores.

Debido a lo mencionado anteriormente y al incumplimiento referente a las distancias mínimas de seguridad se proponen 3 posibles escenarios que están sujetos a estudio bajo simulación de su comportamiento.

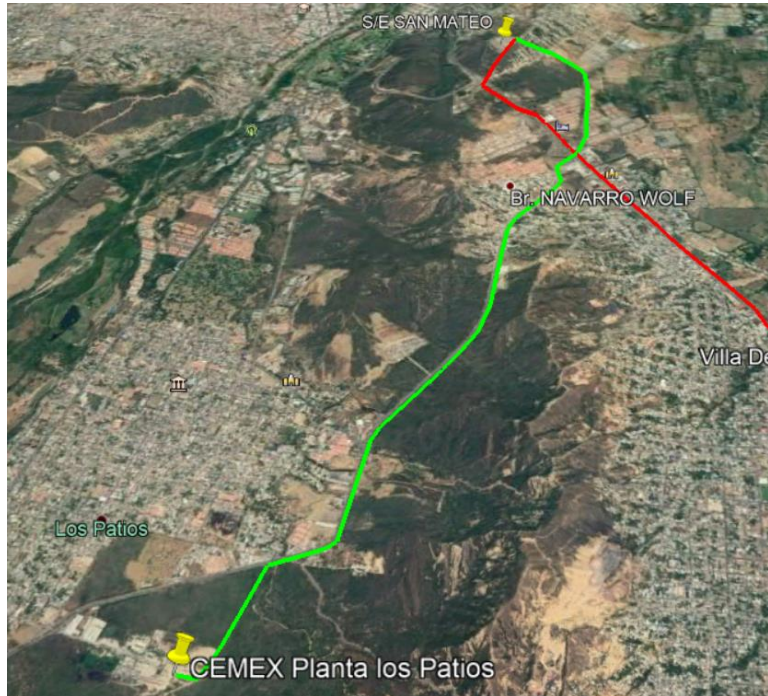
6.2 PRIMER ESCENARIO: REUBICACIÓN DEL CIRCUITO SANOL25

Para el primero escenario se propone la reubicación del circuito SANOL25 de forma tal que cumpla con los criterios básicos expuestos en el capítulo 3 de la norma interna CENS. Se toma una ruta que se ubica de manera paralela a la doble vía San Martín que conecta al municipio de Los Patios con Cúcuta.

De esta forma, se aprovechan los linderos de la vía para realizar el tendido y se evita la dificultad y costo de negociar con agentes privados.

La ruta propuesta para este escenario se presenta en la Figura 12.

Figura 12 Primer escenario para la ubicación del circuito SANOL25. Fuente: Autor.



La ruta planteada en la Figura 12 de color verde tendrá un longitud total de 6.5 km \pm 10%, partiendo directamente de la central de CEMEX y terminando en la barra de 34.5 kV de la subestación San Mateo.

Para esta ruta, no se contempla un beneficio para el sistema en general, debido a que será únicamente para el uso de la carga que demanda la central de CEMEX y no presenta un servicio en para las demás zonas, será netamente privado, es por esto, que es la opción menos valida ya que se espera lograr un beneficio que pueda mejorar el sistema de subestaciones de la zona.

6.3 SEGUNDO ESCENARIO: ALIMENTACIÓN DEL CIRCUITO SANOL25 POR MEDIO DE LA SUBESTACIÓN LOS PATIOS Y SOPORTADA POR LA SUBESTACIÓN BELÉN

Para el segundo escenario se propone que la carga de CEMEX sea asumida por la subestación de Los Patios la cual es soportada por la subestación Belén y para efectos de contingencia ante una posible salida de operación de la subestación San Mateo, la línea de distribución se extiende hasta el municipio de Villa del Rosario en la ruta 70 con calle 10 en donde por medio de un enlace se conecta a

la red SANOL45, con el objetivo de soportar la carga de El Samán. Como se observa en la Figura 13.

Figura 13 Segundo escenario para la ubicación del circuito SANOL25. Fuente: Autor.



La línea de color azul representa el trazado de la ruta para el circuito SANOL25 que se conecta a la subestación de Los Patios, pasa por CEMEX y termina en un enlace con el circuito SANOL45. Dicho trazado se realiza paralelo a la doble vía San Martín que conecta a los Patios con Villa del Rosario, representa el mejor lugar debido a la facilidad de acceso.

Para este caso la subestación Belén deberá soportar la carga de Los Patios, CEMEX y en caso de contingencia El Samán. Adicionalmente, se tendrán en cuenta dos casos, el primer caso es el sistema descrito anteriormente sin la carga de la subestación de Palermo y el segundo asumiendo esa carga por parte de la subestación de Belén.

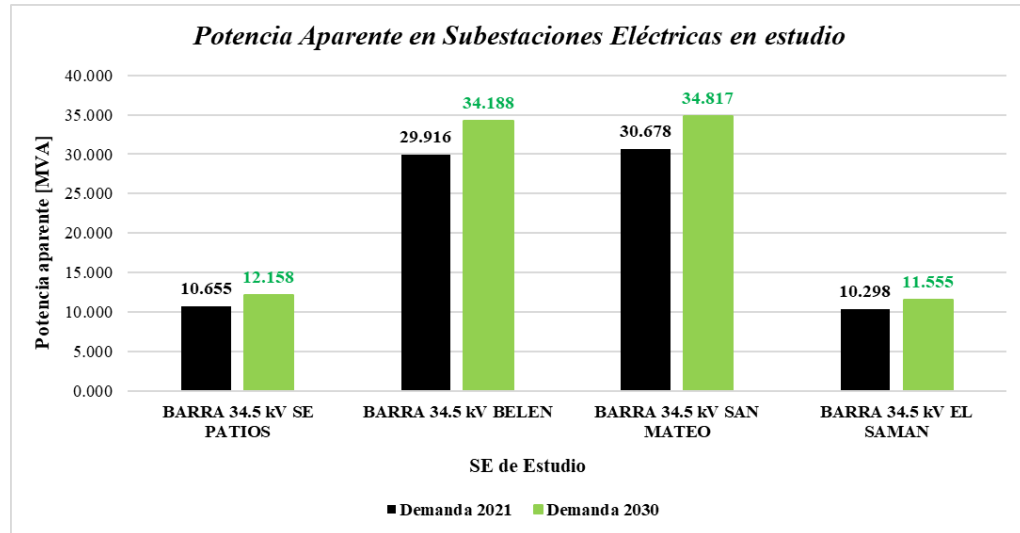
6.3.1 Sin asumir la carga de Palermo.

Para el caso de que la subestación de Belén no asuma la carga de Palermo, se dará la carga de Los Patios, CEMEX y adicionalmente El Samán en caso de contingencia. Para esto se realiza la simulación del sistema descrito y se

proyectan los valores de demanda al año 2021 y al año 2030 como se observa en la Figura 14. Ver Anexo 1 para año 2021 y Anexo 2 para año 2030.

Para la barra de color negro se presenta el nivel de carga máxima proyectada al 2021 y la barra de color verde representa el nivel de carga máxima proyectada al 2030.

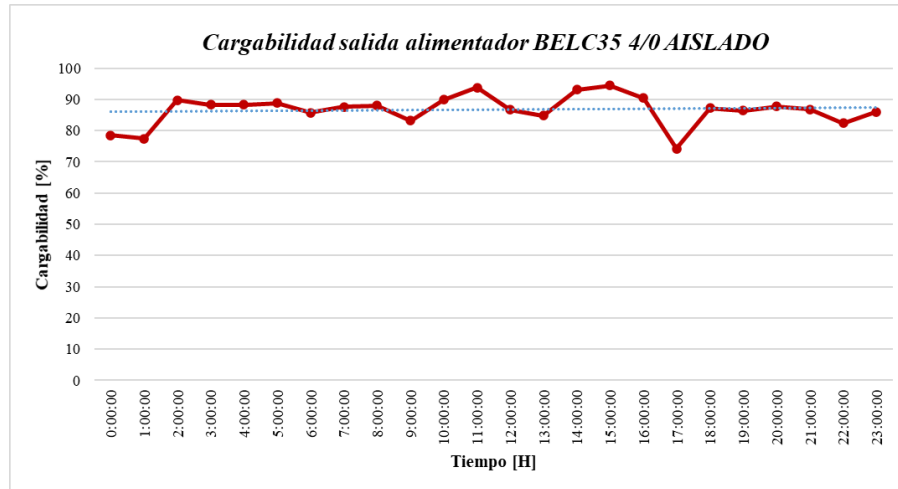
Figura 14 Niveles de carga para el escenario sin Palermo. Fuente. Simulación CENS.



Para este caso la barra de 34.5 kV de Belén presenta una cargabilidad del 77.18%, la subestación de Los Patios presenta una cargabilidad del 55.059% para el año 2030.

Para establecer la cargabilidad del conductor actual del circuito BELC35 bajo las características descritas anteriormente, asumiendo las cargas y sin el caso de la carga de la subestación Palermo, si simula bajo la proyección de la carga para el año 2030 y se puede observar en la Figura 15.

Figura 15 Cargabilidad del conductor para la configuración sin Palermo para el año 2030. Fuente. Simulación CENS.



Como se observa en la Figura 15, para todos los casos horarios de simulación el conductor ACSR 4/0 AWG del circuito BELC35 presenta los siguientes niveles de cargabilidad:

Cargabilidad máxima: 94.45% a las 15:00.

Cargabilidad mínima: 74.22% a las 17:00.

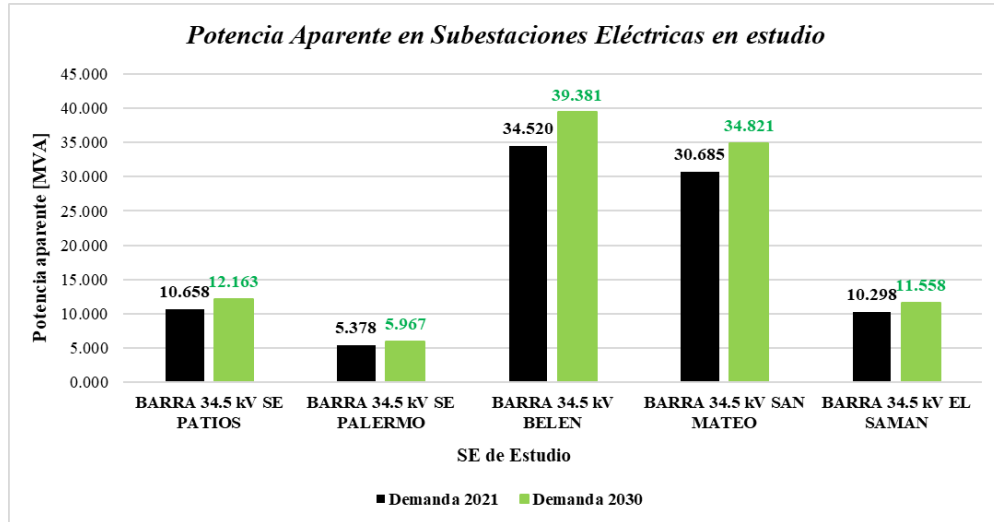
6.3.2 Asumiendo la carga de Palermo

Para este caso de simulación se presenta la carga de Palermo que será asumida por la subestación Belén por medio del circuito BELC35. Los niveles de cargabilidad se pueden observar en la Figura 16. Ver Anexo 3 para año 2021 y Anexo 4 año 2030.

De igual forma, se asumen los escenarios bajo una proyección al año 2030 de la carga establecida en la simulación.

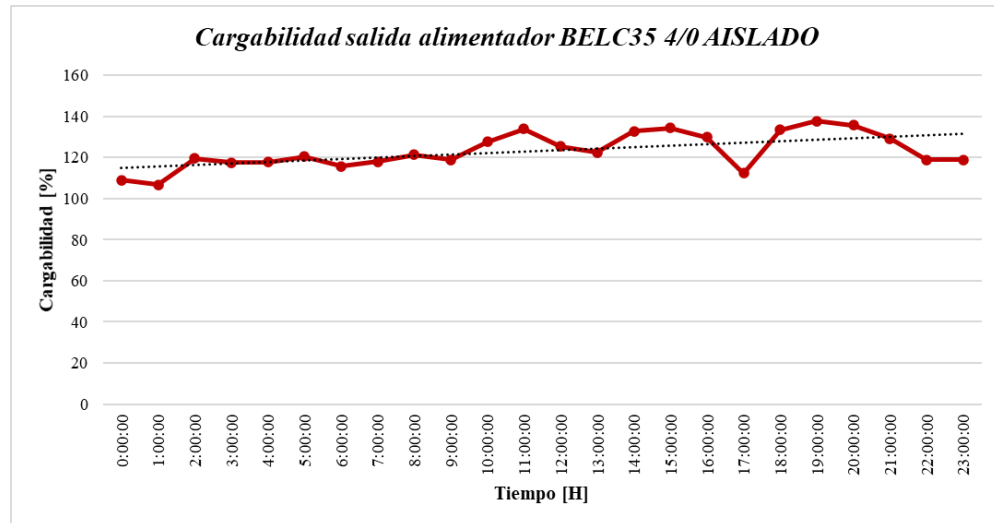
La cargabilidad de la barra de 34.5 kV de la subestación de Belén es del 90.383% que se da a la hora 14:00.

Figura 16 Niveles de carga para el escenario con Palermo. Fuente. Simulación CENS.



De igual forma, se determina el nivel del carga del conductor presente en el circuito BELC35 para la proyección al año 2030. Dichos niveles se pueden ver en la Figura 17.

Figura 17 Cargabilidad del conductor para la configuración con Palermo para el año 2030. Fuente. Simulación CENS.



Como se observa en la Figura 17 el conductor ACSR 4/0 AWG actualmente instalado al circuito BELC35 en todos los puntos de simulación horaria se sobrecarga, siendo el máximo de 137.85% para la hora 19:00.

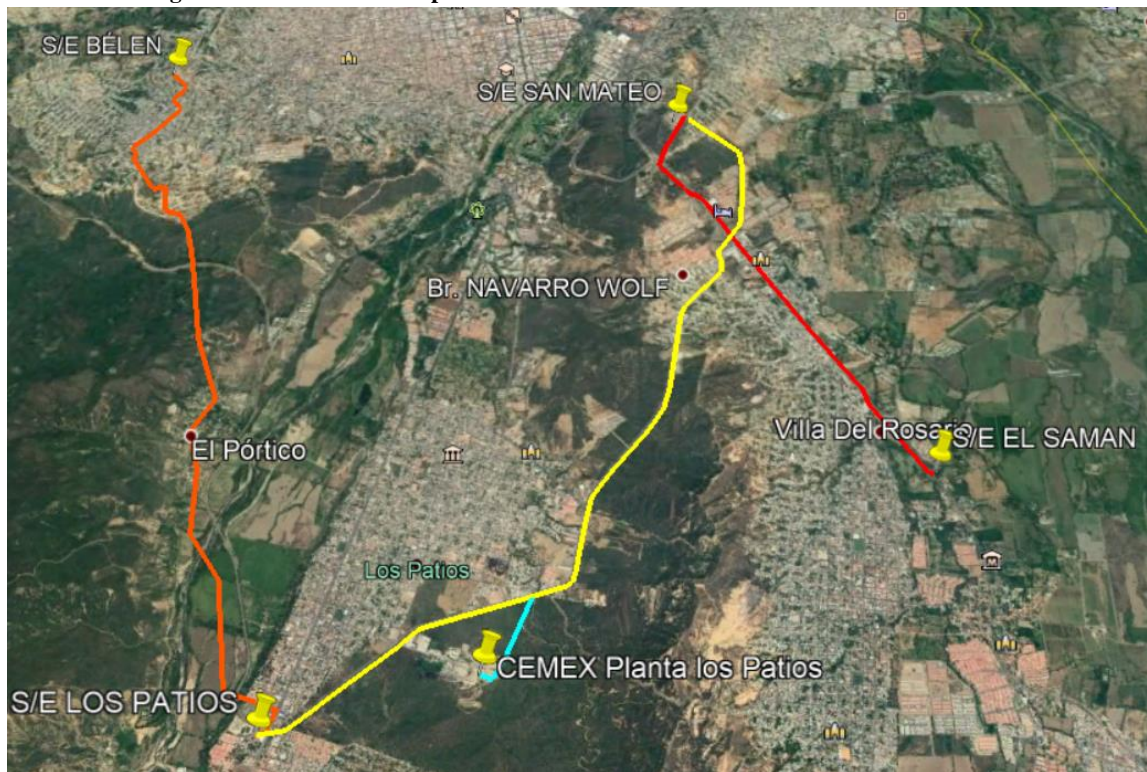
Debido a la sobrecarga que se presenta al conductor para el año 2030 que sobrepasa los niveles establecidos, esta alternativa es descartada ya que para ser

tomada en cuenta requiera la repotenciación del circuito BELC35, lo cual incluye gastos adicionales al proyecto. Esto se toma en base de que es frecuente que la subestación de Belén asuma la carga de Palermo.

6.4 TERCER ESCENARIO: MANTENER EL CIRCUITO SANOL25 A LA SUBESTACIÓN SAN MATEO Y EXTENDERLO PARA CONECTARLO A LA SUBESTACIÓN DE LOS PATIOS

Para este caso se aplica el escenario que la subestación de Belén salga por contingencia y se requiere que la subestación San Mateo asuma la carga de la subestación eléctrica de Patios por el alimentador SANOL25, por esta razón se toma la ruta trazada en la Figura 18.

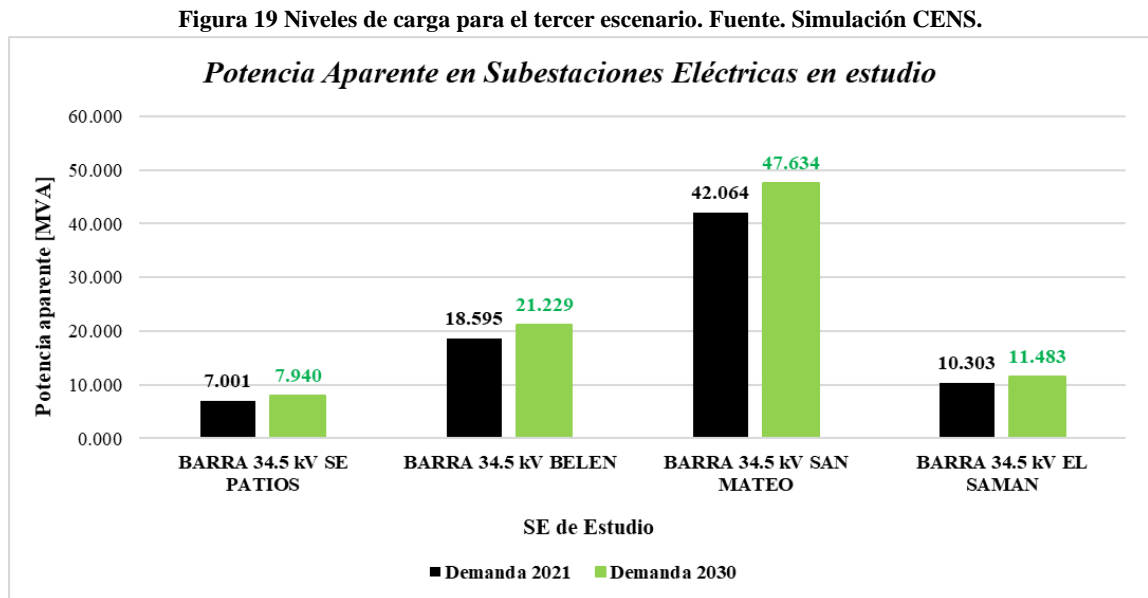
Figura 18 Tercer escenario para la ubicación del circuito SANOL25. Fuente: Autor.



Como se observa en la Figura 18, la ruta trazada de color amarillo, contempla la reubicación del actual circuito SANOL25 y que este se extienda desde la planta de CEMEX hasta la subestación de Los Patios en donde se conecta a la barra de 34.5 kV, esto para caso de contingencia.

La longitud aproximada de la ruta es de 8 km \pm 10%, establecida de manera paralela a la doble vía San Martín que conecta al municipio de Los Patios con el Municipio de Villa del Rosario.

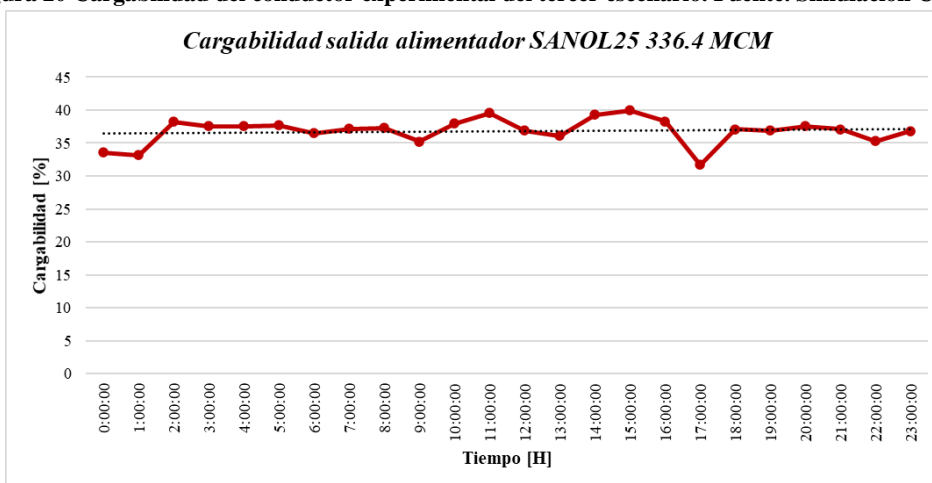
Asumiendo estos parámetros, se simula este escenario con una proyección para el año 2021 y para el año 2030, vistos en la Figura 19. Ver Anexo 5 para año 2021 y Anexo 6 para año 2030.



La cargabilidad del transformador asumiendo la carga de CEMEX y de Los Patios bajo criterios de contingencia, es de un 108.98% para el año 2030. Esta configuración presenta los valores máximos de carga que se ven reflejados desde las 11:00 hasta las 21:00 horas.

Se hace una simulación de cargabilidad de un conductor estimado por experiencia de los profesionales a cargo el cual es el ACSR 336.4 MCM, dando los valores vistos en la Figura 20 para el año 2030. Cabe resaltar que esta simulación se realizó de manera experimental ya que este conductor se estimó de esta manera y deberá estar sujeto a previas comprobaciones por parte de cálculos eléctricos y mecánicos.

Figura 20 Cargabilidad del conductor experimental del tercer escenario. Fuente. Simulación CENS.



Como se observa en la Figura 20 el conductor es capaz de soportar la carga de CEMEX y de los Patios en caso de contingencia. Dando valores que en ninguno de los casos supera el 50% de la cargabilidad del conductor estimado.

Debido a que la cargabilidad de la barra 34.5 kV de la subestación San Mateo es de 108.98%, solo cuando se produce un caso de contingencia en la subestación Belén ya que debería soportar la carga de Los Patios, se considera la mejor opción para el desarrollo del proyecto implementar la ruta propuesta y que se mantenga dentro del rango permitido para sobrecargar el transformador.

7. DISEÑO DEL CIRCUITO SANOL25

Para el diseño del circuito SANOL25 se contempla el tercer escenario el cual tiene las siguientes características:

- Longitud: 8 km \pm 10%.
- Tipo: Trifásica.
- Frecuencia: 60 Hz.
- Tensión: 34.5 kV.

7.1 CÁLCULO ELÉCTRICO

7.1.1 Demanda del circuito SANOL25

Para establecer la carga que soporta el circuito, como se menciona en la descripción del tercer escenario, se busca que soporte la carga de CEMEX y de la subestación de Los Patios en caso de contingencia. Por datos obtenidos por medio de simulación con una proyección al año 2030 vistos en la Figura 19 podemos establecer que la carga de Los Patios será de 7.94 MVA, la carga actual de CEMEX es de 5.98 MVA, para proyectar esta carga al año 2030 haremos uso de la demanda máxima proyectada.

7.1.1.1 Demanda máxima proyectada CEMEX al año 2030.

Para el cálculo de la demanda máxima proyectada para CEMEX al año 2030 se utiliza la ecuación (5):

$$D_{\text{máx proyectada}} = D_{\text{máx div}} * (1 + r)^n \quad (5)$$

Donde:

r = tasa de crecimiento vegetativo.

n = proyección de la demanda en años.

Para el proyecto se usa un tasa de crecimiento vegetativo de 1% y se proyecta al año 2030 para que este de acorde a los estimados de carga dados por la simulación. La demanda máxima diversificada se toma como la demanda actual que tienen la central de CEMEX, reemplazando los valores tenemos:

$$D_{\text{máx proyectada}} = 5.98 * (1 + 0.01)^{10} = 6.6 \text{ MVA}$$

Tenemos que para el 2030 la empresa CEMEX tendrá una demanda de carga de aproximadamente 6.6 MVA.

7.1.1.2 Demanda total del circuito SANOL25

Para establecer la demanda máxima total que deberá soportar el circuito se realiza la suma de las cargas de CEMEX y la subestación de Los Patios, ambas cargas estimadas al año 2030.

$$D_{\text{máx SANOL25}} = D_{\text{máxLP}} + D_{\text{máxCEMEX}} \quad (6)$$

Reemplazando los valores tenemos:

$$D_{\text{máx}} \text{ SANOL25} = 7.94 \text{ MVA} + 6.6 \text{ MVA} = 14.54 \text{ MVA}$$

El circuito SANOL25 deberá soportar una carga de 14.54 MVA en caso de contingencia.

7.1.2 Datos para la selección del conductor

Para la selección del conductor es necesario determinar la corriente que demanda la carga, como se muestra en la formula (7).

$$I_{nom} = \frac{S_{trifásica}}{\sqrt{3} * V_L} [A] \quad (7)$$

Donde:

$S_{trifásica}$ = Demanda máxima del circuito en VA.

V_L = Voltaje de línea del circuito.

Reemplazando los valores:

$$I_{nom} = \frac{14.54 [MVA]}{\sqrt{3} * 34500 [V]} = 243.65 [A]$$

Para no sobrecargar el conductor se toma el valor de la corriente máxima que soporta, se multiplica la corriente nominal por 120% y se busca en los datos dados por el fabricante CENTELSA sobre sus conductores.



$$I_{conductor} = I_{nom} * 1.2 \quad (8)$$

Reemplazando:

$$I_{conductor} = 243.65[A] * 1.2 = 292.38 [A]$$

Para la selección del conductor se toma el que soporte un corriente mayor a 292.38 A. En la Tabla 10 podemos ver los valores máximos de corriente para conductores de 2/0 AWG hasta 397.5 MCM, estos valores tomados del catálogo de conductores ACSR de CENTELSA visto en el Anexo 7.

Tabla 10 Capacidad de conductores CENTELSA. Fuente. Ajustado de catálogo CENTELSA Anexo 7.

Cable Aluminio/Acero	Código	Calibre	Diámetro [mm]	Capacidad de corriente [A]
Cableado 6/1 	Quall	2/0 AWG	11.35	275
	Pigeon	3/0 AWG	12.74	313
	Penguin	4/0 AWG	14.31	355
Cableado 26/7 	Partridge	266.8 MCM	16.29	458
	Ostrich	300 MCM	17.28	493
	Linnet	336.4 MCM	18.3	530
	Ibis	397.5 MCM	19.89	589

Desde el conductor 3/0 AWG por capacidad de corriente se podrá utilizar, sin embargo, estos conductores serán sometidos a cálculos de regulación para determinar y asegurar que cumplan con los criterios dados por la normativa interna de CENS.

7.1.3 Regulación de tensión

Para determinar el porcentaje de regulación de tensión se usa la Formula (1).

$$R\% = F_c \frac{K_g}{V_L^2} M \quad (1)$$

Donde el valor del factor de corrección al ser un circuito trifásico será de 1, el valor Kg se toma de la Tabla 3, teniendo un valor para un conductor ACSR de calibre 2/0 AWG con para un factor de potencia de 0.9 de 50.29. La longitud del circuito es de 8 km ± 10% que en total sería de 8.8 km.

Se calcula el momento eléctrico:

$$M = Dmáx[kVA] * Longitud[m] \quad (9)$$

Reemplazando:

$$M = 14540[kVA] * 8800[m] = 127952000 [kVA * m]$$

Reemplazando los valores de Kg, M, Factor de corrección y voltaje de línea en la Formula (1) obtenemos el porcentaje de regulación para el conductor ACSR 2/0 AWG según las características del proyecto:

$$R\% = 1 \frac{(50.29)}{(34500[V])^2} * (127952000[kVA * m]) = 5.406\%$$

Como se puede observar, la regulación de tensión para el conductor ACSR 2/0 AWG supera el porcentaje de regulación establecido en la Tabla 4 el cual es de 3%. De tal forma, se procede a evaluar un conductor de mayor capacidad para que cumpla con el criterio de regulación. A continuación, se evalúa la regulación para el conductor ACSR 226.8 MCM cuyo Kg para un factor de potencia de 0.9 es de 22.84.

$$R\% = 1 \frac{(22.84)}{(34500[V])^2} * (127952000[kVA * m]) = 2.455\%$$

Evaluando la formula (1) con los valores del conductor ACSR 226.8 MCM se obtiene una regulación de 2.455% desde el punto inicial hasta el tramo máximo. Como se puede observar en la Tabla 11.

Tabla 11 Regulación de tensión para diferentes conductores. Fuente: Autor.

Tramo	Distancia (m)	Demanda (kVA)	Tensión (V)	Conductor	Kg	Momento eléctrico (kVA.m)	Factor de corrección	%Regulación Voltaje	Criterio
Total	8800	14540	34500	2/0 AWG	50.29	127952000	1	5.406180281	No cumple
Total	8800	14540	34500	4/0 AWG	35.16	127952000	1	3.779703693	No cumple
Total	8800	14540	34500	226.8 MCM	22.84	127952000	1	2.455302399	Cumple

Para el criterio de regulación de tensión, el conductor ACSR 226.8 MCM cumple con el límite antes mencionado de 3% dando un porcentaje para el trayecto total de 2.45%. El cálculo de este conductor por trayectos se puede ver en el Anexo 8.

7.1.4 Pérdidas máximas de potencia



Para el cálculo de las pérdidas máximas de potencia se usa la Formula (4)

$$PL\% = \frac{rM}{V_L^2 \cos \phi} 100 \quad (4)$$

El cálculo del momento eléctrico se realiza de la misma manera que se realizó en la regulación de tensión con la Formula (9), para el valor r que representa la

resistencia por unidad de longitud del conductor se toman de la Tabla 12 la cual se adapta del catálogo de conductores ACSR de CENTELSA visto en el Anexo 7.

Tabla 12 Valores de resistencia en Ohm/m para conductores ACSR. Fuente: Adaptado de catálogo CENTELSA Anexo 7.

Cable Aluminio/Acero	Código	Calibre	Diámetro [mm]	Resistencia [Ohm/m]
Cableado 6/1 	Quall	2/0 AWG	11.35	0.000584
	Pigeon	3/0 AWG	12.74	0.000479
	Penguin	4/0 AWG	14.31	0.000396
Cableado 26/7 	Partridge	266.8 MCM	16.29	0.000255
	Ostrich	300 MCM	17.28	0.000225
	Linnet	336.4 MCM	18.3	0.000202
	Ibis	397.5 MCM	19.89	0.000171

Como el conductor que cumple con el criterio de regulación de tensión es el 226.8 MCM se toma un valor de r de 0.000255 Ohm/m para reemplazado en la Formula (4).

El momento eléctrico es de 127952000 [kVA*m], el factor de potencia a usar será de 0.9.

$$PL\% = \frac{(0.000255[\text{Ohm}/m])(127952000[\text{kVA} * m])}{(34500[\text{V}])^2 * 0.9} * 100 = 0.003045\%$$

Para el conductor ACSR 266.8 MCM se comprueba que cumple con el porcentaje máximo de pérdidas de potencia como lo establece la Tabla 5 el cual es de 1%. Los cálculos detallados para el conductor ACSR 266.8 MCM se ven reflejados en el Anexo 9.

En términos eléctricos el conductor adecuado para el proyecto es el ACSR 266.8 MCM que cumple con los porcentajes de regulación hasta el año 2030.

7.2 CÁLCULO MECÁNICO

El cálculo mecánico del proyecto se realiza bajo criterios y formulas expuestas en el Libro Líneas de Transporte de Energía de L. Checa [17] y guiado por

metodología utilizada por Rubén Tarazona en el Diseño para interconexión a nivel de tensión 2 del circuito palchinacota. [18]

7.2.1 Características del conductor

Se tiene en cuenta el conductor que ha cumplido con los límites de regulación y perdidas de potencia, para este caso, el conductor a evaluar será el ACSR 266.8 MCM del fabricante CENTELSA. Sus características se pueden ver en la Tabla.

Tabla 13 Características ACSR 266.8 MCM. Fuente: Ajustado catalogo CENTELSA. Ver Anexo 7.

Características del conductor Partrindge 266.8 MCM		
Descripción	Característica	Unidades
Calibre	266.8 MCM	-
Hilos de Aluminio	26	-
Hilos de Acero	7	-
Diámetro 1 hilo Aluminio	2.57	mm
Diámetro 1 hilo Acero	2	mm
Diámetro total	16.29	mm
Área transversal del Aluminio	5.1875	mm ²
Área transversal del acero	3.1416	mm ²
Área transversal del conductor	208.4165	mm ²
Peso del Aluminio	374.8	kg/km
Peso del Acero	171.9	kg/km
Peso total	547	kg/km
Carga de ruptura	5120	kg-f
Módulo elasticidad Aluminio	6750	kg/mm ²
Módulo elasticidad Acero	22000	kg/mm ²
Coefficiente dilatación Aluminio	0.000023	1/°C
Coefficiente dilatación Acero	0.00001152	1/°C

7.2.2 Distancia mínima al terreno

La distancia mínima al terreno es determinada de acuerdo a la Tabla 6 Distancias mínimas de seguridad, la cual establece para todos los casos evaluados una distancia mínima de 5.6 m medidos de manera vertical desde el suelo al conductor energizado.

7.2.3 Flecha máxima vertical

La flecha es la distancia vertical entre la línea imaginaria que une los dos extremos del conductor y la distancia más baja de la curva que forma el conductor.

La fórmula para determinar la flecha máxima es:

$$f_{\text{máxV}} = H_c - D_{mt} \quad (10)$$

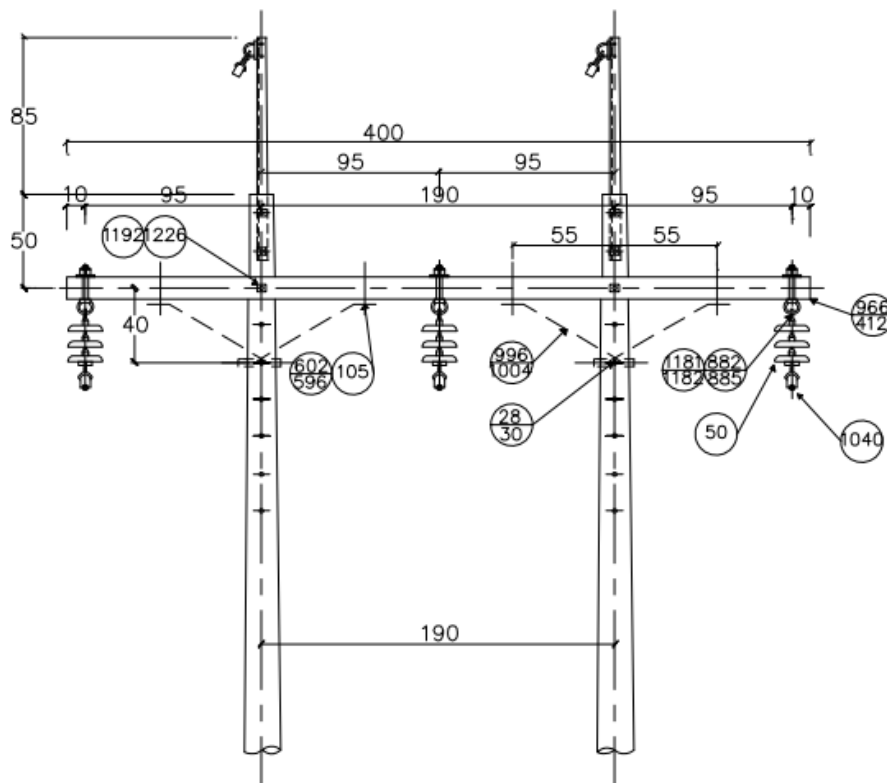
Donde:

H_c = Altura máxima del conductor.

D_{mt} = Distancia mínima del terreno, para este caso 5.6 m.

Para determinar la altura del conducto H_c se tienen en cuenta el tipo de estructura a utilizar. Para este caso se va a utilizar la estructura de suspensión en H disposición horizontal trifásica 34.5 kV. [19] Veri Figura 21.

Figura 21 Estructura de suspensión en H trifásica 34.5 kV. Fuente: Norma CENS. [19]



Para el caso de esta estructura y del proyecto, se toma un poste con una altura total de 14 m al cual se le debe restar la longitud de empotramiento y la longitud que tienen desde la parte más alta del poste hasta el punto donde se instala el conductor. Para calcular la longitud de empotramiento se usa la Formula (11).

$$Le = 0.1 * Lp + 0.6 \quad (11)$$

Donde:

Le = Longitud de empotramiento en metros.

Lp = Longitud del poste en metros.

Aplicando la fórmula:

$$Le = 0.1 * 14 [m] + 0.6 [m] = 2 [m]$$

Teniendo en cuenta la longitud de empotramiento del poste y la distancia que hay desde el extremo superior del poste hasta el lugar donde se instala el conductor, según la Figura 21, es de 0.9 metros hasta el extremo del aislador de suspensión. Para hallar Hc se usa la Formula (12).

$$Hc = Lp - Le - Luc \quad (12)$$

Donde:

Luc = Longitud de ubicación del conductor medida desde el extremo superior del poste hasta el lugar de ubicación del conductor. Para este caso 0.9 metros.

Evaluando la Formula (12):

$$Hc = 14 [m] - 2[m] - 0.9 [m] = 11.1 [m]$$

Para determinar la flecha máxima vertical se evalúa la Formula (10):

$$f_{\text{máxV}} = 11.1 [m] - 5.6 [m] = 5.5 [m]$$

El valor máximo de flecha para respetar los límites que se establecen en las distancias mínimas de seguridad será de 5.5 metros.

7.2.4 Variables para el cambio de estado

7.2.4.1 Vano de regulación ideal

$$a_r = \sqrt{f_{máxV} * 8 * \left(\frac{0.2 * T_r}{P}\right)} \quad (13)$$

Donde:

a_r = Vano regulador ideal.

T_r = Tensión de ruptura del conductor en kg.

P = Peso propio del conductor en kg/m.

Aplicando la Formula (13) con los valores propios del conductor ACSR 266.8 MCM vistos en la Tabla 13:

$$a_r = \sqrt{5.5[m] * 8 * \left(\frac{0.2 * 5120 [kg]}{0.547 \left[\frac{kg}{m}\right]}\right)} = 287 [m]$$

El vano de regulación ideal es la distancia máxima de separación entre los puntos de apoyo que podrá soportar el conductor antes de sufrir daños en su estructura, para este caso, la distancia máxima será de 287 metros.

7.2.4.2 Coeficiente de dilatación térmica del conductor

$$\alpha = \frac{(\alpha_{al} * E_{al} * n_{al} + \alpha_{ac} * E_{ac} * n_{ac})}{(E_{al} * n_{al} + E_{ac} * n_{ac})} \left[\frac{1}{^{\circ}C}\right] \quad (14)$$

Donde:

α_{al} = Coeficiente de dilatación del aluminio, 1/°C.

E_{al} = Modulo de elasticidad del aluminio, kg/mm².

n_{al} = Número de conductores de aluminio.

α_{ac} = Coeficiente de dilatación del acero, 1/°C.

E_{ac} = Modulo de elasticidad del acero, kg/mm².

n_{ac} = Número de conductores de acero.

Los valores a reemplazar en la Formula (14) están dispuestos en la Tabla 13 los cuales son para el conductor ACSR 266.8 MCM de CENTELSA.

Reemplazamos los valores:

$$\alpha = \frac{(0.000023 * 6750 * 26 + 0.00001152 * 22000 * 7)}{(6750 * 26 + 22000 * 7)} = 1.7634 \times 10^{-5} \left[\frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right]$$

El coeficiente de dilatación térmica del conductor ACSR 226.8 MCM es de 0.000017634 [1/°C].

7.2.4.3 Módulo de elasticidad del conductor

El módulo de elasticidad para el conductor ACSR 226.8 MCM se determina con la Formula (15).

$$E = \frac{(E_{al} * S_{al} + E_{ac} * S_{ac})}{(S_{al} + S_{ac})} \left[\frac{kg}{mm^2} \right] \quad (15)$$

Donde:

S_{al} = Área sección transversal del aluminio, mm².

S_{ac} = Área sección transversal del acero, mm².

Para determinar el área de la sección transversal tanto del aluminio como del acero se toma el área transversal dada en la Tabla 13 y se multiplica por el número de conductores correspondiente.

Reemplazando los valores:

$$E = \frac{(6750 * 134.875 + 22000 * 21.9912)}{(134.875 + 21.9912)} = 8887.90 \left[\frac{kg}{mm^2} \right]$$

El módulo de elasticidad del conductor ACSR 226.8 MCM compuesto por 26 hilos de aluminio y 7 hilos de acero es de 8887.90 kg/mm².

7.2.4.4 Peso del conductor por unidad de área

El peso del conductor dado en términos de área se calcula en función a la Formula (16).

$$W = \frac{P}{S} \left[\frac{kg}{mm^2} \right] \quad (16)$$

Donde:

P = Peso del conductor, kg/m.

S = Área transversal total del conductor, mm².

Reemplazando los valores con la información del conductor dada en la Tabla 13.

$$W = \frac{0.547}{208.4165} = 0.0026245 \left[\frac{kg}{mm^2} \right]$$

7.2.4.5 Carga de ruptura por unidad de área

Se determina con la siguiente formula:

$$t_r = \frac{T_r}{S} \left[\frac{kg}{mm^2} \right] \quad (17)$$

Donde:

T_r = Carga de ruptura del conductor, en este caso, ACSR 226.8 MCM es de 5120 kg.

S = Área transversal total en mm².

Evaluando los términos en la formula (17) y teniendo en cuenta el área transversal del conductor visto en la Figura 13, tenemos:

$$t_r = \frac{5120}{208.4165} = 24.5661 \left[\frac{kg}{mm^2} \right]$$

La carga de ruptura expresada en unidades de área para el conductor ACSR 266.8 MCM es de 24.5661 [kg/mm²].

7.2.4.6 Factor de sobrecarga

El factor de sobrecarga se determina con la siguiente ecuación:

$$m = \frac{P_c}{P} \quad (18)$$

Donde:

P_c = Peso aparente del conductor, kg/m.

P = Peso del conductor, kg.

Para el cálculo del peso aparente se deben tener en cuenta diferentes factores que contribuyen al aumento de este valor, tales como la acción del viento en el conductor. El peso aparente tiene una metodología de cálculo dispuesta en el Libro Líneas de Transporte de Energía [17].

$$P_c = \sqrt{P^2 + P_v^2} \left[\frac{kg}{m} \right] \quad (19)$$

Donde:

P_v = Carga sobre el conductor debido a la acción del viento, kg/m.

La carga debido a la acción del viento se calculó con la siguiente formula:

$$P_v = (C_f * 0.003842 * V^2 * \phi) \left[\frac{kg}{m} \right] \quad (20)$$

Donde:

C_f = Coeficiente de presión.

V = Velocidad del viento, m/s.

ϕ = Diámetro del conductor, m.

Reemplazando los valores en la Formula (18) obtenemos:

$$m = \frac{\sqrt{P^2 + (C_f * 0.003842 * V^2 * \phi)^2}}{P} \quad (21)$$

El factor de sobrecarga es de carácter adimensional y se debe calcular en cada caso de estudio o hipótesis.

7.2.5 Hipótesis de diseño

Para determinar los esfuerzos que debe soportar el conductor se evalúan 4 escenarios en donde se contemplan las hipótesis establecidas en la Tabla 9 en base a los requerimientos dados por CENS.

Como primer hipótesis se toma las condiciones normales a las que se expone el conductor y con esta se establece el factor máximo de seguridad.

7.2.5.1 Hipótesis de diseño A

La hipótesis de diseño A como se menciona anteriormente, está en base a las condiciones diarias normales del conductor, ver Tabla 14. Los valores de temperatura y velocidad del viento se obtuvieron analizando los datos presentes en la página Weather Spark [20] que representa un histórico de condiciones climáticas presentes en diferentes partes del mundo, para la hipótesis A se establecen los valores promedios de temperatura que se presentan y la velocidad promedio en condiciones normales del clima en el municipio de Los Patios ya que en este se ubica la planta de CEMEX y también tiene los valores más altos de temperatura y velocidad del viento que la ciudad de Cúcuta en la que también se ubica parte del circuito.

Tabla 14 Hipótesis A. Fuente: Weather Spark [20]

Hipótesis A	
Temperatura promedio	28 °C
Velocidad del viento promedio	9.7 km/h
%Carga de ruptura	25%
Factor de seguridad máximo	5

7.2.5.1.1 Carga máxima

La carga máxima del conductor se debe multiplicar por el 25% que representa el valor de la hipótesis A.

$$T_{AD} = 5120 * 0.25 = 1281.25 [kg]$$

Para aplicar la formula del factor de sobrecarga es necesario expresar la carga máxima en términos de área.

$$t_{AD} = \frac{T_{AD}}{S} \quad (22)$$

Donde:

t_{AD} = Tensión del conductor en unidades de área para condiciones diarias normales, kg/mm².

T_{AD} = Tensión mecánica del conductor, kg.

S = Área transversal total, mm².

Evaluando las características en la ecuación (22):

$$t_{AD} = \frac{1281.25}{208.4165} = 6.1465 \left[\frac{kg}{mm^2} \right] = t_1$$

Evaluando en factor de sobrecarga para la hipótesis C se obtiene:

$$m_A = \frac{\sqrt{0.547^2 + (1.1 * 0.003842 * 2.6944^2 * 0.01629)^2}}{0.547} = 1.000000417 = m_1$$

El coeficiente de seguridad de la hipótesis C se calcula con la siguiente ecuación:

$$FS = \frac{t_r}{t_1} \quad (23)$$

Evaluando:

$$FS_{AD} = \frac{24.5661}{6.1425} = 3.9999 \cong 4$$

El factor de seguridad para la hipótesis A es de 4, menor que el factor de seguridad máximo que es de 5, por tanto, cumple con el criterio de las condiciones diarias.

7.2.5.2 Hipótesis de diseño B

La hipótesis B se considera como la máxima velocidad del viento presente, en la Tabla 9 se describen los parámetros bajo la descripción de máximo esfuerzo mecánico. Los parámetros para esta hipótesis se reflejan en la Tabla 15 y el valor de temperatura está dispuesto según la base de datos de Weather Spark[19] en la cual el menos histórico de temperatura para Los Patios es de 21 °C.

Tabla 15 Hipótesis B. Fuente: Datos Tabla 9 y Weather Spark [20]

Hipótesis B	
Temperatura mínima	21 °C
Velocidad del viento máxima	100 km/h
%Carga de ruptura	50%
Factor de seguridad mínimo	2.5

Aplicando los valores a la fórmula del factor de sobrecarga:

$$m_B = \frac{\sqrt{0.547^2 + (1.1 * 0.003842 * 27.7777^2 * 0.01629)^2}}{0.547} = 1.00470438 = m_2$$

Para la temperatura se considera un incremento de 15 °C por encima de la mínima debido al efecto Joule.

$$\theta_B = 21^\circ C + 15^\circ C = 36^\circ C = \theta_2$$

Para hallar la tensión en la hipótesis B es necesario utilizar las ecuaciones de cambio de estado descritas en el Libro Líneas de Transporte de Energía [17] dadas a continuación:

$$t_2^2(t_2 + A) = B \quad (24)$$

Los valores de A y B son factores agrupados que se describen a continuación:

$$A = \left(\alpha E (\theta_2 - \theta_1) + \frac{a_r^2 w^2 m_1^2 E}{24 t_1^2} - t_1 \right) \quad (25)$$

$$B = \left(\frac{a_r^2 w^2 m_2^2 E}{24} \right) \quad (26)$$

Donde:

m_1 = Factor de sobrecarga del estado inicial.

m_2 = Factor de sobrecarga del estado final.
 w = Peso del conductor por unidad de área, (kg/m) /mm².
 θ_1 = Temperatura del cable estado inicial, °C.
 θ_2 = Temperatura del cable estado final, °C.
 t_1 = Tensión del conductor estado inicial, kg/mm².
 t_2 = Tensión del conductor estado final, kg/mm².
 a_r = Longitud horizontal del vano, 287 m.
 α = Coeficiente de dilatación térmica del cable 1/°C.
 E = Módulo de elasticidad del cable kgf/mm².

Establecidas las fórmulas para realizar el cambio de estado, se procede a reemplazar cada ítem en los valores de A y B, para mejor facilidad, se registran los datos en la Tabla 16. El signo de interrogación (?) presente en la Tabla 16 hace referencia al valor de tensión del conductor que se halla mediante la metodología de cambio de estado en la cual se toman las condiciones iniciales y se evalúa el comportamiento dentro de los cambios de temperatura y sobrecarga presentes en el circuito según las condiciones de la hipótesis B.

Tabla 16 Cambio de estado hipótesis B. Fuente: Autor.

Iniciales		Finales	
t_1	6.1465 kg/mm ²	t_2	?
θ_1	28 °C	θ_2	36 °C
m_1	1,000000417	m_2	1,00470438

El parámetro a determinar se representa en la Tabla 16 como t_2 y se marca su valor como un signo de pregunta que establece que es el término a buscar con el cambio de estado descrito a continuación:

$$A = \left(0.00001763 * 8887.9(36 - 28) + \frac{287^2 0.0026245^2 1.000000417^2 * 8887.9}{24 * 6.1465^2} - 6.1465 \right) = 0.66851758$$

$$B = \left(\frac{287^2 0.0026245^2 1.00470438^2 8887.9}{24} \right) = 212.0906176$$

Con los valores de A y B se proceden a reemplazar en la formula (24) y se soluciona el cuadrado.

$$t_2^3 + t_2^2 A - B = 0 \quad (27)$$

Reemplazando en (27):

$$t_2^3 + t_2^2 0.66851758 - 212.0906176 = 0$$

Solucionando tenemos el valor:

$$t_2 = 5.74886 \left[\frac{kg}{mm^2} \right] = t_B$$

Calculamos el coeficiente de seguridad para la hipótesis B.

$$FS_{AD} = \frac{24.5661}{5.74886} = 4.2732$$

El coeficiente de seguridad de la hipótesis B se encuentra dentro del rango máximo que es 5 y el rango mínimo que es 2.5, es decir, el conductor cumple con la hipótesis a máxima velocidad del viento.

7.2.5.3 Hipótesis de diseño C

La hipótesis de diseño C se considera como la condición de máxima flecha en las temperaturas mínimas y máximas.

7.2.5.3.1 Hipótesis de diseño C mínima temperatura

Para la hipótesis de diseño C a mínima temperatura se consideran los criterios dados en la Tabla 17.

Tabla 17 Hipótesis C mínima temperatura. Fuente: Autor y Weather Spark [20].

Hipótesis C mínima temperatura	
Temperatura mínima	0 °C
Velocidad del viento máxima	30 km/h

Se realiza el mismo procedimiento que la hipótesis B solo que no se suma el incremento de la temperatura por efecto Joule.

$$m_{Ca} = \frac{\sqrt{0.547^2 + (1.1 * 0.003842 * 8.3333^2 * 0.01629)^2}}{0.547} = 1.000038194 = m_2$$

La temperatura será de 0°C ya que no se considera el efecto Joule.

Tabla 18 Cambio de estado hipótesis C mínima temperatura. Fuente: Autor.

Iniciales		Finales	
t_1	6.1465 kg/mm ²	t_2	?
θ_1	28 °C	θ_2	0 °C
m_1	1,00000417	m_2	1,000038194

Aplicamos las ecuaciones para el cambio de estado:

$$A = \left(0.00001763 * 8887.9(0 - 28) + \frac{287^2 0.0026245^2 1.000000417^2 * 8887.9}{24 * 6.1465^2} - 6.1465 \right) = -4.972454787$$

$$B = \left(\frac{287^2 0.0026245^2 1.000038194^2 8887.9}{24} \right) = 210.1251546$$

Reemplazando los valores en la Formula (27):

$$t_2^3 - 4.972454787t_2^2 - 210.1251546 = 0$$

$$t_2 = 8.142077 \left[\frac{kg}{mm^2} \right] = t_{Ca}$$

Calculamos el coeficiente de seguridad para la hipótesis C con la mínima temperatura.

$$FS_{Ca} = \frac{24.5661}{8.142077} = 3.0171$$

El factor de seguridad para la hipótesis de mínima temperatura es de 3.0171 que se encuentra dentro del rango mínimo de 2.5 y máximo de 5.

7.2.5.3.2 Hipótesis de diseño C temperatura máxima

Para evaluar la hipótesis C con máxima temperatura se tienen en cuenta los parámetros expresados en la Tabla 19.

Tabla 19 Hipótesis C máxima temperatura. Fuente: Autor y Weather Spark [19].

Hipótesis C máxima temperatura	
Temperatura máxima	38 °C
Velocidad del viento máxima	0 km/h

Evaluamos las ecuaciones para los parámetros establecidos:

$$m_{cb} = \frac{\sqrt{0.547^2 + (1.1 * 0.003842 * 0^2 * 0.01629)^2}}{0.547} = 1.000000008 = m_2$$

Se establece la Tabla 20 con los valores para el cambio de estado. Con la tensión 2 como incógnita para ser hallada por medio de la metodología expuesta anteriormente.

Tabla 20 Cambio de estado hipótesis C máxima temperatura. Fuente: Autor.

Iniciales		Finales	
t_1	6.1465 kg/mm ²	t_2	?
θ_1	28 °C	θ_2	38 °C
m_1	1,00000417	m_2	1,000000008

La temperatura será de 38 °C + 15 °C considerando el efecto Joule en los conductores.

Reemplazamos los valores en las ecuaciones de cambio de estado:

$$A = \left(0.00001763 * 8887.9(53 - 28) + \frac{287^2 0.0026245^2 1.000000417^2 * 8887.9}{24 * 6.1465^2} - 6.1465 \right) = 3.332310094$$

$$B = \left(\frac{287^2 0.0026245^2 1.000000008^2 8887.9}{24} \right) = 210.1091049$$

Reemplazamos en la Formula (27):

$$t_2^3 + 3.332310094t_2^2 - 210.1091049 = 0$$

$$t_2 = 5.016582 \left[\frac{kg}{mm^2} \right] = t_{cb}$$

Hallamos el coeficiente de seguridad para la hipótesis C a máxima temperatura:

$$FS_{cb} = \frac{24.5661}{5.016582} = 4.8969$$

El valor del coeficiente de seguridad bajo la hipótesis C a máxima temperatura es de 4.8969 y se encuentra dentro del rango mínimo de 2.5 y máximo de 5, al ser el más cercano al factor de seguridad máximo se considera como la condición de flecha máxima para el conductor con un vano de 287 m.

Tabla 21 Valores de tensión para el conductor en las hipótesis de evaluación. Fuente: Autor.

Hipótesis	Tensión del conductor por unidad de área [kg/mm ²]
Máxima velocidad del viento	5,74886
Temperatura mínima	8,142077
Temperatura máxima	5,016582

7.2.6 Flecha máxima sin desnivel para cada hipótesis

El cálculo de la flecha máxima se da por la Formula (28):

$$f = \frac{a^2 * w}{8 * t} [m] \quad (28)$$

Donde:

a = Vano regulador ideal, m.

w = Peso del conductor por unidad de área, kg/m/mm².

t = Tensión del conductor por unidad de área calculada para cada hipótesis, kg/mm².

Para poder establecer los valores de la curva de catenaria del conductor es necesario aplicar la Formula (29):

$$y = h * \left[\cosh\left(\frac{a}{2 * h}\right) - 1 \right] [m] \quad (29)$$

Donde:

h = Parámetro h .

a = Valor del vano que varia en saltos de 20 m.

Para graficar la curva de la catenaria del conductor se utilizan valores de vanos desde 0 hasta el vano máximo que será de 300 m, para graficar la otra mitad de la curva se replican los datos como un espejo ya que esta fórmula es simétrica

Para el cálculo del parámetro h se usa la siguiente formula:

$$h = \frac{T}{P} \quad (30)$$

Donde:

T = Tensión mecánica del conductor, kg.

P = Peso del conductor, kg/m.

También es necesario calcular el parámetro H dado por la formula (31):

$$H = h * \cosh\left(\frac{a}{2 * h}\right) \quad (31)$$

Donde:

a = Vano regulador ideal, m.

h = Parámetro h .

Para verificar los valores de las flechas dadas por la ecuación (28) se deben corroborar con la diferencia entre los parámetros H y h dados por las fórmulas (30) y (31) respectivamente.

$$f_{H-h} = H - h [m] \quad (32)$$

7.2.6.1 Evaluación de flecha para la hipótesis B.

Evaluamos la ecuación (28):

$$f_B = \frac{287^2 * 0.0026245}{8 * 5.74886} = 4.7004[m]$$

Para verificar la flecha se evalúan los parámetros H y h y se determina la diferencia entre ellos.

$$h_B = \frac{1198.15728}{0.547} = 2190.415503[m]$$

$$H_B = 2190.415503 * \cosh\left(\frac{287}{2 * 2190.415503}\right) = 2195.11772[m]$$

$$f_{HB-hB} = 2195.11772 - 2190.415503 = 4.7022 [m]$$

$$f_B \cong f_{HB-hB}$$

Al realizar las respectivas ecuaciones se logra establecer que las dos formas de hallar la flecha máxima es aproximadamente igual.

7.2.6.2 Evaluación de flecha para la hipótesis C mínima temperatura.

De igual forma se evalúan los parámetros dados en la hipótesis C mínima temperatura reemplazando los valores en la formulas (28), (30) y (31).

$$f_{CA} = \frac{287^2 * 0.0026245}{8 * 8.142077} = 3.3188[m]$$

$$h_{CA} = \frac{1696.943191}{0.547} = 3102.272744[m]$$

$$H_{CA} = 3102.272744 * \cosh\left(\frac{287}{2 * 3102.272744}\right) = 3105.592233[m]$$

$$f_{HCA-hCA} = 3102.272744 - 3105.592233 = 3.3194 [m]$$

$$f_{CA} \cong f_{HCA-hCA}$$

7.2.6.3 Evaluación de flecha para la hipótesis C máxima temperatura.

Para la condición de máxima temperatura la cual dio el mayor coeficiente de seguridad, por tanto, se considera como la condición más extrema que puede presentar el sistema, de igual manera que los ítems anteriores, se reemplazan los valores en las fórmulas (28), (30) y (31).

$$f_{CB} = \frac{287^2 * 0.0026245}{8 * 5.016582} = 5.3884[m]$$

$$h_{CB} = \frac{1045.5384}{0.547} = 1911.404867[m]$$

$$H_{CB} = 1911.404867 * \cosh\left(\frac{287}{2 * 1911.404867}\right) = 1916.7940[m]$$

$$f_{HCA-hCA} = 1916.7940 - 1911.404867 = 5.3892 [m]$$

$$f_{CA} \cong f_{HCA-hCA}$$

7.2.7 Flecha máxima con desnivel para cada hipótesis

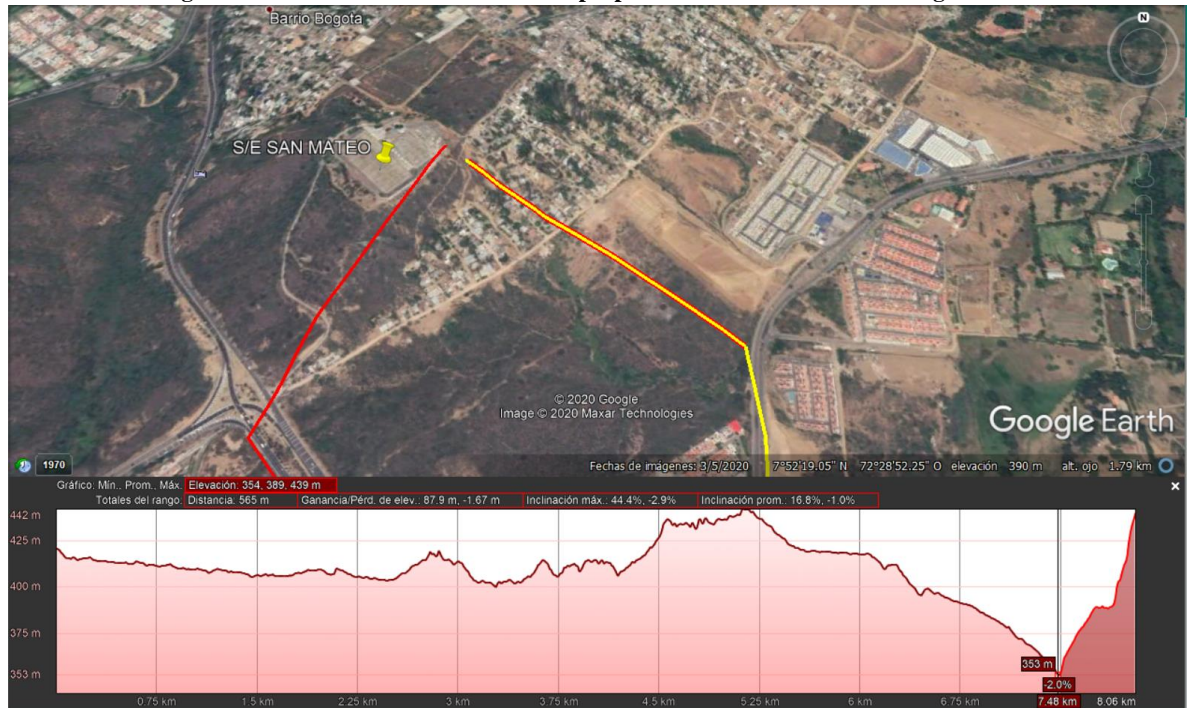
Con la ruta establecida, se genera una variación entre las alturas en las cuales se van a instalar las estructuras que soportan el conductor, para este caso, se usa un perfil de elevación generado por el software Google Earth en el cual se traza la ruta establecida en capítulos anteriores para obtener el perfil de elevaciones de la misma. Visto en la Figura 22.

Figura 22 Perfil de elevación de la Alternativa 3. Fuente: Google Earth



Como se observa en la Figura 22 la pendiente más desfavorable para el sistema se presenta en la parte donde inicia el circuito desde la subestación San Mateo como se observa en la Figura 23.

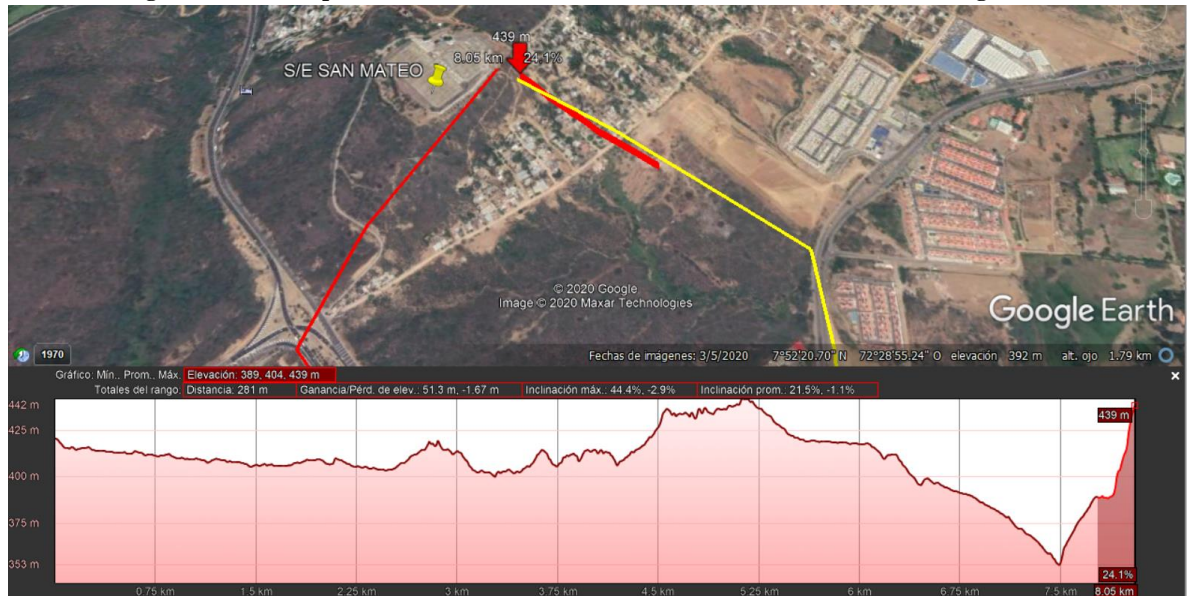
Figura 23 Máxima elevación del circuito propuesto SANOL25. Fuente: Google Earth.



Con la Figura 23 podemos determinar la máxima altura de desnivel presente en el sistema la cual se da en una distancia de 565 metros partiendo desde la subestación San Mateo y que presenta un desnivel de 85 metros.

Teniendo en cuenta que el vano máximo es de 287 metros se presenta el perfil de elevación más desfavorable para el sistema visto en la Figura 24.

Figura 24 Desnivel para el circuito SANOL25 con vano de 287 metros. Fuente: Google Earth



Con la Figura 24 establecemos un desnivel de 50 metros como la condición más desfavorable para el sistema en cuanto a desnivel.

7.2.7.1 Cálculo de flecha a desnivel

Para determinar el parámetro de la flecha a desnivel se realiza bajo la fórmula (29):

$$f = h * \left[\cosh \left(\frac{a}{2 * h} \right) - 1 \right] * \left[\cosh \left(\frac{x_m}{h} \right) \right] [m] \quad (32)$$

Donde:

h = Parámetro h .

a = Vano ideal, m.

x_m = Distancia al punto medio, m.

Para el cálculo de x_m se usa la fórmula (30):

$$x_m = h * \sinh^{-1} \left(\frac{h_d}{L'} \right) [m] \quad (33)$$

Donde:

h_d = Desnivel entre las dos estructuras, m.

L' = Longitud del conductor sin desnivel, m.

$$L' = 2 * h * \sinh\left(\frac{a}{2 * h}\right) \quad (34)$$

Con la fórmula (31) se calcula la longitud del conductor sin considerar el desnivel.

7.2.7.2 Evaluación de flecha para la hipótesis B con desnivel

Determinamos el parámetro h de la hipótesis B:

$$h_B = \frac{1198.15728}{0.547} = 2190.415503[m]$$

Evaluamos la ecuación (34):

$$L' = 2 * 2190.415503 * \sinh\left(\frac{287}{2 * 2190.415503}\right) = 287.2053 [m]$$

Con el parámetro h y la longitud se reemplazan los valores en la fórmula (33) para determinar la distancia media.

$$x_m = 2190.415503 * \sinh^{-1}\left(\frac{50}{287.2053}\right) = 379.4322[m]$$

Con el parámetro X_m se evalúa la fórmula (32) para determinar la flecha en la hipótesis B con desnivel:

$$\begin{aligned} f_B &= 2190.415503 * \left[\cosh\left(\frac{287}{2 * 2190.515503}\right) - 1 \right] * \left[\cosh\left(\frac{379.4322}{2190.515503}\right) \right] \\ &= 4.7724[m] \end{aligned}$$

Para la hipótesis B la flecha máxima es de 4.77 metros y la máxima para cumplir los criterios de distancias mínimas de seguridad es de 5.5 metros.

7.2.7.3 Evaluación de flecha para la hipótesis C mínima temperatura con desnivel

De igual forma se evalúan los parámetros dados en la hipótesis C mínima temperatura reemplazando los valores en la formulas (34), (33) y (32).

Determinamos el parámetro h de la hipótesis C:

$$h_{ca} = \frac{1696.943191}{0.547} = 3102.272744[m]$$

Evaluamos la ecuación (34):

$$L' = 2 * 3102.272744 * \sinh\left(\frac{287}{2 * 3102.272744}\right) = 287.1023 [m]$$

Con el parámetro h y la longitud se reemplazan los valores en la fórmula (33) para determinar la distancia media.

$$x_m = 3102.272744 * \sinh^{-1}\left(\frac{50}{287.1023}\right) = 537.5786[m]$$

Con el parámetro Xm se evalúa la formula (32) para determinar la flecha en la hipótesis B con desnivel:

$$\begin{aligned} f_{ca} &= 3102.272744 * \left[\cosh\left(\frac{287}{2 * 3102.272744}\right) - 1 \right] * \left[\cosh\left(\frac{537.5786}{3102.272744}\right) \right] \\ &= 3.3694[m] \end{aligned}$$

La flecha para la condición de mínima temperatura es de 3.3694 metros que está dentro del límite de 5.5 metros para cumplir las distancias mínimas de seguridad.

7.2.7.4 Evaluación de flecha para la hipótesis C máxima temperatura con desnivel

Para la condición de máxima temperatura la cual dio el mayor coeficiente de seguridad y, por tanto, se considera como la condición más extrema que puede presentar el sistema, de igual manera que los ítems anteriores, se reemplazan los valores en las fórmulas (34), (33) y (32).

$$h_{CB} = \frac{1045.5384}{0.547} = 1911.404867[m]$$

Evaluamos la ecuación (34):

$$L' = 2 * 1911.404867 * \sinh\left(\frac{287}{2 * 1911.404867}\right) = 287.2696 [m]$$

Con el parámetro h y la longitud se reemplazan los valores en la fórmula (30) para determinar la distancia media.

$$x_m = 1911.404867 * \sinh^{-1}\left(\frac{50}{287.2696}\right) = 331.0276[m]$$

Con el parámetro Xm se evalúa la formula (33) para determinar la flecha en la hipótesis B con desnivel:

$$\begin{aligned} f_{cb} &= 1911.404867 * \left[\cosh\left(\frac{287}{2 * 1911.404867}\right) - 1 \right] * \left[\cosh\left(\frac{331.0276}{1911.404867}\right) \right] \\ &= 5.4702[m] \end{aligned}$$

7.2.7.5 Cálculo de la catenaria a nivel

Para graficar la catenaria se utiliza la formula (35) reemplazando los valores de las condiciones a temperatura mínima y máxima.

El vano se toma desde 0 en saltos de 20 m hasta llegar a 300 m.

$$y = h * \left[\cosh\left(\frac{a}{2 * h}\right) - 1 \right] [m] \quad (35)$$

7.2.7.5.1 Catenaria temperatura mínima

Para el cálculo de la catenaria a temperatura mínima se usan los valores hallados en la hipótesis de flecha a mínima temperatura para reemplazarlos en la ecuación (35), para facilidad del cálculo, se realiza las operaciones en Excel y se muestran los valores en la Tabla 22.

Para graficar esta catenaria se dan valores al vano desde 0 a 300 metros en intervalos de 20 metros, para la gráfica completa se muestra como espejo para así poder visualizar la catenaria completa bajo el criterio de mínima temperatura.

$$y_{m\acute{i}nt} = 3102.272744 * \left[\cosh\left(\frac{a}{2 * 3102.272744}\right) - 1 \right] [m]$$

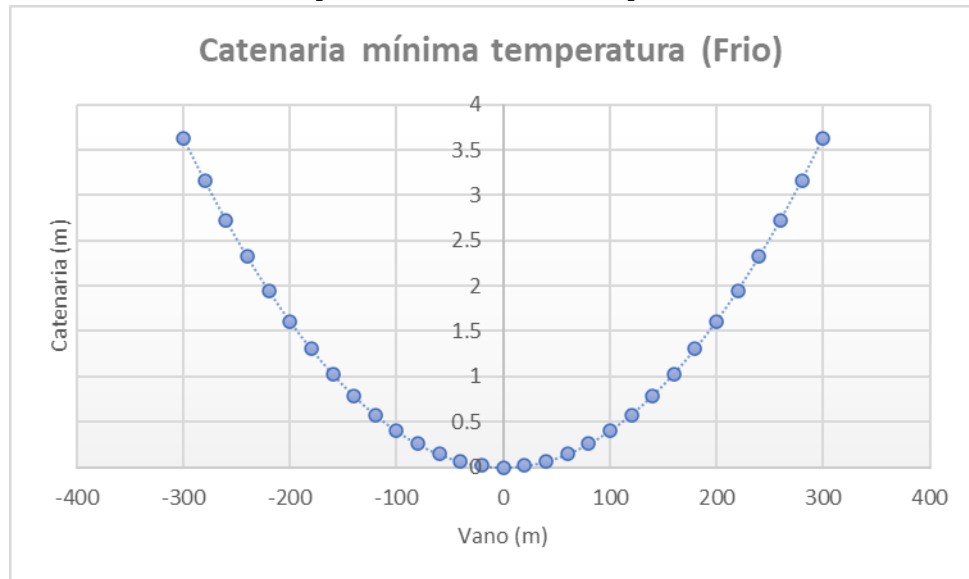
Evaluando la ecuación en cada intervalo de vano como variable independiente se halla la variable dependiente que serán los valores de catenaria para cada vano.

Tabla 22 Valores de catenaria para condición de mínima temperatura. Fuente: Autor.

Catenaria mínima temperatura	
Vano (m)	Catenaria (m)
0	0
20	0.01611723
40	0.064469087
60	0.145056075
80	0.257879029
100	0.402939123
120	0.580237864
140	0.789777093
160	1.031558989
180	1.305586064
200	1.611861164
220	1.950387472
240	2.321168506
260	2.724208119
280	3.159510497
300	3.627080165

De manera gráfica se observan estos valores en la Grafica 1.

Gráfica 1 Catenaria para condición de mínima temperatura. Fuente: Autor.



7.2.7.5.2 Catenaria temperatura máxima

Para el cálculo de la catenaria a máxima temperatura se usan los valores hallados en la hipótesis para la flecha a máxima temperatura y se reemplazan en la ecuación (29).

$$y_{máxt} = 1911.404867 * \left[\cosh\left(\frac{a}{2 * 1911.404867}\right) - 1 \right] [m]$$

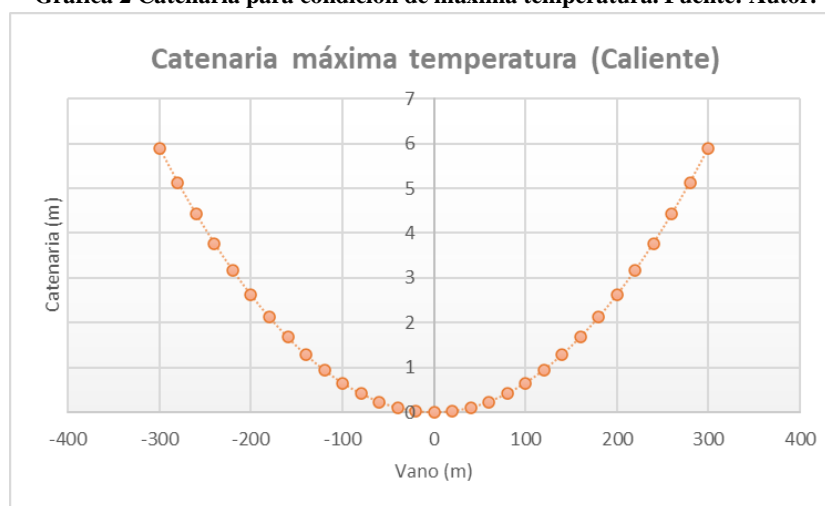
De igual forma que la catenaria a mínima temperatura se dan valores al vano desde 0 metros hasta 300 metros en intervalos de 20 metros. Ver Tabla 23.

Tabla 23 Valores de catenaria para condición de máxima temperatura. Fuente: Autor.

Catenaria máxima temperatura	
Vano (m)	Catenaria (m)
0	0
20	0.026158501
40	0.10463472
60	0.235430805
80	0.418550337
100	0.653998326
120	0.941781219
140	1.28190689
160	1.674384651
180	2.119225244
200	2.616440844
220	3.166045061
240	3.768052937
260	4.422480951
280	5.129347015
300	5.888670476

Estos valores de manera gráfica se pueden observar en la Gráfica 2.

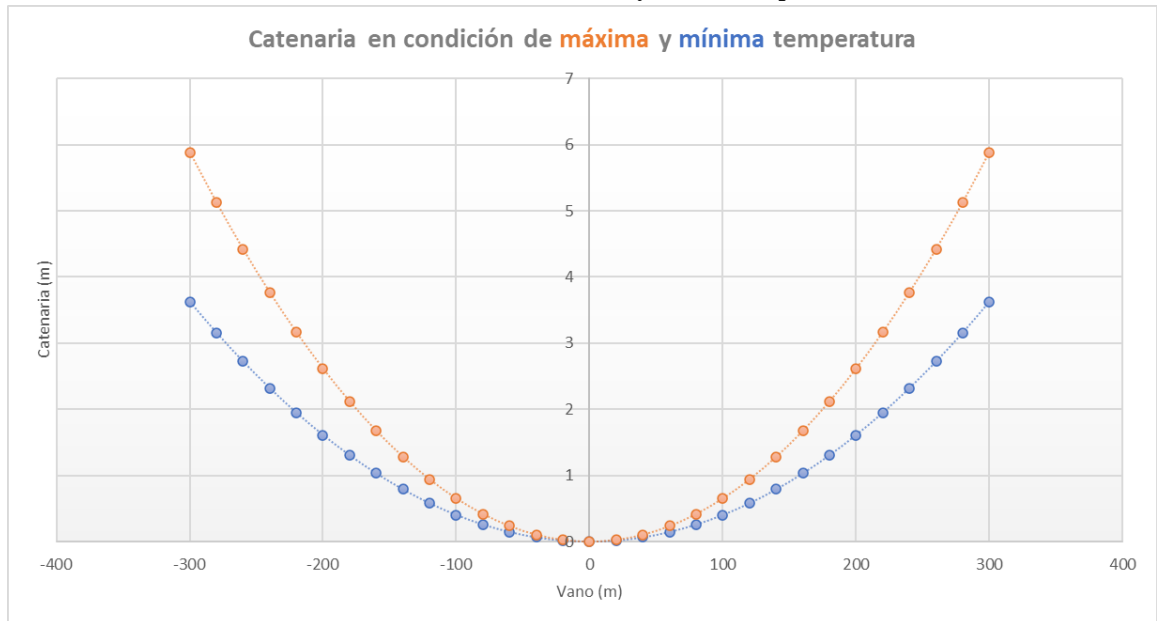
Gráfica 2 Catenaria para condición de máxima temperatura. Fuente: Autor.



7.2.7.5.3 Contraste de las dos hipótesis de temperatura mínima y máxima

Para poder visualizar mejor las características el conductor expuesto a los diferentes escenarios, se realiza la Gráfica 3 en donde se contrastan las dos catenarias.

Gráfica 3 Catenaria en los escenarios de máxima y mínima temperatura. Fuente: Autor.



En la Gráfica 3 se observa que el escenario que presenta los mayores valores en cuanto a la catenaria es en la máxima temperatura o caliente, esto concuerda con el factor de seguridad que para este escenario fue el mayor y el cual representa el escenario más desfavorable para el proyecto en cuanto al conductor.

7.2.7.6 Cálculo de catenaria a desnivel

Para graficar la catenaria considerando el desnivel del circuito se utiliza la formula (36) reemplazando los valores de las condiciones a temperatura mínima y máxima.

El vano se toma desde 0 en saltos de 20 m hasta llegar a 300 m.

$$y_{dn} = h * \left[\cosh\left(\frac{a}{2 * h}\right) - 1 \right] * \left[\cosh\left(\frac{x_m}{h}\right) \right] [m] \quad (36)$$

7.2.7.6.1 Catenaria a desnivel con mínima temperatura

Para el cálculo de la catenaria considerando el desnivel y la hipótesis de cálculo de la mínima temperatura que representa en forma de una gráfica que está dispuesta en torno a la fórmula (36) en la cual se reemplazan los valores dados en la sección del cálculo de flecha a desnivel como se muestra a continuación:

$$yda = 3102.272744 * \left[\cosh\left(\frac{a}{2 * 3102.272744}\right) - 1 \right] * \left[\cosh\left(\frac{537.5786}{3102.272744}\right) \right] [m]$$

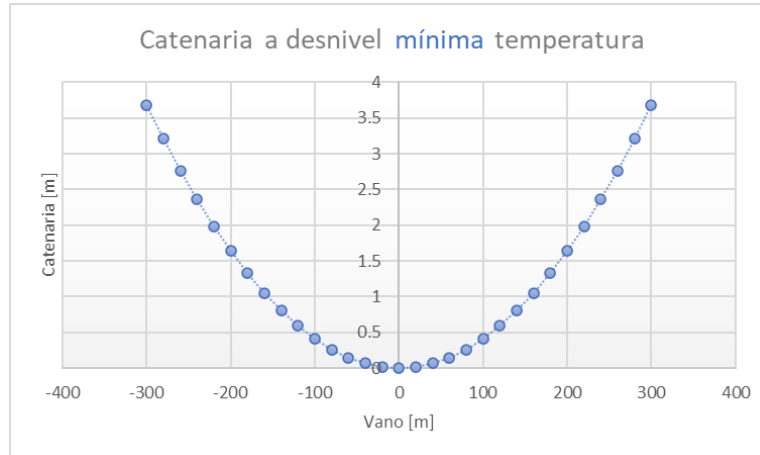
Con los valores ubicados en la fórmula se tiene una variable a que hace referencia al vano que se toman en saltos de 20 metros hasta los 300 para graficar el comportamiento de la catenaria con mínima temperatura. Vistos en la Tabla 24.

Tabla 24 Valores de catenaria a desnivel para condición de mínima temperatura. Fuente: Autor.

Catenaria a desnivel mínima temperatura			
Vano [m]	Catenaria [m]	Vano [m]	Catenaria [m]
0	0	160	1.04708552
20	0.016359819	180	1.32523712
40	0.065439445	200	1.63612213
60	0.14723939	220	1.97974378
80	0.261760501	240	2.35610563
100	0.409003971	260	2.7652116
120	0.588971328	280	3.20706594
140	0.801664442	300	3.68167325

Los valores vistos en la Tabla 24 se representan de manera ilustrativa en la Gráfica 4.

Gráfica 4 Catenaria a desnivel para condición de mínima temperatura. Fuente: Autor.



Los Gráfica 4 representa el comportamiento de la catenaria en un trayecto de 600 metros para la condición en que se representa la mínima temperatura, para este caso se tiene un valor en el punto medio de 3.31 metros para un vano de 287 metros que será la condición de máxima distancia de separación entre las estructuras.

7.2.7.6.2 Catenaria a desnivel con máxima temperatura

Para el cálculo de la catenaria considerando el desnivel y la hipótesis de cálculo de la máxima temperatura que representa en forma de una gráfica que está dispuesta en torno a la formula (36) en la cual se reemplazan los valores dados en la sección del cálculo de flecha a desnivel como se muestra a continuación:

$$f_{cb} = 1911.404867 * \left[\cosh\left(\frac{a}{2 * 1911.404867}\right) - 1 \right] * \left[\cosh\left(\frac{331.0276}{1911.404867}\right) \right] [m]$$

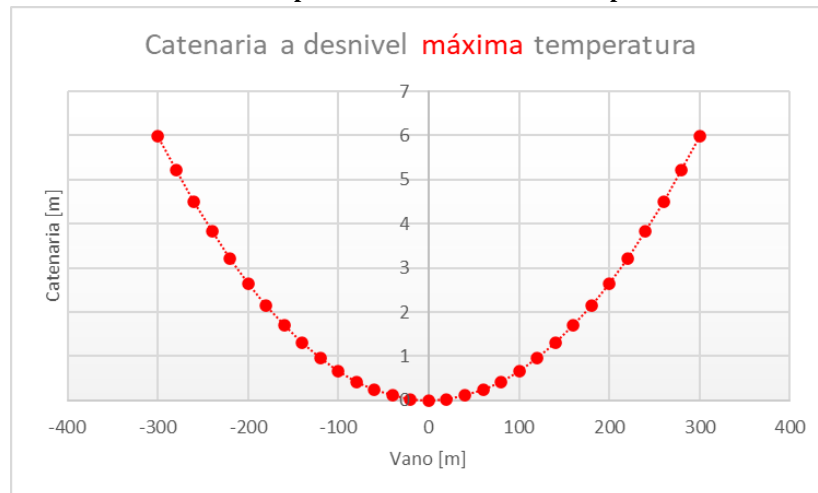
Con los valores ubicados en la formula se tiene una variable a que hace referencia al vano que se toman en saltos de 20 metros hasta los 300 para graficar el comportamiento de la catenaria con máxima temperatura. Vistos en la Tabla 25.

Tabla 25 Valores de catenaria a desnivel para condición de máxima temperatura. Fuente: Autor.

Catenaria a desnivel máxima temperatura			
Vano [m]	Catenaria [m]	Vano [m]	Catenaria [m]
0	0	160	1.69957891
20	0.0265521	180	2.15111296
40	0.10620915	200	2.65581011
60	0.2389733	220	3.21368415
80	0.42484821	240	3.82475037
100	0.66383896	260	4.48902548
120	0.95595208	280	5.20652768
140	1.30119558	300	5.97727659

Los valores vistos en la Tabla 25 se representan de manera ilustrativa en la Grafica 5.

Gráfica 5 Catenaria a desnivel para condición de máxima temperatura. Fuente: Autor.



Teniendo en cuenta las catenarias y la máxima flecha en cada hipótesis podemos determinar que el conductor ACSR 266.8 MCM tendrá la capacidad de soportar los casos de mínima y máxima temperatura sin que afecte en las distancias mínimas de seguridad debido a que las distancias en todos los casos de flecha máxima vistas en la Tabla 26 son menores a la límite de 5.5 metros calculada en capítulos anteriores.

Tabla 26 Valores de flecha para todos los casos de estudio del circuito SANOL25. Fuente: Autor.

Flecha [m]		
Condición	Nivel	Desnivel
Máximo viento	4,7022	4,7724
Mínima temperatura	3,3194	3,3694
Máxima temperatura	5,3892	5,4702

Cabe resaltar que estos valores en el proyecto serán menores debido a que se toma una distancia menos al vano de 287 metros.

8. PRESUPUESTO DEL PROYECTO SANOL25

El presupuesto del proyecto se estima teniendo en cuenta los elementos que son necesarios para la instalación y valores adjuntos como son la mano de obra y los costos de transporte, cabe aclarar que para este capítulo no se tiene en cuenta el costo de formalización de los predios que van a ocupar las estructuras ni los valores agregados en base al estudio para la utilización de servidumbres.

Para estimar un presupuesto es necesario conocer los elementos que componen el tipo de estructura a utilizar, a continuación, se darán a conocer y definir los más importantes.

8.1 DEFINICIÓN Y PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

8.1.1 Conductores

El conductor a utilizar en el proyecto es el ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) en su calibre 266.8 MCM, con una configuración en hilos comprendidos en 26 hilos de aluminio y 7 hilos de acero. La utilización del acero comprende un aumento en su resistencia y lo hace ideal para las redes aéreas de media, alta y extra alta tensión. También es un conductor utilizado en gran medida para las instalaciones de sistemas puestos a tierra. Por estas razones, CENS bajo su criterio normativo establece la utilización de este tipo de conductores en los proyectos nuevos de redes de distribución y transmisión.

8.1.2 Aisladores

Los aisladores a utilizar en los proyectos de redes de media tensión deben ser de materiales como porcelana esmaltada, vidrio, tipo sintético o poliméricos, todos estos materiales con capacidad de resistir la intemperie de la zona de instalación. La carga de ruptura de los aisladores mínima será del 80% de la carga de ruptura del conductor que va a soportar, para el proyecto, el conductor ACSR 266.8 MCM. Los aisladores propuestos cumplen con la normativa ANSI 52-3 para el caso de los aisladores de suspensión y la norma ANSI 52-4 para los aisladores de retención.

8.1.3 Templetes

Los templetes son refuerzos que se instalan para ayudar a la estructura a soportar los esfuerzos producto del conductor, por lo general, se instalan en estructuras que dan terminación a un circuito aéreo, en cambios de dirección de los conductores y en las derivaciones que se realizan de las redes principales a secundarias. El criterio para los postes de 14 m de altura, es que mantengan una distancia máxima de 6 metros medidos horizontalmente dados por la Tabla 9 del Capítulo 3 Redes de Media y Baja Tensión de CENS.

8.1.4 Apoyos

Los apoyos comprenden los elementos que están dispuestos para soportar los elementos que componen las líneas, para este caso, los postes de concreto que serán instalados en una configuración H con una medida estándar de 14 m para redes de media tensión con variaciones de máximo 5 cm. Estos postes deben cumplir con lo establecido en la normativa RETIE.

8.2 PRESUPUESTO ESTIMADO GENERADO POR UNIDADES CONSTRUCTIVAS

Una unidad constructiva es un “conjunto de elementos que conforman una unidad típica de un sistema eléctrico, destinada a la conexión de otros elementos de una red”. [9] Para realizar el presupuesto por unidades constructivas se deben establecer según lo descrito en la CREG 015 del 2018 la cual dicta la metodología necesaria para la remuneración de la actividad de distribución de energía.

El presupuesto estimado por unidades constructivas se realiza según la Tabla 13 UC de líneas de nivel de tensión 3 que figura en la CREG 015 de 2018. A continuación, se establece el presupuesto del proyecto SANOL25 en UC. Ver Tabla 27.

Tabla 27 Presupuesto estimado UC SANOL25. Fuente: Autor.

ítem	UC	Descripción	Cantidad	Valor	Valor total
1	N3L64	Poste de concreto de 14 m 750 kg Postes en H circuito sencillo suspensión	49	\$ 7.482.000	\$ 366.618.000
2	N3L65	Poste de concreto de 14 m 750 kg Postes en H circuito sencillo retención	18	\$ 11.952.000	\$ 215.136.000
3	N3L90	km de conductor (3 fases) ACSR 226 kcmil	8	\$ 35.012.000	\$ 280.096.000
4	N3L124	Cable de guarda	8	\$ 3.655.000	\$ 29.240.000
5	N3L126	Sistema de puesta a tierra diseño típico para poste	67	\$ 376.000	\$ 25.192.000
Total presupuesto en UC				\$	916.282.000

Como se ve reflejado en la Tabla 27, el presupuesto estimado para el proyecto es de \$ 916.282.000 COP.

La cantidad de estructura de retención se determina teniendo en cuenta los posibles cambios de dirección y empalmes en el circuito SANOL25.

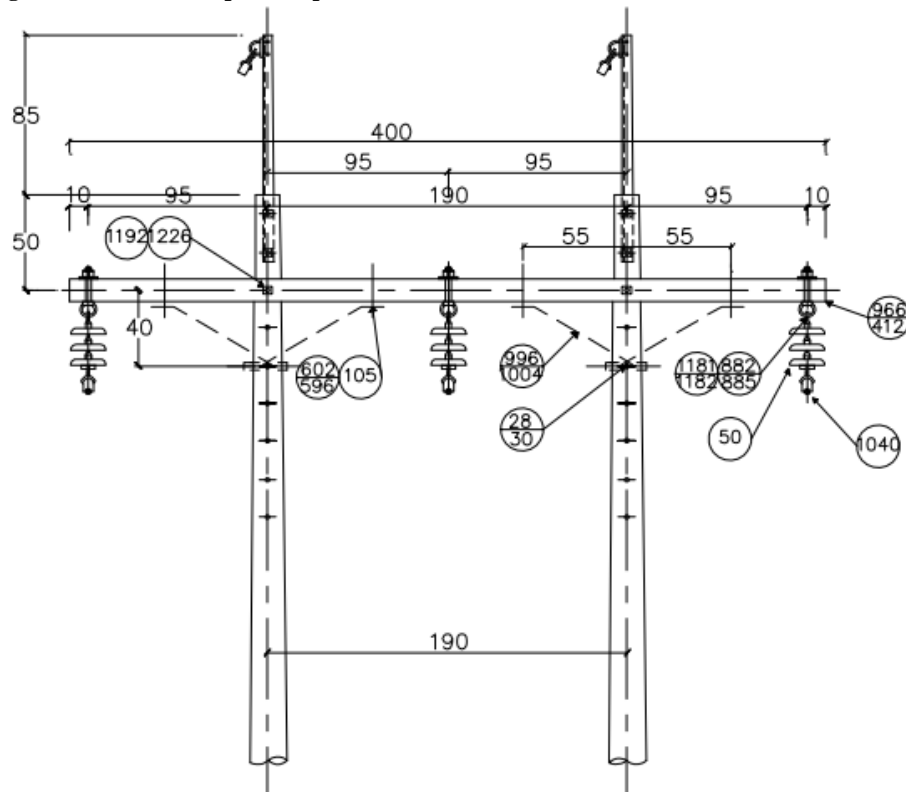
8.3 PRESUPUESTO ESTIMADO POR CENTRALES ELECTRICAS DE NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P.

Para el presupuesto realizado bajo la metodología utilizada en los proyectos de CENS S.A. E.S.P. se tienen en cuenta los materiales que se utilizan en cada estructura, estos se pueden ver en la norma CNS-03-231-0.3 Estructuras de 34.5 kV.

8.3.1 Estructura de suspensión

La estructura de suspensión en H disposición horizontal trifásica 34.5 kV se puede observar en la Figura 25.

Figura 25 Estructura tipo H suspensión trifásica 34.5 kV. Fuente: Norma CENS estructuras.



El costo aproximado de la estructura vista en la Figura 25 se puede observar en la Tabla 28 con precios tomados del sistema SAC actualizados a noviembre del año 2020.

Tabla 28 Presupuesto estimado estructura tipo H suspensión 34.5 kV. Fuente: Autor.

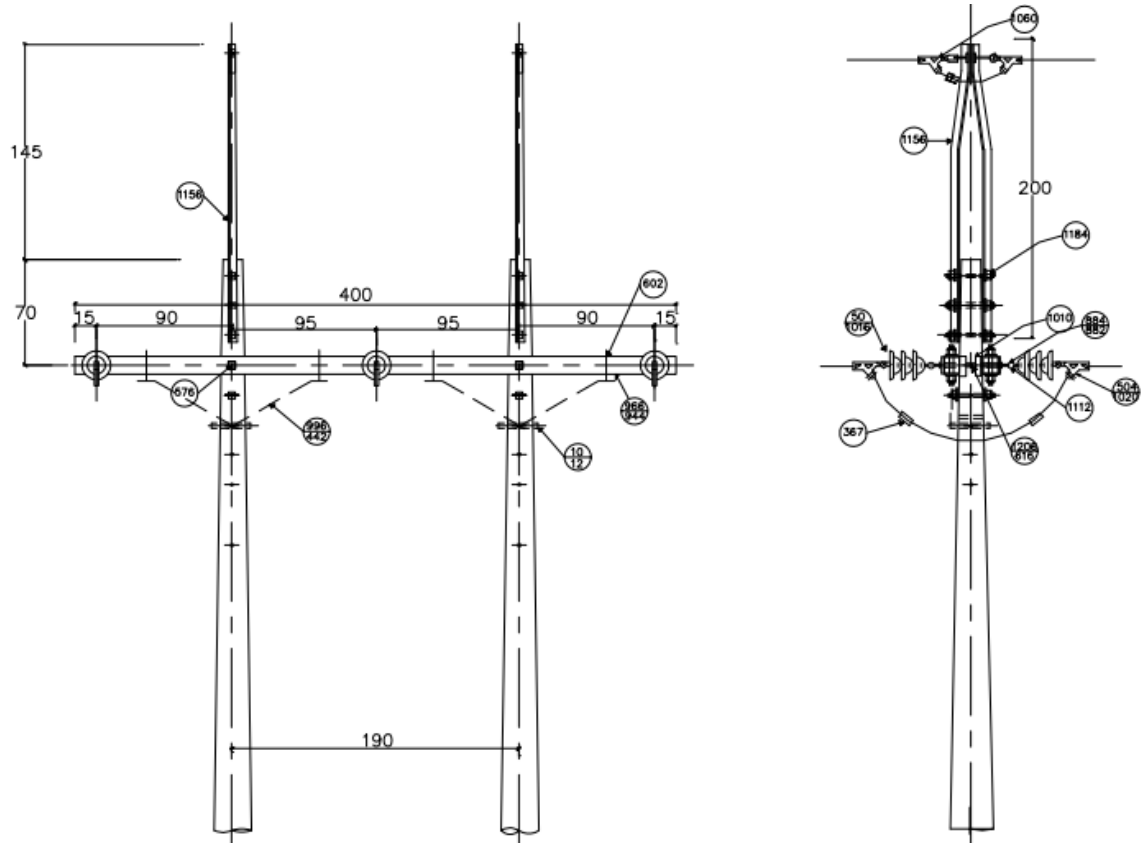
Estructura suspensión 34.5 kV						
Ítem	Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unidad	Valot total
1	1541	POSTE DE CONCRETO DE 14 MTS. X 750 KGS.	UNIDAD	2	\$ 1.625.436	\$ 3.250.872
2	1489	COLLARIN DOS SALIDAS 7"	UNIDAD	1	\$ 12.479	\$ 12.479
3	1039	AISSLADOR TIPO SUSPENSION DE 10" ANSI 52-3	UNIDAD	9	\$ 34.832	\$ 313.488
4	1053	ARANDELA DE PRESION DE 1/2"	UNIDAD	2	\$ 174	\$ 348
5	1575	CRUCETA METALICA DE 3" x 3" x 1/4" x 4 MT	UNIDAD	1	\$ 129.888	\$ 129.888
6	1214	PERNO DE 1/2" x 1 1/2" GALVANIZADO EN CALIENTE	UNIDAD	2	\$ 933	\$ 1.866
7	1281	TUERCA DE OJO ALARGADO DE 3/4"	UNIDAD	3	\$ 7.120	\$ 21.360
8	1153	DIAGONAL RECTA METALICA DE 68 CM	UNIDAD	2	\$ 15.640	\$ 31.280
9	1015	GRAPA DE SUSPENSION ALUMINIO 4/0AWG - 336.4KCMIL	UNIDAD	3	\$ 64.824	\$ 194.472
10	1155	ESLABON RETORCIDO DE PASADOR Y OJAL C.R. 15000 LBS REF. ICEL 162	UNIDAD	3	\$ 19.656	\$ 58.968
11	1219	PERNO DE 3/4" x 2" GALVANIZADO EN CALIENTE	UNIDAD	5	\$ 6.080	\$ 30.400
12	1050	ARANDELA CUADRADA PLANA DE 1/2"	UNIDAD	2	\$ 513	\$ 1.026
13	1051	ARANDELA CUADRADA PLANA DE 3/4"	UNIDAD	2	\$ 513	\$ 1.026
14	1498	ARANDELA DE PRESION DE 3/4"	UNIDAD	5	\$ 202	\$ 1.010
15	1200	KIT PUESTA A TIERRA MT	UNIDAD	2	\$ 163.187	\$ 326.374
					SUB TOTAL	\$ 4.374.857
					IVA 19%	\$ 831.223
					TOTAL	\$ 5.206.080

El costo aproximado de una estructura completa de suspensión tipo H es de \$ 5.206.080 COP a noviembre del año 2020.

8.3.2 Estructura de retención

La estructura de retención a utilizar es tipo H con doble disposición horizontal trifásica 34.5 kV. Ver Figura 26.

Figura 26 Estructura tipo retención en H con doble disposición horizontal trifásica 34.5 kV. Fuente: Norma CENS estructuras.



El costo aproximado de la estructura vista en la Figura 26 se puede observar en la Tabla 29 con precios tomados del sistema SAC actualizados a noviembre del año 2020.

Tabla 29 Presupuesto estimado estructura tipo H retención 34.5 kV. Fuente: Autor.

Estructura retención 34.5 kV						
ítem	Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor	Valor total
1	1541	POSTE DE CONCRETO DE 14 MTS. X 750 KGS.	UNIDAD	2	\$ 1.625.436	\$ 3.250.872
2	1489	COLLARIN DOS SALIDAS 7"	UNIDAD	2	\$ 12.479	\$ 24.958
3	1054	ARANDELA DE PRESION DE 5/8"	UNIDAD	16	\$ 174	\$ 2.784
4	1053	ARANDELA DE PRESION DE 1/2"	UNIDAD	8	\$ 143	\$ 1.144
5	1055	ARANDELA REDONDA DE 1/2"	UNIDAD	8	\$ 143	\$ 1.144
6	167	CONECTOR DE ALUMINIO DE DOS PERNOS LC. 66 DE 4/0 A 366 MCM	UNIDAD	6	\$ 58.538	\$ 351.228
7	1045	DIAGONAL EN V DE 48" PARA CRUCETA METALICA SIN DOBLEZ	UNIDAD	4	\$ 23.250	\$ 93.000
8	1212	PERNO DE 5/8" x 10" GALVANIZADO EN CALIENTE	UNIDAD	4	\$ 4.259	\$ 17.036
9	1214	PERNO DE 1/2" x 1 1/2" GALVANIZADO EN CALIENTE	UNIDAD	8	\$ 933	\$ 7.464
10	1158	ESPARRAGO DE 5/8" x 14" CON 4 TUERCAS	UNIDAD	3	\$ 6.552	\$ 19.656
11	1281	TUERCA DE OJO ALARGADO DE 5/8"	UNIDAD	6	\$ 7.120	\$ 42.720
12	1575	CRUCETA METALICA DE 3" x 3" x 3/8" x 4 MT	UNIDAD	2	\$ 129.888	\$ 259.776
13	1040	AISLADOR TIPO SUSPENSION DE 10" CUENCA Y BOLA ANSI 52-4	UNIDAD	18	\$ 34.832	\$ 626.976
14	1190	GRAPA DE RETENSION EN ALUMINIO REF. 704	UNIDAD	6	\$ 55.219	\$ 331.314
15	1189	GRAPA DE ANGULO EN ACERO FORJADO PARA CABLE DE GUARDA	UNIDAD	6	\$ 20.344	\$ 122.064
16	1051	ARANDELA CUADRADA PLANA DE 5/8"	UNIDAD	16	\$ 513	\$ 8.208
					SUB TOTAL	\$ 5.160.344
					IVA 19%	\$ 980.465
					TOTAL	\$ 6.140.809

Como se observa en la Tabla 29 el presupuesto en materiales para la estructura descrita anteriormente es de \$6.140.809 COP actualizado a noviembre de 2020.

8.3.3 Costo de mano de obra

Otro ítem a considerar son los costos de mano de obra y demás gastos asociados al traslado e instalación de esas estructuras. El presupuesto estimado de la mano de obra por cada estructura se ve en la Tabla 30 dado bajo valores establecidos en el SAC utilizado por CENS para las cotizaciones.

Tabla 30 Costo estimado mano de obra para las estructuras de 34.5 kV. Fuente: Autor.

Costo mano de obra por estructura						
ítem	Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor	Valor total
1	978	ABERTURA DE HOYO PARA HINCADA DE POSTE MT	UNIDAD	2	\$ 127.186	\$ 254.372
2	347	L.E. HINCAR O DESHINCAR, ALINEAR Y APISONAR POSTE	UNIDAD	2	\$ 1.160.794	\$ 2.321.588
3	382	VESTIDA DE POSTE EN 34.5 KV	UNIDAD	1	\$ 983.603	\$ 983.603
4	929	TRANSPORTE Y DESCARGUE DE POSTES DE CONCRETO	UNIDAD	2	\$ 54.449	\$ 108.898
5	334	INSTALACION PUESTA TIERRA AT Y FUNDIDA CONECT BREA	UNIDAD	2	\$ 71.498	\$ 142.996
					TOTAL	\$ 3.811.457

La mano de obra estimada por estructura tiene un valor de \$3.811.457 COP actualizados a noviembre del año 2020.

8.3.4 Valor de los conductores

El valor de los conductores se puede observar en la Tabla 31.

Tabla 31 Valor estimado de los conductores para todo el circuito SANOL25. Fuente: Autor.

Costo conductores						
ítem	Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor	Valor total
1	1086	CABLE DE ALUMINIO ACSR 266.8 MCM PARTRIDGE (26/7)	METRO	8100	\$ 7.785	\$ 63.058.500
2	1087	CABLE DE ALUMINIO ACSR 4 AWG SWAN	METRO	8100	\$ 1.128	\$ 9.136.800
3	708	TENDIDA Y TENSIONADA DE RED EN M.T.	METRO	8100	\$ 1.600	\$ 12.960.000
					TOTAL	\$ 85.155.300

El costo de los conductores para el circuito propuesto SANOL25 es de \$85.155.300 COP actualizas al mes de noviembre del año 2020.

8.3.5 Presupuesto estimado general del circuito SANOL25

Teniendo en cuenta los valores mencionados en los ítems anteriores se diseña la Tabla 32 que contiene el presupuesto estimado general del proyecto SANOL25.

Tabla 32 Presupuesto estimado general del proyecto SANOL25. Fuente: Autor.

PRESUPUESTO TOTAL ESTIMADO SANOL25					
ítem	Código	Descripción	Cantidad	Valor unidad	Valor total
1	-	ESTRUCTURA RETENSIÓN 34.5 kV EN H	18	\$ 6.140.809	\$ 110.534.562
2	-	ESTRUCTURA SUSPENSIÓN 34.5 kV EN H	49	\$ 5.206.080	\$ 255.097.920
3	-	MANO DE OBRA ESTRUCTURAS	67	\$ 3.811.457	\$ 255.367.619
4	1086	CABLE DE ALUMINIO ACSR 266.8 MCM PARTRIDGE (26/7)	8100	\$ 7.785	\$ 63.058.500
5	1087	CABLE DE ALUMINIO ACSR 4 AWG SWAN	8100	\$ 1.128	\$ 9.136.800
6	708	TENDIDA Y TENSIONADA DE RED EN M.T.	8100	\$ 1.600	\$ 12.960.000
TOTAL					\$ 706.155.401

El valor aproximado estimado del proyecto SANOL25 es de \$706.155.401 COP actualizado al mes de noviembre del año 2020.

8.4 FACTIBILIDAD DEL PROYECTO EN TÉRMINOS ECONÓMICOS

Al tener presente los valores estimados expuestos por unidades constructivas y el presupuesto estimado utilizando la metodología presupuestaria de CENS S.A. E.S.P. Con las unidades constructivas se puede determinar la utilidad del proyecto y el posterior reconocimiento por parte del estado colombiano basado en la CREG 015 del 2018 al operador de red al realizar el proyecto.

Tabla 33 Utilidad del proyecto SANOL25. Fuente: Autor.

Descripción	Valor
Unidades constructivas CREG 015 de 2018	\$ 916.282.000
Estimado metodología OR	\$ 706.155.401
UTILIDAD	\$ 210.126.599

Con los valores aplicamos la metodología expuesta en el libro Finanzas Corporativas de Jaffe, Ross y Westerfield [21] donde utilizando la formula (xx) se obtiene el porcentaje o tasa de retorno.

$$TR = \frac{V_{final} - V_{inicial}}{V_{inicial}} * 100 \quad (xx)$$

Donde:

V_{final} = Valor del proyecto en unidades constructivas.

$V_{inicial}$ = Valor del proyecto con metodología CENS S.A. E.S.P.

Reemplazando los valores de la Tabla 30 en la formula (xx) se obtiene:

$$TR = \frac{\$916.282.000 - \$706.155.401}{\$706.155.401} * 100 = 29.75\%$$

La tasa de retorno del proyecto SANOL25 es de 29.75% en valor positivo que representa un beneficio para el operador de red en términos económicos de \$210.126.599 COP que serán parte de los activos de la empresa y se podrán usar para proyectos de expansión, capacitación del personal y mejoramiento del servicio en general.

9. CONCLUSIONES

- El proyecto se realizó bajo la factibilidad de la reubicación del circuito SANOL25 que hoy día es propiedad de CEMEX y presta un servicio de índole privado, el personal de CENS realizó un sondeo al circuito en donde determina que se están presentando incumplimiento en las distancias mínimas de seguridad que deben cumplir los conductores aéreos para media tensión. El proyecto mediante una metodología establecida por normativa interna de CENS S.A. E.S.P. y demás normas nacionales permite determinar los criterios eléctricos y mecánicos que hacen posible realizar el nuevo circuito SANOL25 que sustentado en proyecciones se genera una ruta de contingencia para las subestaciones de Belén y San Matero y, aun así, seguir suministrando el servicio a la empresa CEMEX con los estándares de calidad necesarios para su correcta operación
- Los sistemas de recolección de datos usados por CENS permiten al personal capacitado poder realizar estudios enfocados al mejoramiento de los actuales sistemas de distribución, configuración de subestaciones y bajo análisis simulados poder llevar los escenarios a proyecciones que permitan establecer un mejoramiento que beneficia y se mantiene al servicio de la comunidad preparados para soportar las peores condiciones del sistema y así seguir funcionando de manera idónea.
- Con la ejecución del proyecto se genera un escenario de contingencia que permite a los usuarios que son alimentados de la subestación Los Patios tener un servicio que se mantenga en funcionamiento en caso de que se

presenten eventos o mantenimientos en la subestación de Belén que afecte directamente la continuidad del servicio, mejorando los índices de energía no suministrada del operador de red.

- En términos eléctricos y mecánicos el diseño del nuevo circuito SANOL25 basado en un conductor ACSR 266.8 MCM cumple con los criterios mínimos establecidos por normativa interna y nacional que determinan su correcto funcionamiento ante eventos, que soporta y mantiene el suministro de la energía eléctrica ante las hipótesis de diseño más desfavorables y con los estándares de continuidad adecuados.
- En términos económicos, la ejecución del proyecto le genera a CENS un beneficio con una tasa de retorno de 29.75% en activos monetarios ya que la resolución CREG 015 del 2018 establece la metodología para remunerar a los operadores de red que presenten proyectos que permitan mejorar los sistemas actuales y entregar un mejor servicio, esta resolución reconoce el valor en términos de unidades constructivas que establece un costo mayor de lo que cuesta el proyecto dando así una diferencia monetaria positiva que serán parte de la empresa para procesos de inversión y capacitación de personal convirtiéndose en un proceso de mejora en la calidad en que se presta el servicio.

10.RECOMENDACIONES

- Con las simulaciones proyectadas a 10 años se logra evidenciar un porcentaje de sobrecarga en algunas subestaciones estudiadas, se recomienda un estudio de repotenciación de estas instalaciones para que todos los equipos e instrumentos logren trabajar por debajo de los valores nominales y así soportar sobrecargas imprevistas que en su defecto pueden interrumpir la continuidad del servicio.

11. REFERENCIAS

- [1] Gobernación de Norte de Santander, «Información general de Norte de Santander,» Gobernación de Norte de Santander, [En línea]. Available: <http://www.nortedesantander.gov.co/Gobernaci%C3%B3n/Nuestro-Departamento/Informaci%C3%B3n-General-Norte-de-Santander>. [Último acceso: 12 Septiembre 2020].
- [2] Gobernación de Norte de Santander, «Municipios,» [En línea]. Available: <http://www.nortedesantander.gov.co/Gobernaci%C3%B3n/Nuestro-Departamento/Municipios>. [Último acceso: 12 Septiembre 2020].
- [3] DANE, «Censo Nacional de Población y Vivienda,» Colombia, 24 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>. [Último acceso: 20 Septiembre 2020].
- [4] CEMEX, «CEMEX Colombia,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.cemexcolombia.com/nuestra-empresa>.
- [5] CENS S.A. E.S.P., «Centrales Electricas de Norte de Santander,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.cens.com.co/Institucional/Quienessomos.aspx>. [Último acceso: 20 Septiembre 2020].
- [6] Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE), Capítulo 1: Disposiciones generales, Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, 2013.
- [7] Norma Técnica Colombiana 2050 , Sección 90. Introducción, Bogotá: Ministerio de desarrollo económico, 1998.
- [8] Norma Interna CENS S.A. E.S.P., CNS-NT-01 Capitulo 1. Generalidades., Cúcuta: CENS S.A. E.S.P., 2015.
- [9] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), Resolución No 015 del 2018, Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, 2018.
- [10] Norma interna CENS S.A. E.S.P., CNS-NT-02 Capitulo 2: Parámetros de diseño., Cúcuta: CENS S.A. E.S.P., 2016.
- [11] Norma interna CENS S.A. E.S.P., CNS-NT-03 Capitulo 3. Redes de media y baja tensión., Cúcuta: CENS S.A. E.S.P., 2015.
- [12] EPM, «RA8-025 Criterios de diseño de electrificación rural,» Medellín, 2009.
- [13] Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE), Capitulo 2. Requisitos técnicos esenciales, Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, 2013.
- [14] V. Tejedor Alonso, «Simulador para cálculos eléctricos y mecánicos de líneas

aéreas de A.T.,» Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2012.

- [15] T. L. Cortes Gonzales y J. Guevara Londoño, «Diseño, interventoria y costos de desarrollo de proyectos eléctricos,» Universidad Autónoma de Occidente, Cali, 2001.
- [16] Y. Narvaez Lopez y K. Prado Linero, «DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN PARA LA NORMALIZACIÓN DEL BARRIO EL PIÑONCITO DE CAMPO DE LA CRUZ,» Universidad de la Costa, Barranquilla, 2012.
- [17] L. M. Checa, Líneas de Transporte de Energía, Barcelona: Marcombo S.A., 1998.
- [18] R. D. Tarazona Pérez, «Diseño para interconexión a nivel de tensión 2 del circuito palchinacota,» Universidad de Pamplona, Pamplona, 2020.
- [19] Norma interna CENS S.A. E.S.P., «CNS-03-103-03 Estructuras 34.5 kV,» CENS S.A. E.S.P., Cúcuta, 2017.
- [20] Weather Spark, «El clima promedio en Los Patios,» Weather Spark, 10 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://es.weatherspark.com/y/25310/Clima-promedio-en-Los-Patios-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>. [Último acceso: 10 Noviembre 2020].
- [21] S. A. Ross, R. W. Westerfield y J. F. Jaffe, Finanzas Corporativas, Estados Unidos: Mc Graw Hill, 2010.

12. ANEXOS

12.1 ANEXO 1: DATOS DE SIMULACIÓN ALTERNATIVA 2 SIN PALERMO PROYECTADA AL AÑO 2021.

SIMULACIÓN ALTERNATIVA 2 2021 SIN PALERMO																					
	BARRA 34.5 kV SE PATIOS			Trafo	BARRA 34.5 kV SE PALERMO			Trafo	BARRA 34.5 kV BELEN			Trafo TR-06	BARRA 34.5 kV SAN MATEO			Trafo TR-07	BARRA 34.5 kV EL SAMAN			Trafo	
Tiempo	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%
0:00	9.17835091	37.4463603	37.56894	3.526463	29.516667	68.698507	22.0262846	38.2271993	46.60558	23.0581076	36.4982986	49.83126	9.058477	35.997289	69.456498						
1:00	9.167601	37.743186	35.596676	3.424522	29.775107	66.133447	21.497918	38.520446	45.156312	21.874544	36.79811	46.909846	8.498017	36.299285	64.61666						
2:00	10.618684	37.460808	34.905469	3.389136	29.776863	65.446194	22.992682	38.380902	48.468231	21.051999	36.807724	45.134751	8.2178	36.23989	62.588252						
3:00	10.474711	37.623703	33.993319	3.351699	29.855865	64.551953	22.735591	38.527111	47.742981	20.46033	36.955664	43.691903	7.992783	36.401974	60.603281						
4:00	10.497101	37.694169	33.738749	3.377937	29.840895	65.08992	23.022068	38.597487	48.254926	20.151602	37.043037	42.93198	7.871643	36.492806	59.536138						
5:00	10.655389	37.774752	34.256648	3.594162	29.67352	69.647094	24.254421	38.679008	50.729467	20.240755	37.164927	42.98119	7.908154	36.612676	59.616466						
6:00	10.260783	37.912854	31.863304	3.443423	28.992278	68.293988	23.495205	38.792925	48.996472	19.145985	37.240508	40.576542	7.422899	36.705296	55.816976						
7:00	10.318343	37.283155	34.322969	3.442122	29.201148	67.779823	24.921623	38.182148	52.798967	20.625015	36.701936	44.345009	7.700787	36.164088	58.773321						
8:00	10.105148	36.199707	37.93813	3.67395	28.742357	73.499816	26.940051	37.117144	58.713331	24.206045	35.663952	53.548573	8.4564	35.094833	66.507355						
9:00	9.493044	35.350795	37.888437	3.874408	28.155867	79.124958	26.760386	36.245954	59.7318	25.762116	34.731338	58.516574	8.679907	34.133288	70.188955						
10:00	10.007235	34.586424	42.347465	3.977851	27.888578	82.016287	29.221778	35.555446	66.496705	27.913149	34.15579	64.469312	9.03041	33.535394	74.325846						
11:00	10.297536	34.073547	44.354071	4.134567	27.606069	86.120154	29.849457	35.095624	68.823453	29.05967	33.718082	67.989585	9.236509	33.066099	77.101828						
12:00	9.753902	34.958624	41.746368	4.113957	27.670617	85.490975	26.549175	35.894194	59.851565	28.149115	34.305853	64.735005	8.952461	33.695192	73.334981						
13:00	9.576715	35.350022	40.375714	4.052081	27.886708	83.552507	26.871698	36.249519	59.984554	27.784793	34.667102	63.233016	8.924575	34.078097	72.284786						
14:00	10.256804	33.967431	45.612885	4.070679	27.620191	84.746111	29.916437	34.981924	69.20998	29.864685	33.572169	70.179085	9.455021	32.919811	79.276799						
15:00	10.36455	33.446108	46.463645	4.084129	27.478951	85.463292	28.686582	34.490698	67.31963	30.677605	32.97437	73.394242	9.593373	32.289863	82.007255						
16:00	9.935253	33.653216	45.123374	4.073341	27.575539	84.938892	28.997917	34.649166	67.733828	30.172129	33.13983	71.823267	9.595792	32.47436	81.561643						
17:00	8.252303	34.65938	41.658166	4.114923	27.59508	85.745132	26.122179	35.461698	59.612506	29.002753	33.744528	67.804162	9.140159	33.187408	76.018653						
18:00	9.754224	34.639769	43.326137	4.867687	26.498581	105.629348	27.646207	35.557848	62.933661	29.609944	33.918065	68.874607	9.659187	33.297876	80.069555						
19:00	9.610871	35.28094	46.556375	5.456683	26.062121	120.394949	28.377339	36.151519	63.557088	29.798207	34.442411	68.272946	10.164538	33.868947	82.838069						
20:00	9.820055	35.632781	47.311123	5.13012	26.757878	110.245692	26.745338	36.515566	59.299051	28.993224	34.78219	65.779574	10.258048	34.205503	82.777204						
21:00	9.763061	35.925446	46.761672	4.634534	27.523448	96.824495	25.40464	36.78985	55.897528	27.352373	35.072589	61.536735	10.29802	34.509024	82.368341						
22:00	9.380182	36.267212	44.754191	4.081513	28.456591	82.473939	23.836394	37.085406	52.02007	26.511173	35.329333	59.206817	10.127813	34.787722	80.357351						
23:00	9.919053	36.71697	41.314353	3.705858	29.142365	73.120694	23.269447	37.586181	50.09895	25.152997	35.876659	55.317472	9.658306	35.309863	75.498201						

12.2 ANEXO 2: DATOS DE SIMULACIÓN ALTERNATIVA 2 SIN PALERMO PROYECTADA AL AÑO 2030.

SIMULACIÓN ALTERNATIVA 2 2030 SIN PALERMO														
BARRA 34.5 kV SE PATIOS			Trafo	BARRA 34.5 kV BELEN			Trafo TR-06	BARRA 34.5 kV SAN MATEO			Trafo TR-07	BARRA 34.5 kV EL SAMAN		Trafo
Tiempo	12.157535	33.713701	55.059462	34.187854	34.899837	77.180346	34.817018	32.334802	79.122003	11.555325	31.76057	98.173417		
	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%		
0:00	10.460487	35.79597	44.792826	25.182572	36.733539	54.155019	26.159566	33.729777	57.00782	10.145938	33.234437	84.259662		
1:00	10.450695	36.088288	42.421321	24.579873	37.019946	52.450318	24.80652	33.988164	53.652217	9.507955	33.526212	78.274036		
2:00	12.116239	35.778822	41.653197	26.315271	36.882936	56.358492	23.866472	34.048106	51.530199	9.18797	33.600707	75.472001		
3:00	11.952144	35.85987	40.649673	26.020856	36.946207	55.632373	23.19272	34.113522	49.980833	8.933881	33.67917	73.213826		
4:00	11.978058	35.889718	40.385479	26.348612	36.977092	56.285438	22.840773	34.164212	49.15026	8.796596	33.736398	71.966444		
5:00	12.157535	35.879015	41.085157	27.755805	36.970286	59.300688	22.94423	34.188524	49.337651	8.83957	33.760099	72.267253		
6:00	11.710239	36.056512	38.198456	26.884151	37.117086	57.210888	21.690936	34.279411	46.521945	8.282642	33.867688	67.498915		
7:00	11.773689	35.678736	40.901564	28.510773	36.755448	61.266024	23.377079	34.042479	50.480272	8.59629	33.610602	70.590833		
8:00	11.529367	35.046239	44.717754	30.808166	36.132316	67.340935	27.458463	33.495575	60.249926	9.449355	33.008938	79.010592		
9:00	10.831978	34.770192	43.972395	30.587096	35.812835	67.455098	29.223124	33.167445	64.751979	9.692756	32.658788	81.914859		
10:00	11.41632	34.185994	48.892875	33.399104	35.308989	74.704456	31.678729	32.822165	70.926069	10.092334	32.287679	86.272237		
11:00	11.748204	33.840702	50.962918	34.116058	35.019293	76.939534	32.984528	32.576784	74.403718	10.324076	32.025398	88.976172		
12:00	11.131012	34.415918	48.440439	30.350573	35.505022	67.515039	31.944793	32.784638	71.604473	9.997914	32.249628	85.566068		
13:00	10.925601	34.592712	47.10271	30.717007	35.646119	68.06059	31.536211	32.906988	70.426808	9.974236	32.381143	85.01666		
14:00	11.699213	33.817206	52.26766	34.187854	34.984166	77.180346	33.901024	32.518564	76.607121	10.571692	31.957503	91.303862		
15:00	11.820133	33.713701	52.57209	32.773284	34.899837	74.167155	34.817018	32.334802	79.122003	10.718657	31.76057	93.147239		
16:00	11.331989	33.790563	51.278816	33.129361	34.926219	74.915073	34.242252	32.363742	77.746782	10.722793	31.786993	93.105703		
17:00	9.410007	34.49051	47.790677	29.83552	35.414134	66.540257	32.914427	32.588281	74.219491	10.21072	32.041294	87.955531		
18:00	11.116749	34.323925	49.81237	31.582632	35.384813	70.497043	33.615888	32.638605	75.684754	10.810442	32.076693	93.018983		
19:00	10.940597	34.6393	53.93261	32.406867	35.654451	71.794357	33.848021	32.776368	75.891847	11.401541	32.206032	97.711396		
20:00	11.178994	34.81928	55.059462	30.549439	35.853671	67.305771	32.932957	32.929583	73.499167	11.510177	32.359916	98.173417		
21:00	11.112301	35.044772	54.501487	29.01877	36.059356	63.569493	31.05919	33.144668	68.8697	11.555325	32.581889	97.886879		
22:00	10.676099	35.366066	52.190339	27.226917	36.326793	59.205964	30.095105	33.35038	66.321433	11.358952	32.800265	95.582577		
23:00	11.301668	35.551006	48.565549	26.599433	36.579284	57.44166	28.544868	33.601942	62.437279	10.823615	33.076779	90.316271		

12.3 ANEXO 3: DATOS DE SIMULACIÓN ALTERNATIVA 2 CON PALERMO PROYECTADA AL AÑO 2021.

SIMULACIÓN ALTERNATIVA 2 2021 CON PALERMO																			
BARRA 34.5 kV SE PATIOS			Trafo	BARRA 34.5 kV SE PALERMO			Trafo	BARRA 34.5 kV BELEN			Trafo TR-06	BARRA 34.5 kV SAN MATEO			Trafo TR-07	BARRA 34.5 kV EL SAMAN			Trafo
Tiempo	10.658485	32.259529	48.84676	5.377833	30.516105	96.272441	34.520237	33.776186	81.317896	30.685023	32.700817	74.002102	10.29802	32.289863	82.838069				
	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%				
0:00	9.18101	36.656571	38.413877	3.495172	35.348688	56.855086	25.801168	37.780209	55.210474	23.060562	36.357954	50.03991	9.058477	35.997289	69.456498				
1:00	9.169999	36.958965	36.367675	3.394966	35.695637	54.688215	25.144629	38.06707	53.400072	21.876585	36.646113	47.100764	8.498017	36.299285	64.61666				
2:00	10.621972	36.654828	35.688834	3.360782	35.391594	54.602662	26.639369	37.910841	56.804751	21.053984	36.649187	45.327165	8.2178	36.23989	62.588252				
3:00	10.477714	36.828694	34.741543	3.323793	35.585884	53.706803	26.332477	38.062211	55.926429	20.462172	36.797296	43.877208	7.992783	36.401974	60.603281				
4:00	10.500077	36.90112	34.477807	3.349654	35.65649	54.017481	26.652258	38.134966	56.496566	20.15336	36.885378	43.112703	7.871643	36.492806	59.536138				
5:00	10.658485	36.968697	35.017766	3.563164	35.679947	57.422852	28.145325	38.215841	59.533682	20.242512	37.00668	43.161877	7.908154	36.612676	59.616466				
6:00	10.26331	37.172756	32.50888	3.411296	35.954468	54.555509	27.212558	38.37344	57.324438	19.147392	37.098729	40.728292	7.422899	36.705296	55.816976				
7:00	10.321315	36.500489	35.074409	3.41285	35.242565	55.682965	28.653258	37.730925	61.384565	20.626766	36.545456	44.531835	7.700787	36.164088	58.773321				
8:00	10.109166	35.310174	38.919726	3.642178	33.909612	61.76079	30.969489	36.597613	68.398687	24.208938	35.479294	53.823873	8.4564	35.094833	66.507355				
9:00	9.497692	34.366126	39.005822	3.838722	32.846422	67.200887	31.032345	35.665282	70.331487	25.766003	34.519123	58.873223	8.679907	34.133288	70.188955				
10:00	10.013638	33.518445	43.744022	3.943558	31.903818	71.076173	33.667219	34.918942	77.934276	27.918135	33.919796	64.913568	9.03041	33.535394	74.325846				
11:00	10.305506	32.92281	45.963816	4.099435	31.205474	75.539463	34.520237	34.406616	81.101659	29.065675	33.460071	68.508959	9.236509	33.066099	77.101828				
12:00	9.759963	33.896876	43.100003	4.071248	32.24645	72.597957	31.121339	35.272698	71.321347	28.153636	34.086762	65.142981	8.952461	33.695192	73.334981				
13:00	9.581799	34.338557	41.602814	4.010558	32.742689	70.4317	31.34677	35.661222	71.055763	27.788755	34.462503	63.599459	8.924575	34.078097	72.284786				
14:00	10.264904	32.831467	47.253386	4.037013	31.134121	74.55974	34.506596	34.302952	81.317896	29.870827	33.321301	70.70007	9.455021	32.919811	79.276979				
15:00	10.373709	32.259529	48.244195	4.05331	30.516105	76.37709	33.324452	33.776186	79.760733	30.685023	32.700817	74.002102	9.593373	32.289863	82.007255				
16:00	9.943352	32.504411	46.782669	4.041691	30.783354	75.496788	33.59428	33.963505	79.959396	30.178966	32.886003	72.371571	9.595792	32.47436	81.561643				
17:00	8.257358	33.614905	42.997661	4.075149	31.959642	73.319561	30.666308	34.852018	71.127117	29.007772	33.524241	68.241151	9.140159	33.187408	76.018653				
18:00	9.760589	33.494788	44.856274	4.807605	31.625277	87.413372	33.121132	34.908982	76.700855	29.615459	33.685078	69.341053	9.659187	33.297876	80.069555				
19:00	9.616977	34.11164	48.202956	5.377833	32.121786	96.272441	34.500057	35.50482	78.566883	29.80377	34.211801	68.719996	10.164538	33.868947	82.838069				
20:00	9.825852	34.545527	48.84676	5.06495	32.68169	89.117366	32.481795	35.916269	73.123664	28.99824	34.570211	66.171889	10.258048	34.205503	82.777204				
21:00	9.768047	34.923483	48.143024	4.583923	33.225436	79.332697	30.550399	36.230823	68.176197	27.356937	34.872223	61.884376	10.29802	34.509024	82.368341				
22:00	9.384171	35.349022	45.949011	4.043737	33.824382	68.743615	28.314478	36.563863	62.608058	26.515158	35.142917	59.516483	10.127813	34.787722	80.357351				
23:00	9.922762	35.853578	42.334773	3.673896	34.454302	61.313858	27.303974	37.089239	59.515438	25.156255	35.703918	55.581078	9.658306	35.309863	75.498201				

12.4 ANEXO 4: DATOS DE SIMULACIÓN ALTERNATIVA 2 CON PALERMO PROYECTADA AL AÑO 2030.

SIMULACIÓN ALTERNATIVA 2 2030 CON PALERMO																													
BARRA 34.5 kV SE PATIOS			Trafo			BARRA 34.5 kV SE PALERMO			Trafo			BARRA 34.5 kV BELEN			Trafo TR-06			BARRA 34.5 kV SAN MATEO			Trafo TR-07			BARRA 34.5 kV EL SAMAN			Trafo		
Tiempo	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%		
	0:00	10.464637	34.947776	45.910795	3.869275	33.416838	66.579044	29.460978	36.28932	64.120361	26.161699	33.655325	57.138433	10.147502	33.158688	84.465182													
1:00	10.454425	35.269873	43.431638	3.757007	33.793892	63.925875	28.708238	36.591197	61.966896	24.808233	33.91806	53.766666	9.509214	33.454994	78.451073														
2:00	12.121264	34.938848	42.681004	3.718978	33.461126	63.908106	30.454451	36.439649	66.006667	23.868094	33.976319	51.642409	9.189174	33.527824	75.645993														
3:00	11.956863	35.03351	41.632818	3.678126	33.576682	62.988524	30.103357	36.510402	65.11914	23.194206	34.043273	50.087016	8.934984	33.607888	73.378181														
4:00	11.982767	35.063683	41.360676	3.707325	33.602759	63.439278	30.470046	36.542737	65.853395	22.842197	34.09424	49.254021	8.797658	33.665417	72.126901														
5:00	12.162527	35.029642	42.106131	3.946926	33.510439	67.725385	32.179272	36.529529	69.570937	22.945706	34.116332	49.445051	8.840665	33.686865	72.43335														
6:00	11.714347	35.274683	39.064812	3.780114	33.840893	64.229528	31.104173	36.716585	66.904073	21.692126	34.213967	46.613407	8.28357	33.801351	67.638989														
7:00	11.778286	34.865722	41.880744	3.779893	33.396097	65.081199	32.743485	36.333303	71.170125	23.378477	33.972591	50.587037	8.597406	33.539697	70.749275														
8:00	11.535129	34.138593	45.945236	4.03173	32.523036	71.280874	35.371917	35.654738	78.342869	27.460651	33.413644	60.402361	9.451093	32.925616	79.225143														
9:00	10.83804	33.796286	45.281885	4.246038	32.076618	76.114745	35.403705	35.297882	79.206582	29.225779	33.07728	64.934297	9.694907	32.566994	82.164014														
10:00	11.424383	33.137871	50.499806	4.360783	31.321035	80.05765	38.411999	34.747977	87.294345	31.682082	32.721424	71.151881	10.095039	32.184983	86.570759														
11:00	11.757982	32.719787	52.782504	4.53219	30.798119	84.617352	39.380829	34.416263	90.358851	32.988498	32.466623	74.66509	10.327272	31.912998	89.317255														
12:00	11.139002	33.344566	50.058883	4.504128	31.475602	82.283301	35.515705	34.934953	80.283237	31.948168	32.682806	71.835085	10.000691	32.14582	85.866284														
13:00	10.932576	33.557639	48.60907	4.438598	31.736789	80.418775	35.778703	35.097181	80.50518	31.53933	32.809228	70.643584	9.976765	32.281527	85.300678														
14:00	11.709044	32.708197	54.116316	4.461661	30.815142	83.254578	39.355777	34.385984	90.38264	33.905143	32.408914	76.875629	10.574976	31.845566	91.653325														
15:00	11.830401	32.593516	54.458685	4.475323	30.68202	83.871875	37.969333	34.296197	87.428094	34.821462	32.222798	79.407235	10.722224	31.64615	93.515209														
16:00	11.341421	32.682075	53.09326	4.464813	30.783589	83.398775	38.287306	34.328781	88.07538	34.246692	32.253278	78.023226	10.726357	31.674139	93.468577														
17:00	9.416321	33.456933	49.323955	4.507349	31.60784	81.997538	34.94317	34.867609	79.142217	32.917986	32.487908	74.456863	10.213592	31.938904	88.262379														
18:00	11.124964	33.155795	51.63207	5.327249	31.047114	98.66387	37.771296	34.779952	85.764682	33.620217	32.522407	75.965121	10.813862	31.958066	93.393918														
19:00	10.949025	33.406083	55.995532	5.967379	31.125095	110.243165	39.362517	35.02655	88.752838	33.85293	32.652793	76.190557	11.405163	32.07981	98.127183														
20:00	11.18716	33.668438	57.009114	5.619387	31.522518	102.505211	37.068767	35.270775	83.004296	32.937429	32.81703	73.761504	11.51343	32.244967	98.551329														
21:00	11.119257	34.000749	56.232428	5.082469	32.048291	91.189786	34.854878	35.529395	77.479901	31.063021	33.045085	69.085863	11.558081	32.480229	98.21676														
22:00	10.681592	34.425722	53.662081	4.478996	32.678441	78.812344	32.290611	35.844242	71.150217	30.09825	33.263421	66.501688	11.361228	32.711557	95.861035														
23:00	11.306963	34.662705	49.848308	4.066795	33.048728	70.757351	31.166276	36.116898	68.154315	28.547443	33.522551	62.590671	10.825495	32.995896	90.553429														


12.5 ANEXO 5: DATOS DE SIMULACIÓN ALTERNATIVA 3 PROYECTADA AL AÑO 2021.

SIMULACIÓN ALTERNATIVA 3 2021																				
	BARRA 34.5 kV SE PATIOS			Trafo	BARRA 34.5 kV SE PALERMO			Trafo	BARRA 34.5 kV BELEN			Trafo TR-06	BARRA 34.5 kV SAN MATEO			Trafo TR-07	BARRA 34.5 kV EL SAMAN			Trafo
Tiempo	7.00095	31.549619	50.212796	5.456777	26.057196	120.419796	18.595346	35.290499	42.100605	42.064421	32.373676	102.506035	10.30329	31.86005	83.753523					
	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%					
0:00	5.742703	35.528816	39.664357	3.52648	29.514358	68.704211	12.009536	38.767755	25.095654	33.02578	36.135278	72.101079	9.06148	35.724651	70.009889					
1:00	5.47800662	35.8130852	37.54426	3.424535637	29.76878193	66.13793	11.5260004	39.0300132	23.91006	31.7925719	36.4103557	68.85691	8.5004559	36.0268582	65.09887					
2:00	5.334079	35.67043	36.69684	3.389155	29.77451	65.45174	11.507985	39.038818	23.879103	32.440709	36.354258	70.399187	8.220118	35.980562	63.057224					
3:00	5.217849	35.843235	35.718021	3.351712	29.853756	64.556776	11.416943	39.173306	23.608167	31.68554	36.513398	68.46091	7.994861	36.151277	61.039477					
4:00	5.180988	35.934331	35.42572	3.377951	29.838915	65.094495	11.692337	39.246459	24.130989	31.387463	36.602783	67.651437	7.873616	36.246286	59.956149					
5:00	5.161199	36.06416	35.915003	3.594172	29.67178	69.651377	12.871072	39.333065	26.501594	31.53375	36.729745	67.732238	7.910044	36.373917	60.022193					
6:00	4.91238	36.166062	33.432024	3.443397	28.991248	68.295891	12.469442	39.436356	25.607531	30.098324	36.81518	64.500679	7.42464	36.471925	56.187361					
7:00	5.241741	35.599464	35.983226	3.442134	29.199409	67.78409	13.747784	38.838815	28.661246	31.714216	36.268727	68.980947	7.703016	35.905948	59.213059					
8:00	5.655059	34.505689	39.854611	3.67397	28.739945	73.506383	15.897537	37.80137	34.047445	35.169854	35.204688	78.802896	8.460058	34.790917	67.117469					
9:00	5.466905	33.566233	39.965908	3.87444	28.152705	79.134491	16.420809	36.931312	36.00037	36.038971	34.258075	82.981149	8.684451	33.817296	70.882062					
10:00	6.048916	32.886249	44.617923	3.977893	27.884657	82.028696	18.193713	36.306394	40.574124	38.86749	33.639839	91.139878	9.036393	33.173476	75.186752					
11:00	6.275433	32.361958	46.794729	4.134627	27.601135	86.1368	18.450279	35.89844	41.619458	40.382305	33.159376	96.068555	9.243639	32.674899	78.085489					
12:00	5.970176	33.056938	44.238502	4.114012	27.666145	85.505936	15.860988	36.605269	35.091916	38.77824	33.793763	90.522968	8.958494	33.329297	74.190283					
13:00	5.853134	33.485045	42.701262	4.052123	27.883006	83.564471	16.373993	36.92326	35.91365	38.223534	34.189336	88.196658	8.929756	33.737134	73.057934					
14:00	6.378083	32.218329	48.192419	4.070742	27.614925	84.763583	18.595346	35.772111	42.100605	41.111286	33.014187	98.237298	9.46255	32.520227	80.315362					
15:00	6.411836	31.549619	49.381181	4.084222	27.471329	85.488958	17.228329	35.290499	39.546747	42.064421	32.373676	102.506035	9.602457	31.86005	83.192776					
16:00	6.259996	31.788085	47.885095	4.073416	27.569256	84.959828	18.022765	35.418945	41.214876	41.089906	32.576407	99.504085	9.604433	32.063555	82.681456					
17:00	5.943519	32.645046	44.326516	4.114973	27.590841	85.759347	16.979924	36.060823	38.136262	38.124087	33.301687	90.307029	9.146691	32.822763	76.918413					
18:00	6.161238	32.708968	45.974552	4.86727	26.494306	105.637351	16.915528	36.221182	37.834148	40.288252	33.42911	95.080622	9.665634	32.939965	80.99394					
19:00	6.823499	33.313819	49.398363	5.456777	26.057196	120.419796	17.655831	36.748178	38.93985	40.47858	34.005834	93.926622	10.170479	33.518496	83.753523					
20:00	7.00095	33.636483	50.212796	5.130238	26.752842	110.268986	15.783063	37.111072	34.470035	39.909102	34.338012	91.706838	10.263808	33.854267	83.683367					
21:00	6.977719	33.962296	49.550654	4.634588	27.519087	96.840948	14.506615	37.359299	31.468468	38.201162	34.647296	86.988223	10.30329	34.170865	83.226366					
22:00	6.713075	34.279709	47.42726	4.081549	28.452734	82.485858	13.409667	37.613411	28.888105	36.897329	34.929778	83.332419	10.132563	34.464565	81.149133					
23:00	6.277034	34.770408	43.691804	3.705886	29.138837	73.130113	12.327147	38.171181	26.165233	36.033346	35.444396	80.199006	9.662319	35.002654	76.192661					






12.6 ANEXO 6: DATOS DE SIMULACIÓN ALTERNATIVA 3 PROYECTADA AL AÑO 2030.

SIMULACIÓN ALTERNATIVA 3 2030												
BARRA 34.5 kV SE PATIOS			Trafo	BARRA 34.5 kV BELEN		Trafo TR-06	BARRA 34.5 kV SAN MATEO		Trafo TR-07	BARRA 34.5 kV EL SAMAN		Trafo
Tiempo	7.940194	34.458589	54.317045	21.228973	36.784511	46.544478	47.634075	35.31945	108.98818	11.482899	34.802397	88.824061
	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%	S [MVA]	kV.	%
0:00	6.5274	36.220149	44.254363	13.710402	38.321133	28.94208	37.436148	36.901138	81.998889	10.089869	36.454995	76.391153
1:00	6.228386	36.500789	41.930098	13.158383	38.609232	27.570972	36.041398	37.172587	78.370257	9.459796	36.755814	71.034559
2:00	6.065699	36.374415	40.954582	13.137817	38.634901	27.509152	36.792037	37.141938	80.067616	9.143991	36.736868	68.69852
3:00	5.933982	36.463611	39.960897	13.03388	38.684344	27.256693	35.937376	37.217655	78.049375	8.892592	36.82427	66.65114
4:00	5.891991	36.517877	39.674815	13.348279	38.720014	27.887424	35.600627	37.270808	77.208183	8.756624	36.883214	65.527132
5:00	5.867966	36.548627	40.315278	14.693954	38.723768	30.692142	35.769882	37.300444	77.513432	8.799558	36.91236	65.796426
6:00	5.589022	36.671332	37.544285	14.235442	38.851909	29.637222	34.137105	37.404239	73.771754	8.244935	37.030916	61.451927
7:00	5.963303	36.406706	40.063771	15.694841	38.504553	32.9647	35.968059	37.155778	78.242622	8.554164	36.764546	64.218647
8:00	6.434246	35.818706	43.724848	18.149029	37.911734	38.707782	39.878134	36.589205	88.084072	9.393845	36.149553	71.722301
9:00	6.22091	35.504645	43.035157	18.746424	37.578214	40.335771	40.84071	36.252775	91.046105	9.630739	35.793844	74.261824
10:00	6.87801	35.059087	47.632432	20.770415	37.155729	45.194298	44.047613	35.866954	99.246655	10.023532	35.385099	78.183536
11:00	7.133177	34.731453	49.606472	21.063329	36.924866	46.118262	45.757917	35.580153	103.9298	10.250782	35.083097	80.644495
12:00	6.794775	35.036401	47.551422	18.107315	37.302424	39.250771	43.950851	35.831535	99.128164	9.927981	35.349198	77.516977
13:00	6.659672	35.217443	46.239048	18.692982	37.404374	40.409438	43.332104	35.983458	97.321198	9.907316	35.509621	77.006102
14:00	7.24781	34.684478	50.910198	21.228973	36.875142	46.544478	46.578393	35.528695	105.946619	10.495917	35.023412	82.713785
15:00	7.282537	34.458589	51.390334	19.668313	36.792504	43.222725	47.634075	35.31945	108.98818	10.638861	34.802397	84.372767
16:00	7.113779	34.549655	50.108191	20.575261	36.784511	45.223086	46.531703	35.377707	106.291033	10.641239	34.858807	84.255045
17:00	6.760199	35.013812	47.051177	19.38473	37.068772	42.281841	43.184161	35.713628	97.71985	10.135909	35.222346	79.425466
18:00	6.99659	34.941042	48.903125	19.311207	37.122982	42.063305	45.649472	35.710885	103.306241	10.73468	35.205909	84.156915
19:00	7.739332	35.150098	53.123089	20.156359	37.320989	43.674404	45.873232	35.89863	103.274875	11.325222	35.387361	88.331549
20:00	7.940194	35.279804	54.317045	18.018362	37.521425	38.83808	45.2286	36.043287	101.416534	11.434999	35.532265	88.824061
21:00	7.913257	35.525303	53.74094	16.561133	37.694151	35.536107	43.282536	36.272887	96.43931	11.482899	35.767903	88.608406
22:00	7.615471	35.801349	51.536667	15.30883	37.911354	32.66252	41.800221	36.512216	92.526536	11.289674	36.018512	86.511087
23:00	7.127271	35.986981	47.960355	14.072988	38.236978	29.772374	40.838414	36.731433	89.859684	10.761228	36.258646	81.915422

12.7 ANEXO 7: CATÁLOGO CENTELSA



CENTELSA
CABLES DE ENERGÍA Y DE TELECOMUNICACIONES S.A.
Una empresa Viakable

Cableado	Código	Calibre	Diámetro (mm)				RMS	Peso Aproximado (kg/km)			Carga de Rotura	Resistencia Eléctrica (Ω/km)		Capacidad de corriente			
			Aluminio / Acero	AWG / Kcmil	Alambres Individuales			mm	Al	Acero		Total	kg-f	DC a 20° C ¹⁾	AC a 75° C ²⁾	A	kA
					Acero	Al											
Cableado 5/1 	Swan	4	2,12	2,12	2,12	6,36	2,05	58,1	27,4	85,5	845	1,32	1,70	139	3,2		
	Sparrow	2	2,67	2,67	2,67	8,01	2,58	92,3	43,6	136	1290	0,89	1,10	184	5,1		
	Robin	1	3,00	3,00	3,00	9,00	2,90	116,4	55,0	171	1612	0,658	0,884	211	6,4		
	Raven	1/0	3,37	3,37	3,37	10,11	3,25	146,8	69,3	216	1965	0,522	0,717	241	8,0		
	Quail	2/0	3,78	3,78	3,78	11,35	3,65	181,1	87,4	273	2405	0,414	0,584	275	10,1		
	Pigeon	3/0	4,25	4,25	4,25	12,74	4,10	233,5	110,3	344	3003	0,328	0,479	313	12,8		
	Penguin	4/0	4,77	4,77	4,77	14,31	4,61	294,4	139,0	433	3787	0,260	0,396	355	16,1		
	Partridge	266,8	2,00	2,57	6,00	16,29	6,62	374,8	171,9	547	5120	0,209	0,256	458	20,3		
	Cableado 25/7 	Ostrich	300	2,12	2,73	6,36	17,28	7,01	421,5	193,3	615	5757	0,185	0,226	493	22,9	
		Linnet	336,4	2,25	2,89	6,74	18,30	7,43	472,6	216,7	689	6400	0,165	0,202	530	25,6	
Ibis		397,5	2,44	3,14	7,33	19,89	8,07	558,5	256,1	815	7386	0,140	0,171	589	30,2		
Hawk		477	2,67	3,44	8,02	21,79	8,86	670,1	307,3	977	8863	0,117	0,142	661	36,3		
Dove		556,5	2,89	3,72	8,67	23,53	9,55	781,8	358,5	1140	10248	0,100	0,122	728	42,3		
Squab		605	3,01	3,87	9,04	24,54	9,96	850,0	389,7	1240	11041	0,0919	0,112	767	46,0		
Grasbeack		636	3,09	3,97	9,27	25,16	10,21	893,5	409,7	1303	11429	0,0875	0,107	792	48,4		
Gonnet		666,6	3,16	4,07	9,49	25,76	10,46	936,5	429,4	1366	11979	0,0825	0,102	816	50,7		
Starling		715,5	3,28	4,21	9,83	26,68	10,83	1005,2	460,9	1466	12858	0,0777	0,0949	853	54,4		
Drake		795	3,46	4,44	10,36	28,13	11,42	1116,9	512,1	1629	14287	0,0700	0,0864	912	60,5		
Cableado 24/7 	Brant	397,5	2,18	3,27	6,54	19,61	7,87	558,5	203,9	762	6541	0,141	0,172	565	30,2		
	Flicker	477	2,39	3,68	7,36	21,49	8,63	670,1	244,7	915	7784	0,117	0,143	657	36,3		
	Parakeet	556,5	2,58	3,87	7,74	23,21	9,32	781,8	295,5	1067	8989	0,100	0,123	724	42,3		
	Peacock	605	2,69	4,03	8,07	24,20	9,71	850,0	310,4	1160	9773	0,0924	0,113	763	46,0		
	Roak	636	2,76	4,13	8,27	24,81	9,96	893,5	326,3	1220	10273	0,0879	0,107	787	48,4		
	Flamingo	666,6	2,82	4,23	8,47	25,40	10,20	936,5	342,0	1279	10768	0,0839	0,102	811	50,7		
	Stilt	715,5	2,92	4,39	8,77	26,31	10,57	1005,2	367,1	1372	11558	0,0781	0,0954	848	54,4		
	Cuckoo	795	3,08	4,62	9,25	27,74	11,14	1116,9	407,9	1525	12666	0,0703	0,0859	906	60,5		
	Waxwing	266,8	3,09	3,09	3,09	15,46	6,00	374,8	58,4	433	3122	0,212	0,259	448	20,3		
	Merlin	336,4	3,47	3,47	3,47	17,36	6,74	472,6	73,7	546	3937	0,168	0,206	519	25,6		
Cableado 18/1 	Chicadee	397,5	3,77	3,77	3,77	18,87	7,32	558,5	87,1	646	4511	0,142	0,174	575	30,2		
	Pelican	477	4,13	4,13	4,13	20,67	8,02	670,1	104,5	776	5334	0,118	0,146	646	36,3		
	Osprey	556,5	4,47	4,47	4,47	22,33	8,66	781,8	121,9	904	6223	0,102	0,124	712	42,3		
	Kingbird	636	4,77	4,77	4,77	23,87	9,26	893,5	139,3	1033	7111	0,0889	0,109	775	48,4		
Cableado 30/7 	Piper	300	2,54	2,54	7,62	17,78	7,34	423,5	277,1	701	7013	0,184	0,226	498	22,8		
	Oriole	336,4	2,69	2,69	8,07	18,83	7,78	474,9	310,7	786	7864	0,164	0,201	536	25,6		
	Lark	397,5	2,92	2,92	8,77	20,47	8,46	512,1	367,1	928	9227	0,138	0,170	595	30,2		
	Hen	477	3,20	3,20	9,61	22,42	9,26	674,4	440,5	1114	10803	0,116	0,142	668	36,3		
	Eagle	556,5	3,46	3,46	10,38	24,22	10,00	786,6	513,9	1300	12603	0,0994	0,121	736	42,3		
	Wood Duck	605	3,61	3,61	10,82	26,26	10,43	854,1	568,7	1413	13118	0,0914	0,112	776	46,0		
	Scoter	636	3,70	3,70	11,09	26,89	10,69	897,9	587,4	1485	13791	0,0870	0,106	800	48,4		
	Skimmer	795	4,13	4,13	12,40	28,94	11,96	1022,4	734,2	1857	17106	0,0696	0,0849	922	60,5		

12.8 ANEXO 8: CÁLCULOS DE REGULACIÓN DE TENSIÓN POR TRAMOS ACSR 266.8 MCM.

CÁLCULO DE REGULACIÓN POR TRAMOS ACSR 266.8 MCM									
Tramo	Distancia (m)	Demanda (kVA)	Tensión (V)	Conductor	Kg	Momento eléctrico (kVA.m)	Factor de corrección	%Regulación tramo	%Regulación acumulado
T1	606	14540	34500	226.8 MCM	50.29	8811240	1	0.37228923	0.37228923
T2	165	14540	34500	226.8 MCM	50.29	2399100	1	0.10136588	0.47365511
T3	371	14540	34500	226.8 MCM	50.29	5394340	1	0.22791965	0.70157476
T4	284	14540	34500	226.8 MCM	50.29	4129360	1	0.17447218	0.87604694
T5	373	14540	34500	226.8 MCM	50.29	5423420	1	0.22914832	1.10519526
T6	115	14540	34500	226.8 MCM	50.29	1672100	1	0.07064895	1.17584421
T7	81	14540	34500	226.8 MCM	50.29	1177740	1	0.04976143	1.22560564
T8	482	14540	34500	226.8 MCM	50.29	7008280	1	0.29611124	1.52171688
T9	108	14540	34500	226.8 MCM	50.29	1570320	1	0.06634858	1.58806546
T10	734	14540	34500	226.8 MCM	50.29	10672360	1	0.45092458	2.03899004
T11	201	14540	34500	226.8 MCM	50.29	2922540	1	0.12348207	2.16247211
T12	360	14540	34500	226.8 MCM	50.29	5234400	1	0.22116192	2.38363403
T13	644	14540	34500	226.8 MCM	50.29	9363760	1	0.3956341	2.77926814
T14	737	14540	34500	226.8 MCM	50.29	10715980	1	0.4527676	3.23203573
T15	67	14540	34500	226.8 MCM	50.29	974180	1	0.04116069	3.27319642
T16	281	14540	34500	226.8 MCM	50.29	4085740	1	0.17262917	3.44582559
T17	932	14540	34500	226.8 MCM	50.29	13551280	1	0.57256364	4.01838923
T18	1250	14540	34500	226.8 MCM	50.29	18175000	1	0.76792334	4.78631257
T19	73	14540	34500	226.8 MCM	50.29	1061420	1	0.04484672	4.83115929
T20	167	14540	34500	2/0 AWG	50.29	2428180	1	0.10259456	4.93375385
Total	8031	14540	34500	226.8 MCM	22.84	116770740	1	2.24074245	

12.9 ANEXO 9: CÁLCULO PÉRDIDAS DE POTENCIA ACSR 266.8 MCM.

%Pérdidas de potencia ACSR 266.8 MCM							
Tramo	Demanda	Voltaje	Momento	Resistencia	FP	%Pérdidas	Acumulado
606	14540	34500	8811240	0.000255	0.9	0.000209747	0.00020975
165	14540	34500	2399100	0.000255	0.9	5.71094E-05	0.00026686
371	14540	34500	5394340	0.000255	0.9	0.00012841	0.00039527
284	14540	34500	4129360	0.000255	0.9	9.82974E-05	0.00049356
373	14540	34500	5423420	0.000255	0.9	0.000129102	0.00062267
115	14540	34500	1672100	0.000255	0.9	3.98035E-05	0.00066247
81	14540	34500	1177740	0.000255	0.9	2.80355E-05	0.0006905
482	14540	34500	7008280	0.000255	0.9	0.000166829	0.00085733
108	14540	34500	1570320	0.000255	0.9	3.73807E-05	0.00089471
734	14540	34500	10672360	0.000255	0.9	0.00025405	0.00114876
201	14540	34500	2922540	0.000255	0.9	6.95697E-05	0.00121833
360	14540	34500	5234400	0.000255	0.9	0.000124602	0.00134294
644	14540	34500	9363760	0.000255	0.9	0.0002229	0.00156584
737	14540	34500	10715980	0.000255	0.9	0.000255089	0.00182093
67	14540	34500	974180	0.000255	0.9	2.31899E-05	0.00184412
281	14540	34500	4085740	0.000255	0.9	9.72591E-05	0.00194137
932	14540	34500	13551280	0.000255	0.9	0.000322582	0.00226396
1250	14540	34500	18175000	0.000255	0.9	0.000432647	0.0026966
73	14540	34500	1061420	0.000255	0.9	2.52666E-05	0.00272187
167	14540	34500	2428180	0.000255	0.9	5.78017E-05	0.00277967
TOTAL							0.0027797