



# Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles

## Estudio de prefactibilidad técnica y económica de un teleférico en el Cerro Divisadero (Coyhaique)

Tesis presentada como parte de  
los requisitos para optar al Título de  
Ingeniero Civil en Obras Civiles

Profesor Patrocinante:

**José Soto Miranda**

Ingeniero Civil

Profesor Co-Patrocinante:

**Carlos Vergara Muñoz**

Ingeniero Civil Mecánico

Profesor Examinador:

**Heriberto Vivanco Bilbao**

Ingeniero Comercial

Constructor Civil

**Gianni Albán Rivera San Martín**

VALDIVIA – CHILE  
2005

*A mi madre...*  
*Doña Raquel San Martín.*

# Índice General.

|                        | <b>Pág.</b> |
|------------------------|-------------|
| Índice General.....    | i           |
| Índice Cuadros.....    | vi          |
| Índice Figuras.....    | ix          |
| Índice Ecuaciones..... | xi          |
| Índice Gráficos.....   | xiii        |
| Resumen .....          | xiv         |
| Summary .....          | xiv         |

**CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN. 1**

|                                              |          |
|----------------------------------------------|----------|
| <b>1.1.- Planteamiento del problema.....</b> | <b>1</b> |
| <b>1.2.- Objetivos.....</b>                  | <b>2</b> |
| <b>1.3.- Metodología.....</b>                | <b>2</b> |
| <b>1.4.- Alcances y limitaciones.....</b>    | <b>3</b> |

**CAPÍTULO II.- ANÁLISIS DE DEMANDA.** **4**

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| <b>2.1.-</b> Antecedentes generales.....                             | 4  |
| <b>2.2.-</b> Estimación de turistas para la ciudad de Coyhaique..... | 6  |
| <b>2.2.1.-</b> Personas llegadas por pasos fronterizos.....          | 6  |
| <b>2.2.2.-</b> Personas llegadas por vía marítima.....               | 9  |
| <b>2.2.3.-</b> Personas llegadas por vía aérea.....                  | 11 |
| <b>2.2.4.-</b> Resumen de la estimación de turistas.....             | 12 |
| <b>2.3.-</b> Estimación de la demanda futura para el teleférico..... | 14 |
| <b>2.3.1.-</b> Demanda media diaria.....                             | 15 |
| <b>2.3.2.-</b> Demanda horaria de diseño.....                        | 16 |
| <b>2.3.3.-</b> Tasas de crecimiento anual.....                       | 17 |
| <b>2.3.4.-</b> Proyección de la demanda.....                         | 18 |
| <b>2.4.-</b> Resultados del estudio de demanda.....                  | 19 |

**CAPÍTULO III.- TRAZADO DEL TELEFÉRICO. 21**

- 3.1.- Definición del área de estudio..... 21
  - 3.1.1.- Geología..... 21
  - 3.1.2.- Geomorfología..... 23
  - 3.1.3.- Suelos..... 24
  - 3.1.4.- Clima..... 24
  - 3.1.5.- Vegetación..... 25
  - 3.1.6.- Tenencia de la tierra..... 26
- 3.2.- Determinación del trazado del teleférico..... 27
  - 3.2.1.- Factores determinantes..... 27
    - 3.2.1.1.- Perfil longitudinal del trazado..... 27
    - 3.2.1.2.- Disposición de los torrentes en el Cerro Divisadero..... 27
    - 3.2.1.3.- Ubicación estratégica de las estaciones..... 28
    - 3.2.1.4.- Vista periférica..... 28
    - 3.2.1.5.- Áreas expuestas al viento..... 29
    - 3.2.1.6.- Longitud de recorrido del teleférico..... 29
  - 3.2.2.- Presentación de trazados tentativos..... 29
  - 3.2.3.- Trazado proyectado para el teleférico..... 30

**CAPÍTULO IV.- INGENIERÍA DEL PROYECTO. 33**

- 4.1.- Antecedentes generales..... 33
- 4.2.- Selección del sistema de operación del teleférico..... 33
- 4.3.- Descripción de equipos e instalaciones principales..... 37
  - 4.3.1.- Estaciones terminales..... 37
  - 4.3.2.- Equipo Motriz..... 38
  - 4.3.3.- Sistema de seguridad..... 40
  - 4.3.4.- Cabinas..... 41
- 4.4.- Diseño del teleférico..... 42
  - 4.4.1.- Determinación de la cantidad de cabinas..... 42
  - 4.4.2.- Cable de acero..... 44
    - 4.4.2.1.- Elementos que componen un cable de acero..... 44
      - 4.4.2.1.a.- Alambres..... 44
      - 4.4.2.1.b.- Torones..... 45

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.4.2.1.c.- Alma.....                                                                                              | 46 |
| 4.4.2.1.d.- Producto final.....                                                                                    | 47 |
| 4.4.2.2.- Torcido del cable de acero.....                                                                          | 48 |
| 4.4.2.3.- Preformado del cable de acero.....                                                                       | 49 |
| 4.4.2.4.- Nomenclatura comercial de los cables de acero.....                                                       | 50 |
| 4.4.2.5.- Factores en la selección del cable de acero.....                                                         | 51 |
| 4.4.2.5.a.- Cargas de trabajo.....                                                                                 | 51 |
| 4.4.2.5.b.- Fatiga de flexión.....                                                                                 | 51 |
| 4.4.2.5.c.- Resistencia a la abrasión.....                                                                         | 52 |
| 4.4.2.5.d.- Resistencia al aplastamiento.....                                                                      | 53 |
| 4.4.2.5.e.- Corrosión.....                                                                                         | 53 |
| 4.4.2.6.- Factor de seguridad.....                                                                                 | 53 |
| 4.4.2.7.- Especificaciones de un cable de acero.....                                                               | 54 |
| 4.4.2.7.a.- Diámetro.....                                                                                          | 54 |
| 4.4.2.7.b.- Peso lineal.....                                                                                       | 54 |
| 4.4.2.7.c.- Módulo de elasticidad.....                                                                             | 55 |
| 4.4.2.7.d.- Resistencia mínima de ruptura.....                                                                     | 55 |
| 4.4.2.8.- Tensiones soportadas por el cable del teleférico.....                                                    | 55 |
| 4.4.2.8.a.- Tensión estática.....                                                                                  | 56 |
| 4.4.2.8.b.- Tensión dinámica.....                                                                                  | 56 |
| 4.4.2.8.c.- Tensión de flexión.....                                                                                | 57 |
| 4.4.2.8.d.- Tensión máxima en el cable de acero.....                                                               | 57 |
| 4.4.2.9.- Diseño y análisis del cable de acero para el teleférico proyectado.....                                  | 58 |
| 4.4.2.9.a.- Modelación del cable del teleférico.....                                                               | 58 |
| 4.4.2.9.b.- Cálculo de la tensión estática.....                                                                    | 61 |
| 4.4.2.9.b.1.- Tensión de un cable bajo la acción de una carga vertical<br>vertical.....                            | 62 |
| 4.4.2.9.b.1.1.- Determinación de la <i>ecuación del cable</i> para un cable<br>suspendido horizontalmente.....     | 65 |
| 4.4.2.9.b.1.2.- Determinación de la <i>ecuación del cable</i> para un cable<br>inclinado.....                      | 69 |
| 4.4.2.9.b.1.3.- Determinación de la <i>ecuación del cable</i> para un cable<br>inclinado con múltiples tramos..... | 72 |
| 4.4.2.9.b.1.4.- Determinación de la <i>ecuación del cable</i> considerando<br>el efecto de una carga lateral.....  | 75 |
| 4.4.2.9.b.2.- Cargas de trabajo sobre el cable del teleférico.....                                                 | 78 |
| 4.4.2.9.b.2.1.- Cargas verticales.....                                                                             | 78 |

|                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.4.2.9.b.2.2.- Carga lateral.....                                    | 82         |
| 4.4.2.9.b.2.3.- Otras cargas.....                                     | 83         |
| 4.4.2.9.b.3.- Combinaciones de carga.....                             | 85         |
| 4.4.2.9.b.4.- Flecha del cable.....                                   | 86         |
| 4.4.2.9.b.4.1.- Flecha vertical.....                                  | 86         |
| 4.4.2.9.b.4.2.- Flecha horizontal.....                                | 86         |
| 4.4.2.9.b.4.3.- Flecha.....                                           | 87         |
| 4.4.2.9.b.5.- Solución numérica del problema.....                     | 88         |
| 4.4.2.9.b.5.1.- Entrada de datos.....                                 | 88         |
| 4.4.2.9.b.5.2.- Procedimiento de cálculo.....                         | 89         |
| 4.4.2.9.b.6.- Elección del cable.....                                 | 91         |
| 4.4.2.9.b.7.- Cálculo de la tensión.....                              | 94         |
| 4.4.2.9.c.- Verificación del cable.....                               | 101        |
| 4.4.2.9.d.- Influencia de la carga de viento.....                     | 101        |
| 4.4.2.9.e.- Influencia de la variación de temperatura.....            | 103        |
| 4.4.2.9.f.- Determinación de la máxima flecha del cable.....          | 105        |
| 4.4.2.9.g.- Cálculo de la tensión de contrapeso de polea tensora..... | 106        |
| 4.5.- Soportes de la línea del teleférico.....                        | 109        |
| 4.5.1.- Torres de apoyo.....                                          | 109        |
| 4.5.2.- Tren de roldanas (Balancín).....                              | 112        |
| 4.6.- Resultado de la ingeniería del proyecto.....                    | 115        |
| <b>CAPÍTULO V.- EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL TELEFÉRICO.</b>              | <b>116</b> |
| 5.1.- Inversión del proyecto.....                                     | 116        |
| 5.1.1.- Activos fijos.....                                            | 116        |
| 5.1.1.1.- Terrenos.....                                               | 116        |
| 5.1.1.2.- Equipos mecánicos.....                                      | 117        |
| 5.1.1.3.- Cable de acero.....                                         | 118        |
| 5.1.1.4.- Torres estructurales.....                                   | 118        |
| 5.1.1.5.- Obras civiles.....                                          | 118        |
| 5.1.1.6.- Conexión eléctrica.....                                     | 118        |
| 5.1.2.- Activos intangibles.....                                      | 119        |
| 5.1.2.1.- Gastos de organización.....                                 | 119        |
| 5.1.2.2.- Supervisión del montaje y puesta en marcha.....             | 119        |
| 5.1.3.- Cuadro resumen de inversión.....                              | 120        |

|                                                                   |         |
|-------------------------------------------------------------------|---------|
| 5.2.- Costos de operación.....                                    | 120     |
| 5.2.1.- Costo de energía eléctrica.....                           | 120     |
| 5.2.1.1.- Cálculo de la potencia del motor.....                   | 120     |
| 5.2.1.2.- Costo de energía eléctrica por pasajero.....            | 123     |
| 5.2.2.- Costos de mantención.....                                 | 124     |
| 5.2.3.- Costo del personal operativo.....                         | 125     |
| 5.2.4.- Costos de depreciación.....                               | 126     |
| 5.2.4.1.- Depreciación de equipos mecánicos y cable de acero..... | 126     |
| 5.2.4.2.- Depreciación de obras civiles y estructuras.....        | 126     |
| 5.2.4.3.- Cuota anual de depreciación.....                        | 127     |
| 5.2.5.- Costos totales de operación.....                          | 127     |
| 5.2.5.1.- Costos fijos de operación.....                          | 127     |
| 5.2.5.2.- Costos variables de operación.....                      | 127     |
| 5.3.- Evaluación económica.....                                   | 128     |
| 5.3.1.- Estimación de la tasa de descuento.....                   | 128     |
| 5.3.2.- Tarifas mínimas requeridas (TMR).....                     | 129     |
| 5.3.2.1.- Estructura del flujo operacional.....                   | 131     |
| 5.3.2.2.- TMR para escenario pesimista.....                       | 133     |
| 5.3.2.3.- TMR para escenario optimista.....                       | 139     |
| 5.3.3.- Sensibilidad de la TMR a la tasa de descuento.....        | 146     |
| 5.3.3.1.- Sensibilidad de la TMR para un escenario pesimista..... | 147     |
| 5.3.3.2.- Sensibilidad de la TMR para un escenario optimista..... | 150     |
| 5.3.4.- Resultados de la evaluación.....                          | 153     |
| <br>CAPÍTULO VI.- CONCLUSIONES.                                   | <br>158 |
| <br>Bibliografía.                                                 | <br>160 |
| <br>ANEXOS                                                        |         |

# Índice Cuadros.

|                                                                                                                                      |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>CAPÍTULO II.- ANÁLISIS DE DEMANDA.</b>                                                                                            | <b>4</b>      |
| <b>Cuadro II.1</b> Pasajeros llegados a la Región de Aisén en el año 2003, según Pasos Fronterizos de Coyhaique Alto y Huemules..... | 7             |
| <b>Cuadro II. 2</b> Personas llegadas por vía marítima durante el 2003.....                                                          | 9             |
| <b>Cuadro II.3</b> Recalada de cruceros turísticos internacionales en Puerto Chacabuco.....                                          | 11            |
| <b>Cuadro II.4</b> Personas llegadas por vía aérea durante el año 2003.....                                                          | 12            |
| <b>Cuadro II.5</b> Resumen de la estimación de turistas para Coyhaique.....                                                          | 13            |
| <b>Cuadro II.6</b> Proyección del flujo de personas para una tasa de crecimiento del 6% anual.....                                   | 18            |
| <b>Cuadro II.7</b> Proyección del flujo de personas para una tasa de crecimiento del 8% anual.....                                   | 19            |
| <br><b>CAPÍTULO III.- TRAZADO DEL TELEFÉRICO.</b>                                                                                    | <br><b>21</b> |
| <b>Cuadro III.1</b> Propietarios y avalúos fiscales de los roles del área de estudio.....                                            | 26            |
| <br><b>CAPÍTULO IV.- INGENIERÍA DEL PROYECTO.</b>                                                                                    | <br><b>33</b> |
| <b>Cuadro IV.1</b> Calidades de los alambres de acero.....                                                                           | 45            |
| <b>Cuadro IV.2</b> Torcido del cable de acero.....                                                                                   | 48            |
| <b>Cuadro IV.3</b> Diámetro mínimo de poleas.....                                                                                    | 51            |
| <b>Cuadro IV.4</b> Factor de seguridad para cables de teleférico y andariveles.....                                                  | 53            |
| <b>Cuadro IV.5</b> Módulos de elasticidad para construcciones más utilizadas.....                                                    | 55            |
| <b>Cuadro IV.6</b> Propiedades del Cobra AF 6x19 para diversos diámetros.....                                                        | 63            |
| <b>Cuadro IV.7</b> Posiciones de las cabinas a partir de las ubicaciones más desfavorables de una cabina de referencia.....          | 99            |
| <b>Cuadro IV.8</b> Tensiones estáticas máximas del cable de acero, según las distintas configuraciones de carga.....                 | 100           |
| <b>Cuadro IV.9</b> Tensiones estáticas máximas del cable para distintas variaciones de temperatura.....                              | 104           |
| <b>Cuadro IV.10</b> Flechas máximas en cada tramo para la carga segura de trabajo (carga de diseño).....                             | 105           |

**CAPÍTULO V.- EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL TELEFÉRICO** **116**

**Cuadro V.1** Inversión del proyecto..... 121

**Cuadro V.2** Costo anual del personal del teleférico..... 125

**Cuadro V.3** Esquema general del flujo operacional..... 132

**Cuadro V.4** VAN originado por diversas tarifas para un escenario pesimista con el proyecto sin financiamiento externo..... 133

**Cuadro V.5** Ingresos percibidos en un escenario pesimista, con la TMR = \$ 16.004 (*Proyecto sin financiamiento externo*)..... 134

**Cuadro V.6** Flujo neto operacional en un escenario pesimista, con la TMR = \$ 16.004 (*Proyecto sin financiamiento externo*)..... 134

**Cuadro V.7** VAN originado por diversas tarifas para un escenario pesimista con el proyecto con financiamiento bancario..... 136

**Cuadro V.8** Ingresos percibidos en un escenario pesimista, con la TMR = \$ 11.304 (*Proyecto con financiamiento bancario*)..... 137

**Cuadro V.9** Programación de la deuda para el *proyecto con financiamiento bancario* en un escenario pesimista..... 137

**Cuadro V.10** Flujo neto operacional en un escenario pesimista, con la TMR = \$ 11.304 (*Proyecto con financiamiento bancario*)..... 137

**Cuadro V.11** VAN originado por diversas tarifas para un escenario optimista con el proyecto sin financiamiento externo..... 140

**Cuadro V.12** Ingresos percibidos en un escenario optimista, con la TMR = \$ 13.074 (*Proyecto sin financiamiento externo*)..... 141

**Cuadro V.13** Flujo neto operacional en un escenario optimista, con la TMR = \$ 13.074 (*Proyecto sin financiamiento externo*)..... 141

**Cuadro V.14** VAN originado por diversas tarifas para un escenario optimista con el proyecto con financiamiento bancario..... 143

**Cuadro V.15** Ingresos percibidos en un escenario optimista, con la TMR = \$ 9.264 (*Proyecto con financiamiento bancario*)..... 144

**Cuadro V.16** Programación de la deuda para el *proyecto con financiamiento bancario* en un escenario optimista..... 144

**Cuadro V.17** Flujo neto operacional en un escenario optimista, con la TMR = \$ 9.264 (*Proyecto con financiamiento bancario*)..... 144

**Cuadro V.18** VAN para tarifas representativas, en un escenario pesimista modificando la tasa de descuento (*Proyecto sin financiamiento externo*)..... 148

**Cuadro V.19** VAN para tarifas representativas, en un escenario pesimista  
modificando la tasa de descuento (Proyecto con financiamiento bancario)..... 149

**Cuadro V.20** VAN para tarifas representativas, en un escenario optimista  
modificando la tasa de descuento (Proyecto sin financiamiento externo)..... 151

**Cuadro V.21** VAN para tarifas representativas, en un escenario optimista  
modificando la tasa de descuento (Proyecto con financiamiento bancario)..... 152

**Cuadro V.22** TMR para los escenarios propuestos de evaluación..... 154

**Cuadro V.23** TMR para los escenarios propuestos de evaluación, modificando  
la tasa de descuento..... 156

# Índice Figuras.

|                                                                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO III.- TRAZADO DEL TELEFÉRICO.</b>                                                                | <b>21</b> |
| <b>Figura 3.1</b> Disposición de los torrentes en el Cordón Divisadero.....                                  | 22        |
| <b>Figura 3.2</b> Disposición de trazados tentativos.                                                        | 30        |
| <b>CAPÍTULO IV.- INGENIERÍA DEL PROYECTO.</b>                                                                | <b>33</b> |
| <b>Figura 4.1</b> Sistema de operación monocable y policable.....                                            | 34        |
| <b>Figura 4.2</b> Sistema de operación continuo y alterno.....                                               | 35        |
| <b>Figura 4.3</b> Riel de desacople de las cabinas.....                                                      | 38        |
| <b>Figura 4.4</b> Diámetro de las poleas.....                                                                | 39        |
| <b>Figura 4.5</b> Sistema básico del contrapeso.....                                                         | 40        |
| <b>Figura 4.6</b> Tensión regulada en forma hidráulica.....                                                  | 40        |
| <b>Figura 4.7</b> Colgador y equipo de acople.....                                                           | 41        |
| <b>Figura 4.8</b> Cable 6x19(9/9/1) Seale.....                                                               | 46        |
| <b>Figura 4.9</b> Elementos que componen el cable de acero.....                                              | 47        |
| <b>Figura 4.10</b> Torcido Herringbone.....                                                                  | 49        |
| <b>Figura 4.11</b> Influencia de cantidad de alambres en la resistencia a la fatiga de flexión.....          | 52        |
| <b>Figura 4.12</b> Influencia de la cantidad y diámetro de los alambres en la resistencia a la abrasión..... | 52        |
| <b>Figura 4.13</b> Forma correcta de medir el diámetro del cable.....                                        | 54        |
| <b>Figura 4.14</b> Estructuración básica del teleférico.....                                                 | 58        |
| <b>Figura 4.15</b> Balancines de apoyo en las torres.....                                                    | 60        |
| <b>Figura 4.16</b> Modelación de la estructura del teleférico.....                                           | 60        |
| <b>Figura 4.17</b> Modelación para el sistema con contrapeso.....                                            | 61        |
| <b>Figura 4.18</b> Cable bajo una carga vertical cualquiera.....                                             | 62        |
| <b>Figura 4.19</b> Segmento infinitesimal de cable.....                                                      | 63        |
| <b>Figura 4.20</b> Cable suspendido horizontalmente.....                                                     | 64        |
| <b>Figura 4.21</b> Cable suspendido inclinado.....                                                           | 70        |
| <b>Figura 4.22</b> Representación gráfica de $y$ .....                                                       | 70        |

**Figura 4.23** Paso del cable de acero por las roldanas dispuestas en las torres intermedias de apoyo..... 73

**Figura 4.24** Cable suspendido en forma inclinada, bajo acción de cargas verticales..... 74

**Figura 4.25** Cable con carga vertical y lateral..... 76

**Figura 4.26** Peso propio del cable..... 79

**Figura 4.27** Sobrecarga sobre el cable en cada tramo..... 80

**Figura 4.28** Peso propio más sobrecarga..... 80

**Figura 4.29** Cargas verticales para *ecuación del cable* que incluye carga lateral.. 82

**Figura 4.30** Carga de viento sobre el cable..... 83

**Figura 4.31** Raspador de hielo..... 84

**Figura 4.32** Flecha del cable..... 87

**Figura 4.33** Cobra AF 6x19 Seale..... 93

**Figura 4.34** Tensión que debe originar el contrapeso..... 106

**Figura 4.35** Contrapeso o dado de hormigón..... 107

**Figura 4.36** Modelo de una torre mecánica del teleférico..... 111

**Figura 4.37** Elementos de seguridad en el balancín..... 113

**Figura 4.38** Ensamble del eje soporte del tren de roldanas..... 113

**Figura 4.39** Tren de roldanas o balancín compuesto por 8 roldanas..... 114

**Figura 4.40** Torre de compresión..... 115

# Índice Ecuaciones.

|                                                                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO IV.- INGENIERÍA DEL PROYECTO.</b>                                                                                          | <b>33</b> |
| <b>Ecuación 4.1</b> Tensión estática del cable de acero.....                                                                           | 56        |
| <b>Ecuación 4.2</b> Tensión dinámica del cable de acero.....                                                                           | 56        |
| <b>Ecuación 4.3</b> Tensión máxima del cable de acero.....                                                                             | 57        |
| <b>Ecuación 4.4</b> Tensión máxima del cable de acero (dividida a ambos lados por la sección del cable).....                           | 58        |
| <b>Ecuación 4.5</b> Equilibrio de fuerzas horizontales en el segmento infinitesimal de cable.....                                      | 63        |
| <b>Ecuación 4.6</b> Equilibrio de fuerzas verticales en el segmento infinitesimal de cable.....                                        | 63        |
| <b>Ecuación 4.7</b> Relación entre fuerza vertical y horizontal del segmento infinitesimal de cable.....                               | 63        |
| <b>Ecuación 4.8</b> Longitud del segmento infinitesimal de cable.....                                                                  | 63        |
| <b>Ecuación 4.9</b> Ordenada de la deformada del cable suspendido horizontalmente..                                                    | 64        |
| <b>Ecuación 4.10</b> Relación de la longitud del cable en estado final y estado inicial...                                             | 65        |
| <b>Ecuación 4.11</b> Longitud del cable en estado final, suspendido horizontalmente...                                                 | 66        |
| <b>Ecuación 4.12</b> Primera derivada de la ordenada del cable suspendido horizontalmente.....                                         | 66        |
| <b>Ecuación 4.13</b> Longitud del cable en estado final, reemplazando la ecuación 4.12.....                                            | 66        |
| <b>Ecuación 4.14</b> Alargamiento elástico del cable.....                                                                              | 67        |
| <b>Ecuación 4.15</b> Relación geométrica de la Figura 4.19.....                                                                        | 67        |
| <b>Ecuación 4.16</b> Alargamiento elástico del cable, considerando lo establecido en la ecuación 4.15.....                             | 67        |
| <b>Ecuación 4.17</b> Alargamiento elástico del cable, reemplazando la ecuación 4.9....                                                 | 67        |
| <b>Ecuación 4.18</b> Alargamiento por variación de temperatura.....                                                                    | 68        |
| <b>Ecuación 4.19</b> Ecuación del cable, para un cable suspendido horizontalmente bajo la acción de una carga vertical cualquiera..... | 68        |
| <b>Ecuación 4.20</b> Ordenada de la deformada del cable suspendido en forma inclinada.....                                             | 69        |
| <b>Ecuación 4.21</b> Flecha vertical del cable suspendido en forma inclinada, según Fig. 4.22.....                                     | 70        |

|                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Ecuación 4.22</b> Primera derivada de la ordenada del cable suspendido en forma inclinada.....                                                             | 71 |
| <b>Ecuación 4.23</b> Longitud del cable en estado final, suspendido en forma inclinada.....                                                                   | 71 |
| <b>Ecuación 4.24</b> Longitud inicial estimada del cable del teleférico.....                                                                                  | 71 |
| <b>Ecuación 4.25</b> Alargamiento elástico del cable, suspendido en forma inclinada...                                                                        | 72 |
| <b>Ecuación 4.26</b> Ecuación del cable, para un cable suspendido en forma inclinada, bajo la acción de una carga vertical cualquiera.....                    | 72 |
| <b>Ecuación 4.27</b> Longitud en estado final del cable con múltiples tramos, suspendido en forma inclinada.....                                              | 74 |
| <b>Ecuación 4.28</b> Alargamiento elástico del cable con múltiples tramos, suspendido en forma inclinada.....                                                 | 74 |
| <b>Ecuación 4.29</b> Ecuación del cable, para un cable de múltiples tramos suspendido en forma inclinada, bajo la acción de una carga vertical cualquiera.... | 75 |
| <b>Ecuación 4.30</b> Longitud del cable como curva en el espacio.....                                                                                         | 76 |
| <b>Ecuación 4.31</b> Longitud en estado final del cable, incluyendo una carga lateral...                                                                      | 76 |
| <b>Ecuación 4.32</b> Alargamiento elástico del cable, incluyendo una carga lateral.....                                                                       | 77 |
| <b>Ecuación 4.33</b> Ecuación del cable, para un cable con una carga vertical cualquiera más la acción de una carga lateral.....                              | 77 |
| <b>Ecuación 4.34</b> Ecuación del cable, para un cable de múltiples tramos con una carga vertical cualquiera más la acción de una carga lateral.....          | 77 |
| <b>Ecuación 4.35</b> Expresión para el cortante en un tramo de cable, debido al peso propio mas sobrecarga (Parte I).....                                     | 81 |
| <b>Ecuación 4.36</b> Expresión para el cortante en un tramo de cable, debido al peso propio mas sobrecarga (Parte II).....                                    | 81 |
| <b>Ecuación 4.37</b> Expresión para el cortante en un tramo de cable, debido a las proyecciones del peso propio y la sobrecarga (Parte I).....                | 81 |
| <b>Ecuación 4.38</b> Expresión para el cortante en un tramo de cable, debido a las proyecciones del peso propio y la sobrecarga (Parte II).....               | 81 |
| <b>Ecuación 4.39</b> Expresión para el cortante en un tramo de cable, debido a la acción de una carga lateral de forma trapezoidal.....                       | 83 |
| <b>Ecuación 4.40</b> Flecha vertical del cable, según el valor de $x$ .....                                                                                   | 86 |
| <b>Ecuación 4.41</b> Expresión para el momento flector <i>imaginario</i> en un tramo de cable, debido a las cargas verticales (Parte I).....                  | 86 |
| <b>Ecuación 4.42</b> Expresión para el momento flector <i>imaginario</i> en un tramo de cable, debido a las cargas verticales (Parte II).....                 | 86 |
| <b>Ecuación 4.43</b> Flecha horizontal del cable, según el valor de $u$ .....                                                                                 | 86 |

**Ecuación 4.44** Expresión para el momento flector *imaginario* en un tramo de cable, debido a la carga lateral..... 87

**Ecuación 4.45** Flecha del cable, para cada posición a lo largo del tramo..... 87

**Ecuación 4.46** Presión básica del viento..... 102

**CAPÍTULO V.- EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL TELEFÉRICO. 116**

**Ecuación 5.1** Potencia del motor..... 122

Índice Gráficos.

**CAPÍTULO IV.- INGENIERÍA DEL PROYECTO. 33**

**Gráfico IV.1.-** Influencia de la carga de temperatura en la tensión del cable..... 104

**CAPÍTULO V.- EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL TELEFÉRICO. 116**

**Gráfico V.1.-** Tarifas por persona versus el VAN que originan en un escenario pesimista para ambos casos de financiamiento..... 139

**Gráfico V.2.-** Tarifas por persona versus el VAN que originan en un escenario optimista para ambos casos de financiamiento..... 146

**Gráfico V.3.-** Sensibilidad de la TMR modificando la tasa de descuento en un escenario pesimista (Proyecto sin financiamiento externo)..... 148

**Gráfico V.4.-** Sensibilidad de la TMR modificando la tasa de descuento en un escenario pesimista (Proyecto con financiamiento bancario)..... 150

**Gráfico V.5.-** Sensibilidad de la TMR modificando la tasa de descuento en un escenario optimista (Proyecto sin financiamiento externo)..... 151

**Gráfico V.6.-** Sensibilidad de la TMR modificando la tasa de descuento en un escenario optimista (Proyecto con financiamiento bancario)..... 153

## **Resumen**

Se analiza la prefactibilidad técnica y económica de un teleférico para el Cerro Divisadero en Coyhaique. Este teleférico estimularía la inversión privada para el desarrollo turístico. En este estudio se determinan las principales características técnicas a nivel de anteproyecto, seleccionando el trazado del teleférico, los equipos a utilizar y efectuando el cálculo estructural del cable de acero. Se realiza la evaluación económica, a partir del estudio de la demanda potencial de personas para el teleférico, determinando la tarifa mínima que se debería cobrar por persona, para que el proyecto al cabo de quince años de funcionamiento reporte beneficios (para diversos escenarios de evaluación).

## **Summary**

The technical and economic feasibility of a ropeway for the Cerro Divisadero in Coyhaique is analyzed. This ropeway incentives the private investment to tourist development. In this study the main technical characteristics of the preliminary project are determined, including the line of ropeway, the equipment to use, and realizing the structural calculation of the wire rope. An economical evaluation is made concerning the study of potential demand of persons to the ropeway, to determinate the minimum tariff would receive per person, to the project will results in a profit after fifteen years of operation (to work in different cases of evaluation).

## **CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN.**

### **1.1.- Planteamiento del problema.**

Las concesiones de tierras otorgadas por el Estado, a los colonos y a las sociedades ganaderas, dieron pie para la fundación de la ciudad de Coyhaique el 12 de Octubre de 1929, designada capital de la Undécima Región del General Carlos Ibáñez del Campo en 1974, siendo la capital más joven del país.

Actualmente, Coyhaique cuenta con aproximadamente 50.000 habitantes y es innegable que ha sido el turismo uno de los sectores que más se ha desarrollado. Es debido a este crecimiento, que ha surgido la necesidad de mejorar el producto turístico ya existente y por sobretodo crear o potenciar productos que se mantienen inexplorados en la ciudad.

Se entiende que un producto turístico está conformado por los atractivos naturales y/o artificiales, con las debidas facilidades de acceso y oferta de servicios competentes. Si no se cuenta con estas facilidades es como si no existieran y, por lo tanto, no constituyen un producto para la venta.

Es el caso del cordón Divisadero, cuyas cumbres máximas alcanzan los mil metros, respecto a su entorno inmediato la ciudad de Coyhaique, que sería el escenario natural perfecto para la instalación de un teleférico, que ofreciera las debidas facilidades de acceso. La idea es contar con un equipamiento que permita potenciar el lugar a través de nuevas actividades y servicios, todo esto debidamente inmerso en la elaboración de un plan de desarrollo turístico que incentive la participación de la inversión privada.

El origen de los teleféricos se remonta principalmente a su uso en faenas mineras y consistían en cables que eran tendidos con el objeto de transportar el mineral extraído de las minas.

Hoy en día, un teleférico se concibe como un sistema de cabinas suspendidas debajo de un cable motriz tendido sobre torres estructurales, salvando desniveles importantes. Estas cabinas son impulsadas por un motor eléctrico y viajan a una velocidad constante de alrededor 5 m/s. Los sistemas de electricidad, electrónica y mecánica han recibido el beneficio de los adelantos de la tecnología computarizada,

apoyando diseños que se mantienen vigentes y a la vanguardia en la calidad y seguridad del servicio.

Para poder tomar la decisión de implementar un teleférico, es necesario realizar un estudio de prefactibilidad que contemple los aspectos técnicos y económicos involucrados.

## **1.2.- Objetivo.**

El objetivo del presente trabajo es realizar el estudio de prefactibilidad técnica y económica de la instalación de un teleférico en el Cerro Divisadero, en la ciudad de Coyhaique.

Los aspectos técnicos implican definir fundamentalmente el trazado del teleférico, selección de los equipos, cálculo del cable de acero, entre otros. Por otra parte, el estudio económico se centrará en efectuar un análisis de demanda esperada del sistema teleférico, establecer las inversiones y realizar la proyección de ingresos, costos de operación, e indicadores de rentabilidad.

## **1.3.- Metodología.**

Se describen a continuación las principales acciones realizadas para contar con el debido respaldo de información, necesario para sustentar los aspectos determinantes del estudio.

En cuanto a antecedentes geográficos se recopiló principalmente cartografía con curvas de nivel y fotografías aéreas del área de desarrollo del proyecto, de preferencia en formato digital, siendo más cómodo trabajar a distintas escalas con programas computacionales de información geográfica.

Se recopilaron estudios existentes sobre el área del proyecto, en lo relativo a identificación de las zonas de riesgos geomorfológicos, estudios sobre el control de aluviones y construcción de diques, entre otros.

Con respecto, a los antecedentes estrictamente técnicos, se consultó en forma directa, al representante en Chile de Pomagalski S.A., quién aportó importantes antecedentes sobre los teleféricos, necesarios para desarrollar un competente informe técnico y económico. Además, la información técnica referente a los cables de acero, fue facilitada por la empresa chilena Prodinsa S.A., especialista en el rubro.

Con la información recopilada, se procedió a efectuar el anteproyecto de ingeniería del teleférico y a efectuar la evaluación económica del proyecto.

#### **1.4.- Alcances y limitaciones.**

El presente estudio tiene por propósito fundamental presentar los principales antecedentes técnicos y económicos para una primera decisión acerca de la viabilidad de que el Cerro Divisadero cuente con un teleférico.

El estudio de prefactibilidad en los aspectos técnicos, permite al lector establecer antecedentes tales como: trazado del teleférico, selección del sistema de operación, cantidad y capacidad de las cabinas, diseño estructural del cable de acero, tensión de contrapeso, entre otros.

Sin embargo, previo a la implementación del teleférico deberá efectuarse el proyecto definitivo, para lo cual se deberán evaluar las características del suelo, realizar un levantamiento topográfico para el posterior diseño de torres y fundaciones (planos de detalle), entre otros.

En cuanto a los aspectos económicos se presenta al lector una estimación de demanda potencial para el teleférico y la determinación de la tarifa mínima a cobrar, para percibir beneficios al final de su vida útil, entre otros. Previo a la decisión final debe realizarse un estudio de demanda más afinado que incluya por ejemplo encuestas a turistas.

## **CAPÍTULO II.- ANÁLISIS DE DEMANDA**

### **2.1.- Antecedentes generales.**

Al proyectar cualquier alternativa de transporte es necesario conocer o determinar el tránsito futuro del área en estudio; modelando adecuadamente este flujo anual en el correspondiente estudio de demanda y así determinar también la capacidad peak y costos instantáneos. En el caso específico de un teleférico, interesa esencialmente la cantidad de personas que demandarían sus servicios.

El teleférico debe concebirse necesariamente enmarcado dentro de un moderno plan de desarrollo del Cerro Divisadero con la participación de capitales privados interesados en invertir en la región y por sobre todo en Coyhaique. En la actualidad, en el cerro no existe un tránsito reconocible de personas, ya que no es un sector residencial ni menos un lugar de visita de turistas, sólo se sabe de la existencia de cabalgatas y trekking, pero nada masivamente difundido.

Cuando nace la idea de unir, mediante un teleférico, la ciudad de Coyhaique con la cima del Cerro Divisadero, se pensaba además que se podría conectar la cima del Divisadero con las instalaciones del Centro de Ski El Fraile. A medida que se analizaron distintas variables en la etapa de preparación del presente estudio, se puede decir, que proponer como estación terminal del teleférico al Centro de Ski es completamente desmesurado en las condiciones actuales. Esto se justifica principalmente debido a dos razones:

- En la etapa de preparación del presente estudio, se le presentaron al representante en Chile de Pomagalski S.A. (empresa proveedora de teleféricos y andariveles), varios planos con trazados tentativos y perfiles longitudinales, que incluían una estación terminal en el Centro de Ski El Fraile. En esta reunión, la experiencia del proveedor aconsejó no proyectar considerando el Centro de Ski El Fraile como estación final, ya que el trayecto resultante sería de gran longitud, lo que sólo eleva considerablemente los costos. Estos costos, sin necesidad de mayor análisis, no podrían ser cubiertos por el proyecto, teniendo en cuenta que la empresa señala que se estima en € 1.000.000 (*Euros*), la magnitud de la inversión inicial para un kilómetro de trazado. De esta manera, incluyendo el Centro de Ski en el

proyecto, se obtendrían trayectos de más de 6 kilómetros de longitud., es decir, una inversión superior a los € 6.000.000.

- Al consultar a los concesionarios actuales del Centro de Ski El Fraile sobre el funcionamiento de éste, se puede mencionar que la temporada de ski no sobrepasó los dos meses de duración el año 2003 y, del mes y una semana durante el año 2004. Además, se alcanza sólo la cifra de dos mil tickets vendidos en cada temporada. Estas cifras no resisten mayor análisis, sólo comprueban que la situación actual del Centro de Ski El Fraile no justifica elevar desmesuradamente la inversión inicial del presente proyecto. A modo de ejemplo, se puede decir que en otros centros de ski del país se venden dos mil tickets “diarios”.

Si bien, El Fraile no formará parte de las instalaciones del teleférico proyectado en este estudio, al momento de determinar el trazado del teleférico se debe contemplar como factor importante la cercanía entre la estación terminal (ubicada en la cima del Divisadero) y el Centro de Ski. Todo esto porque no puede descartarse una posible habilitación futura de un proyecto de enlace entre el teleférico proyectado y el Centro de Ski El Fraile, cuando el turismo de invierno alcance estándares de desarrollo importantes en la zona, con lo cual adquiriría fundamental importancia que el futuro enlace sea de la menor longitud posible para reducir costos.

Debe quedar claro que el teleférico se diseñara para unir la falda del Cerro Divisadero (lugar contiguo a Coyhaique) con la cima de éste. El tránsito de personas se considerará casi en su totalidad en temporada estival, debido a la marcada estacionalidad del turismo en la zona.

Para estimar la demanda potencial futura se parte de la base de las estadísticas publicadas en las ediciones del “Comportamiento de demanda turística” de los últimos años en la Región de Aisén, proporcionadas por Sernatur Aisén. Estas estadísticas están referidas principalmente a la cantidad de personas que ingresan a la región por las diferentes vías de acceso (aérea, terrestre y marítima).

La otra fuente de información disponible es un estudio llamado “Identificación y caracterización de la demanda turística de alta temporada en la Región de Aisén”, propiedad de Sernatur Aisén. En esta caracterización de la demanda se presenta un perfil del turista, qué lugares de preferencia visitan y las razones del viaje.

Aunque, se puede confiar en las estadísticas proporcionadas en cuanto al ingreso de personas a la Región de Aisén, ya que las vías de acceso son escasas y están debidamente controladas; determinar qué cantidad de estas personas ingresadas corresponde a turistas propiamente tales es complicado, fundamentalmente porque no se sabe qué porcentaje de estas personas corresponde a un flujo de residentes.

Para proyectar la demanda futura del teleférico se realizará en primera instancia una estimación de turistas para la ciudad de Coyhaique propiamente tal, y posteriormente se determinará qué fracción de éstos participarán del análisis de demanda para el teleférico. Será determinante además, la influencia de la mencionada estacionalidad del turismo en la región, es decir, de la alta temporada, para discriminar entre flujo de residentes y turistas reales.

## **2.2.- Estimación de turistas para la ciudad de Coyhaique.**

Como ya se mencionó anteriormente, para estimar la demanda futura para el teleférico a proyectar, es necesario conocer o identificar, en primera instancia, la cantidad de turistas que visitan Coyhaique.

Al contar con las estadísticas requeridas para sustentar el análisis, puede ser disgregado el flujo de personas que ingresan a la región, clasificado según las distintas vías de acceso, e incluso en algunas, por lo menos se separa a los extranjeros de los pasajeros nacionales.

Para estimar la demanda para Coyhaique, se debe ser realista, es decir, sólo se considerarán aquellas vías de acceso que al menos garanticen que el turista, por la cercanía, decida conocer la ciudad o en el mejor de los casos aquellas vías en las cuales el paso por Coyhaique sea casi obligado.

### **2.2.1.- Personas llegadas por pasos fronterizos.**

En el Anexo A, se muestra el cuadro general con las estadísticas del ingreso de personas para el año 2003, clasificada según todos los pasos fronterizos legales existentes en la Región de Aisén.

Para estimar la cantidad de personas que constituyen un mercado potencial, se considerarán relevantes del Cuadro A.1 (Anexo A) sólo los datos referidos a los pasos fronterizos de Coyhaique Alto y Huemules (Balmaceda). La cercanía con Coyhaique de ambos pasos fronterizos, sobretudo el de Coyhaique Alto, permite suponer la casi obligatoriedad de que estas personas ingresadas al territorio regional, visiten la ciudad.

La información estadística de los pasajeros que ingresaron por los mencionados pasos fronterizos a la Región de Aisén durante el 2003, se presenta en el Cuadro II.1, separada por meses y discriminando entre extranjeros y chilenos.

De acuerdo al Cuadro II.1, la cantidad de personas que ingresaron por ambos pasos fronterizos a la región durante el año 2003 fue de 28.040.

Según Sernatur (2004), la alta temporada del 2003 (considerando Diciembre del 2002) suma un total de 11.402 personas, representando el 40 % del total anual. Esto último viene a confirmar la marcada estacionalidad del turismo en la zona.

**Cuadro II.1.- Pasajeros llegados a la Región de Aisén en el año 2003, según Pasos Fronterizos de Coyhaique Alto y Huemules.**

| Mes        | Coyhaique Alto |             | Huemules |             |
|------------|----------------|-------------|----------|-------------|
|            | Chile          | Extranjeros | Chile    | Extranjeros |
| Enero      | 2.489          | 580         | 792      | 378         |
| Febrero    | 3.138          | 558         | 767      | 316         |
| Marzo      | 1.645          | 351         | 453      | 293         |
| Abril      | 1.339          | 413         | 439      | 287         |
| Mayo       | 642            | 159         | 457      | 149         |
| Junio      | 503            | 112         | 258      | 90          |
| Julio      | 905            | 256         | 539      | 165         |
| Agosto     | 787            | 212         | 412      | 138         |
| Septiembre | 1.710          | 241         | 524      | 99          |
| Octubre    | 853            | 258         | 373      | 489         |
| Noviembre  | 217            | 38          | 51       | 50          |
| Diciembre  | 1.548          | 572         | 578      | 417         |
| Total      | 15.776         | 3.750       | 5.643    | 2.871       |
| Total Paso | 19.526         |             | 8.514    |             |

Fuente: Sernatur Aisén (2004).

Para estimar la cantidad de turistas para Coyhaique, ingresados vía terrestre, se considerará que la totalidad de extranjeros corresponden a turistas. Por tanto, se tiene según el Cuadro II.1, que entre ambos pasos fronterizos los turistas extranjeros suman **6.621** personas, y la condición limítrofe, obvia concluir que la mayoría corresponde a argentinos.

Con respecto al tránsito de nacionales, se realizará una ponderación, ya que como se observa en el Cuadro II.1, la distribución mensual es bastante uniforme, salvo en los meses de alta temporada. Se agrega a éstos últimos, el mes de Septiembre, pero se entiende que este tránsito se debe a las fiestas patrias en Chile, o sea, son más bien los mismos coyhaiquinos que aprovechan el feriado para visitar Argentina, situación al menos paradójica.

Debido a una inexistente certeza o más bien, una diferenciación del flujo de residentes por parte de las estadísticas, y entendiendo que esta vía principalmente mueve precisamente a residentes, para estimar la cantidad de turistas nacionales, se considerará que sólo el 10% de estos corresponde a turistas.

De acuerdo a lo anterior y los datos del Cuadro II.1, la cantidad de turistas nacionales ingresados vía terrestre fue estimada en **2.142** personas.

Resumiendo, considerando la totalidad de extranjeros resulta una cantidad de 6.621 turistas, en tanto, la cantidad de turistas nacionales estimados fue de 2.142 personas; sumando, la cantidad total de turistas para Coyhaique ingresados por los Pasos Fronterizos de Coyhaique Alto y Huemules, se estima en **8.763** personas.

Puede incluso incrementarse en un cierto porcentaje este flujo de personas, debido a que no han sido considerado los demás pasos fronterizos y tampoco el ingreso mediante la Carretera Austral a la región. Pero, las cifras no serán aumentadas, debido a la incertidumbre existente del flujo de residentes en general por los pasos fronterizos, por lo que un incremento en la demanda estimada puede tornarse demasiado optimista e implique alejarse de la realidad.

2.2.2.- Personas llegadas por vía marítima

El Cuadro II.2 corresponde al incluido en las estadísticas proporcionadas por Sernatur Aisén. Este cuadro muestra las estadísticas del ingreso de personas para el año 2003, clasificada según los pasajeros que recalán en Puerto Chacabuco, ya sea porque viajan en las barcas de recorridos periódicos o participan de tours especiales en aquellas embarcaciones que tienen como destino final la Laguna San Rafael. Se debe mencionar, que Puerto Chacabuco es el principal puerto de la región y dista sólo a unos 75 km de Coyhaique. Además, el principal puerto de origen de las distintas embarcaciones es Puerto Montt.

Sernatur (2004) indica que el flujo de personas durante el año 2003, ingresados vía marítima a la región, presenta un descenso de un 12 % respecto al año 2002. Pero, si bien las cifras totales disminuyeron, se produjo un aumento considerable, en un 367%, del flujo de extranjeros desembarcados en Puerto Chacabuco, un punto importante, ya que estos corresponden a turistas propiamente tales. Además, Sernatur indica que el flujo de nacionales disminuyó en un 50 % el año 2002, y se observa en el Cuadro II.2 para el año 2003, que la distribución mensual no presenta variaciones importantes, lo que permite o hace suponer que se trata mayoritariamente de una demanda de residentes.

Cuadro II.2.- Personas llegadas por vía marítima durante el 2003.

| Meses      | Chacabuco |             | Laguna San Rafael |             |
|------------|-----------|-------------|-------------------|-------------|
|            | Chilenos  | Extranjeros | Chilenos          | Extranjeros |
| Enero      | 1.416     | 3.053       | 1.541             | 243         |
| Febrero    | 2.153     | 5.243       | 2.371             | 379         |
| Marzo      | 952       | 2.368       | 835               | 281         |
| Abril      | 1.704     | 91          | 224               | 145         |
| Mayo       | 976       | 3           | 0                 | 0           |
| Junio      | 1.262     | 32          | 0                 | 0           |
| Julio      | 1.630     | 67          | 0                 | 0           |
| Agosto     | 1.132     | 51          | 157               | 4           |
| Septiembre | 1.403     | 7           | 1.295             | 126         |
| Octubre    | 1.172     | 336         | 1.767             | 263         |
| Noviembre  | 734       | 1.108       | 1.346             | 813         |
| Diciembre  | 1.821     | 3.420       | 1.441             | 775         |
| Total      | 16.355    | 15.779      | 10.977            | 3.029       |
| Total      | 32.134    |             | 14.006            |             |

Fuente: Sernatur (2004).

El mismo fenómeno se presenta en los visitantes de la Laguna San Rafael, es decir, una disminución de nacionales y un incremento de extranjeros, con la diferencia de que este flujo de personas prácticamente en su totalidad corresponde a turistas. Al consultar a las empresas que ofrecen este servicio de traslado de pasajeros, se averiguó que el programa de viaje a la Laguna San Rafael, incluye una recalada en Puerto Chacabuco, ofreciendo una visita opcional a Coyhaique. Si bien, esta visita es de carácter opcional la mayoría de los pasajeros realiza el *city tour*, ya que el costo no supera los \$7.000 y, el quedarse a bordo del barco implica un tiempo de espera de al menos cuatro horas.

Para estimar la cantidad de turistas para Coyhaique, ingresados vía marítima, se considerarán los siguientes factores:

- Utilizando el mismo criterio que para los pasos fronterizos, se tiene que la totalidad de extranjeros corresponde a turistas. Esto quiere decir, según los datos del Cuadro II.2, que se tienen **18.808** turistas.
- Con respecto a los totalidad de chilenos que visita la Laguna San Rafael, se considerará que un 90 % corresponden a turistas para la ciudad de Coyhaique. De acuerdo al Cuadro II.2, se tienen entonces **9.879** turistas.
- Con respecto a los pasajeros nacionales que utilizan las distintas barcas que llegan a Chacabuco desde Puerto Montt, se considera que sólo el 10% corresponde a turistas, ya que observando la distribución mensual del Cuadro II.2, se concluye que corresponde principalmente a un flujo de residentes. Esto quiere decir que se tienen **1.634** turistas.

Resumiendo, se tiene que los turistas extranjeros corresponden a 18.808 personas y los turistas nacionales 11.513. El total de turistas estimados ingresados vía marítima es de **30.321** personas.

Otros posibles visitantes corresponden a los pasajeros de los cruceros internacionales que recalcan en Puerto Chacabuco. Estos turistas, llamados en jerga turística "*pasajeros de excursión*", corresponden a turistas propiamente tales, ya que entre las actividades de la excursión se incluye un *city tour* por Coyhaique. A continuación se muestra el Cuadro II.3 que incluye la recalada de estos cruceros

durante las últimas temporadas y, tal como lo dice el cuadro, los pasajeros “desembarcados”.

**Cuadro II.3.-** Recalada de cruceros turísticos internacionales en Puerto Chacabuco.

| Temporada   | N° Recaladas | Pasajeros desembarcados | Crecimiento anual (%) |
|-------------|--------------|-------------------------|-----------------------|
| 1997 – 1998 | 11           | 6.131                   | -                     |
| 1998 – 1999 | 6            | 4.308                   | -30                   |
| 1999 – 2000 | 12           | 8.533                   | 98                    |
| 2000 – 2001 | 14           | 11.421                  | 34                    |
| 2001 – 2002 | 11           | 10.459                  | -8                    |
| 2002 – 2003 | 19           | 11.483                  | 10                    |
| 2003 – 2004 | 27           | 17.158                  | 49                    |

Fuente: Sernatur (2004).

Se puede observar en el Cuadro II.3, la importancia de este flujo de turistas y el alentador aumento que ha experimentado en los últimos años. Además, es necesario mencionar que éstos son en su totalidad turistas extranjeros y que poseen un importante poder adquisitivo.

Considerando los datos entregados en el Cuadro II.3, se desprende que en la última temporada, es decir, la temporada 2003-2004, la cantidad de turistas fue de **17.158** personas.

Realizando un resumen general para la vía de acceso marítima, se tiene que la cantidad total de turistas para Coyhaique, sumando pasajeros de barcas y cruceros internacionales, se estima en **47.479** personas.

**2.2.3.- Personas llegadas por vía aérea**

Sernatur (2004), señala que la vía aérea es la que concentra el mayor flujo de personas que ingresa a la Región de Aisén, incluso presentando un incremento el año 2003 respecto del 2002. El ingreso de personas a la región por esta vía, está informado en el Cuadro II.4.

**Cuadro II.4.- Personas llegadas por vía aérea durante el año 2003.**

| Mes          | Balmaceda     |
|--------------|---------------|
| Enero        | 9.885         |
| Febrero      | 9.425         |
| Marzo        | 8.220         |
| Abril        | 6.150         |
| Mayo         | 5.367         |
| Junio        | 4.815         |
| Julio        | 7.788         |
| Agosto       | 6.413         |
| Septiembre   | 6.568         |
| Octubre      | 6.906         |
| Noviembre    | 6.955         |
| Diciembre    | 8.914         |
| <b>TOTAL</b> | <b>87.406</b> |

Fuente: Sernatur (2004).

Antes de analizar estos datos debe considerarse el flujo de universitarios aiseninos que deben salir a estudiar fuera de la región, flujo importante en los meses de Marzo, Julio y Diciembre, por lo tanto, el aumento notable durante estos meses de personas puede que no corresponda necesariamente a turistas.

Además, de la incertidumbre mencionada en el párrafo anterior, se debe agregar la inexistencia de un registro que distinga entre pasajeros nacionales y extranjeros. Por todo esto, para estimar la cantidad de turistas que ingresan vía aérea es mejor ser conservador. Sólo se considerará que un 5% del total de pasajeros corresponde a turistas. Se tienen entonces, de acuerdo al Cuadro II.4, un total de **4.370** personas.

**2.2.4.- Resumen de la estimación de turistas**

A continuación se presenta el Cuadro II.5, que corresponde a un resumen de la cantidad de turistas estimadas para la ciudad de Coyhaique según las distintas vías de acceso a la región.

**Cuadro II.5.-** Resumen de la estimación de turistas para Coyhaique.

| Vía de acceso                 | Turistas      |
|-------------------------------|---------------|
| Terrestre                     | 8.763         |
| Marítima                      | 47.479        |
| Aérea                         | 4.370         |
| Total turistas para Coyhaique | <b>60.612</b> |

Fuente: Elaboración propia.

La estimación de turistas realizada en este estudio es coherente con estimaciones oficiales de Sernatur. Además, puede realizarse una estimación rápida y básica, considerando sólo dos aspectos:

- La cantidad de turistas será estimada en un 50 % del total de pasajeros llegados a la región por las diferentes vías de acceso. Esta convención es la utilizada por Sernatur Aisén.
- El estudio de identificación y caracterización de la demanda, mencionado en párrafos precedentes, concluye a partir de encuestas realizadas que el 50% de los turistas tiene como destino principal del viaje a Coyhaique.

Entonces:

La cantidad total de pasajeros que ingresaron a la Región de Aisén durante el año 2003 fue de **214.449** personas (Sernatur, 2004).

Estimando que el 50 % son turistas, se tiene que:

$$0.5 \times 214.449 = \mathbf{107.225} \text{ turistas}$$

Ahora, considerando que el 50 % de estos turistas visita Coyhaique, de acuerdo a lo concluido en el estudio mencionado, se tiene entonces que la cantidad de turistas es:

$$0.5 \times 107.225 = \mathbf{53.613} \text{ turistas para Coyhaique}$$

Así entonces, puede verse que las cifras para ambas estimaciones son semejantes, considerando que la cantidad total de personas ingresadas a la región determinada en la estimación básica (53.613 turistas), no incluye los llamados “pasajeros de excursión” de los cruceros internacionales, siendo éstos, turistas netos para Coyhaique.

Para efectos de evaluar qué porcentaje del total de turistas para Coyhaique constituyen un mercado potencial para el teleférico proyectado, se utilizará la estimación realizada con más detalle. Por lo tanto, para Coyhaique se estima una cantidad de **60.612** turistas durante el año 2003.

### **2.3.-Estimación de la demanda futura para el teleférico.**

Es complicado acercarse a una demanda que pueda presentarse como certera, ya que la influencia de las distintas variables que participan del análisis, aumenta al estar frente a un proyecto complejo y sobre todo inaudito en la zona.

Para estimar la demanda futura para el teleférico se considerará que una cuarta parte del total de turistas para Coyhaique serían usuarios potenciales. Es necesario mencionar que este porcentaje no es ni tan pesimista ni tan optimista, por lo que se encuentra “razonable”. Además, se presentan los siguientes fundamentos:

- Considerar un 50% o un 30% de los turistas de Coyhaique, quizás es ser demasiado optimista. Debe pensarse que se está frente a un medio de transporte de enfoque turístico, por lo que movilizar a uno de cada cuatro visitantes ya es satisfactorio.
- Ante la carencia de un proyecto para desarrollar el Cerro Divisadero, se debe tener claro que el teleférico es sólo un medio, no es el fin, por lo que la demanda está directamente relacionada con las instalaciones y servicios de la cima o estación final, aparte del servicio que significa la observación del paisaje y la experiencia del viaje en teleférico para algunos de los turistas.
- De acuerdo a las estadísticas recopiladas, se tiene que entre los turistas que visitan por primera o segunda vez la región suman un 73 %, es decir, tres de

cada cuatro. Por lo tanto, suponer que uno de estos tres visitantes suba al teleférico es satisfactorio.

Considerados los factores que determinan que la cuarta parte de los turistas para Coyhaique subirían al teleférico, se tiene entonces que la demanda estimada para el presente proyecto puede calcularse en:

$$60.612 \text{ personas} / 4 = \mathbf{15.153} \text{ personas.}$$

Es necesario mencionar que esta demanda es la estimada para el año 2003, es decir, el llamado “año base”, ya que las estadísticas más actuales e información relevante están referidas a este año.

Se considerará que el año planificado para iniciar el funcionamiento del teleférico, llamado “año proyecto”, será el año 2008, suponiendo dos años de construcción (duración promedio, según lo informado por fabricantes) a partir del 2006.

Para dimensionar este medio de transporte turístico se debe diseñar con la demanda proyectada para el “año horizonte”, plazo generalmente acorde con la vida útil de los componentes estructurales del teleférico.

El año horizonte para proyectar la demanda será el año 2022, considerando una vida útil de 15 años para el teleférico. Esto último, es lo usualmente utilizado y recomendado por fabricantes de teleféricos.

### **2.3.1.- Demanda media diaria.**

El dimensionamiento del teleférico requiere conocer la demanda horaria de diseño para poder determinar en tamaño y cantidad las cabinas para el transporte. Mencionado esto, se hace inminente primero concretar la demanda media diaria para el teleférico, determinada por la cantidad de días de funcionamiento.

Las estadísticas proporcionadas por Sernatur y el sentido común, indican que el turismo en la ciudad de Coyhaique es de carácter estacional, innegablemente desarrollado casi en su totalidad durante la temporada alta. Es por esto, que para determinar la demanda media diaria se analizará suponiendo 150 días de

funcionamiento, lo que dura una temporada alta (entre el 1 de Noviembre hasta el 30 de Marzo del año siguiente).

Es razonable la cantidad de días considerada, ya que no se está diciendo que el teleférico funcionará sólo durante temporada alta. El teleférico puede funcionar todo el año, pero basarse en los días de la temporada alta es suficiente. Según el criterio, deben considerarse, como de no utilización, los días totalmente nublados, días de lluvia o nieve en Coyhaique, días en que la nubosidad anula totalmente la visibilidad desde la cima del Cerro Divisadero hacia la ciudad, haciendo inútil el ascenso.

Establecido esto, se obtiene la demanda media diaria haciendo una simple división entre la demanda estimada para el teleférico y la cantidad de días de funcionamiento considerada, es decir:

$$15.153 \text{ personas} / 150 \text{ días} = \mathbf{101 \text{ personas} / \text{día}}$$

Esta demanda media diaria calculada, corresponde al año 2003, es decir, el año base considerado para el proyecto. El teleférico debe diseñarse para el flujo que se calcule para el año horizonte, basándose en tasas de crecimiento para proyectar la demanda, tal como se verá más adelante.

### **2.3.2.- Demanda horaria de diseño.**

Una vez determinada la demanda media diaria, debe calcularse la demanda horaria de diseño para el teleférico. En cuanto a esta demanda horaria, comúnmente en estudios similares se determina con cierta precisión, ya que se cuenta con una establecida distribución horaria, ya sea por caminos existentes en las zonas de análisis o por otros mecanismos de control.

Para determinar esta demanda es necesario utilizar, una herramienta del diseño de medios de transportes, la determinación de la hora de diseño geométrico. El concepto mencionado, se refiere a considerar óptimo un camino o una vía, cuando la saturación de éste, sea sólo de un 0.35 % del total de su tiempo de uso durante su vida útil, determinando con esto un factor de relación entre el tránsito medio diario y tránsito en la hora de diseño geométrico.

Los estudios consultados (Menzel,1976; Hoelck,1979), realizados para teleféricos que se han proyectado para Farellones y el Volcán Osorno, donde la distribución horaria del tránsito era conocida, para estimar una demanda horaria de diseño en base a esta hora de diseño geométrico, establecen un factor de relación cercano al 65%. Este factor quiere decir que la demanda horaria de diseño del teleférico, corresponde a un 65% de la demanda media diaria.

Considerando que las situaciones son distintas, ya que en los estudios mencionados, el transporte de personas es hacia centros de ski, donde el flujo está claramente diferenciado (de ascenso en la mañana y descenso en la tarde), debe adoptarse un factor menor. Por lo tanto, ante la inexistencia de un tránsito de personas en el sector de emplazamiento del teleférico proyectado, se considera que una buena y razonable aproximación para este factor es 0.5. Es decir, la demanda horaria de diseño corresponderá a un 50% de la demanda media diaria, así de esta manera, en la proyección de demanda se incluirán posibles congestiones.

### **2.3.3.- Tasas de crecimiento anual.**

Para proyectar la demanda se deben determinar qué tasas de crecimiento anual se considerarán para el presente análisis.

Las tasas de crecimiento que se utilizarán, serán las referidas al crecimiento del turismo en la región de Aisén, descartándose de plano utilizar por ejemplo tasas referidas al crecimiento del tránsito vehicular o de población, por su escasa relación con el presente proyecto.

Las estadísticas publicadas por Sernatur (2004), establecen que el turismo en la región ha crecido en los últimos 14 años, es decir, entre 1990 y el 2003, a un ritmo promedio del 6.35 % anual. Por otra parte, también se establece que en la temporada 2003-2004, la afluencia de personas creció en un 8,29% respecto de la temporada inmediatamente anterior.

Para calcular la proyección del flujo de personas en base a tasas de crecimiento del turismo se utilizarán, por lo tanto, una tasa pesimista de un 6.0% y una tasa optimista de un 8.0%, de crecimiento anual.

Otro punto importante a mencionar es que aún no se ha considerado el flujo de residentes que utilizarán el teleférico. Para estimar esta cantidad de personas, no se hará una aproximación basada en un cierto porcentaje de los habitantes de Coyhaique, ya que ésta puede ser bastante lejana a la realidad. Por lo tanto, según Hoelck (1979), es mejor incrementar la demanda media diaria en un 10% los días de fin de semana, de esta manera, se incluye en el análisis el posible flujo de residentes de forma más razonable, pensando que este flujo no será determinante pero si merece ser considerado.

**2.3.4.- Proyección de la demanda.**

Recapitulando, en la proyección se determina el flujo de diseño estimando una determinada cantidad de personas por hora, en base a un 50% de la demanda media diaria, incrementada esta última en un 10% para incluir el flujo de residentes. Las proyecciones se realizan hasta el año horizonte, considerando tanto la tasa pesimista (Cuadro II.6) como la optimista (Cuadro II.7) y se muestran en los cuadros siguientes:

**Cuadro II.6.-** Proyección del flujo de personas para una tasa de crecimiento del 6% anual.

| Año  | Personas / Día | 10% Fin<br>Semana | Total Pers / Día | Total Hora Diseño |
|------|----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 2003 | 101            | 10                | 111              | 56                |
| 2004 | 107            | 11                | 118              | 59                |
| 2005 | 113            | 11                | 124              | 62                |
| 2006 | 120            | 12                | 132              | 66                |
| 2007 | 128            | 13                | 141              | 71                |
| 2008 | 135            | 14                | 149              | 74                |
| 2009 | 143            | 14                | 157              | 79                |
| 2010 | 152            | 15                | 167              | 84                |
| 2011 | 161            | 16                | 177              | 89                |
| 2012 | 171            | 17                | 188              | 94                |
| 2013 | 181            | 18                | 199              | 99                |
| 2014 | 192            | 19                | 211              | 105               |
| 2015 | 203            | 20                | 223              | 112               |
| 2016 | 215            | 22                | 237              | 118               |
| 2017 | 228            | 23                | 251              | 126               |
| 2018 | 242            | 24                | 266              | 133               |
| 2019 | 257            | 26                | 283              | 142               |
| 2020 | 272            | 27                | 299              | 150               |
| 2021 | 288            | 29                | 317              | 159               |
| 2022 | 306            | 31                | 337              | 169               |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro II.7.-** Proyección del flujo de personas para una tasa de crecimiento del 8% anual.

| Año  | Personas / Día | 10% Fin Semana | Total Pers / Día | Total Hora Diseño |
|------|----------------|----------------|------------------|-------------------|
| 2003 | 101            | 10             | 111              | 56                |
| 2004 | 109            | 11             | 120              | 60                |
| 2005 | 118            | 12             | 130              | 65                |
| 2006 | 127            | 13             | 140              | 70                |
| 2007 | 137            | 14             | 151              | 76                |
| 2008 | 148            | 15             | 163              | 82                |
| 2009 | 160            | 16             | 176              | 88                |
| 2010 | 173            | 17             | 190              | 95                |
| 2011 | 187            | 19             | 206              | 103               |
| 2012 | 202            | 20             | 222              | 111               |
| 2013 | 218            | 22             | 240              | 120               |
| 2014 | 235            | 24             | 259              | 130               |
| 2015 | 254            | 25             | 280              | 140               |
| 2016 | 275            | 27             | 302              | 151               |
| 2017 | 297            | 30             | 327              | 164               |
| 2018 | 320            | 32             | 352              | 176               |
| 2019 | 346            | 35             | 381              | 190               |
| 2020 | 374            | 37             | 411              | 206               |
| 2021 | 404            | 40             | 444              | 222               |
| 2022 | 436            | 44             | 480              | <b>240</b>        |

Fuente: Elaboración propia.

**2.4.- Resultados del estudio de demanda.**

El objetivo fundamental de realizar el análisis de demanda era establecer la capacidad máxima o peak del teleférico proyectado. La demanda potencial para el teleférico se estimó en base a una demanda estimada de turistas para la ciudad de Coyhaique, considerando que la cuarta parte de éstos utilizarían el teleférico. A su vez, la demanda de turistas para Coyhaique se estimó en base a estadísticas, proporcionadas por Sernatur Aisén, referentes a la cantidad anual de personas ingresadas a la región.

Para estimar la demanda potencial para el teleférico se prefirió ser conservador, fundamentalmente debido a la incertidumbre que presentó determinar la cantidad de turistas propiamente tal, ya que las estadísticas no permiten discriminar claramente entre el flujo de turistas y residentes.

La proyección de la demanda potencial para el teleférico, se realizó a partir del año 2003 (año al cual estaban referidas las estadísticas más actuales al momento de efectuar este estudio) empleando tasas del crecimiento del flujo anual de personas, basadas en el crecimiento del turismo en la zona. De este modo, se trabajó con una tasa pesimista del 6% y una tasa optimista del 8% anual.

Considerando como año de inicio del funcionamiento del teleférico el año 2008, contemplando dos años de construcción a partir del 2006, se puede estimar la demanda potencial inicial para ambos casos de proyección, considerando los 150 días de funcionamiento estimados. Para el caso pesimista, de acuerdo a los datos del Cuadro II.6, se tiene una demanda máxima diaria para el 2008 de 149 personas / día, es decir, una demanda inicial de 22.350 personas / año. Del mismo modo, para la proyección optimista (Cuadro II.7), corresponde una demanda inicial de 24.450 personas / año.

La capacidad peak por hora estimada para el teleférico fue de 240 personas / hora, correspondiente a la máxima demanda horaria de diseño (proyección optimista) proyectada hasta el año 2022.

### CAPÍTULO III.- TRAZADO DEL TELEFÉRICO.

#### 3.1.- Definición del área de estudio.

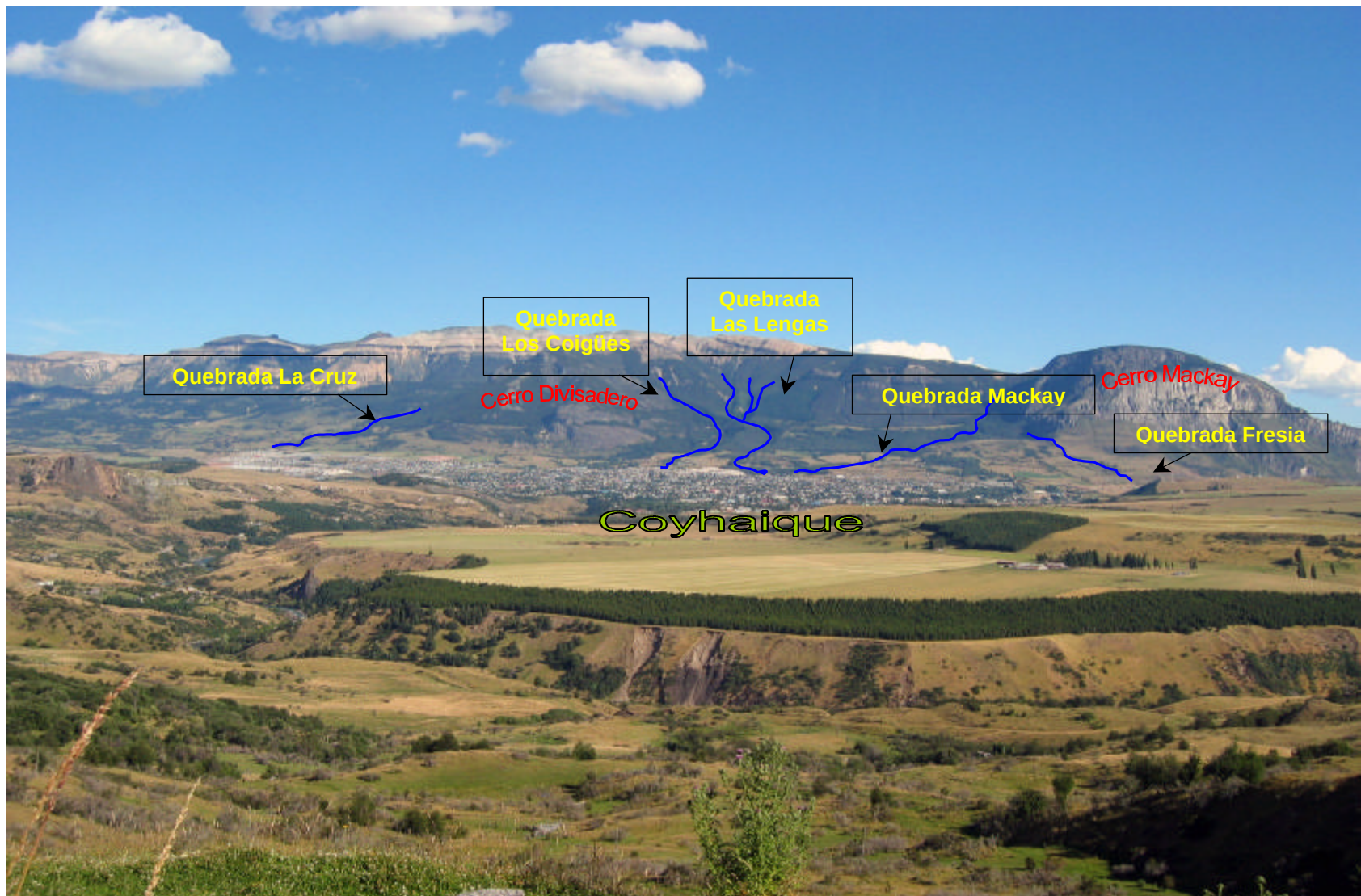
La ciudad de Coyhaique ( $45^{\circ}36' S - 72^{\circ}04' W$ ) está emplazada en el hermoso valle formado por los ríos Simpson y Coyhaique, con el imponente cordón Divisadero como pared sur; configurando la vertiente rocosa de este último, un amplio anfiteatro semicircular delimitado al E por el Cerro Divisadero (1320 m.s.n.m.) y al W por el Cerro Mackay (1200 m.s.n.m.), presentándose además diferentes quebradas o “torrentes” en la microcuenca (Hauser, 1994).

Los torrentes principales que conforman el sistema de microcuenca son, de E a W, las quebradas La Cruz, Los Coigües, Las Lengas, Mackay y Fresia, indicados en la Fig. 3.1. Debido a la presencia potencial de una serie de eventos catastróficos ocurridos en el pasado reciente, provocados por estos torrentes vinculados a procesos aluviales, es que se han desarrollado diferentes estudios del comportamiento geomorfológico de la vertiente, definiendo las áreas sujetas a riesgos naturales (Novoa, 1990; Hauser, 1994).

En la actualidad, se están construyendo las obras para el control aluvional y disposición de flujos aluvionales en la quebradas del Cerro Divisadero, consistentes en la corrección de torrentes y construcción de diques en base a viguetas prefabricadas de hormigón armado.

##### 3.1.1.- Geología.

Las características geológicas del área se relacionan principalmente con la Formación Divisadero, cuya *localidad tipo* se considera el cerro del mismo nombre. Esta formación sobreyace en la Formación Coyhaique, disponiéndose en concordancia y contacto gradacional (Hauser, 1994; Novoa, 1990).



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.1.-** Disposición de los torrentes en el Cordón Divisadero.

En la Formación Divisadero destaca la intrusión de cuerpos apofisiarios, notorios ejemplos al respecto lo constituyen los relieves correspondientes a los cerros Mackay y Divisadero. Ambos desarrollan conspicuas morfologías acantiladas, vinculadas a estructura de disyunción o fragmentación columnar, lo que facilita la liberación y desprendimiento de bloques rocosos, activados principalmente por mecanismos criogénicos (ciclos hielo-deshielo) (Hauser, 1994).

La tectónica regional se caracteriza por movimientos de tipo vertical y algunos plegamientos suaves, anchos y muy irregulares, no existiendo zonas con anticlinales. La secuencia de estratos continuos y prácticamente horizontales de la Formación Divisadero, confirma que desde la depositación de éstos no han ocurrido eventos tectónicos de magnitud importante (Hauser, 1994).

### **3.1.2.- Geomorfología.**

En tiempos de colonización de la provincia, el sistema morfodinámico del área sufrió un desequilibrio hidrológico importante. Tales alteraciones fueron producto de la intensa explotación de los recursos forestales, al abrirse el bosque a fuego (otorgándose al colono tanta tierra como pudiera despejar) se desencadenaron enormes incendios que consumieron gran parte del bosque nativo (Novoa, 1990).

Las consecuencias de aquellas acciones fueron la degradación de la eficiencia hidrológica de la cubierta vegetal, compactación del terreno debido al transitar del ganado, entre otras. Todo esto provocó la disminución de la capacidad de infiltración del suelo y, por lo tanto, un aumento de la escorrentía superficial y la evaporación. Adquieren entonces los torrentes una gran capacidad de arrastre y erosión, siendo un riesgo patente para la ciudad (Novoa, 1990).

El principal agente modelador moderno en torno a la vertiente (área en estudio) del Cerro Divisadero es la erosión fluvial, incentivada ésta por las fuertes pendientes de los torrentes, fragilidad del sustrato rocoso y los importantes caudales de crecida en respuesta a lluvias de gran intensidad (Hauser, 1994).

En las zonas de la vertiente rocosa del cordón Divisadero donde la pendiente decrece, predominan los procesos de depositación producto de la dinámica “torrencial” (torrentes representados en la Fig. 3.1), con la consecuente formación de conos de

deyección. Estas zonas de menor pendiente y con cauces mal definidos, favorecen escurrimientos incontrolados en épocas de crecidas y depósitos de aluviones (Hauser, 1994).

### **3.1.3.- Suelos.**

La cobertura de suelos en torno a la ciudad de Coyhaique, corresponde en general a suelos tipo “trumao”; poseen texturas limoarcillosas, color castaño y profundidades de 0.8-1.0 metros. En general, se trata de suelos residuales originados a partir de la intemperización de materiales cineréticos y cenizas aerotransportadas desde volcanes regionales con actividad eruptiva de tipo explosiva (Hauser, 1994).

Novoa (1990), consigna que estos suelos se enmarcan dentro de la Asociación Coyhaique, correspondientes a la Serie Coyhaique, ubicándose de preferencia en las terrazas del sector más bajo del Cerro Divisadero, cerca de la ciudad. Las partes superiores del Cerro Divisadero corresponden a suelos de cumbre de montaña, siendo derivados de rocas volcánicas duras y andesíticas.

### **3.1.4.- Clima.**

Según señala Barrientos (1990), Coyhaique posee un clima transcontinental trasandino con degeneración esteparia. Caracterizado el clima por su condición de trasandino, con una notable disminución de las precipitaciones con respecto a la costa. Por su alejamiento del mar, se producen mayores oscilaciones térmicas, tanto diurnas y nocturnas como invernales y estivales.

Los antecedentes meteorológicos del área son registrados por la Estación Meteorológica del Aeródromo Teniente Vidal, ubicada a 45°35' latitud Sur y 72°07' longitud Oeste, a una elevación de 310 m.s.n.m., y aproximadamente a 3 kilómetros del área del Cerro Divisadero.

Debido a las diferencias climáticas en el área, incluso en distancias reducidas, los datos de esta estación sólo se pueden considerar para obtener una visión global de las principales características del clima.

En invierno las temperaturas bajan ostensiblemente, llegando a varios grados bajo cero. Se presentan precipitaciones de nieve y rigurosos periodos de escarchas, concentrándose principalmente en los meses de Abril a Septiembre.

Los veranos son mas bien secos y cálidos, predominando vientos del oeste que pierden su humedad en el sector costero. Se alcanzan temperaturas relativamente altas, eso si, generalmente en días con viento calma.

### **3.1.5.- Vegetación.**

A pesar de la destrucción de los bosques por los incendios y la demanda para leña, en la actualidad el Cerro Divisadero aún cuenta con un remanente de vegetación nativa. También existe vegetación introducida, producto de los tratamientos biológicos que se han realizado en la cuenca.

En el área de estudio se pueden distinguir tanto vegetación nativa como introducida, las cuales se describen someramente según sus estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo (basado en Barrientos, 1990).

- Vegetación Nativa:

El estrato herbáceo en su mayoría está presente en toda la zona, excepto en aquellas áreas donde la excesiva erosión ha logrado eliminarlo. Ocurre algo similar con el estrato arbustivo, sin embargo en el cual, tiene menor representatividad. Con respecto al estrato arbóreo, sólo es posible encontrarlo en sectores altos de la cuenca, presentándose en rodales aislados. Los representantes del estrato arbóreo nativo corresponden principalmente a *Nothofagus dombeyi* (*Coigüe*) y *Nothofagus pumilio* (*Lenga*).

- Vegetación Introducida:

El estrato herbáceo está representado abundantemente por *Dactylis glomerata* (*Pasto ovido*). El estrato arbustivo introducido está representado por *Lupinus* sp. (*Choch*) y *Rosa moschata* (*Mosqueta*), siendo posible encontrarlos sólo en los taludes de los torrentes. El estrato arbóreo es el de mayor cobertura en el área y se encuentra representado principalmente en la parte alta por *Pinus contorta* (*Pino contorta*), *Pinus*

sylvestris (*Pino silvestre*), Pinus ponderosa (*Pino ponderosa*), Pseudotsuga menziesii (*Pino oregón*) y Larix decidua (*Larix*). El estrato arbóreo también está representado puntualmente en los taludes de los torrentes, con especies tales como Betula pendula (*Abedul*), Alnus incana (*Aliso*), Alnus glutinosa (*Aliso negro*), Salix babilónica (*Sauce llorón*) y Salix caprea (*Sauce japonés*).

### 3.1.6.- Tenencia de la tierra.

Aquí se presentan los antecedentes respecto a la tenencia de la tierra en el área de estudio, quedando delimitada fundamentalmente dentro de tres grandes roles. En el Cuadro III.1, se presenta la información sobre los propietarios de los principales roles y sus respectivos avalúos fiscales.

**Cuadro III.1.-** Propietarios y avalúos fiscales de los roles del área de estudio.

| Rol Propiedad | Dirección o Nombre Propiedad | Propietario                       | Destino  | Superficie (Ha) | Avalúo Total (\$) |
|---------------|------------------------------|-----------------------------------|----------|-----------------|-------------------|
| 1061-40       | Centro Dep. El Fraile        | Fisco, Bienes Nacionales          | Agrícola | 1000.01         | 22.973.059        |
| 1003-33       | Los Corraleros               | Comercial e Inmobiliaria Nacional | Forestal | 297             | 12.992.640        |
| 1003-32       | Fundo Campo Alegre           | Luciana Bascuñan Orozco           | Agrícola | 956.06          | 27.951.605        |

Fuente: Servicio de Impuestos Internos

Normalmente la instalación de un teleférico requiere parcial o totalmente el paso obligado de la línea o de los caminos de acceso, por terrenos ajenos debiendo acordarse con los propietarios, la condición de uso, mediante expropiación, arrendamiento o servidumbre.

### **3.2.- Determinación del trazado del teleférico.**

#### **3.2.1.- Factores determinantes.**

Para proyectar adecuadamente el trazado del teleférico se debe tener en cuenta la directa relación existente entre los aspectos técnicos y económicos de la inversión. Una inadecuada evaluación y decisión de los aspectos técnicos para definir el trazado repercute adversamente en los costos de la inversión total y los beneficios del proyecto.

Lo precedentemente mencionado se explica a continuación, considerando la incidencia de los siguientes factores determinantes.

##### **3.2.1.1.- Perfil longitudinal del trazado.**

El perfil del trazado por definición debe ser regular, es decir, debe presentar la menor cantidad de obstáculos y quiebres morfológicos posible. La excesiva pendiente del terreno conlleva a aumentar en número y en altura las torres de apoyo intermedias. El mayor distanciamiento del suelo debido al aumento de la altura de las torres merma la seguridad.

##### **3.2.1.2.- Disposición de los torrentes del Cerro Divisadero.**

Debido a que el principal agente modelador de la morfología de la vertiente sur del Cerro Divisadero es la erosión fluvial, incentivada ésta por las fuertes pendientes de los torrentes y los importantes caudales de crecida en respuesta a lluvias de gran intensidad, es que se considera que este factor incide en la determinación del trazado del teleférico.

Los apoyos intermedios deben situarse en terrenos seguros, donde las condiciones del suelo sean óptimas y no donde la dinámica torrencial sea relevante. Por ejemplo, en las zonas de formación de los conos de deyección (en zonas de baja pendiente) no sería conveniente fundar torres, ni menos asentar las instalaciones de la estación inferior.

### **3.2.1.3.- Ubicación estratégica de las estaciones.**

Se deben ubicar las estaciones terminales en zonas preferenciales, considerando las características de conjunto que respondan a la exigencias y necesidades del proyecto.

La estación inferior debe estar cerca de la ciudad de Coyhaique, en un lugar accesible desde los caminos existentes, un alejamiento de éstos es admisible, siempre que el camino de empalme sea corto, de bajo costo y poca necesidad de mantención.

Se debe contemplar la ubicación de otra estación, una superior, sobre la cima de la vertiente rocosa del Cordón Divisadero que enfrenta a la ciudad. Esta estación, sería el medio que permitiría desarrollar y potenciar el Cerro Divisadero como atractivo turístico completo, ofreciendo una gran variedad de oportunidades, por ejemplo, la posibilidad de construir senderos, miradores, hotel, restaurantes, etc. Es quizás por esto último que se puede determinar que esta estación será fundamental en la decisión de implementar el teleférico, por su ubicación estratégica.

### **3.2.1.4.- Vista periférica.**

La vista del entorno que se debe ofrecer mientras se viaja en el teleférico debe ser privilegiada. Se debe ver perfectamente la ciudad de Coyhaique y sus alrededores, por supuesto que desde la estación superior se logrará esto, pero lo ideal es también lograrlo durante el ascenso a la cima del Divisadero.

Aunque resulte obvio, se debe mencionar que además del objetivo de que la ciudad de Coyhaique se vea desde el teleférico, se logra el inverso, esto es que el teleférico también se vea desde la ciudad, esto último es un factor no menos importante.

### **3.2.1.5.- Áreas expuestas al viento.**

Averiguaciones previas con el representante en Chile de Pomagalski S.A., consignan que el teleférico debe instalarse en lugares donde el viento ojalá no sobrepase los 80 Km / hora, ya que por razones de seguridad, los equipos se deben detener automáticamente cuando el viento alcanza esa velocidad.

Como es de esperar, de antemano se puede establecer que “escapar” del factor viento es prácticamente imposible, sobretodo en las instalaciones de la estación superior ubicadas en la cima del Divisadero, pero se tendrá en cuenta para definir el trazado óptimo.

### **3.2.1.6.- Longitud de recorrido del teleférico.**

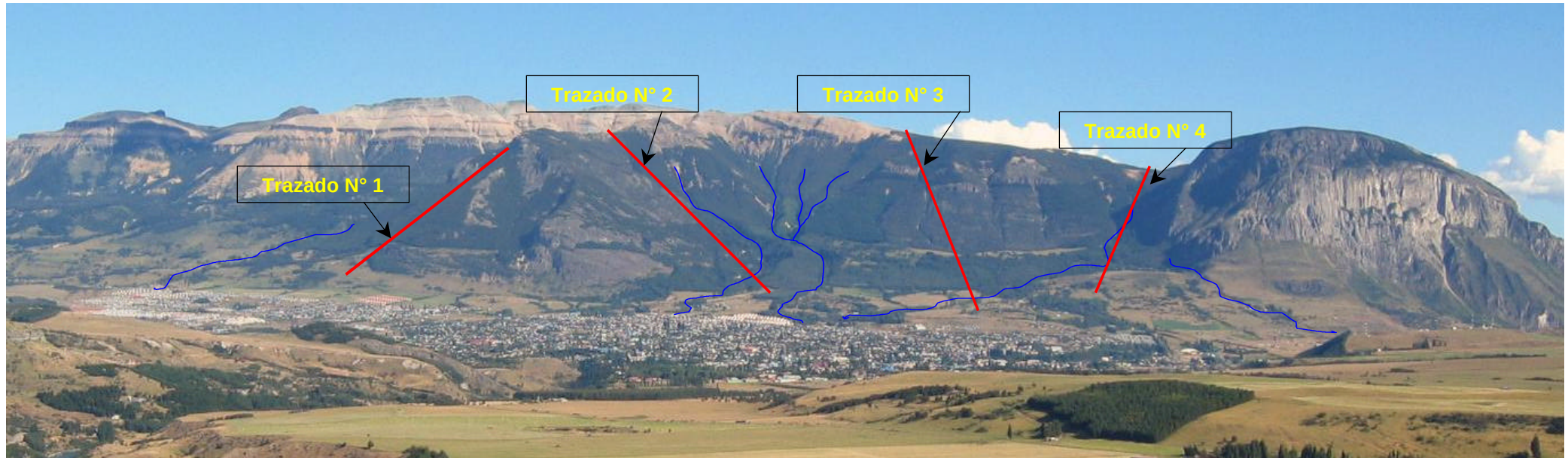
Considerando antecedentes previos que dicen que el costo del teleférico es directamente proporcional a la longitud total de recorrido de éste, se puede confirmar que el trazado más corto será el más económico, combinándose por supuesto con los requerimientos de perfil longitudinal mencionados.

Dicho esto, será determinante seleccionar un trayecto de longitud menor, que además reúna los requisitos anteriores, ya que el trazado más corto no necesariamente será el más óptimo.

### **3.2.2.- Presentación de trazados tentativos.**

Una vez descritos los factores que serán determinantes en la elección del trazado del teleférico y analizando los antecedentes del área, se trabajó en base a cuatro trazados tentativos. Estos trazados fueron dispuestos sobre el Divisadero, tal cual se representa en la Fig. 3.2.

En el Anexo B, se presentan láminas a escala que incluyen la planta geográfica con curvas de nivel y además, el perfil longitudinal del terreno para cada una de las cuatro alternativas analizadas, entre las cuales se decidió.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.2.-** Disposición de trazados tentativos.

La elaboración de estas láminas se hizo empleando los antecedentes cartográficos digitales recopilados, trabajando con programas computacionales tales como Arcview 3.2 GIS (información geográfica) y AutoCad 2002 (dibujo).

### **3.2.3.- Trazado proyectado para el teleférico.**

Presentadas las alternativas de trayecto para el teleférico, se debe decidir cual será el trazado seleccionado para el teleférico proyectado, condicionado por los factores determinantes descritos.

El trazado que se cree el más óptimo entre las alternativas presentadas para desarrollar el proyecto es el Trazado N°1, presentado en las láminas del Anexo B y representado en la Fig. 3.2. A continuación se describen las características del Trazado N°1, que determinaron en su elección por sobre los otros trazados alternativos:

- El Trazado N°1 está dispuesto sobre una zona donde los torrentes que fluyen por la ladera Norte del Divisadero no adquieren importancia. Se proyectó sobre áreas principalmente de roca fundamental, sin presentarse terrenos de depositación, que puedan tornarse inestables. A diferencia de los demás trazados tentativos que inevitablemente intervendrían terrenos donde los torrentes pueden vincularse a procesos aluviales.
- El ubicación del Trazado N°1 permitiría obtener una excelente vista general del área viajando en el teleférico, logrando un dominio total de la ciudad de Coyhaique.
- El Trazado N°1 está proyectado en la ladera NE de la vertiente rocosa del Cordón Divisadero se pretende “escapar” de los fuertes vientos provenientes del Oeste. En la ingeniería del proyecto se evaluará la influencia del viento sobre las tensiones en el cable de acero.
- El área donde estaría proyectado el Trazado N°1 satisface las necesidades de facilidad de acceso a la estación inferior, cercana a Coyhaique. La estación inferior se ubicó cerca de un camino existente, en un terreno donde un cambio de ubicación no conlleve a grandes cambios del presente proyecto.

- Si bien el Trazado N°1 no es el que presenta la menor longitud entre la falda y la cima del Divisadero, su longitud total es normal y además, su perfil longitudinal es regular.
- El Trazado N°1 permitiría, en caso de llevarse a cabo un futuro proyecto de enlace entre la cima del Divisadero y el Centro de Ski El Fraile, prever un trayecto de conexión de menor longitud (en comparación con los demás trazados tentativos) lo que reduciría los costos de este enlace.

Resumidos los aspectos que determinaron en la elección del Trazado N°1 por sobre los demás trazados tentativos, en el Anexo C se presenta una planta geográfica con curvas de nivel cada 20 metros y un perfil longitudinal en forma más detallada para el trazado seleccionado.

## **CAPÍTULO IV.- INGENIERÍA DEL PROYECTO.**

### **4.1.- Antecedentes generales.**

En este capítulo se analizará técnicamente el medio de transporte proyectado, determinando el sistema de operación, la cantidad y capacidad de las cabinas, diseño del cable de acero, entre otros elementos constituyentes de un teleférico.

Los teleféricos son una excelente alternativa de medio de transporte para llegar a lugares de difícil acceso, debido a una menor dependencia con la topografía del terreno que un camino por ejemplo, que sería de difícil trazado, con fuertes pendientes y elevados costos de ejecución y mantención.

La velocidad de operación constante, los trazados más directos y la solidaria unión entre cabinas y cable, permiten un flujo continuo, seguro y de corta duración. Además, los teleféricos pueden funcionar en condiciones climáticas adversas, siendo el viento el único obstáculo, ya que como lo indican los proveedores, con vientos superiores a los 80 (Km/Hr) el sistema debe detenerse, ya que la seguridad se ve amenazada por la posible oscilación de las cabinas en estas condiciones. Estas oscilaciones pueden tornarse peligrosas en el momento en que las cabinas pasan por las torres de apoyo.

Si bien un teleférico posee las cualidades precedentemente mencionadas, se debe decir en su contra que por ejemplo la magnitud de la inversión inicial es relativamente alta y, en lo técnico, una falla cualquiera del sistema de operación se traduce en una detención total de éste.

### **4.2.- Selección del sistema de operación del teleférico.**

Los teleféricos se clasifican principalmente en dos sistemas de operación: los que operan con el sistema monocable y los que utilizan el sistema policable (dos o más cables).

El sistema monocable consta de un cable único sin fin (circuito cerrado), que para trasladar las cabinas cumple una doble función, es decir, hace de cable portante y tractor a la vez (Fig. 4.1).

El sistema policable consta de uno o más cables portantes que hacen de vía para las cabinas y existe otro u otros cables, que se mueven entre poleas, llamados cables tractores, que tienen la función de mover las cabinas (Fig. 4.1).



Fuente: *Imagen izquierda* – Leitner (2004).  
*Imagen derecha* – Doppelmayr (2004) .

**Figura 4.1.-** Sistema de operación monocable y policable.

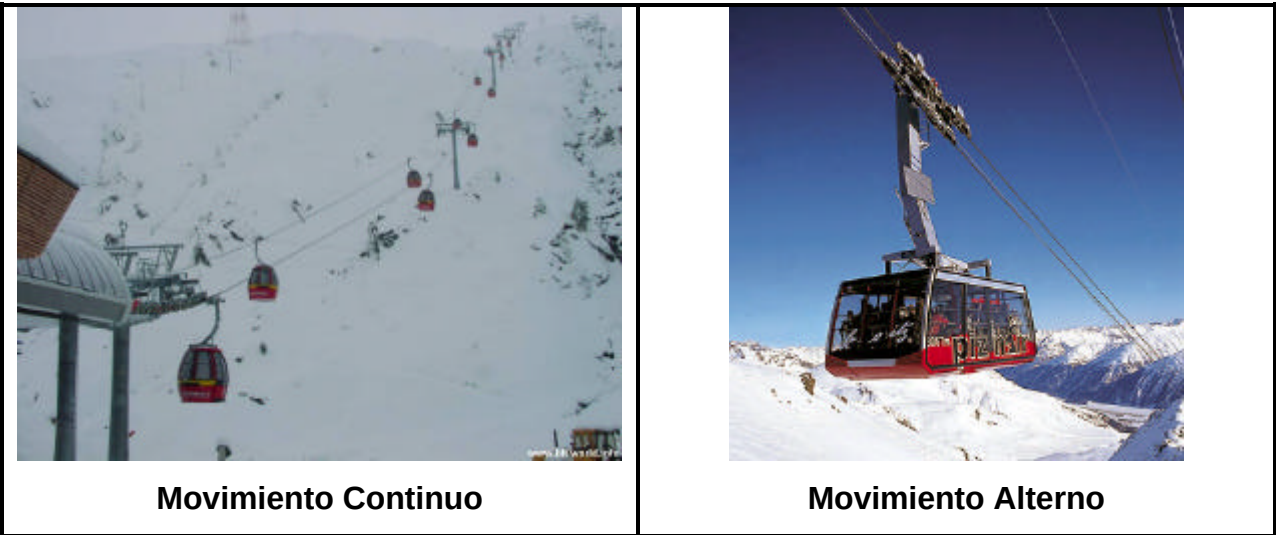
Si bien la división más conocida es la de monocables o policables, normalmente se clasifican de acuerdo al movimiento del sistema, en dos tipos, de movimiento alterno y movimiento continuo.

El sistema alterno o “To and Fro” (Vaivén) es aquel en que dos cabinas se desplazan en vías paralelas de forma simultánea, mientras una sube la otra baja. Este sistema permite cabinas de gran capacidad, las cuales se desplazan sobre el o los cables portantes. El cable tractor otorga a las cabinas el movimiento alternativo. Este sistema se utiliza preferentemente cuando se deben salvar grandes desniveles sin torres de apoyo intermedias y además, el flujo de personas es importante (Fig. 4.2).

El sistema continuo o “Mutual Running” (Circulación Simultánea) consiste en varias cabinas que se desplazan simultáneamente dentro de un circuito continuo. Para lograr esta circulación continua, el sistema opera con un cable sin fin que pasa por una polea motriz situada en una u otra estación, retornando al otro extremo o estación para pasar por otra polea (Fig. 4.2).

De esta manera, como se puede observar en la Fig. 4.2, lo más común es que se opere con el sistema monocable en teleféricos de movimiento continuo y con el sistema policable para teleféricos tipo vaivén.

Para seleccionar el sistema de operación que se utilizará en el teleférico proyectado para el Cerro Divisadero, se deben considerar principalmente dos factores, la demanda o capacidad peak por hora y la distancia que recorrerán las cabinas



Fuente: *Imagen izquierda* – Lift - World (2004) .  
*Imagen derecha* – Doppelmayr (2004).

**Figura 4.2.-** Sistema de operación continuo y alterno.

La cantidad de personas por hora para la demanda de diseño proyectada hasta el año horizonte, fue determinada en el correspondiente análisis de demanda y es de 240 personas / hora.

La longitud del trazado se obtiene del capítulo anterior, de aquí resulta que la distancia en desarrollo es semejante a la que recorrerán las cabinas, por lo tanto, se tiene una longitud que no superará los dos kilómetros. Este recorrido mencionado es solamente en una dirección, es decir, en ascenso o descenso de las cabinas.

Los antecedentes presentados permiten descartar de plano el sistema alterno principalmente por tres razones: primero, la demanda peak es relativamente baja por lo que no se necesitan cabinas de gran capacidad; segundo, la longitud del trazado no es menor y si se quisiera salvar esta distancia sin apoyos intermedios se debería emplear más de un cable portante lo que sólo eleva los costos; por último y quizás lo más

importante, los proveedores no recomiendan este sistema, ya que sólo se justifica su uso en casos muy particulares y éste no es el caso.

Se entiende entonces que para el Cerro Divisadero se ha seleccionado un sistema de operación continuo y no sólo por descarte ha sido esta elección, ya que este sistema sin duda presenta notables ventajas, por algo es el más utilizado y recomendado. Entre estas ventajas se puede destacar, por ejemplo, un tránsito más expedito.

Además, se ha elegido y recomendado por la empresa proveedora consultada (Pomagalski S.A.) el sistema monocable, pues presenta también ventajas frente al sistema policable, como por ejemplo, menores costos de adquisición y mayores facilidades de operación e instalación.

Resumiendo, el sistema de operación elegido para el teleférico del presente proyecto, es un sistema monocable continuo. Los determinantes principales de este sistema son que:

- El cable de este sistema es único, portante y tractor a la vez, y con movimiento continuo, por tanto, debe ser muy flexible y de poca sección para adaptarse a la superficie de las poleas de eje vertical ubicadas en las estaciones terminales.
- Se deben disponer torres de apoyo a distancias cortas y regulares. Esta distancia según los proveedores no debe exceder los 350 metros.
- Por razones de rescate y seguridad, los proveedores recomiendan una distancia máxima en vertical desde la parte más baja de la cabina al suelo, no mayor a 25 metros sobre el terreno y en algunos tramos cortos hasta 40 metros.
- En cuanto, a la distancia mínima medida verticalmente entre el punto más bajo de la cabina y el suelo, esta no debiera ser menor a 3 metros.

### **4.3.- Descripción de equipos e instalaciones principales.**

Determinado el sistema de operación, a continuación se describirán brevemente los equipos e instalaciones principales de éste sistema. Vale mencionar, que el cable de acero y las torres de apoyo, no se incluirán en esta sección, ya que serán considerados con detalle más adelante.

#### **4.3.1.- Estaciones terminales.**

El objetivo primordial de un teleférico es poder salvar el desnivel entre dos puntos, donde se fijan las estaciones extremas denominándose estación inferior, la del valle y estación superior, la de la cumbre.

Las estaciones son los terminales del recorrido pudiendo ser motoras o tensoras. Deben ser emplazadas de manera que su ubicación facilite el acceso y las operaciones de embarque y desembarque de los usuarios.

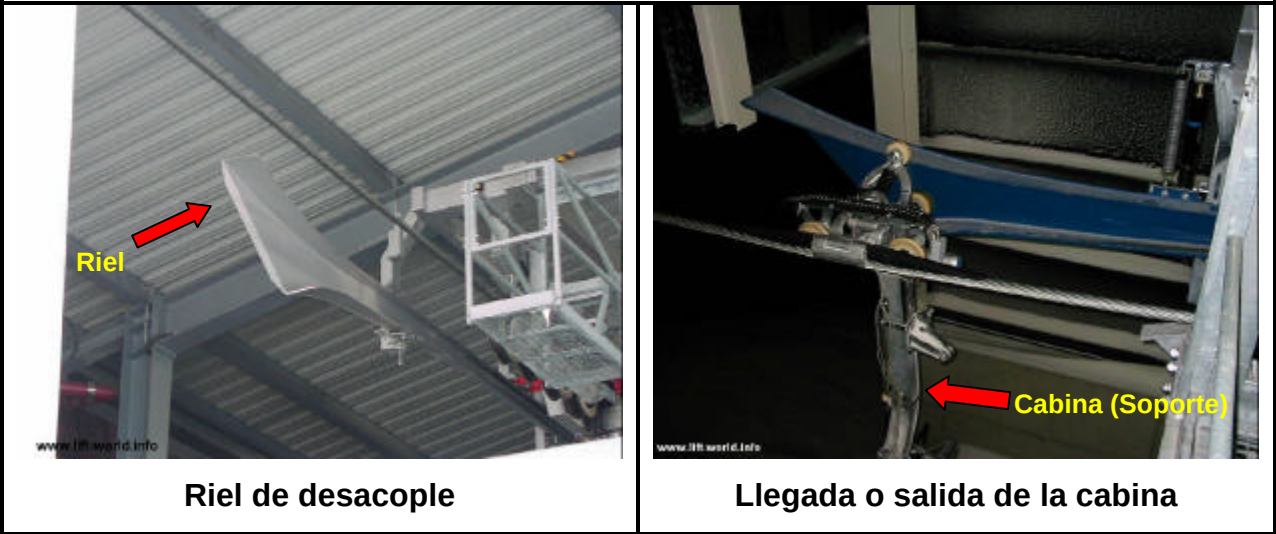
La estación es motora cuando en ésta se ubica el mecanismo motriz. La estación es tensora cuando en ésta se ubican el contrapeso o mecanismo hidráulico (teleféricos modernos) que mantiene el cable sin fin a tensión constante.

Existen además las llamadas estaciones intermedias, que son necesarias cuando se tiene un trazado de gran longitud o cuando se presente un cambio de dirección en éste. Para el presente proyecto no se contempla la instalación de una estación intermedia, ya que el trazado o línea del teleférico es recto (visto en planta) y la longitud del recorrido es normal.

El teleférico de Coyhaique se ha concebido con dos estaciones, tal como se indica en la elección del trazado, la estación superior ha sido ubicada en la cima del Cerro Divisadero y la estación inferior en la falda de este cerro en un sector cercano a Coyhaique, lugar donde cualquier cambio de ubicación de ésta no presente grandes variaciones en el proyecto.

Para permitir el intercambio de usuarios, las cabinas deben ser desenganchadas del cable antes de llegar a las poleas ubicadas en las estaciones terminales. Una vez desacopladas, transitan lentamente por un sistema de rieles (Fig. 4.3), para permitir el

ascenso y descenso de pasajeros. Terminado este proceso, las cabinas se vuelven a acoplar o enganchar al cable sin fin, para continuar el ciclo de operación.



Fuente: Lift – World (2004).

**Figura 4.3.-** Riel de desacople de las cabinas.

**4.3.2.- Equipo motriz.**

En los teleféricos el mecanismo motriz puede estar situado indistintamente en cualquiera de las estaciones terminales.

En este proyecto se lo situará en la estación inferior, debido a los problemas de acceso a la estación superior y a la cercanía de la estación inferior con las líneas de distribución eléctrica.

El sistema propiamente tal, se compone de una polea de gran diámetro, llamada polea motriz, la cual gira a la velocidad de operación normal por medio de un motor eléctrico principal. Este motor principal debe poder operar con dos velocidades distintas, una velocidad de operación normal y una velocidad de 1 m/s para efectuar trabajos de mantenimiento.

Para mantener el servicio en caso de emergencia o de corte del suministro de energía eléctrica, se debe contemplar la instalación de un motor auxiliar diesel, el cual permita mover el sistema a una velocidad reducida. Además, por cierto se cuenta con

sistemas de freno tanto automáticos como manuales. Cada uno de estos, es capaz por si solo de detener completamente la operación del teleférico.

La polea tensora, ubicada en la estación superior, es de eje vertical al igual que la polea motora y es la que permite que el sistema mantenga una tensión constante. Esto se logra ya que la polea se puede desplazar en un plano horizontal debido a la acción de un contrapeso o de un sistema regulado en forma hidráulica.

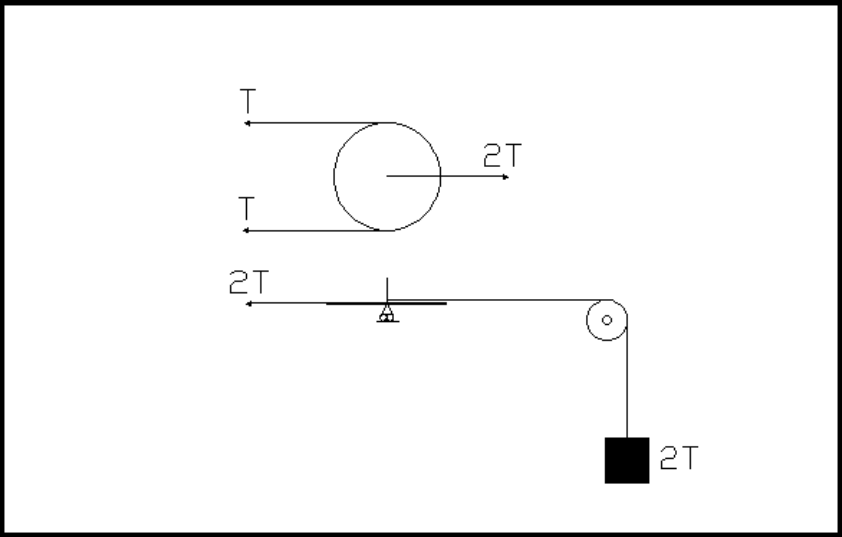
Ambas poleas, la motriz y la tensora, son las que permiten el traslado o circulación del cable, con el consiguiente transporte de las cabinas que van acopladas a él. El diámetro de estas poleas debe ser equivalente al ancho de vía, es decir, a la separación entre las vías paralelas del recorrido (vía ascendente y descendente). Lo recomendado por Pomagalski S.A., es considerar ambas poleas de 4 metros de diámetro (Fig. 4.4), ya que es una distancia prudente de separación entre los *ramales* o vías.



Fuente: Lift – World (2004).

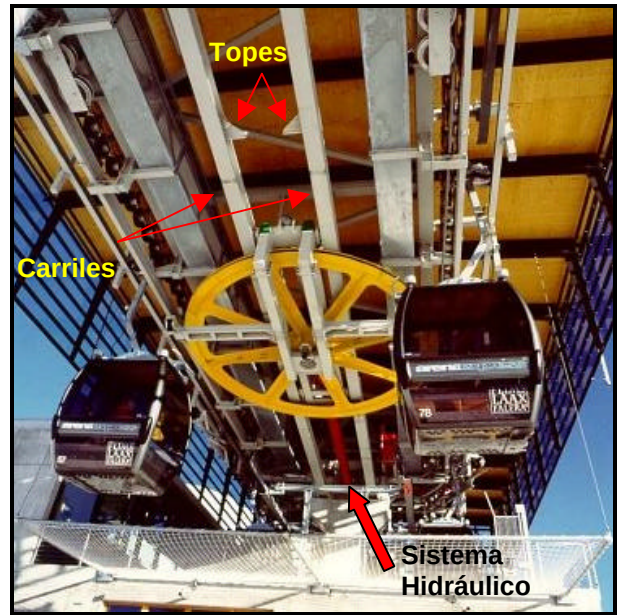
**Figura 4.4.-** Diámetro de las poleas.

En cuanto al sistema o principio básico del contrapeso (Fig. 4.5, esquema despreciando la fuerza de roce), consiste en un cable que une la polea tensora con este contrapeso, este cable al pasar por una polea de eje horizontal otorga el movimiento para equilibrar la tensión, pasando este cable previamente por una polea de eje horizontal. Los equipos nuevos, actualmente se conciben con un sistema que regula la tensión en forma hidráulica (Fig. 4.6).



Fuente: Elaboración Propia (Esquema sin fuerza de roce).

**Figura 4.5.-** Sistema básico del contrapeso.



Fuente: Garaventa (2004).

**Figura 4.6.-** Tensión regulada en forma hidráulica.

**4.3.3.- Sistema de seguridad.**

Un aspecto importante que se debe controlar para tener un sistema seguro de funcionamiento, es el espaciamiento entre las cabinas que traslada el cable sin fin. Este espaciamiento es definitivamente un intervalo de distancia, aunque también puede calcularse este espaciamiento en intervalos de tiempo.

Para controlar este espaciamiento existen sistemas computarizados, que además de detectar cualquier falla que se produzca, regulan la partida de las cabinas desde las estaciones terminales. El sistema consta de modernos repetidores del posicionamiento de las cabinas sobre el perfil de la línea del teleférico. Por todo esto, la seguridad del sistema está totalmente controlado desde las estaciones.

**4.3.4.- Cabinas.**

La empresas que fabrican teleféricos, proveen cabinas para sistemas de circulación continua, con capacidad de entre 2 a 15 personas.

Para el teleférico proyectado, considerando que la capacidad peak de 240 personas en una hora, calculada en el capítulo anterior, es relativamente baja, se puede optar por cabinas de pequeña capacidad.

El representante en Chile de la empresa consultada (Pomagalski S.A.), recomienda utilizar cabinas con capacidad para 6 personas, ya que éstas logran la mejor relación entre costo, facilidad de operación y ajuste a las variaciones de la demanda, además permiten transportar a familias completas.

En cuanto a la estructuración de las cabinas, éstas poseen un *colgador* , cual es el soporte para poder ser transportadas por el cable (Fig. 4.7). El equipo de acople de las cabinas al cable puede verse en la Fig. 4.7.



Fuente: Imagen izquierda - Doppelmayr (2004).  
Imagen derecha - Pomagalski S.A. (2004).

**Figura 4.7.- Colgador y equipo de acople.**

**4.4.- Diseño del teleférico.**

**4.4.1.- Determinación de la cantidad de cabinas.**

Para determinar la cantidad de cabinas que se requerirán en este teleférico, se deben conocer, fundamentalmente, la velocidad normal de operación del sistema elegido y la capacidad de las cabinas. Con estos dos parámetros y conocida la demanda esperada para el teleférico, se pueden determinar los elementos que constituyen las llamadas características de operación.

Se ha decidido por cabinas con una capacidad (determinada en el punto anterior), de 6 personas.

La velocidad constante de operación del teleférico será de 5 m/s. Ésta es la velocidad usualmente utilizada para estos sistemas de operación y la capacidad de personas indicada (de acuerdo a características técnicas de teleféricos existentes proporcionados por Pomagalski S.A., Anexo D).

Entonces, se tiene que:

|                                                      |                                    |
|------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Demanda horaria de diseño                            | $D = 240 \text{ personas / hora.}$ |
| Recorrido aproximado de las cabinas en una dirección | $R = 2000 \text{ metros.}$         |
| Velocidad de operación del sistema                   | $V = 5 \text{ metros / seg.}$      |
| Capacidad de las cabinas                             | $C = 6 \text{ personas.}$          |

Primero se debe calcular cuanto demora una cabina en hacer el recorrido completo, esto es, la subida de pasajeros en la estación inferior más el ascenso de la cabina cargada a la estación superior con la posterior bajada de los pasajeros en esta. Luego, se tiene la subida de pasajeros en la estación superior y la llegada nuevamente a la estación inferior de la cabina cargada, con la posterior bajada de los pasajeros.

Así entonces, se estimará el tiempo que requerirán la cabinas para realizar estas operaciones de ascenso y descenso de usuarios:

- Tiempo aproximado de subida de pasajeros a la cabina en la estación inferior:

$$t_1 = 1,5 \text{ minutos}$$

- Tiempo de viaje en el ascenso de la cabina desde la estación inferior hasta la estación superior:

$$t_2 = \frac{R}{V} = \frac{2000m}{5m/seg} = 400seg = 6,7 \text{ minutos}$$

- Tiempo aproximado de bajada de los pasajeros en la estación superior:

$$t_3 = 1,5 \text{ minutos}$$

- Tiempo aproximado de subida de pasajeros en la estación superior:

$$t_4 = 1,5 \text{ minutos}$$

- Tiempo de viaje en el descenso de la cabina desde la estación superior hasta la estación inferior:

$$t_5 = t_2 = 6,7 \text{ minutos}$$

- Tiempo aproximado de bajada de los pasajeros en la estación inferior ( $t_6$ ):

$$t_6 = 1,5 \text{ minutos}$$

Por lo tanto, el tiempo total aproximado del recorrido de la cabina es:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 = 19.4 \text{ minutos}$$

Entonces, se concluye que una cabina realiza el recorrido completo en aproximadamente *20 minutos*, es decir, alcanza a realizar tres viajes (ida y vuelta) en una hora y, teniendo en cuenta, que la cabina tiene capacidad para 6 personas, en una hora alcanzaría a transportar 18 personas.

Ahora, considerando lo mencionado en el párrafo anterior, se determina la cantidad de cabinas de la siguiente manera:

$$N^{\circ} \text{ de cabinas} = D / 3C = 240 / 18 = 14 \text{ cabinas}$$

Una vez establecido el número de cabinas que recorrerán el sistema, debe calcularse el intervalo de tiempo y distancia que debe haber entre ellas, es decir, a cuantos segundos saldrá una de la otra.

Se debe trabajar con un numero  $N$  de salidas que tendrían que hacerse en una hora para satisfacer la demanda peak con cabinas de 6 personas. Entonces:

$$N = D / P = 240 / 6 = 40 \text{ salidas}$$

Con este antecedente se puede determinar el tiempo de separación y distancia entre las cabinas:

$$\text{Intervalo de tiempo} = t = 3.600 \text{ seg.} / N = 3.600 / 40 = 90 \text{ segundos}$$

$$\text{Intervalo de distancia} = d = V \times t = 5 \text{ m / seg.} \times 90 \text{ seg.} = 450 \text{ metros}$$

Este distanciamiento entre cabinas es fundamental en el cálculo de la tensión del cable de acero, ya que se puede establecer la configuración de como estará aplicado el peso de la cabinas cargadas.

#### **4.4.2.- Cable de acero.**

Para analizar el cable de acero del teleférico proyectado, que es portante y tractor a la vez, primero se debe realizar una descripción de los elementos que lo componen y revisar aspectos de su fabricación.

##### **4.4.2.1.- Elementos que componen un cable de acero.**

Los elementos que estructuran un cable de acero son los que, al trabajar en conjunto, transmiten fuerzas, movimientos y energía entre dos puntos.

##### **4.4.2.1.a.- Alambres.**

El alambre es el componente básico de un cable de acero. Es fabricado con acero de alto carbono y según el destino final del cable se tienen distintos grados o calidades, que contemplan no sólo la resistencia nominal a la tracción, sino que

además, la resistencia a dobleces (paso por poleas), la resistencia a torsiones axiales y, la adherencia, uniformidad y peso del recubrimiento de zinc (galvanizado).

Los alambres para la fabricación de los cables de acero se clasifican según la calidad del acero que lo componen, de acuerdo al siguiente Cuadro IV.1.

**Cuadro IV.1.-** Calidades de los alambres de acero.

| Grados o Calidades | Nombre Común           | Resistencia Nominal a la Tracción<br>(Kgf/mm <sup>2</sup> ) |
|--------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Grado 1            | Acero de tracción      | 120 – 140                                                   |
| Grado 2            | Arado suave            | 140 – 160                                                   |
| Grado 3            | Arado                  | 160 – 180                                                   |
| Grado 4            | Arado mejorado         | 180 – 210                                                   |
| Grado 5            | Arado extra mejorado   | 210 – 245                                                   |
| Grado 6            | Siemens – Martín       | Mínimo 70                                                   |
| Grado 7            | Alta resistencia       | Mínimo 100                                                  |
| Grado 8            | Extra alta resistencia | Mínimo 135                                                  |

Fuente: Prodinsa S.A. (2004).

**4.4.2.1.b.- Torones.**

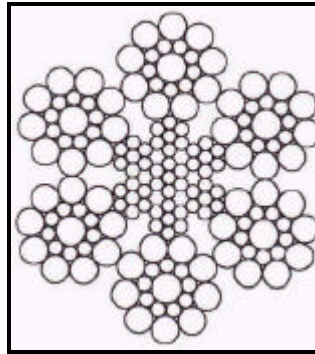
El torón se compone de un determinado número de alambres que van enrollados en forma helicoidal en torno a un alma o alambre central. El número de alambres y la disposición de éstos en una o varias capas, se denomina “construcción”. Las principales construcciones de un torón se clasifican en tres series:

- Serie 7: construcciones que poseen de 3 a 14 alambres.
- Serie 19: construcciones que poseen de 15 a 26 alambres.
- Serie 37: construcciones que poseen de 27 a 49 alambres.

Las series y construcciones más utilizadas en los cables de acero son las siguientes:

- **Serie 6x7:** Son cables conformados por seis torones, con 3 a 14 alambres por cada torón. Debido a que el número de alambres por torón es reducido, la construcción del cable es con alambres gruesos, por lo tanto, es resistente a la abrasión y poco flexible.

- **Serie 6x19:** Son cables conformados por seis torones, con 15 a 26 alambres por cada torón y poseen buena resistencia a la abrasión y al aplastamiento, además de suficiente flexibilidad. Como ejemplo, una construcción común es la 6x19 (9/9/1) Seale, en que cada torón posee dos capas, de 9 alambres cada una, enrolladas en torno a un alambre central (Fig. 4.8). Los alambres exteriores son mas gruesos, para otorgarle mayor resistencia a la abrasión.



Fuente: Prodinsa S.A. (2004).

**Figura 4.8.-** Cable 6x19(9/9/1) Seale.

- **Serie 6x37:** Los cables que poseen esta construcción son más flexibles que los del grupo 6x19, debido a que tienen un mayor número de alambres, 27 a 49 por torón. Son utilizados de preferencia cuando se requiere mucha flexibilidad, pero no cuando están sometidos a una fuerte abrasión, ya que los alambres son de diámetro pequeño.
- **Serie 8x19:** Son cables fabricados con ocho torones, lo que los hace más flexibles que los 6x19, pero son menos resistentes al aplastamiento, debido a su mayor alma.

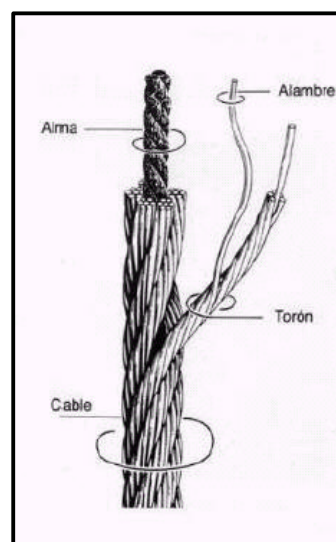
#### 4.4.2.1.c.- Alma.

El alma de un cable de acero es el eje o centro donde se enrollan los torones y su función principal es conservar la redondez del cable. El alma debe soportar la presión de los torones y mantener el correcto espaciamiento entre estos. El alma del cable puede ser de acero, de fibras naturales o sintéticas.

- **Alma de acero (AA):** En este caso el cable posee un torón de acero como alma, cuya construcción generalmente es similar a la de los torones exteriores. Existen además los cables con alma de acero independiente, en este caso se tiene otro cable de acero como alma del cable, otorgándole una mayor resistencia a la tracción y al aplastamiento, en desmedro de la elasticidad.
- **Alma de fibra natural (AF):** Las fibras más utilizadas son “Sisal” y “Manila”, ya que son fibras largas, duras y poseen una aceptable resistencia a la descomposición (en ambientes húmedos y salinos). Los cables con alma de fibra natural son utilizados principalmente en ascensores debido a su capacidad para absorber o amortiguar las cargas de aceleraciones y frenado.
- **Alma de fibra sintética (AF):** La fibra más utilizada es el “Polipropileno” debido a la similitud de sus características físicas con la fibra natural, pero con mayor resistencia a la descomposición. La única desventaja que posee es que al ser un material muy abrasivo entre sí, pierde consistencia al trabajar con mucha tensión en sistemas de poleas de diámetro reducido.

#### 4.4.2.1.d.- Producto final.

Todos los elementos descritos son los que estructuran el producto final, es decir, el cable acero, tal como se representa en la Fig. 4.9:



Fuente: Prodinsa S.A. (2004).

**Figura 4.9.-** Elementos que componen el cable de acero.

4.4.2.2.- Torcido del cable de acero.

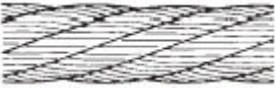
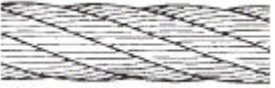
Los cables de acero son fabricados principalmente con torcido Regular y/o torcido Lang.

En el torcido Regular los alambres del torón están torcidos en dirección opuesta a la dirección de enrollado de los torones en el cable (Cuadro IV.2). Los cables con torcido Regular poseen mayor resistencia al aplastamiento, son más fáciles de manejar y presentan menor tendencia a destorcerse al aplicarles cargas.

Los alambres del torón en el torcido Lang están torcidos en la misma dirección de los torones en el cable (Cuadro IV.2). Los cables con torcido Lang son algo más flexibles y resistentes a la abrasión (mayor superficie de contacto de los alambres exteriores con las poleas), pero tienden a destorcerse, por lo que se aconseja utilizar estos cables, sólo cuando ambos extremos de éste se encuentren fijos.

Los cables de acero, tanto en el torcido Regular como en el torcido Lang, pueden ser fabricados con torcido derecho o izquierdo (Cuadro IV.2). Generalmente, es indiferente utilizar torcido derecho o izquierdo, pero los cables con torcido derecho son conocidos como de fabricación normal y son los más empleados.

Cuadro IV.2.- Torcido del cable de acero

| TORCIDO                                                                                          |                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REGULAR                                                                                          | LANG                                                                                              |
| <br>IZQUIERDO | <br>IZQUIERDO |
| <br>DERECHO   | <br>DERECHO   |

Fuente: Elaboración propia

Existe además, aunque con escasas aplicaciones, el torcido alternado o Herringbone (Fig. 4.10), donde en la fabricación del cable se alterna entre torones con torcido Regular y Lang. También, pueden ser contruidos con torcido izquierdo o derecho.



Fuente: Prodinsa S.A. (2004).

**Figura 4.10.- Torcido Herringbone.**

#### **4.4.2.3.- Preformado del cable de acero.**

El preformado es un proceso de fabricación que ha introducido un progreso en la construcción de los cables de acero. El preformado significa que tanto los alambres individuales como los torones poseen la forma helicoidal exacta antes de ser montados en el cable.

En los cables no preformados los torones son mantenidos a la fuerza en su posición, y por lo tanto, se presentan grandes esfuerzos internos. El preformado otorga a los alambres y torones un estado de reposo, de esta manera no podrán reaccionar, es decir, se eliminan las tensiones internas, dado que la forma definitiva fue dada en el proceso de fabricación.

La preformación tiene entre sus ventajas, que se obtienen cables con mayor flexibilidad (se eliminan las tensiones radiales entre alambres y torones), mayor facilidad de manejo, distribución uniforme de las cargas entre los alambres y torones, y además, suprime la tendencia a destorcerse de los cables con torcido Lang.

La eliminación de los esfuerzos internos al emplear el preformado, otorga al cable de acero una mayor vida útil. Es por esto, que algunos fabricantes y en especial, la empresa consultada Prodinsa S.A., tienen como norma, fabricar cables en estado preformado.

#### 4.4.2.4.- Nomenclatura comercial de los cables de acero.

Para establecer una nomenclatura o lenguaje común entre los fabricantes y el cliente, es necesario especificar las abreviaciones más utilizadas en la producción de los cables de acero, para así comprender los catálogos que éstas proveen. Las abreviaciones más utilizadas que se mencionan a continuación son las registradas en los catálogos de Prodinsa S.A.(2004):

- AF : Cable con alma de fibra.
- AA : Cable con alma de acero.
- RD : Cable con torcido Regular derecho.
- RI : Cable con torcido Regular izquierdo.
- LD : Cable con torcido Lang derecho.
- LI : Cable con torcido Lang izquierdo.

Con respecto, a la designación estrictamente comercial, Prodinsa S.A., designa la mayoría de sus cables de acero con nombres de animales. Así entonces, se fabrican cables de acero negro llamados *Cobra, Boa, Jirafa, Jabalí, Topo*, entre otros y cables galvanizados llamados *Tonina, Tiburón, Ballena, Delfín, Galgo, Salmón*, etc.

A modo de ejemplo, para explicar la especificación de un cierto cable comercial por parte de Prodinsa S.A., si se tiene un cable Jirafa AF 6x7(6/1) LI, esto quiere decir que:

- Es un cable de acero negro (sin galvanizar), cuyo nombre común es Jirafa.
- Es un cable de acero con alma de fibra (AF).
- Es un cable construido con 6 torones de 7 alambres cada uno (6x7).
- Los torones están contruidos con 6 alambres enrollados alrededor de un alambre central (6/1).
- Es un cable con torcido Lang izquierdo (LI).
- Otras propiedades del cable (que no viene al caso mencionar) se deben buscar en los respectivos catálogos ofrecidos por la empresa proveedora.

**4.4.2.5.- Factores en la selección del cable de acero.**

Para seleccionar el cable más adecuado para los requerimientos en su destino final, deben contemplarse y equilibrarse los siguientes factores principales:

**4.4.2.5.a.- Cargas de trabajo.**

Se debe determinar la máxima carga que el cable deberá soportar, en base a la llamada carga segura de trabajo. A menudo, se define el trabajo de un cable por el esfuerzo estático que sufre a la tracción. Sin embargo, el esfuerzo estático se puede ver aumentado por los esfuerzos dinámicos que se desarrollan al detenerse o al acelerar el cable, cargas de impacto, altas velocidades, fricción al pasar por poleas, etc.

**4.4.2.5.b.- Fatiga de flexión.**

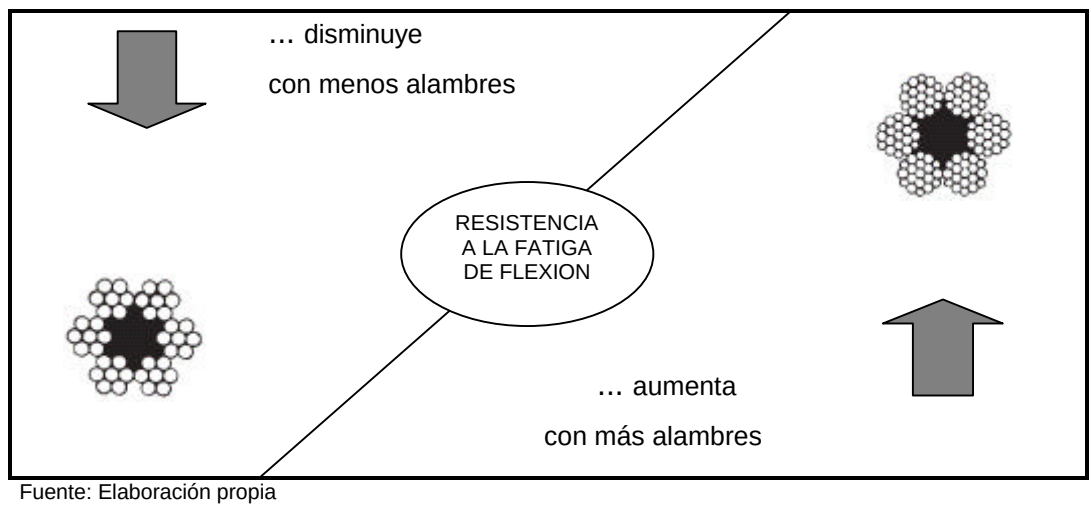
La fatiga de flexión se produce al doblar varias veces un trozo de alambre. Este fenómeno es similar a lo que ocurre cuando un cable pasa por poleas, es decir, doblándose alrededor de ellas. La fatiga disminuye si, al menos, se cuenta con una polea con el diámetro mínimo recomendado, dado en función de las veces del diámetro del cable que pasa por ella, establecidos en el Cuadro IV.3 para las construcciones más conocidas. Mientras menor es el diámetro de las poleas, mayor es el efecto de la fatiga de flexión.

**Cuadro IV.3.- Diámetro mínimo de poleas.**

| Construcción      | Diámetro Mínimo Polea ( <i>n</i> veces el diámetro del cable) |
|-------------------|---------------------------------------------------------------|
| 6x19 Filler       | 26                                                            |
| 6x26              | 30                                                            |
| 6x19 Seale        | 34                                                            |
| 6x37              | 23                                                            |
| 6x7               | 42                                                            |
| 8x19 Seale        | 26                                                            |
| 8x19 Filler       | 20                                                            |
| 6x43 Filler Seale | 23                                                            |
| 8x37 Filler Seale | 19                                                            |

Fuente: Prodinsa S.A. (2004).

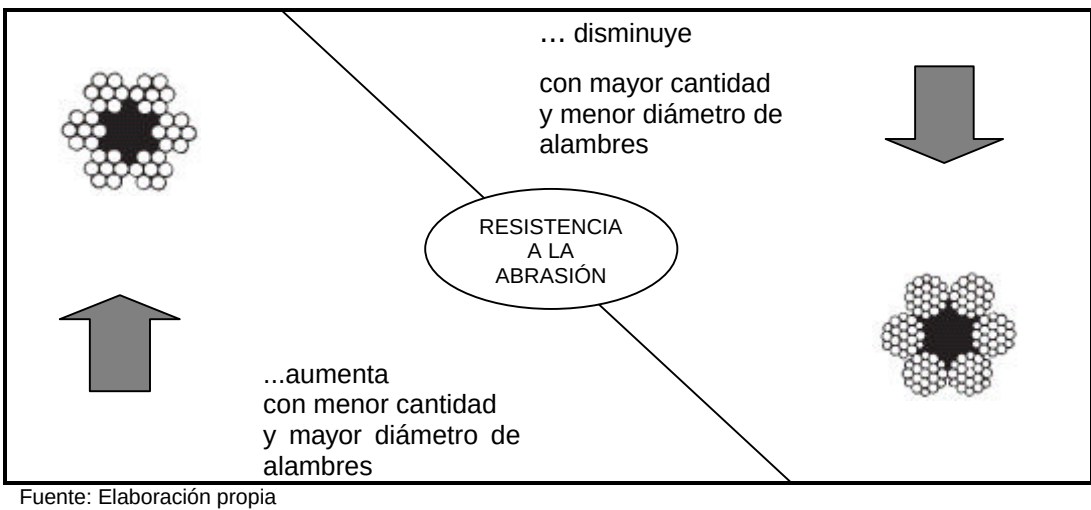
Para efectos de seleccionar un cable de acero que posea una adecuada resistencia a esta fatiga de flexión, puede considerarse el número de alambres que lo componen. Así entonces, tal como lo indica la Fig. 4.11, para una mayor cantidad de alambres se tienen cables con mejor resistencia a la fatiga de flexión y, lo inverso sucede para un menor número de alambres.



**Figura 4.11.-** Influencia de cantidad de alambres en la resistencia a la fatiga de flexión.

**4.4.2.5.c.- Resistencia a la abrasión.**

La abrasión es uno de los agentes más perjudiciales para los cables de acero y se produce al rozar el cable con otro material, provocando un desgaste de los alambres exteriores. Como regla general se tiene que, a menor número de alambres exteriores (alambres que conforman cada torón) y mayor diámetro de éstos, mayor es la resistencia a los efectos de la abrasión (Fig. 4.12).



**Figura 4.12.-** Influencia de cantidad y diámetro de los alambres en la resistencia a la abrasión.

**4.4.2.5.d.- Resistencia al aplastamiento.**

El aplastamiento de un cable de acero ocurre principalmente cuando está sujeto a cargas excesivas y, es frecuente también, cuando es enrollado en varias capas en carretes o tambores, provocando el contacto entre sí mismo. Por lo tanto, cuando se presenten estas condiciones, debe elegirse aquel cable que posea la construcción óptima para evitar el aplastamiento. Los cables que ofrecen buena resistencia al aplastamiento son cables con alma de acero y torcido regular.

**4.4.2.5.e.-Corrosión.**

La corrosión ataca a los cables de acero principalmente cuando están expuestos a ambientes húmedos y con alta salinidad, disminuyendo la sección del cable. Para contrarrestar los efectos nocivos sobre las propiedades del cable, se recomienda el recubrimiento de zinc o galvanizado en ambientes donde la corrosión es muy activa. Sin embargo, se recomienda recurrir a engrasados periódicos cuando la corrosión no es tan fuerte, ya que el galvanizado va en desmedro de la resistencia y elasticidad del cable.

**4.4.2.6.- Factor de seguridad.**

El factor de seguridad de un cable de acero está dado por la relación entre la resistencia mínima a la ruptura garantizada y la carga de trabajo, a la cual está sujeta.

Es importante saber cual es el factor de seguridad, sobre todo donde se ve involucrada la integridad física de personas, en estos casos es necesario aumentar este factor. El Cuadro IV.4, muestra el factor de seguridad que se debe considerar para los teleféricos, que operan con el sistema bicable, es decir, con un cable portante y un cable tractor.

**Cuadro IV.4.-** Factor de seguridad para cables de teleférico y andariveles.

| Aplicación                                    | Factor de seguridad |
|-----------------------------------------------|---------------------|
| Cable portante para teleféricos y andariveles | 3 a 4               |
| Cable tractor para teleféricos y andariveles  | 5 a 6               |

Fuente: Prodinsa S.A. (2004).

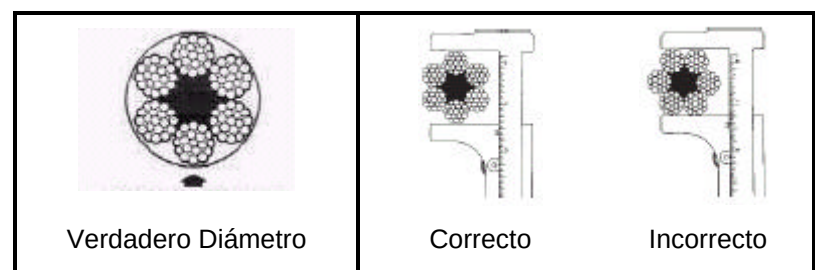
Dado que el teleférico proyectado, operará con el sistema monocable (cable portante y tractor a la vez) es necesario aumentar este factor. Según Hoelck (1979), la normativa alemana establece que para un sistema monocable destinado al transporte de pasajeros, el factor de seguridad debe ser 13. Por lo tanto, este será el factor que se utilizará en el presente análisis.

A modo de sustentar lo anterior, se puede mencionar que Prodinsa S.A., recomienda emplear un factor de seguridad entre 12 a 15, para cables de ascensores de personas. Esto último, puede extrapolarse perfectamente al caso de un teleférico, ya que los estándares de seguridad requeridos son bastante similares.

**4.4.2.7.- Especificaciones de un cable de acero.**

**4.4.2.7.a.- Diámetro.**

El diámetro correcto del cable está dado por el círculo tangente circunscrito en la sección transversal de los torones exteriores (Fig. 4.13). Se mide sobre el resalte máximo de los torones, o sea, utilizando un calibrador entre los torones opuestos, tal como lo indica la Fig. 4.13. Se especifica en *mm* o en *pulgadas*.



Fuente: Prodinsa S.A. (2004).

**Figura 4.13.-** Forma correcta de medir el diámetro del cable.

**4.4.2.7.b.- Peso lineal.**

El peso lineal aproximado se obtiene de los catálogos proporcionados por las empresa proveedoras, según el diámetro del cable y la serie o construcción a la que pertenezca. Se especifica en *Kgf / m*.

**4.4.2.7.c.- Módulo de elasticidad.**

El módulo de elasticidad varía con las diversas construcciones de cables, pero generalmente es directamente proporcional con el área de la sección de acero. En el Cuadro IV.5, están tabulados los módulos elásticos para las construcciones de cables más utilizadas. Se especifica en  $Kgf / mm^2$ .

**Cuadro IV.5.-** Módulos de elasticidad para construcciones más utilizadas.

| Construcción     | Tipo Acero  | Alma  | Módulo de Elasticidad<br>(Kgf/mm <sup>2</sup> ) |
|------------------|-------------|-------|-------------------------------------------------|
| 6x7              | Negro       | Fibra | 6300                                            |
| 6x7              | Negro       | Acero | 7000                                            |
| 6x19             | Negro       | Fibra | 5000                                            |
| 6x19             | Negro       | Acero | 6000                                            |
| 6x37             | Negro       | Fibra | 4700                                            |
| 6x37             | Negro       | Acero | 5600                                            |
| 1x7 (6/1)        | Galvanizado | -     | 11000                                           |
| 1x19 (12/6/1)    | Galvanizado | -     | 10000                                           |
| 1x37 (18/12/6/1) | Galvanizado | -     | 9500                                            |

Fuente: Prodinsa S.A. (2004).

**4.4.2.7.d.- Resistencia mínima de ruptura.**

Esta resistencia es determinada experimentalmente por los fabricantes, mediante ensayos de tracción sobre un trozo de cable entero (resistencia práctica o real) o dada por la suma del total de cargas de ruptura experimentales de los alambres constitutivos (resistencia teórica).

La resistencia mínima de ruptura es entregada por los fabricantes y tiene calidad de “garantizada”. Se especifica en  $Kgf$ .

**4.4.2.8.- Tensiones soportadas por el cable del teleférico.**

Para diseñar el cable del teleférico es necesario establecer a qué cargas de trabajo estará expuesto realmente, una vez puesto en servicio. A continuación, se describen las principales tensiones que debe resistir el cable.

#### 4.4.2.8.a.- Tensión estática.

La carga o tensión estática se origina por la carga de trabajo segura a transportar por el cable de acero, correspondiente a la carga de peso propio del cable y a las cargas concentradas (cabinas cargadas) que se tenga sobre él.

La tensión estática  $S_E$  se obtiene al dividir la tensión (tracción) máxima del cable por la sección se este:

$$S_E = \frac{T}{A} \quad (4.1)$$

Siendo:

$S_E$ : Tensión estática del cable de acero  $[kgf/mm^2]$ .

$T$  : Tracción o tensión originada por las cargas de trabajo  $[Kgf]$ .

$A$  : Sección de acero del cable, considerada como el área circundante en relación al diámetro nominal del cable  $[mm^2]$ .

#### 4.4.2.8.b.- Tensión dinámica.

A la tensión estática mencionada, es necesario agregar la tensión dinámica que se origina al desplazar las cargas a la velocidad prevista. Esta tensión se determina como una parte o fracción de la tensión estática, mediante la siguiente expresión (Sidgman,1985):

$$S_D = \left( \frac{a}{g} \right) \cdot S_E \quad (4.2)$$

Siendo:

$S_D$ : Tensión dinámica del cable de acero  $[kgf/mm^2]$ .

$a$ : Aceleración del cable, originada por enganche y desacople de las cabinas  $[m/seg^2]$ .

$g$  : Aceleración de gravedad  $[m/seg^2]$ .

$S_E$ : Tensión estática del cable de acero  $[kgf/mm^2]$ .

#### 4.4.2.8.c.- Tensión de flexión.

La tensión de flexión es la debida a la curvatura que se produce al pasar el cable de acero por una polea, tensión que depende de la composición del cable y del diámetro de la polea. Como se mencionó en párrafos precedentes, mientras mayor es el diámetro de las poleas, menores tensiones de flexión surgen. Considerando que el diámetro de las poleas motora y tensora es bastante grande (4 metros), el efecto de esta tensión se despreciará, ya que basta con elegir un cable adecuado, que tenga buena resistencia a la fatiga de flexión.

En el cable actúan otras tensiones, pero éstas son despreciables, como por ejemplo tensiones debida a la rigidez del cable o tensiones provocadas por el roce en los apoyos deslizantes de las torres.

#### 4.4.2.8.d.- Tensión máxima en el cable de acero.

El cable debe cumplir que la tensión máxima, dada por la suma de las tensiones mencionadas, sea menor o igual que la tensión admisible. La tensión admisible se determina de la división entre la tensión de ruptura mínima y el factor de seguridad empleado.

Esto es:

$$S_E + S_D \leq \left( \frac{R_{\min}}{A} \right) \cdot \frac{1}{F.S.}$$
$$\Rightarrow \frac{T}{A} \left( 1 + \frac{a}{g} \right) \leq \left( \frac{R_{\min}}{A} \right) \cdot \frac{1}{F.S.} \quad (4.3)$$

Donde:

$R_{\min}$ : Resistencia mínima a la rotura garantizada (Kgf).

Para verificar si el cable resiste las solicitaciones de trabajo en forma satisfactoria, se debe utilizar, al multiplicar a ambos lados de la ecuación 4.3 por la sección (A) del cable, la siguiente expresión:

$$T \cdot \left( 1 + \frac{a}{g} \right) \leq \frac{R_{\min}}{F.S.} \quad (4.4)$$

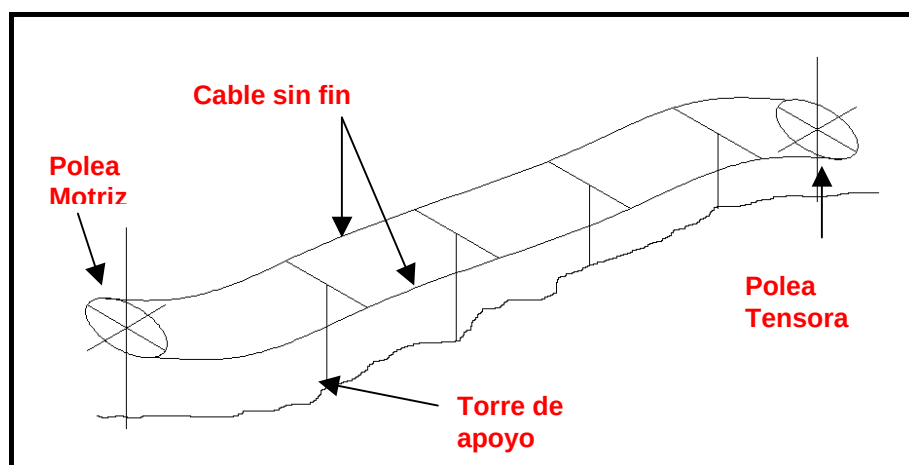
La dificultad mayor del análisis del cable de acero, como elemento estructural, estriba en determinar la máxima tracción  $T$ , a la que estará sometido, según las condiciones requeridas en su uso.

#### 4.4.2.9.- Diseño y análisis del cable de acero para el teleférico proyectado.

Para conocer la tensión máxima que debe soportar el cable que conforma el sistema del teleférico, se realizará un análisis con todas las fuerzas que intervienen en el cálculo, determinando en primera instancia la tensión más importante, la tensión en condiciones estáticas.

##### 4.4.2.9.a.- Modelación del cable del teleférico.

La modelación que se haga del sistema estructural del teleférico debe ser la que represente, de la forma más fiel posible, el trabajo del cable bajo las condiciones de cargas y apoyos dadas. La configuración original y básica de la estructura del teleférico está representada en la Fig. 4.14.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.14.-** Estructuración básica del teleférico.

El cable sin fin al pasar por las poleas, adquiere movimiento, y es esta circulación a velocidad constante del cable, la que permite el traslado de las cabinas. Al ser un cable único, requiere de apoyos intermedios para salvar el gran desnivel existente entre ambas estaciones. Se hace necesario entonces, establecer la condición de apoyo que el cable tiene sobre las torres intermedias.

Tal como se observa en la Fig. 4.14, la estructuración básica de las torres de apoyo es en forma de “T”, así, un brazo resiste los esfuerzos de la vía ascendente y el otro, los de la vía descendente. Las roldanas o “polines guías” que ambos brazos poseen, permiten que el cable al deslizarse sobre ellos, mantenga la velocidad y movimiento que le impregna la polea motora. Si bien, se provocan pérdidas de energía, debido al roce del cable con el balancín de apoyo, estas son despreciables.

Comúnmente, se designa como “balancín” (Fig. 4.15) a este conjunto o tren de roldanas que sustentan el paso del cable por las torres y, tal como lo dice su nombre, se mueve armónicamente con el paso de las cabinas sobre él, reduciendo las pérdidas de tensión por fricción. Más adelante, cuando se describa la función de las torres mecánicas de soporte se explica con más detalle la configuración de estos balancines que permiten el paso de las cabinas y el cable de acero.

Resumiendo, el apoyo del cable sobre las torres intermedias es del tipo deslizante, por lo tanto, no existe una reacción horizontal en los apoyos intermedios. Existen fuerzas de roce producto del paso del cable sobre el tren de roldanas, pero éstas son despreciables, considerando la magnitud de las cargas estáticas de trabajo.

Otro punto importante para modelar el sistema, es la condición simétrica que éste presenta. Al tener una vía ascendente y otra descendente (tal como lo indican los fabricantes y Hoelck (1979)), se puede determinar la tensión máxima que se origina en sólo una de ellas, y establecer que para la otra vía la condición más desfavorable será la misma. Por lo tanto, se puede calcular la tensión de trabajo del cable, considerando sólo la vía ascendente.

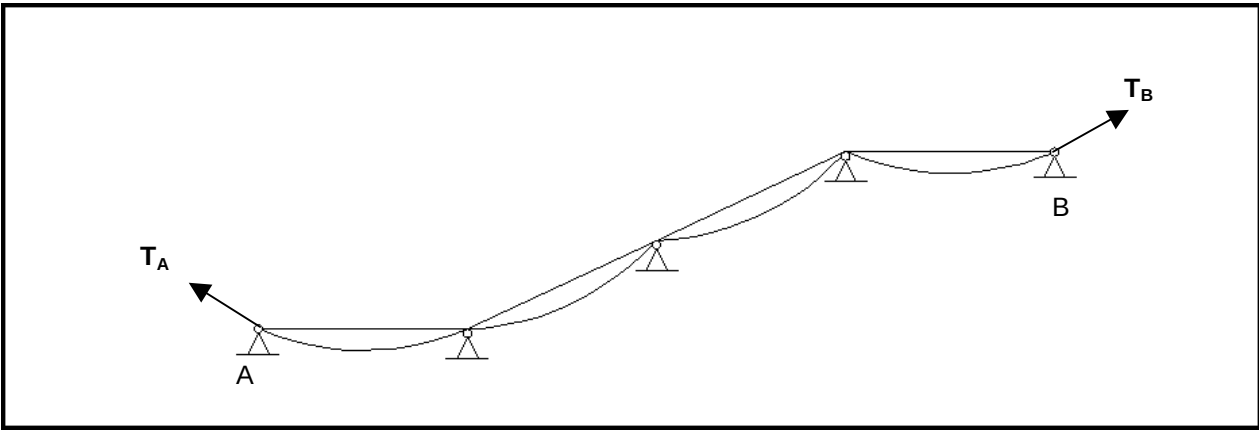


Fuente: Lift –Worl (2004).

**Figura 4.15.-** Balancines de apoyo en las torres.

Así entonces, la modelación de la estructura, considerando sólo una vía del teleférico se puede observar en la Fig. 4.16. La tensión máxima en el cable, será la mayor que resulte en cualquiera de los apoyos extremos, considerados fijos para estos efectos. Al tener inclinación el cable, se puede decir de antemano, que la tensión máxima se produce en el apoyo final o superior.

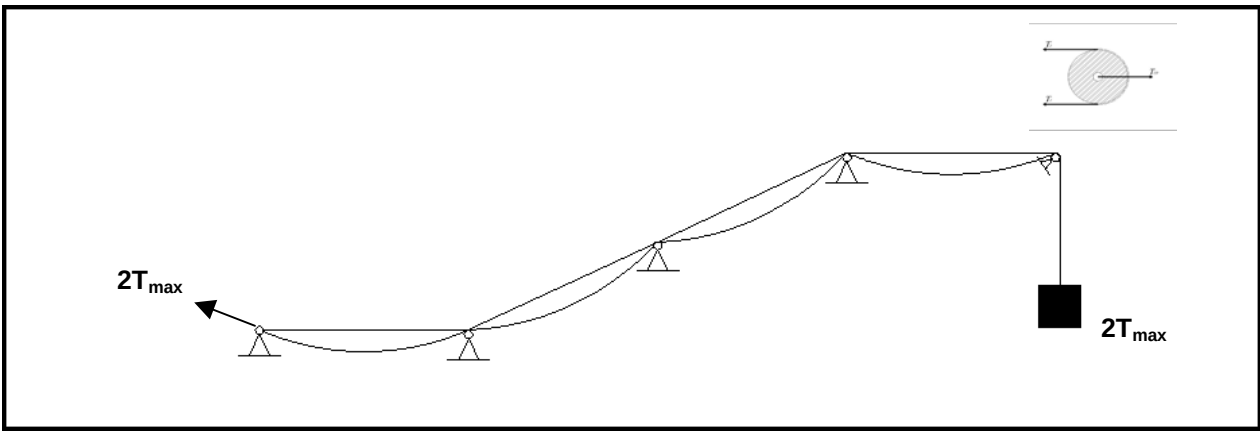
Vale mencionar, que ya que no se presentan cambios de dirección (visión en planta del trazado) de la línea del teleférico, se tiene el cable inscrito en el plano.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.16.-** Modelación de la estructura del teleférico.

Ahora bien, el sistema debe funcionar a tensión constante, y como ya se ha mencionado, ésta la otorga el contrapeso o un mecanismo hidráulico. Por lo tanto, para determinar la magnitud de la tensión que debe ejercer el contrapeso o el sistema hidráulico, se empleará la modelación según la Fig. 4.17. Así entonces, como se verá oportunamente, la tensión necesaria para mantener el sistema a tensión constante debe ser equivalente a dos veces la tensión máxima de cada vía. Estas tensiones máximas para cada vía son iguales, de acuerdo a la modelación descrita en la Fig. 4.16, es por esto, que tal como se indica en la Fig. 4.17, la tensión del contrapeso debe ser igual a dos veces la tensión máxima que resulte del análisis del cable de acero (debido al sistema de poleas).



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.17.-** Modelación para el sistema con contrapeso.

**4.4.2.9.b.- Cálculo de la tensión estática.**

La hipótesis fundamental para trabajar la estática en el cable de acero, se refiere a suponerlo perfectamente flexible, esto quiere decir, que sólo transmite fuerza axial de tracción. Este supuesto, el cable lo satisface relativamente bien, ya que aunque éste posee una cierta rigidez a la flexión, esta es muy pequeña en comparación con su rigidez axial y, por lo tanto, en la práctica del cálculo se desprecia.

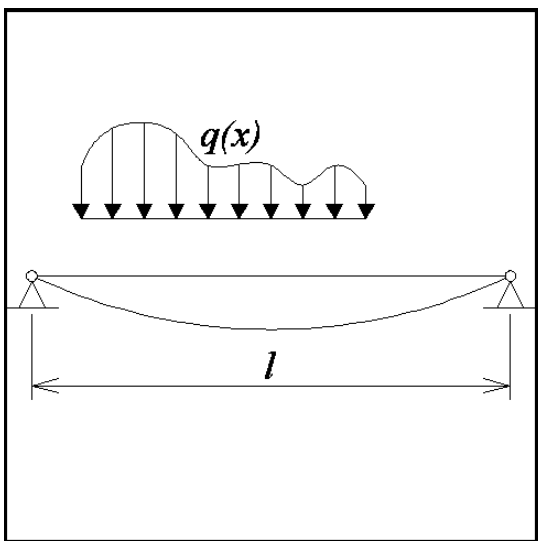
Esta presunción de “perfecta flexibilidad”, supone por consiguiente, que el momento flector en cualquier punto de un cable que está sujeto a cargas aleatorias, es nulo. Este es un punto importante, ya que será fundamental para determinar la tensión en el cable.

Además, se considera que el cable es *extensible*, es decir, se contemplan los alargamientos axiales que éste sufre bajo las condiciones de carga. Si bien se considerarán las deformaciones del cable de acero estas están dentro del rango elástico.

Se realizará primero un planteo de la teoría, en forma genérica, que será empleada y difundida en este estudio para analizar el cable de acero como elemento estructural, para posteriormente aplicar las condiciones de carga de trabajo particulares que tendrá el cable del teleférico.

#### 4.4.2.9.b.1.- Tensión de un cable bajo la acción de una carga vertical cualquiera.

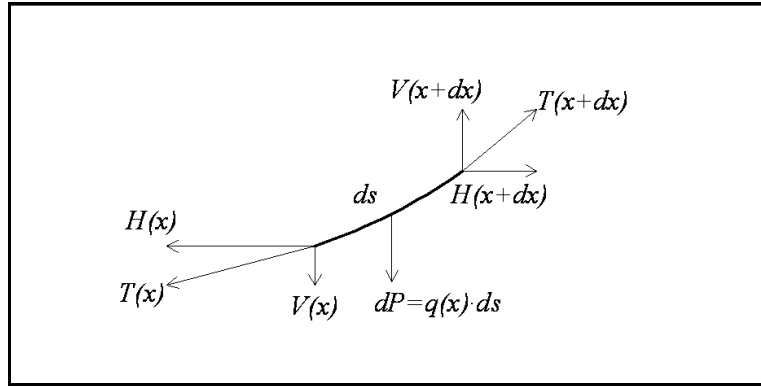
Se tiene un cable bajo una carga vertical cualquiera  $q(x)$ , según la Fig. 4.18. La distancia o luz horizontal entre los apoyos es  $l$ .



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.18.-** Cable bajo una carga vertical cualquiera.

Si se consideran las fuerzas que actúan sobre un segmento infinitesimal de cable de longitud  $ds$  (Fig. 4.19) y el requerimiento físico de equilibrio de estas fuerzas en dirección  $x$  e  $y$ , se tiene lo siguiente:



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.19.-** Segmento infinitesimal de cable.

$$H(x + dx) = H(x) = H \quad (4.5)$$

$$V(x + dx) - V(x) = dV = dP = q(x) \cdot ds \quad (4.6)$$

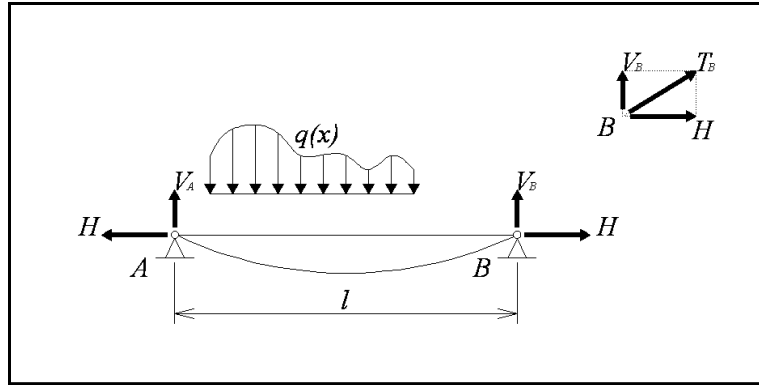
De esta manera, de la ecuación 4.5, se concluye que la tensión horizontal se mantiene constante a lo largo de toda la luz del cable.

Además, de la geometría del problema, se puede escribir:

$$\frac{H(x)}{dx} = \frac{V(x)}{dy} \rightarrow \frac{dy}{dx} = \frac{V(x)}{H(x)} \quad (4.7)$$

$$ds^2 = dy^2 + dx^2 \rightarrow ds = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \quad (4.8)$$

Se tiene ahora el cable suspendido horizontalmente (el desnivel entre los apoyos es nulo) de la Fig. 4.20, con las reacciones verticales  $V_A$  y  $V_B$ , y la tensión horizontal  $H$  constante actuando en los apoyos. Las reacciones verticales en los apoyos, son originadas por la carga vertical  $q(x)$  y la teoría que se presenta en este estudio, permitirá que se determinen empleando la Teoría de Flexión de Vigas, es decir, considerando las mismas reacciones que para una viga de luz  $l$ . De esta manera, la tensión del cable en cada apoyo, se obtiene de la resultante entre la tensión horizontal  $H$  y la reacción vertical correspondiente, tal como se indica en la Fig. 4.20 para el apoyo  $B$ .



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.20.-** Cable suspendido horizontalmente.

Considerando el supuesto que dice que el momento flector en cualquier punto del cable es nulo, se puede establecer que:

$$M_x - H \cdot y = 0 \rightarrow y = \frac{M_x}{H} \quad (4.9)$$

Siendo:

$M_x$  : Momento flector “imaginario” debido a la carga  $q(x)$  (tal como para una viga de luz  $l$ ). Se utiliza la palabra *imaginario*, ya que en realidad, producto de la despreciable rigidez de flexión del cable, este momento no existe, sólo formará parte del análisis teórico.

$H$  : Tensión horizontal constante en el cable.

$y$  : Ordenada de la forma que adopta el cable. La forma que adopta el cable cargado, viene descrita por la función  $y(x)$ , donde  $x$  es la coordenada horizontal (abscisa).

De la ecuación 4.9, se puede ver que al ser constante la tensión  $H$ , la ordenada del cable en estado final, para una abscisa cualquiera, es proporcional al momento flector (imaginario) que se tenga en ese punto. Se concluye entonces que, la forma que adopta la flecha del cable, es semejante a la forma de la línea de momento.

El problema de utilizar la ecuación 4.9 para determinar la tensión horizontal  $H$ , radica en que es imposible conocer a priori la forma que adoptará el cable bajo la acción de una carga vertical cualquiera, por lo tanto, se desconocen las ordenadas.

Para el cálculo de esta tensión se desarrollará la llamada *ecuación del cable*<sup>1)</sup>, basada en el imaginario momento flector, antes mencionado. La solución de esta ecuación es precisamente la tensión **H**, y una vez determinada se pueden calcular la tensión en los apoyos y las ordenadas o flechas del cable.

En primera instancia, para que se comprenda de mejor manera la teoría, se desarrollará la *ecuación del cable* para la acción de una carga vertical cualquiera, considerando, como hasta ahora, el cable suspendido horizontalmente. Posteriormente, se ampliará esta ecuación, para cables suspendidos con cierta inclinación (necesarios en el sistema del teleférico para salvar el desnivel). Además, se desarrollará en este estudio una ecuación del cable más general, que incluye el efecto de una carga lateral adicional (perpendicular a la carga vertical), que tiene su aplicación al actuar, por ejemplo, una carga de viento.

#### **4.4.2.9.b.1.1.- Determinación de la *ecuación del cable* para un cable suspendido horizontalmente.**

El desarrollo de esta ecuación del cable, se basa en el necesario estado de equilibrio, que debe tenerse entre el largo del cable en estado final y el largo del cable en estado inicial más las variaciones de longitud más significativas a las que pueda estar afecto. La relación para el estado de equilibrio, recién descrito, se manifiesta en la siguiente ecuación:

$$L = L_0 + \Delta L_{elas} + \Delta L_{tem} \quad (4.10)$$

Donde:

**L** : Longitud final del cable de acero.

**L<sub>0</sub>** : Longitud inicial del cable de acero.

**DL<sub>elas</sub>** : Alargamiento elástico del cable de acero.

**DL<sub>tem</sub>** : Expansión o contracción térmica.

---

<sup>1)</sup> La teoría del desarrollo de esta ecuación, está basada en la traducción del alemán al español ( realizada por el autor de la presente tesis) del texto "*Statik der Seilkonstruktionen*" (Estática de estructuras con cables) de Szymon Palkowski.

La longitud final del cable  $L$ , debe entenderse como aquella longitud que tiene el cable una vez sometido a las cargas de trabajo. Esta longitud es imposible conocerla a priori, pero puede determinarse, utilizando la ecuación 4.8, mediante la siguiente expresión:

$$L = \int_0^l \sqrt{1 + y'^2} dx \quad (4.11)$$

La primera derivada de  $y$ , según lo establecido por la ecuación 4.9, es:

$$y' = \frac{1}{H} \cdot \frac{dM_x}{dx} = \frac{Q_x}{H} \quad (4.12)$$

Donde  $Q_x$ , siguiendo el mismo razonamiento del momento flector, es el corte *imaginario* debido a la acción de la carga vertical  $q(x)$  (tal como para una viga de luz  $l$ ). Por lo tanto, como era de esperar, se tiene que las ecuaciones 4.7 y 4.12, son idénticas.

Ahora, si se remplace la ecuación 4.12 en la ecuación 4.11, resulta:

$$L = \int_0^l \sqrt{1 + \left( \frac{Q_x}{H} \right)^2} dx \quad (4.13)$$

La ecuación 4.13, corresponde a la longitud del cable en estado final. Por *estado final*, se debe entender que corresponde a la longitud que se tendrá del cable, una vez sometido a las cargas de trabajo.

En la ecuación 4.10, de acuerdo a la teoría para determinar la *ecuación del cable*,  $L_0$  es dato, es decir, se supondrá conocido y corresponde al estado o longitud inicial del cable. Son escasas las aplicaciones de cables de acero, en que este largo inicial es conocido con absoluta certeza. Para el teleférico, se estimará que el largo inicial corresponde a la luz de suspensión del cable, más una perturbación centimétrica. Cuando se desarrolle la ecuación en forma más general, se explicará esto con más detalle, por el momento basta mencionar que el largo inicial para desarrollar la ecuación 4.10 debe ser o estimarse conocido.

El alargamiento elástico, se origina producto de la tensión axial en el cable, manteniéndose dentro de los límites establecidos por la Ley de Hooke, y está dado por la siguiente expresión:

$$\Delta L_{elas} = \int_0^s e ds = \int_0^s \frac{T}{EA} ds \quad (4.14)$$

Siendo:

$e$  : Deformación unitaria del cable.

$T$  : Tensión del cable.

$E$  : Módulo de elasticidad del cable de acero.

$A$  : Sección del cable de acero.

De la Fig. 4.19, que mostraba el segmento infinitesimal de cable, puede establecerse lo siguiente:

$$\begin{aligned} \frac{T}{ds} &= \frac{H}{dx} \\ \Rightarrow T \cdot ds &= H \cdot \frac{ds}{dx} \cdot ds = H \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \\ T \cdot ds &= H \cdot \left[ 1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \right] dx \end{aligned} \quad (4.15)$$

Así entonces, considerando lo establecido en la ecuación 4.15, la ecuación 4.14, resulta:

$$\Delta L_{elas} = \frac{H}{EA} \int_0^l (1 + y'^2) dx \quad (4.16)$$

Y remplazando la ecuación 4.9 en la expresión anterior, se obtiene la fórmula para la deformación elástica:

$$\Delta L_{elas} = \frac{H}{EA} \int_0^l \left[ 1 + \left(\frac{Q_x}{H}\right)^2 \right] dx \quad (4.17)$$

Con respecto, a la expansión o contracción térmica, esta se incluirá en el análisis para poder cuantificar la influencia de las variaciones de temperatura sobre la tensión del cable. Del mismo modo, para casos de carga donde no intervenga la temperatura, basta considerar nula la variación de temperatura. El alargamiento por temperatura se calcula con la siguiente fórmula.

$$\Delta L_{tem} = a_T \cdot \Delta T^o \cdot L_o \quad (4.18)$$

Siendo:

$a_T$  : Coeficiente de dilatación térmica o de expansión lineal. Para un cable de acero (según Prodinsa S.A.) es igual a  $0.0000125 \left[ 1/C^o \right]$ .

$\Delta T^o$  : Variación de temperatura.

Ahora, reemplazando las ecuaciones 4.13, 4.17 y 4.18, en la relación general 4.10, se tiene lo siguiente:

$$\int_0^l \sqrt{1 + \left( \frac{Q_x}{H} \right)^2} dx = L_o (1 + a_T \Delta T^o) + \frac{H}{EA} \int_0^l \left[ 1 + \left( \frac{Q_x}{H} \right)^2 \right] dx \quad (4.19)$$

La ecuación 4.19, representa la llamada *ecuación del cable* (para un cable suspendido horizontalmente bajo la acción de una carga vertical cualquiera). Como se puede ver, la solución de esta ecuación entrega la tensión horizontal  $H$  del cable, que es constante. Con esta tensión  $H$  se pueden determinar la tensión máxima del cable y, utilizando la ecuación 4.9, todas las ordenadas (flechas) del cable. Pero es necesario, plantear esta ecuación para un caso más general, ya que es casi nula la presencia de apoyos a un mismo nivel (suspensión horizontal) en un teleférico.

Una observación importante, como se verá más adelante, es que para incluir las cargas de trabajo en el análisis del cable de acero, con esta teoría de la *ecuación del cable* basta solamente establecer la expresión para el cortante (*teórico*) que estas originan.

Sin embargo, la aplicación práctica de ésta ecuación del cable, presenta dos dificultades. Sólo es posible resolverla mediante el camino de la integración numérica y, además, debe realizarse un proceso iterativo para  $H$ , hasta un valor (solución) que satisfaga el equilibrio propuesto. Para facilitar el cálculo, fue necesario entonces, desarrollar o programar un algoritmo capaz de superar estas barreras, el cual será descrito pertinentemente.

#### 4.4.2.9.b.1.2.- Determinación de la ecuación del cable para un cable inclinado.

En el diseño de teleféricos siempre se encuentra la disposición de cables inclinados, ya que con éstos, se logra salvar el desnivel. En esta sección se ampliará la *ecuación del cable* (determinada en el punto anterior) para un cable suspendido ahora en forma inclinada, bajo la acción de una carga vertical cualquiera.

Se tiene un cable suspendido, según la Fig. 4.21, con un ángulo de inclinación  $\alpha$ , que determina el desnivel existente entre los apoyos. Se considera ahora que en los apoyos actúan, una tensión  $H_a$  y las reacciones verticales  $V_A$  y  $V_B$ , respectivamente. Vale mencionar, que la tensión  $H_a$  es constante también, ya que es sólo una decisión geométrica del problema.

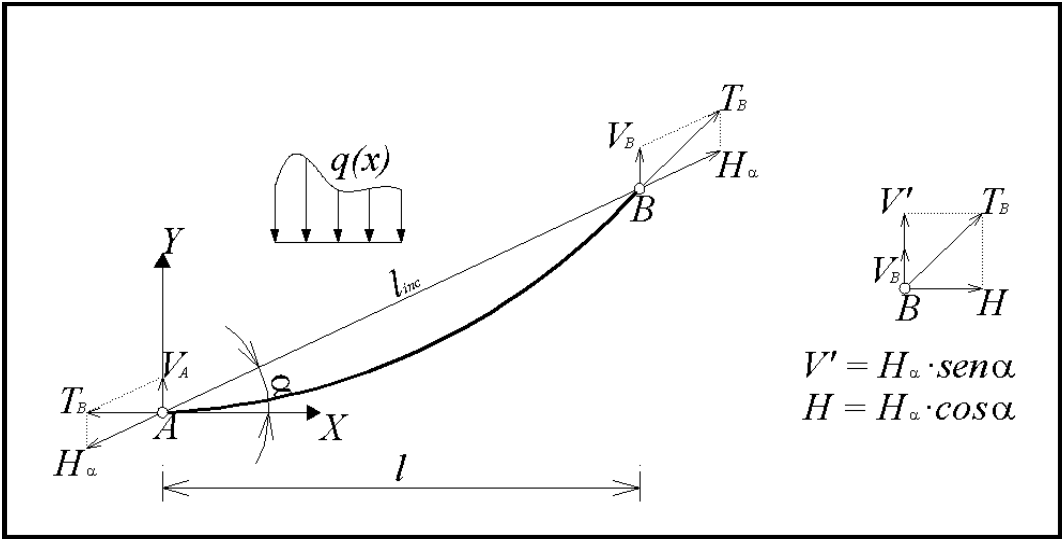
La incorporación de ésta tensión  $H_a$ , se realiza para facilitar el desarrollo del cálculo, ya que otorga la ventaja de que las reacciones verticales  $V_A$  y  $V_B$ , se determinan igual que para el cable suspendido en forma horizontal empleando la Teoría de Flexión (tienen los mismos valores que para una viga de luz  $l$ ). La tensión en cada apoyo, se obtiene de la resultante entre la tensión  $H_a$  y la reacción vertical correspondiente, tal como se indica en la Fig. 4.21 para el apoyo  $B$ .

Considerando el supuesto que dice que el momento flector en cualquier punto del cable es nulo, se puede establecer que:

$$M_x - H_a \sin \alpha \cdot x + H_a \cos \alpha \cdot y = 0$$

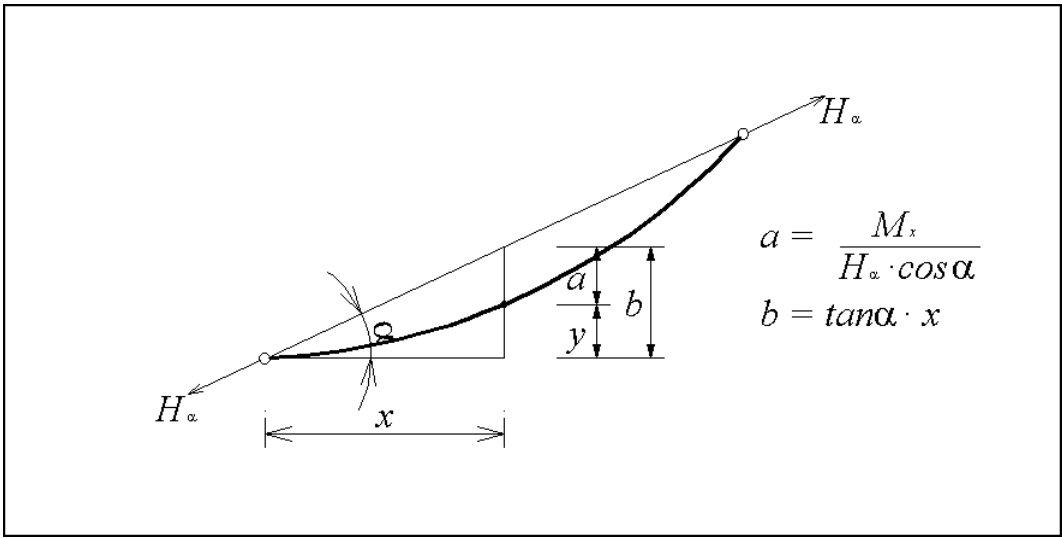
$$\Rightarrow y = \tan \alpha \cdot x - \frac{M_x}{H_a \cos \alpha} \quad (4.20)$$

La representación gráfica para  $y$ , puede verse en la Fig. 4.22.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.21.-** Cable suspendido inclinado.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.22.-** Representación gráfica de  $y$ .

De la Fig. 4.22, puede concluirse que la flecha vertical del cable para cada valor de  $x$ , corresponde al valor de  $a$ , y estará dada por la siguiente expresión (el cálculo de la flecha se verá con detalle más adelante):

$$f(x) = \frac{M_x}{H_\alpha \cos a} \tag{4.21}$$

Siguiendo con el desarrollo de la ecuación del cable, la primera derivada de  $y$ , resulta:

$$y' = \tan a - \frac{1}{H_a \cos a} \cdot \frac{dM_x}{dx} = \tan a - \frac{Q_x}{H_a \cos a} \quad (4.22)$$

El largo final del cable (ecuación 4.13), considerando ahora la primera derivada de  $y$ , según la ecuación 4.22, queda de la siguiente manera:

$$L = \int_0^l \sqrt{1 + \left( \tan a - \frac{Q_x}{H_a \cos a} \right)^2} dx \quad (4.23)$$

Ahora que la *ecuación del cable*, se está determinando en forma más general, vale detenerse a explicar como será considerado el largo inicial  $L_0$  del cable.

Como ya se mencionó, son pocos los casos en que este largo inicial es conocido con absoluta certeza, y éste no es el caso. Sin embargo, para desarrollar la *ecuación del cable*, este largo inicial debe ser o suponerse conocido. Para el cable del teleférico proyectado,  $L_0$  será estimado mediante la siguiente expresión:

$$L_0 = l_{inc} + \Delta L_0 \quad (4.24)$$

Donde:

$l_{inc}$ : luz o distancia inclinada del cable, según Fig. 4.21. ( $l_{inc} = l / \cos a$ ).

$\Delta L_0$ : Perturbación centimétrica, inducida según lo descrito en la sección anterior.

Se incluye esta perturbación *centimétrica*, para contemplar un pequeño alargamiento permanente del cable, producto de la acomodación de los torones. Además, debe considerarse que el cable, por más tenso que esté, nunca podrá dejarse completamente recto o estirado (es decir, nunca  $L_0 = l_{inc}$ )

Siguiendo con el análisis de la ecuación 4.14, considerando ahora lo determinado en esta sección para el cable con inclinación, la deformación elástica resulta:

$$\Delta L_{elas} = \frac{H_a \cos a}{EA} \int_0^l \left[ 1 + \left( \tan a - \frac{Q_x}{H_a \cos a} \right)^2 \right] dx \quad (4.25)$$

La deformación producto de las variaciones de temperatura, sigue estando dada por la ecuación 4.17.

De esta manera, estableciendo el estado de equilibrio, incluyendo las ecuaciones 4.23, 4.25 y 4.17, se tiene lo siguiente:

$$\int_0^l \sqrt{1 + \left( \tan a - \frac{Q_x}{H_a \cos a} \right)^2} dx = L_0 (1 + a_T \Delta T^o) + \frac{H_a \cos a}{EA} \int_0^l \left[ 1 + \left( \tan a - \frac{Q_x}{H_a \cos a} \right)^2 \right] dx \quad (4.26)$$

La ecuación 4.26, representa la *ecuación del cable* ampliada ahora para un cable suspendido con un cierto ángulo de inclinación  $a$ , bajo la acción de una carga vertical cualquiera. Sin embargo, de acuerdo a la modelación de la estructura, el cable del teleférico posee varios apoyos intermedios (múltiples tramos) y hasta el momento sólo se ha desarrollado la ecuación válida para cables de un tramo. Vale mencionar, que sólo basta con tomar un ángulo de inclinación  $a = 0^\circ$ , para analizar con esta ecuación 4.26, un cable suspendido en forma horizontal (Ecuación 4.19).

#### **4.4.2.9.b.1.3.- Determinación de la *ecuación del cable* para un cable inclinado con múltiples tramos.**

Hasta ahora, en los puntos anteriores se ha desarrollado la ecuación del cable para estructuras de un solo tramo. En el diseño de teleféricos, sobre todo los que utilizan el sistema de operación de circulación simultánea, se debe disponer de torres intermedias que sirvan de apoyo al cable. Se hace necesario entonces, determinar la

ecuación del cable considerando estos apoyos intermedios, es decir un cable de *múltiples tramos*.

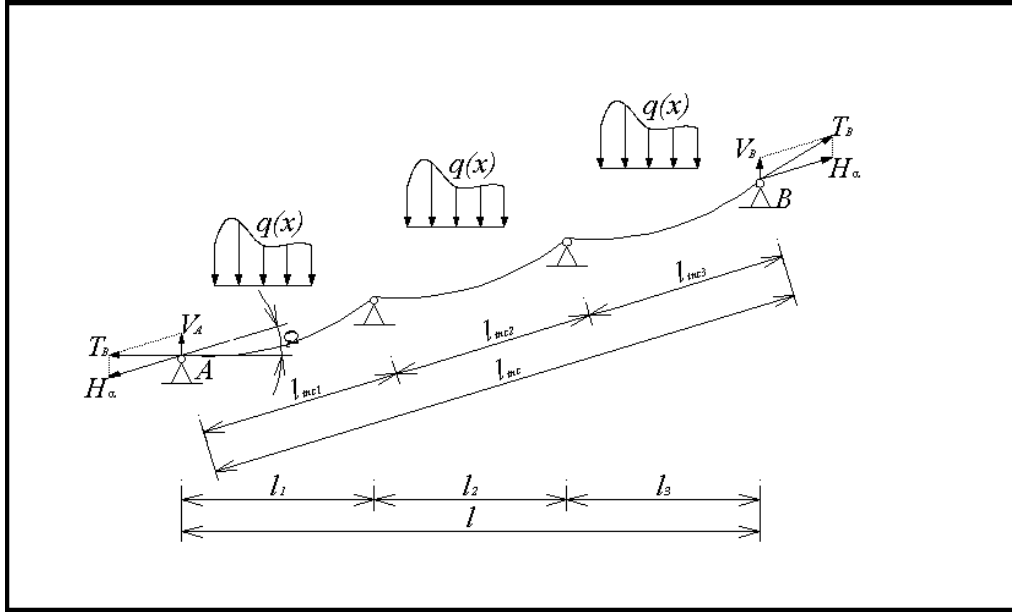
En un teleférico, al pasar el cable por estas torres de apoyo, lo hace sobre un tren de roldanas (Fig. 4.23), tal como se consideró para modelar la estructura. Si bien, al desplazarse el cable sobre estos apoyos, se produce un cierto roce que provoca pérdidas de tensión, éstas son mínimas y pueden despreciarse en el cálculo. Bajo este supuesto de que el cable se traslada sin roce por los apoyos interiores, el cálculo se facilita, ya que la tensión del cable se mantiene constante en todos los tramos.



Fuente: Lift – World (2004).

**Figura 4.23.-** Paso del cable de acero por las roldanas dispuestas en las torres intermedias de apoyo.

Se tiene el cable inclinado con múltiples tramos bajo la acción de cargas verticales, según lo indica la Fig. 4.24.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.24.-** Cable suspendido en forma inclinada, bajo acción de cargas verticales.

Para “ $n$ ” tramos, el largo  $L$  del cable en estado final, se puede expresar de la siguiente forma, considerando las ecuaciones establecidas para cables de sólo un tramo y, como ya se mencionó, que la tensión horizontal se mantiene constante en cualquier tramo:

$$L = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

$$L = \int_0^{l_1} \sqrt{1 + \left( \tan a_1 - \frac{Q_{x1}}{H_a \cos a_1} \right)^2} dx + \int_0^{l_2} \sqrt{1 + \left( \tan a_2 - \frac{Q_{x2}}{H_a \cos a_2} \right)^2} dx + \dots + \int_0^{l_n} \sqrt{1 + \left( \tan a_n - \frac{Q_{xn}}{H_a \cos a_n} \right)^2} dx$$

$$\Rightarrow L = \sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} \sqrt{1 + \left( \tan a_i - \frac{Q_{xi}}{H_a \cos a_i} \right)^2} dx \quad (4.27)$$

Para la deformación elástica, siguiendo el mismo razonamiento, se tiene entonces:

$$\Delta L_{elas} = \frac{H_a}{EA} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \cos a_i \cdot \int_0^{l_i} \left[ 1 + \left( \tan a_i - \frac{Q_{xi}}{H_a \cos a_i} \right)^2 \right] dx \right) \quad (4.28)$$

Por lo tanto, la ecuación del cable para un cable de múltiples tramos toma la siguiente forma, considerando las ecuaciones 4.27, 4.28, el largo inicial  $L_0$  y la deformación térmica para cada tramo:

$$\sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} \sqrt{1 + \left( \tan a_i - \frac{Q_{xi}}{H_a \cos a_i} \right)^2} dx = \sum_{i=1}^n L_{0i} (1 + a_T \Delta T_i^o) + \frac{H_a}{EA} \sum_{i=1}^n \left( \cos a_i \cdot \int_0^{l_i} \left[ 1 + \left( \tan a_i - \frac{Q_{xi}}{H_a \cos a_i} \right)^2 \right] dx \right) \quad (4.29)$$

Con esta ecuación, se puede determinar la máxima tensión de trabajo sobre el cable, en base a la solución  $H_a$  y a las respectivas reacciones verticales de los apoyos (Fig. 4.24).

Hasta el momento, la ecuación del cable ha sido planteada para la acción de cualquier carga vertical sobre cada tramo. A continuación, se ampliará esta ecuación para incluir el efecto de una carga lateral (viento) sobre el cable.

#### 4.4.2.9.b.1.4.- Determinación de la ecuación del cable considerando el efecto de una carga lateral.

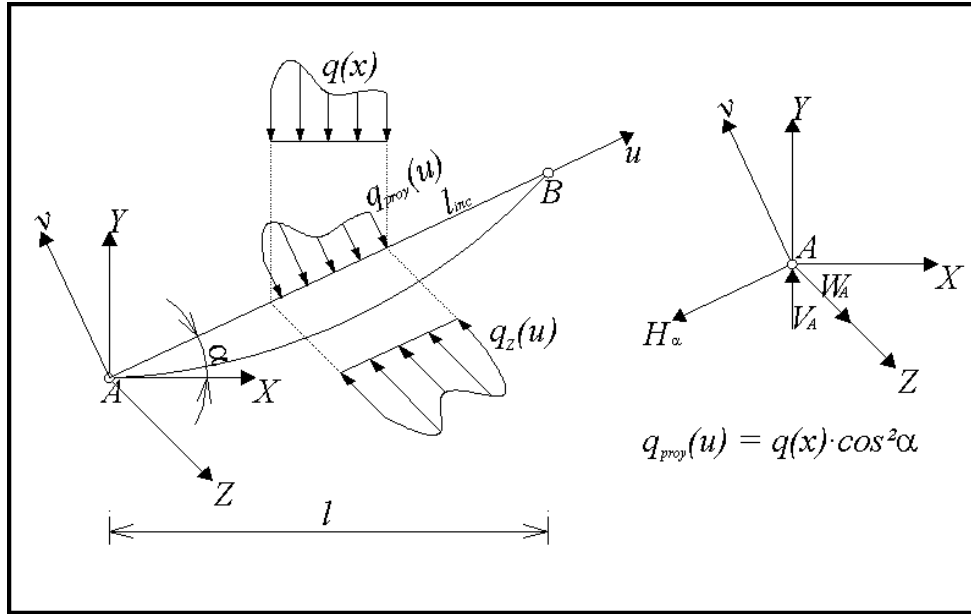
Sobre el cable de acero, componente principal en el sistema del teleférico, además del peso propio de éste y el peso de las cabinas (cargas verticales), debe analizarse la influencia de la acción del viento. Por lo tanto, debe determinarse una nueva ecuación del cable que incluya el efecto de esta carga sobre las tensiones finales.

Se tiene un cable con dos tipos de carga, según la Fig. 4.25; una carga vertical  $q(x)$  y una carga lateral  $q_z(u)$ , esta última perpendicular al plano.

El análisis será realizado en base a las siguientes consideraciones o supuestos (Fig.4.25):

- Los apoyos o nudos finales del cable se encuentran en el Plano x-y.
- Se define el Plano u-v, que coincide con el Plano x-y.
- Se remplazará la carga vertical  $q(x)$ , por su proyección sobre el eje  $u$ , es decir, por la carga  $q_{proy}(u)$ .

- La carga  $q_z(u)$  actúa en forma perpendicular al Plano x-y y se considerará distribuida sobre la luz inclinada  $l_{inc}$  del cable.
- Las reacciones verticales  $V_A$  y  $V_B$ , se originan debido a la carga vertical  $q(x)$  (como para una viga de luz  $l$ ).
- Las reacciones laterales  $W_A$  y  $W_B$ , se originan debido a la carga lateral  $q_z(u)$  (como para una viga de luz  $l_{inc}$ ).



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.25.-** Cable con carga vertical y lateral.

El largo final  $L$  del cable, debe determinarse ahora como el largo de una curva en el espacio, de la siguiente manera:

$$L = \int_0^{l_{inc}} \sqrt{1 + \left(\frac{dv}{du}\right)^2 + \left(\frac{dz}{du}\right)^2} du \quad (4.30)$$

Las derivadas  $\frac{dv}{du}$  y  $\frac{dz}{du}$ , pueden expresarse mediante la correspondiente fuerza de corte, similar a los puntos anteriores:

$$\frac{dv}{du} = \frac{Q_{proy}}{H_a} \quad y \quad \frac{dz}{du} = \frac{Q_z}{H_a}$$

$$\Rightarrow L = \int_0^{l_{inc}} \sqrt{1 + \left(\frac{Q_{proy}}{H_a}\right)^2 + \left(\frac{Q_z}{H_a}\right)^2} du \quad (4.31)$$

Siendo:

$Q_{proy}$  : Cortante debido a la carga vertical *proyectada*  $q_{proy}(u)$  (como para una viga de luz  $l_{inc}$ ).

$Q_Z$  : Cortante debido a la carga lateral  $q_Z(u)$  (como para una viga de luz  $l_{inc}$ ).

$l_{inc}$  : Luz inclinada del cable, según la Fig. 4.25.

Ya que el procedimiento es similar a lo desarrollado en las secciones anteriores, se tiene que la deformación elástica resulta:

$$\Delta L_{elas} = \frac{H_a}{EA} \int_0^{l_{inc}} \left[ 1 + \left( \frac{Q_{proy}}{H_a} \right)^2 + \left( \frac{Q_Z}{H_a} \right)^2 \right] du \quad (4.32)$$

Considerando el largo inicial y la deformación por temperatura, se obtiene la ecuación del cable para estructuras de sólo un tramo.

$$\int_0^{l_{inc}} \sqrt{1 + \left( \frac{Q_{proy}}{H_a} \right)^2 + \left( \frac{Q_Z}{H_a} \right)^2} du = L_o (1 + a_T \Delta T^o) + \frac{H_a}{EA} \int_0^{l_{inc}} \left[ 1 + \left( \frac{Q_{proy}}{H_a} \right)^2 + \left( \frac{Q_Z}{H_a} \right)^2 \right] du \quad (4.33)$$

Para “ $n$ ” tramos, siguiendo el mismo procedimiento realizado para la acción se sólo cargas verticales, resulta la *ecuación del cable* incluyendo el efecto de una carga lateral:

$$\sum_{i=1}^n \int_0^{l_{inc_i}} \sqrt{1 + \left( \frac{Q_{proy_i}}{H_a} \right)^2 + \left( \frac{Q_{Z_i}}{H_a} \right)^2} du = \sum_{i=1}^n L_{0_i} (1 + a_T \Delta T_i^o) + \frac{H_a}{EA} \sum_{i=1}^n \int_0^{l_{inc_i}} \left[ 1 + \left( \frac{Q_{proy_i}}{H_a} \right)^2 + \left( \frac{Q_{Z_i}}{H_a} \right)^2 \right] du \quad (4.34)$$

Como se puede observar, la ecuación del cable recién determinada, incluye el caso más general de carga sobre el cable del teleférico, es decir, carga vertical y lateral. Sin embargo, para efectos de analizar el cable cuando se tenga sólo cargas verticales sobre él, se empleará la ecuación del cable determinada precisamente para la acción de sólo carga vertical sobre el cable (ecuación 4.29).

Se ha decidido realizar el cálculo de esta manera, ya que al reemplazar la acción de la carga vertical por su proyección sobre el eje  $u$  (realizado en el análisis al incluir la carga lateral), sólo se considera una componente de ésta, o sea, estas cargas no son idénticas y esta diferencia aumenta para ángulos de inclinación mayores. Esto quiere decir, que si se empleara la ecuación 4.34, cuando se tenga sólo cargas verticales sobre el cable, resultarían tensiones ligeramente menores.

#### **4.4.2.9.b.2.- Cargas de trabajo sobre el cable del teleférico.**

Las ecuaciones del cable determinadas han sido desarrolladas hasta el momento considerando casos genéricos de carga, por lo tanto, deben limitarse para las verdaderas cargas de trabajo que intervendrán en el cálculo del cable para el teleférico proyectado.

Para incluir las cargas de trabajo en el análisis, basta con determinar el cortante (*teórico*) que éstas originan sobre el cable, y reemplazarlo en las ecuaciones del cable según corresponda. La excepción a la regla, es la carga de temperatura, ya que en las ecuaciones del cable sólo debe ingresarse la variación de temperatura.

##### **4.4.2.9.b.2.1.- Cargas verticales.**

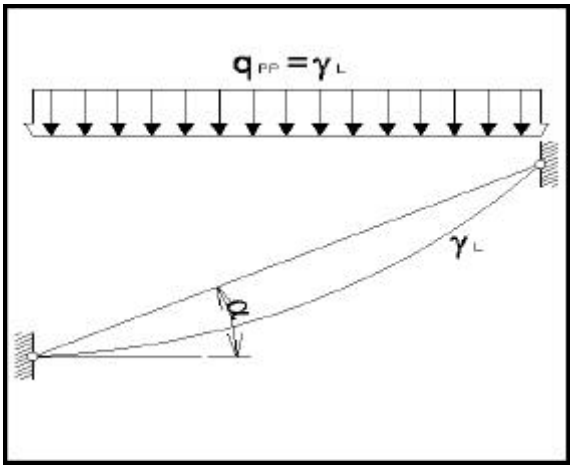
- **Peso propio.**

La carga de peso propio del cable está dada por la densidad o peso lineal ( $\gamma_L$ ) de éste. Mientras mayor es el diámetro del cable, mayor es su peso propio.

En el análisis, este peso propio será considerado como una carga vertical uniformemente distribuida sobre cada tramo de cable, según la Fig. 4.26. El peso lineal del cable, para distintos diámetros se obtuvo de los catálogos de Prodinsa S.A. (2004).

El diámetro del cable es desconocido, por tanto, el peso lineal también. El objetivo principal del diseño y análisis del cable de acero, es precisamente, determinar el diámetro mínimo necesario. Así entonces, en la ecuación del cable 4.29 (o 4.34, al incluir carga lateral), la sección  $A$  es la que permite probar con distintos diámetros de

cable, hasta encontrar el óptimo en relación a las tensiones de trabajo originadas versus la tensión mínima resistente del cable según los requerimientos del diseño.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.26.-** Peso propio del cable.

- Sobrecarga**

La sobrecarga que actúa sobre el cable del teleférico corresponde al peso de las cabinas que éste traslada.

El intervalo fijo de distancia calculado para las cabinas es de 450 metros (distanciamiento fijo, controlado por computadores). Para teleféricos de circulación simultánea, como el proyectado, como norma de los fabricantes (Pomagalski S.A.), se establece que los apoyos intermedios deben estar situados a una distancia máxima de 350 metros, por lo tanto, se concluye que nunca se tendrá más de una cabina en cada tramo.

De acuerdo a lo señalado en el párrafo precedente, la sobrecarga sobre cada tramo de cable (entre dos torres de apoyo) del teleférico corresponde a lo indicado en la Fig. 4.27, donde “ $a$ ” representa la distancia horizontal a la que se encuentra la cabina, medida desde el apoyo izquierdo (inicial).

El peso de cada cabina cargada está dado por (estos pesos son los catalogados por Pomagalski S.A.):

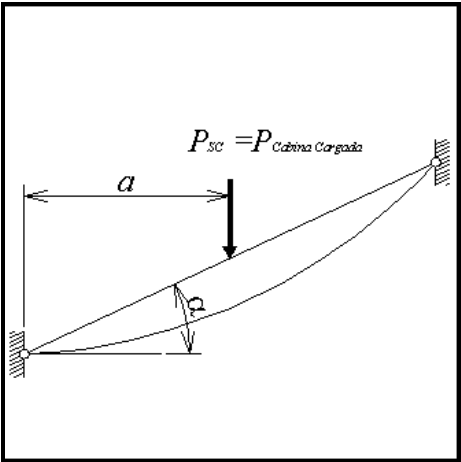
- Peso de la cabina (para 6 personas):  $P_{Cab} = 560 [Kgf]$
- Peso de pasajeros:

Capacidad: 6 personas

Peso promedio por persona adulta:  $80\text{ [Kgf]}$

$$\rightarrow P_{pers} = 6 \cdot 80\text{ [Kgf]} = 480\text{ [Kgf]}$$

$$\Rightarrow P_{Total} = 560\text{ [Kgf]} + 480\text{ [Kgf]} = 1040\text{ [Kgf]}$$

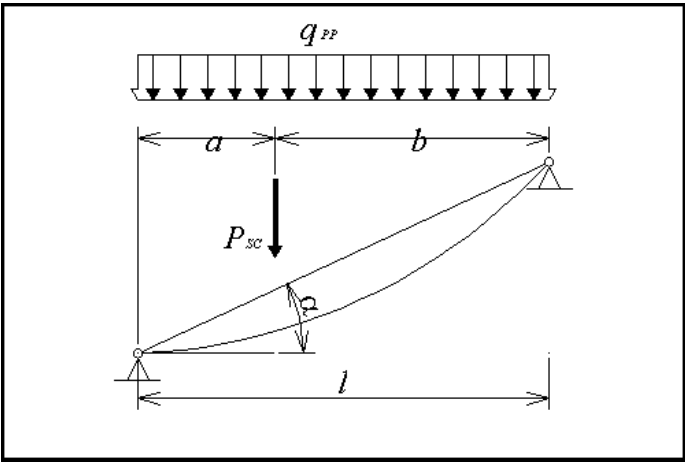


Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.27.-** Sobrecarga sobre el cable en cada tramo.

- **Peso propio más sobrecarga.**

Para efectos de ingresar estas cargas en las ecuaciones del cable, se facilita el desarrollo del análisis si se determina el cortante que éstas originan en conjunto sobre cada tramo de cable.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.28.-** Peso propio más sobrecarga.

Para emplear la ecuación del cable que sólo incluye el efecto de cargas verticales sobre el cable (Ecuación 4.29), el cortante producto de la acción del peso propio del cable más la influencia del peso de la cabina cargada, está dado por las siguientes expresión para  $Q_x$  en cada tramo (según Fig. 4.28):

$$\text{Para: } 0 \leq x \leq a \quad \rightarrow Q_x = \left( \frac{q_{pp} \cdot l}{2} + \frac{P_{sc} \cdot b}{l} \right) - q_{pp} \cdot x \quad (4.35)$$

$$\text{Para: } a < x \leq l \quad \rightarrow Q_x = \left( \frac{q_{pp} \cdot l}{2} + \frac{P_{sc} \cdot b}{l} \right) - q_{pp} \cdot x - P_{sc} \quad (4.36)$$

Donde  $a$  y  $b$ , se obtienen según las distintas posiciones de la cabina en cada tramo.

De esta manera, considerando que no se tendrá más de una cabina por tramo, quedan definidas las expresiones para  $Q_x$ , necesarias para solucionar la ecuación del cable (4.29), para cualquier posición de la carga concentrada  $P_{sc}$  a lo largo de la luz del cable. Vale mencionar, que se facilita el análisis al determinar las expresiones del cortante que originan el peso propio y la sobrecarga en conjunto, ya que en las ecuaciones de corte recién determinadas basta considerar  $P_{sc} = 0$  para incluir aquellos tramos en los cuales sólo se tenga la acción del peso propio (ninguna cabina en el tramo).

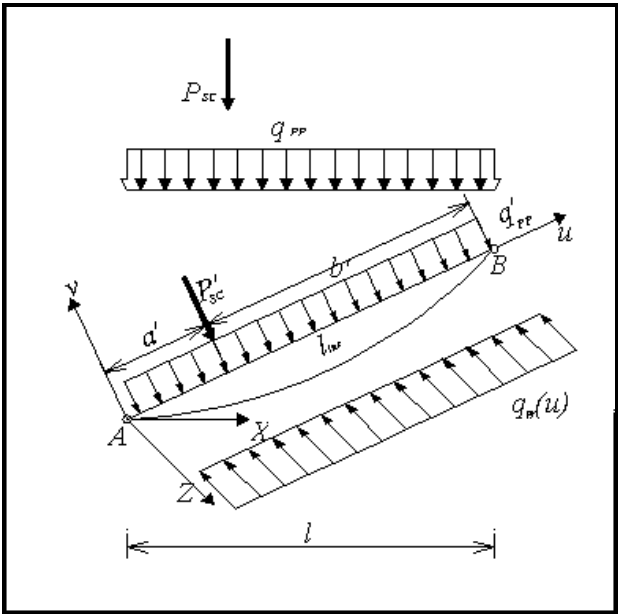
Para el caso del cortante, necesario para la ecuación del cable que incluye la acción de una carga lateral (Ecuación 4.34), éste corresponde al que originan las cargas verticales (peso propio y cabina cargada) pero ahora proyectadas sobre el eje  $u$ . Para cada tramo, según la Fig. 4.29, se tendrán entonces las siguientes expresiones considerando la *proyección de las cargas*:

$$\text{Para: } 0 \leq u \leq a' \quad \rightarrow Q_{proy} = \left( \frac{q'_{pp} \cdot l_{inc}}{2} + \frac{P'_{sc} \cdot b'}{l_{inc}} \right) - q'_{pp} \cdot u \quad (4.37)$$

$$\text{Para: } a' < u \leq l_{inc} \quad \rightarrow Q_{proy} = \left( \frac{q'_{pp} \cdot l_{inc}}{2} + \frac{P'_{sc} \cdot b'}{l_{inc}} \right) - q'_{pp} \cdot u - P'_{sc} \quad (4.38)$$

Donde (según la Fig. 4.29):

$$\begin{aligned} q'_{PP} &= q_{PP} \cdot \cos^2 a & P'_{SC} &= P_{SC} \cdot \cos a \\ a' &= a / \cos a & b' &= b / \cos a \end{aligned}$$



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.29.-** Cargas verticales para *ecuación del cable* que incluye carga lateral.

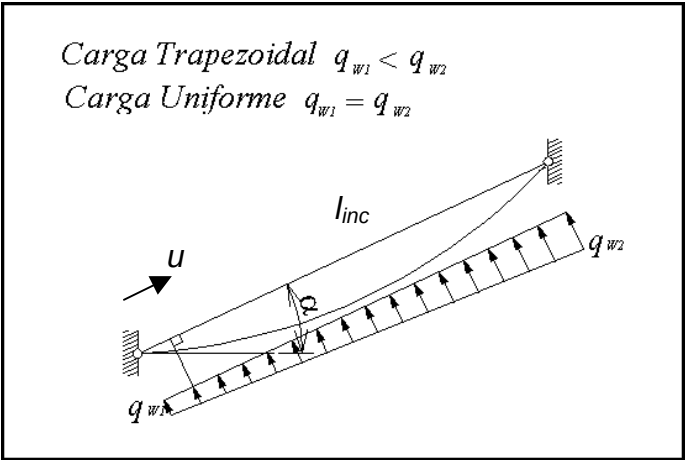
**4.4.2.9.b.2.2.- Carga lateral.**

- **Viento.**

Si bien, se ha dicho que por razones de seguridad el funcionamiento del teleférico se detiene cuando el viento supera los 80[Km/hora], esto no implica que el cable una vez detenido el sistema (sin cabinas sobre el cable) no deba soportar vientos mayores.

La carga de viento será considerada basándose en lo estipulado en la NCh 432.Of.71, es decir, determinando una presión básica. La presión sobre el cable será entonces, la presión básica (dada por la velocidad del viento) multiplicada por el diámetro del cable, de esta manera, se tendrá una carga “lineal” distribuida uniformemente sobre el cable.

La acción del viento en el presente análisis será considerada como una carga “uniformemente” distribuida sobre toda la luz del cable. Sin embargo, en el algoritmo computacional programado, se ha considerado la carga lateral distribuida en forma trapezoidal sobre la luz del cable, sólo para otorgarle un mayor campo de aplicación en el futuro al programa.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.30.-** Carga de viento sobre el cable.

Así entonces, para el cortante que se debe incluir en la *ecuación del cable* 4.34, producto de la carga de viento en un tramo (según Fig. 4.30) se tendrá, tal como para una viga de luz  $l_{inc}$ , la siguiente expresión:

$$\text{Para: } 0 \leq u \leq l_{inc} \quad \rightarrow Q_z = \left( \frac{q_{w1} \cdot l_{inc}}{2} + \frac{(q_{w2} - q_{w1}) \cdot l_{inc}}{6} \right) - q_{w1} \cdot u - \frac{(q_{w2} - q_{w1}) \cdot u^2}{2 \cdot l_{inc}} \quad (4.39)$$

Vale recalcar, que para el cable del teleférico se analizará una carga de viento distribuida uniformemente, esto implica que en la expresión 4.39, simplemente se debe considerar  $q_{w1} = q_{w2}$  (Fig. 4.30).

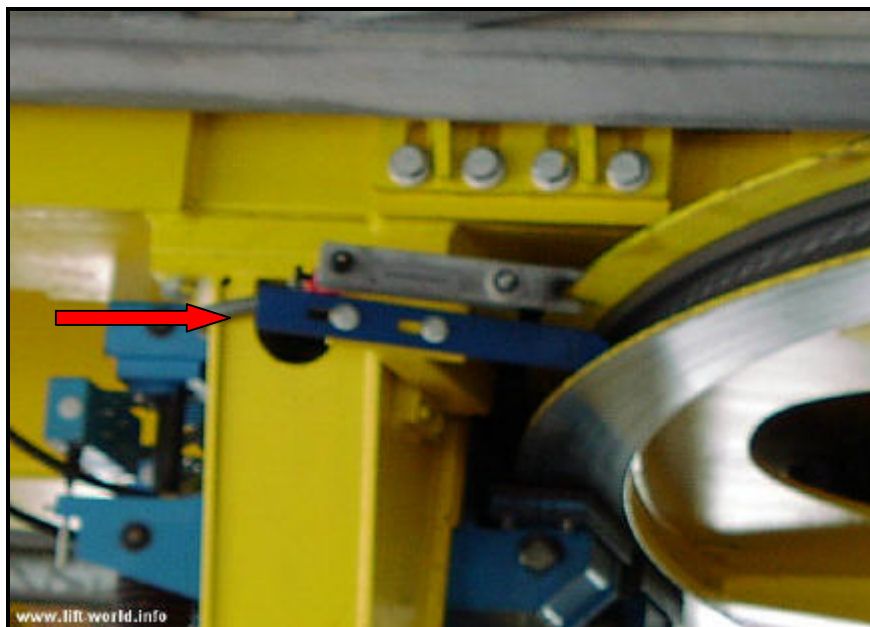
#### 4.4.2.9.b.2.3.- Otras cargas.

- **Nieve**

El Cerro Divisadero, lugar donde será emplazado el teleférico, en invierno se cubre totalmente de nieve. Las temperaturas extremas bajo cero que se presentan en Coyhaique, permiten pensar que más que una carga de nieve, se tendrá una eventual

carga de hielo sobre el cable. Esta carga de hielo, es perjudicial al combinarse con cargas de viento, ya que aumenta el área de exposición, provocándose mayores oscilaciones, debido a la forma aerodinámica que adquiere la sección del cable.

Los teleféricos y andariveles en general, son instalados de preferencia en centros de ski y, por lo tanto, la carga de hielo o nieve ha sido bien estudiada. Es así, como los fabricantes han elaborado un sistema muy simple que elimina totalmente la capa de hielo que pudiera formarse sobre el cable. Tal como se observa en la Fig. 4.31, la capa de hielo se rompe al pasar el cable por las poleas, ya que existe un elemento metálico, llamado en inglés *“ice scraper”*, es decir, textualmente es un “raspador de hielo”.



Fuente: Lift – World (2004).

**Figura 4.31.-** Raspador de hielo.

- **Temperatura**

Para desarrollar las ecuaciones del cable basta sólo con ingresar la variación de temperatura, determinando estas oscilaciones térmicas, alargamientos o contracciones sobre el cable de acero que influyen directamente en la tensión del cable.

#### 4.4.2.9.b.3.- Combinaciones de cargas

El cable de acero para el teleférico, como ya se ha mencionado anteriormente, debe diseñarse elásticamente. Se establece entonces, que sujeto el cable a las cargas de trabajo, la tensión no puede superar una tensión admisible, que garantice mantenerse dentro del rango elástico.

Las combinaciones de cargas, utilizando estos criterios del diseño elástico, corresponden simplemente a la suma de las sollicitaciones. Se puede aminorar la acción de estas combinaciones cuando se incluyan cargas de tipo eventual.

Las combinaciones de carga que se analizarán serán las siguientes:

$$C1 = PP + SC$$

$$C2 = 0.75(PP + SC + W)$$

$$C3 = PP + W$$

$$C4 = 0.75(PP + SC \pm \Delta T^o)$$

Donde:

**PP** : Peso propio del cable de acero, según Fig. 4.26.

**SC** : Sobrecarga en el cable de acero (cabinas cargadas), según Fig. 4.27.

**W** : Carga de viento, considerada como carga uniformemente distribuida sobre el cable de acero.

**DT°** : Variación u oscilación térmica.

El estado de carga que se supone predominante es el **C1**, por lo tanto, la tensión máxima de trabajo para diseñar y analizar el cable, estará dada por el peso propio más la sobrecarga producto de las cabinas cargadas. Estas últimas son las denominadas por Prodinsa S.A. como las *cargas seguras de trabajo*. Para las demás combinaciones, debido a su carácter de eventual, sólo se determinará su influencia en la tensión del cable, verificando si se mantiene satisfactorio el diseño.

Vale indicar, que si bien la sobrecarga (cabinas cargadas) es una carga del tipo móvil, su efecto no será aumentado mediante un factor, como sucede por ejemplo en el diseño de puentes. Esto es, porque la configuración de carga está claramente establecida por el distanciamiento fijo que se tiene entre las cabinas (intervalo de

distancia), o sea, se tiene pleno dominio sobre la cantidad máxima de cabinas y la posición más desfavorable de éstas sobre el cable.

#### 4.4.2.9.b.4.- Flecha del cable.

##### 4.4.2.9.b.4.1.- Flecha vertical.

De acuerdo a la ecuación 4.21, la flecha vertical del cable, para cada tramo de la estructura, estará dada para cualquier valor de  $x$ , por la siguiente expresión:

$$f_v(x) = \frac{M_x}{H_a \cos a} \quad (4.40)$$

Así entonces, el momento flector *imaginario* originado por las cargas verticales de trabajo que se tenga en cada tramo, siguiendo el mismo razonamiento del cortante, resulta (como para una viga de luz  $l$ ):

$$\text{Para: } 0 \leq x \leq a \quad \rightarrow M_x = \left( \frac{q_{pp} \cdot l}{2} + \frac{P_{sc} \cdot b}{l} \right) \cdot x - \frac{q_{pp} \cdot x^2}{2} \quad (4.41)$$

$$\text{Para: } a < x \leq l \quad \rightarrow M_x = \left( \frac{q_{pp} \cdot l}{2} + \frac{P_{sc} \cdot b}{l} \right) \cdot x - \frac{q_{pp} \cdot x^2}{2} - P_{sc} (x - a) \quad (4.42)$$

De esta manera, una vez determinada la tensión  $H_a$  (ecuaciones 4.29 o 4.34), con la ecuación 4.40 se puede calcular la flecha vertical para un  $x$  cualquiera a lo largo del tramo.

##### 4.4.2.9.b.4.2.-Flecha horizontal.

Similar a lo establecido para la flecha vertical, la flecha horizontal está dada por la siguiente expresión, considerando ahora la acción de una carga lateral en el tramo:

$$f_H(u) = \frac{M_z}{H_a} \quad (4.43)$$

El momento flector *imaginario* originado por la carga lateral de viento, tal como para una viga de luz  $l_{inc}$ , resulta:

$$\text{Para: } 0 \leq u \leq l_{inc} \quad \rightarrow M_z = \left( \frac{q_{W1} \cdot l_{inc}}{2} + \frac{(q_{W2} - q_{W1}) \cdot l_{inc}}{6} \right) \cdot u - \frac{q_{W1} \cdot u^2}{2} - \frac{(q_{W2} - q_{W1}) \cdot u^3}{6 \cdot l_{inc}}$$

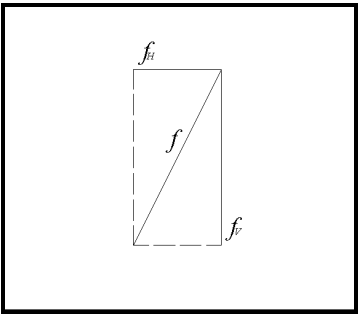
(4.44)

De esta manera, una vez determinada la tensión  $H_a$  (ecuaciones 4.29 o 4.34), con la ecuación 4.43 se obtiene la flecha horizontal para un  $u$  cualquiera a lo largo del tramo (para expresar en valores de  $x$ , basta con una descomposición geométrica). Si bien, para efectos del diseño se sabe que sólo predomina la flecha vertical, siempre es interesante conocer como se comportará el cable en forma horizontal.

**4.4.2.9.b.4.3.- Flecha.**

La flecha final del cable para distintos valores de  $x$  a lo largo de cada tramo, se puede obtener en forma aproximada como la resultante entre la flecha vertical y horizontal (Fig. 4.32), de la siguiente manera:

$$f = \sqrt{f_H + f_V} \tag{4.45}$$



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.32.- Flecha del cable.**

#### 4.4.2.9.b.5.- Solución numérica del problema.

Se ha desarrollado para resolver numéricamente el problema del análisis del cable de acero un programa para efectuar los cálculos. El programa resuelve las ecuaciones del cable presentadas, obteniendo como solución la tensión del cable sometido a las cargas de trabajo descritas. Además, entrega las flechas del cable para cualquier posición y las reacciones de apoyo. El programa ha sido bautizado con el nombre de *Intocables PG 1.0* y el lenguaje de programación utilizado fue Fortran.

A continuación se hará una descripción del programa, para explicar en forma clara su funcionamiento para un caso genérico de aplicación. En el Anexo E se presenta un diagrama de flujo del programa.

##### 4.4.2.9.b.5.1.- Entrada de datos.

- Propiedades del cable de acero.

$d$  : Diámetro del cable de acero  $[mm]$ .

$E$  : Módulo de elasticidad  $[Kgf/mm^2]$ .

$a_T$  : Coeficiente de dilatación térmica  $[1/C^\circ]$ .

- Modelación de la estructura.

Los datos son ingresados por tramo

$n$  : Número de tramos.

Entonces, por tramo se tiene:

$l$  : luz o distancia horizontal del cada tramo de cable, en *metros*.

$a$  : Ángulo de inclinación del cable en grados (sentido antihorario con respecto a la horizontal). Internamente el programa calcula  $l_{inc} = \frac{l}{\cos a}$ .

- Largo inicial del cable.

El programa trabaja con un largo inicial para cada tramo, y el valor ingresado es a elección del usuario (en *metros*). De esta manera el largo total inicial del cable es simplemente la suma de los largos iniciales considerados para cada tramo de la estructura.

El largo inicial para cada tramo, como ya se ha mencionado, en el desarrollo de esta tesis será considerado de la siguiente forma:

$$L_0 = l_{inc} + \Delta L_0$$

- Cargas sobre cada tramo.

Las cargas verticales que el programa soporta son, una carga uniformemente distribuida  $q$  (sobre luz horizontal  $l$ ) y una carga puntual  $P$ , para cualquier posición de ésta última dentro de la luz del tramo

La carga lateral puede ingresarse como carga lineal distribuida en forma trapezoidal, de esta forma manera, se tiene un  $q_1$  en el apoyo inicial y un  $q_2$  en el apoyo final (si  $q_1 = q_2$  se tiene una carga uniformemente distribuida, que es la que se empleará en este estudio como carga de viento). Vale mencionar, que si el usuario desea incluir una carga trapezoidal,  $q_1$  debe ser siempre menor o igual que  $q_2$ .

Tanto el  $q$  (carga lineal) vertical como lateral, deben ingresarse en  $Kgf / m$ .

Se incluye además una carga de temperatura, ingresando simplemente la variación ( $DT^\circ$ ) positiva o negativa de ésta, en grados *Celsius*.

#### 4.4.2.9.b.5.2.- Procedimiento de cálculo.

- **Proceso iterativo.**

Para resolver el problema se debe encontrar un valor de  $H_a$ , tal que satisfaga la igualdad propuesta por la ecuación del cable (ecuaciones 4.29 o 4.34, según el caso de carga). Por tanto, el programa desarrolla un proceso iterativo para  $H_a$ , encontrando la

solución cuando la diferencia entre los lados derecho e izquierdo de la ecuación del cable, sea menor o igual a un error dado ( $e = 0.0000001$ ). Es decir, el programa internamente considera cada lado de la ecuación como una función distinta, y va verificando si para un cierto valor de  $H_a$  se cumple que la resta de estas funciones es menor o igual a  $e$ . Vale indicar, que al ingresar el diámetro de un cierto cable, se obtiene la tensión para ese cable en particular, es decir, así se debe ir tanteando hasta encontrar el cable que satisfaga los requerimientos de resistencia.

Como es de esperar, el valor de  $H_a$  es totalmente desconocido y no otorgarle al programa un rango donde encontrar la solución, inundaría el proceso de un excesivo número de iteraciones.

Es por esto, que fue necesario optimizar el proceso iterativo definiendo ciertos límites o rangos de solución. El programa internamente desarrolla dos nuevas ecuaciones; una ecuación *aproximada* del cable y una ecuación del cable considerándolo inextensible ( $EA = \infty$ ). El programa encuentra la solución  $H_a$  para ambas ecuaciones, de esta manera, con estos dos valores y teniendo en cuenta que el mínimo valor para la tensión del cable es cero, ya se cuenta con tres puntos o límites para definir rangos de solución.

Tomando como base los límites o rangos de solución recién establecidos y empleando el Método de Bisección, el programa comienza el proceso iterativo trabajando cada vez con intervalos o rangos más pequeños, hasta definitivamente hallar la solución. Así el valor de  $H_a$  que satisface el equilibrio se encuentra para un reducido número de iteraciones.

- **Integración numérica.**

Para determinar la diferencia entre ambos lados de la ecuación del cable para cada valor que  $H_a$  tomara durante el proceso iterativo, primero era necesario que el programa superara la barrera de la integración numérica.

El método elegido para resolver numéricamente las integrales presentes en ambos lados de la ecuación, fue el Método del Trapecio Compuesto .

- **Observaciones.**

Como se mencionó en párrafos precedentes, para efectos de obtener mayor precisión de cálculo, se ha decidido incluir en el programa dos ecuaciones del cable, una que considera sólo la acción de cargas verticales y otra que considera además de las cargas verticales, una carga lateral. Así entonces, si se ingresa una carga lateral nula, el programa trabajará con la ecuación 4.29 y de suceder lo contrario, lo hará con la ecuación 4.34.

- **Salida de resultados.**

- Tensión Máxima del cable. El programa calcula la tensión máxima del cable, es decir la mayor entre la del apoyo inicial ( $T_A$ ) y la del apoyo final ( $T_B$ ).
- Flecha del cable. El programa determina la flecha para cualquier valor de  $x$  a lo largo de cada tramo de cable.
- Reacciones de apoyo.

#### **4.4.2.9.b.6.- Elección del cable.**

Antes de comenzar el análisis, para determinar en forma numérica el cable requerido para el cable del teleférico proyectado, es importante primero elegir las características técnicas que debe poseer el cable más adecuado para el sistema monocable seleccionado.

El cable para adquirir movimiento debe necesariamente pasar por las poleas, y aunque estas sean de un diámetro considerable, el cable sufre una leve incurvación (fatiga de flexión) tanto en la polea motriz como en la tensora, por lo tanto, se debe emplear un cable que posea buena flexibilidad. El mismo transitar del cable por estas poleas, y además, por los roldanas sobre las torres intermedias, implica que debe elegirse un cable que por sobre todo posea una excelente resistencia a la abrasión, ya que el roce del cable con estos elementos es importante al estar pasando constantemente sobre ellos.

La serie y construcción seleccionada para el cable, es la 6x19 Seale, debido a que es la que mejor combina sus propiedades mecánico-resistentes, con los requerimientos de flexibilidad y resistencia a la abrasión, impuestos por las condiciones de trabajo. Al consultar al experto del Departamento Técnico de Prodinsa S.A., este recomendó un cable con construcción 6x7 o 6x19 Seale, lo cual sólo viene a confirmar la decisión tomada. No se ha elegido la construcción 6x7, ya que estos cables son fabricados principalmente en diámetros pequeños y son cables menos flexibles que los de la serie 6x19.

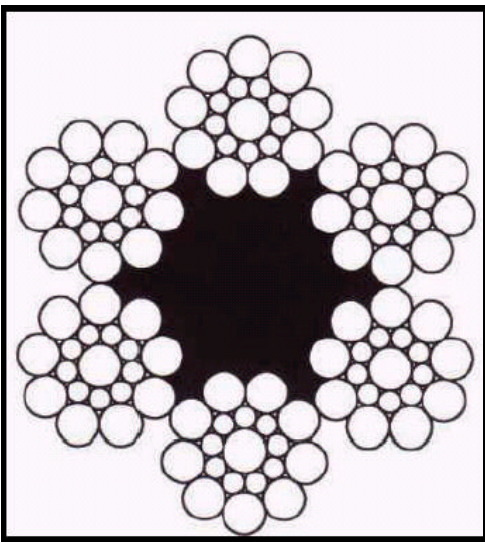
Con respecto, al torcido del cable, el recomendado y elegido es el torcido Lang, ya que tal como se describió pertinentemente, éste otorga al cable mayor flexibilidad y resistencia a la abrasión que el torcido Regular. Al describirse las características del torcido Lang, se mencionó que éstos cables están propensos a destorcerse, sin embargo, esta tendencia se elimina totalmente, al ser el cable del teleférico, un cable cerrado (sin fin) y, por consiguiente, de extremos fijos. Además, el proceso de preformado, incluido como norma por Prodinsa S.A., confirma que se suprime totalmente esta tendencia.

Ya que es indistinto elegir entre torcido izquierdo o derecho, se elige el torcido derecho por ser el más empleado, hasta el punto de ser denominado, como de *fabricación normal*.

Una vez puesto en servicio, el cable deberá soportar cargas de aceleraciones y frenado, que se originan naturalmente al ser un sistema que se encuentra constantemente en movimiento y que además, transporta carga. Por esto, el cable que mejor se adecua a estas condiciones de trabajo, es un cable con alma de fibra. Así entonces, se ha optado por un cable con alma de fibra sintética, ya que este material otorga al cable mayor capacidad para absorber o amortiguar estos impactos y presenta mayor resistencia a la descomposición que la fibra natural.

Vale mencionar, que el cable elegido no será galvanizado, ya que se ha optado por una lubricación o engrasado periódico, ya que el recubrimiento de zinc sólo merma la elasticidad y además, aumenta el costo de adquisición.

En resumen, considerando todas las decisiones tomadas y revisando los catálogos proporcionados por Prodinsa S.A., se tiene entonces que el cable elegido, responde a la denominación comercial de **Cobra AF 6x19 (9/9/1) Seale LD** (Fig. 4.33).



Fuente: Prodinsa S.A. (2004).

**Figura 4.33.-** Cobra AF 6x19 Seale.

Las propiedades de este cable para diversos diámetros, se pueden ver en el Cuadro IV.6, siguiente (para diámetros mayores fue necesario consultar a la empresa):

**Cuadro IV.6.-** Propiedades del Cobra AF 6x19 para diversos diámetros.

| Diámetro<br>Nominal |       | Construcción<br>Normal | Peso<br>aprox. | Resistencia de ruptura |       |
|---------------------|-------|------------------------|----------------|------------------------|-------|
|                     |       |                        |                | minima garantizada     |       |
| mm                  | pulg. | Nº alam.torón          | kg/m           | Ton.Metrica            | kN    |
| 8.0                 | 5/16  | 19 s                   | 0.240          | 4.19                   | 41.09 |
| 9.0                 | -     | 19 s                   | 0.300          | 5.30                   | 51.98 |
| 9.5                 | 3/8   | 19 s                   | 0.340          | 6.31                   | 61.88 |
| 11.0                | 7/16  | 19 s                   | 0.450          | 8.58                   | 84.14 |
| 13.0                | 1/2   | 19 s                   | 0.640          | 11.2                   | 109.8 |
| 14.5                | 9/16  | 19 s                   | 0.790          | 14.2                   | 139.3 |
| 16.0                | 5/8   | 19 s                   | 0.960          | 17.5                   | 171.6 |
| 18.0                | -     | 19 s                   | 1.220          | 22.5                   | 220.6 |
| 19.0                | 3/4   | 19 s                   | 1.360          | 25.2                   | 247.1 |
| 22.0                | 7/8   | 19 s                   | 1.820          | 34.4                   | 337.3 |
| 24.0                | -     | 19 s                   | 2.170          | 40.1                   | 393.2 |
| 26.0                | 1"    | 19 s                   | 2.540          | 44.9                   | 440.3 |
| 29.0                | 1"1/8 | 19 s                   | 3.170          | 56.9                   | 558.0 |
| 32.0                | 1"1/4 | 19 s                   | 3.850          | 69.5                   | 681.6 |

Fuente: Prodinsa S.A. (2004).

Como el cable posee alma de fibra, de acuerdo al Cuadro IV.5, se tiene que para cualquier diámetro del cable, el módulo de elasticidad que se debe considerar es:

$$E = 5.000 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

Con respecto, al coeficiente de dilatación térmica, para los cables de acero, este es, de acuerdo Prodinsa S.A.:

$$\alpha_t = 0.0000125 \text{ } 1/C^\circ$$

Para elegir el diámetro que debe tener el cable, se debe proceder en forma iterativa, es decir, tanteando o probando diversos diámetros. El análisis concluye una vez encontrado aquel cable óptimo que resista las cargas de servicio, trabajando bajo la tensión admisible dada.

#### **4.4.2.9.b.7.- Cálculo de la tensión máxima del cable.**

A modo ilustrativo y para comprender de mejor manera lo realizado en esta tesis, se presentará sólo el procedimiento de cálculo para el diámetro del cable determinado como óptimo para resistir las cargas de trabajo.

Para calcular la tensión estática del cable, se utilizó el programa *Intocables PG 1.0*, para lo cual se debe conocer la modelación de la estructura, lo que involucra la geometría del cable y las cargas sobre cada tramo. En el Anexo E se presenta el archivo de entrada de datos empleado para trabajar con el programa.

- **Geometría de la línea del teleférico.**

Para definir la geometría del problema, se trabajó primero determinando la distancia entre las torres intermedias de apoyo y la altura aproximada de estas, considerando sólo una vía o ramal, debido a la simetría según la modelación de la estructura.

La distancia máxima entre apoyos, recomendada por Pomagalski S.A., es de 350 metros para teleféricos de circulación simultánea. Sin embargo, al calcular ejemplos sencillos (con *Intocables PG 1.0*) para cables con 350 metros de luz, en condiciones de carga similares a las establecidas para el teleférico, se obtuvieron flechas máximas que

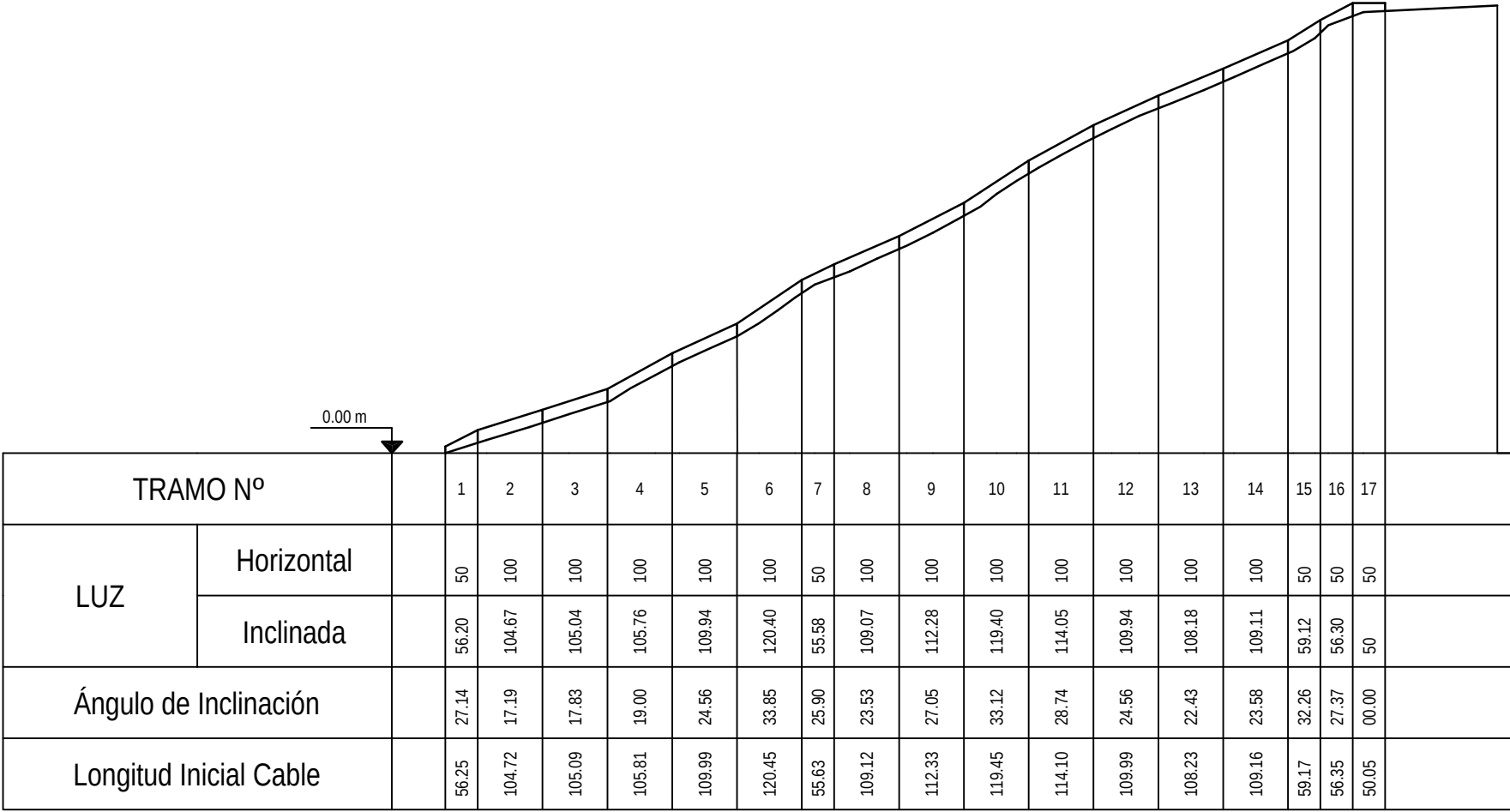
superan los 30 metros, por lo cual, en estas condiciones se deberían instalar torres de apoyo de excesiva altura. Al revisar las publicaciones informativas y catálogos proporcionados por Pomagalski S.A., se encontró que para teleféricos instalados y suministrados por la empresa en diversos países, la distancia horizontal promedio entre las torres mecánicas de apoyo considerada no supera los 100 metros. Así entonces, para establecer la geometría, se estableció una distancia horizontal regular entre apoyos de 100 metros. Sólo en tramos donde el terreno presenta una pendiente excesiva en una distancia reducida se incluyeron tramos de 50 metros.

Al calcular ejemplos simples para cables de 100 metros de luz se obtuvieron flechas máximas que no superan los 10 metros, por lo tanto, en la geometría del problema se consideraron satisfactorias, tal como lo señala Pomagalski S.A., torres de apoyo de 20 metros de altura promedio. Las alturas definitivas y el diseño de las torres de apoyo no serán incluidos en este estudio, ya que en su análisis prevalecen aspectos mecánicos más que estructurales y que deben ser determinados por especialistas en teleféricos, principalmente porque evitan un eventual descarrilamiento del cable mientras este circula.

De esta manera, trabajando directamente sobre el perfil longitudinal del trazado seleccionado (Lámina C.2, Anexo C) se emplazó o dispuso el cable sobre el trazado seleccionado (Lámina C.3, Anexo C). Como se observa en este último, el cable se dispuso de manera tal, que cumpla el objetivo de salvar el desnivel. Es por esto, que en la zona de la cumbre del Divisadero, no tiene mayor sentido seguir trazando cable, ya que basta con lograr acceder a ella, además, es una manera de no exponer el cable y las cabinas a los fuertes vientos que se presentan en cualquier cumbre de montaña.

Como fue mencionado al momento de describir la solución numérica del problema, el cable es considerado como de múltiples tramos y para facilitar el ingreso de los datos, éstos fueron ingresados por tramo de cable. Vale mencionar que el cable es uno sólo, pero se debe entender como “un tramo de cable” al correspondiente cable que queda suspendido entre dos torres de apoyo consecutivas.

En la Lámina IV.1 se muestra la disposición del cable sobre el perfil longitudinal con las características geométricas determinadas para cada tramo de cable. Como se puede ver en esta lámina, el cable resultó de 17 tramos, cada cual con sus respectivas características geométricas, es decir, las distancias o luces horizontal e inclinada, las cuales determinan el ángulo de inclinación del tramo.



Dentro de las características geométricas de cada tramo de cable se incluyó como dato en la Lámina IV.1 el respectivo largo inicial estimado. Si bien este largo inicial de cada tramo de cable no se fundamenta en forma precisa como una decisión geométrica, como se mencionó al momento de determinar las *ecuaciones del cable*, este debe ser o estimarse conocido. Para el teleférico proyectado fue estimado, induciendo una pequeña perturbación centimétrica (5 cm) sobre la longitud mínima de cable para cada tramo, es decir, su luz o distancia inclinada.

- **Cargas de trabajo**

La carga de peso propio del cable fue considerada como una carga lineal distribuida uniformemente sobre él. Esta carga lineal está dada por el peso lineal de cada cable según su diámetro y también es ingresada por tramo. De esta manera, como el análisis debió desarrollarse en base a un tanteo de diversos cables hasta encontrar aquel denominado óptimo, para cada diámetro de cable se ingresó un respectivo peso lineal.

Con respecto, a la sobrecarga en cada tramo de cable, es decir, sólo una cabina cargada, primero se debía conocer la posición más desfavorable de ésta, a lo largo de la luz de cada tramo de cable. Ejemplos sencillos calculados con Intocables PG 1.0, permitieron confirmar lo que indicaba la intuición y esto es que la posición más desfavorable de la cabina cargada en un tramo de cable, se obtiene cuando la cabina se encuentra en la mitad del tramo.

Así entonces, una vez establecido que el caso más desfavorable de sobrecarga sucede cuando esta se sitúa en la mitad del tramo, se determinaron las configuraciones de las distintas probabilidades de sobrecarga que podían presentarse sobre el cable, de acuerdo a la ubicación o posición de las cabinas en la línea o perfil del teleférico. Para desarrollar esto, se empleó una cabina de referencia, llamada así ya que utilizando el intervalo o distanciamiento fijo entre cabinas calculado (450 metros) basta con ubicar esta cabina de referencia sobre la línea del teleférico para poder conocer la ubicación de las demás.

Se trabajó con 17 configuraciones de sobrecarga o posiciones de las cabinas cargadas sobre el cable. Son *diecisiete*, ya que corresponde a la cantidad de configuraciones de carga más desfavorables, puesto que se tiene esta misma cantidad de tramos. Es decir, se ubicó en cada tramo una cabina de referencia en la posición más desfavorable, en el centro del tramo, y la posición de las demás cabinas se determinó en base al intervalo fijo de distancia predeterminado.

En el Cuadro IV.7 se describen las configuraciones de sobrecarga consideradas, de acuerdo a la posición de las cabinas en la línea del teleférico, a partir de las posiciones más desfavorables de la cabina de referencia. La posición de las cabinas en el Cuadro IV.7 se indican en base a su distancia horizontal desde el apoyo inicial o izquierdo (según Lámina IV.1).

La carga de trabajo está dada entonces por la carga de peso propio más la sobrecarga producto del tránsito de las cabinas cargadas. La configuración de carga más desfavorable es la presentada en el archivo de entrada (Anexo E).

- **Tensión estática**

La tensión estática se determinó para cada una de las configuraciones de sobrecarga presentadas, actuando en conjunto con la carga uniforme distribuida de peso propio del cable. Así entonces, para la llamada carga segura de trabajo determinada por el peso propio del cable más la sobrecarga producto de las cabinas cargadas, se calculó la tensión estática máxima para el cable seleccionado (Cuadro IV.8). El archivo de salida entregado por el programa se encuentra en el Anexo E.

El cable que resultó óptimo fue de 32 mm de diámetro, por lo que el peso lineal ingresado fue de 3.85 Kg / m.

De acuerdo al Cuadro IV.8, la máxima tensión estática del cable se origina para la carga segura de trabajo, determinada por la acción en conjunto del peso propio del cable con la configuración de sobrecarga que resulta al ubicar una cabina de referencia en el centro del tramo N°17. La máxima tensión estática entonces es igual a :

$$T_E = T_{Max} = 4521,38 \text{ (Kgf)}$$

**Cuadro IV.7.-** Posiciones de las cabinas a partir de las ubicaciones más desfavorables de una cabina de referencia.

| Posición de la cabina de referencia  | POSICION DE LAS CABINAS (distancia horizontal desde el apoyo inicial de cada tramo) |      |      |    |        |      |       |      |      |       |      |      |      |      |     |      |     |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|----|--------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|-----|------|-----|
|                                      | TRAMO N °                                                                           |      |      |    |        |      |       |      |      |       |      |      |      |      |     |      |     |
|                                      | 1                                                                                   | 2    | 3    | 4  | 5      | 6    | 7     | 8    | 9    | 10    | 11   | 12   | 13   | 14   | 15  | 16   | 17  |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 1  | 25                                                                                  |      |      |    | 96,800 |      |       |      |      | 41,2  |      |      |      | 43,6 |     |      |     |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 2  |                                                                                     | 50   |      |    |        | 63,9 |       |      |      |       | 8,9  |      |      |      | 16  |      |     |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 3  |                                                                                     |      | 50   |    |        |      |       | 5,3  |      |       |      | 0,9  |      |      |     |      | 8,4 |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 4  |                                                                                     |      |      | 50 |        |      |       |      | 1,9  |       |      | 96,8 |      |      |     |      |     |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 5  |                                                                                     |      |      |    | 50     |      |       |      | 98   |       |      |      | 96,4 |      |     |      |     |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 6  |                                                                                     | 34   |      |    |        | 50   |       |      |      | 94,53 |      |      |      |      | 1,9 |      |     |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 7  |                                                                                     |      | 18   |    |        |      | 25    |      |      |       | 71,4 |      |      |      |     | 27,6 |     |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 8  |                                                                                     |      | 96,4 |    |        |      |       | 50   |      |       |      | 45,3 |      |      |     |      |     |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 9  |                                                                                     |      |      |    | 1      |      |       |      | 50   |       |      |      | 46,7 |      |     |      |     |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 10 | 34,4                                                                                |      |      |    |        | 5,9  |       |      |      | 50    |      |      |      | 53,2 |     |      |     |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 11 |                                                                                     | 94,7 |      |    |        |      | 3,000 |      |      |       | 50   |      |      |      |     | 5,9  |     |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 12 |                                                                                     |      | 91,4 |    |        |      |       | 45,2 |      |       |      | 50   |      |      |     |      |     |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 13 |                                                                                     |      |      |    | 4,300  |      |       |      | 53,2 |       |      |      | 50   |      |     |      |     |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 14 | 31,2                                                                                |      |      |    |        | 2,9  |       |      |      | 47    |      |      |      | 50   |     |      |     |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 15 |                                                                                     | 60,1 |      |    |        | 72,7 |       |      |      |       | 18,3 |      |      |      | 25  |      |     |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 16 |                                                                                     |      | 15,3 |    |        |      | 22,4  |      |      |       | 68,8 |      |      |      |     | 25   |     |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 17 |                                                                                     |      | 65,8 |    |        |      |       | 21   |      |       |      | 16   |      |      |     |      | 25  |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro IV.8.-** Tensiones estáticas máximas del cable de acero, según las distintas configuraciones de carga.

| Posición de la cabina de referencia  | Tensión en apoyo inferior de la estructura (Kgf) | Tensión en apoyo superior de la estructura (Kgf) | Tensión Máxima del cable (Kgf) |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------|
| Cabina en el centro del Tramo N ° 1  | 4185,55                                          | 4432,077                                         | 4432,077                       |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 2  | 4457,405                                         | 4502,092                                         | 4502,092                       |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 3  | 3822,884                                         | 3875,946                                         | 3875,946                       |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 4  | 3674,168                                         | 3718,898                                         | 3718,898                       |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 5  | 3424,063                                         | 3468,81                                          | 3468,81                        |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 6  | 4178,037                                         | 4222,738                                         | 4222,738                       |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 7  | 4177,281                                         | 4221,982                                         | 4221,982                       |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 8  | 4202,021                                         | 4246,72                                          | 4246,72                        |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 9  | 4077,229                                         | 4121,981                                         | 4121,981                       |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 10 | 4197,661                                         | 4374,41                                          | 4374,41                        |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 11 | 3664,926                                         | 3709,656                                         | 3709,656                       |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 12 | 4229,745                                         | 4274,443                                         | 4274,443                       |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 13 | 4142,925                                         | 4187,628                                         | 4187,628                       |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 14 | 4296,981                                         | 4498,844                                         | 4498,844                       |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 15 | 4437,162                                         | 4481,851                                         | 4481,851                       |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 16 | 4239,02                                          | 4283,718                                         | 4283,718                       |
| Cabina en el centro del Tramo N ° 17 | 4435,391                                         | <b>4521,384</b>                                  | <b>4521,384</b>                |

T.Máx.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.2.9.c.- Verificación del cable.

La tensión dinámica (Ecuación 4.2, dividiendo por la sección del cable), considerando que la aceleración propuesta por Pomagalski S.A. es  $a = 0.5[m/seg]$ , resulta:

$$T_D = \left( \frac{0.5[m/seg^2]}{9.8[m/seg^2]} \right) \cdot 4521.4[Kgf] = 230.68[Kgf]$$

Debe cumplirse que:

$$S_E + S_D \leq \frac{R_{min}}{F.S.}$$

La resistencia de ruptura garantizada, especificada por Prodinsa S.A., para el tipo de cable elegido de diámetro 32 mm (Cuadro IV.6), es 69.500 ( Kgf ).

Como ya se mencionó, el factor de seguridad que se empleará es 13.

Entonces:

$$4521.4[Kgf] + 230.7[Kgf] \leq \frac{69500[Kgf]}{13}$$
$$4752.1[Kgf] < 5346.1[Kgf] \Rightarrow \text{OK.}$$

El cable resiste satisfactoriamente las solicitudes de trabajo.

#### 4.4.2.9.d.- Influencia de la carga de viento.

Primero se determinará la influencia de los 80 Km./Hora de viento máximo que pueden presentarse mientras el teleférico se encuentre funcionando, esto es, con cabinas sobre él. Entonces, es necesario establecer que presión lineal ejerce sobre el cable esta velocidad del viento.

De la NCh 432.Of.71 “Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones”, se tiene que:

$$q_b = \frac{u^2}{16} \quad (4.46)$$

Donde:

$q_b$ : Presión básica del viento  $[Kgf/m^2]$ .

$u$ : Velocidad máxima instantánea en  $[m/s]$ .

Convirtiendo la velocidad de  $80 \text{ Km / Hora}$  a su equivalente en  $m / s$ , resulta:

$$V = 80[Km/hora] \rightarrow u = 22.2[m/s]$$

Reemplazando en la ecuación 4.46, se tiene entonces que:

$$\Rightarrow q_b = \frac{22.2^2}{16} = 30.25[Kgf/m^2]$$

Ahora, para obtener esta presión básica del viento, distribuida en forma lineal sobre el cable, para incluir el área de exposición se debe simplemente multiplicar por el diámetro del cable ( $32 \text{ mm} = 0.032 \text{ m}$ ).

$$\Rightarrow q_{W_{80}} = q_b \cdot d_c = 30.25[Kgf/m^2] \cdot 0.032[m] = 0.968[Kgf/m]$$

Vale recordar, que si bien el programa fue hecho para incluir una carga de forma trapezoidal, sólo se hizo para darle un mayor campo de aplicación. Sobre el cable del teleférico el viento se ingresó al *Intocables PG 1.0*, distribuido uniformemente.

Así entonces, al combinar la carga de viento con la configuración de carga que resultó como la más desfavorable, es decir, con la cabina de referencia en el centro del tramo N°17, se puede verificar si para el segundo estado o combinación de carga propuesto, el diseño del cable sigue siendo satisfactorio.

Una vez ingresados los datos al programa, resulta:  
(se multiplica por factor 0.75 por el carácter eventual de la combinación de carga):

$$T_{W_{80}} = (4483.696) \cdot 0.75 = 3362.77 [Kgf]$$

Entonces, se comprueba que el cable sigue siendo satisfactorio, ya que:

$$3362.77 [Kgf]_{0.75(q_{PP}+P_{SC}+q_{W_{80}})} < 4521.4 [Kgf]_{q_{PP}+P_{SC}} \Rightarrow \text{OK.}$$

Ahora se verificará el cable, considerando una velocidad máxima del viento de 120 (Km. / Hora). Se sigue el mismo procedimiento anterior, pero considerando que en estas condiciones de viento, ya no habrá cabinas circulando, puesto que el sistema estará detenido. Por lo tanto, teniendo sólo el peso propio del cable y el viento dado actuando sobre él (estado de carga C3), resulta:

$$q_{W_{120}} = 2.22 [Kgf / m]$$

$$T_{W_{120}} = 2455.7 [Kgf]$$

$$2455.7 [Kgf]_{q_{PP}+q_{W_{120}}} < 4521.4 [Kgf]_{q_{PP}+P_{SC}} \Rightarrow \text{OK.}$$

Así entonces, se concluye que la influencia del viento sobre la tensión del cable no es dominante, a diferencia de su influencia en la operación del teleférico.

#### 4.4.2.9.e.- Influencia de la variación de temperatura.

Se tiene el cable del teleférico, cargado con las solicitaciones de diseño (peso propio y sobrecarga), es necesario entonces, analizar de qué manera influye una carga de temperatura sobre él. La influencia de una variación de temperatura será evaluada en forma teórica, ya que se sabe que en la práctica, al igual que el viento se trata de una carga de tipo eventual, por lo que su efecto real en la tensión del cable no domina en el diseño.

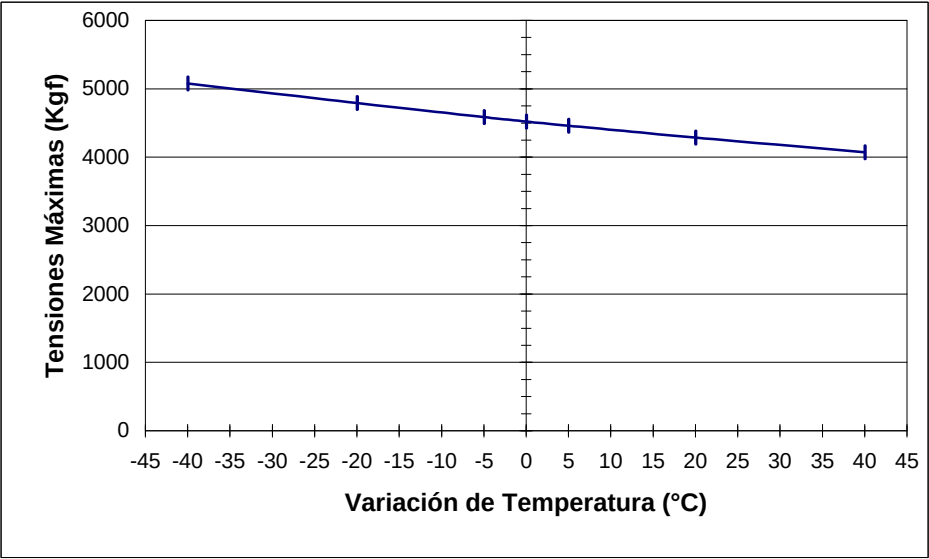
Se calcularon, empleando *Intocables PG 1.0*, las tensiones estáticas máximas para el cable del teleférico considerando diferentes variaciones de temperaturas, tanto positivas como negativas. Estas oscilaciones térmicas versus las tensiones máximas que originan se encuentran confrontadas en el Gráfico IV.1, del cual se puede desprender el comportamiento del cable ante las variaciones de temperatura.

**Cuadro IV.9.-** Tensiones estáticas máximas del cable para distintas variaciones de temperatura.

| DT (°C) | Tensión del cable ( Kgf ) |
|---------|---------------------------|
| -40     | 5077.957                  |
| -20     | 4791.52                   |
| -5      | 4585.742                  |
| 0       | 4521.38                   |
| 5       | 4459.078                  |
| 20      | 4285.353                  |
| 40      | 4074.042                  |

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico IV.1.-** Influencia de la carga de temperatura en la tensión del cable.



Fuente: Elaboración propia.

Se desprende entonces del Gráfico IV.1, al comparar las tensiones máximas determinadas para diversas oscilaciones térmicas con la tensión estática máxima de diseño ( $\Delta T^{\circ} = 0^{\circ}C$ ), que la tensión del cable aumenta cuando disminuye la temperatura bajo los  $0^{\circ}C$ . Esto es, porque al bajar la temperatura, el cable tiende a acortarse o contraerse axialmente, lo que induce grandes tensiones internas. Lo inverso ocurre para temperaturas positivas.

4.4.2.9.f.- Determinación de la máxima flecha del cable.

El programa calcula la flecha en base a las ecuaciones descritas, en la sección 4.4.2.9.b.4. Se tiene el siguiente Cuadro IV.10, donde se indican las flechas máximas de cada tramo y a la distancia del apoyo inicial (o izquierdo, según Lámina IV.1) respectivo. Todo esto, para el estado de carga seguro, es decir, peso propio más la configuración de sobrecarga más desfavorable ya determinada.

Cuadro IV.10.- Flechas máximas en cada tramo para la carga segura de trabajo (carga de diseño).

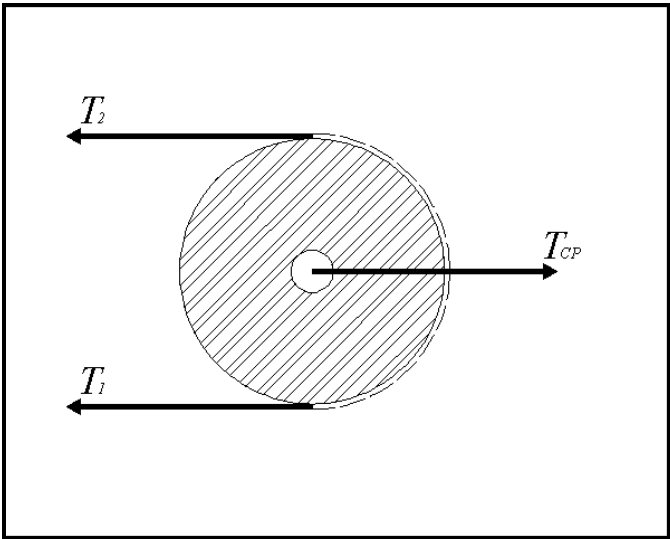
| Tramo N° | Largo inicial del cable (m) | Largo Final del cable (m) | Flecha Máxima (m) | Distancia Horizontal desde apoyo inicial * (m) |
|----------|-----------------------------|---------------------------|-------------------|------------------------------------------------|
| 1        | 56.25                       | 56.206                    | 0.3058            | 25                                             |
| 2        | 104.72                      | 104.706                   | 1.1393            | 50                                             |
| 3        | 105.09                      | 105.842                   | <b>6.518</b>      | 65.8                                           |
| 4        | 105.81                      | 105.792                   | 1.1511            | 50                                             |
| 5        | 109.99                      | 109.976                   | 1.1967            | 50                                             |
| 6        | 120.45                      | 120.436                   | 1.3105            | 50                                             |
| 7        | 55.63                       | 55.586                    | 0.3025            | 25                                             |
| 8        | 109.12                      | 109.962                   | 4.9892            | 21                                             |
| 9        | 112.33                      | 112.311                   | 1.2221            | 50                                             |
| 10       | 119.45                      | 119.425                   | 1.2995            | 50                                             |
| 11       | 114.1                       | 114.077                   | 1.2413            | 50                                             |
| 12       | 109.99                      | 110.459                   | 4.0744            | 16                                             |
| 13       | 108.23                      | 108.214                   | 1.1775            | 50                                             |
| 14       | 109.16                      | 109.139                   | 1.1876            | 50                                             |
| 15       | 59.17                       | 59.131                    | 0.3218            | 25                                             |
| 16       | 56.35                       | 56.306                    | 0.3064            | 25                                             |
| 17       | 50.05                       | 50.402                    | 3.1745            | 25                                             |
|          | <b>1605.89</b>              | <b>1607.970</b>           |                   |                                                |

\* Apoyo izquierdo, según Lámina IV.1  
Fuente: Elaboración propia.

La flecha máxima se origina en el tramo N ° 3 y, corresponde a 6.52 metros. Puesto que la altura promedio de las torres mecánicas de apoyo fue estimada de 20 metros, lo cual implica que la mínima separación entre el terreno y el cable sería de aproximadamente 13.5 metros, se cumple cabalmente el requerimiento de distancia mínima vertical de 3 metros, entre la parte más baja de la cabina y el terreno.

Del Cuadro IV.10 se desprende un aspecto importante, el cual dice relación con obligada dependencia o interacción que debe existir entre todos los tramos. Si se tiene un tramo cargado y otro descargado (sin cabinas sobre el), puesto que el apoyo en las torres es de carácter deslizante, se debe presentar una incidencia sobre el tramo descargado del tramo cargado. A modo de ejemplo, puede desprenderse del Cuadro IV.10 que el tramo N°1 se encuentra descargado ya que su longitud en estado final (longitud del cable una vez sometido a las cargas de trabajo) es menor que la longitud inicial estimada. Aún más, se puede observar en la Lámina IV.1 que para el tramo N°1 se tiene una distancia o luz inclinada de 56.20 metros, lo que ratifica que el cable en este tramo se encuentra casi totalmente estirado, ya que es prácticamente igual a la longitud final del cable en este tramo, según Cuadro IV.10. Si bien se origina una flecha en el cable, esta es despreciable considerando la magnitud de treinta centímetros frente a un tramo de 56 metros de cable.

**4.4.2.9.g.- Cálculo de la tensión de contrapeso de polea tensora.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.34.- Tensión que debe originar el contrapeso.**

De acuerdo a la Fig. 4.34, la tensión o peso que debe tener el contrapeso (despreciando la fuerza de roce entre el cable y la polea) está dado por:

$$T_{CP} = T_1 + T_2$$

Pero, debido a la simetría de la estructura, la condición más desfavorable es que se presente la misma tensión máxima en ambos ramales. Considerando la tensión originada por las cargas seguras de trabajo, se tiene:

$$T_{CP} = 2T_{m\acute{a}x} = 2 \cdot 4752.1 = 9504 [Kgf]$$

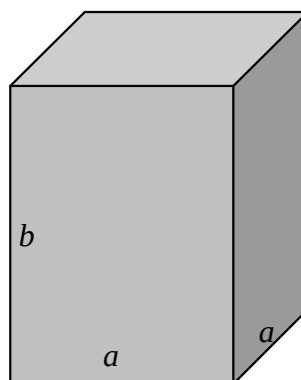
Así entonces, si se elige un sistema de contrapeso regulada por una tensión hidráulica, este debe proporcionar una tensión de 9.504 Kgf.

Si el teleférico posee un contrapeso, con el sistema básico, entonces, el dado de hormigón debe tener las siguientes dimensiones.

El peso del dado de hormigón debe ser :

$$W_{dado} = T_{CP} = 9504 [Kgf]$$

Considerando que la densidad del hormigón y V es el volumen necesario son: (según Fig. 4.35)



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.35.-** Contrapeso o dado de hormigón.

$$g_{Hormigon} = 2000 \left[ Kg / m^3 \right]$$

$$W_{Dado} = V \cdot g_{Hormigon}$$

⇒

$$V = \frac{W_{dado}}{g_{Hormigon}} = \frac{9504 \left[ Kg \right]}{2000 \left[ Kg / m^3 \right]} = 4,752 \left[ m^3 \right]$$

$$a^2 \cdot b = 4,752 \left[ m^3 \right]$$

⇒ Si se considera  $a = 1,5$  metros:

$$b = \frac{4,752 \left[ m^3 \right]}{1,5^2 \left[ m^2 \right]} = 2.11 \left[ m \right]$$

Por lo tanto, el contrapeso, puede ser es de  $1.5 \times 1.5 \times 2.11$  metros

Una vez determinadas las dimensiones del contrapeso, puede calcularse la longitud máxima del recorrido que este realizará. Este recorrido es para mantener la tensión constante del sistema, según las cargas (cantidad de cabinas) que se tenga en un momento determinado sobre el cable.

Para determinar este recorrido, simplemente se debe calcular la diferencia entre la longitud final del cable calculado para las cargas de diseño (Cuadro IV.10), y la longitud final del cable considerando sólo la carga de peso propio.

La posición más baja del contrapeso se presentaría cuando el cable del teleférico no esté transportando ninguna cabina, es decir, la carga de trabajo será sólo el peso propio. El programa, para esta condición de carga entrega una longitud en estado final del cable igual a  $1606.73$  metros. Sin embargo, se debe recordar que el cable es sin fin, es decir, posee dos vías, por lo que el largo final del cable completo sería de  $3213.46$  metros.

La posición más elevada del contrapeso se presentaría cuando el cable del teleférico esté transportando las cargas de diseño estipuladas (peso propio más cabinas). De acuerdo al Cuadro IV.10, la longitud del cable sometido a las cargas de trabajo para una vía es igual a  $1607.97$  metros y considerando la simetría del problema, se tiene entonces que el largo final del cable cargado sería de  $3215.94$  metros.

Así entonces, el recorrido máximo que realizaría el contrapeso es:

$$L_{CP} = 3215.94 \text{ m} - 3213.46 \text{ m} = 2.48 \text{ (metros)}$$

#### **4.5.- Soportes de la línea del teleférico.**

##### **4.5.1.- Torres de apoyo y fundaciones.**

Las torres estructurales cumplen la función de soporte del cable de acero y estarán ubicadas en la línea del teleférico, de acuerdo, a las condiciones del perfil longitudinal del trazado definitivo. Aparte de la función estructural que cumplen las torres de soporte del cable vía, se tiene una función mecánica tanto o más importante. Esta última corresponde al paso del cable sobre los “balancines” de apoyo, son estos balancines, o también llamados trenes de roldanas, los que permiten que el cable trabaje correctamente como elemento mecánico del sistema teleférico.

El paso del cable por estos trenes de roldanas constituye el principal punto de preocupación por parte de los fabricantes especializados, en cuanto a seguridad se refiere, ya que el cable se encuentra constantemente circulando sobre ellos y un descarrilamiento, por decisiones inexpertas, debe evitarse por razones obvias.

El diseño estructural de las torres no será realizado en este estudio, debido a la presencia de aspectos mecánicos involucrados, que para ser cuantificados con certeza requieren de una reconocida especialización y experiencia en teleféricos. Además, del conocimiento teórico, según Pomagalski S.A., debe disponerse de un levantamiento topográfico detallado del perfil definitivo (trabajo referenciado con empleo de GPS) y un estudio geotécnico, de los cuales se carece hasta el momento. Pomagalski S.A. señala que generalmente el estudio técnico es elaborado completamente por la empresa que suministra el teleférico, estudio por el cual se cobra una elevada suma de dinero precisamente por el grado de especialización y seguridad

Las fundaciones quedan sujetas a los mismos criterios que las torres, es decir, su diseño depende por ejemplo de un competente informe de mecánica de suelos

Se entregarán en esta sección algunas consideraciones técnicas para los soportes de la línea del teleférico, proporcionadas por Pomagalski S.A., empresa francesa con prestigio mundial, especialista en la fabricación, suministro e instalación de teleféricos y andariveles.

Las torres de apoyo, que suministran las empresas proveedoras, están estructuradas en base a secciones tubulares cilíndricas de acero estructural, de diversos diámetros, espesores y longitudes, siendo diseñada cada torre con un mínimo peso para soportar los esfuerzos requeridos. Se fabrican en secciones de 5 a 10 metros de longitud con placas o bridas soldadas en cada uno de sus extremos, que permiten la conexión en el montaje *in situ* mediante pernos de alta resistencia. Este tipo de conexiones pasan por pruebas de carga, realizada en los laboratorios de la empresa que suministra. Cuando las torres son diseñadas con diámetro variable, son tronco-cónicas, es decir, con diámetro creciente hacia la base, con el fin de aumentar la resistencia y al mismo tiempo ahorrar material.

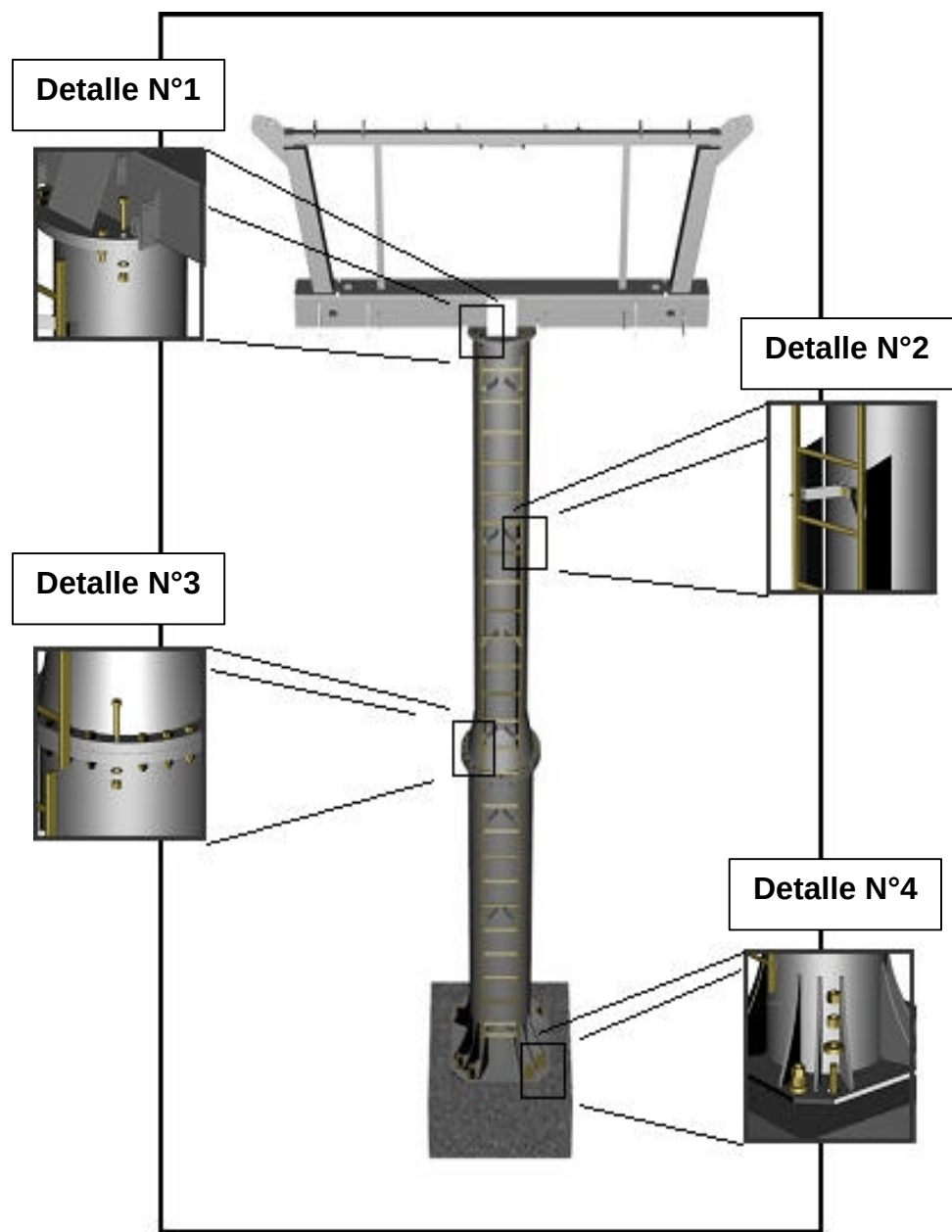
En teleféricos ya antiguos pueden encontrarse aún torres de celosía, fabricadas empleando perfiles de acero soldados. La ventaja básica de estas torres es su costo, puesto que una torre de celosía requiere aproximadamente la mitad de material que una torre tubular con la misma rigidez. La principal desventaja de este tipo de torres es su apariencia visual, aunque esto constituye un punto claramente debatible, principalmente por razones estéticas las torres de celosía han desaparecido en la instalación de teleféricos modernos.

En la Fig. 4.36, se muestra un modelo de torre de apoyo empleada en la instalación de teleféricos.

El Detalle N°1 de la Fig. 4.36, muestra la conexión de montaje entre el llamado “soporte de línea” o travesaño y la torre como estructura propiamente tal. Este travesaño es montado en la cabeza de cada torre por tres razones fundamentales:

- La viga inferior del travesaño soporta el tren de roldanas (balancín). El eje del balancín es puesto en la viga, donde va asegurado por dos pernos, permitiendo ajustar el tren de roldanas en dos direcciones perpendiculares.
- La viga superior actúa como soporte para los conductores eléctricos o cables aéreos de comunicación.

- El travesaño, además de otorgar soporte fundamental al cable vía, permite realizar con seguridad las faenas de montaje del cable de acero y posterior mantención de éste. Es precisamente para realizar estas faenas que se ensambla una escalera metálica a cada torre estructural (Detalle N°2 de la Fig. 4.36).



Fuente: Pomagalski S.A.

**Fig. 4.36.-** Modelo de una torre mecánica del teleférico.

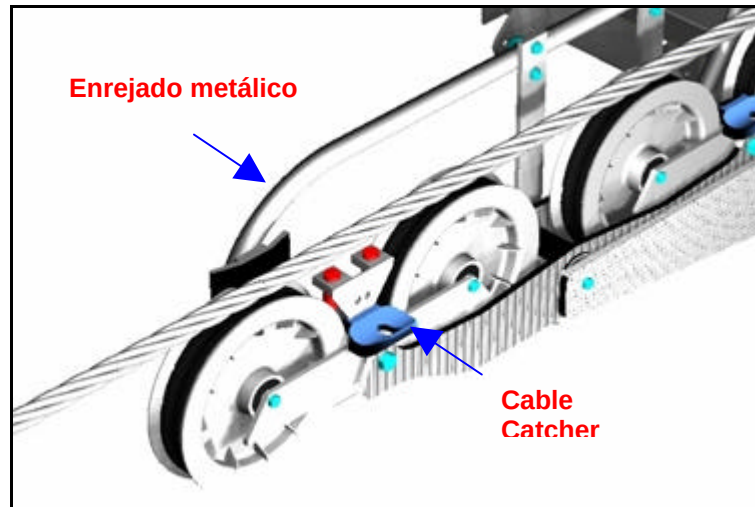
El Detalle N°3 de la Fig. 4.36, muestra como son ensambladas o montadas las diferentes partes de la torre estructural mediante pernos de alta resistencia. La torres son concebidas en partes separadas, más que por restricciones de disponibilidad de longitudes comerciales de las secciones tubulares, es para facilitar el montaje y ensamble de éstas en su ubicación definitiva, generalmente un lugar de difícil acceso. La manera más común, eficiente y a la vez sofisticada, de montar estas estructuras es con la ayuda de un helicóptero, incluso en los cálculos de ingeniería, tal como lo indica Pomagalski S.A., al realizar la división de la torre en diferentes partes en el diseño estructural, debe considerarse que deben obtenerse pesos de las secciones compatibles con la capacidad de carga del helicóptero a emplear.

El Detalle N°4 de la Fig. 4.36, corresponde a la unión de momento entre la base de la torre estructural y la fundación.

#### **4.5.2.- Tren de roldanas (Balancín).**

Cada roldana gira alrededor de un extremo de una placa doble que se ensambla con el fin de formar un elemento llamado *doble roldana*. Un tren de roldanas o balancín, está formado por dos o más elementos doble roldana, de esta manera cumple el objetivo de adaptarse automáticamente a las deflexiones angulares del cable de acero y sus variaciones.

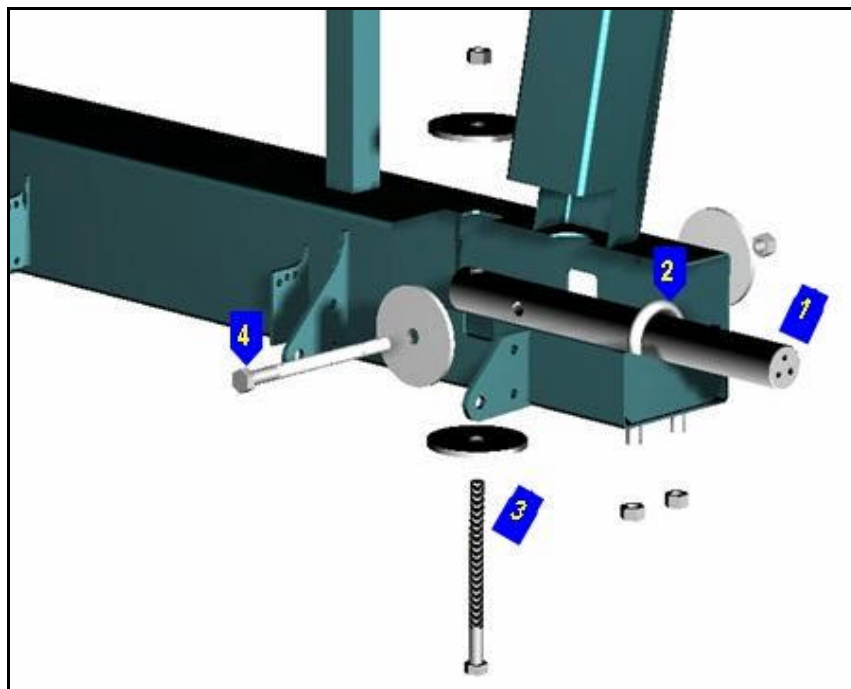
En caso de ocurrir un descarrilamiento del cable de acero, existen dos elementos que otorgan seguridad. El primero es un enrejado o soporte metálico (Fig. 4.37) colocado por la parte interior del balancín, que pretende devolver a circulación a el cable en caso de descarrilamiento. El segundo es el llamado "*cable catcher*" (Fig. 4.37), que podría traducirse como el *atrapa cable*, el cual en la práctica debe ser capaz, al suceder un descarrilamiento, de atrapar el cable para permitir que la cabina puede pasar, mientras el incidente es detectado y el movimiento del sistema se detiene.



Fuente: Pomagalski S.A.

**Fig. 4.37.-** Elementos de seguridad en el balancín.

En la Fig. 4.38, se muestra como va ensamblado el eje soporte del tren de roldanas al travesaño de la torre estructural. El eje soporte del balancín (1 en Fig. 4.38) es asegurado al travesaño mediante dos pernos (3 y 4 en Fig. 4.38) perpendiculares entre sí, y una abrazadera metálica o perno U (2 en Fig. 4.38).



Fuente: Pomagalski S.A.

**Fig. 4.38.-** Ensamble del eje soporte del tren de roldanas.

En las torres de soporte la cantidad de roldanas en un balancín está dada las condiciones del terreno y requerimientos mecánicos, entre otros. Sin embargo, los trenes de roldanas más empleados, según Pomagalski S.A., están conformados por 4 u 8 roldanas. Como ejemplo, en la Fig. 4.39 se muestra un balancín compuesto por 8 roldanas o, dicho de otra forma, de 4 elementos doble roldana.



Fuente: Pomagalski S.A.

**Fig. 4.39.-** Tren de roldanas o balancín compuesto por 8 roldanas.

Las torres de soporte, en las cuales el cable vía pasa por debajo del balancín y no sobre él, son llamadas comúnmente como *torres de compresión* (Fig. 4.40). El objetivo de las torres de compresión, es evitar que el cable se levante y por lo tanto, mantenerlo tenso. Siempre la primera torre, al salir de la estación inferior corresponde a una torre de compresión, e incluso, puede existir más de una si las condiciones mecánicas para un correcto funcionamiento así lo requieren. También, se emplean torres de compresión si el perfil longitudinal presenta accidentes morfológicos importantes, los cuales eventualmente podrían hacer que el cable tienda a levantarse. La cantidad de roldanas en un balancín en éstas torres de compresión oscila entre 8, 12 o 16 roldanas.



Fuente: Lift – World (2004).

**Fig. 4.40.- Torre de compresión.**

**4.6.- Resultado de la ingeniería del proyecto.**

En este ítem serán resumidas las características técnicas determinadas para el teleférico proyectado.

|                                          |                               |
|------------------------------------------|-------------------------------|
| Longitud Inclinada.....                  | <b>1.608 m</b>                |
| Desnivel vertical.....                   | <b>684 m</b>                  |
| Velocidad de circulación .....           | <b>5 m/s</b>                  |
| Capacidad horaria.....                   | <b>240 pers/hora</b>          |
| Distancia entre cabinas en longitud..... | <b>450 m</b>                  |
| Distancia entre cabinas en tiempo.....   | <b>90 seg</b>                 |
| Tiempo estimado de viaje.....            | <b>6 min. 42 seg</b>          |
| Nº de pasajeros por cabina.....          | <b>6</b>                      |
| Peso de la cabina vacía.....             | <b>560 Kgf</b>                |
| Peso de la cabina cargada.....           | <b>1040 Kgf</b>               |
| Nº de cabinas.....                       | <b>14</b>                     |
| Potencia de motor principal.....         | <b>332 hp</b>                 |
| Estación motriz.....                     | <b>inferior</b>               |
| Estación tensora.....                    | <b>superior</b>               |
| Nº de torres mecánicas.....              | <b>18</b>                     |
| Rotación.....                            | <b>sentido antihorario</b>    |
| Cable.....                               | <b>3216 metros de F 32 mm</b> |
| Tensión polea tensora.....               | <b>9504 Kgf</b>               |

## **CAPÍTULO V.- EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL TELEFÉRICO.**

### **5.1.- Inversión del proyecto.**

Conocidas las características técnicas principales del teleférico, es necesario establecer la magnitud económica de la inversión inicial y estimar su rentabilidad. Las inversiones de un proyecto se clasifican generalmente en activos fijos e intangibles.

En primera instancia, se realizará una breve descripción de cómo se obtuvieron los costos de inversión de los diversos componentes del proyecto, para posteriormente resumir la inversión inicial en un cuadro general, que sea de clara comprensión.

#### **5.1.1.- Activos fijos.**

##### **5.1.1.1.- Terrenos.**

Los terrenos que deben adquirirse para la instalación del teleférico, contemplan las hectáreas necesarias para asentar tanto la estación superior como la estación inferior.

Para ambas estaciones, se considera que con una hectárea (10.000 m<sup>2</sup>) de terreno bastará para satisfacer las necesidades de espacio. Por ejemplo, en la estación inferior debe considerarse, aparte de la instalación de los equipos mecánicos, la habilitación de un estacionamiento y diversas obras civiles (servicios higiénicos, sala de operación, bodegas, etc). En la estación superior, debe pensarse que se construirá un hotel, café o miradores, etc, es decir, lo que se decida implementar aparte del teleférico. Vale recordar que el teleférico no es el fin, sino un medio para el potencial desarrollo de la cima del Divisadero.

Además, de los terrenos que deben adquirirse, debe contemplarse el pago de un paso de servidumbre entre la estación inferior y superior, para el normal y seguro traslado de las cabinas. En cuanto al procedimiento habitual para comprar servidumbre (se cancela una vez, por eso se incluye en la inversión), este fue consultado en forma directa, a la empresa osornina de distribución eléctrica Saesa S.A., responsable de Edelaymén, empresa que se encarga del suministro de energía eléctrica en Coyhaique.

Debido a la similitud de costos entre la instalación de torres eléctricas de alta tensión o empalmes rurales con la instalación de las torres y el cable del teleférico, se considera que es una aproximación razonable.

La cantidad de hectáreas “afectadas”, se calcula multiplicando el largo del trazado por el ancho de vía o servidumbre requerido. El ancho recomendado por Saesa S.A., fue de 20 metros y la longitud del trazado (según Cuadro IV.10) es de aproximadamente 1600 metros. Por lo tanto, se tiene una compra de servidumbre de 3.2 hectáreas., en las cuales el propietario por contrato no podrá plantar árboles, ni levantar construcciones.

Para calcular el costo de los terrenos se consideró el valor comercial de una hectárea en el lugar. No se empleará el avalúo fiscal de los terrenos por tratarse de un proyecto de carácter privado.

#### **5.1.1.2.- Equipos mecánicos.**

Para determinar los costos de adquisición de los equipos mecánicos, se cuenta con antecedentes proporcionados, en forma directa, por el representante en Chile de Pomagalski S.A., empresa francesa especialista en la fabricación e instalación de teleféricos y andariveles.

Los equipos mecánicos son las cabinas y los existentes en las estaciones terminales (motriz y tensora), es decir, ambas poleas, un motor eléctrico principal con su caja reductora, un motor auxiliar diesel, sistemas de freno y seguridad, entre otros.

El costo de los equipos y estructuras importadas considera el valor CIF, o sea, el costo de adquisición incluye el flete y el seguro, hasta desembarcar en Puerto Chacabuco.

Al tratarse de una importación, también debiera considerarse el costo de los derechos de aduana (internación). La reciente entrada en vigencia de la extensión de la zona franca de Punta Arenas hasta la Región de Aisén, exime a las importaciones de cancelar franquicias tributarias de aduana, por lo tanto, no serán considerados en el presente análisis.

#### **5.1.1.3.- Cable de acero.**

Tal como se mencionó, en la parte técnica, los antecedentes propios del cable de acero, fueron proporcionados por Prodinsa S.A. Esta es una empresa chilena de reconocida experiencia en el rubro.

La longitud del cable sin fin, determinada en el capítulo precedente, corresponde a 3.216 metros. El costo por metro lineal del cable Cobra AF 6x19 seleccionado, fue entregado por la empresa mencionada.

#### **5.1.1.4.- Torres estructurales.**

El costo de adquirir las torres completas fue proporcionado por la empresa experta Pomagalski S.A.

Se decidió premiar la seguridad, en desmedro de buscar en el mercado nacional alguna empresa que pueda suministrar las torres completamente equipadas. Ya que tal como se mencionó en el Capítulo IV, las torres deben poseer unos balancines que sirven de apoyo al cable mientras este se encuentra circulando, y estar propenso a un descarrilamiento del cable por decisiones inexpertas de ingeniería no puede aceptarse.

#### **5.1.1.5.- Obras civiles.**

Las obras civiles necesarias se refieren a las construcciones propiamente tal. Se requiere de unas excelentes estaciones terminales para la comodidad del usuario, además, de los correspondientes accesos, estacionamiento, bodegas, etc.

El costo de invertir en estas obras, según Pomagalski S.A., se estima en un 30% del costo total del teleférico.

#### **5.1.1.6.- Conexión eléctrica.**

Es indispensable contar con un empalme a la línea de distribución eléctrica de la ciudad de Coyhaique, ya que como se ha mencionado, el motor que otorga movimiento

al sistema funciona con electricidad. Además, debe proporcionarse electricidad en ambas estaciones para el funcionamiento de diferentes equipos y para las futuras instalaciones.

Para estimar los costos de Instalación y suministro de una red de distribución eléctrica se consultó en forma directa a la empresa Saesa S.A.

### **5.1.2.- Activos Intangibles**

Los intangibles son aquellos activos caracterizados por su inmaterialidad y que son necesarios para implementar el proyecto.

#### **5.1.2.1.- Gastos de organización.**

Dentro de los costos de invertir en la organización se cuenta la investigación y estudios, ingeniería, patentes y licencias, seguros, procedimiento de gestión y apoyo, imprevistos, entre otros.

La empresa Pomagalski S.A., estima que estos costos de inversión generalmente corresponden al 20 % del costo total de adquirir el teleférico.

#### **5.1.2.2.- Supervisión del montaje y puesta en marcha.**

La supervisión del montaje del teleférico debe estar respaldada por personal técnico especializado. Estos son proporcionados por la empresa proveedora, ya que se hacen responsables y tienen conciencia de que deben vender un medio de transporte, con irrefutables estándares de seguridad para los usuarios.

Se incluye además en esta supervisión del montaje, una prueba y puesta en marcha del sistema completo, una vez concluidas las faenas de instalación del teleférico.

Ambos costos de inversión, fueron entregados por la empresa consultada Pomagalski S.A.

### **5.1.3.- Cuadro resumen de inversión.**

En el Cuadro V.1 , se resumen los componentes principales de la inversión inicial del teleférico. Se agrega además el costo estimado del transporte de los distintos equipos, en base al valor comercial del flete por tonelada de peso o volumen. Estos valores fueron consultados a empresas del rubro transporte de cargas pesadas.

En el presente proyecto, en la evaluación económica se considerará como tipo de cambio monetario € 1 = \$ 758,77, equivalencia en moneda nacional a la fecha 31 de Marzo del 2005, dado que la mayoría de los costos fueron proporcionados en moneda extranjera.

## **5.2.- Costos de operación.**

Una vez determinada la inversión inicial del teleférico, es necesario establecer los costos anuales de operación.

### **5.2.1.- Costo de energía eléctrica.**

Se debe calcular el consumo de energía eléctrica por parte del motor principal que otorga movimiento al sistema. Este es el único costo variable de operación, puesto que depende exclusivamente de la cantidad de personas que se trasladen en un momento determinado.

Para estimar el consumo debe en primera instancia determinarse la potencia requerida por el sistema, para de esta manera, elegir el motor adecuado.

#### **5.2.1.1.- Cálculo de la potencia del motor.**

La potencia del motor principal debe ser tal que permita un seguro funcionamiento del sistema, otorgándole una velocidad constante al teleférico. Además, deben considerarse posibles detenciones del traslado de cabinas, en las cuales el motor debe ser capaz de retomar el movimiento.

Cuadro V.1.- Inversión del proyecto.

| DETALLE                                                                      | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL            |                |
|------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|-----------------|------------------|----------------|
| Equipos mecánicos                                                            |        |          |                 |                  |                |
| Estación Motriz Completa                                                     | N°     | 1        | \$ 379.385.000  | \$ 379.385.000   |                |
| Estación Terminal (Tensor)                                                   | N°     | 1        | \$ 257.981.800  | \$ 257.981.800   |                |
| Equipos eléctricos y mecánicos                                               | N°     | 1        | \$ 75.877.000   | \$ 75.877.000    |                |
| Repuestos y herramientas básicas                                             | N°     | 1        | \$ 16.692.940   | \$ 16.692.940    |                |
| Equipo salvamento                                                            | N°     | 1        | \$ 7.587.700    | \$ 7.587.700     |                |
| Cabinas (6 plazas)                                                           | N°     | 14       | \$ 10.662.780   | \$ 149.278.920   |                |
| Transporte entre Pto. Chacabuco y Coyhaique                                  | N°     | 1        | \$ 5.000.000    | \$ 5.000.000     | \$ 891.803.360 |
| Cable de acero                                                               |        |          |                 |                  |                |
| Cable de acero (cable sin fin)                                               | m      | 3216     | \$ 7.588        | \$ 24.403.008    |                |
| Transporte entre Maipú (R.M.) y Coyhaique                                    | N°     | 1        | \$ 1.250.000    | \$ 1.250.000     | \$ 25.653.008  |
| Torres de apoyo                                                              |        |          |                 |                  |                |
| Torres estructurales completas (c/balancines)                                | N°     | 18       | \$ 17.451.710   | \$ 314.130.780   |                |
| Fundaciones                                                                  | m3     | 144      | \$ 75.000       | \$ 10.800.000    |                |
| Transporte entre Pto. Chacabuco y Coyhaique                                  | N°     | 1        | \$ 5.000.000    | \$ 5.000.000     | \$ 329.930.780 |
| Terrenos                                                                     |        |          |                 |                  |                |
| Terrenos estación inferior                                                   | Há     | 1        | \$ 15.000.000   | \$ 15.000.000    |                |
| Terrenos estación superior                                                   | Há     | 1        | \$ 15.000.000   | \$ 15.000.000    |                |
| Servidumbre                                                                  | Há     | 3,2      | \$ 7.500.000    | \$ 24.000.000    | \$ 54.000.000  |
| Otros                                                                        |        |          |                 |                  |                |
| Supervisión del montaje (Pomagalski S.A.)                                    | N°     | 1        | \$ 75.877.000   | \$ 75.877.000    |                |
| Puesta en marcha y prueba                                                    | N°     | 1        | \$ 18.969.250   | \$ 18.969.250    |                |
| Conexión eléctrica                                                           | N°     | 1        | \$ 30.000.000   | \$ 30.000.000    | \$ 124.846.250 |
| Costo del teleférico                                                         |        |          |                 | \$ 1.426.233.398 |                |
| 30% Obras Civiles (Edificaciones, estacionamiento, accesos, etc)             |        |          |                 | \$ 427.870.019   |                |
| 20% Gastos de organización (Estudios, ingeniería, patentes y licencias, etc) |        |          |                 | \$ 285.246.680   |                |
| Costo Total del Teleférico                                                   |        |          |                 | \$ 2.139.350.097 |                |

Fuente: Elaboración propia.

La potencia se puede determinar mediante la siguiente fórmula (Hoelck, 1979):

$$W(HP) = \frac{(T_1 - T_2) \cdot v}{75 \cdot R} \quad (5.1)$$

Siendo:

$W$  : Potencia del motor eléctrico principal (en HP).

$T_1, T_2$  : Tensiones en cada extremo de la polea motriz.

$v$  : Velocidad constante de funcionamiento del teleférico (5 m/s)

$R$  : Rendimiento del motor (se empleará un valor aproximado de 80%).

El caso más desfavorable de carga en los teleféricos (Hoelck, 1979), se produce cuando la vía o ramal ascendente se encuentra totalmente cargado, mientras la vía descendente se encuentra descargado (sin cabinas).

Así entonces, la configuración de carga más desfavorable para el sistema se determinó en el capítulo anterior, por lo tanto:

$$T_1 = 4752.1 [Kgf]$$

Ahora, para la vía descendente, debe simplemente calcularse el cable considerando que sólo actúa sobre él, su peso propio. Empleando, *Intocables PG 1.0*, ingresando el peso propio como una carga lineal distribuida, se obtuvo la siguiente tensión de trabajo en el cable:

$$T_2 = 2100.8 [Kgf]$$

Reemplazando en la ecuación (5.1):

$$W = \frac{(4752.1 [Kgf] - 2100.8 [Kgf]) \cdot 5 [m/s]}{75 \cdot 0.8} = 221 [HP]$$

$$W = 221 [HP] = 165 [KW]$$

Como es la tónica en cualquier medio de transporte, debe ser fundamental la seguridad y comodidad del servicio. Es por esto, que debe considerarse un margen de seguridad para reiniciar el movimiento en caso de que el teleférico se detenga en pleno funcionamiento. Según Hoelck (1979), puede emplearse un factor de 1.5, así entonces:

$$W = 1.5 \cdot 221[HP] = 331.5[HP] = 248[KW] \quad (\text{Potencia del motor principal})$$

#### 5.2.1.2.- Costo de energía eléctrica por pasajero.

En la condición más desfavorable de carga para el motor recién mencionada, el número de pasajeros que se transporta, está dado por la cantidad de cabinas en la vía ascendente, de acuerdo a la configuración de carga.

Así, según el Cuadro IV.7, para las condición de carga más desfavorable, se tiene 4 cabinas en la vía, esto implica que:

$$N^{\circ} \text{ Pasajeros} = 4 \cdot 6[pers] = 24 \text{ pasajeros}$$

La potencia media necesaria por pasajero, es entonces:

$$W_{media} = \frac{248[KW]}{24} = 10.33[KW/pas.]$$

La unidad para establecer el costo de consumo de energía eléctrica es el *KWh*, por lo tanto, debe determinarse el tiempo del viaje o recorrido.

Considerando, que la longitud de una vía de cable o línea del teleférico es de aproximadamente 1600 metros y que la velocidad constante de movimiento es de 5 m/s, se tiene que:

$$t = \frac{1600[m]}{5[m/s]} = 320[seg] = 0.089[horas]$$

Esto implica que, el consumo medio de energía eléctrica por pasajero es de:

$$E_m = 10.33[KW/pas] \cdot 0.089[h] = 0.92[KWh/pas.]$$

Considerando, un valor de 100 \$ / KWh a la fecha, en la energía eléctrica distribuida por Saesa S.A., de acuerdo a las cuentas domiciliarias en la ciudad de Coyhaique., se obtiene que el costo promedio de consumo de energía por pasajero es de:

$$C_m = 100[\$/KWh] \cdot 0.92[KWh/pas.] = 92[\$/pas]$$

Hasta el momento, sólo se ha considerado el costo de ascenso, por lo tanto, debe agregarse el costo de llevar nuevamente al pasajero a la estación inferior, es decir, el costo de descenso. Según Hoelck (1979), constituye una aproximación bastante exacta, suponer el costo de bajar igual al costo de subir a un pasajero. Todo esto, porque en el descenso debe contemplarse un consumo de energía por efectos del frenado.

Entonces, el costo promedio de consumo eléctrica por pasajero asciende a :

$$C_m = 2 \cdot (92[\$/pas]) = 184[\$/pas]$$

Así, el costo de consumo de energía eléctrica para una cantidad Q de personas transportadas es:

$$\text{Costo de consumo de energía eléctrica} = 184[\$/pas] \cdot Q$$

### 5.2.2.- Costos de mantención.

Los costos de mantención son los necesarios para que el sistema funcione en forma segura durante su vida útil. Es así, como entre otros, se incluye la lubricación periódica de todos los equipos mecánicos, la revisión de sistemas de seguridad y computacional.

De acuerdo, a los antecedentes entregados por Pomagalski S.A., este costo anual de mantención no supera el 1% del costo total de adquisición del teleférico.

|                                   |                  |
|-----------------------------------|------------------|
| Costo de inversión del teleférico | \$ 2.139.350.097 |
| Costo anual de mantención         | \$ 21.393.501    |

5.2.3.- Costo del personal operativo.

En este punto deben considerarse las personas necesarias para la operación del teleférico. La operación no sólo incluye aquellas faenas mecánicas propias del teleférico, sino que también aquellas labores administrativas que conforman la empresa. Se consultó en forma directa a la empresa San Cristóbal, encargada del teleférico ubicado en el cerro del mismo nombre en Santiago, la cantidad estimada de personal operativo.

Así entonces el personal requerido es el siguiente:

- 1 Administrador del teleférico.
- 2 Jefes de estación (uno en cada estación).
- 2 Administrativos (labores contables).
- 2 Operarios (uno en cada estación).
- 4 Ayudantes de estación ( dos en cada estación).
- 2 Boleteros.
- 2 Guardias.

Se requieren para la operación normal del teleférico, 15 personas. Ahora deben establecerse los niveles de sueldo de acuerdo a la importancia de las funciones del personal.

Para el presente estudio, se considerarán 4 niveles de sueldo, de acuerdo a los ofrecimientos del mercado laboral (Cuadro V.2).

Cuadro V.2.- Costo anual del personal del teleférico.

| Cargo                                       | Personal | Costo mensual | Total       |
|---------------------------------------------|----------|---------------|-------------|
| Administrador teleférico                    | 1        | \$1.000.000   | \$1.000.000 |
| Jefes de estación y personal administrativo | 4        | \$500.000     | \$2.000.000 |
| Operarios y boleteros                       | 4        | \$300.000     | \$1.200.000 |
| Ayudantes y guardias                        | 6        | \$200.000     | \$1.200.000 |
|                                             | 15       |               | \$5.400.000 |

Fuente: Elaboración propia.

Entonces;

|                                      |    |                   |
|--------------------------------------|----|-------------------|
| Costo mensual del personal operativo | \$ | 5.400.000         |
| Costo anual del personal operativo   | \$ | <b>64.800.000</b> |

**5.2.4.- Costos de depreciación.**

De acuerdo, a lo establecido por el Servicio de Impuestos Internos ([www.sii.cl](http://www.sii.cl)), se podrá rebajar como gasto una cuota anual de depreciación de los bienes físicos del activo inmovilizado (fijo), a contar de su utilización en la empresa , calculada sobre el valor de los bienes. La cuota correspondiente al período de depreciación dirá relación con los años de vida útil que mediante normas generales fija la Dirección Nacional del SII.

Respecto de aquellos bienes físicos del activo fijo que no estén incluidos expresamente en la tabla de vida útil del activo inmovilizado publicada por el SII, se deberá asimilar aquellos bienes a los de características similares contenidos en la tabla o emplear la vida útil especificada por el fabricante.

**5.2.4.1.- Depreciación de equipos mecánicos y cable de acero.**

El SII especifica para equipos mecánicos en general una vida útil de 15 años o la vida útil que entregue el fabricante. El fabricante indica una vida útil de 15 años y un valor residual del 10% (recuperación activos).

|                                           |      |                   |
|-------------------------------------------|------|-------------------|
| Costo total adquisición (equipos y cable) | \$   | 917.456.368       |
| 10 % Valor residual                       | - \$ | <b>91.745.637</b> |
| Monto a depreciar (a 15 años)             | \$   | 825.710.731       |
| Costo o cuota anual de depreciación       | \$   | <b>55.047.382</b> |

**5.2.4.2.- Depreciación de obras civiles y estructuras.**

Para las diversas obras civiles (estaciones) y estructuras (torres de apoyo), se considerará una vida útil de 20 años (estructuras metálicas). Al igual que los equipos mecánicos, se trabajará con un valor residual del 10%. Así entonces:

|                                           |                 |
|-------------------------------------------|-----------------|
| Costo total (obras civiles y estructuras) | \$ 757.800.799  |
| 10% Valor residual                        | - \$ 75.780.080 |
| Monto a depreciar (20 años)               | \$ 682.020.719  |
| Costo o cuota anual de depreciación       | \$ 34.101.036   |

**5.2.4.3.- Cuota total anual de depreciación.**

|                                               |               |
|-----------------------------------------------|---------------|
| Cuota anual depreciación de equipos mecánicos | \$ 55.047.382 |
| Cuota anual depreciación de estructuras       | \$ 34.101.036 |
| Cuota anual total depreciación                | \$ 89.148.418 |

**5.2.5.- Costos totales de operación.**

**5.2.5.1.- Costos fijos de operación.**

|                                    |                |
|------------------------------------|----------------|
| Costo anual por mantención         | \$ 21.393.501  |
| Costo anual por personal operativo | \$ 64.800.000  |
| Costo anual por depreciación       | \$ 89.148.418  |
| Costo fijo de operación anual      | \$ 175.341.919 |

**5.2.5.2.- Costos variables de operación.**

Como ya se ha mencionado, el único costo variable de operación es el consumo de energía eléctrica, dependiendo de la cantidad *Q* de pasajeros que suban al teleférico en el año.

|                                                     |                   |
|-----------------------------------------------------|-------------------|
| Costo por consumo de energía eléctrica por pasajero | \$ 184 * <i>Q</i> |
| Costo variable de operación                         | \$ 184 * <i>Q</i> |

### 5.3.- Evaluación económica.

El fin es hacer un estudio financiero desde el punto de vista del sector privado, entendiendo que una inversión, es la aplicación de recursos con la esperanza de obtener beneficios durante un periodo razonablemente largo en el futuro. Deben presentarse los antecedentes para decidir si el teleférico como medio de transporte definitivo es un buen proyecto, en base a la capacidad generadora de ingresos que éste posea en el futuro.

Se determinará la *Tarifa Mínima Requerida* (en adelante **TMR**) que debe cobrarse por utilizar el teleférico, trabajando con el ya clásico método de evaluación del valor actual neto, dado por los flujos futuros que se generan, descontados a una cierta tasa de interés. Esta tasa, llamada comúnmente tasa de descuento, considera el valor del dinero en el tiempo, el cual disminuye a medida que se aplazan los ingresos futuros. Además, representa un costo de oportunidad, ya que indica la rentabilidad a la que se renuncia por invertir en el presente proyecto.

#### 5.3.1.- Estimación de la tasa de descuento.

Según los datos proporcionados por CORFO e instituciones bancarias, se tiene la tasa de interés de colocación de los créditos licitados por la corporación, para el financiamiento de inversiones (líneas de crédito B11).

Así entonces, la corporación (Corfo) licita los créditos, fijando una tasa de interés que bordea el 4,5% anual, y los bancos (intermediarios) al momento de colocar los préstamos al sector privado, deben hacerlo estableciendo una tasa no superior a cinco puntos porcentuales a la recién mencionada. Según esto, la tasa de interés máxima que resultaría de los créditos Corfo, bordearía el 9,5% anual. Considerando, una prima por riesgo posible de un 2,5%, sumada ésta a la tasa interés máxima establecida para los créditos Corfo (9,5%), resulta una tasa de descuento del 12%.

$$\text{Tasa de descuento (anual)} = t_d = 12\%$$

### 5.3.2.- Tarifas mínimas requeridas (TMR).

Se ha decidido realizar la evaluación determinando la tarifa mínima por persona que se debe cobrar para, al menos, recuperar la inversión del teleférico al cabo del plazo de financiamiento (la tarifa que hace el VAN = \$ 0), para una tasa de descuento predeterminada.

Se podría estimar una tarifa promedio por persona, basada en antecedentes consultados con empresas similares, pero se cree que el análisis se entiende mejor determinando una tarifa mínima para el presente proyecto. De esta manera, si se cobra una tarifa menor que la TMR, el proyecto no sería rentable y, por otra parte, si se cobra una tarifa mayor que la TMR el teleférico reportaría beneficios.

En el análisis se considerarán dos escenarios de evaluación, basados en las tasas de crecimiento anual de la cantidad estimada de usuarios para el teleférico, empleadas en la proyección de la demanda. Como demanda inicial debe considerarse la correspondiente al año 2008, año en el cual empezaría a funcionar el teleférico. Como ya se ha mencionado, se le otorgará en este estudio una vida útil al teleférico de 15 años, así entonces, la proyección de demanda se realizó hasta el año 2022.

Se tendrá un escenario pesimista de evaluación, el cual corresponde a la cantidad futura de usuarios para el teleférico, estimada de acuerdo a una tasa de crecimiento anual de personas del 6%. Tal como se desprende del Cuadro II.6, la demanda inicial (año 2008) de usuarios estimada para el teleférico, considerando 150 días de funcionamiento, es de 22.350 personas / año.

Por otro lado, se trabajará con un escenario optimista de evaluación, correspondiente a la cantidad futura de usuarios estimada para el teleférico en base a una tasa de crecimiento anual de personas del 8%. Del Cuadro II.7, se puede determinar que la demanda para el primer año de funcionamiento del teleférico se estima en 24.450 personas / año.

En cuanto al financiamiento de la inversión, se evaluará para dos casos de fuente del capital. Se considerará en el análisis, el proyecto sin financiamiento externo, es decir, financiado cien por ciento con capital propio y el proyecto con un parcial financiamiento externo, de acuerdo a las condiciones establecidas por las entidades bancarias.

Para efectos del presente estudio en lo que respecta al caso de un parcial financiamiento externo, se considerará que la inversión se financia con un 25% del capital propio y un 75% con un préstamo perteneciente a las líneas de crédito B.11 licitadas por CORFO a instituciones bancarias.

El objetivo de estos créditos, de hasta US\$ 5.000.000, es financiar inversiones a largo plazo de empresas chilenas que desarrollan actividades productivas (entre los sectores productivos se encuentra el turismo). Los plazos de pago, fluctúan entre los 2 y 10 años, y se otorgan períodos de gracia para las amortizaciones de capital de hasta 24 meses (periodos durante los cuales sólo se pagan intereses). Se considerará una tasa de interés fija del 9,5% anual; tasa que corresponde al límite máximo establecido por CORFO a los bancos.

Así entonces, se supondrán las siguientes condiciones que enfrentaría el préstamo. El plazo de pago será el máximo permitido, es decir 10 años y se exigirá el pago de intereses anualmente. La amortización de la deuda será en cinco cuotas iguales (considerando periodos de gracia de 24 meses), se pagará capital al final del 2°, 4°, 6°, 8° y 10° años.

El cobro de una tarifa por utilizar el teleférico, es la única forma de obtener ingresos monetarios mediante la venta de tickets a los usuarios, considerando el teleférico como medio de transporte propiamente tal. Según la tarifa (ida y vuelta) que se cobre por persona, se tendrá una cierta cantidad de ingresos que influirán directamente sobre el flujo neto operacional y a su vez en la magnitud del VAN. De esta manera, para una determinada tarifa se originará un determinado VAN, y como ya se ha mencionado, el análisis radicaré en determinar aquella tarifa para la cual se origina un VAN nulo, esto, para ambos escenarios de evaluación y ambos casos de financiamiento. Esta tarifa es la que corresponde en este estudio a la llamada *Tarifa Mínima Requerida (TMR)*, cuya interpretación es que si se cobra un valor menor que esta tarifa no se recuperará la inversión y lo inverso ocurre si se cobra una tarifa mayor.

En resumen, se calculará la TMR para cada caso de evaluación involucrado en este estudio. Se tienen cuatro escenarios de evaluación; se debe evaluar para un escenario pesimista considerando la inversión financiada con y sin financiamiento externo, y lo mismo para un escenario optimista. Para efectos de calcular el VAN, se considerará que se realiza la inversión el año 2006 (año cero), así, después de dos años de construcción el teleférico comenzaría a operar el año 2008.

### **5.3.2.1.- Estructura del flujo operacional.**

El flujo operacional está representado por las componentes del flujo de ingresos y por las componentes del flujo de egresos.

Los ingresos están determinados por el producto de la tarifa por la venta de tickets estimados para cada año.

Los egresos corresponden a los costos de operación determinados y se dividen en costos fijos y variables. En el ítem de costos fijos en el flujo operacional no se incluyen el costo de depreciación, ya que este es considerado en un ítem separado para mayor claridad, pues representa sólo un movimiento contable y no una cantidad física de dinero. El costo variable está dado por el consumo de energía eléctrica por usuario, y por lo tanto, depende de la cantidad de tickets vendidos.

Para el caso de evaluación que considera la inversión financiada parcialmente con préstamo bancario, en los egresos de dinero deben incluirse los intereses anuales dados por las condiciones de la deuda.

El resultado antes de impuesto está representado por la diferencia entre los ingresos y egresos de dinero. Sobre esta cantidad se aplica el impuesto de la renta a las empresas, que de acuerdo al SII, corresponde a un 17%. De esta manera, se obtiene el resultado después de impuesto.

El flujo neto operacional resulta de la suma del resultado después de impuesto y la cuota de depreciación (debe sumarse ya que sólo constituye un movimiento contable). Para el caso con financiamiento externo deben restarse en los años correspondientes (dados por la programación de la deuda) las cuotas de amortización de la deuda. Además, al calcular el flujo neto operacional para el año 2022 (año horizonte) debe sumarse la recuperación de activos.

Para determinar el VAN, los flujos operacionales anuales deben ser actualizados, empleando la tasa de descuento predeterminada. De esta manera, realizando la sumatoria de los flujos operacionales actualizados y restando la inversión inicial se obtienen los flujos operacionales acumulados. El flujo neto actualizado acumulado para el año 2022 corresponde al VAN.

En el Cuadro V.3, se presenta el esquema general empleado para determinar los flujos operacionales para cada año.

Cuadro V.3.- Esquema general del flujo operacional.

| Ventas                         | Año N (N = 2008 a 2022) <sup>(1)</sup> |
|--------------------------------|----------------------------------------|
| Tickets (Cantidad de usuarios) | Q <sub>N</sub>                         |
| Tarifa                         | T                                      |
| Ingresos                       | Y <sub>N</sub> = T x Q <sub>N</sub>    |

| Items                               | Año 0 (2006) | Año N (N = 2008 a 2022)                                                           |
|-------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Inversiones                         | Inv          |                                                                                   |
| Ingresos                            |              | Y <sub>N</sub> = T x Q <sub>N</sub>                                               |
| Total Ingresos                      |              | Y <sub>N</sub>                                                                    |
| Egresos                             |              |                                                                                   |
| Costos fijos <sup>(2)</sup>         |              | CF                                                                                |
| Costos variables                    |              | CV <sub>N</sub> = CE <sup>(7)</sup> x Q <sub>N</sub>                              |
| Depreciación                        |              | Dep                                                                               |
| Intereses <sup>(3)</sup>            |              | Int.                                                                              |
| Total Egresos                       |              | E <sub>N</sub> = CF + CV <sub>N</sub> + Dep + Int                                 |
| Resultado antes de Impto.           |              | R.A.I. <sub>N</sub> = Y <sub>N</sub> - E <sub>N</sub>                             |
| Impuesto 17% <sup>(4)</sup>         |              | Imp <sub>N</sub> = 0,17 x R.A.I. <sub>N</sub>                                     |
| Resultado después de Impto.         |              | R.D.I. <sub>N</sub> = R.A.I. <sub>N</sub> - Imp <sub>N</sub>                      |
| Depreciación                        |              | Dep                                                                               |
| Amortización <sup>(5)</sup>         |              | Amort                                                                             |
| Recuperación activos <sup>(6)</sup> |              | RAct                                                                              |
| Flujo Neto Operacional              | Inv          | F.N.O. <sub>N</sub> = R.D.I. <sub>N</sub> + Dep + Ract - Amort                    |
| Flujo Neto Operacional Actualizado  | Inv          | F.N.A. <sub>N</sub> = F.N.O. <sub>N</sub> / ( 1 + i ) <sup>n</sup> <sup>(8)</sup> |
| Flujo Neto Actualizado Acumulado    |              | F.N.A.Acum. <sub>N</sub> = - Inv + S F.N.A. <sub>N</sub>                          |

Fuente: Elaboración propia.

- (1) Para el Año 2007 el flujo es nulo, ya que la inversión se realiza el 2006 (Año Cero) y el primer año de funcionamiento es el 2008.
- (2) Costos fijos sin incluir cuota de depreciación, ya que este ítem se considera aparte.
- (3) Para la situación con financiamiento externo deben incluirse las cuotas anuales de intereses.
- (4) Impuesto a la renta de las empresas según SII.
- (5) Para la situación con financiamiento externo deben restarse en los años correspondientes las cuotas de amortización.
- (6) La recuperación de activos es en el último año de funcionamiento (N = 2022)
- (7) CE: Costo del consumo de energía eléctrica por usuario
- (8) i = tasa de descuento; n = Año 0 - Año N

5.3.2.2.- TMR para escenario pesimista.

Para determinar la TMR, para ambos casos de financiamiento en un escenario pesimista de evaluación, fue necesario realizar un tanteo en base a diversas tarifas. Cada tarifa origina un cierto flujo operacional, y por tanto, de acuerdo a estos flujos futuros actualizados a una tasa de descuento predeterminada del 12%, origina un cierto VAN, y aquella que origine un VAN nulo es la TMR buscada.

Para establecer el flujo neto operacional para cada tarifa se aplicó el esquema y fórmulas señaladas en el Cuadro V.3.

- **Proyecto sin financiamiento externo.**

El Cuadro V.4, muestra el VAN (dado por los flujos futuros) que originan las tarifas analizadas para un escenario pesimista de evaluación considerando la inversión financiada sin préstamo bancario. En este cuadro sólo se muestran algunas tarifas representativas y por supuesto la TMR, ya que no tiene mayor sentido mostrar la información peso a peso.

Así entonces, se determinó que la TMR es de **\$ 16.004**. Los ingresos percibidos y el flujo neto operacional para esta tarifa mínima requerida se presentan en los Cuadros V.5 y V.6 respectivos. Se omitirán los cuadros de ingresos y flujo neto operacional para las demás tarifas ya que se considera innecesario incluirlos en el informe, por la razón dada en el párrafo precedente.

**Cuadro V.4.-** VAN originado por diversas tarifas para un escenario pesimista con el proyecto sin financiamiento externo.

| Tarifa    | VAN               |
|-----------|-------------------|
| \$ 1.000  | -\$ 2.217.510.015 |
| \$ 2.500  | -\$ 1.967.106.908 |
| \$ 5.000  | -\$ 1.556.208.679 |
| \$ 7.500  | -\$ 1.179.854.654 |
| \$ 10.000 | -\$ 831.814.227   |
| \$ 12.500 | -\$ 485.423.261   |
| \$ 15.000 | -\$ 139.032.295   |
| \$ 16.004 | \$ 0              |
| \$ 17.500 | \$ 207.358.671    |
| \$ 20.000 | \$ 553.749.637    |
| \$ 25.000 | \$ 1.246.531.569  |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro V.5.-** Ingresos percibidos en un escenario pesimista, con la TMR = \$ 16.004 (*Proyecto sin financiamiento externo*).

| Ventas   | 2008           | 2009           | 2010           | 2011           | 2012           | 2013           | 2014           | 2015           | 2016           | 2017           | 2018           | 2019           | 2020           | 2021           | 2022           |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Tickets  | 22350          | 23691          | 25112          | 26619          | 28216          | 29909          | 31704          | 33606          | 35623          | 37760          | 40025          | 42427          | 44973          | 47671          | 50531          |
| Tarifa   | \$ 16.004      | \$ 16.004      | \$ 16.004      | \$ 16.004      | \$ 16.004      | \$ 16.004      | \$ 16.004      | \$ 16.004      | \$ 16.004      | \$ 16.004      | \$ 16.004      | \$ 16.004      | \$ 16.004      | \$ 16.004      | \$ 16.004      |
| Ingresos | \$ 357.689.400 | \$ 379.150.764 | \$ 401.899.810 | \$ 426.013.798 | \$ 451.574.626 | \$ 478.669.104 | \$ 507.389.250 | \$ 537.832.605 | \$ 570.102.561 | \$ 604.308.715 | \$ 640.567.238 | \$ 679.001.272 | \$ 719.741.349 | \$ 762.925.830 | \$ 808.701.379 |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro V.6.-** Flujo neto operacional en un escenario pesimista, con la TMR = \$ 16.004 (*Proyecto sin financiamiento externo*).

| Items                       | 0 (2006)          | 2008            | 2009            | 2010            | 2011            | 2012            | 2013            | 2014            | 2015            | 2016            | 2017            |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Inversiones                 | -\$ 2.139.350.097 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Ingresos                    |                   | \$ 357.689.400  | \$ 379.150.764  | \$ 401.899.810  | \$ 426.013.798  | \$ 451.574.626  | \$ 478.669.104  | \$ 507.389.250  | \$ 537.832.605  | \$ 570.102.561  | \$ 604.308.715  |
| Total Ingresos              |                   | \$ 357.689.400  | \$ 379.150.764  | \$ 401.899.810  | \$ 426.013.798  | \$ 451.574.626  | \$ 478.669.104  | \$ 507.389.250  | \$ 537.832.605  | \$ 570.102.561  | \$ 604.308.715  |
| Egresos                     |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Costos fijos <sup>(1)</sup> |                   | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  |
| Costos variables            |                   | -\$ 4.112.400   | -\$ 4.359.144   | -\$ 4.620.693   | -\$ 4.897.934   | -\$ 5.191.810   | -\$ 5.503.319   | -\$ 5.833.518   | -\$ 6.183.529   | -\$ 6.554.541   | -\$ 6.947.813   |
| Depreciación                |                   | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  |
| Total Egresos               |                   | -\$ 179.454.319 | -\$ 179.701.063 | -\$ 179.962.612 | -\$ 180.239.853 | -\$ 180.533.729 | -\$ 180.845.238 | -\$ 181.175.437 | -\$ 181.525.448 | -\$ 181.896.460 | -\$ 182.289.732 |
| Resultado A.I.              |                   | \$ 178.235.081  | \$ 199.449.701  | \$ 221.937.198  | \$ 245.773.945  | \$ 271.040.897  | \$ 297.823.866  | \$ 326.213.813  | \$ 356.307.157  | \$ 388.206.102  | \$ 422.018.983  |
| Impuesto 17% <sup>(2)</sup> |                   | -\$ 30.299.964  | -\$ 33.906.449  | -\$ 37.729.324  | -\$ 41.781.571  | -\$ 46.076.953  | -\$ 50.630.057  | -\$ 55.456.348  | -\$ 60.572.217  | -\$ 65.995.037  | -\$ 71.743.227  |
| Resultado D.I               |                   | \$ 147.935.117  | \$ 165.543.252  | \$ 184.207.875  | \$ 203.992.375  | \$ 224.963.945  | \$ 247.193.809  | \$ 270.757.465  | \$ 295.734.940  | \$ 322.211.064  | \$ 350.275.756  |
| Depreciación                |                   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   |
| Recuperación activos        |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| FNO (BN)                    | -\$ 2.139.350.097 | \$ 237.083.535  | \$ 254.691.670  | \$ 273.356.293  | \$ 293.140.793  | \$ 314.112.363  | \$ 336.342.227  | \$ 359.905.883  | \$ 384.883.358  | \$ 411.359.482  | \$ 439.424.174  |

(1) Costos fijos sin incluir cuota de depreciación

(2) Impuesto a la renta de empresas según SII.

Continua...

.....continuación Cuadro V.6

| 2018                   | 2019                   | 2020                   | 2021                   | 2022                   |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                        |                        |                        |                        |                        |
| \$ 640.567.238         | \$ 679.001.272         | \$ 719.741.349         | \$ 762.925.830         | \$ 808.701.379         |
| <b>\$ 640.567.238</b>  | <b>\$ 679.001.272</b>  | <b>\$ 719.741.349</b>  | <b>\$ 762.925.830</b>  | <b>\$ 808.701.379</b>  |
|                        |                        |                        |                        |                        |
| -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         |
| -\$ 7.364.682          | -\$ 7.806.563          | -\$ 8.274.957          | -\$ 8.771.454          | -\$ 9.297.741          |
| -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         |
| <b>-\$ 182.706.601</b> | <b>-\$ 183.148.482</b> | <b>-\$ 183.616.876</b> | <b>-\$ 184.113.373</b> | <b>-\$ 184.639.660</b> |
| \$ 457.860.637         | \$ 495.852.790         | \$ 536.124.473         | \$ 578.812.456         | \$ 624.061.719         |
| <b>-\$ 77.836.308</b>  | <b>-\$ 84.294.974</b>  | <b>-\$ 91.141.160</b>  | <b>-\$ 98.398.118</b>  | <b>-\$ 106.090.492</b> |
| \$ 380.024.329         | \$ 411.557.816         | \$ 444.983.313         | \$ 480.414.339         | \$ 517.971.227         |
| \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          |
|                        |                        |                        |                        | \$ 167.525.717         |
| <b>\$ 469.172.747</b>  | <b>\$ 500.706.234</b>  | <b>\$ 534.131.731</b>  | <b>\$ 569.562.757</b>  | <b>\$ 774.645.362</b>  |

TMR = \$ 16.004

Tasa de descuento : 12%

**VAN = \$ 0,00**

Fuente; Elaboración propia.

- **Proyecto con financiamiento bancario.**

El Cuadro V.7, muestra el VAN que originan las tarifas analizadas para un escenario pesimista de evaluación considerando ahora la inversión financiada con el préstamo bancario.

La TMR, para el proyecto con financiamiento bancario, es de **\$ 11.304**. Los ingresos, la programación de la deuda y el flujo neto operacional, se presentan en los Cuadros V.8, V.9 y V.10, respectivos.

**Cuadro V.7.-** VAN originado por diversas tarifas para un escenario pesimista con el proyecto con financiamiento bancario.

| Tarifa    | VAN               |
|-----------|-------------------|
| \$ 1.000  | -\$ 1.575.220.636 |
| \$ 2.500  | -\$ 1.324.817.528 |
| \$ 5.000  | -\$ 913.919.299   |
| \$ 7.500  | -\$ 537.565.274   |
| \$ 10.000 | -\$ 184.195.203   |
| \$ 11.304 | \$ 0              |
| \$ 12.500 | \$ 168.956.785    |
| \$ 15.000 | \$ 521.701.359    |
| \$ 17.500 | \$ 868.092.325    |
| \$ 20.000 | \$ 1.214.483.291  |
| \$ 25.000 | \$ 1.907.265.223  |

Fuente: Elaboración propia.

- **Gráfico representativo de las tarifas en función del VAN esperado.**

En el Gráfico V.1, se pueden observar las tarifas confrontadas con el VAN que originan para un escenario pesimista de evaluación, de acuerdo a los valores de los Cuadros V.4 y V.7, considerando el proyecto con y sin financiamiento externo respectivamente. En el mismo Gráfico V.1 se muestran los valores de las TMR (tarifas que originan VAN = \$ 0) en escenario pesimista para ambas alternativas de financiamiento: sin financiamiento externo y con financiamiento bancario.

**Cuadro V.8.- Ingresos percibidos en un escenario pesimista, con la TMR = \$ 11.304 (Proyecto con financiamiento bancario).**

| Ventas   | 2008           | 2009           | 2010           | 2011           | 2012           | 2013           | 2014           | 2015           | 2016           | 2017           | 2018           | 2019           | 2020           | 2021           | 2022           |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Tickets  | 22350          | 23691          | 25112          | 26619          | 28216          | 29909          | 31704          | 33606          | 35623          | 37760          | 40025          | 42427          | 44973          | 47671          | 50531          |
| Tarifa   | \$ 11.304      | \$ 11.304      | \$ 11.304      | \$ 11.304      | \$ 11.304      | \$ 11.304      | \$ 11.304      | \$ 11.304      | \$ 11.304      | \$ 11.304      | \$ 11.304      | \$ 11.304      | \$ 11.304      | \$ 11.304      | \$ 11.304      |
| Ingresos | \$ 252.644.400 | \$ 267.803.064 | \$ 283.871.248 | \$ 300.903.523 | \$ 318.957.734 | \$ 338.095.198 | \$ 358.380.910 | \$ 379.883.765 | \$ 402.676.790 | \$ 426.837.398 | \$ 452.447.642 | \$ 479.594.500 | \$ 508.370.170 | \$ 538.872.381 | \$ 571.204.723 |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro V.9.- Programación de la deuda para el proyecto con financiamiento bancario en un escenario pesimista.**

|                        | 0                | 2008                   | 2009                   | 2010                   | 2011                   | 2012                  | 2013                   | 2014                  | 2015                   | 2016                  | 2017                   |
|------------------------|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| Deuda (75% Inv)        | \$ 1.604.512.573 | \$ 1.604.512.573       | \$ 1.604.512.573       | \$ 1.283.610.058       | \$ 1.283.610.058       | \$ 962.707.544        | \$ 962.707.544         | \$ 641.805.029        | \$ 641.805.029         | \$ 320.902.515        | \$ 320.902.515         |
| Intereses (9,5% anual) |                  | \$ 152.428.694         | \$ 152.428.694         | \$ 121.942.956         | \$ 121.942.956         | \$ 91.457.217         | \$ 91.457.217          | \$ 60.971.478         | \$ 60.971.478          | \$ 30.485.739         | \$ 30.485.739          |
| Amortización           |                  |                        | \$ 320.902.515         |                        | \$ 320.902.515         |                       | \$ 320.902.515         |                       | \$ 320.902.515         |                       | \$ 320.902.515         |
| Financiamiento         | \$ 1.604.512.573 | <b>-\$ 152.428.694</b> | <b>-\$ 473.331.209</b> | <b>-\$ 121.942.956</b> | <b>-\$ 442.845.470</b> | <b>-\$ 91.457.217</b> | <b>-\$ 412.359.731</b> | <b>-\$ 60.971.478</b> | <b>-\$ 381.873.992</b> | <b>-\$ 30.485.739</b> | <b>-\$ 351.388.253</b> |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro V.10.- Flujo neto operacional en un escenario pesimista, con la TMR = \$ 11.304 (Proyecto con financiamiento bancario).**

| Items                | 0                        | 2008                   | 2009                   | 2010                   | 2011                   | 2012                   | 2013                   | 2014                   | 2015                   | 2016                   | 2017                   |
|----------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Inversiones          | <b>-\$ 2.139.350.097</b> |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| Préstamo (75%)       | <b>\$ 1.604.512.573</b>  |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| Ingresos             |                          | \$ 252.644.400         | \$ 267.803.064         | \$ 283.871.248         | \$ 300.903.523         | \$ 318.957.734         | \$ 338.095.198         | \$ 358.380.910         | \$ 379.883.765         | \$ 402.676.790         | \$ 426.837.398         |
| Total Ingresos       |                          | <b>\$ 252.644.400</b>  | <b>\$ 267.803.064</b>  | <b>\$ 283.871.248</b>  | <b>\$ 300.903.523</b>  | <b>\$ 318.957.734</b>  | <b>\$ 338.095.198</b>  | <b>\$ 358.380.910</b>  | <b>\$ 379.883.765</b>  | <b>\$ 402.676.790</b>  | <b>\$ 426.837.398</b>  |
| Egresos              |                          |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| Costos fijos         |                          | <b>-\$ 86.193.501</b>  | <b>-\$ 86.193.501</b>  | <b>-\$ 86.193.501</b>  | <b>-\$ 86.193.501</b>  | <b>-\$ 86.193.501</b>  | <b>-\$ 86.193.501</b>  | <b>-\$ 86.193.501</b>  | <b>-\$ 86.193.501</b>  | <b>-\$ 86.193.501</b>  | <b>-\$ 86.193.501</b>  |
| Costos variables     |                          | <b>-\$ 4.112.400</b>   | <b>-\$ 4.359.144</b>   | <b>-\$ 4.620.693</b>   | <b>-\$ 4.897.934</b>   | <b>-\$ 5.191.810</b>   | <b>-\$ 5.503.319</b>   | <b>-\$ 5.833.518</b>   | <b>-\$ 6.183.529</b>   | <b>-\$ 6.554.541</b>   | <b>-\$ 6.947.813</b>   |
| Depreciación         |                          | <b>-\$ 89.148.418</b>  | <b>-\$ 89.148.418</b>  | <b>-\$ 89.148.418</b>  | <b>-\$ 89.148.418</b>  | <b>-\$ 89.148.418</b>  | <b>-\$ 89.148.418</b>  | <b>-\$ 89.148.418</b>  | <b>-\$ 89.148.418</b>  | <b>-\$ 89.148.418</b>  | <b>-\$ 89.148.418</b>  |
| Intereses            |                          | <b>-\$ 152.428.694</b> | <b>-\$ 152.428.694</b> | <b>-\$ 121.942.956</b> | <b>-\$ 121.942.956</b> | <b>-\$ 91.457.217</b>  | <b>-\$ 91.457.217</b>  | <b>-\$ 60.971.478</b>  | <b>-\$ 60.971.478</b>  | <b>-\$ 30.485.739</b>  | <b>-\$ 30.485.739</b>  |
| Total Egresos        |                          | <b>-\$ 331.883.013</b> | <b>-\$ 179.701.063</b> | <b>-\$ 179.962.612</b> | <b>-\$ 180.239.853</b> | <b>-\$ 180.533.729</b> | <b>-\$ 180.845.238</b> | <b>-\$ 181.175.437</b> | <b>-\$ 181.525.448</b> | <b>-\$ 181.896.460</b> | <b>-\$ 182.289.732</b> |
| Resultado A.I.       |                          | <b>-\$ 79.238.613</b>  | \$ 88.102.001          | \$ 103.908.636         | \$ 120.663.670         | \$ 138.424.005         | \$ 157.249.960         | \$ 177.205.473         | \$ 198.358.317         | \$ 220.780.331         | \$ 244.547.666         |
| Impuesto 17%         |                          |                        | <b>-\$ 14.977.340</b>  | <b>-\$ 17.664.468</b>  | <b>-\$ 20.512.824</b>  | <b>-\$ 23.532.081</b>  | <b>-\$ 26.732.493</b>  | <b>-\$ 30.124.930</b>  | <b>-\$ 33.720.914</b>  | <b>-\$ 37.532.656</b>  | <b>-\$ 41.573.103</b>  |
| Resultado D.I        |                          | <b>-\$ 79.238.613</b>  | \$ 73.124.661          | \$ 86.244.168          | \$ 100.150.846         | \$ 114.891.924         | \$ 130.517.467         | \$ 147.080.543         | \$ 164.637.403         | \$ 183.247.674         | \$ 202.974.562         |
| Depreciación         |                          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          |
| Amortización         |                          |                        | <b>-\$ 320.902.515</b> |                        | <b>-\$ 320.902.515</b> |                        | <b>-\$ 320.902.515</b> |                        | <b>-\$ 320.902.515</b> |                        | <b>-\$ 320.902.515</b> |
| Recuperación activos |                          |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| FNO (BN)             | <b>-\$ 534.837.524</b>   | <b>\$ 9.909.805</b>    | <b>-\$ 158.629.436</b> | <b>\$ 175.392.586</b>  | <b>-\$ 131.603.251</b> | <b>\$ 204.040.342</b>  | <b>-\$ 101.236.630</b> | <b>\$ 236.228.961</b>  | <b>-\$ 67.116.694</b>  | <b>\$ 272.396.092</b>  | <b>-\$ 28.779.534</b>  |

Continúa.....

..... continuación Cuadro V.10

| 2018                   | 2019                   | 2020                   | 2021                   | 2022                   |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                        |                        |                        |                        |                        |
|                        |                        |                        |                        |                        |
| \$ 452.447.642         | \$ 479.594.500         | \$ 508.370.170         | \$ 538.872.381         | \$ 571.204.723         |
| <b>\$ 452.447.642</b>  | <b>\$ 479.594.500</b>  | <b>\$ 508.370.170</b>  | <b>\$ 538.872.381</b>  | <b>\$ 571.204.723</b>  |
|                        |                        |                        |                        |                        |
| -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         |
| -\$ 7.364.682          | -\$ 7.806.563          | -\$ 8.274.957          | -\$ 8.771.454          | -\$ 9.297.741          |
| -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         |
| \$ 0                   | \$ 0                   | \$ 0                   | \$ 0                   | \$ 0                   |
| <b>-\$ 182.706.601</b> | <b>-\$ 183.148.482</b> | <b>-\$ 183.616.876</b> | <b>-\$ 184.113.373</b> | <b>-\$ 184.639.660</b> |
| \$ 269.741.041         | \$ 296.446.018         | \$ 324.753.295         | \$ 354.759.007         | \$ 386.565.063         |
| -\$ 45.855.977         | -\$ 50.395.823         | -\$ 55.208.060         | -\$ 60.309.031         | -\$ 65.716.061         |
| \$ 223.885.064         | \$ 246.050.195         | \$ 269.545.234         | \$ 294.449.976         | \$ 320.849.002         |
| \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          |
|                        |                        |                        |                        |                        |
|                        |                        |                        |                        | \$ 167.525.717         |
| <b>\$ 313.033.482</b>  | <b>\$ 335.198.613</b>  | <b>\$ 358.693.652</b>  | <b>\$ 383.598.394</b>  | <b>\$ 577.523.137</b>  |

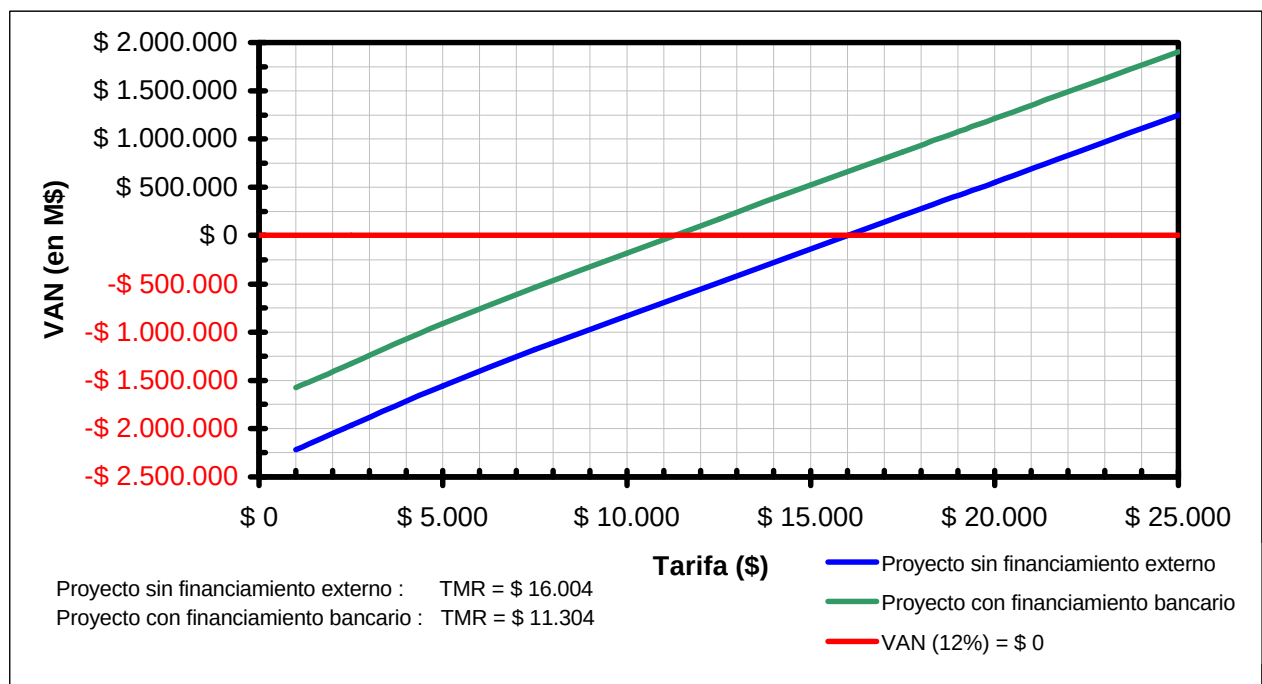
TMR = \$ 11.304

Tasa de descuento : 12%

**VAN = \$ 0,00**

Fuente; Elaboración propia.

**Gráfico V.1.-** Tarifas por persona versus el VAN que originan en un escenario pesimista para ambos casos de financiamiento.



**5.3.2.3.- TMR para escenario optimista.**

Siguiendo el mismo procedimiento, se determinan la TMR, ahora para un escenario optimista de evaluación para el crecimiento del flujo anual de usuarios del teleférico. a tasa de crecimiento anual de usuarios del 8%.

- Proyecto sin financiamiento externo.**

El Cuadro V.11, muestra el VAN que las tarifas más representativas (por supuesto incluida la TMR) para un escenario optimista de evaluación considerando la inversión financiada sin financiamiento externo.

La TMR es de **\$ 13.074**. Los ingresos y el flujo neto operacional, se presentan en los Cuadros V.12 y V.13, respectivos.

**Cuadro V.11.-** VAN originado por diversas tarifas para un escenario optimista con el proyecto sin financiamiento externo.

| Tarifa    | VAN               |
|-----------|-------------------|
| \$ 1.000  | -\$ 2.186.545.534 |
| \$ 2.500  | -\$ 1.879.222.422 |
| \$ 5.000  | -\$ 1.392.401.330 |
| \$ 7.500  | -\$ 947.782.394   |
| \$ 10.000 | -\$ 522.652.090   |
| \$ 12.500 | -\$ 97.521.786    |
| \$ 13.074 | \$ 0              |
| \$ 15.000 | \$ 327.608.518    |
| \$ 17.500 | \$ 752.738.823    |
| \$ 20.000 | \$ 1.177.869.127  |
| \$ 25.000 | \$ 2.028.129.735  |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro V.12.-** Ingresos percibidos en un escenario optimista, con la TMR = \$ 13.074 (*Proyecto sin financiamiento externo*).

| Ventas   | 2008           | 2009           | 2010           | 2011           | 2012           | 2013           | 2014           | 2015           | 2016           | 2017           | 2018           | 2019           | 2020           | 2021           | 2022           |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Tickets  | 24450          | 26406          | 28518          | 30800          | 33264          | 35925          | 38799          | 41903          | 45255          | 48876          | 52786          | 57009          | 61569          | 66495          | 71814          |
| Tarifa   | \$ 13.074      | \$ 13.074      | \$ 13.074      | \$ 13.074      | \$ 13.074      | \$ 13.074      | \$ 13.074      | \$ 13.074      | \$ 13.074      | \$ 13.074      | \$ 13.074      | \$ 13.074      | \$ 13.074      | \$ 13.074      | \$ 13.074      |
| Ingresos | \$ 319.659.300 | \$ 345.232.044 | \$ 372.850.608 | \$ 402.678.656 | \$ 434.892.949 | \$ 469.684.385 | \$ 507.259.135 | \$ 547.839.866 | \$ 591.667.055 | \$ 639.000.420 | \$ 690.120.453 | \$ 745.330.090 | \$ 804.956.497 | \$ 869.353.017 | \$ 938.901.258 |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro V.13.-** Flujo neto operacional en un escenario optimista, con la TMR = \$ 13.074 (*Proyecto sin financiamiento externo*).

| Items                | 0                 | 2008            | 2009            | 2010            | 2011            | 2012            | 2013            | 2014            | 2015            | 2016            | 2017            |
|----------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Inversiones          | -\$ 2.139.350.097 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Ingresos             |                   | \$ 319.659.300  | \$ 345.232.044  | \$ 372.850.608  | \$ 402.678.656  | \$ 434.892.949  | \$ 469.684.385  | \$ 507.259.135  | \$ 547.839.866  | \$ 591.667.055  | \$ 639.000.420  |
| Total Ingresos       |                   | \$ 319.659.300  | \$ 345.232.044  | \$ 372.850.608  | \$ 402.678.656  | \$ 434.892.949  | \$ 469.684.385  | \$ 507.259.135  | \$ 547.839.866  | \$ 591.667.055  | \$ 639.000.420  |
| Egresos              |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Costos fijos         |                   | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  | -\$ 86.193.501  |
| Costos variables     |                   | -\$ 4.498.800   | -\$ 4.858.704   | -\$ 5.247.400   | -\$ 5.667.192   | -\$ 6.120.568   | -\$ 6.610.213   | -\$ 7.139.030   | -\$ 7.710.153   | -\$ 8.326.965   | -\$ 8.993.122   |
| Depreciación         |                   | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  | -\$ 89.148.418  |
| Total Egresos        |                   | -\$ 179.840.719 | -\$ 180.200.623 | -\$ 180.589.319 | -\$ 181.009.111 | -\$ 181.462.487 | -\$ 181.952.132 | -\$ 182.480.949 | -\$ 183.052.072 | -\$ 183.668.884 | -\$ 184.335.041 |
| Resultado A.I.       |                   | \$ 139.818.581  | \$ 165.031.421  | \$ 192.261.288  | \$ 221.669.545  | \$ 253.430.462  | \$ 287.732.252  | \$ 324.778.186  | \$ 364.787.794  | \$ 407.998.172  | \$ 454.665.379  |
| Impuesto 17%         |                   | -\$ 23.769.159  | -\$ 28.055.342  | -\$ 32.684.419  | -\$ 37.683.823  | -\$ 43.083.179  | -\$ 48.914.483  | -\$ 55.212.292  | -\$ 62.013.925  | -\$ 69.359.689  | -\$ 77.293.114  |
| Resultado D.I        |                   | \$ 116.049.422  | \$ 136.976.079  | \$ 159.576.869  | \$ 183.985.722  | \$ 210.347.283  | \$ 238.817.769  | \$ 269.565.894  | \$ 302.773.869  | \$ 338.638.482  | \$ 377.372.264  |
| Depreciación         |                   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   | \$ 89.148.418   |
| Recuperación activos |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| FNO (BN)             | -\$ 2.139.350.097 | \$ 205.197.840  | \$ 226.124.497  | \$ 248.725.287  | \$ 273.134.140  | \$ 299.495.701  | \$ 327.966.187  | \$ 358.714.312  | \$ 391.922.287  | \$ 427.786.900  | \$ 466.520.682  |

..... continuación Cuadro V.13

| 2018                   | 2019                   | 2020                   | 2021                   | 2022                   |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                        |                        |                        |                        |                        |
| \$ 690.120.453         | \$ 745.330.090         | \$ 804.956.497         | \$ 869.353.017         | \$ 938.901.258         |
| <b>\$ 690.120.453</b>  | <b>\$ 745.330.090</b>  | <b>\$ 804.956.497</b>  | <b>\$ 869.353.017</b>  | <b>\$ 938.901.258</b>  |
|                        |                        |                        |                        |                        |
| -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         |
| -\$ 9.712.572          | -\$ 10.489.578         | -\$ 11.328.744         | -\$ 12.235.043         | -\$ 13.213.847         |
| -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         |
| <b>-\$ 185.054.491</b> | <b>-\$ 185.831.497</b> | <b>-\$ 186.670.663</b> | <b>-\$ 187.576.962</b> | <b>-\$ 188.555.766</b> |
| \$ 505.065.963         | \$ 559.498.593         | \$ 618.285.834         | \$ 681.776.054         | \$ 750.345.492         |
| -\$ 85.861.214         | -\$ 95.114.761         | -\$ 105.108.592        | -\$ 115.901.929        | -\$ 127.558.734        |
| \$ 419.204.749         | \$ 464.383.832         | \$ 513.177.242         | \$ 565.874.125         | \$ 622.786.759         |
| \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          |
|                        |                        |                        |                        | \$ 167.525.717         |
| <b>\$ 508.353.167</b>  | <b>\$ 553.532.250</b>  | <b>\$ 602.325.660</b>  | <b>\$ 655.022.543</b>  | <b>\$ 879.460.894</b>  |

TMR = \$ 13.074  
Tasa de descuento : 12%  
**VAN = \$ 0,00**  
Fuente; Elaboración propia.

- **Proyecto con financiamiento bancario.**

El Cuadro V.14, muestra el VAN que las tarifas más representativas (por supuesto incluida la TMR) para un escenario optimista de evaluación considerando ahora la inversión financiada con financiamiento externo.

La TMR es de **\$ 9.264**. Los ingresos, la programación de la deuda y el flujo neto operacional, se presentan en los Cuadros V.15, V.16 y V.17, respectivos.

**Cuadro V.14.** VAN originado por diversas tarifas para un escenario optimista con el proyecto con financiamiento bancario.

| Tarifa    | VAN               |
|-----------|-------------------|
| \$ 1.000  | -\$ 1.544.256.154 |
| \$ 2.500  | -\$ 1.236.933.042 |
| \$ 5.000  | -\$ 750.111.950   |
| \$ 7.500  | -\$ 305.065.357   |
| \$ 9.264  | \$ 0              |
| \$ 10.000 | \$ 127.461.234    |
| \$ 12.500 | \$ 559.987.825    |
| \$ 15.000 | \$ 988.342.173    |
| \$ 17.500 | \$ 1.413.472.477  |
| \$ 20.000 | \$ 1.838.602.781  |
| \$ 25.000 | \$ 2.688.863.390  |

Fuente: Elaboración propia.

- **Gráfico representativo de las tarifas según el VAN esperado.**

En el Gráfico V.2, se pueden observar las tarifas confrontadas con el VAN que originan en un escenario optimista de evaluación. Se distinguen las TMR (aquellas tarifas que originan VAN = \$ 0) para que el proyecto comience a percibir beneficios, para ambos casos de financiamiento, de acuerdo a los Cuadros V.11 y V.14.

**Cuadro V.15.- Ingresos percibidos en un escenario optimista, con la TMR = \$ 9.264 (*Proyecto con financiamiento bancario*).**

| Ventas          | 2008                  | 2009                  | 2010                  | 2011                  | 2012                  | 2013                  | 2014                  | 2015                  | 2016                  | 2017                  | 2018                  | 2019                  | 2020                  | 2021                  | 2022                  |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Tickets         | 24450                 | 26406                 | 28518                 | 30800                 | 33264                 | 35925                 | 38799                 | 41903                 | 45255                 | 48876                 | 52786                 | 57009                 | 61569                 | 66495                 | 71814                 |
| Tarifa          | \$ 9.264              | \$ 9.264              | \$ 9.264              | \$ 9.264              | \$ 9.264              | \$ 9.264              | \$ 9.264              | \$ 9.264              | \$ 9.264              | \$ 9.264              | \$ 9.264              | \$ 9.264              | \$ 9.264              | \$ 9.264              | \$ 9.264              |
| <b>Ingresos</b> | <b>\$ 226.504.800</b> | <b>\$ 244.625.184</b> | <b>\$ 264.195.199</b> | <b>\$ 285.330.815</b> | <b>\$ 308.157.280</b> | <b>\$ 332.809.862</b> | <b>\$ 359.434.651</b> | <b>\$ 388.189.423</b> | <b>\$ 419.244.577</b> | <b>\$ 452.784.143</b> | <b>\$ 489.006.875</b> | <b>\$ 528.127.425</b> | <b>\$ 570.377.619</b> | <b>\$ 616.007.828</b> | <b>\$ 665.288.454</b> |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro V.16.- Programación de la deuda para el *proyecto con financiamiento bancario* en un escenario optimista.**

|                        | 0                       | 2008                   | 2009                   | 2010                   | 2011                   | 2012                  | 2013                   | 2014                  | 2015                   | 2016                  | 2017                   |
|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| Deuda (75% Inv)        | \$ 1.604.512.573        | \$ 1.604.512.573       | \$ 1.604.512.573       | \$ 1.283.610.058       | \$ 1.283.610.058       | \$ 962.707.544        | \$ 962.707.544         | \$ 641.805.029        | \$ 641.805.029         | \$ 320.902.515        | \$ 320.902.515         |
| Intereses (9,5% anual) |                         | \$ 152.428.694         | \$ 152.428.694         | \$ 121.942.956         | \$ 121.942.956         | \$ 91.457.217         | \$ 91.457.217          | \$ 60.971.478         | \$ 60.971.478          | \$ 30.485.739         | \$ 30.485.739          |
| Amortización           |                         |                        | \$ 320.902.515         |                        | \$ 320.902.515         |                       | \$ 320.902.515         |                       | \$ 320.902.515         |                       | \$ 320.902.515         |
| <b>Financiamiento</b>  | <b>\$ 1.604.512.573</b> | <b>-\$ 152.428.694</b> | <b>-\$ 473.331.209</b> | <b>-\$ 121.942.956</b> | <b>-\$ 442.845.470</b> | <b>-\$ 91.457.217</b> | <b>-\$ 412.359.731</b> | <b>-\$ 60.971.478</b> | <b>-\$ 381.873.992</b> | <b>-\$ 30.485.739</b> | <b>-\$ 351.388.253</b> |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro V.17.- Flujo neto operacional en un escenario optimista, con la TMR = \$ 9.264 (*Proyecto con financiamiento bancario*).**

| Items                 | 0                      | 2008                   | 2009                   | 2010                   | 2011                   | 2012                   | 2013                   | 2014                   | 2015                   | 2016                   | 2017                   |
|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Inversiones           | -\$ 2.139.350.097      |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| Préstamo (75%)        | \$ 1.604.512.573       |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| <b>Ingresos</b>       |                        | \$ 226.504.800         | \$ 244.625.184         | \$ 264.195.199         | \$ 285.330.815         | \$ 308.157.280         | \$ 332.809.862         | \$ 359.434.651         | \$ 388.189.423         | \$ 419.244.577         | \$ 452.784.143         |
| <b>Total Ingresos</b> |                        | <b>\$ 226.504.800</b>  | <b>\$ 244.625.184</b>  | <b>\$ 264.195.199</b>  | <b>\$ 285.330.815</b>  | <b>\$ 308.157.280</b>  | <b>\$ 332.809.862</b>  | <b>\$ 359.434.651</b>  | <b>\$ 388.189.423</b>  | <b>\$ 419.244.577</b>  | <b>\$ 452.784.143</b>  |
| <b>Egresos</b>        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| Costos fijos          |                        | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         | -\$ 86.193.501         |
| Costos variables      |                        | -\$ 4.498.800          | -\$ 4.858.704          | -\$ 5.247.400          | -\$ 5.667.192          | -\$ 6.120.568          | -\$ 6.610.213          | -\$ 7.139.030          | -\$ 7.710.153          | -\$ 8.326.965          | -\$ 8.993.122          |
| Depreciación          |                        | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         | -\$ 89.148.418         |
| Intereses             |                        | -\$ 152.428.694        | -\$ 152.428.694        | -\$ 121.942.956        | -\$ 121.942.956        | -\$ 91.457.217         | -\$ 91.457.217         | -\$ 60.971.478         | -\$ 60.971.478         | -\$ 30.485.739         | -\$ 30.485.739         |
| <b>Total Egresos</b>  |                        | <b>-\$ 332.269.413</b> | <b>-\$ 180.200.623</b> | <b>-\$ 180.589.319</b> | <b>-\$ 181.009.111</b> | <b>-\$ 181.462.487</b> | <b>-\$ 181.952.132</b> | <b>-\$ 182.480.949</b> | <b>-\$ 183.052.072</b> | <b>-\$ 183.668.884</b> | <b>-\$ 184.335.041</b> |
| <b>Resultado A.I.</b> |                        | <b>-\$ 105.764.613</b> | \$ 64.424.561          | \$ 83.605.879          | \$ 104.321.703         | \$ 126.694.793         | \$ 150.857.730         | \$ 176.953.702         | \$ 205.137.352         | \$ 235.575.693         | \$ 268.449.102         |
| Impuesto 17%          |                        |                        | -\$ 10.952.175         | -\$ 14.212.999         | -\$ 17.734.690         | -\$ 21.538.115         | -\$ 25.645.814         | -\$ 30.082.129         | -\$ 34.873.350         | -\$ 40.047.868         | -\$ 45.636.347         |
| <b>Resultado D.I</b>  |                        | <b>-\$ 105.764.613</b> | \$ 53.472.386          | \$ 69.392.880          | \$ 86.587.014          | \$ 105.156.678         | \$ 125.211.916         | \$ 146.871.573         | \$ 170.264.002         | \$ 195.527.825         | \$ 222.812.755         |
| Depreciación          |                        | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          | \$ 89.148.418          |
| Amortización          |                        |                        | -\$ 320.902.515        |                        | -\$ 320.902.515        |                        | -\$ 320.902.515        |                        | -\$ 320.902.515        |                        | -\$ 320.902.515        |
| Recuperación activos  |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| <b>FNO (BN)</b>       | <b>-\$ 534.837.524</b> | <b>-\$ 16.616.195</b>  | <b>-\$ 178.281.711</b> | <b>\$ 158.541.298</b>  | <b>-\$ 145.167.083</b> | <b>\$ 194.305.096</b>  | <b>-\$ 106.542.181</b> | <b>\$ 236.019.991</b>  | <b>-\$ 61.490.095</b>  | <b>\$ 284.676.243</b>  | <b>-\$ 8.941.342</b>   |

..... continuación Cuadro V.17

| 2018                              | 2019                              | 2020                              | 2021                              | 2022                              |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|                                   |                                   |                                   |                                   |                                   |
|                                   |                                   |                                   |                                   |                                   |
| \$ 489.006.875                    | \$ 528.127.425                    | \$ 570.377.619                    | \$ 616.007.828                    | \$ 665.288.454                    |
| <b>\$ 489.006.875</b>             | <b>\$ 528.127.425</b>             | <b>\$ 570.377.619</b>             | <b>\$ 616.007.828</b>             | <b>\$ 665.288.454</b>             |
|                                   |                                   |                                   |                                   |                                   |
| <del>-\$ 86.193.501</del>         | <del>-\$ 86.193.501</del>         | <del>-\$ 86.193.501</del>         | <del>-\$ 86.193.501</del>         | <del>-\$ 86.193.501</del>         |
| <del>-\$ 9.712.572</del>          | <del>-\$ 10.489.578</del>         | <del>-\$ 11.328.744</del>         | <del>-\$ 12.235.043</del>         | <del>-\$ 13.213.847</del>         |
| <del>-\$ 89.148.418</del>         | <del>-\$ 89.148.418</del>         | <del>-\$ 89.148.418</del>         | <del>-\$ 89.148.418</del>         | <del>-\$ 89.148.418</del>         |
| <del>\$ 0</del>                   | <del>\$ 0</del>                   | <del>\$ 0</del>                   | <del>\$ 0</del>                   | <del>\$ 0</del>                   |
| <del><b>-\$ 185.054.491</b></del> | <del><b>-\$ 185.831.497</b></del> | <del><b>-\$ 186.670.663</b></del> | <del><b>-\$ 187.576.962</b></del> | <del><b>-\$ 188.555.766</b></del> |
| \$ 303.952.384                    | \$ 342.295.928                    | \$ 383.706.956                    | \$ 428.430.866                    | \$ 476.732.689                    |
| <del>-\$ 51.671.905</del>         | <del>-\$ 58.190.308</del>         | <del>-\$ 65.230.183</del>         | <del>-\$ 72.833.247</del>         | <del>-\$ 81.044.557</del>         |
| \$ 252.280.479                    | \$ 284.105.620                    | \$ 318.476.773                    | \$ 355.597.619                    | \$ 395.688.132                    |
| \$ 89.148.418                     | \$ 89.148.418                     | \$ 89.148.418                     | \$ 89.148.418                     | \$ 89.148.418                     |
|                                   |                                   |                                   |                                   |                                   |
|                                   |                                   |                                   |                                   | \$ 167.525.717                    |
| <b>\$ 341.428.897</b>             | <b>\$ 373.254.038</b>             | <b>\$ 407.625.191</b>             | <b>\$ 444.746.037</b>             | <b>\$ 652.362.267</b>             |

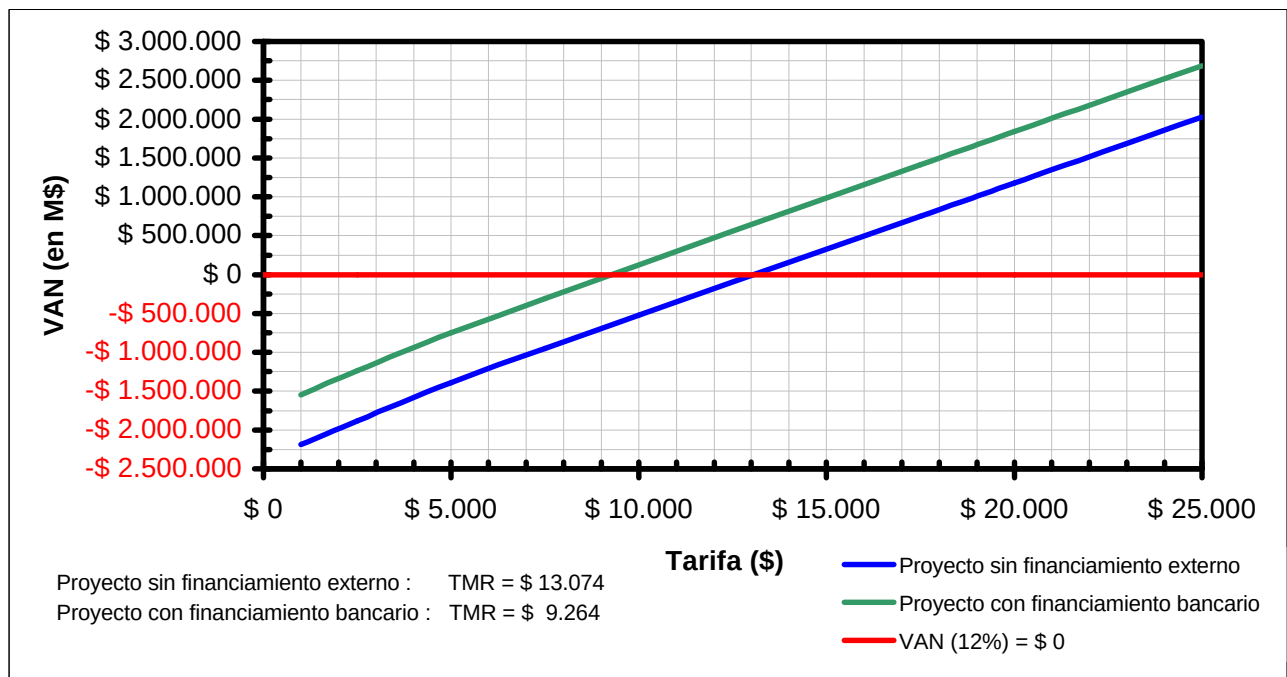
TMR = \$ 9.264

Tasa de descuento : 12%

**VAN = \$ 0,00**

Fuente; Elaboración propia.

**Gráfico V.2.-** Tarifas por persona versus el VAN que originan en un escenario optimista para ambos casos de financiamiento.



Fuente: Elaboración propia.

**5.3.3.- Sensibilidad de la TMR a la tasa de descuento.**

Un análisis de sensibilidad consiste básicamente en un método mediante el cual se puede observar en qué manera se alterará la decisión final si varía un cierto factor de evaluación. Si la variación de dicho factor no altera en demasía la decisión, se podrá decir, que la decisión es relativamente insensible a dicho factor y viceversa, se dirá que la decisión es sensible al factor modificado si el factor la altera.

Para evaluar económicamente invertir en el teleférico, se ha decidido modificar la tasa de descuento, empleada para actualizar los flujos futuros. La decisión de inversión estriba en la TMR que se determine, si esta es muy alta quizás pocas personas estarían dispuestas a cancelarla lo que pondría en jaque la factibilidad del proyecto, pero sin duda, que lo mejor sería cobrar una tarifa que resulte más accesible. La tasa de descuento, apela más que nada al comportamiento de la economía, que por supuesto es incierta, es por todo esto, que se decide que la tasa de descuento puede ser un factor relevante.

Cuantificar la incidencia de la tasa de descuento en las TMR será el objetivo de este análisis de sensibilidad. Se podrá observar en qué manera varían las tarifas mínimas requeridas, variando la tasa de descuento empleada para actualizar los flujos

futuros originados. Se empleará una tasa de flotación o variación del 2%. Así se presentarán las TMR predeterminadas para los escenarios de evaluación considerando una tasa de descuento del 12%, pero además, las TMR para tasas de descuento de un 10% y un 14%.

Para calcular las TMR, sensibilizando la tasa de descuento, se procedió de la misma manera que lo realizado para la tasa de descuento del 12%, sólo que ahora, tal como se mencionó precedentemente, los flujos futuros para el cálculo del VAN serán actualizados con dos nuevas tasas (10%, 14%).

**5.3.3.1.- Sensibilidad de la TMR para un escenario pesimista.**

El escenario pesimista de evaluación, corresponde a aquel el flujo de usuarios estimados para el teleférico aumenta en un 6% anualmente. La sensibilidad de la TMR, para este escenario de evaluación será analizada para los dos casos de financiamiento presentados, es decir, para aquel en que la inversión se financia sin financiamiento externo y aquel que si considera un préstamo bancario.

El procedimiento de cálculo es le mismo empleado en los puntos anteriores, la única modificación introducida es la de variar la tasa de descuento. La presentación de los resultados se realizará en forma similar, es decir, en primera instancia se mostrará el cuadro de las tarifas con el respectivo VAN que originan (ahora para las nuevas tasas de descuento del 10% y 14%), para luego representarlos gráficamente, para visualizar de mejor manera la sensibilidad de las TMR.

- **Proyecto sin financiamiento externo.**

El Cuadro V.18, incluye las tarifas más representativas con el respectivo VAN que originan para las tres tasas de descuento analizadas, para un escenario pesimista considerando el proyecto sin financiamiento externo. El Gráfico V.3, representa la dispersión de estos resultados, es decir, la sensibilidad de las TMR.

De acuerdo a los cálculos realizados, para las tasas de descuento del 10%, 12% y 14%, se tiene que las TMR corresponden a **\$ 14.055**, **\$ 16.004** y **\$ 18.115**, respectivamente.

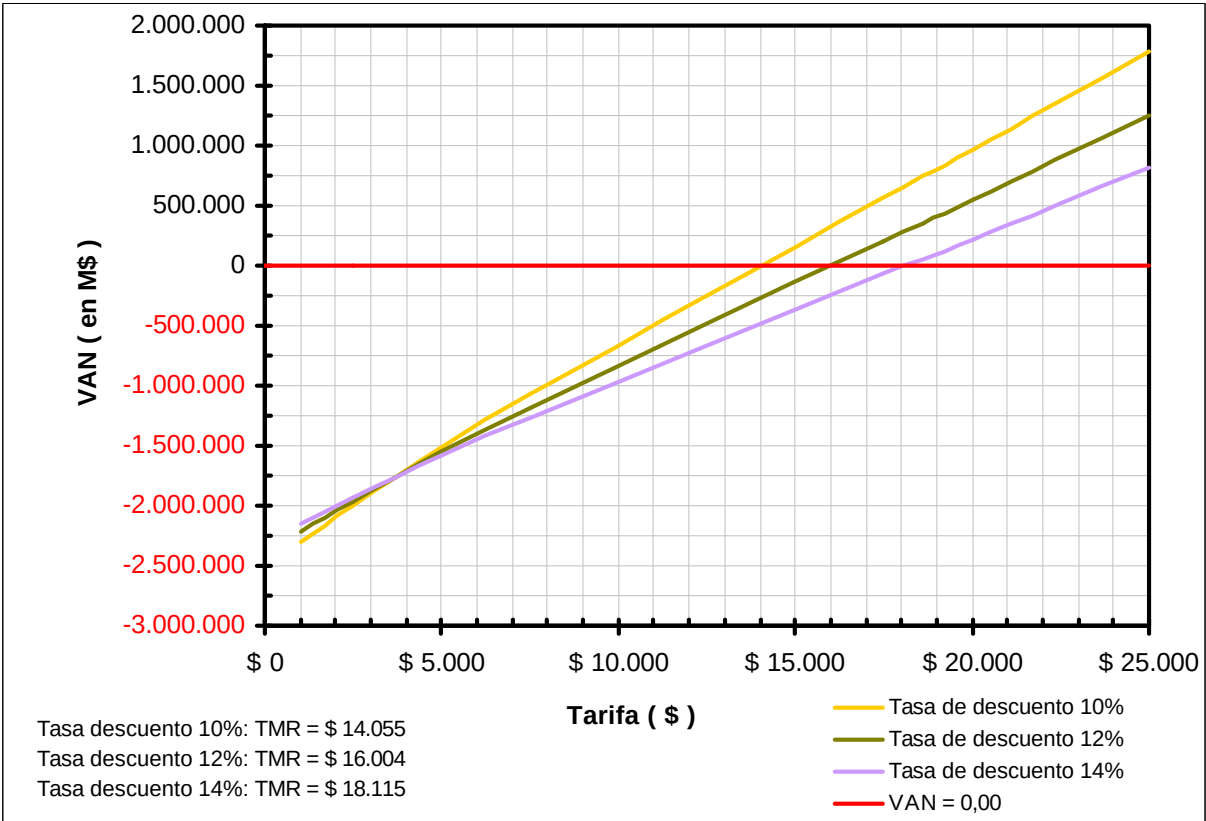
**Cuadro V.18.-** VAN para tarifas representativas, en un escenario pesimista modificando la tasa de descuento (Proyecto sin financiamiento externo).

|           | Tasa de descuento |                   |                   |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|           | 10%               | 12%               | 14%               |
| Tarifa    | VAN               |                   |                   |
| \$ 1.000  | -\$ 2.292.905.721 | -\$ 2.217.510.015 | -\$ 2.149.411.429 |
| \$ 2.500  | -\$ 1.997.634.268 | -\$ 1.967.106.908 | -\$ 1.935.220.502 |
| \$ 5.000  | -\$ 1.513.996.216 | -\$ 1.556.208.679 | -\$ 1.583.153.499 |
| \$ 7.500  | -\$ 1.072.590.331 | -\$ 1.179.854.654 | -\$ 1.259.527.840 |
| \$ 10.000 | -\$ 662.386.226   | -\$ 831.814.227   | -\$ 961.669.859   |
| \$ 12.500 | -\$ 253.927.382   | -\$ 485.423.261   | -\$ 665.372.409   |
| \$ 14.055 | \$ 0              | -\$ 269.968.080   | -\$ 481.075.396   |
| \$ 15.000 | \$ 154.531.462    | -\$ 139.032.295   | -\$ 369.074.960   |
| \$ 16.004 | \$ 318.568.533    | \$ 0              | -\$ 250.081.905   |
| \$ 17.500 | \$ 562.990.305    | \$ 207.358.671    | -\$ 72.777.511    |
| \$ 18.115 | \$ 663.471.181    | \$ 292.570.848    | \$ 0              |
| \$ 20.000 | \$ 971.449.149    | \$ 553.749.637    | \$ 223.519.938    |
| \$ 25.000 | \$ 1.788.366.836  | \$ 1.246.531.569  | \$ 816.114.836    |

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico V.3.-** Sensibilidad de la TMR modificando la tasa de descuento en un escenario pesimista (Proyecto sin financiamiento externo).

M\$: Miles de \$.



Fuente: Elaboración propia.

- **Proyecto con financiamiento bancario.**

El Cuadro V.19, incluye las tarifas más representativas y el VAN que originan para las tres tasas de descuento analizadas, también para un escenario pesimista pero ahora considerando el proyecto sin financiamiento externo. El Gráfico V.4, representa la dispersión de estos resultados, es decir, la sensibilidad de las TMR en estas condiciones.

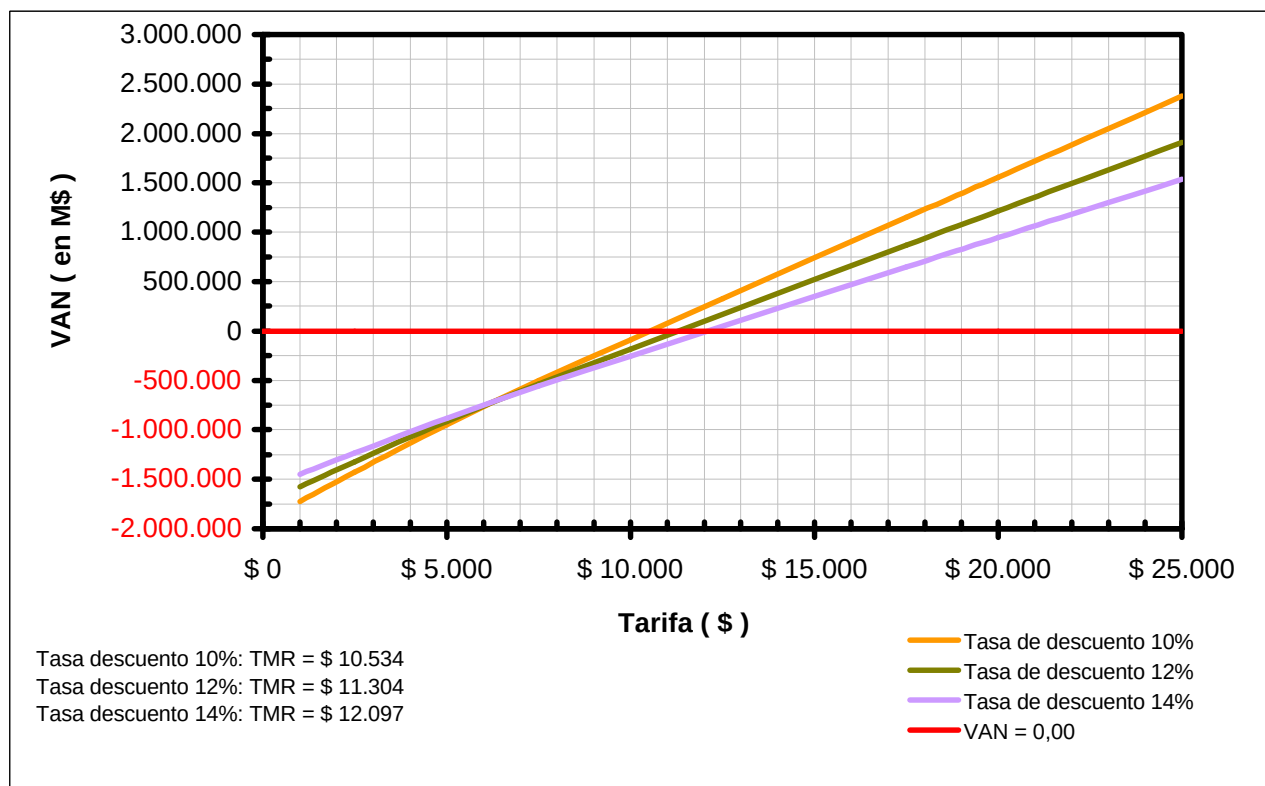
De acuerdo a los cálculos realizados, para las tasas de descuento del 10%, 12% y 14%, se tiene que las TMR serán de **\$ 10.534**, **\$ 11.304** y **\$ 12.097**, respectivamente.

**Cuadro V.19.-** VAN para tarifas representativas, en un escenario pesimista modificando la tasa de descuento (Proyecto con financiamiento bancario).

|           | Tasa de descuento |                   |                   |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|           | 10%               | 12%               | 14%               |
| Tarifa    | VAN               |                   |                   |
| \$ 1.000  | -\$ 1.724.776.333 | -\$ 1.575.220.636 | -\$ 1.446.691.193 |
| \$ 2.500  | -\$ 1.429.504.880 | -\$ 1.324.817.528 | -\$ 1.232.500.266 |
| \$ 5.000  | -\$ 945.866.829   | -\$ 913.919.299   | -\$ 880.433.262   |
| \$ 7.500  | -\$ 504.460.944   | -\$ 537.565.274   | -\$ 556.807.604   |
| \$ 10.000 | -\$ 88.631.169    | -\$ 184.195.203   | -\$ 253.895.593   |
| \$ 10.534 | \$ 0              | -\$ 108.761.939   | -\$ 189.236.986   |
| \$ 11.304 | \$ 128.143.389    | \$ 0              | -\$ 96.002.665    |
| \$ 12.097 | \$ 259.970.248    | \$ 112.028.685    | \$ 0              |
| \$ 12.500 | \$ 326.964.226    | \$ 168.956.785    | \$ 48.813.242     |
| \$ 15.000 | \$ 742.129.578    | \$ 521.701.359    | \$ 351.135.731    |
| \$ 17.500 | \$ 1.150.588.421  | \$ 868.092.325    | \$ 647.433.180    |
| \$ 20.000 | \$ 1.559.047.265  | \$ 1.214.483.291  | \$ 943.730.629    |
| \$ 25.000 | \$ 2.375.964.952  | \$ 1.907.265.223  | \$ 1.536.325.527  |

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico V.4.-** Sensibilidad de la TMR modificando la tasa de descuento en un escenario pesimista (Proyecto con financiamiento bancario).



Fuente: Elaboración propia.

**5.3.3.2.- Sensibilidad de la TMR para un escenario optimista.**

El escenario optimista de evaluación, corresponde a aquel el flujo de usuarios estimados para el teleférico aumenta en un 8% anualmente. La sensibilidad de la TMR, para este escenario de evaluación será analizada, al igual que para el caso pesimista, para los dos casos de financiamiento presentados

- Proyecto sin financiamiento externo.**

El Cuadro V.20, incluye las tarifas más representativas y el respectivo VAN que originan para las tres tasas de descuento analizadas, para un escenario optimista considerando el proyecto sin financiamiento externo. En el Gráfico V.5, se representa la sensibilidad de la TMR para estas condiciones de evaluación.

De acuerdo a los cálculos realizados, para las tasas de descuento del 10%, 12% y 14%, se tiene que las TMR corresponden a **\$ 11.416**, **\$ 13.074** y **\$ 14.881**, respectivamente.

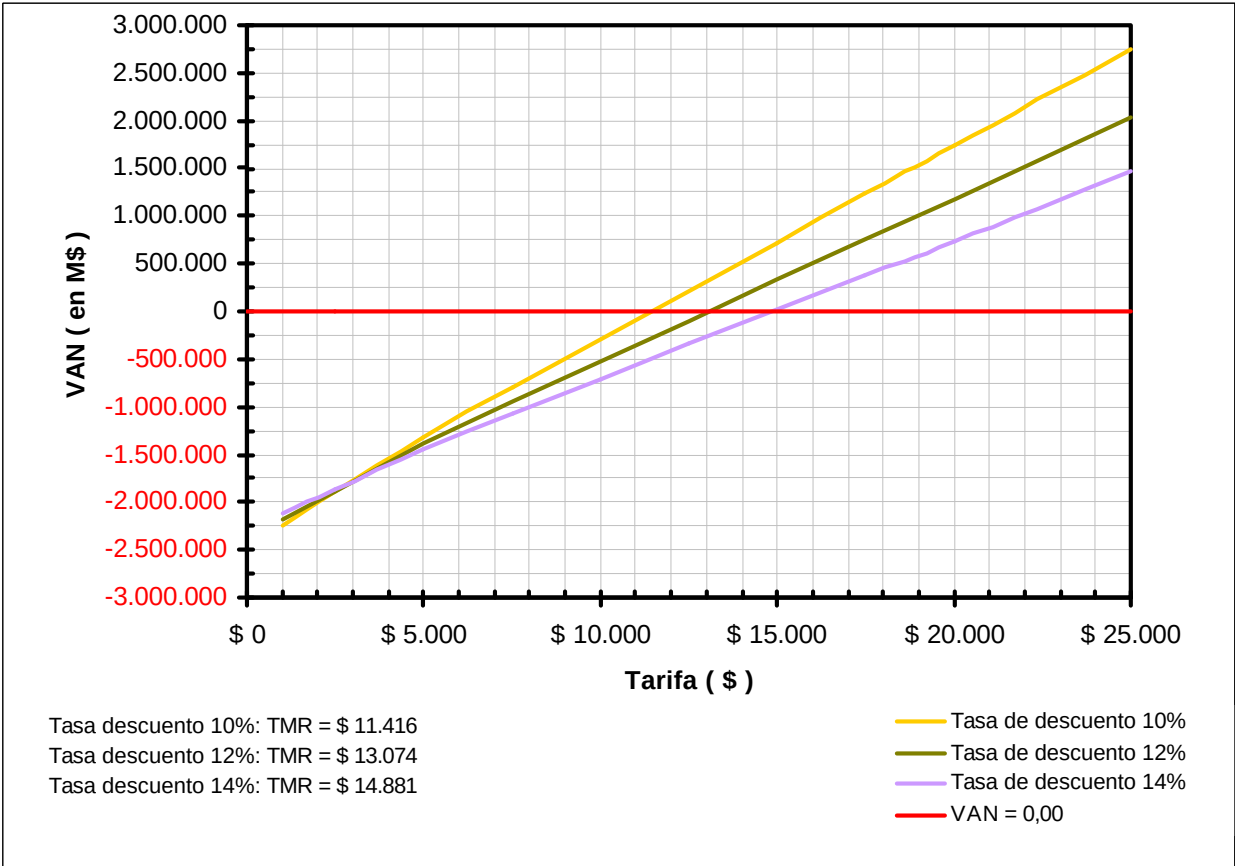
**Cuadro V.20.-** VAN para tarifas representativas, en un escenario optimista modificando la tasa de descuento (Proyecto sin financiamiento externo).

| Tarifa    | Tasa de descuento |                   |                   |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|           | 10%               | 12%               | 14%               |
| VAN       |                   |                   |                   |
| \$ 1.000  | -\$ 2.255.169.051 | -\$ 2.186.545.534 | -\$ 2.123.776.111 |
| \$ 2.500  | -\$ 1.890.528.720 | -\$ 1.879.222.422 | -\$ 1.862.461.437 |
| \$ 5.000  | -\$ 1.315.503.105 | -\$ 1.392.401.330 | -\$ 1.446.757.836 |
| \$ 7.500  | -\$ 790.026.903   | -\$ 947.782.394   | -\$ 1.067.201.583 |
| \$ 10.000 | -\$ 285.607.779   | -\$ 522.652.090   | -\$ 705.716.284   |
| \$ 11.416 | \$ 0              | -\$ 281.858.286   | -\$ 500.971.011   |
| \$ 12.500 | \$ 218.811.346    | -\$ 97.521.786    | -\$ 344.230.985   |
| \$ 13.074 | \$ 334.625.977    | \$ 0              | -\$ 261.233.960   |
| \$ 14.881 | \$ 699.220.120    | \$ 307.372.316    | \$ 0              |
| \$ 15.000 | \$ 723.230.470    | \$ 327.608.518    | \$ 17.254.314     |
| \$ 17.500 | \$ 1.227.649.594  | \$ 752.738.823    | \$ 378.739.613    |
| \$ 20.000 | \$ 1.732.068.719  | \$ 1.177.869.127  | \$ 740.224.912    |
| \$ 25.000 | \$ 2.740.906.968  | \$ 2.028.129.735  | \$ 1.463.195.511  |

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico V.5.-** Sensibilidad de la TMR modificando la tasa de descuento en un escenario optimista (Proyecto sin financiamiento externo).

M\$: Miles de \$.



Fuente: Elaboración propia.

- **Proyecto con financiamiento bancario.**

El Cuadro V.21, incluye las tarifas más representativas y el VAN que originan para las tres tasas de descuento analizadas, también para un escenario optimista pero ahora considerando el proyecto con financiamiento bancario. El Gráfico V.6, representa la dispersión de estos resultados, es decir, la sensibilidad de las TMR en estas condiciones.

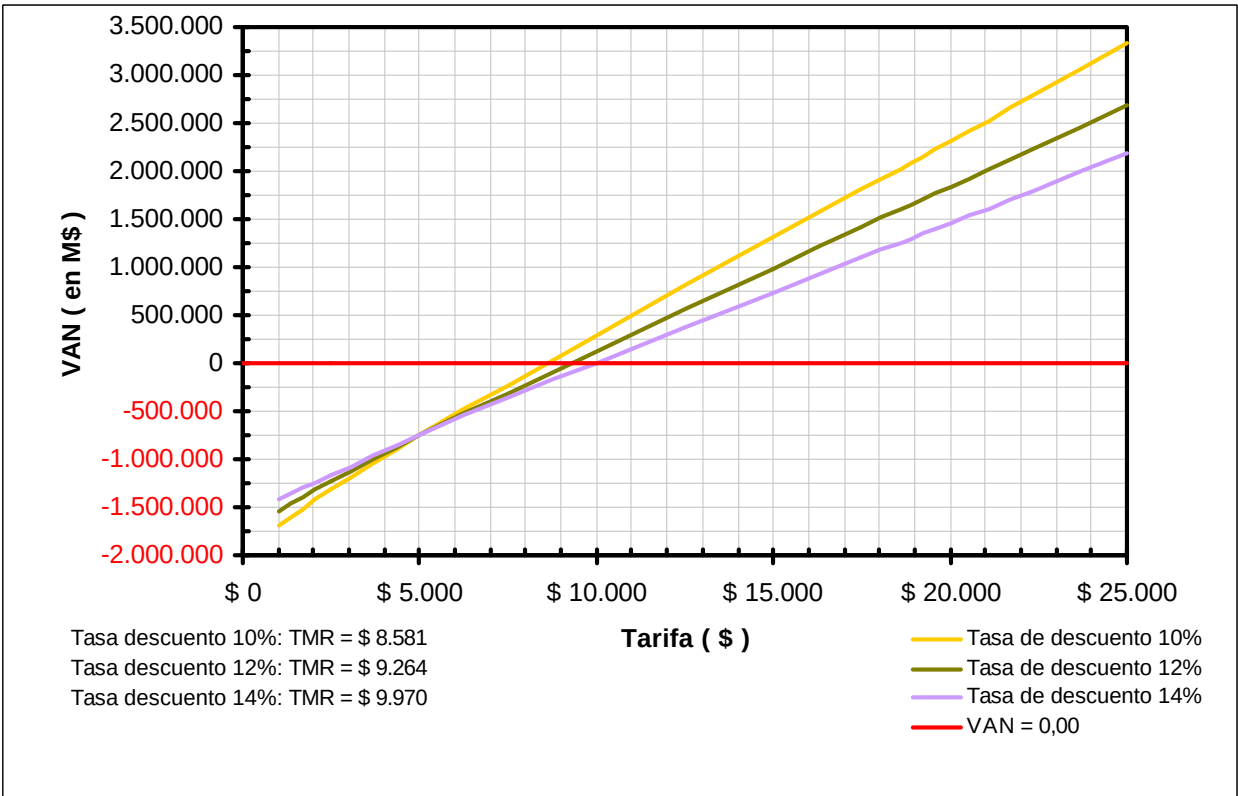
De acuerdo a los cálculos realizados, para las tasas de descuento del 10%, 12% y 14%, se tiene que las TMR serán de **\$ 8.581**, **\$ 9.264** y **\$ 9.970**, respectivamente.

**Cuadro V.21.-** VAN para tarifas representativas, en un escenario optimista modificando la tasa de descuento (Proyecto con financiamiento bancario).

|           | Tasa de descuento |                   |                   |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|           | 10%               | 12%               | 14%               |
| Tarifa    | VAN               |                   |                   |
| \$ 1.000  | -\$ 1.687.039.664 | -\$ 1.544.256.154 | -\$ 1.421.055.874 |
| \$ 2.500  | -\$ 1.322.399.333 | -\$ 1.236.933.042 | -\$ 1.159.741.200 |
| \$ 5.000  | -\$ 747.373.718   | -\$ 750.111.950   | -\$ 744.037.599   |
| \$ 7.500  | -\$ 221.446.105   | -\$ 305.065.357   | -\$ 364.075.805   |
| \$ 8.581  | \$ 0              | -\$ 118.040.859   | -\$ 204.736.795   |
| \$ 9.264  | \$ 139.980.719    | \$ 0              | -\$ 104.062.842   |
| \$ 9.970  | \$ 284.633.404    | \$ 122.270.915    | \$ 0              |
| \$ 10.000 | \$ 290.780.119    | \$ 127.461.234    | \$ 4.423.292      |
| \$ 12.500 | \$ 803.006.344    | \$ 559.987.825    | \$ 372.922.389    |
| \$ 15.000 | \$ 1.310.828.586  | \$ 988.342.173    | \$ 737.465.005    |
| \$ 17.500 | \$ 1.815.247.711  | \$ 1.413.472.477  | \$ 1.098.950.305  |
| \$ 20.000 | \$ 2.319.666.835  | \$ 1.838.602.781  | \$ 1.460.435.604  |
| \$ 25.000 | \$ 3.328.505.084  | \$ 2.688.863.390  | \$ 2.183.406.202  |

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico V.6.-** Sensibilidad de la TMR modificando la tasa de descuento en un escenario optimista (Proyecto con financiamiento bancario).



Fuente: Elaboración propia.

**5.3.4.- Resultados de la evaluación.**

Para estimar la rentabilidad del teleférico, el cálculo se basó en la determinación de una cierta tarifa mínima requerida (llamada *TMR*) que haga el VAN del proyecto igual a cero, al término del periodo de evaluación (15 años). La TMR facilita la comprensión del comportamiento de los benéficos que reporte el teleférico al final de su vida útil cobrando una cierta tarifa, es decir, mediante el método del valor actual neto, obtener aquella tarifa que marca la frontera entre, percibir beneficios y estar afecto a no recuperar la inversión.

Esto se realizó para cada uno de los escenarios de evaluación presentados en este estudio, es decir, para un escenario pesimista y un escenario optimista. Ambos escenarios están referidos al crecimiento del flujo anual de usuarios estimados para el teleférico en la correspondiente proyección de la demanda. El escenario pesimista se refiere a considerar una tasa del 6% anual para el crecimiento del flujo de usuarios estimados, de esta manera, para el año 2008, considerado como año de inicio del

funcionamiento del teleférico se estimaron 22.350 personas / año. Para el escenario optimista se consideró una tasa de crecimiento anual del 8% y para el primer año de funcionamiento se estimó 24.450 personas / año.

Tanto para el escenario pesimista de evaluación, como para el escenario optimista, se incluyeron las fuentes de financiamiento de la inversión supuestas para el proyecto. Se consideraron dos posibles casos de financiamiento, la inversión financiada sin contemplar un financiamiento externo (totalmente capital propio), y la inversión financiada parcialmente por un préstamo bancario correspondiente a un 75% del total a invertir (el 25% restante corresponde a capital propio).

La tasa de descuento empleada para actualizar los flujos futuros en el cálculo del VAN, se basó en la tasa máxima de interés que CORFO les exige a las instituciones bancarias, en el momento de colocación de los créditos de inversión, previamente licitados por la corporación. Incrementando esta tasa, debido a una incertidumbre o prima por riesgo, la tasa de descuento resultó de un 12%.

Así entonces, para los escenarios de evaluación propuestos y la tasa de descuento del 12% determinada, se obtuvieron las *TMR* presentadas en el Cuadro V.22. Vale recordar que la *TMR* corresponde a aquella tarifa que origina un VAN nulo, dado por los flujos futuros, en base a, el monto a invertir, los ingresos anuales y los correspondientes costos operacionales.

**Cuadro V.22.- TMR para los escenarios propuestos de evaluación.**  
(Tasa de descuento =12%)

|                                      | Escenarios |           |
|--------------------------------------|------------|-----------|
|                                      | Pesimista  | Optimista |
| Proyecto sin financiamiento externo  | \$ 16.004  | \$ 13.074 |
| Proyecto con financiamiento bancario | \$ 11.304  | \$ 9.264  |

Fuente: Elaboración propia.

El punto más importante recae en analizar si las *TMR*, calculadas para que el teleférico al final de su vida útil al menos recupere la inversión realizada, están dentro de un rango que pudiera establecerse como razonable. De ser razonables, podría decirse que se justificaría llevar a cabo un estudio más profundo o quizás definitivo, que contemple especialistas en diversas áreas por ejemplo, geotecnia, topografía, impacto ambiental, etc, como lo amerita un proyecto de esta magnitud.

El mejor de los casos, para las condiciones de evaluación establecidas (Cuadro V.22), corresponde a una TMR de \$ 9.264, calculada para un escenario optimista y financiada parcialmente la inversión mediante préstamo bancario. Analizando este valor, se puede decir, que es una tarifa algo elevada para cobrar por usuario y que seguramente la gran mayoría no estaría dispuesta a cancelar. Sin duda, que siempre habrá personas con un cierto poder adquisitivo, sobre todo turistas extranjeros, que sí estén dispuestos a desembolsar cerca de diez mil pesos, pero se cree serán los menos.

Debe pensarse que lo que se ha calculado corresponde a una tarifa “mínima requerida” para al menos recuperar la inversión. Con esto se quiere decir que, desde el punto de vista privado, el objetivo de invertir en un proyecto es que éste reporte beneficios. Si se quisiera obtener beneficios de instalar un teleférico deberá cobrarse una tarifa mayor que la TMR calculada, lo que la haría menos accesible o , en palabras más simples, más cara para los potenciales visitantes.

Si bien, hasta el momento se ha dicho que la TMR más favorable resulta algo elevada, puede decirse también, con cierta seguridad, que ésta TMR no corresponde a una tarifa definitivamente excesiva o impracticable. No sería desmesurado por ejemplo, pensar en establecer una tarifa que bordee los diez mil pesos como una tarifa promedio, enmarcada dentro de una determinada política de precios que contemple o distinga entre horas peak y normales, temporada alta y baja, turistas y residentes, niños y adultos, etc; política que detallar o realizar escapa a los objetivos del presente estudio.

Vale mencionar, que lo descrito en los párrafos inmediatamente precedentes, corresponde a un caso favorable, es decir, a un escenario optimista de evaluación, donde el flujo anual de usuarios crecería a un ritmo del 8% anual. Si ya resulta cara la tarifa en un escenario favorable, al momento de decidir si invertir o no, no puede ignorarse la TMR, en caso de presentarse un escenario pesimista (crecimiento del flujo anual de usuarios del 6%) y tal como lo indica el Cuadro V.22, la tarifa resulta menos accesible aún.

Al momento de estimar la demanda potencial de usuarios para el teleférico se decidió ser conservador, ante la incertidumbre que presenta la cantidad y el comportamiento de los turistas propiamente tales en la zona. Este factor de evaluación, sin duda, siempre será, al menos un *tema discutible*, sometido a entusiasmos o pesimismo subjetivos. Con esto simplemente se quiere decir, que ante un crecimiento del flujo potencial de usuarios para el teleférico, mejor aún que el presentado en este

estudio, por supuesto que puede pensarse en establecer una tarifa mínima más accesible o *barata*. Pero este factor está lejos de ser cuantificado con absoluta certeza, y de realizarse un estudio más profundo deben incluirse, por ejemplo, encuestas que faciliten comprender el comportamiento de los turistas frente a una virtual instalación de un teleférico para, al menos, estrechar la incertidumbre.

Se incluyó en la evaluación económica un análisis de sensibilidad, el cual estuvo enfocado a cuantificar la sensibilidad de las TMR para distintas tasas de descuento empleadas en la actualización de los flujos futuros. Se calcularon las TMR para tasas de descuento de un 10% y un 14%, y, al igual que lo realizado para la tasa del 12%, se consideraron ambos escenarios de crecimiento del potencial flujo de usuarios y ambos casos de financiamiento de la inversión propuestos. En el Cuadro V.23, a modo de resumen, se presentan las TMR calculadas para las nuevas tasas de descuento y se incluyen además las TMR correspondientes a la tasa del 12%.

**Cuadro V.23.-** TMR para los escenarios propuestos de evaluación, modificando la tasa de descuento.

|                                      | Escenario         |           |           |                   |           |           |
|--------------------------------------|-------------------|-----------|-----------|-------------------|-----------|-----------|
|                                      | Pesimista         |           |           | Optimista         |           |           |
|                                      | Tasa de descuento |           |           | Tasa de descuento |           |           |
|                                      | 10%               | 12%       | 14%       | 10%               | 12%       | 14%       |
| Proyecto sin financiamiento externo  | \$ 14.055         | \$ 16.004 | \$ 18.115 | \$ 11.416         | \$ 13.074 | \$ 14.881 |
| Proyecto con financiamiento bancario | \$ 10.534         | \$ 11.304 | \$ 12.097 | \$ 8.581          | \$ 9.264  | \$ 9.970  |

Fuente: Elaboración propia.

El objetivo de sensibilizar las tasas de descuento radica en observar si las TMR varían en forma considerable para las nuevas condiciones de evaluación. Tal como lo enseña el Cuadro V.23, enfocándose principalmente en el escenario más favorable, puede decirse que la TMR de \$9.264 no presenta mayores variaciones modificando la tasa de descuento. La TMR varía entre \$ 8.581, para una tasa de descuento del 10%, y \$ 9.970, para una tasa de descuento del 14%, así entonces, para una diferencia de cuatro puntos porcentuales la TMR varía sólo alrededor de \$ 1.400.

La TMR en el presente estudio se instituyó como indicador de rentabilidad, de esta manera, el proyecto teleférico sería rentable si se cobra una tarifa como mínimo igual a la TMR y viceversa, el proyecto no marcaría rentabilidad si se cobra una tarifa menor que la TMR determinada. A modo de mayor claridad en la interpretación de los resultados, debe tenerse claro que los escenarios de evaluación pueden ser diversos, por lo tanto, las TMR calculadas en este capítulo sólo son válidas si se dan condiciones económicas similares a las propuestas.

La instalación del teleférico podría ser rentable si se cobrase una tarifa promedio por usuario que bordee los diez mil pesos (se hace necesario establecer una política de precios) en condiciones de similar optimismo que las analizadas en la presente evaluación económica. Se recomienda seguir el siguiente paso de evaluación, es decir, realizar un estudio más profundo, que incluya encuestas a turistas con preguntas como cuánto estarían dispuestos a pagar por un paseo en teleférico hasta la cima del Cerro Divisadero, entre otras.

En el presente estudio, el objetivo era evaluar el teleférico como medio de transporte propiamente tal. Sin embargo, a la hora de decidir su futura implementación, el teleférico debe necesariamente estar contenido dentro de un proyecto que esté orientado a construir un completo turístico en la cima del Divisadero, decisión que escapa a la finalidad de esta tesis. Como se ha mencionado constantemente en el desarrollo de esta tesis, el teleférico debe entenderse como un *medio* para otorgarle impulso turístico al Cerro Divisadero y a la ciudad de Coyhaique, pero en ningún caso, el teleférico debe pensarse como un *fin*, pensar de esta manera sólo lo transformaría en un *elefante blanco*.

## CAPÍTULO VI.- CONCLUSIONES.

El teleférico proyectado para el Cerro Divisadero (Coyhaique) fue analizado como medio de transporte turístico, dedicado exclusivamente a transportar pasajeros. La demanda potencial inicial para el teleférico, considerando como año de inicio del funcionamiento el 2008, para un caso optimista es de 24.450 personas / año. Para el caso pesimista la cantidad de usuarios desciende a 22.350 personas / año. De llevarse a cabo un estudio más detallado se recomienda realizar encuestas a turistas en la próxima temporada estival, para estimar la demanda potencial del teleférico con un grado de incertidumbre mucho menor.

El factor de mayor consideración en la elección del trazado del teleférico es la disposición de los torrentes sobre la vertiente rocosa de la ladera Norte del Cordón Divisadero. Las instalaciones del teleférico deben situarse en zonas donde estos torrentes fluvio-aluviales no adquieran importancia. En caso de realizarse un estudio definitivo, debe evaluarse el impacto ambiental de una futura instalación del teleférico en la zona.

El teleférico proyectado tiene una capacidad máxima de 240 personas /hora. El sistema de operación elegido fue el monocable continuo y se deben disponer 14 cabinas con una capacidad para 6 personas para satisfacer la demanda peak estimada.

El cable de acero seleccionado en el diseño responde a la designación comercial empleada por Prodinsa S.A. de *Cobra AF 6x19 Seale LD* y debe tener 32 mm de diámetro.

La tensión del cable de acero, aumenta para temperaturas bajo cero debido a las presiones internas que se originan producto que el cable tiende a acortarse. Lo inverso sucede para temperaturas positivas. Si bien, se produce un aumento de la tensión del cable para oscilaciones térmicas negativas, estas últimas no dominan el diseño ya que se trata de cargas de carácter eventual.

El viento, incluido en el análisis estructural como carga lateral estática no tiene una influencia considerable sobre la tensión del cable de acero del teleférico. En cambio, en la operación del sistema el viento adquiere importancia, puesto que para velocidades superiores a *80 Km/hora* el funcionamiento del teleférico debe detenerse por razones de seguridad.

Para analizar un cable de acero, existen diversos métodos de cálculo, unos más exactos que otros. Se cree que la teoría presentada en esta tesis es digna de ser estudiada, e incluso no se comprende la escasa difusión en la literatura especializada, ya que facilita bastante el cálculo y ayuda a entender el comportamiento estructural de un cable de acero sometido a cargas de trabajo.

La inversión inicial, necesaria para la puesta en servicio del teleférico en el Cerro Divisadero, se estimó en \$ *2.139.350.097*.

El teleférico, desde el punto de vista privado y en el mejor de los casos de evaluación propuestos, sólo sería rentable si se cobra una tarifa mayor que la tarifa mínima requerida por usuario de \$ *9.264*, determinada para comenzar a percibir beneficios. Esta tarifa se cree no estaría al alcance de la mayoría de los usuarios, por lo que sólo sería practicable de establecerse una estudiada política de precios.

El teleférico en sí podría constituirse como un polo de atracción, ya que es un medio de transporte relativamente desconocido en el país y por sobre todo, inaudito en la Región de Aisén. Sin embargo, se piensa qué para mejorar la rentabilidad del teleférico, éste necesariamente debe estar inmerso en la elaboración de un plan de desarrollo turístico para el Cerro Divisadero. Como el propósito del presente estudio era analizar el medio de transporte propiamente tal, se deja planteada la inquietud para que sea considerada en caso que se decida desarrollar un estudio más detallado y definitivo.

# Bibliografía.

BARRIENTOS, J. 1990. *Evaluación de los tratamientos biológicos del Cerro Divisadero, (Coyhaique, XI Región)*. Tesis Ing. Forestal. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Fac. Cs. Forest.

DOPPELMAYR, 2004. Grupo Doppelmayr/Garaventa. Empresa experta en transporte por cables. (Disponible en: <http://www.doppelmayr.com> y Consultado el: 01 de diciembre del 2004).

GARAVENTA, 2004. Grupo Doppelmayr/Garaventa. Empresa experta en transporte por cables. (Disponible en: <http://www.garaventa.com> y Consultado el: 09 de noviembre del 2004).

HAUSER, A. 1994. *Evaluación de riesgos en la zona urbana de Coyhaique, XI Región*. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN).

HOELCK, E. 1979. *Alternativa de transporte para el complejo turístico Volcán Osorno – La Ensenada*. Tesis Ing. Civil. Santiago. Universidad de Chile. Fac. Cs. Fis. y Mat.

LEITNER, 2004. Suministro e instalación de teleféricos. (Disponible en: <http://www.leitner-lifts.com> y Consultado el: 22 de octubre del 2004).

LIFT-WORLD, 2004. *Ropeways technology*. (Disponible en: <http://www.lift-world.info> y Consultado el: 09 de noviembre del 2004).

MENZEL, M. 1976. *Factibilidad económica de transporte por teleférico entre Corral Quemado y Farellones*. Tesis Ing. Civil. Santiago. Universidad de Chile. Fac. Cs. Fis. Y Mat.

NOVOA, J. 1990. *Geomorfología aplicada. Riesgos naturales Cerro Divisadero Coyhaique, XI Región*. Corporación Nacional Forestal (CONAF).

PALKOWSKI, Sz. 1990. *Statik der seilkonstruktionen. Theorie und zahlenbeispiele*. Springer-Verlag.

POMAGALSKI 2004. Empresa francesa experta en suministro e instalación de teleféricos y andariveles. (Disponible en: <http://www.poma.net> y Consultado el: 09 de noviembre del 2004).

PRODINSA S.A. 2004. Empresa chilena experta en fabricación de cables de acero. (Disponible en: <http://www.prodinsa.cl> y Consultado el: 21 de septiembre del 2004).

SERNATUR, 1998. *Identificación y caracterización de la demanda turística de alta temporada en la XI Región de Aisén*. Gobierno de Chile. Servicio Nacional de Turismo. Dirección Regional de Aisén.

SERNATUR, 2004. *Comportamiento de la demanda turística Región de Aisén Año 2003*. Gobierno de Chile. Servicio Nacional de Turismo. Dirección Regional de Aisén.

SIDGMAN, J.E. 1985. *Cálculo estructural de un teleférico de pasajeros del tipo Vaivén*. Tesis Ing. Civil. Santiago. Universidad de Chile. Fac. Cs. Fis. Y Mat.

# **ANEXOS**

# ANEXO A.- Personas ingresadas vía terrestre a la Región de Aisén en el Año 2003.

En este anexo, se presenta un cuadro con los pasajeros o personas ingresadas a las Región de Aisén vía pasos fronterizos durante el Año 2003. la información se encuentra clasificada según todos los pasos fronterizos legalmente establecidos en la región. Este cuadro forma parte de las estadísticas proporcionadas por Sernatur (2004).

**Cuadro A.1** Pasajeros llegados a la Región de Aisén en el Año 2003, según Paso Fronterizo.

**Cuadro A.1.- Pasajeros llegados a la Región de Aisén en el año 2003, según Paso Fronterizo.**

|            | Lago Verde |       | Appeleg |       | Pampa Alta |       | Coyhaique Alto |       | El Triana |       | Huemules |       | Palavicini |       | Jeinimeni |       | Roballos |       | Río Mayer |       | Río Mosco |       | Teniente Merino |       |
|------------|------------|-------|---------|-------|------------|-------|----------------|-------|-----------|-------|----------|-------|------------|-------|-----------|-------|----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------------|-------|
| Mes        | Chile      | Extr. | Chile   | Extr. | Chile      | Extr. | Chile          | Extr. | Chile     | Extr. | Chile    | Extr. | Chile      | Extr. | Chile     | Extr. | Chile    | Extr. | Chile     | Extr. | Chile     | Extr. | Chile           | Extr. |
| Enero      | 7          | 28    | 7       | 0     | 395        | 60    | 2489           | 580   | 410       | 157   | 792      | 378   | 485        | 121   | 4010      | 2770  | 67       | 157   | 4         | 0     | 0         | 2     | 2               | 9     |
| Febrero    | 21         | 58    | 40      | 7     | 630        | 46    | 3138           | 558   | 440       | 136   | 767      | 316   | 557        | 197   | 3030      | 1870  | 118      | 90    | 3         | 1     | 0         | 3     | 3               | 23    |
| Marzo      | 13         | 20    | 21      | 21    | 410        | 19    | 1645           | 351   | 181       | 99    | 453      | 293   | 292        | 63    | 1890      | 1490  | 23       | 77    | 3         | 1     | 0         | 2     | 3               | 12    |
| Abril      | 10         | 31    | 10      | 7     | 102        | 23    | 1339           | 413   | 124       | 113   | 439      | 287   | 268        | 30    | 1670      | 1310  | 18       | 6     | 3         | 2     | 0         | 10    | 5               | 22    |
| Mayo       | 15         | 10    | 0       | 7     | 56         | 12    | 642            | 159   | 103       | 79    | 457      | 149   | 194        | 30    | 1470      | 991   | 3        | 8     | 8         | 0     | 0         | 0     | 0               | 0     |
| Junio      | 2          | 1     | 3       | 0     | 12         | 9     | 503            | 112   | 19        | 29    | 258      | 90    | 83         | 3     | 1340      | 689   | 1        | 1     | 5         | 1     | 2         | 0     | 0               | 0     |
| Julio      | 0          | 7     | 0       | 0     | 17         | 11    | 905            | 256   | 26        | 27    | 539      | 165   | 220        | 33    | 1790      | 985   | 3        | 0     | 1         | 0     | 0         | 0     | 0               | 0     |
| Agosto     | 2          | 4     | 0       | 0     | 0          | 0     | 787            | 212   | 56        | 17    | 412      | 138   | 199        | 14    | 1740      | 790   | 6        | 6     | 4         | 0     | 0         | 0     | 0               | 0     |
| Septiembre | 0          | 4     | 8       | 0     | 43         | 4     | 1710           | 241   | 148       | 52    | 524      | 99    | 273        | 16    | 1920      | 855   | 6        | 12    | 2         | 1     | 0         | 0     | 0               | 0     |
| Octubre    | 1          | 3     | 0       | 0     | 33         | 7     | 853            | 258   | 123       | 47    | 373      | 489   | 305        | 31    | 1960      | 869   | 12       | 18    | 5         | 1     | 3         | 0     | 0               | 0     |
| Noviembre  | 0          | 4     | 4       | 0     | 28         | 16    | 217            | 38    | 127       | 865   | 51       | 50    | 329        | 37    | 1950      | 1030  | 19       | 42    | 11        | 1     | 9         | 4     | 2               | 10    |
| Diciembre  | 5          | 28    | 4       | 7     | 62         | 42    | 1548           | 572   | 142       | 100   | 578      | 417   | 399        | 85    | 3390      | 1740  | 14       | 73    | 9         | 8     | 8         | 0     | 1               | 2     |
| Total      | 76         | 198   | 97      | 49    | 1788       | 249   | 15776          | 3750  | 1900      | 1721  | 5640     | 2870  | 3600       | 660   | 2620      | 1540  | 290      | 490   | 58        | 16    | 22        | 21    | 16              | 78    |
| Total Paso | 274        |       | 146     |       | 2037       |       | 19256          |       | 3620      |       | 8514     |       | 4264       |       | 41531     |       | 780      |       | 74        |       | 43        |       | 94              |       |

|                                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |  |  |  |
|------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|--|--|--|
| Total Pasajeros llegados por Pasos Fronterizos |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 80.903 |  |  |  |
|------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|--|--|--|

Fuente: Sernatur (2003)

# ANEXO B.- Presentación de trazados tentativos para el teleférico.

En este anexo se presentan los trazados tentativos entre los cuales se decidió el trazado proyectado. Para cada trazado tentativo se presenta un perfil longitudinal a escala.

|            |                                           |
|------------|-------------------------------------------|
| Lámina B.1 | Planta geográfica de trazados tentativos. |
| Lámina B.2 | Perfil longitudinal de Trazado N°1.       |
| Lámina B.3 | Perfil longitudinal de Trazado N°2.       |
| Lámina B.4 | Perfil longitudinal de Trazado N°3.       |
| Lámina B.5 | Perfil longitudinal de Trazado N°4.       |

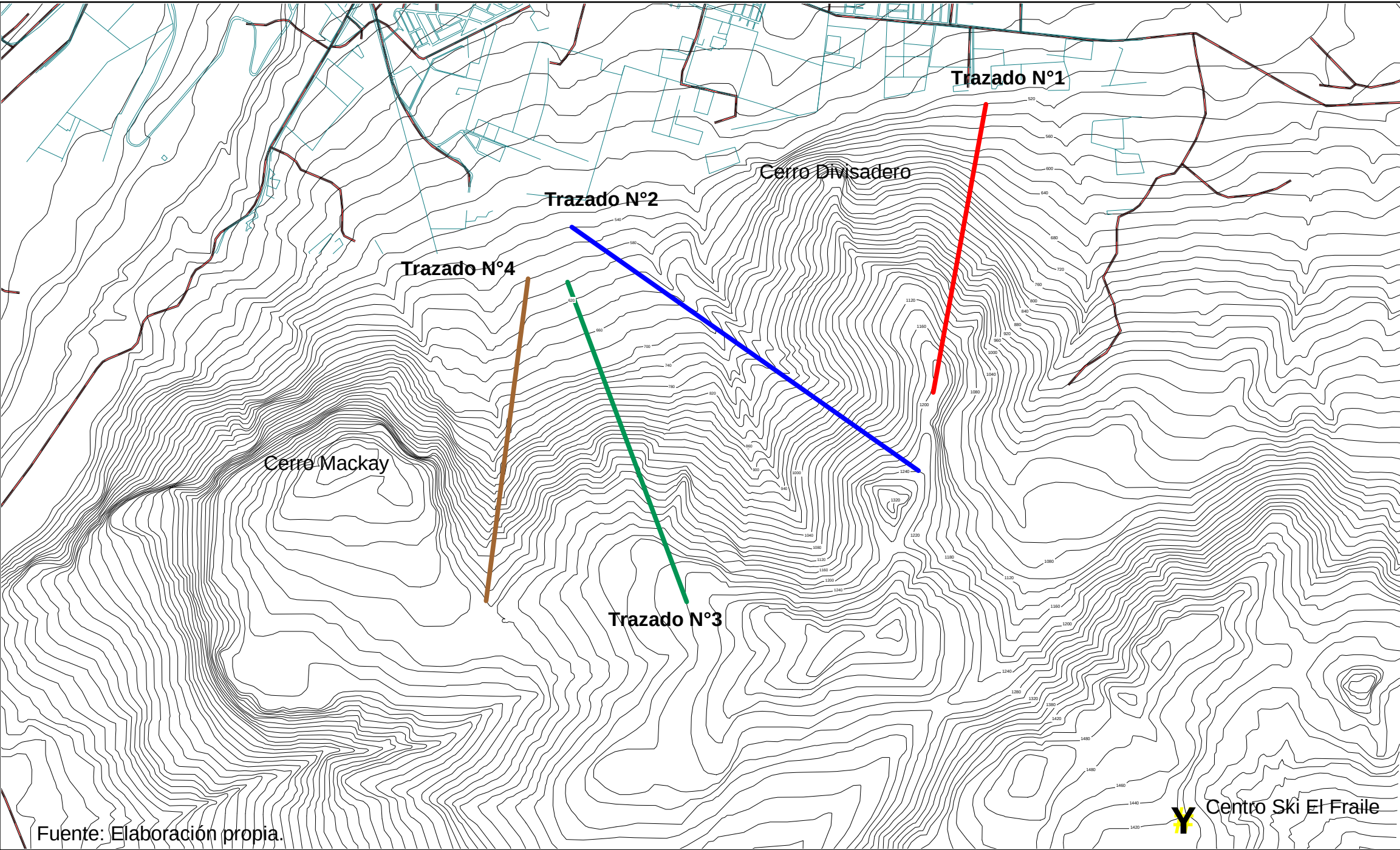


Lámina B.2.- Perfil Longitudinal Trazado N°1 Teleférico

ESC. Vertical 1:5.000  
ESC. Horizontal 1:10.000

Distancia Horizontal 1.622,94 m.  
Desnivel 690.50 m.  
Distancia Desarrollo 1783,60 m.

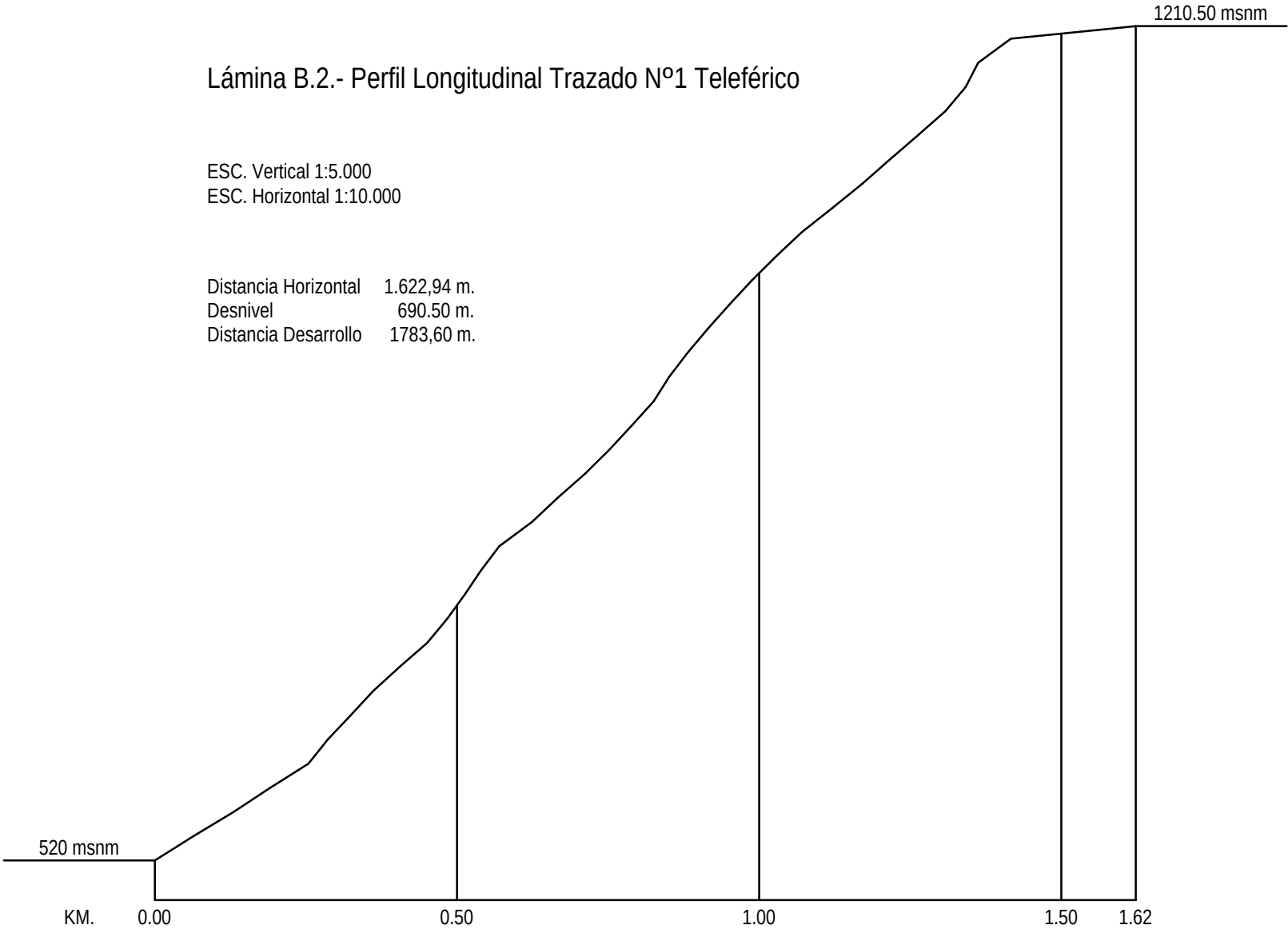


Lámina B.3.- Perfil Longitudinal Trazado N°2 Teleférico

ESC. Vertical 1:5.000  
ESC. Horizontal 1:10.000

Distancia Horizontal 2.366,86 m.  
Desnivel 700,00 m.  
Distancia Desarrollo 2843,39 m.

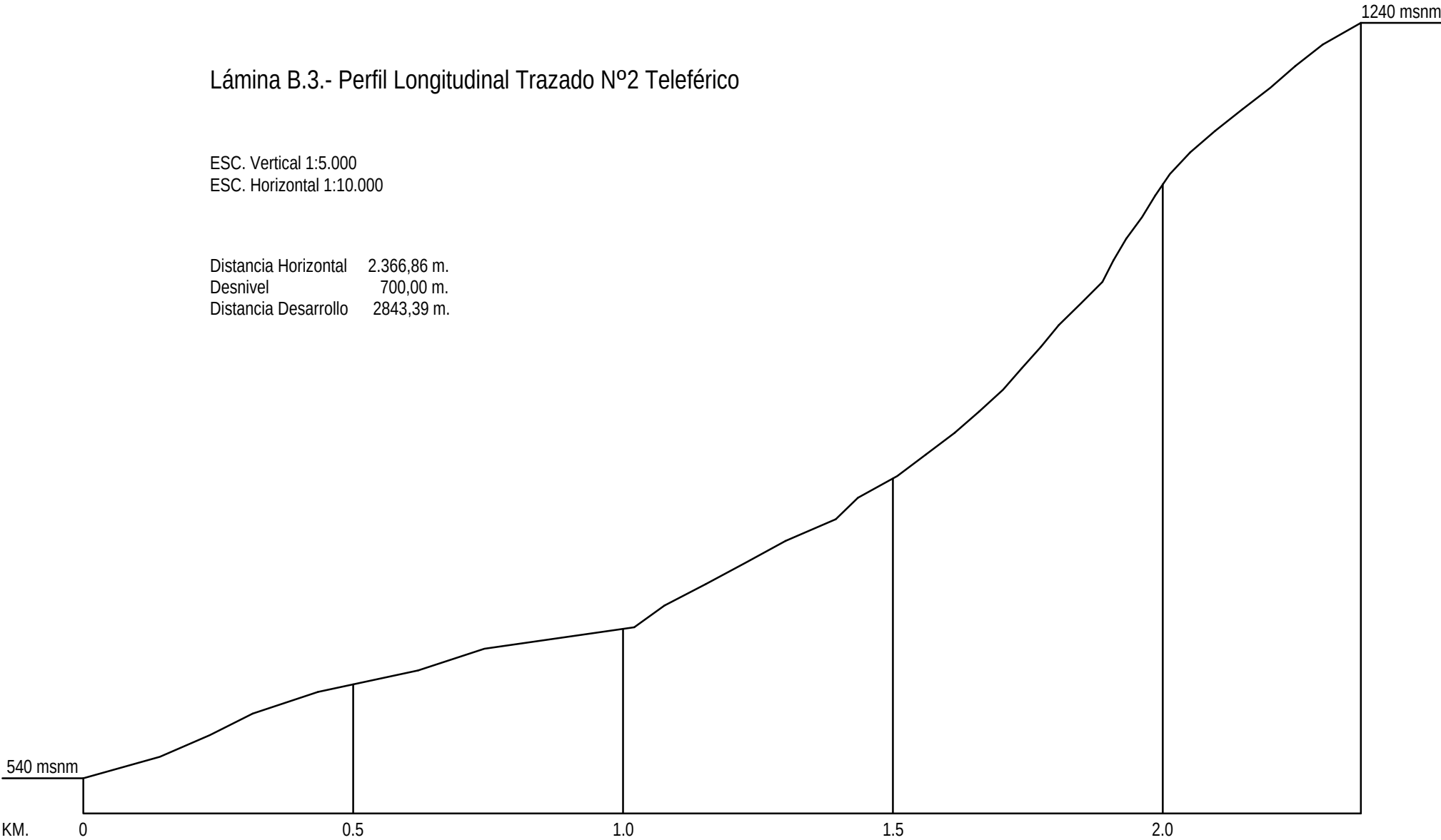


Lámina B.4.- Perfil Longitudinal Trazado N°3 Teleférico

ESC. Vertical 1:5.000  
ESC. Horizontal 1:10.000

Distancia Horizontal 1.766,87 m.  
Desnivel 500,00 m.  
Distancia Desarrollo 2.071,07 m.

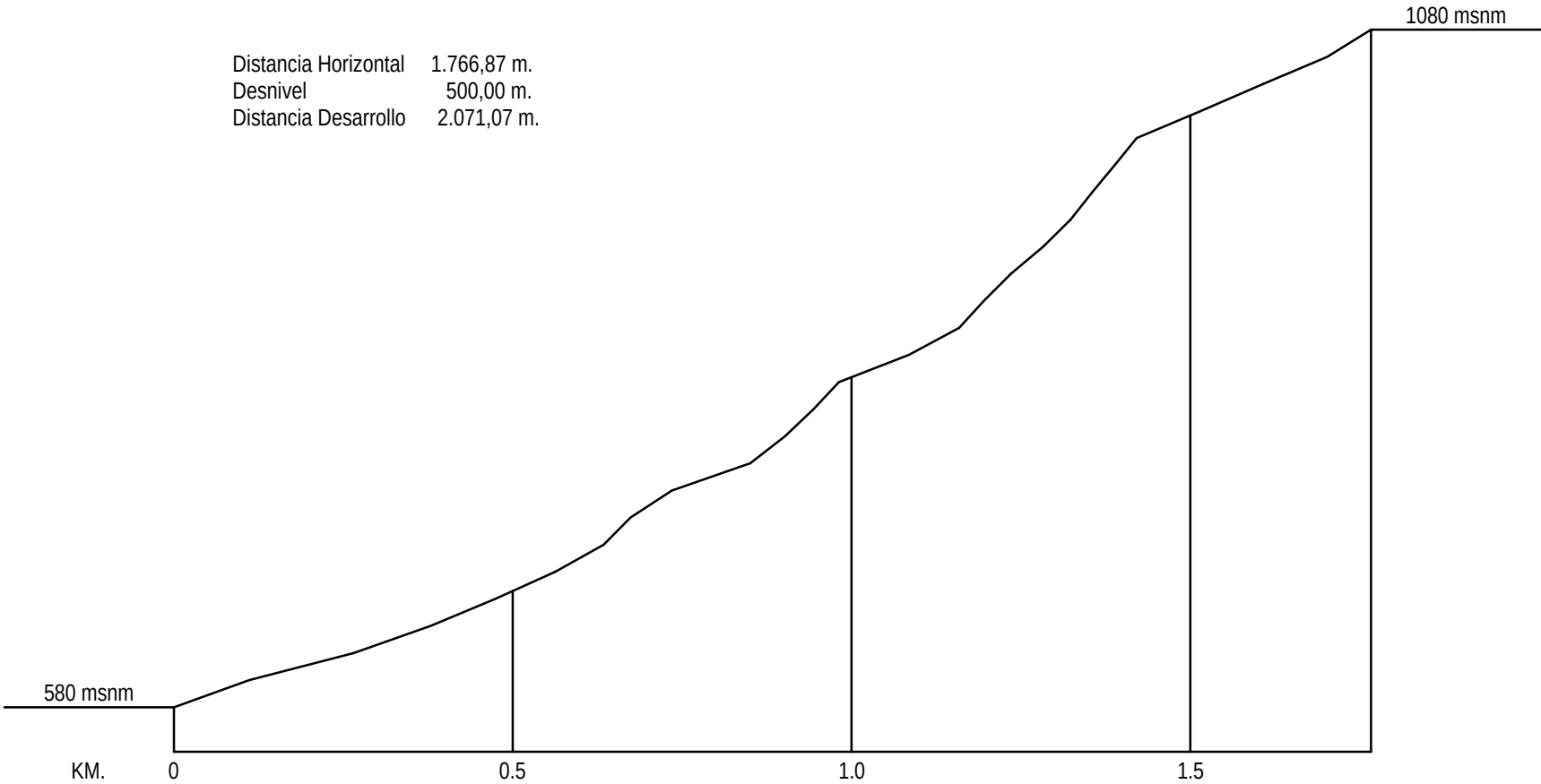
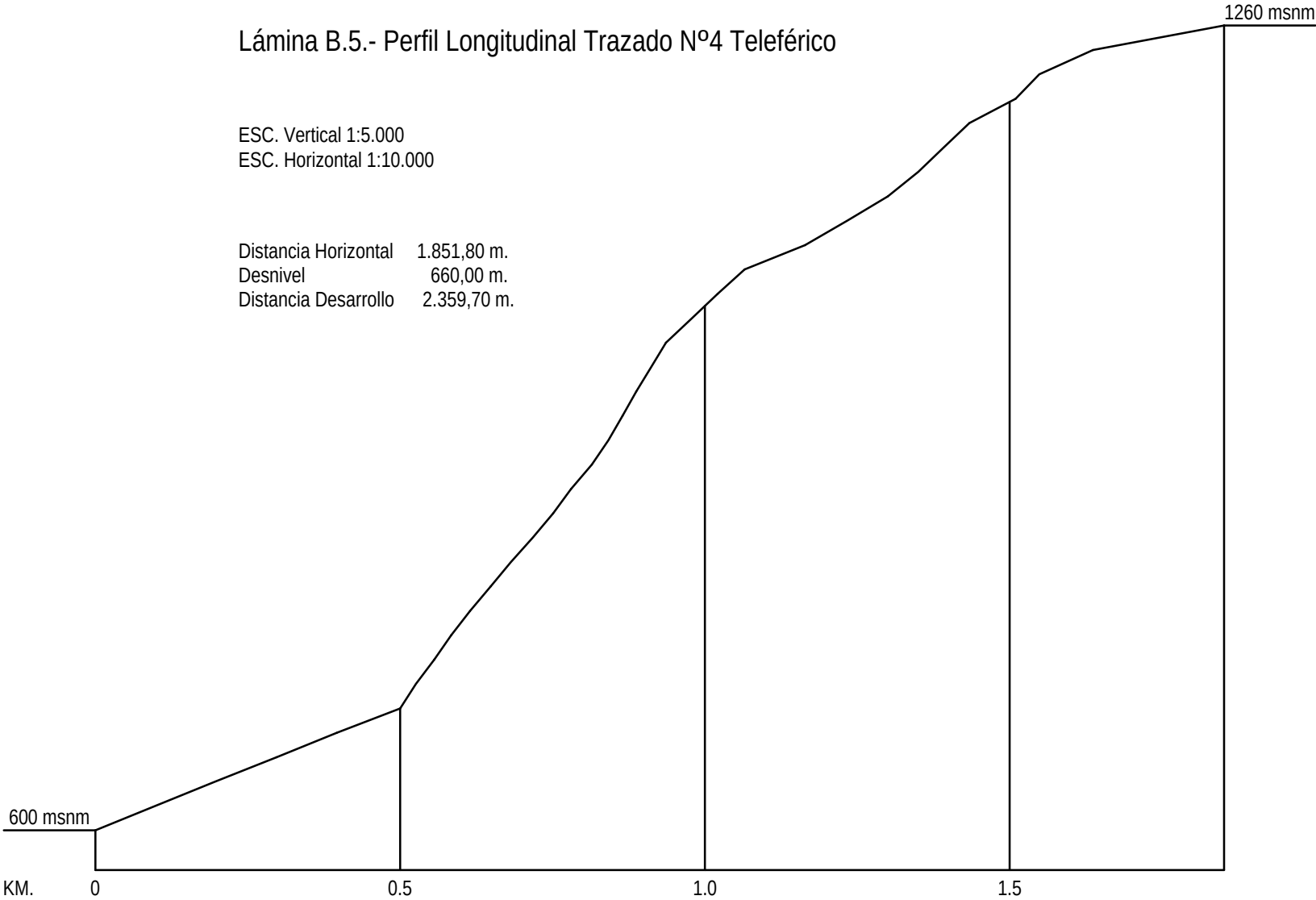


Lámina B.5.- Perfil Longitudinal Trazado N°4 Teleférico

ESC. Vertical 1:5.000  
ESC. Horizontal 1:10.000

Distancia Horizontal 1.851,80 m.  
Desnivel 660,00 m.  
Distancia Desarrollo 2.359,70 m.



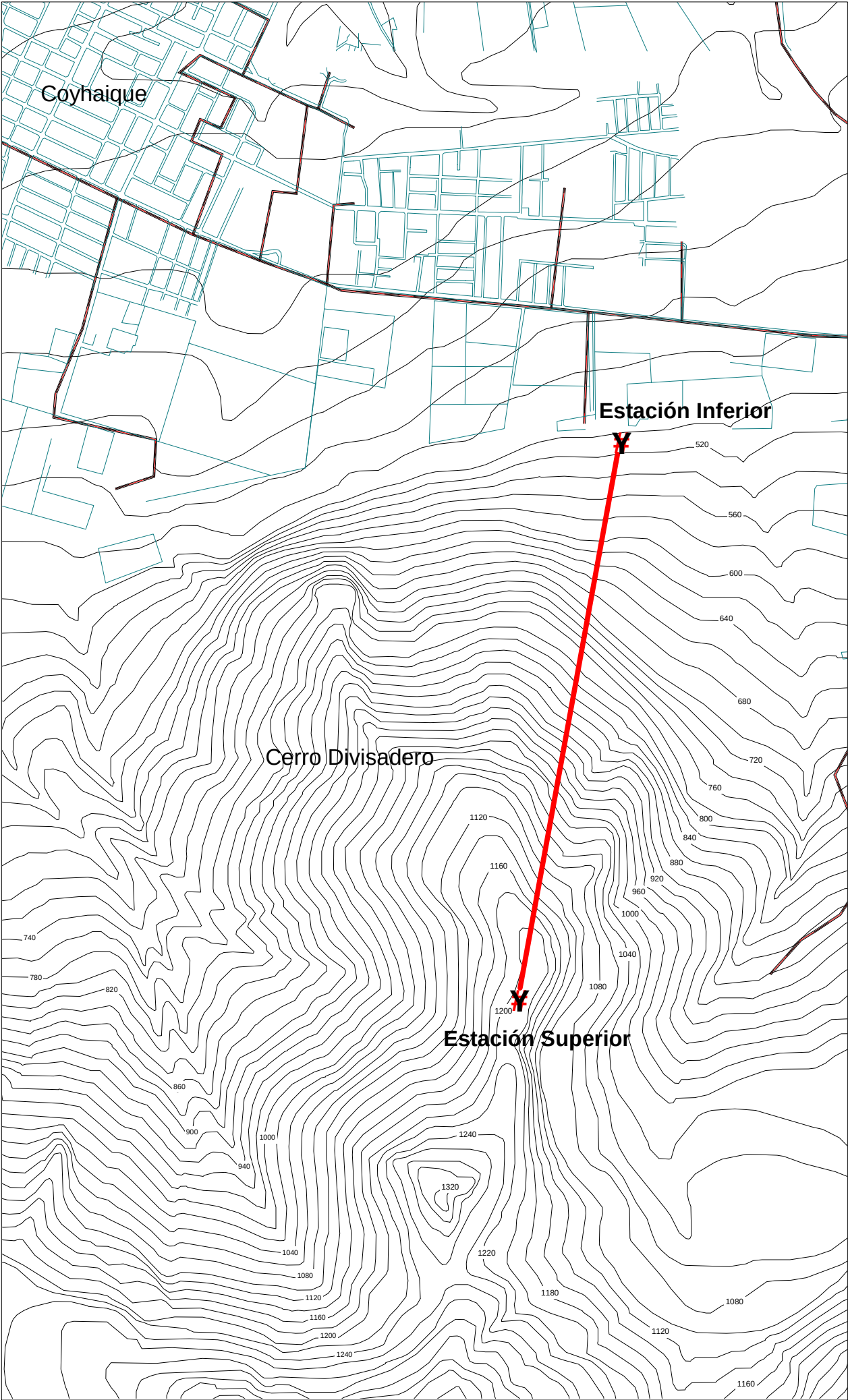
# ANEXO C.- Trazado proyectado para el teleférico.

En este anexo se incluye una planta geográfica del trazado seleccionado y el correspondiente perfil longitudinal en forma más detallada. Además, se presenta una lámina con la disposición o distribución del cable sobre este perfil longitudinal

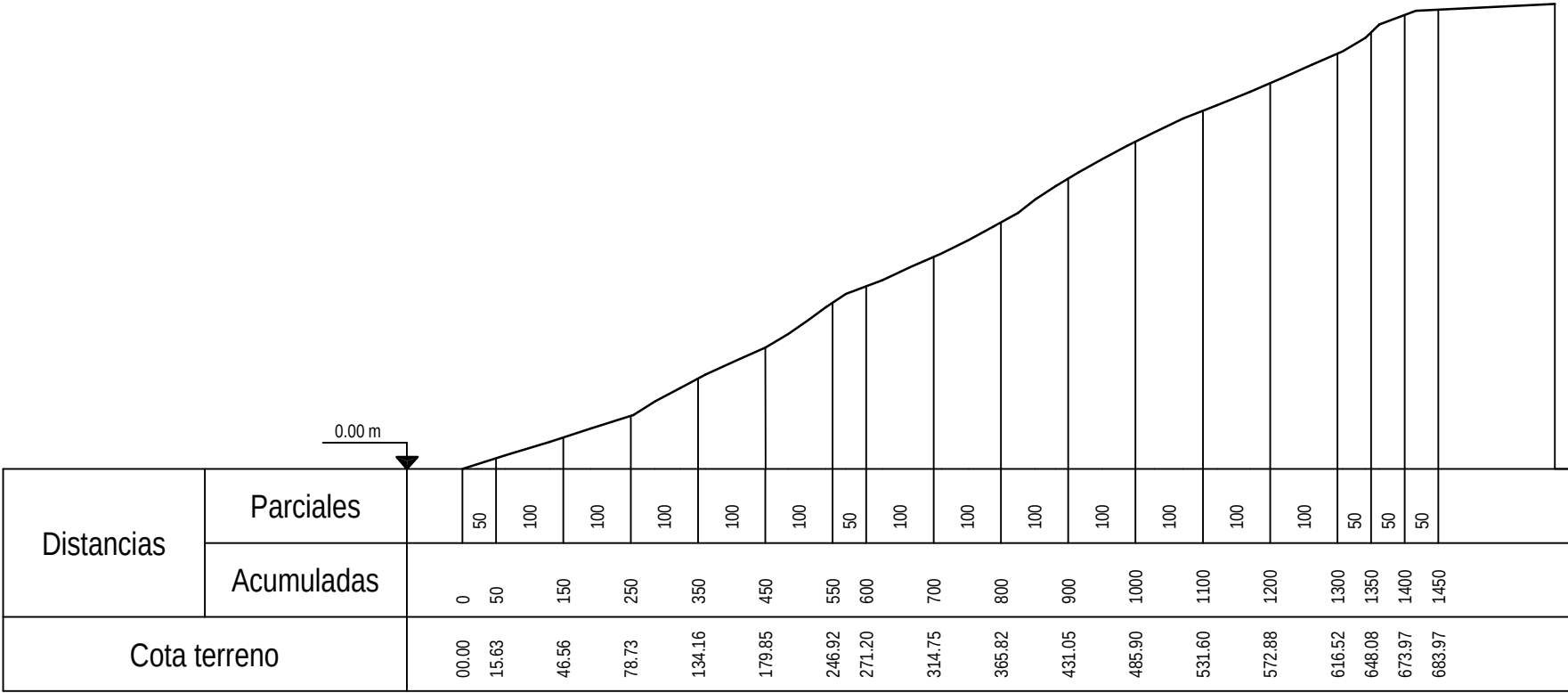
|            |                                             |
|------------|---------------------------------------------|
| Lámina C.1 | Planta geográfica del trazado proyectado.   |
| Lámina C.2 | Perfil longitudinal del trazado proyectado. |
| Lámina C.3 | Disposición del cable sobre el trazado.     |

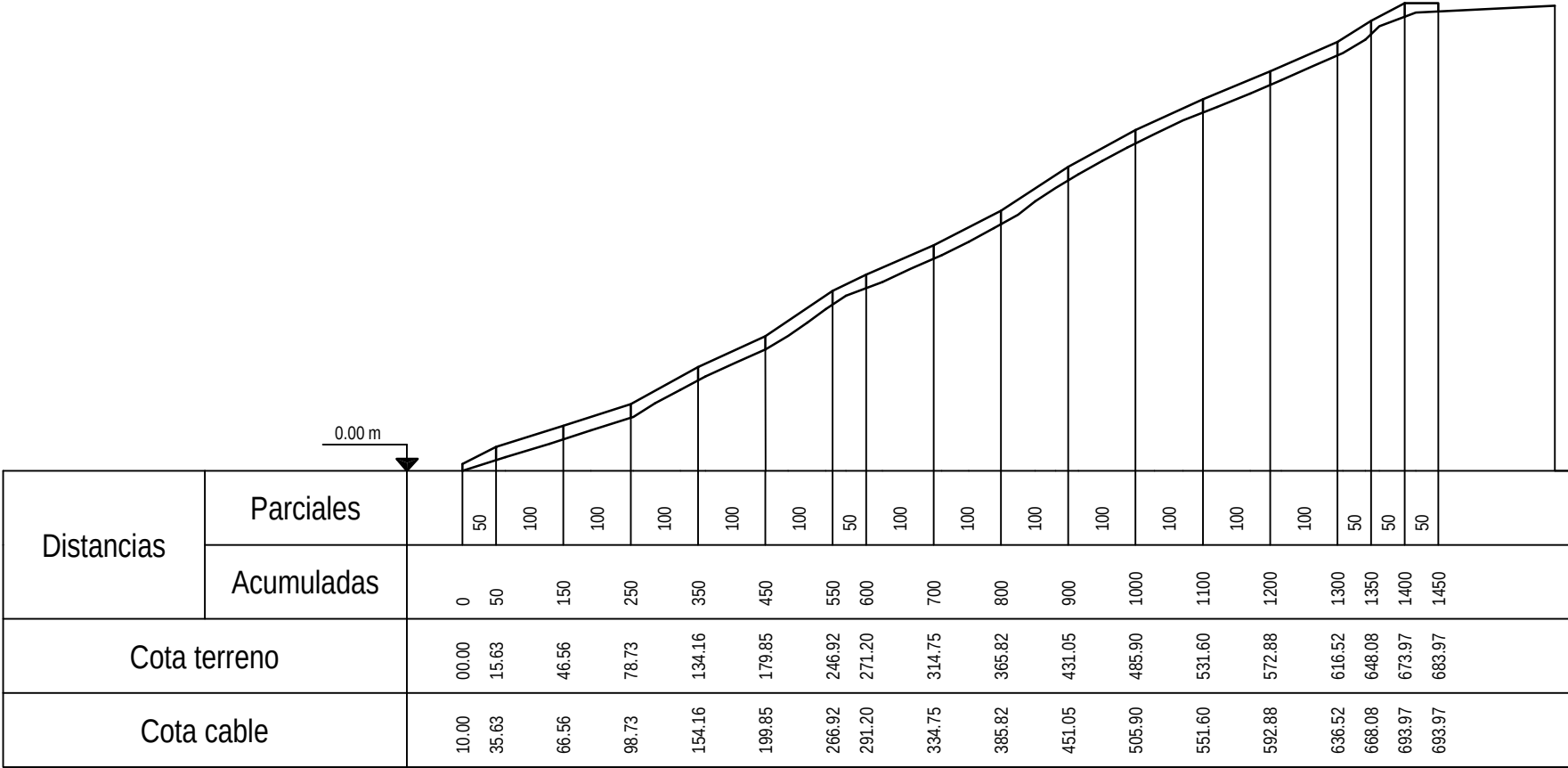
Lámina C.1.- Planta geográfica del trazado proyectado.

Esc. 1:15.000



Fuente: Elaboración propia.





## ANEXO D.- Características técnicas de teleféricos existentes.

En este anexo se incluyen catálogos o publicaciones técnicas proporcionadas por Pomagalski S.A.. Estos catálogos muestran un resumen de las principales características técnicas de teleféricos existentes.



# TC6

## OLYMPE 1 - BRIDES les BAINS / MERIBEL

SAVOIE  
FRANCE

### Technical Characteristics



|                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Year installed:                    | 1991                             |
| Slope length:                      | 2 591 m                          |
| Vertical rise:                     | 500 m                            |
| Line speed:                        | 5 m/s                            |
| Rescue speed:                      | 1,2 m/s                          |
| hourly capacity:                   | 1 400 p/h                        |
| Distance between cabins in length: | 77,1 m                           |
| Distance between cabins in time:   | 15,4 s                           |
| Travel time:                       | 8 min 40 secs                    |
| N° of passengers per cabin:        | 6                                |
| Weight of empty cabin:             | 555 daN                          |
| Weight of loaded cabin:            | 1 035 daN                        |
| N° of cabins:                      | 82                               |
| Primary drive power installed:     | 503 kW                           |
| Rescue drive power installed:      | 155 kW                           |
| Main gearbox:                      | Poma / Kissling PK 350           |
| Drive station location:            | top                              |
| Return station location:           | bottom                           |
| N° of line towers:                 | 22                               |
| Rotation:                          | counter clockwise                |
| Haul rope:                         | 5 200 m of $\varnothing$ 42,5 mm |
| Grip type:                         | Poma TB 50                       |
| Hydraulic tension:                 | 21 000 daN                       |



109, rue Aristide BERGES - CENTR'ALP - BP 47 / F - 38340 VOREPPE  
tél : 33 / 04 76 28 70 00 - fax : 33 / 04 76 28 71 91  
Email : 106174.320@compuserve.com



# TC8

## LA VIZELLE - COURCHEVEL

SAVOIE  
FRANCE

### Technical Characteristics

|                                    |                        |
|------------------------------------|------------------------|
| Year installed:                    | 1995                   |
| Slope length:                      | 1 620 m                |
| Vertical rise:                     | 579 m                  |
| Line speed:                        | 5 m/s                  |
| Rescue speed:                      | 1,5 m/s                |
| hourly capacity:                   | 2 400 p/h              |
| Distance between cabins in length: | 60,0 m                 |
| Distance between cabins in time:   | 12,0 s                 |
| Travel time:                       | 5 min 24 secs          |
| N° of passengers per cabin:        | 8                      |
| Weight of empty cabin:             | 617 daN                |
| Weight of loaded cabin:            | 1 245 daN              |
| N° of cabins:                      | 67                     |
| Primary drive power installed:     | 860 hp                 |
| Rescue drive power installed:      | 398 hp                 |
| Main gearbox:                      | Poma / Kissling PK 350 |
| Drive station location:            | top                    |
| Return station location:           | bottom                 |
| N° of line towers:                 | 16                     |
| Rotation:                          | counter clockwise      |
| Haul rope:                         | 3 500 m of ø 45.5 mm   |
| Grip type:                         | Poma TB 50             |
| Hydraulic tension:                 | 25 250 daN             |

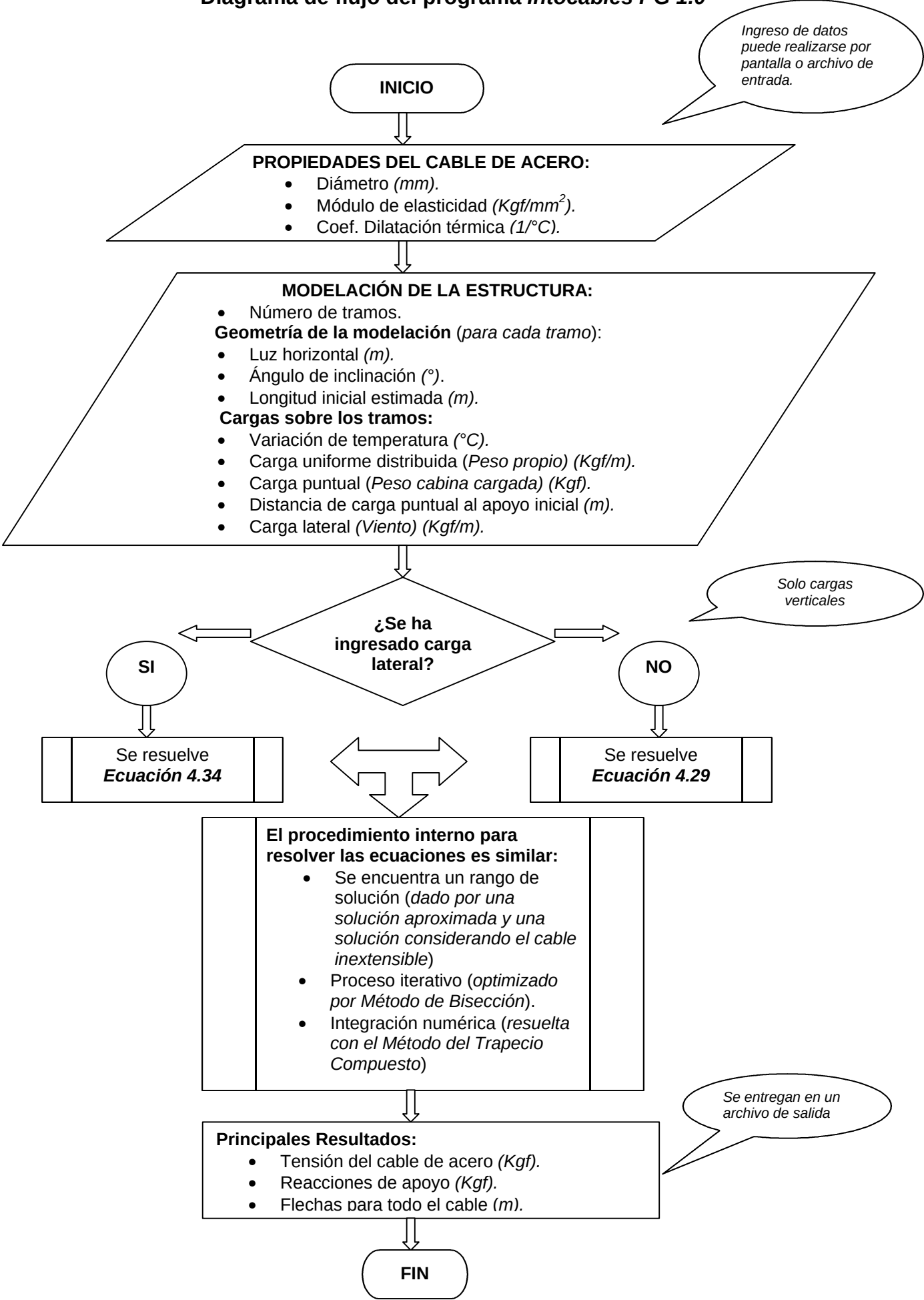


109, rue Aristide BERGES - CENTR'ALP - BP 47 / F - 38340 VOREPPE  
tél : 33 / 04 76 28 70 00 - fax : 33 / 04 76 28 71 91  
Email : 106174.320@compuserve.com

## ANEXO E.- Diagrama de flujo y archivos del programa de cálculo de cables *Intocables PG 1.0*.

En este anexo se presenta un diagrama de flujo que muestra el funcionamiento interno en forma simplificada del programa *Intocables PG 1.0*. Además, se incluye el archivo de entrada correspondiente al caso de carga de diseño (carga segura de trabajo) con el correspondiente archivo de salida o resultados que entrega el programa.

Diagrama de flujo del programa *Intocables PG 1.0*



PROPIEDADES DEL CABLE DE ACERO

Diametro del cable : 32.00(mm)  
Modulo de Elasticidad : 5000.00(Kgf/mm2)  
Coeficiente dilatacion termica: 0.00001250(1/C)

MODELACION DE LA ESTRUCTURA

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx000  
Numero de Tramos: 17

Geometria de la modelacion

| Tramo N                                                | Luz Hor.(m) | Ang.Inc.(ø) | Long.Inicial (m) |                          |
|--------------------------------------------------------|-------------|-------------|------------------|--------------------------|
| xxxxx1111111111111111.11222222222222.22333333333333.33 |             |             |                  | (modelo formato numeros) |
| 1.                                                     | 50.00       | 27.14       | 56.25            |                          |
| 2.                                                     | 100.00      | 17.19       | 104.72           |                          |
| 3.                                                     | 100.00      | 17.83       | 105.09           |                          |
| 4.                                                     | 100.00      | 19.00       | 105.81           |                          |
| 5.                                                     | 100.00      | 24.56       | 109.99           |                          |
| 6.                                                     | 100.00      | 33.85       | 120.45           |                          |
| 7.                                                     | 50.00       | 25.90       | 55.63            |                          |
| 8.                                                     | 100.00      | 23.53       | 109.12           |                          |
| 9.                                                     | 100.00      | 27.05       | 112.33           |                          |
| 10.                                                    | 100.00      | 33.12       | 119.45           |                          |
| 11.                                                    | 100.00      | 28.74       | 114.10           |                          |
| 12.                                                    | 100.00      | 24.56       | 109.99           |                          |
| 13.                                                    | 100.00      | 22.43       | 108.23           |                          |
| 14.                                                    | 100.00      | 23.58       | 109.16           |                          |
| 15.                                                    | 50.00       | 32.26       | 59.17            |                          |
| 16.                                                    | 50.00       | 27.37       | 56.35            |                          |
| 17.                                                    | 50.00       | 0.00        | 50.05            |                          |

1F  
2i  
3n

Cargas sobre los tramos

| Tramo N                                                                           | Var.T(C) | q (Kgf/m) | P (Kgf) | a (m) | qw1 (Kgf/m) | qw2 (Kgf/m) |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|---------|-------|-------------|-------------|
| xxxxx111111111111.11222222222222.223333333333.33444444.4455555555.556666666666.66 |          |           |         |       |             |             |
| 1.                                                                                | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 2.                                                                                | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 3.                                                                                | 0.00     | 3.85      | 1040.00 | 65.80 | 0.00        | 0.00        |
| 4.                                                                                | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 5.                                                                                | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 6.                                                                                | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 7.                                                                                | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 8.                                                                                | 0.00     | 3.85      | 1040.00 | 21.00 | 0.00        | 0.00        |
| 9.                                                                                | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 10.                                                                               | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 11.                                                                               | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 12.                                                                               | 0.00     | 3.85      | 1040.00 | 16.00 | 0.00        | 0.00        |
| 13.                                                                               | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 14.                                                                               | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 15.                                                                               | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 16.                                                                               | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 17.                                                                               | 0.00     | 3.85      | 1040.00 | 25.00 | 0.00        | 0.00        |

FIN

PROPIEDADES DEL CABLE DE ACERO

Diametro del cable : 32.00 (mm)  
Area del cable : 804.25 (mm2)  
Modulo de Elasticidad : 5000.00 (Kgf/mm2)  
Coeficiente dilatacion termica: 0.00001250 (1/C)

MODELACION DE LA ESTRUCTURA

Numero de Tramos: 17

Geometria de la modelacion

| Tramo N | Luz Hor.(m) | Ang.Inc.(ø) | Ang.Inc.(Rad) | Luz Inc.(m) | Long.Inicial (m) |
|---------|-------------|-------------|---------------|-------------|------------------|
| 1.      | 50.00       | 27.14       | 0.473682      | 56.20       | 56.25            |
| 2.      | 100.00      | 17.19       | 0.300022      | 104.67      | 104.72           |
| 3.      | 100.00      | 17.83       | 0.311192      | 105.04      | 105.09           |
| 4.      | 100.00      | 19.00       | 0.331613      | 105.76      | 105.81           |
| 5.      | 100.00      | 24.56       | 0.428653      | 109.94      | 109.99           |
| 6.      | 100.00      | 33.85       | 0.590794      | 120.40      | 120.45           |
| 7.      | 50.00       | 25.90       | 0.452040      | 55.58       | 55.63            |
| 8.      | 100.00      | 23.53       | 0.410676      | 109.07      | 109.12           |
| 9.      | 100.00      | 27.05       | 0.472112      | 112.28      | 112.33           |
| 10.     | 100.00      | 33.12       | 0.578053      | 119.40      | 119.45           |
| 11.     | 100.00      | 28.74       | 0.501608      | 114.05      | 114.10           |
| 12.     | 100.00      | 24.56       | 0.428653      | 109.94      | 109.99           |
| 13.     | 100.00      | 22.43       | 0.391477      | 108.18      | 108.23           |
| 14.     | 100.00      | 23.58       | 0.411549      | 109.11      | 109.16           |
| 15.     | 50.00       | 32.26       | 0.563043      | 59.12       | 59.17            |
| 16.     | 50.00       | 27.37       | 0.477697      | 56.30       | 56.35            |
| 17.     | 50.00       | 0.00        | 0.000000      | 50.00       | 50.05            |

Cargas sobre los tramos

| Tramo N | Var.T(C) | q (Kgf/m) | P (Kgf) | a (m) | qw1 (Kgf/m) | qw2 (Kgf/m) |
|---------|----------|-----------|---------|-------|-------------|-------------|
| 1.      | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 2.      | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 3.      | 0.00     | 3.85      | 1040.00 | 65.80 | 0.00        | 0.00        |
| 4.      | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 5.      | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 6.      | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 7.      | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 8.      | 0.00     | 3.85      | 1040.00 | 21.00 | 0.00        | 0.00        |
| 9.      | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 10.     | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 11.     | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 12.     | 0.00     | 3.85      | 1040.00 | 16.00 | 0.00        | 0.00        |
| 13.     | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 14.     | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 15.     | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 16.     | 0.00     | 3.85      | 0.00    | 0.00  | 0.00        | 0.00        |
| 17.     | 0.00     | 3.85      | 1040.00 | 25.00 | 0.00        | 0.00        |

## RESULTADOS

### Tensiones de apoyo

Tension en apoyo inicial: 4435.40 (Kgf)  
 Tension en apoyo final : 4521.38 (Kgf)  
 Tension Maxima : 4521.38 (Kgf)  
 Tension longitudinal del cable: 4479.03(Kgf)

### Reacciones de apoyo (Kgf)

| Tramo N | Reac.Vertical |             | Reac.Perpendicular (Viento) |             |
|---------|---------------|-------------|-----------------------------|-------------|
|         | Apoyo Inicial | Apoyo Final | Apoyo Inicial               | Apoyo Final |
| 1.      | 97.50         | 97.50       | 0.00                        | 0.00        |
| 2.      | 195.00        | 195.00      | 0.00                        | 0.00        |
| 3.      | 550.68        | 879.32      | 0.00                        | 0.00        |
| 4.      | 195.00        | 195.00      | 0.00                        | 0.00        |
| 5.      | 195.00        | 195.00      | 0.00                        | 0.00        |
| 6.      | 195.00        | 195.00      | 0.00                        | 0.00        |
| 7.      | 97.50         | 97.50       | 0.00                        | 0.00        |
| 8.      | 1016.60       | 413.40      | 0.00                        | 0.00        |
| 9.      | 195.00        | 195.00      | 0.00                        | 0.00        |
| 10.     | 195.00        | 195.00      | 0.00                        | 0.00        |
| 11.     | 195.00        | 195.00      | 0.00                        | 0.00        |
| 12.     | 1068.60       | 361.40      | 0.00                        | 0.00        |
| 13.     | 195.00        | 195.00      | 0.00                        | 0.00        |
| 14.     | 195.00        | 195.00      | 0.00                        | 0.00        |
| 15.     | 97.50         | 97.50       | 0.00                        | 0.00        |
| 16.     | 97.50         | 97.50       | 0.00                        | 0.00        |
| 17.     | 617.50        | 617.50      | 0.00                        | 0.00        |

### Flechas verticales maximas

| Tramo N | Coord. Local X (m) | Flecha Maxima (m) |
|---------|--------------------|-------------------|
| 1.      | 25.00              | 0.3058            |
| 2.      | 50.00              | 1.1393            |
| 3.      | 65.80              | 6.5180            |
| 4.      | 50.00              | 1.1511            |
| 5.      | 50.00              | 1.1967            |
| 6.      | 50.00              | 1.3105            |
| 7.      | 25.00              | 0.3025            |
| 8.      | 21.00              | 4.9892            |
| 9.      | 50.00              | 1.2221            |
| 10.     | 50.00              | 1.2995            |
| 11.     | 50.00              | 1.2413            |
| 12.     | 16.00              | 4.0744            |
| 13.     | 50.00              | 1.1775            |
| 14.     | 50.00              | 1.1876            |
| 15.     | 25.00              | 0.3218            |
| 16.     | 25.00              | 0.3064            |
| 17.     | 25.00              | 3.1745            |

Sugerencias o consultas:  
 intocablespg@yahoo.es