



# **PROYECTO: “ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS PARA EL DETALLE DE INGENIERÍAS DE LA LÍNEA ROLDÓS – OFELIA”**

**Producto 1:**

**CAPÍTULO F:**

**INFORME DE LA DEFINICIÓN Y  
MODELACIÓN DEL TRAZADO**

**RESPONSABLES:**

	<b>NOMBRE</b>	<b>CÉDULA</b>	<b>FIRMA</b>
<b>ELABORADO POR</b>	Ing. Jorge Cisneros Ing. Tamara Monar		
<b>JEFE DE ÁREA</b>	Ing. Marcelo Carrera		
<b>APROBADO POR</b>	Ing. Carlos Baldeón		

**CÓDIGO: QC-OF-TT-MEC1-MC-101**

**ABRIL 2016**

# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
1.1 ANTECEDENTES .....	6
1.2 ALCANCE .....	6
<b>2. SITIOS DE IMPLANTACIÓN DE ESTACIONES DE SALIDA, LLEGADA Y ESTACIONES INTERMEDIAS .....</b>	<b>6</b>
<b>3. ÁREAS DE UBICACIÓN DE PILONAS .....</b>	<b>9</b>
3.1 ACCESIBILIDAD .....	10
3.2 CORRECCIÓN DE LA CURVA .....	10
3.3 TIPO DE PREDIO .....	10
3.4 AFECTACIONES .....	10
3.5 OBSTRUCCIONES AÉREAS .....	10
3.6 TIPO DE PILONA .....	10
3.7 TRAMO OFELIA-MARISCAL .....	10
3.8 TRAMO MARISCAL-COLINAS .....	14
3.9 TRAMO COLINAS DEL NORTE – ROLDÓS .....	21
3.10 COORDENADAS DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES Y PILONAS DE LA LÍNEA OFELIA ROLDÓS .....	27
<b>4. ZONAS DE SOBREVUELO .....</b>	<b>31</b>
4.1 CONSIDERACIONES .....	31
4.2 GÁLIBOS DE SEGURIDAD .....	32
<b>5. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DEL SISTEMA .....</b>	<b>32</b>
<b>6. METODOLOGÍA PARA LA MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA .....</b>	<b>37</b>
6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MODELACIÓN .....	37
6.2 MODELO DE ECUACIONES PARABÓLICAS .....	38
6.2.1 OFELIA-COLINAS .....	38
6.2.2 COLINAS-ROLDOS .....	39
6.2.3 <i>Influencia del viento en el sistema</i> .....	40
6.3 MODELO COMPUTACIONAL DESARROLLADO EN SAP2000 .....	40
6.4 INFLUENCIA DEL ALARGAMIENTO ELÁSTICO Y DE LA TEMPERATURA EN EL CABLE PORTADOR-TRACTOR .....	42
6.4.1 <i>Alargamiento elástico</i> .....	42
6.4.2 <i>Dilatación térmica</i> .....	43
6.5 EFECTOS DINÁMICOS .....	43
6.6 DISEÑO DEL CABLE .....	44



6.6.1	Parámetros de diseño .....	44
6.6.2	Especificación del cable portador-tractor .....	44
<b>7.</b>	<b>REACCIONES EN LAS PILONAS.....</b>	<b>45</b>
7.1	ALCANCE .....	45
7.2	SISTEMA DE REFERENCIA .....	45
<b>8.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>47</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Sector de implantación de la estación Ofelia.....	8
Figura 2-2 Sector de implantación de la estación Colinas del Norte.....	8
Figura 2-3 Sector de implantación de la estación La Mariscal.....	9
Figura 2-4 Sector de implantación de la estación Roldós.....	9
Figura 3-1 Sitio de implantación de la pylona P03 .....	11
Figura 3-2 Sitio de implantación de la pylona P04 .....	11
Figura 3-3 Sitio de implantación de la pylona P05 .....	12
Figura 3-4 Sitio de implantación de la pylona P06 .....	13
Figura 3-5 Sitio de implantación de la pylona P07 .....	13
Figura 3-6 Sitio de implantación de la pylona P08 .....	14
Figura 3-7 Sitio de implantación de la pylona P09 .....	15
Figura 3-8 Sitio de implantación de la pylona P10 .....	15
Figura 3-9 Sitio de implantación de la pylona P11 .....	16
Figura 3-10 Sitio de implantación de la pylona P12.....	16
Figura 3-11 Sitio de implantación de la pylona P13.....	17
Figura 3-12 Sitio de implantación de la pylona P14.....	18
Figura 3-13 Sitio de implantación de la pylona P15.....	19
Figura 3-14 Sitio de implantación de la pylona P16.....	19
Figura 3-15 Sitio de implantación de la pylona P17.....	20
Figura 3-16 Sitio de implantación de las pylonas P18 y P19.....	21
Figura 3-17 Sitio de implantación de la pylona P20.....	22
Figura 3-18 Sitio de implantación de la pylona P21.....	22
Figura 3-19 Sitio de implantación de la pylona P22.....	23
Figura 3-20 Sitio de implantación de la pylona P24.....	24
Figura 3-21 Sitio de implantación de la pylona P25.....	25
Figura 3-22 Sitio de implantación de la pylona P26.....	25
Figura 3-23 Sitio de implantación de la pylona P27.....	26
Figura 3-24 Sitio de implantación de la pylona P28.....	26
Figura 5-1 Distancia entre estaciones (m).....	33
Figura 6-1 Perfil de tensiones del tramo Ofelia-Colinas .....	39
Figura 6-2 Perfil de tensiones del tramo Colinas-Roldós.....	40
Figura 6-3 Modelo computacional para el análisis del tramo Ofelia-Colinas.....	40
Figura 6-4 Modelo computacional para el análisis del tramo Colinas-Roldós.....	41

Figura 6-5 Perfil de reacciones en el tramo Ofelia-Colinas.....	41
Figura 6-6 Perfil de reacciones en el tramo Colinas-Roldós.....	41
Figura 6-7 Diagrama de cuerpo libre para el análisis dinámico .....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Distancia y desnivel entre estaciones. ....	7
Tabla 3-1 Coordenadas de ubicación de las estaciones y pilonas .....	27
Tabla 3-2 Distancia entre las pilonas .....	29
Tabla 3-3 Cuadro resumen de pilonas .....	30
Tabla 5-1 Tabla del tiempo de recorrido.....	34
Tabla 5-2 Resumen del número de cabinas.....	36
Tabla 5-3 Cabinas acumuladas en estación.....	36
Tabla 6-1 Tensión máxima del tramo Ofelia-Colinas.....	38
Tabla 6-2 Tensión máxima del tramo Colinas-Roldós .....	39
Tabla 6-3 Tensiones con cargas dinámicas .....	41
Tabla 6-4 Cuadro resumen del tipo de piona (soporte o compresión) .....	42
Tabla 6-5 Parámetros que influyen en el alargamiento elástico del cable .....	42
Tabla 6-6 Alargamiento elástico del cable.....	43
Tabla 6-7 Parámetros que influyen en la dilatación térmica del cable .....	43
Tabla 6-8 Dilatación térmica del cable .....	43
Tabla 6-9 Especificaciones técnicas del cable portador-tractor .....	45
Tabla 7-1 Tabla resumen de las reacciones en la base de cada piona .....	46
Tabla 8-1 Lista de anexos.....	47

# 1. Introducción

## 1.1 Antecedentes

La línea Ofelia Roldós al Norte de Quito tiene una longitud de 3718.96 metros y un desnivel total de 123 metros. Este sistema de transporte sobrevuela distintos tipos de edificaciones, públicos o privados.

Los documentos de referencia para el análisis de entornos urbanos son la Ordenanza Metropolitana No. 60, así como los Términos de Referencia “ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS PARA EL DETALLE DE INGENIERÍAS DE LA LÍNEA ROLDÓS - OFELIA”.

En la Ordenanza No. 60, se establece que las estaciones y pilonas deben respetar áreas de afectación, retiros de construcción, así como se describe un procedimiento para llevar a cabo las expropiaciones (Cap. V Art. 15). Estos parámetros se han tenido en cuenta para la definición de la ubicación de las estaciones y pilonas.

## 1.2 Alcance

En el presente documento, se detalla el estudio de las zonas de implantación de estaciones y pilonas, las zonas de sobrevuelo y verificación de gálibos de seguridad, la determinación de parámetros del sistema para las simulaciones, una descripción de la metodología utilizada para la modelación y simulación del sistema y finalmente los resultados de esta simulación, es decir, tensiones de trabajo, especificaciones del cable y reacciones en las pilonas para diseñar las estructuras y sus cimentaciones.

# 2. Sitios de implantación de estaciones de salida, llegada y estaciones intermedias

En el “ESTUDIO PRELIMINAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TRES LÍNEAS POR CABLE EN BARRIOS ALTOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO” realizado por DCSA, se propone la instalación de tres estaciones: Ofelia, Colinas del Norte y Roldós.

La avenida Mariscal Sucre es una calle de gran afluencia de personas, por razones de movilidad y pensando en beneficiar a la población es necesaria la ubicación de una cuarta estación denominada Mariscal. La estación Mariscal se ubica entre las estaciones: Ofelia y Colinas del Norte, en donde los usuarios podrán unirse al sistema o salir de este, permite el ingreso y salida de pasajeros en ambos sentidos.

*Tabla 2-1 Distancia y desnivel entre estaciones.*

<b>Estaciones</b>		<b>Distancias entre estaciones(m)</b>
Estación Ofelia	Estación Mariscal	985,1
Estación Mariscal	Estación Colinas del Norte	1656,5
Estación Colinas del Norte	Estación Roldós	972,5
<b>Estaciones</b>		<b>Desnivel (m)</b>
Estación Ofelia	Estación Mariscal	32
Estación Mariscal	Estación Colinas del Norte	43
Estación Colinas del Norte	Estación Roldós	80

La ubicación de las estaciones se consideró las utilizadas en el estudio preliminar. El trazado se origina en la estación de transferencia Ofelia en donde se puede aprovechar un espacio público existente dentro de las instalaciones del sistema interparroquial. Este espacio público comprende el Parqueadero de la Estación del Sistema Interparroquial La Ofelia



*Figura 2-1 Sector de implantación de la estación Ofelia*

A partir de esta estación se realiza el trazado de la línea hacia la estación Colinas del Norte, con una estación intermedia denominada Mariscal.



*Figura 2-2 Sector de implantación de la estación Colinas del Norte*

Desde la estación Colinas del Norte se realiza un cambio de dirección hacia la estación ubicada en el sector de la Roldós, de esta forma inicia un nuevo trazado.





*Figura 2-3 Sector de implantación de la estación La Mariscal*



*Figura 2-4 Sector de implantación de la estación Roldós*

### **3. Áreas de ubicación de pilonas**

Para seleccionar la ubicación de las pilonas se tuvo en consideración los siguientes criterios:

- Accesibilidad
- Corrección de la curva
- Tipo de Predio
- Afectaciones
- Obstrucciones aéreas
- Tipo de pilona

### **3.1 Accesibilidad**

Tanto para el montaje como el mantenimiento de las pilonas es necesario que la ubicación de las mismas asegure la accesibilidad y facilite el ingreso de equipos requeridos durante la construcción.

### **3.2 Corrección de la curva**

Este criterio aplica a las pilonas que se ubican al ingreso y salida de las estaciones. A la entrada de una estación es necesario asegurar que el cable ingrese lo más horizontal posible por tanto es necesario que las pilonas estén cerca de la estación y cambien rápidamente la dirección del cable. En cambio a la salida del sistema de cadencia el cable sale de forma horizontal por tanto es necesario que las pilonas estén cercanas para facilitar la elevación de la línea.

### **3.3 Tipo de Predio**

Para mitigar las afectaciones por la ubicación de las pilonas se dará preferencia a predios baldíos o públicos en donde la expropiación y utilización se facilita.

### **3.4 Afectaciones**

Como todo proyecto municipal se busca causar la menor afectación posible de predios privados y bienes comunes como veredas y vías públicas.

### **3.5 Obstrucciones aéreas**

Se busca colocar las pilonas en donde las obstrucciones aéreas como alumbrado eléctrico, cables de alta tensión y edificaciones elevadas sean las menos posibles.

### **3.6 Tipo de pylona**

Se definen pilonas de sección tubular.

### **3.7 Tramo Ofelia-Mariscal**

Para el tramo Ofelia-Mariscal se consideró la utilización de 8 pilonas (torres), tomando en cuenta la distancia existente entre las dos.

#### **Pilonas P01 y P02**

A la salida de la estación es necesario conseguir rápidamente la elevación de la línea por esto se requiere de dos pilonas ubicadas a poca distancia de la estación que facilite la elevación y junto con los balancines colocados en el extremo de la pylona permitan el cambio de dirección de la línea. De esta manera las pilonas P01 y P02 se ubican dentro

de la estación Ofelia (predio público) a una distancia dentro de un rango entre 20 y 30 metros, desde la estación a cada piona.

### **Pilona P03**

Se ubica en un predio de la Avenida Diego de Vásquez frente a la estación Ofelia. Esta piona se coloca dentro de un terreno vacío de un área pública. De esta manera no se obstaculizan veredas, calles, etc. Además, la piona queda cerca de la avenida principal por tanto el montaje y el mantenimiento se facilitan.



*Figura 3-1 Sitio de implantación de la piona P03*

### **Pilona P04**

Se ubicó en el parqueadero del estadio de la liga debido a que es un predio de uso público. Es este lugar se consigue baja afectación, se tiene fácil accesibilidad a la piona por tanto se puede realizar el montaje y el mantenimiento de la misma. No existen obstrucciones aéreas.



*Figura 3-2 Sitio de implantación de la piona P04*

### Pilona P05

La pilona está ubicada en la Calle Pablo Picasso en un terreno privado perteneciente al ministerio de educación. La pilona se ubicó en una área del colegio Nacional Andrés Bello en donde existe espacio libre de esta forma no se afecta en gran magnitud a este bien. Para facilitar el mantenimiento se colocará la pilona cercana a la pared sin obstaculizar la vereda.



*Figura 3-3 Sitio de implantación de la pilona P05*

### Pilona P06

La pilona está ubicada en el patio de un predio privado, este es un terreno vacío. Para facilitar el mantenimiento se colocará la pilona cercana a la pared sin obstaculizar la vereda.



Figura 3-4 Sitio de implantación de la pylona P06

### Pylona P07

La pylona está ubicada en el patio de un predio privado de la Calle San José del Condado y Fernando Daquilema. Para poder realizar el montaje y mantenimiento de la pylona es necesaria la expropiación de los predios afectados como se describe en el capítulo de entornos urbanos y expropiaciones del proyecto. En este caso no fue posible disminuir la afectación a bienes privados porque el trazado de la línea no permite desviaciones laterales del eje. Tampoco es posible su remoción o desplazamiento en el eje debido a que la pylona P07 permite el descenso de la línea hacia la estación, además influye en la simulación y cálculo de tensiones.



Figura 3-5 Sitio de implantación de la pylona P07

### **Pilona P08**

El área actual de ubicación de la pylona es una zona construida. No fue posible disminuir las afectaciones debido a que esta pylona es de ingreso a la estación por tanto debe estar ubicada pocos metros de distancia, para corregir la curva y permitir el ingreso del cable. Para su colocación es necesaria la eliminación de una edificación de 3 pisos ubicada bajo el eje del trazado que obstruye la llegada de las cabinas. Detalles de esta información se describe en el capítulo de entornos urbanos.



*Figura 3-6 Sitio de implantación de la pylona P08*

## **3.8 Tramo Mariscal-Colinas**

Para el tramo Mariscal- Colinas del Norte se consideró la utilización de 10 pilonas (torres), debido a la distancia existente entre las dos estaciones.

### **Pilona P09**

La pylona está ubicada en el parterre de la avenida Mariscal a pocos metros de la estación. Esta pylona es necesaria para elevar rápidamente la línea. En este espacio los usuarios no se ven fuertemente afectados porque no obstruye el paso de los peatones.



*Figura 3-7 Sitio de implantación de la pylona P09*

### **Pylona P10**

La pylona 10 al igual que la pylona 9 debe situarse cerca a la salida de la estación para corregir la curva que realiza el cable.

La pylona se colocó a lado de un taller automotriz, en la avenida principal Antonio José de Sucre. Para facilitar el montaje y mantenimiento de la pylona se colocará la pylona cercana a la vereda, no fue posible disminuir la afectación a este bien privado.



*Figura 3-8 Sitio de implantación de la pylona P10*

### **Pylona P11**

La pilona está situada dentro de un predio privado en donde no existe construcción y se coloca a pocos metros de la vereda para permitir un fácil acceso a la pilona durante el proceso de construcción y posterior mantenimiento.



Figura 3-9 Sitio de implantación de la pilona P11

### Pilona P12

El trazado del eje involucra a la urbanización El Condado y en busca de obtener las menores afectaciones posibles, se colocó la pilona dentro de un predio en donde no existen construcciones. Para el montaje de la pilona es necesaria la reubicación de un transformador de alta tensión (1200V a 220-110V) y de los postes de alumbrado eléctrico situado en las cercanías.



Figura 3-10 Sitio de implantación de la pilona P12



### Pilona P13

La pilona está ubicada entre la calle y la vereda de la misma forma que la P12 en la urbanización el Condado junto a un terreno baldío y una casa de 3 pisos cercana. No fue posible disminuir la afectación a bienes públicos como vereda y calles debido a que si se desplaza la pilona hacia el predio cercano causa mayor afectación al bien privada construido en ese lugar.



*Figura 3-11 Sitio de implantación de la pilona P13*

### Pilona P14

La pilona está ubicada en un parterre de uso público dentro de la urbanización el Condado, este lugar no causa gran afectación a los propietarios ni obstaculiza el paso de los peatones. No se tienen obstrucciones aéreas que dificulten la instalación de la pilona. El lugar es de fácil acceso por tanto se puede realizar el montaje y la fabricación del mismo.



*Figura 3-12 Sitio de implantación de la pilona P14*

Cabe recalcar que los sitios de implantación de las pilonas P12, P13 y P14 afectan calles y veredas, por lo que se han identificado en el Estudio de Entornos Urbanos (Producto 1, Cap. D., p. D10) “como elementos con potencial para volverse un mobiliario urbano de estancia”. Para mayor detalle respecto a los planes de integración de las estructuras del teleférico con la comunidad, referirse al Estudio de Entornos Urbanos aquí mencionado.

### **Pilona P15**

La pilona está ubicada en un terreno baldío de un predio privado de la urbanización Prados del Condado. Se coloca la pilona cercana a la calle para facilitar el acceso al montaje y el mantenimiento. Torres y cables de alta tensión obstaculizan el paso del cable de la línea Ofelia Roldós. Sin embargo, estos no interfieren en la ubicación de la pilona.



*Figura 3-13 Sitio de implantación de la pylona P15*

### **Pilona P16**

La pylona está ubicada en un predio municipal perteneciente al Distrito Metropolitano de Quito, junto un pequeña quebrada rodeado de algunos árboles, no se tiene problemas para acceder al lugar por tanto se facilita la construcción de las pilonas. No existen obstrucciones aéreas.



*Figura 3-14 Sitio de implantación de la pylona P16*

## Pilona P17

La pilona está ubicada junto a una cancha de la Urbanización Prados del Condado, cerca de la calle de acceso para permitir su construcción y mantenimiento. No es necesario reforzar cimentación a pesar que se encuentra junto a una cancha de tierra ubicada a desnivel de la calle, ya que el sitio en general tiene “muy buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia dura y compacidad relativa alta”, como se detalla en el párrafo 7.17.4.2 del Capítulo B Tomo I (INFORME GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO) del Producto 1. No se observan obstrucciones aéreas. Este predio pertenece al distrito metropolitano de Quito, en este lugar no se afectan predios privados.



*Figura 3-15 Sitio de implantación de la pilona P17*

## Pilona P18 y P19

La distancia de la pilona 18 con respecto a la pilona 17 es de gran luz debido a que se debe sobrevolar una quebrada de gran longitud.

La pilona 18 y 19 son las pilonas de llegada y salida respectivamente, están ubicadas a pocos metros de la estación sobre la cancha de fútbol del sector Colinas del norte. En esta área se pretende colocar la estación motriz y los volantes del cambio de dirección. No se observan obstrucciones aéreas. Las pilonas se colocarán en este predio aprovechando que es un espacio perteneciente al distrito metropolitano de Quito de gran área.



*Figura 3-16 Sitio de implantación de las pilonas P18 y P19*

### **3.9 Tramo Colinas del Norte – Roldós**

Para el tramo Colinas del norte y Roldós se consideró la utilización de 10 pilonas cuya ubicación se describe a continuación.

#### **Pilona P20**

La ubicación de la pilona debe facilitar la corrección de la curva por tanto se la debe situar a pocos metros de la anterior para de esta forma conseguir una rápida elevación de la línea. Aunque la pilona afecta en su totalidad al predio privado es necesaria su construcción en ese lugar. La pilona se construirá cerca de la calle por tanto no existen problemas para su montaje.



*Figura 3-17 Sitio de implantación de la pilona P20*

### **Pilona P21**

A partir de la pilona 20 el terreno comienza a elevarse por tanto es necesario colocar varias pilonas que permitan suavizar el trazado La pilona se coloca en un terreno privado actualmente baldío cerca de la Calle B24 (Colinas del Norte) para permitir el acceso a la pilona facilitando el montaje y el mantenimiento.



*Figura 3-18 Sitio de implantación de la pilona P21*

## Pilona P22

Para beneficiar la cimentación de la piona se la situara junto a un terreno en donde las características del suelo “son de buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia dura y compacidad relativa alta” como se especifica en el capítulo B correspondiente al informe GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO de esta piona.

El predio corresponde a un terreno privado en donde no existen construcciones. No se perjudica en gran magnitud a los bienes privados y se puede acceder con facilidad a la zona, para su montaje y construcción. No se observan obstrucciones aéreas.



Figura 3-19 Sitio de implantación de la piona P22

## Pilona P23

La piona 23 se ubica en un predio baldío en donde no existe gran afectación a la propiedad privada. Está situada junto a la calle B20 Colinas del Norte de acceso público lo que permite el montaje y mantenimiento de la piona.

## Pilona P24

La piona está ubicada en la cooperativa de vivienda caminos a la libertad, específicamente en el patio de una casa de madera. No se perjudica completamente el predio privado. No se observan obstrucciones aéreas. La piona se situará en las

cercanías de la calle para que los equipos de montaje y mantenimiento puedan acceder al lugar.



*Figura 3-20 Sitio de implantación de la pylona P24*

### **Pilona P25**

La pylona 25 se coloca en un terreno en donde ya existe una construcción por tanto es necesaria la remoción de este bien. No fue posible evitar la afectación de este predio debido a que se requiere la implantación de esta pylona para cambiar la dirección de la línea. No se puede eliminar esta pylona debido a que en las cercanías existe una quebrada que atraviesa la línea y por tanto se manejaría entre la pylona 24 y 26 una luz (distancia) demasiado grande.





*Figura 3-21 Sitio de implantación de la pylona P25*

### **Pilona P26**

La pylona está ubicada en las cercanías de una quebrada. No se afecta ningún predio privado debido a que este terreno es perteneciente al distrito metropolitano de Quito. No se observan obstrucciones aéreas. La accesibilidad al terreno es adecuada para la construcción de la pylona y su posterior mantenimiento.



*Figura 3-22 Sitio de implantación de la pylona P26*

### **Pilona P27**

La pylona está ubicada en un pequeño parque de la localidad a las cercanías de la calle Oe13 del sector La Roldós para permitir su construcción y mantenimiento. No se afecta a predios privados debido a que es un espacio del distrito metropolitano de Quito. No se observa obstrucciones aéreas.



*Figura 3-23 Sitio de implantación de la pizona P27*

### **Pizona P28**

La pizona 28 está ubicado al ingreso de la estación por tanto se coloca a pocos metros de distancia de la misma para corregir la curva de ingreso del cable hacia el sistema de cadencia. La estación se colocará en una zona actualmente construida por tanto es necesario la expropiación de toda la manzana.

No se pudo minimizar la afectación a los predios cercanos debido a que no se puede utilizar el próximo espacio libre existente. Este está ubicado en una zona de menor altura y el cable tendría que realizar un cambio de dirección innecesario.



*Figura 3-24 Sitio de implantación de la pizona P28*

### 3.10 Coordenadas de ubicación de las estaciones y pilonas de la línea Ofelia Roldós

A continuación se presenta un cuadro descriptivo en el que constan las coordenadas Norte, Este y Abscisado de la ubicación de las estaciones y pilonas de la línea Ofelia-Roldós.

*Tabla 3-1 Coordenadas de ubicación de las estaciones y pilonas*

<b>COORDENADAS UBICACIÓN ESTACIONES Y PILONAS LINEA NORTE</b>			
<b>PUNTO</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>	<b>ABSCISADO</b>
G1-SR	9987791,22	501342,16	0-017.800
P01	9987807,45	501320,84	0+009.000
P02	9987821,9	501301,87	0+032.840
P03	9987905,65	501191,91	0+171.072
P04	9988034,06	501023,76	0+382.645
P05	9988184,98	500825,54	0+631.777
P06	9988285,45	500693,17	0+797.950
P07	9988337,22	500625,18	0+883.410
P08	9988388,77	500557,49	0+968.490
G2	9988404,4	500536,97	0+994.290
G2	9988411,54	500527,6	1+006.070
P09	9988428,4	500505,46	1+033.900

<b>COORDENADAS UBICACIÓN ESTACIONES Y PILONAS LINEA NORTE</b>			
<b>PUNTO</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>	<b>ABSCISADO</b>
P10	9988450,45	500476,5	1+070.300
P11	9988495,91	500416,81	1+145.300
P12	9988625,42	500246,74	1+359.100
P13	9988737,02	500100,19	1+543.300
P14	9988868,31	499927,79	1+760.000
P15	9989008,69	499743,46	1+991.700
P16	9989075,03	499656,34	2+101.205
P17	9989218,66	499467,74	2+338.268
P18	9989413,83	499211,46	2+660.400
G3A-SM	9989430,48	499189,6	2+687.880
G3B-SM	9989441,51	499181,87	2+702.020
P19	9989467,18	499173,91	2+728.900
P20	9989499,37	499163,92	2+762.600
P21	9989562,5	499144,32	2+828.700
P22	9989681,39	499107,42	2+953.190
P23	9989805,43	499068,92	3+083.070
P24	9989877,95	499046,41	3+159.000

<b>COORDENADAS UBICACIÓN ESTACIONES Y PILONAS LINEA NORTE</b>			
<b>PUNTO</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>	<b>ABSCISADO</b>
P25	9989943,66	499026,02	3+227.800
P26	9990165,42	498957,18	3+460.000
P27	9990306,96	498913,27	3+608.200
P28	9990371,77	498893,14	3+676.060
G4-SR	9990395,74	498885,69	3+701.159

Tabla 3-2 Distancia entre las pilonas

<b>PILONAS</b>		<b>DISTANCIA ENTRE PILONAS "LUZ" (M)</b>
G1-SR	P01	26,8
P01	P02	23,84
P02	P03	138,23
P03	P04	211,57
P04	P05	249,13
P05	P06	166,17
P06	P07	85,46
P07	P08	85,09
P08	G2	25,8
G2	G2	11,78
G2	P09	27,83
P09	P10	36,4
P10	P11	75
P11	P12	213,8
P12	P13	184,2
P13	P14	216,7
P14	P15	231,7
P15	P16	109,5
P16	P17	237,06

PILONAS		DISTANCIA ENTRE PILONAS "LUZ" (M)
P17	P18	322,13
P18	G3A-SM	27,48
G3A-SM	G3B-SM	14,14
G3B-SM	P19	26,88
P19	P20	33,7
P20	P21	66,1
P21	P22	124,49
P22	P23	129,88
P23	P24	75,93
P24	P25	68,8
P25	P26	232,2
P26	P27	148,2
P27	P28	67,86
P28	G4-SR	25,1

La siguiente tabla es un cuadro resumen referente a las 28 pilonas de la línea. En este, se detallan las coordenadas, el nivel Tierra (NT), la altura de los plintos de cimentación, el nivel mecánico (NM), la altura de torres y la inclinación respectiva.

*Tabla 3-3 Cuadro resumen de pilonas*

Pilona	NORTE	ESTE	NT	Altura de plintos [m]	NM	Altura de Torres [m]	Inclinación %	Inclinación [°]	Inclinación
1	9987807	501320,8	2750,12	3	2753,12	9,73	0	0	
2	9987822	501301,9	2748,95	3	2751,95	10,96	0	0	
3	9987906	501191,9	2746,12	3	2749,12	20	0	0	
4	9988034	501023,8	2733,58	3	2736,58	28	0	0	
5	9988185	500825,5	2728,41	3	2731,41	29,7	0	0	
6	9988285	500693,2	2723,69	3	2726,69	23,89	0	0	
7	9988337	500625,2	2721,59	3	2724,59	21,25	0	0	
8	9988389	500557,5	2720,18	3	2723,18	6,16	0	0	
9	9988428	500505,5	2715,56	3	2718,56	11,23	0	0	
10	9988450	500476,5	2714,11	3	2717,11	16,39	0	0	
11	9988496	500416,8	2713,3	3	2716,3	23,3	5	2,86	IZQ
12	9988625	500246,7	2721,85	3	2724,85	32,1	0	0	

Pilona	NORTE	ESTE	NT	Altura de plintos [m]	NM	Altura de Torres [m]	Inclinación %	Inclinación [°]	Inclinación
13	9988737	500100,2	2728,17	3	2731,17	31,16	0	0	
14	9988868	499927,8	2732,26	3	2735,26	28,72	0	0	
15	9989009	499743,5	2736,22	3	2739,22	27,55	0	0	
16	9989075	499656,3	2731,61	3	2734,61	32,84	0	0	
17	9989219	499467,7	2736,46	3	2739,46	24,41	0	0	
18	9989414	499211,5	2793,34	3	2796,34	5,92	10	5,71	IZQ
19	9989467	499173,9	2792,75	3	2795,75	8,49	0	0	
20	9989499	499163,9	2795,95	3	2798,95	10,52	20	11,31	IZQ
21	9989562	499144,3	2801,39	3	2804,39	26,37	25	14,04	IZQ
22	9989681	499107,4	2843,34	3	2846,34	21,72	25	14,04	IZQ
23	9989805	499068,9	2888,67	3	2891,67	14,36	20	11,31	IZQ
24	9989878	499046,4	2898,23	3	2901,23	15,06	-5	-2,86	DER
25	9989944	499026	2882,76	3	2885,76	26,56	0	0	
26	9990165	498957,2	2859,67	3	2862,67	22,77	0	0	
27	9990307	498913,3	2861,82	3	2864,82	24,7	0	0	
28	9990372	498893,1	2871,99	3	2874,99	9,16	0	0	

## 4. Zonas de sobrevuelo

### 4.1 Consideraciones

Acorde con la Ordenanza Metropolitana No. 60 así como los Términos de Referencia, en el recorrido de la línea Ofelia-Roldós se define un gálibo de seguridad (o banda de seguridad) sobre el obstáculo fijo más cercano hasta el borde inferior de las cabinas, para uso legal y legítimo del sistema de transporte Quito Cables. La altura de la banda de seguridad se define como mínimo en 4 metros y la altura de las cabinas de 4,5 metros (tomado de diseños y equipos existentes con características similares).

El perfil del recorrido obtenido en este análisis corresponde para valores de tensión baja y cargas máximas, por debajo del 90% de la tensión de trabajo, lo que indica una caída del cable más pronunciada. Este es el caso crítico. Al estudiar el caso crítico, se asegura que

en condiciones de operación normales, los gálibos de seguridad serán mayores a los aquí indicados.

El perfil completo con las medidas de los gálibos de seguridad se presenta en anexo.

## 4.2 Gálibos de seguridad

La línea eléctrica de alta tensión entre las pilonas 14-15 es un obstáculo que se puede sortear en el caso que se soterran dichos cables o en función de la solución que plantee la EEQ.

En el tramo 17-18, existe un obstáculo que reduce el gálibo de seguridad a 3.5 metros. Este obstáculo es parte del terreno, por lo que se puede bajar el nivel tierra en ese sector de mínimo 50 centímetros o subir la pylona un metro. Ninguna de estas dos soluciones representa un cambio mayor en el sistema.

Tramo 22-23 edificios a ambos lados de la calle B-21, los gálibos de seguridad se cumplen con una mínima tolerancia. En efecto, la altura entre el edificio más alto y el cable es de 4 metros. En este sector se debe prohibir que se hagan edificaciones sobre estas existentes.

En el tramo entre las pilonas 22-23 y 23-24 son en los que la cabinas pasarían potencialmente más cerca de las edificaciones, a 4 y 4.5 metros respectivamente. Se recomienda que las autoridades hagan conocer esta situación a los moradores del sector para evitar inconvenientes.

## 5. Determinación de parámetros del sistema

A continuación se muestra las distancias entre estaciones (Unidad: metros), donde se toma como referencia los puntos de aceleración y desaceleración dentro de las estaciones.



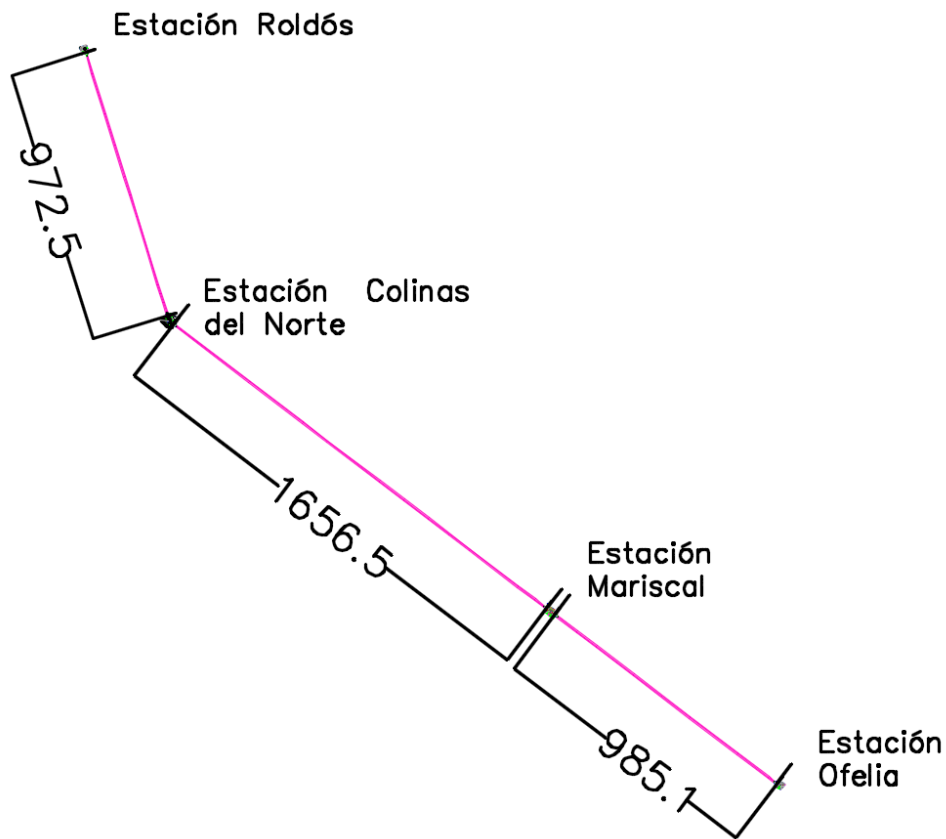


Figura 5-1 Distancia entre estaciones (m)

En base a la figura anterior la longitud total del sistema donde la cabina se moviliza a velocidad constante de 5m/s es:

- Considerando un solo sentido

$$\text{Longitud a velocidad constante por sentido} = (972.5 + 1656.5 + 985.1)$$

$$\text{Longitud a velocidad constante por sentido} = 3614.1 \text{ metros}$$

- Considerado los dos sentidos

$$\text{Longitud a velocidad constante total} = 2 * 3614.1$$

$$\text{Longitud a velocidad constante total} = 7228.2 \text{ metros}$$

Considerando los tramos de velocidad constante y tomando en cuenta que el tiempo de recorrido resulta de la división de la distancia con la velocidad nominal del sistema (5m/s) se tiene los siguientes cálculos:

- Considerando un solo sentido

$$\text{Tiempo de recorrido a velocidad constante por sentido} = \frac{3614.1 \text{ m}}{5 \text{ m/s}} = 722.82 \text{ seg}$$

- Considerado los dos sentidos

$$\text{Tiempo de recorrido a velocidad constante dos sentidos} = 722.82 * 2$$

$$\text{Tiempo de recorrido a velocidad constante dos sentidos} = 1445.64 \text{ seg}$$

EL tiempo aproximado que a la cabina le toma pasar por cada estación y la duración del trayecto a velocidad constante se muestra en la tabla a continuación mostrada:

Tabla 5-1 Tabla del tiempo de recorrido.

Estación	Tiempo (seg)	
	Sentido Ofelia-Roldós	Sentido Roldós-Ofelia
Ofelia	33.5	33.5
La Mariscal	68	68
Colinas del Norte	68	88
Roldós	33.5	33.5
Trayecto a velocidad constante 5m/s	722.82	722.82
Suma	925.82	945.82
Tiempo total dos sentidos	1871.64 Aprox. 31.2 min	

En conclusión, una cabina recorre una vuelta completa al circuito en 31.194 minutos, transportando 20 pasajeros en ese tiempo, considerando los dos sentidos y una capacidad de cabina de 10 pasajeros. Por lo tanto se tiene la relación “F1”:

$$F1 = \frac{20 \text{ pasajeros}}{31.194 \text{ minutos} * \text{cabina}} * \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}}$$

$$F1 = 38.469 \frac{\text{pasajeros}}{\text{hora} * \text{cabina}}$$

Según los términos de referencia del 22 de diciembre de 2015, en el numeral 5.11.11:

“el sistema deberá garantizar una capacidad máxima y futura de 2.600 pasajeros por hora y por dirección con el número de cabinas necesario para cumplir con este objetivo.”, con lo que se procede a determinar el número de cabinas necesario.

Si se considera las dos direcciones, el sistema debe abastecer una capacidad de 5200 personas por hora. Por lo tanto:

$$\# \text{ cabinas} = 5200 \frac{\text{pasajeros}}{\text{hora}} * F1$$

$$\# \text{ cabinas} = 5200 \frac{\text{pasajeros}}{\text{hora}} * \frac{\text{hora} * \text{cabina}}{38.469 \text{ pasajeros}}$$

$$\# \text{ cabinas} = 135.174 \approx 136$$

En conclusión para satisfacer la demanda de 2600 pasajeros por hora por sentido, se requieren 136 cabinas, sin embargo se establece que el sistema funcionará con una capacidad inicial de 1600 pasajeros por hora por sentido.

De forma similar a la mostrada anteriormente con la capacidad definitiva, se procede al cálculo del número de cabinas para la capacidad inicial. Por lo tanto considerando los dos sentidos se tiene.

$$\# \text{ cabinas inicial} = 1600 * 2 \frac{\text{pasajeros}}{\text{hora}} * F1$$

$$\# \text{ cabinas inicial} = 3200 \frac{\text{pasajeros}}{\text{hora en dos sentidos}} * \frac{\text{hora en los dos sentidos} * \text{cabina}}{38.469 \text{ pasajeros}}$$

$$\# \text{ cabinas inicial} = 83.184 \approx 84$$

A continuación se muestra un cuadro resumen con la cantidad de cabinas para pasajeros, de respaldo y de mantenimiento.

*Tabla 5-2 Resumen del número de cabinas.*

Tipo de cabina	Capacidad		
	Inicial 1600 pasajeros/hora/sentido	Posterior	Total 2600 pasajeros/hora/sentido
<b>Pasajeros</b>	84	52	136
<b>Respaldo de pasajeros</b>	2	1	3
<b>Mantenimiento</b>	1		1

Distancia entre cabinas

Para el cálculo de este parámetro se considera la acumulación de cabinas en cada estación, para lo cual se muestra un cuadro resumen a continuación

*Tabla 5-3 Cabinas acumuladas en estación*

ESTACIÓN	CABINAS ACUMULADAS
<b>Ofelia</b>	5
<b>Mariscal</b>	10
<b>Colinas del norte</b>	11
<b>Roldós</b>	5
<b>Total</b>	31

El número de cabinas que cuelgan del cables serán; el número total de cabinas a capacidad máxima menos las acumuladas en las estaciones.

$$\text{Número de cabinas que cuelgan del cable} = 136 - 31 = 105$$

La longitud de cable donde las cabinas cuelgan es semejante a la longitud donde la cabina viaja a velocidad constante considerada como 7228.2 metros.

La distancia entre cabinas se calcula mediante la relación:

$$\text{Distancia entre cabinas} = \frac{\text{Distancia donde cabina viaja a velocidad constante}}{\text{Número de cabinas que cuelgan del cable}}$$

$$\text{Distancia entre cabinas} = \frac{7228.2}{105}$$

$$\text{Distancia entre cabinas} = 68.84 \text{ metros}$$

$$\text{Distancia entre cabinas} = 69 \text{ metros}$$

## 6. Metodología para la modelación y simulación del sistema

### 6.1 Descripción del proceso de modelación

El proceso de modelación del sistema se realiza en base a un método de trabajo conjunto para obtener resultados en el programa SAP2000 así como con ecuaciones de cables parabólicos.

De esta manera, la modelación se basa en definir las siguientes variables:

- Características mecánicas del cable portador-tractor utilizado
- Tensión de trabajo del cable
- Gálibos de seguridad sobre la totalidad del trazado
- Reacciones en la base de las pilonas

Los parámetros establecidos para el desarrollo de la modelación son los siguientes:

- 2600 personas máximo por hora y por sentido, a una velocidad máxima de 5 metros por segundo, respetando la norma EN12929-1(9.2.5). De esta manera se establece el espaciamiento entre cabinas igual a 69 metros, con 137 cabinas en total.
- En base a la norma EN 12930, el peso promedio de cada persona a transportar es de 80 kg. Cada cabina tiene una capacidad de carga de 10 personas, por requerimiento de diseño. La estimación de carga de peso muerto de cada cabina se realiza en base a diseños realizados y productos existentes en el mercado, siendo finalmente de 900 kg.

- Las ubicaciones de las pilonas se establecen como los puntos definidos en el documento de Descripción General de la línea Ofelia-Roldós, en cumplimiento con la norma EN 12929-1.

Cabe recalcar que, el peso del cable es una variable a determinar que influye directamente en el resultado; el proceso aquí realizado es de tipo iterativo, por lo que los resultados a continuación presentados corresponden a los resultados finales, con las especificaciones del cable determinadas, así como las flechas máximas del cable en cada tramo.

## 6.2 Modelo de ecuaciones parabólicas

En la presente sección, se explicarán los resultados obtenidos mediante el modelo de ecuaciones parabólicas. El desarrollo completo de este modelo se encuentra en las referencias (Galabru, 1964) & (Megson, 2000).

En este modelo, se incluyen las fuerzas que ejerce el viento en el sistema para la determinación de la tensión máxima de trabajo. La definición matemática de estas fuerzas se detalla en la sección 6.2.3, según la norma EN 12930.

El análisis fue realizado para cada tramo de la línea, considerando los parámetros de diseño anteriormente descritos. Los resultados de cada línea se presentan a continuación.

### 6.2.1 OFELIA-COLINAS

Se obtiene una tensión máxima para el estado de carga considerado de:

*Tabla 6-1 Tensión máxima del tramo Ofelia-Colinas*

T max [tonf]	T max [kN]
44.8	439.5

El perfil de tensiones en función de la distancia recorrida se muestra a continuación.

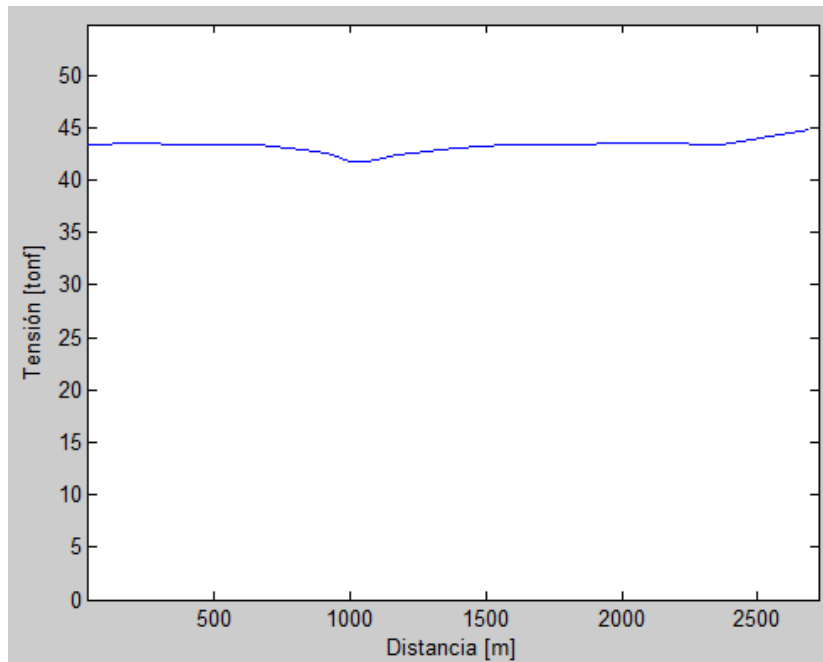


Figura 6-1 Perfil de tensiones del tramo Ofelia-Colinas

## 6.2.2 COLINAS-ROLDOS

Se obtiene una tensión máxima para el estado de carga considerado de:

Tabla 6-2 Tensión máxima del tramo Colinas-Roldós

T max [tonf]	T max [kN]
35.4	347.3

El perfil de tensiones en función de la distancia recorrida se muestra a continuación.

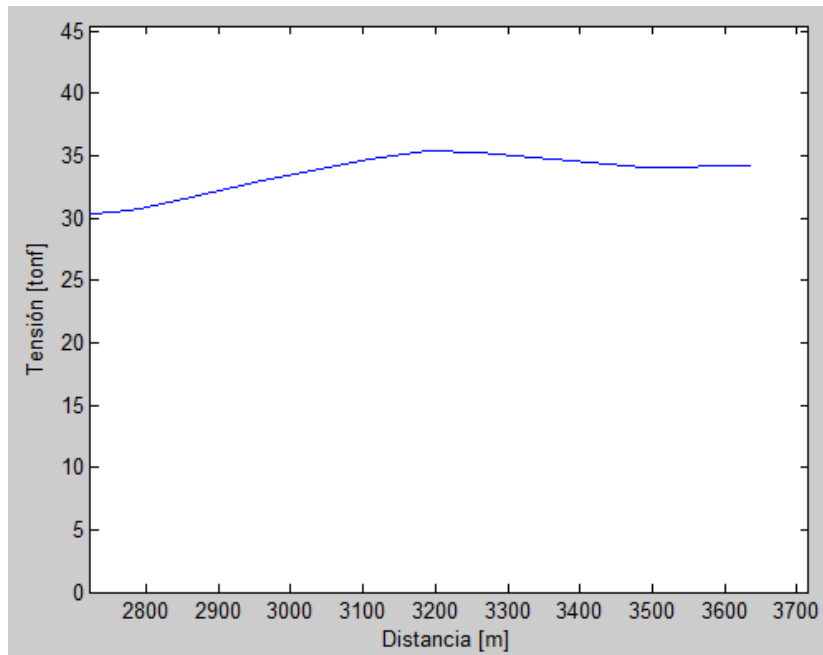


Figura 6-2 Perfil de tensiones del tramo Colinas-Roldós

### 6.2.3 Influencia del viento en el sistema

En este análisis, se considera la norma EN 12930, en donde indica que se debe tomar en cuenta la Fuerza del viento  $F_w$ , en relación con la velocidad del viento  $V_w$ , medida en metros por segundo:

$$F_w = \frac{V_w^2}{16} * d_{cable}$$

## 6.3 Modelo computacional desarrollado en SAP2000

El proceso de simulación en esta sección consiste en:

- Ingresar las coordenadas de las pilonas
- Establecer la geometría del cable en cada tramo como cable con flecha vertical máxima correspondiente al 5% de la luz del tramo.
- Definir los puntos de aplicación de las cargas de las cabinas cargadas en su totalidad.

El modelo computacional abarca la totalidad del sistema en dos tramos, Ofelia-Colinas y Colinas-Roldós. Ambos tramos se presentan a continuación, en ese orden.



Figura 6-3 Modelo computacional para el análisis del tramo Ofelia-Colinas



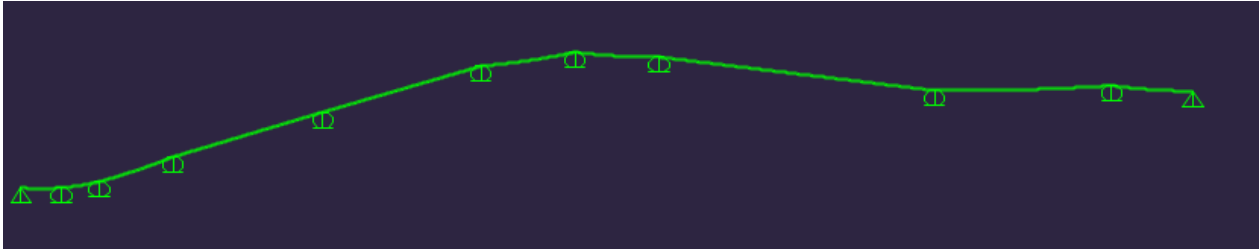


Figura 6-4 Modelo computacional para el análisis del tramo Colinas-Roldós

Los resultados obtenidos para el análisis considerando un factor multiplicador igual a 2 para las cargas dinámicas, se presentan a continuación:

Tabla 6-3 Tensiones con cargas dinámicas

TRAMO	T [tonf]	T [kN]
<b>Ofelia-Colinas</b>	52	511
<b>Colinas-Roldós</b>	43	422

Las componentes verticales de las reacciones en cada tramo se presentan para los tramos Ofelia-Colinas y Colinas-Roldós, respectivamente.

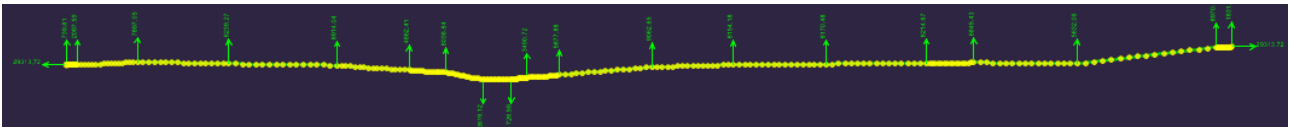


Figura 6-5 Perfil de reacciones en el tramo Ofelia-Colinas

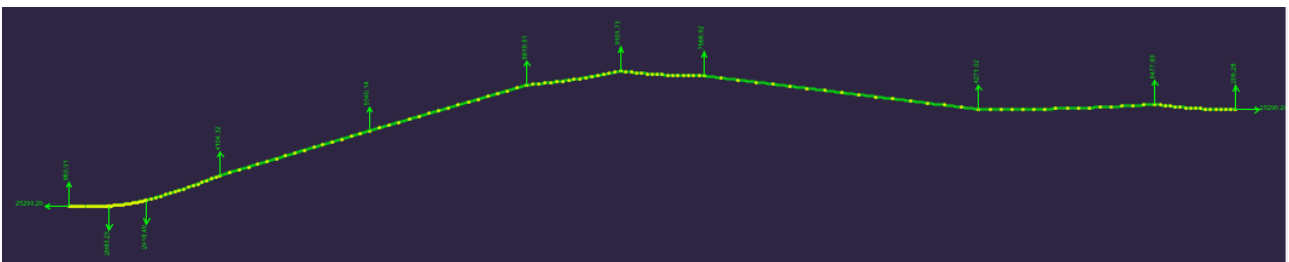


Figura 6-6 Perfil de reacciones en el tramo Colinas-Roldós

En base a este análisis, se determina que las pilonas con reacciones hacia arriba son pilonas de tipo Soporte, caso contrario son de tipo Compresión.

Esta información es útil para el diseño de las pilonas, así como para la selección de balancines y poleas del tren de poleas.

Se detalla a continuación un cuadro resumen del tipo de pylona de la línea.

Tabla 6-4 Cuadro resumen del tipo de pizona (soporte o compresión)

PILONA	TIPO	PILONA	TIPO
P1	Soporte	<b>P15</b>	Soporte
P2	Soporte	<b>P16</b>	Soporte
P3	Soporte	<b>P17</b>	Soporte
P4	Soporte	<b>P18</b>	Soporte
P5	Soporte	<b>P19</b>	Compresión
P6	Soporte	<b>P20</b>	Compresión
P7	Compresión	<b>P21</b>	Soporte
P8	Compresión	<b>P22</b>	Soporte
P9	Soporte	<b>P23</b>	Soporte
P10	Soporte	<b>P24</b>	Soporte
P11	Soporte	<b>P25</b>	Soporte
P12	Soporte	<b>P26</b>	Soporte
P13	Soporte	<b>P27</b>	Soporte
P14	Soporte	<b>P28</b>	Soporte

## 6.4 Influencia del alargamiento elástico y de la temperatura en el cable portador-tractor

El trazado se compone de dos cables separados, uno en el tramo Ofelia-Colinas (pasando por la estación intermedia Mariscal) y otro en el Colinas-Roldós.

### 6.4.1 Alargamiento elástico

La determinación del alargamiento elástico es necesaria para definir la longitud del cable antes de la instalación. El cable es un elemento elástico que bajo la aplicación de una carga axial (tensión) sufre un alargamiento en el campo elástico  $\Delta L_e$ , que es igual a:

$$\Delta L_e = \frac{T * L_0}{E * A}$$

Este alargamiento elástico se lo debe considerar como la cantidad que se debe restar a la longitud del cable en operación. Se consideran entonces valores de operación críticos (tensión del sistema baja igual a 30 toneladas). De esta manera, se obtiene el valor máximo de cable a adquirir. Los parámetros utilizados son:

Tabla 6-5 Parámetros que influyen en el alargamiento elástico del cable

Módulo de elasticidad del cable de acero $E$	5600 $kgf/mm^2$
Área del cable $A$	2290 $mm^2$
Tensión mínima del cable $T$	30 $tonf$

Longitud inicial de la línea Ofelia-Colinas $L_0$	5471 m
Longitud inicial de la línea Colinas-Roldós $L_0$	2083.60 m

El alargamiento elástico de cada tramo es:

*Tabla 6-6 Alargamiento elástico del cable*

Alargamiento en la línea Ofelia-Colinas	12.8 m
Alargamiento en la línea Colinas-Roldós	4.9 m

### 6.4.2 Dilatación térmica

El modelo de dilatación térmica lineal  $\Delta L_t$  está definido por la siguiente ecuación:

$$\Delta L_t = \alpha * L_0 * \Delta T$$

Esta dilatación en cada tramo corresponde al doble de la longitud que debe corregir el cilindro en operación en las estaciones de retorno, pues la dilatación es en dos tramos de cable.

Se consideran los siguientes parámetros:

*Tabla 6-7 Parámetros que influyen en la dilatación térmica del cable*

Diferencia de temperatura en operación $\Delta T$	30 °C
Coefficiente de dilatación del cable de acero 6x36 $\alpha$	$12.5 * 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Longitud inicial de la línea Ofelia-Colinas $L_0$	5471 m
Longitud inicial de la línea Colinas-Roldós $L_0$	2083.60 m

La dilatación térmica de cada tramo es:

*Tabla 6-8 Dilatación térmica del cable*

Dilatación en la línea Ofelia-Colinas	2.75 m
Dilatación en la línea Colinas-Roldós	0.78 m

## 6.5 Efectos dinámicos

En las normas EN 12929-1 y EN 13223 se establece que el criterio para los efectos dinámicos debe ser considerado para deceleraciones en los casos más desfavorables para las condiciones de frenado. Se considera una vez más el tramo entre las pylonas 17-

18 de mayor cantidad de cabinas (5 cabinas) cargadas de 1700 kg (peso de la cabina más el peso de las 10 personas), en el sentido de bajada.

La norma EN 13223 indica que la deceleración en teleféricos de vaivén no debe superar el valor de  $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

El diagrama de cuerpo libre del conjunto de  $n=5$  cabinas se muestra a continuación.

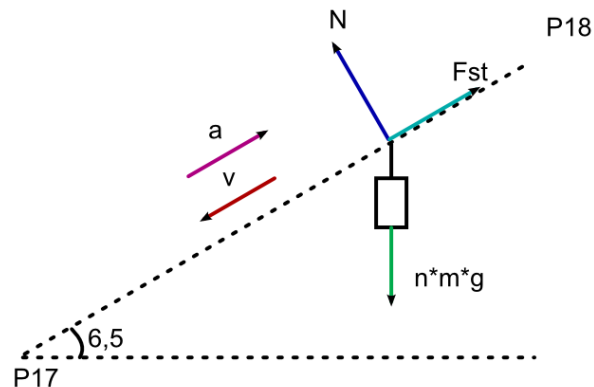


Figura 6-7 Diagrama de cuerpo libre para el análisis dinámico

La fuerza de sobretensión para este tramo es de:

$$F_{st} = n * m * (a + g * \text{sen}(\alpha)) = 5 * 1700 * (2 + 9,81 * \text{sen}(6,5))$$

$$F_{st} = 26,5 \text{ tonf}$$

Esta fuerza de sobretensión es la que se cubre con el factor multiplicador igual a 2, ya que esta fuerza es para el valor más crítico.

## 6.6 Diseño del cable

### 6.6.1 Parámetros de diseño

Los parámetros considerados para dimensionar y determinar las características del cable portador-tractor son:

- Factor de seguridad mínimo de 4, según la norma EN 12927-2.
- Relación entre el diámetro del cable y garganta de poleas (para facilidad de fabricación y montaje).
- Tensión máxima aplicada con efectos dinámicos de 511 kN.
- Tensión de trabajo de 439.5 kN.
- Cable de cordones con alma textil o de polímero sólido (norma EN 12927-1)
- Clase del cable 1960 N/mm<sup>2</sup>; 6x19, 6x7 o 6x36 (norma EN 12385-8)

### 6.6.2 Especificación del cable portador-tractor

En base al factor de seguridad especificado, se calcula la tensión mínima de ruptura como sigue:

$$T_{u_{min}} = FS * T_{max} = 4 * 511 = 2044 \text{ kN}$$

Se define un cable de las siguientes características:

*Tabla 6-9 Especificaciones técnicas del cable portador-tractor*

Tipo de cable	Torones, 6x36 con alma compacta de polímero
Diámetro externo	54 mm
Tensión mínima de ruptura	2044 kN
Peso por metro lineal máximo	12.5 kg/m
Longitud Ofelia-Colinas	5459 m
Longitud Colinas-Roldós	2079 m

## 7. Reacciones en las pilonas

### 7.1 Alcance

El cable es el elemento que transmite las cargas de las cabinas hacia las pilonas, por lo que se estudiarán las reacciones que este provoca en las pilonas.

Dichas reacciones se utilizan para diseñar tanto las pilonas como las cimentaciones de estas, por lo que se buscarán las reacciones máximas que abarquen la envolvente del sistema.

### 7.2 Sistema de referencia

Los momentos en la base de cada pylona varían respecto a la altura de cada una de estas, y se señalan los momentos más desfavorables para la estabilidad de la pylona.

A continuación se muestra un cuadro recapitulativo de las reacciones en cada pylona, donde  $R_x$  designa las reacciones horizontales y  $R_z$  las verticales. Se detalla de igual manera el peso de cada pylona. La ménsula es la estructura sobre la cual se instalan los trenes de poleas, el peso de esta subestructura sobre cada pylona se detalla de igual manera.

Cabe recalcar que la inclinación es el ángulo que forma la pylona con la vertical en la base, tomado en sentido anti horario. De esta manera, las componentes  $R_z$  y  $R_x$  están

direccionadas en el eje de la piona y a 90 grados de esta, respectivamente. La convención de signos para ángulos y momentos es positivo antihorario, viendo el trazado con la estación Ofelia a la izquierda y la estación Roldós a la derecha.

A continuación se presenta la tabla resumen de las reacciones.

*Tabla 7-1 Tabla resumen de las reacciones en la base de cada piona*

PILONA	Altura [m]	Inclinación %	Inclinación [deg]	Rx [N]	Rz [N]	Peso piona [N]	Peso ménsula [N]	Momento [N.m]
1	9,73	0	0,00	40299,48	413314,9	44015,8	39240	392113,9
2	10,96	0	0,00	40299,48	413314,9	44015,8	39240	441682,3
3	20	0	0,00	40299,48	413314,9	71536,2	39240	805989,6
4	28	0	0,00	40299,48	413314,9	181803,9	39240	1128385,4
5	29,7	0	0,00	40299,48	413314,9	181803,9	39240	1196894,6
6	23,89	0	0,00	40299,48	413314,9	126670,0	39240	962754,6
7	21,25	0	0,00	40299,48	413314,9	126670,0	39240	856364,0
8	6,16	0	0,00	40299,48	413314,9	16495,4	39240	248244,8
9	11,23	0	0,00	40299,48	413314,9	44015,8	39240	452563,2
10	16,39	0	0,00	40299,48	413314,9	71536,2	39240	660508,5
11	23,3	5	2,86	40299,48	413314,9	126670,0	39240	-1058328,7
12	32,1	0	0,00	40299,48	413314,9	181803,9	39240	1293613,3
13	31,16	0	0,00	40299,48	413314,9	181803,9	39240	1255731,8
14	28,72	0	0,00	40299,48	413314,9	181803,9	39240	1157401,1
15	27,55	0	0,00	40299,48	413314,9	126670,0	39240	1110250,7
16	32,84	0	0,00	40299,48	413314,9	181803,9	39240	1323434,9
17	24,41	0	0,00	40299,48	413314,9	126670,0	39240	983710,3
18	5,92	10	5,71	40299,48	413314,9	16495,4	39240	-266546,1
19	8,49	0	0,00	40299,48	413314,9	44015,8	39240	342142,6
20	10,52	20	11,31	40299,48	413314,9	44015,8	39240	-550313,7
21	26,37	25	14,04	40299,48	413314,9	126670,0	39240	-1718732,7
22	21,72	25	14,04	40299,48	413314,9	126670,0	39240	-1415657,0
23	14,36	20	11,31	40299,48	413314,9	71536,2	39240	-789940,5

PILONA	Altura [m]	Inclinación %	Inclinación [deg]	Rx [N]	Rz [N]	Peso pilona [N]	Peso ménsula [N]	Momento [N.m]
24	15,06	-5	-2,86	40299,48	413314,9	71536,2	39240	550499,5
25	26,5	0	0,00	40299,48	413314,9	126670,0	39240	1067936,2
26	22,77	0	0,00	40299,48	413314,9	126670,0	39240	917619,2
27	24,7	0	0,00	40299,48	413314,9	126670,0	39240	995397,2
28	9,16	0	0,00	40299,48	413314,9	44015,8	39240	369143,2

## 8. Anexos

Tabla 8-1 Lista de anexos

No.	CODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
<b>IMPLANTACION DEL PROYECTO</b>		
1	QC-OR-TT-MEC1-PL-100	Trazado del proyecto - Plano General
2	QC-OR-TT-MEC1-PL-101	Trazado del proyecto - Estación Ofelia y Pilonas 1,2,3,4
3	QC-OR-TT-MEC1-PL-102	Trazado del proyecto - Pilonas 5,6,7,8,9,10,11 y Estación Mariscal
4	QC-OR-TT-MEC1-PL-103	Trazado del proyecto - Pilonas 12, 13 y 14
5	QC-OR-TT-MEC1-PL-104	Trazado del proyecto - Pilonas 15, 16 y 17
6	QC-OR-TT-MEC1-PL-105	Trazado del proyecto - Pilonas 18, 19, 20 y 21, Estación Colinas del Norte
7	QC-OR-TT-MEC1-PL-106	Trazado del proyecto - Pilonas 22,23,24,25,26
8	QC-OR-TT-MEC1-PL-107	Trazado del proyecto - Pilonas 27 y 28, Estación Roldós